

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук
Российское геологическое общество
Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов

ПРОБЛЕМЫ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА БИОСФЕРЫ

Материалы XIV Международной Биогеохимической школы-конференции

г. Томск, 15–20 сентября 2025 г.

*Под ред. Н.В. Барановской, Н.С. Безаевой,
Б.Р. Соктоева, В.А. Сафонова*

УДК 504.061.2/.4; 504.054; 504.064; 504.4.06; 574.3; 574.5; 572.1/.4
П 78

П 78 Проблемы геохимической экологии в условиях техногенеза биосферы : материалы XIV Международной Биогеохимической школы-конференции, г. Томск, 15–20 сентября 2025 г. / под ред. Н.В. Барановской, Н.С. Безаевой, Б.Р. Соктоева, В.А. Сафонова. – Томск : STT, 2025. – 710 с.

ISBN 978-5-93629-729-8

Сборник содержит доклады участников материалы XIV Международной Биогеохимической школы-конференции, проходившей в Томском политехническом университете 15–20 сентября 2025 года. Цель конференции – обмен результатами фундаментальных и прикладных исследований в области геохимической экологии, влияния антропогенных факторов на среду обитания и охраны окружающей среды. А также представление и обсуждение новых идей, методов для формирования актуальных научных направлений и государственных программ по применению достижений биогеохимии в охране природы, народном хозяйстве, медицине и образовании.

Сборник представляет интерес для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области охраны окружающей среды, экологии и природных ресурсов.

**УДК 504.061.2/.4; 504.054; 504.064; 504.4.06;
574.3; 574.5; 572.1/.4**

Рецензенты:

Барановская Н.В., Безаева Н.С., Болсуновская Л.М., Вольфсон И.Ф., Гусева Н.В., Жорняк Л.В., Ляпина Е.Е., Осипова Н.А., Соктоев Б.Р., Симоненков Д.В., Страховенко В.Д., Сысо А.И., Таловская А.В., Язиков Е.Г.

**приоритет
2030⁺**

*Конференция поддержана грантом Программы развития ТПУ «Приоритет – 2030»
(This Conference was supported by TPU Development Program "Priority 2030").*

978-5-93629-729-8



© Авторы, 2025
© Томский политехнический университет, 2025
© Оформление. STTTM, 2025

ПЛЕНАРНЫЕ И ЮБИЛЕЙНЫЕ ДОКЛАДЫ

UDC 504.05; 504.06

DETERMINATION OF RADON EXHALATION RATE OF URANIUM ORE SAMPLES FROM SANDSTONE-TYPE URANIUM DEPOSITS IN ERLIAN BASIN, INNER MONGOLIA

Nanping Wang, Ying Jiang, Nan Gan, Mengke Han, Binlin Jia, Aimin Peng

China University of Geosciences, Beijing, China

npwang@cugb.edu.cn

Abstract. This paper reports the method and results of the first systematic determination of the radon exhalation rate of core samples collected from the Barun sandstone-type uranium ore in the Erlian Basin of Inner Mongolia.

Introduction

Radon-222 (referred to as radon) is a decay progeny of uranium-238. The measurement method of radon and its progeny are commonly used methods in uranium ore exploration. It has been successful in the exploration of volcanic rock-type uranium deposits in Xiangshan, Jiangxi Province and granite-type uranium deposits in Guangdong Province in southern China. The abnormal radon gas in the soil can be used to trace uranium ore bodies. This method has also been widely applied in uranium exploration worldwide [1–2].

Radon exhalation rate (RER) is the flux of radon produced by radium decay in solid media and released into the air. It is an important parameter for the study of underground radon transport, and is related to the radium content of the sample and its physical properties such as humidity, porosity and particle size. There are few data on radon exhalation rates of rocks and ores with different uranium and radium specific activity levels. In order to understand the law of radon transport in deep uranium deposits, the method of determining radon exhalation rate of uranium ore samples was studied.

Materials and methods

The RER measurement of core samples was completed in the Radiation and Environment Laboratory of China University of Geosciences (Beijing) by using the multiple accumulation sealed can method. A cylindrical sealed chamber was used to collect radon released from core samples and an AlphaGUARD radon detector and gas circulation system were used to measure the radon concentration released from the samples in the sealed chamber with different accumulation time, and then the radon exhalation rate of samples was calculated.

The specific activity of uranium and radium of core powder samples was determined by a high purity germanium gamma-ray spectrometer (HPGe). The wide energy detector (BE3830) was used with a detection efficiency of 50% and an energy resolution of 1.68 keV for 1332 keV gamma rays emitted from ^{60}Co . The instrument has been calibrated and efficiency calibrated by the Chinese Academy of Metrology with ^{241}Am , ^{137}Cs and ^{238}U and ^{226}Ra reference source ($\phi 75 \times 70$ mm plastic cylindrical container).

Results and discussion

The RER measured results of uranium core samples in Erlian Basin of Inner Mongolia show that the RER of uranium ore varies widely, ranging $160 - 6.71 \times 10^4 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}$. The RER data of uranium-bearing minerals and non-ore are lower and relatively stable, varied from $n \times 10^0$ to $n \times 10^1 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}$. It is found that the RER value of ore and rock is proportional to the specific activity of radium and related to the occurrence of uranium, and is also affected by porosity and the composition of clay minerals [3].

Table 1. Statistics of radon exhalation rate and specific activities of uranium and radium in core samples of the Barun uranium deposit

Statistical parameters	radon exhalation rate/Bqm ⁻² h	²³⁸ U/Bqkg ⁻¹	²²⁶ Ra/Bqkg ⁻¹
Number of samples	23	23	23
Mean	283	2077	1632
Standard deviation	411	2979	1871
Minimum value	1.17	26	25
Maximum value	1629	12601	8845

Conclusion

The RER of uranium ore can be quantitatively determined in the laboratory by using the sealed ‘can’ method, and the repeated measurement results are stable and reliable. This method is also suitable for the RER measurement of rocks.

The average RER value of uranium ore is significantly higher than that of non-uranium ore.

Acknowledgements

We are grateful to the Party No.208, China National Nuclear Corporation (CNNC) for supporting in our field work. This project was supported by the National Natural Science Foundation of China Nuclear Technology Innovation Joint Fund (U2067204).

References

1. Wu H., Lin Y., Bai Y., Chang G. Radon Measuring Method and Application. – Beijing : Atomic Energy Press, 1995 (In Chinese).
2. Yang Y., Liu Q., Long Q. The Application of radon gas survey to the expansion of the Xiazhuang uranium ore field // Geophys Geochem Explor. – 2003. – Vol. 27(3). – P. 184–186 (In Chinese with an English abstract).
3. Wang, N., Jiang, Y., Gan, N. et al. Experimental studies on the correlation between radon exhalation rate and U/Ra occurrence in sandstone uranium ore // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 2025. – <https://doi.org/10.1007/s10967-025-10069-3>.

УДК 628.35

МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ВЕРМИКОПОСТИРОВАНИЯ

А.С. Бабенко

*Томский государственный университет, Томск, Россия
andrey.babenko.56@mail.ru*

MIGRATION OF CHEMICAL ELEMENTS DURING THE VERMICOMPOSTING PROCESS

A.S. Babenko

*Tomsk State University, Tomsk, Russia
andrey.babenko.56@mail.ru*

Abstract. Обзор исследований по изучению накопления и миграции химических элементов в компонентах вермикультуры, используемой для утилизации смесей на основе осадка сточных вод. Показана возможность использования дождевых червей для извлечения и перевода в связанные формы ряда токсичных элементов.

Ряд видов дождевых червей широко используется во многих странах для переработки различных органических отходов, получения высокоэффективных удобрений и животного протеина. Технология вермикомпостирования органических материалов достаточно хорошо разработана; многочисленными исследованиями доказана возможность переработки вермикультурой широкого спектра сельскохозяйственных отходов животного и растительного происхождения, а также муниципальных отходов, включая осадки сточных вод [3, 6, 10].

В последнее время все шире используется технология вермикомпостирования осадка сточных вод различного происхождения, в которых может содержаться значительное количество опасных химических соединений. В России, США, в ряде европейских государств, а также в странах Южной и Юго-Восточной Азии проведены многочисленные исследования по определению химического состава как исходного сырья, так и получаемых в результате компостирования продуктов [1, 2, 4, 5–7, 9–11, 14–16]. Показано, что в процессе трансформации отходов черви способны извлекать из осадка и накапливать в своем теле тяжелые металлы и переводить их в связанные формы недоступные для растений, что позволяет расширить спектр применения конечного продукта переработки. Этот процесс протекает без использования химических реагентов, что делает биологическую утилизацию экологически безопасной и не приводит к вторичному загрязнению поверхностных водоемов, грунтовых подземных вод и почв. Добавление наполнителей в осадок сточных вод ускоряет стабилизацию осадка и устраняет его токсичность. Последовательная экстракция показала, что вермикомпостирование значительно снижает подвижность всех тяжелых металлов за счет увеличения остаточных фракций. Активность дождевых червей и соответствующее добавление модифицирующих материалов играет позитивную роль в связывании тяжелых металлов при обработке осадка сточных вод [8]. Вермикомпост может выступать как отличный адсорбент при очистке сточных вод. Современными исследованиями показана одновременная адсорбция тяжелых металлов (Pb, Cd) и органического загрязнителя (тетрациклина) вермикомпостом, полученным из осадка сточных вод. Максимальная адсорбционная емкость для Pb, Cd и тетрациклина в одной адсорбционной системе, рассчитанная по уравнению Ленгмюра, составила 12,80, 85,20 и 42,94 мг л⁻¹, а для смешанных веществ – 2,99, 13,46 и 20,89 мг л⁻¹ соответственно [9].

При переработке осадка вермикультурой в компостируемой смеси необходимо присутствие наполнителей, в качестве которых могут выступать торф, навоз, бумажные отходы, листовой

опад, опил лиственных пород деревьев и другие целлюлозосодержащие материалы. В Мексике и в Юго-Восточной Азии были проведены сравнительные исследования с различными соотношениями осадка сточных вод и наполнителей (навоз крупного рогатого скота или свиной навоз). Результаты показали, что вермикомпостирование осадка с наполнителем снижает долю общего органического углерода и отношение общего органического углерода к общему азоту (отношение C/N) исходных смесей и повышает стабильность и агрономическую ценность конечных продуктов. Кроме того, в смесях на основе навоза крупного рогатого скота, черви росли и размножались лучше по сравнению с червями, содержащимися на смесях на основе свиного навоза. В целом, для вермикомпостирования осадка сточных вод рекомендуется использовать добавки с высоким соотношением C/N, буферной емкостью pH и низким показателем электропроводности [12]. Интересен опыт польских исследователей, которые показали, что добавление биочара (древесного угля, приготовленного особым способом) в смесь перед компостированием приводит к значительно более высокой скорости размножения дождевых червей *E. fetida*. Кроме того, добавленный перед компостированием биочар снижает биологическую доступность Cd и Zn для дождевых червей [13]. В ряде стран изучалась возможность переработки осадков стоков текстильного производства с помощью вермиккультуры *Eisenia foetida*. Согласно исследованиям, проведенным в Бангладеш, черви наиболее успешно росли и размножались в текстильном иле (20% в пересчете на сухой вес), смешанном с коровьим навозом (80%). Общее содержание тяжелых металлов (Cu, Cr, Pb, Zn, Fe, Mn) в конечном продукте были ниже, чем в исходном сырье. При вермикомпостировании илового осадка наблюдается также значительный прирост биомассы дождевых червей и изменение относительной доли отдельных элементов в теле червей. Исследования, проведенные в Малайзии, показали, что при переработке осадка городских сточных вод биомасса червей *E. fetida* увеличивалась на 30% по сравнению с исходной массой в течение трех недель. При этом содержание общего азота увеличилось с 19,6 до 35,7 мг л⁻¹, общего фосфора – с 9,45 до 10,87 мг л⁻¹ и общего калия – с 3,44 до 4,80 мг л⁻¹ соответственно [14]. В последние годы внимание исследователей привлекает изучение свойств вермикомпоста, полученного на основе осадка сточных вод. Значительное число работ посвящено содержанию и миграции тяжелых металлов в продуктах переработки осадков. При сравнительном исследовании процесса переработки твердых бытовых отходов и осадка сточных вод показано, что концентрация тяжелых металлов сокращается в конечных продуктах во всех вариантах переработки [9–11,15]. В Малайзии были проведены эксперименты по удалению тяжелых металлов (Cr, Cd, Pb, Cu и Zn) из осадка городских сточных вод с добавлением отработанного грибного компоста с использованием червей *Lumbricus rubellus*. Показано, что через 10 недель компостирования содержание Cr, Cd и Pb в полученном вермикомпосте значительно снижалось, в то время как концентрация Cu и Zn увеличивалась. На пятнадцатой неделе компостирования наблюдалось увеличение содержания тяжелых металлов регистрировалось в вермикомпосте по сравнению с десятой неделей, в то время как концентрация тяжелых металлов в тканях дождевых червей была ниже по сравнению с вермикомпостом. Предполагается, что на 10–15 неделе вермикомпостирования дождевые черви начинают выделять тяжелые металлы в окружающую среду [17]. В целом, результаты проведенных исследований показывают высокий потенциал вермиккультуры для регулирования содержания различных элементов в перерабатываемых смесях на основе осадка сточных вод.

Литература

1. Мухортов Д.И., Ускова Д.В. Оптимизация параметров вермикомпостирования осадков сточных вод, различающихся по токсичности // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2008. – №2. – С. 60–71.
2. Ускова В.В. Утилизация осадков сточных вод, различающихся по токсичности, с помощью червей *Eisenia foetida* (Sav.) : дис. ... канд. сельскохозяйственных наук. – Йошкар-Ола, 2006. – 172 с.

3. Azizi A.B., Lim M.P., Noor Z.M., Abdullah N. Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising *Lumbricus rubellus* // *Ecotoxicol Environ Safety*. – 2013. – Vol. 90. – P. 13–20.
4. Bhat S.A., Singh J., Vig A.P. Vermiremediation of dyeing sludge from textile mill with the help of exotic earthworm *Eisenia fetida* Savigny // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2013. – Vol. 20. – P. 5975–5982.
5. Boeres N., Yong F. Effects and promotion of Earthworm on municipal sewage sludge degradation // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. – 2019. – Vol. 10. – P. 70–86.
6. Edwards C.A., Arancon N. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes for produce vermicomposts and animal food protein // *Earthworms Ecology* (2nd edition). – Boca Raton, Fl. : C.R.C. Press, 2004. – P. 345–438.
7. Hait S., Tare V. Vermistabilization of primary sewage sludge // *Bioresource technology*. – 2011. – Vol. 102(3). – P. 2812–2820.
8. He X., Zhang Y., Shen M. et al. Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials // *Bioresource Technology*. – 2016. – Vol. 218. – P. 867–873.
9. He Xin, Zhang Yaxin, Shen Maocai et al. Vermicompost as a natural adsorbent: evaluation of simultaneous metals (Pb, Cd) and tetracycline adsorption by sewage sludge-derived vermicompost // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – Vol. 24. – P. 8375–8384.
10. Kızılkaya R., Yertayeva Z., Kaldybayev S. et al. Vermicomposting of anaerobically digested sewage sludge with hazelnut husk and cow manure by earthworm *Eisenia foetida* // *Eurasian Journal of Soil Science*. – 2021. – Vol. 10(1). – P. 38–50.
11. Lv B., Xing M., Yang J. Exploring the effects of earthworms on bacterial profiles during vermicomposting process of sewage sludge and cattle dung with high-throughput sequencing // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2018. – Vol. 25. – P. 12528–12537.
12. Ludibeth S-M., Marina I-E., Vicenta E.M. Vermicomposting of sewage sludge: earthworm population and agronomic advantages // *Compost Science & Utilization*. – 2012. – Vol. 20(1). – P. 11–17.
13. Malinska K., Golanska M., Caceres R. et al. Biochar amendment for integrated composting and vermicomposting of sewage sludge – The effect of biochar on the activity of *Eisenia fetida* and the obtained vermicompost // *Bioresource Technology*. – 2017. – Vol. 225. – P. 206–214.
14. Singh J., Kaur A., Vig, A.P. Bioremediation of distillery sludge into soil-enriching material through vermicomposting with the help of *Eisenia fetida* // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2014. – Vol. 174. – P. 1403–1419.
15. Yadav A., Garg V.K. Industrial wastes and sludges management by vermicomposting // *Rev. Environmental Science Biotechnology*. – 2011. – Vol.10. – P. 243–276.
16. Yadav A., Garg V.K. Influence of stocking density on the vermicomposting of an effluent treatment plant sludge amended with cow dung // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2016. – Vol. 23. – P. 13317–13326.
17. Zhang J., Sugir M., Li Y. et al. Effects of vermicomposting on the main chemical properties and bio-availability of Cd/Zn in pure sludge // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 26. – P. 20949–20960.

УДК 504.06

**ИННОВАЦИОННЫЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ И РЕМЕДИАЦИИ ИМПАКТНЫХ
ЭКОСИСТЕМ**

В.Н. Башкин

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия
vladimirbashkin@yandex.ru*

**INNOVATIVE BIOGEOCHEMICAL TECHNOLOGIES FOR RECULTIVATION
AND REMEDIATION OF IMPACT ECOSYSTEMS**

V.N. Bashkin

*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, RAS, Pushchino, Russia
vladimirbashkin@yandex.ru*

Аннотация. Предложен пакет инновационных биогеохимических природоподобных технологий, защищенных патентами РФ, для управления микробным блоком биогеохимических циклов при рекультивации и ремедиации импактных экосистем.

Введение

Под биогеохимическими технологиями рекультивации нарушенных и загрязненных почв и экосистем подразумеваются технологии, направленные на восстановление их биогеохимической структуры, прежде всего, на уровне микробного блока. Такие технологии называются еще и природоподобными. Также они являются инновационными, обладающие новизной и защищаемыми соответствующими патентами [1]. Именно на понимание физико-химических и биологических механизмов и управление на этой основе адаптации микробиома и направлено применение биогеохимических технологий. Целью работы, соответственно, является рассмотрение технологических приемов восстановления биогеохимических циклов в условиях различных загрязнений и нарушений в различных природных регионах, в импактных экосистемах в зонах развития газовой промышленности.

Оценка и восстановление микробного звена биогеохимических циклов

В условиях усиления континентальности климата в полярных регионах на фоне нарушения растительного покрова как за счет промышленной нагрузки, так и в результате перевыпаса северных оленей происходит растепление почвогрунтов. Это сопровождается рядом отрицательных геоэкологических и эпидемиологических последствий. В частности, в течение жаркого лета 2016 г. наблюдалась вспышка эпидемии сибирской язвы, обусловленная выходом на поверхность почвы могильников умерших еще в 1940-х гг. животных. Возбудителем этой болезни является бактерия *Bacillus anthracis*. При этом, очаги болезни не были своевременно выявлены, в первую очередь, из-за недостаточно развитой сети санитарно-эпидемиологических станций на огромной территории полуострова Ямал, что и способствовало развитию эпизоотии. Это предопределило необходимость разработки простой, природоподобной биогеохимической технологии для первичной оценки микробного загрязнения. Была разработана инновационная технологии оперативной оценки микробного загрязнения природных вод, защищенной патентом на изобретение РФ № 2735 756.

Технологический регламент рекультивации почв нарушенных участков в арктических регионах

Технологический регламент рекультивации почв нарушенных участков заключается в следующем.

На первой стадии:

- а) на крупномасштабной картосхеме территории (масштаб 1:200000 и крупнее), предназначенной для рекультивации почв, выделяют отдельные участки с нарушенными и загрязненными почвами и почвогрунтами с измерением их площадей, а также определяют места расположения торфяных залежей, откуда будет использоваться торф для рекультивации;
- б) с указанных участков и залежей отбирают, соответственно, усредненные репрезентативные образцы почвы и торфа (из слоя 0-5-6 см), как для определения механического (гранулометрического) состава или полной влагоемкости почвы, так и с целью последующего выбора дозы торфа в виде соотношения торф:почва, необходимого для рекультивации конкретного участка;
- в) механический (гранулометрический) состав почвы, т.е. относительное содержание в ней частиц различной величины (гранул), определяют в случае рекультивации почв на территориях с волнистым рельефом и неоднородным почвенным покровом;
- г) полную влагоемкость почвы, т.е. наибольшее количество влаги, которое содержится в почве при полном насыщении всех пор, определяют в случае рекультивации почв на территориях с равнинным или слаборасчлененным рельефом и однообразным почвенным покровом.
- д) в течение зимнего периода проводят аналитические работы и серии вегетационных и модельных опытов для определения требуемых технологических параметров с гарантированным результатом рекультивации.

Вторая стадия:

- а) на основе выбранного соотношения торф: почва рассчитывают, как массу торфа, заделываемую в 0-5-6 см слой нарушенной почвы, так и массу самой нарушенной почвы в слое 0-5-6 см, исходя из площади рекультивируемого участка;
- б) массу торфа предварительно доводят до рассыпчатого состояния путем воздушной сушки, что необходимо для удобства его равномерного распределения по всей площади рекультивируемого участка и дальнейшей заделки в искомый слой почвы;
- в) заделку торфа в соответствующих дозах в 0-5-6 см слой нарушенной почвы участка и посев семян смеси многолетних злаковых трав осуществляют по принципу устройства газонов на больших площадях или методом «залужения», т.е. создания сплошного травяного покрова на участке, используя соответствующие технологии и технику;
- г) в составе травосмеси, формируемой из многолетних злаковых трав, могут быть пырейник сибирский (*Elymus sibiricus*), кострец безостый (*Bromus inermis*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*), овсяница красная (*Festuca rubra*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), тимофеевка луговая (*Phleum pratense*) и другие виды, которые позволяют получить густой травостой и плотный дерн на рекультивируемом участке;
- д) эффективным приемом повышения устойчивости произрастания вновь создаваемых фитоценозов на нарушенных почвах является посев вышеуказанной травосмеси с включением различных видов местной флоры.

Третья стадия:

- а) для улучшения посевных свойств семян, регулирования состояния растений на различных стадиях их роста и развития, в процессе формирования их продуктивности, а также повышения устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям внешней среды применяют препарат гумата калия, используемый в определенных дозах для замачивания семян перед посевом, корневой подкормки и некорневой подкормки (опрыскивания) в период вегетации, с использованием соответствующей технологии и техники;
- б) препарат гумата калия выделяют оригинальным способом из местных торфов Ямало-Ненецкого автономного округа, когда извлечение, прежде всего, гуминовых кислот из гумуса торфа и их очистка производится по всем правилам продуцирования химиче-

ски чистых веществ, практически не затрагивающих молекулярные структуры гуминовых кислот, что, в конечном счете, гарантирует получение стабильного препарата гумата калия;

- в) дальнейший уход за растительностью на рекультивируемом участке осуществляют, также используя соответствующие технологии и технику; при изреживании травостоя по тем или причинам, проводят дополнительный посев семян многолетних злаковых трав;
- г) в целом, об эффективности рекультивации нарушенных почв с использованием торфа и гумата калия судят по результатам сравнительного анализа биохимической активности, и, в частности, активности фермента дегидрогеназы рекультивируемой нарушенной почвы и ненарушенной (фоновой) почвы, определяемой методом спектрофотометрии (согласно патенту РФ № 2387996).

Инновационные биогеохимические технологии для реабилитации загрязненных и нарушенных экосистем

Биогеохимические технологии регулируют работоспособность микробного звена биогеохимических круговоротов в различных импактных экосистемах. Получено более 15 патентов на изобретения на эти технологии, прежде всего, для регулирования микробного блока биогеохимического круговорота [2].

Заключение

Полученные данные позволили разработать комплекс биогеохимических технологий, защищенных патентами РФ, применительно к восстановлению как загрязненных, так и нарушенных почв. Разработанные биогеохимические технологии являются адаптивными к природно-климатическим условиям Крайнего Севера, ныне характеризующемуся усилением континентальности климата.

Аналогичным образом эти технологии применяются и в других почвенно-климатических условиях, их работоспособность показана, в частности, и в условиях импактных экосистем Ставропольского края.

Литература

1. Башкин В.Н. Инженерная биогеохимия и биогеохимические технологии // Инноватика и экспертиза. – 2018. – Вып. 2(23). – С. 140–144.
2. Арабский А.К., Башкин В.Н., Богоявленский В.И. и др. ООО «Газпром добыча Ямбург» – 40 лет инновационного развития. – М. : Недра, 2024, – 705 с.

УДК 161.31:616-08-039.71:59.12

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ СКРИНИНГ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ГЕНОМ ЧЕЛОВЕКА И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

А. Бигалиев¹, Б. Бекманов², К. Шалабаева³, А. Кожакметова⁴, А. Мырзатай⁵

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
aitkhazha@gmail.com

²Институт генетики и физиологии, Алматы, Казахстан; bobekman@rambler.ru

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; klara46.46@mail.ru

⁴Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; ayzada.1983@mail.ru

⁵Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
ayaulymmyrzatay@gmail.com

CYTOGENETIC AND MOLECULAR GENETIC SCREENING OF THE IMPACT OF RADIATION CONTAMINATION ON THE HUMAN GENOME AND PUBLIC HEALTH

A. Bigaliev¹, B. Bekmanov², K. Shalabayeva³, A. Kozhakhmetova⁴, A.yaulym Myrztay⁵

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aithkhazha@gmail.com

²Institute of Genetics and Physiology, Almaty, Kazakhstan; bobekman@rambler.ru

³al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; klara46.46@mail.ru

⁴al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; ayzada.1983@mail.ru

⁵al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; ayaulymmyrztay@gmail.com

Abstract. The growing concern over environmental health risks in Kazakhstan has highlighted the need to investigate radiation exposure effects. This study assessed genomic stability and health outcomes in populations living near radioactive waste sites. Blood samples were analyzed using PCR to detect polymorphisms in DNA repair genes. Cytogenetic analysis showed a higher frequency of chromosomal aberrations in exposed individuals (1.0–3.5%) compared to control groups (1.0–1.9%). Molecular testing confirmed genotypes linked to decreased DNA repair capacity. These findings suggest a potential link between environmental radiation and increased genomic instability, underlining the need for ongoing monitoring and public health interventions in affected regions.

Introduction

Environmental contamination remains a major public health concern in Kazakhstan, particularly in regions affected by past nuclear testing and the presence of radioactive waste sites. Radiation exposure is known to cause genomic instability, leading to an increased risk of various diseases. Previous studies have demonstrated elevated frequencies of chromosomal aberrations and DNA damage among residents of contaminated areas. Given these risks, it is critical to assess both cytogenetic and molecular markers in exposed populations to understand the long-term health effects and underlying genetic susceptibility. This study aims to evaluate the impact of chronic low-dose radiation on genome integrity and public health in selected regions of Kazakhstan.

Materials and methods

Indicator groups consisting of 30 individuals from selected settlements were examined to estimate individual radiation doses. Electron Paramagnetic Resonance (EPR) dosimetry was employed for dose measurement. Standard cytogenetic techniques were used, including micronucleus analysis in capillary blood cells under light microscopy. Genomic DNA was extracted using the QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen, USA), and RAPD-PCR was performed [1, 7].

A slight excess of radioactivity persists near the area where rockets impacted in the Bokeyorda district. However, with a 95% confidence level, the beta and gamma activities measured in the tooth

enamel of Bokeyorda residents remain below natural background levels, indicating that radionuclide concentrations do not exceed normal thresholds. In contrast, a marked increase in the activity of radionuclides K-40 and Ra-226 was observed in residents of the Zhanibek district. Despite this, the relative radiation dose values estimated from the amplitude of the EPR signal in tooth enamel did not differ significantly between the two regions. Notably, radiation doses of 25–30 rad or higher were recorded among residents in both districts, exceeding typical levels reported for comparable populations [2–4].

Results and their discussion

Microscopic analysis revealed variations in the number and morphology of micronuclei, depending on the tissue type. A high frequency of micronuclei was observed in erythrocytes from individuals exposed to radiation, consistent with previous findings.

Among the examined residents, chromosomal instability ranged from 2% to 8%, with 12 individuals exceeding the typical spontaneous aberration threshold of 8–10%. The morphological diversity of somatic cell nuclear anomalies reflects tissue-specific responses to radiation exposure. According to several studies, patients with various forms of myopathy also exhibit elevated frequencies of micronucleated red blood cells. Our data on genome instability are consistent with findings reported by multiple researchers [5,6]. Subsequent analyses using molecular genetic methods further supported these observations.

In the surveyed groups of settlements, an average of 3,500 metaphases were analyzed in each group (Table 1). The average frequency of aberrant metaphases was:

Table 1. Distribution of chromosomal aberrations by type of structural and numerical abnormalities

Number of metaphase spreads examined	Total cells with cytogenetic abnormalities		Structural aberrations						Numerical aberrations	
			Total		Chromosome -type		Chromatid-type			
	abs.	%	abs.	%	abs.	%	abs.	%	abs.	%
3520	94	2,4	88	93,6	59	67,04	29	32,9	6	6,4

Chromosomal aberrations were detected in 2.4% of cells analyzed. Among these, 93.6% were structural and 6.4% were numerical. Of the structural aberrations, 67% were of the chromosome-type and 33% were of the chromatid-type, both characteristic of radiation-induced damage [7].

A molecular genetic analysis was performed to assess polymorphisms in DNA repair genes and genotype distributions among residents living in radiation-contaminated areas. The distribution, expressed as the percentage of individuals with each genotype, is presented below. The results indicate the following genotype frequencies: the mutant genotype Trp/Trp for XRCC1 Arg194Trp was detected in 1.7% of individuals; the Gln/Gln genotype for XRCC1 Arg399Gln was observed in 8.6%; the Met/Met genotype for XRCC3 Thr241Met appeared in 7.0%; and the Gln/Gln genotype for XPD Lys751Gln was identified in 5.2% of participants [8].

Health analysis in the Mangystau region revealed that children under 14 had the highest rate of blood and hematopoietic disorders. Out of 5,805 total reported illnesses, 924 (20.2%) were blood-related. Among individuals aged 15–17, there were 3,375 total cases, with 11.6% due to blood disorders. In adults (18+), 1,173 cases were recorded, of which 7.3% were blood related. Neoplasms were found exclusively in adults – 112 cases (0.7% of total illnesses). Congenital anomalies were present in all age groups, with the highest rate observed in children under 14 years, 1.8% (102 cases), while other age groups showed 0.2%. District Breakdown: Tupkaragan settlement – Blood disorders: 11.2% in children, 12.2% in teens, 5.3% in adults. Neoplasms: 0.4% in adults. Congenital anomalies: 0.3% in teens. Munaily settlement – Blood disorders: 10.0% in children, 19.1% in teens,

7.3% in adults. Neoplasms: 0.9% in adults. Congenital anomalies: 1.6% (children), 1.4% (teens), 0.3% (adults) [9]. The Mangystau district had the highest overall disease rate – 56,3655 per 100,000 population. Blood disorders were particularly prevalent among children and adolescents, suggesting environmental exposure as a contributing factor. Infant mortality data (2023–2025) revealed the highest rate in Munaily settlement (21.1%) and the lowest in Tupkaragan settlement (12.3%) in 2023. In 2024 and 2025, the Mangystau region reported the highest rates (12.3% and 14.6%, respectively), while Aktau city had the lowest in 2025 (5.2%). These fluctuations likely reflect differences in ecological conditions and healthcare access.

Thus, Zhanibek district exhibited elevated levels of K-40 and Ra-226 radionuclides in dental samples, indicating significant environmental exposure.

Micronucleus test results identified individuals with high frequencies of micronuclei in peripheral blood erythrocytes—an established marker of genome instability. These individuals were classified as at risk. Cytogenetic studies revealed a marked increase in the frequency of dicentric chromosomes (0.61 ± 0.3 per cell; 3.13–14.63 per 10 metaphases), clearly exceeding spontaneous aberration levels, confirming low-dose radiation exposure in the surveyed populations [9].

Molecular genetic findings showed the following genotype frequencies: XRCC1 Arg194Trp (Trp/Trp) – 1.7%, XRCC1 Arg399Gln (Gln/Gln) – 8.6%, XRCC3 Thr241Met (Met/Met) – 7.0%, and XPD Lys751Gln (Gln/Gln) – 5.2%. These polymorphisms are associated with impaired DNA repair mechanisms and may contribute to increased radiation sensitivity [10].

Conclusion

The conducted cytogenetic and molecular genetic analyses revealed significant genomic instability among populations residing near radiation-contaminated areas. Elevated frequencies of chromosomal aberrations and the presence of unfavorable polymorphic variants in DNA repair genes indicate increased sensitivity to radiation exposure. Health data also suggest a higher prevalence of hematological disorders and congenital anomalies in these regions, especially among children and adolescents. These results confirm the unfavorable impact of low-dose chronic radiation exposure on public health and underline the importance of continuous biomonitoring and the implementation of preventive and medical interventions in ecologically affected areas.

References

1. Bouville A. Fallout from nuclear weapons tests: environmental, health, political, and sociological considerations // *Health Physics*. – 2020. – Vol. 118(4). – P. 360–381. – doi: 10.1097/HP.0000000000001237.
2. Chekhun V.F., Dyomina E.A., Druzhyna M.O. et al. New approach to the approximation of "dose-effect" dependence during the human somatic cells // *Nuclei. Physics of Atomic Energy*. – 2013. – Vol. 14(3). – P. 299–303.
3. Coleman C.N., Blakely W.F., Fike J.R. et al. Molecular and cellular biology of moderate-dose (1–10 Gy) radiation and potential mechanisms of radiation protection: report of a workshop at Bethesda, Maryland, December 17–18, 2001 // *Radiation Research*. – 2003. – Vol. 159. – P. 812–834. – doi: 10.1667/rr3021.
4. Hungerford D.A. Leukocytes cultured from small inocula of whole blood and preparation of metaphase chromosomes by treatment with hypotonic KCl // *Stain Technology*. – 1965. – Vol. 40(8). – P. 333–338.
5. Huilgol N. Radiobiology and radiation hormesis: new evidence and its implications for medicine and society // *Journal of Radiation and Cancer Research*. – 2018. – Vol. 9(3). – P. 128. – doi: 10.4103/jrcr.jrcr_14_18.
6. Ilinskikh K.K., Novitsky V.V., Vanchugova N.N. et al. Micronucleus assay and cytogenetic instability. – Tomsk : Tomsk State University Press, 1991. – 272 c.
7. MacGregor J.T., Casciano D., Muller L. Strategies and testing methods for identifying mutagenic risks // *Mutation Research*. – 2000. – Vol. 455. – P. 3–20. – doi: 10.1016/s0027-5107(00)00116-0.

8. Mothersill C., Seymour C. Radiation hormesis and dose response: are our current concepts meaningful or useful? // *Current Opinion in Toxicology*. – 2022. – Vol. 30. – P. 100335. – doi: 10.1016/j.cotox.2022.02.008.
9. Sapkota A., Cheema A.K., Bondy S.C. Environmental exposures, genomic instability, and health risks: the role of DNA repair and the potential impact of molecular genetics // *Environmental Health Perspectives*. – 2007. – Vol. 115. – P. 1385–1391. – doi: 10.1289/ehp.9612.
10. Silachyov I.Y. Instrumental neutron activation analysis of rhenium in uranium raw material // *International Journal of Biology and Chemistry*. – 2020. – Vol. 13. – P. 161–169. – doi: 10.26577/ijbch.2020.v13.i1.17.

УДК 550.424+550.373

О КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ГОРНОРУДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

С.Б. Бортникова

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука, Новосибирск, Россия
Bortnikovasb@ipgg.sbras.ru*

ON COMPREHENSIVE RESEARCH OF MINING PRODUCTION TERRITORIES

S.B. Bortnikova

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia
Bortnikovasb@ipgg.sbras.ru*

Аннотация. Определение состава техногенных тел, их структуры, степени влияния на природные компоненты, биоту и человека подразумевает проведение комплексных исследований, включающих применение методов геохимии, геофизики, минералогии. Продукты взаимодействий твердой и жидкой фаз в хвостохранилищах, а также агрессивность дренажных потоков определяются физико-химическими параметрами поровых растворов и формами нахождения элементов. Структура внутреннего пространства техногенных тел, наличие обводненных линз и горизонтов имеют большое значение при миграции инфильтрационных вод в латеральном и вертикальном направлениях.

Геоэлектрическая зональность, определяемая методом электротомографии, отражает разницу в геохимическом составе и обводненности вещества, определяет направление движения подземных потоков, и, вместе с тем, существенно снижает объем геохимических проб, требуемых для описания состояния техногенного тела. Проблема эмиссии примесей от хранилищ отходов требует пристального внимания вследствие высокой опасности веществ, поступающих в воздушную среду. Путем определения основного состава газовой смеси в приземном слое воздуха и микроэлементов, переносимых паро-газовыми потоками, установлена высокая степень влияния техногенных объектов на приземный слой атмосферы и опасное воздействие биодоступных форм металлов и металлоидов на живые организмы.

Методы и подходы к исследованию техногенных тел

Техногенные системы (в нашем случае – складированные отходы обогащения сульфидсодержащих руд) по сути, представляют собой новые геологические тела, со своими специфическими процессами, приводящими к появлению вновь образованных геохимических ассоциаций в жидкой и твердой фазах в очень короткие промежутки времени. Исследование процессов в техногенных телах подразумевает два основных аспекта: во-первых, формирование той среды, в которой идут взаимодействия и реакции растворения/осаждения вещества; во-вторых, результаты воздействия этих систем на окружающие природные компоненты, а в конечном итоге, – на здоровье человека. Появление потоков кислого дренажа (AMD) из мест складирования отходов горно-рудной промышленности происходит вследствие сочетания физических и биогеохимических процессов, происходящих в открытых атмосфере остаточных сульфидных минералов [20]. Окисление двух наиболее распространенных сульфидных минералов – пирита и пирротина ведет к повышению кислотности растворов, увеличению концентраций сульфатов, железа, многих металлов и металлоидов в процессе сложных серий микробно-опосредованных реакций [2, 10, 17].

Достоверное описание состава и состояния техногенных тел необходимо для корректной оценки степени их воздействия на прилегающие территории, биоту и человека. Применение комплекса методов, включая геохимическое опробование, геофизическое обследование, газовую съемку, теоретическое моделирование позволяет получить результаты для определе-

ния состава водных и воздушных потоков, закономерностей миграции металлов и металлоидов и дать прогноз на будущее развитие процессов распространения потенциально токсичных веществ и рисков для живых организмов.

Кроме традиционных работ по сбору и определению состава твердого вещества хвостохранилищ, дренажных потоков, почв и донных отложений, большое внимание уделяется поровым водам. Поровые растворы, сосуществующие с окисляющимся веществом отходов, являются, с одной стороны, результатом растворения минеральной матрицы, а с другой – той средой, из которой возможно отложение вторичных соединений (при достижении насыщения), пассивирующих поверхности сульфидов [7, 8, 18, 9]. Получение информации о составе поровых вод необходимо для разработки моделей транспорта элементов внутри хвостохранилищ [14, 3, 6, 5], создания нейтрализующих систем. Для оценки экологического состояния, подвижности и геохимического круговорота микроэлементов в отвале анализ состава поровой воды зачастую более информативен, чем анализ отвального вещества и кислого дренажа [1]. В докладе будут приведены примеры изменения концентраций элементов и форм их нахождения в поровых водах хвостохранилищ и систем дренажа.

Методы сопротивлений часто используются для определения объемов старых/заброшенных хвостохранилищ [11, 12], а также для представления их внутренней структуры и неоднородности [13, 16]. Крупнообломочные пустые породы обладают более высоким сопротивлением, чем уплотненные слои мелких фракций частиц, что дает возможность лучшего понимания гидрогеохимической зональности отвалов [19]. При этом, содержимое хвостохранилища обычно обладает большей электрической проводимостью, чем окружающая среда, что позволяет правильно отобразить границу раздела коренных пород и дамб, используемых для хранения отходов.

В ИНГГ СО РАН на протяжении более, чем 10 лет широко проводятся комплексные исследования техногенных тел с применением геохимических и геофизических методов. Исследованы хвостохранилища и отвалы в Западной Сибири, Забайкалье и Республике Тыва. Комплексирование методов геохимического картирования, электро- и магниторазведки позволило получить информацию о внутреннем строении техногенных тел, структуре подповерхностного пространства дренажных систем, найти взаимосвязи состава твердого вещества и межпоровых флюидов, а также описать процессы трансформации техногенных тел. В докладе будут показаны результаты электротомографии на некоторых техногенных телах и природных компонентах, связанных с ними.

Исследования загрязнения воздуха вследствие деятельности горно-рудной и металлургической промышленности направлены на ветровой снос пыли с поверхности хвостохранилищ, составу аэрозольных частиц разной размерности (тонкой и ультра-тонкой фракций и эмиссии диоксида серы. Проблема *низкотемпературной* миграции паро-газовых смесей сложного состава от сульфидных хвостохранилищ практически не исследована количественно, хотя и обсуждается в литературе. В основном, работы направлены на газовый транспорт ртути [4, 15], радона и тория. Небольшое количество исследований сфокусированы на эмиссии серных газов и металлоидов: сурьмы, теллура, мышьяка и висмута.

В наших предыдущих работах установлено, что от сульфидных хвостохранилищ идет эманация диоксида серы, диметилсульфида, диметилселенида, сероуглерода и др. Кроме газов, в условиях окружающей среды в смеси обнаружены порообразующие элементы (Ca, Mg, Na, K, Si, Fe, Al, Mn), металлы (Cu, Zn, Pb, Ni, Sn) и металлоиды (As, Te, Sb). В лабораторных экспериментах доказана возможность миграции элементов в истинном паро-газовом потоке в виде частиц < 3 нм и их высокая токсичность. Примеры состава эмиссии от техногенных тел будут показаны в докладе.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИНГГ
№ 0266-2022-0028.*

Литература

1. Bao Z., Al T., Bain J. et al. Faro Waste Rock Project: Characterizing geochemical heterogeneity in sulfide-and carbonate-rich waste rock // *Appl. Geochem.* – 2020. – Vol. 121. – Art. No. 104691.
2. Blowes D., Ptacek C., Jambor J. et al. The geochemistry of acid mine // *Environ. Geochem.* – 2005. – Vol. 9. – P. 149.
3. Brookfield A., Blowes D., Mayer K.U. Integration of field measurements and reactive transport modelling to evaluate contaminant transport at a sulfide mine tailings impoundment // *J. Contaminant Hydrol.* – 2006. – Vol. 88(1-2). – P. 1–22.
4. Cabassi J., Tassi F., Venturi S. et al. A new approach for the measurement of gaseous elemental mercury (GEM) and H₂S in air from anthropogenic and natural sources: Examples from Mt. Amiata (Siena, Central Italy) and Solfatara Crater (Campi Flegrei, Southern Italy) // *J. Geochem. Expl.* – 2017. – Vol. 175. – P. 48–58.
5. Craig A.T., Shkarupin A., Amos R.T. et al. Reactive transport modelling of porewater geochemistry and sulfur isotope fractionation in organic carbon amended mine tailings // *Applied Geochemistry.* – 2021. – Vol. 127. – Art. No. 104904.
6. Demers I., Molson J., Bussiere B. et al. Numerical modeling of contaminated neutral drainage from a waste-rock field test cell // *App. Geoch.* – 2013. – Vol. 33. – P. 346–356.
7. Dold B., Fontbote L. Element cycling and secondary mineralogy in porphyry copper tailings as a function of climate, primary mineralogy, and mineral processing // *J. Geochem. Expl.* – 2001. – Vol. 74(1-3). – P. 3–55.
8. Jamieson H.E., Robinson C., Alpers C.N. et al. The composition of coexisting jarosite-group minerals and water from the Richmond mine, Iron Mountain, California // *Canadian Mineralogist.* – 2005. – Vol. 43(4). – P. 1225–1242.
9. Kazamel B.G., Jamieson H.E., Leybourne M.I. et al. Factors controlling tungsten mobility in WCu skarn tailings // *Chem. l Geol.* – 2023. – Vol. 630. – Art. No. 121487.
10. Langman J.B., Blowes D.W., Veeramani H. et al. The mineral and aqueous phase evolution of sulfur and nickel with weathering of pyrrhotite in a low sulfide, granitic waste rock // *Chem. Geol.* – 2015. – Vol. 401. – P. 169–179.
11. Martin T., Kuhn K., Gunther T. et al. Geophysical exploration of a historical stamp mill dump for the volume estimation of valuable residues // *J. Environ. Engin. Geophys.* – 2020. – Vol. 25(2). – P. 275–286.
12. Martin-Crespo T., D. Gomez-Ortiz, S. Martin-Velazquez et al. Geoenvironmental characterization of unstable abandoned mine tailings combining geophysical and geochemical methods (Cartagena-La Union district, Spain) // *Engin. Geol.* – 2018. – Vol. 232. – P. 135–146.
13. Martinez-Pagan P. Electrical resistivity imaging applied to tailings ponds: an overview // *Mine Water Environ.* – 2021. – P. 1–13
14. Mayer K.U., Frind E.O., Blowes D.W. Multicomponent reactive transport modeling in variably saturated porous media using a generalized formulation for kinetically controlled reactions // *Water Resources Research.* – 2002. – Vol. 38(9). – P. 13–21.
15. Miller M.B., Gustin M.S. Gas-exchange chamber analysis of elemental mercury deposition/emission to alluvium, ore, and mine tailings // *Chemosph.* – 2015. – Vol. 131. – P. 209–216.
16. Mollehuara-Canales R., Kozlovskaya E., Lunkka J. et al. Non-invasive geophysical imaging and facies analysis in mining tailings // *J. Appl. Geophys.* – 2021. – Vol. 192(104). – P. 402.
17. Nordstrom D.K., Blowes D.W., Ptacek C.J. Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: An update // *Appl. Geochem.* – 2015. – Vol. 57. – P. 3–16.
18. Petrunic B.M., Al T.A., Weaver L. et al. Identification and characterization of secondary minerals formed in tungsten mine tailings using transmission electron microscopy // *Appl. Geochem.* – 2009. – Vol. 24(12). – P. 2222–2233.
19. Raymond K., Seigneur N., Su D. et al. Investigating the influence of structure and heterogeneity in waste rock piles on mass loading rates-a reactive transport modeling study // *Frontiers Water.* – 2021. – Vol. 3. – P. 39.

20. Smith L.J.D., Paktunc D., Blowes D.W. Trace elements in sulfides and release to porewater from sulfide oxidation in a historical waste-rock pile, Ontario, Canada // Applied Geochemistry. – 2021. – Vol. 126. – Art. No. 104899.

УДК55:61(47+57)

МЕДИЦИНСКАЯ ГЕОЛОГИЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ НАУЧНОГО ПОГРАНИЧЬЯ

И.Ф. Вольфсон

*Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия
rosgeo@yandex.ru*

MEDICAL GEOLOGY AS A PROMISING FIELD OF SCIENTIFIC FRONTIER

I.F. Volfson

*Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia
rosgeo@yandex.ru*

Abstract. Медицинская геология, объединяющая геологические, геохимические, биомедицинские и медико-санитарные сообщества в решении широкого круга экологических проблем, является динамично развивающимся научным направлением, основу которого составляют опыт, знания и навыки целого ряда естественнонаучных дисциплин как геологического, так и медико-биологического профиля. Медицинская геология изучает различные аспекты воздействия геологических объектов естественного (породы, руды, минералы, продукты эрозии, вулканической деятельности, подземные воды и др.) и техногенного происхождения (продукты переработки рудного и нерудного минерального сырья и т.д.), геологических процессов и явлений на здоровье людей и животных, состояние растений. Изучает она и обстановки, при которых такое воздействие становится возможным [5].

Введение

Медицинская геология: немного истории научного направления

Уже много веков назад минералы и горные породы, как лекарственные средства, преобладали у народов, живущих в горных областях, в то время как в равнинных районах ведущими являлись разнообразные растения. Различные направления медицины создавались веками, накапливая свой набор лекарственных средств и традиций лечения, отражавших географические и геологические особенности территорий, например Тибета, Восточной и Западной Европы и т.д. На территории России накапливался как собственный, так и заимствовался опыт народов Ближнего, Среднего и Дальнего Востока и Западной Европы. История фармакопеи, учения о лечебных свойствах минералов, в России начинается с введения христианства на Руси в X веке, с эпохи князя Владимира. Первые литературные сведения о лечебных свойствах ряда минералов содержатся в «Изборнике» Святослава, составленном в 1073 году. Выдающийся ученый Средней Азии Авиценна (Ибн Сина, 10–11 века), в своем всемирно известном труде «Канон врачебной науки» на основании собственного опыта рекомендовал употреблять в лечебных целях около 30 минералов и описывал способы приготовления из них лекарственных средств [10]. Таким образом, традиции медицинской минералогии и в России и в странах Ближнего зарубежья имеют многовековую историю. Минералы применяются в косметических средствах, в профилактике и лечении кожных болезней, широкого спектра заболеваний внутренних органов, последствий травм и переломов. В настоящее время в медицине известны около 450 минеральных форм, в том числе глины, шунгит, цеолиты, кремнистые породы, редкие и цветные металлы и др. В России и странах Ближнего зарубежья накоплен бесценный опыт водо- и грязелечения, основанный на традициях позднего средневековья [9].

Общество развивается и существует в контакте и взаимодействии с химическими элементами и их соединениями, в том числе слагающими горные породы и минералы [1]. А.П. Виноградовым установлена связь между концентрациями определенных химических элементов в

компонентах геологической среды и здоровьем человека и животных. Он выдвинул гипотезу о биогеохимических провинциях. Данные, приведенные в трудах Биогеохимической лаборатории, возглавлявшейся А.П. Виноградовым, а позднее, в 1970–1990-х годах прошлого столетия его последователями В.В. Ковальским и А.А. Головиным послужили импульсом созданию концепции геохимической эндемичности [6; 12]. Данная концепция основана на геологических особенностях конкретного региона и проявляется на фоне превышения или, наоборот, понижения содержания элементов в компонентах природной среды относительно их Кларка концентраций. В частности, причиной эндемической болезни Кашина-Бека (или «уровской болезни») являются геохимические особенности территорий ее проявления [8]. Это тяжелое заболевание (деформирующий остеохондрартрит) было выявлено в Забайкалье, Таджикистане, Китае и Корее. Ряд исследователей считают, что причиной его возникновения являются стронций, фосфор и марганец в избытке присутствующие в почвах, в пищевых цепях, подавляющие кальций. Это приводит к критическому снижению значений Са/Р отношения в костной ткани [7]. Однако результаты более поздних исследований выдвигают на передний план роль селена в возникновении этого заболевания. Доказано, что селен ответственен за функции йода, фосфора и кальция в организме человека. Именно при его дефиците в пищевых цепочках происходит нарушение равновесия в Са/Р отношении при избытке фосфора в гидроксил-апатите костной ткани, что, в конечном счете, приводит к возникновению уровской болезни. Кроме того, дефицит селена в природных средах влечет за собой еще и возникновение очагов «кешанской болезни» – кардиомиопатии («болезнь провинции Кешан», Китай) [13].

Использование современных методов обработки геологической, геохимической и геофизической информации позволяет выявлять новые, ранее неизвестные, обстановки концентрирования геохимических элементов в природных средах. В частности, применение ГИС-технологий позволило увязать границы распространения ореолов гелия, тяготеющих к узлам пересечения разломных структур глубинного заложения, и ряда химических элементов, содержащихся в девонско-пермских водоносных осадочных формациях Восточно-Европейской платформы – фтора, стронция, лития, брома и др. Данное обстоятельство подтверждает широкие перспективы использования ГИС в переработке результатов геолого-геофизических и геохимических исследований, проведенных ранее в целях выявления, изучения и мониторинга медико-экологических обстановок, обусловленных геологическими объектами и процессами [4]. С другой стороны, медико-экологическое районирование территорий на основании современных протоколов обработки больших баз геохимических данных, позволяет прогнозировать и устанавливать местонахождение объектов бальнеологического сырья – лечебных грязей, глин и минеральных вод различного состава и показаний к применению.

Результаты исследований и их обсуждение

Несмотря на определенные успехи, которые были достигнуты в организации и исследованиях в области медицинской геологии, в России и странах Ближнего и Дальнего Зарубежья имеются определенные трудности в адаптации данного направления. Они могут быть разделены на общие и специфические. К группе общих относятся отношения с представителями родственных и смежных направлений, например, со специалистами в области экологической геологии. Существует определенное недопонимание целей и задач деятельности медицинских геологов, присутствуют разночтения в подходах и терминах и элементы соперничества. Не умаляя значения достижений специалистов из родственных и смежных научных направлений, подчеркнем, что в фундамент медицинской геологии заложена сложная система знаний, понятий и опыта геологических, экологических и медико-биологических дисциплин, выражаемая простой формулой: на здоровье человека влияют геологические процессы и геологические объекты природного и техногенного происхождения. Это позволяет трактовать цели и задачи медицинской геологии, в существенной степени, шире, чем у упомянутых

смежных дисциплин. И примеров подобного рода в последние годы накопилось немало. В частности, стали научной классикой условия и механизмы возникновения балканской эндемической нефропатии (БЭН) – заболевания почек, установленного и описанного в границах угленосных бассейнов на севере Балканского полуострова, в Сербии, Румынии и Болгарии и в районе Паудер Бэзин (США) в связи с загрязнением подземных вод полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) естественного происхождения; флюороз в Индии, Китае, России и Литве, диабет, рак, кожные и сердечно-сосудистые заболевания в Бангладеш, Таиланде, Чили и на Тайване в связи с загрязнением поверхностных и подземных питьевых вод мышьяком из сульфидоносных формаций и т.д. [13] Приведенные примеры уверенно увязываются с медико-экологическими проблемами, в том числе и природно-техногенных систем [2, 3, 11].

Заключение

Таким образом, отвечая на сомнения коллег-экогеологов, мы говорим, что экологическая геология изучает обстановки воздействия, но не механизмы воздействия на здоровье объектов геологической среды; не ставит, а только констатирует диагноз, сделанный медиками. Медики, в свою очередь, не ставят задач по изучению геолого-геохимических особенностей территорий возникновения очагов эндемических и соматических заболеваний. Наш вывод: комплексный подход к проблеме геологии и здоровья обеспечивает медицинская геология, реализующая знания и опыт целого ряда естественнонаучных дисциплин.

Детальный анализ установленных фактов и закономерностей способствует аргументированному решению ряда народно-хозяйственных и социальных задач, главными среди которых являются защита здоровья населения, улучшение качества его жизни и реализация права человека на безопасную среду обитания и осуществления профессиональной деятельности.

Литература

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. и др. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. – М. : Медицина, 1991. – 496 с.
2. Алексеев В.М., Фаррахов Е.Г., Вольфсон И.Ф. К вопросу о производственном травматизме и профессиональных заболеваниях при проведении геологоразведочных работ // Разведка и охрана недр. – 2017. – №8. – С. 55–62.
3. Викулин А.В., Вольфсон И.Ф., Грачев Л.А. и др. Геология, медицина и социум // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2015. – №1 (25). – С. 41–55.
4. Вольфсон И.Ф. Медико-экологические аспекты многоцелевого геохимического картирования // Разведка и охрана недр. – 2022. – № 2. – С. 56–61.
5. Вольфсон И.Ф. Медицина и геология: на пути к взаимопониманию // Разведка и охрана недр. – 2023. – № 1. – С. 38–43. – doi: 10.53085/0034-026X_2023_01_38.
6. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М. : Наука, 1974. – 303 с.
7. Кравченко С.М. Влияние окружающей среды на устойчивость гидроксил-апатита костей человека: постановка задачи // Минералогические исследования в решении экологических проблем : тр. конференции по экоминералогии, 29–30 января 1996 г. – М. : ИГЕМ РАН, 1998. – С. 87–105.
8. Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р., Барановская Н.В. и др. Комплексные геохимические исследования компонентов природной среды в эндемичных районах Забайкалья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 2. – С. 7–25.
9. Царфис П.Г. Курорты : в 2-х томах. – М. : Профиздат, 1991. – 512 с.
10. Юшкин Н.П. Минеральный мир и здоровье человека [Электронный ресурс] // Вестник Отделения наук о Земле РАН. – 2004. – №1(22). – URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2004/scpub-1.pdf.
11. Amaral A.F.S., Arruda M., Cabral S, et al. Essential and non-essential trace metals in scalp hair of men chronically exposed to volcanogenic metals in the Azores, Portugal // Environ. Int. – 2008. –

Vol. 34. – P. 1104–1108.

12. Golovin A.A., Krinichkin L.A., Pevzner V.S. Geochemical specialization of bedrock and soil as indicator of regional geochemical endemicity // *Geologija*. – 2004. – Vol. 48. – P. 22–28.
13. Selinus O., Alloway B., Centeno J.A. et al. (Eds.) *Essentials of medical geology: Impacts of the natural environment on public health*. – Amsterdam : Elsevier, 2005.

УДК: 550.423

ОТНОШЕНИЕ U/Th КАК ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР В РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ГРАНИТАХ МОНГОЛИИ

О. Гэрэл, Д. Бат-Улзий

*Институт Геологии и Горного дела, Монгольский университет науки и технологий
gerel@must.edu.mn, ulzii@must.edu.mn*

THE U/Th RATIO AS A GEOCHEMICAL INDICATOR IN RARE METAL GRANITES OF MONGOLIA

O. Gerel, D. Batulzii

*School of Geology and Mining, Mongolian University of Science and Technology
gerel@must.edu.mn, ulzii@must.edu.mn*

Introduction

Rare metal granites enriched in Li, F, Sn, Nb, Ta, and U are key magmatic sources of strategic and critical metals. Mongolia hosts numerous rare metal granite plutons distributed across various tectonic terranes within the Central Asian Orogenic Belt (CAOB). Many evolved granites, particularly Li-F granites with elevated U/Th ratios, serve as useful indicators of magmatic differentiation, source characteristics, and mineralization potential. However, the U/Th ratio is one of the most important indicators for understanding the rare metallic granites used in the work of Professor Rikhvanov. The U/Th ratio helps to distinguish metasomatic origins of rare metal granites, and the magmatic origin was highlighted in the ongonite dikes of Mongolia by Pikhvanov.

U/Th Ratio in Rare Metal Granites

Uranium and thorium are high incompatible elements during partial melting and magmatic differentiation (Rikhvanov, 2002). However, they behave differently under various physicochemical conditions. Thorium tends to be incorporated early into accessory phases such as monazite and allanite, while uranium is more mobile, especially under oxidizing or fluorine-rich conditions. As a result, U/Th ratios tend to increase during advanced fractional crystallization and in magmas influenced by fluid or volatile phases.

In granitic systems, highly evolved A2-type peraluminous and Li-F granites usually show U/Th ratios greater than 1.0, and in some cases, some exceed 4.0.

In contrast, I- and S-type granites usually show U/Th ratios below 1. The elevated U/Th ratios in Li-F granites are mainly attributed to the evolution of fluorine-rich melts, which enhance uranium solubility while thorium is sequestered into early-crystallizing monazite. Late-stage fluids can further enrich uranium in some cases, contributing to secondary U anomalies.

Examples of Mongolian Rare Metal Granites

One of the best examples is the Janchivlan pluton (U-Pb age: 227–195 Ma), located on the margin of the large Khentei Batholith (Kovalenko et al., 1999). The Janchivlan pluton is a post-orogenic, multiphase intrusion consisting of porphyritic, coarse-grained biotite granite with miarolitic pegmatites, two-mica granite with Sn-bearing greisen, biotite-bearing K-feldspar granite, and late-stage Li-F granite (Kovalenko et al., 1971). The evolved Li-F facies contain lepidolite, topaz, fluorite, and cassiterite, and are associated with Li and Sn mineralization. Geochemical data reveal uranium contents up to 40 ppm and thorium between 10 - 20 ppm in the most evolved samples, with U/Th ratios ranging from 1.8 to 3.2. These elevated U/Th values are consistent with extensive fluid involvement during late-stage crystallization and high fluorine activity, which promotes uranium transport.

Another example is the Late Carboniferous Bituu-Jida pluton (U-Pb age of 311 Ma) in Northern Mongolia, part of the Jida rare metal belt near the Russian border (Antipin et al., 2016). The evolved Li-F granites in this pluton display U/Th ratios ranging from 1.5 to 2.8. Zircon and monazite saturation occur late in the fractionation sequence, accumulating uranium in the melt. These

granites are also enriched in Li, Ta, and Be (Antipin et al., 2016).

Petrogenetic Interpretation

U/Th ratios in Mongolian rare metal granites support a model involving prolonged magmatic differentiation, fluid saturation, and the evolution of fluorine-rich melts. Elevated U/Th values reflect the differing mobility and compatibility of uranium and thorium during magmatic and hydrothermal processes. The consistently high U/Th ratios in evolved Li-F granites suggest that uranium remains mobile during late-stage magmatism and can contribute to secondary uranium mineralization in greisen and pegmatites. The significance of the U/Th ratio in Mongolian rare metal granites was first highlighted by L.P. Rikhvanov et al. (2009, 2017), who used this ratio to distinguish between magmatic and metasomatic origins of rare metal granites.

Metallogenic Significance

High U/Th ratios correlate with rare metal mineralization, such as Li, Sn, U, and Nb-Ta, indicating the presence of fertile granitic magma.

Exploration targets for rare metals in Mongolia should prioritize granites with high U/Th ratios and enrichments in F, Li, Rb, and other incompatible elements. Geochemical mapping using U/Th ratios can effectively delineate zones of advanced differentiation within large granite bodies.

Conclusions

The U/Th ratio is a robust geochemical tool for interpreting granite magma evolution and mineralization potential of the rare metal granites.

In Mongolia, elevated U/Th values observed in plutons such as Janchivlan and Bituu-Jida reflect crustal melting, fluorine-rich magmatism, and magmatic-hydrothermal evolution. These findings reinforce the metallogenic importance of evolved granite systems within the Central Asian Orogenic Belt.

References

1. Antipin V.S., Gerel O., Perepelov A.S. et al. Late Paleozoic and Early Mesozoic rare-metal granites in Central Mongolia and Baikal region: review of geochemistry, possible magma sources and related mineralization // *Journal of Geosciences*. – 2016. – Vol. 61(1). – P. 105–125.
2. Kovalenko V.I., Kuzmin M.I., Zonenshain L.P. et al. Rare-metal granitoids in Mongolia: petrology, distribution of rare elements and Origin. – Moscow : Nauka, 1971, P. 1–239 (In Russian)
3. Коваленко В.И., Костицын Ю.А., Ярмолюк В.В. и др. Источники магм и изотопная (Sr, Nd) эволюция редкометалльных Li-F гранитоидов // *Петрология*. – 1999. – Т. 7, № 4. – С. 401–429.
4. Рихванов, Л.П., Арбузов, С.И., Бат-Ульзий, Д. Новые данные по геохимии онгонитов. – Томск. Геосферные исследования 1. – 2017. – С. 50–59.
5. Рихванов Л.П., Арбузов С.И., Бат-Ульзий Д. Радиогеохимические особенности онгонитов Монголии // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы III международной конференции*, г. Томск, 23–27 июня 2009 г. – Томск : STT, 2009. – С. 494–498.
6. Рихванов Л.П. Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2002. – 536 с.

УДК 504.55.06:622.3

ИСТОРИЯ ДОБЫЧИ РАДИЯ В ТУЯ-МУЮН (КЫРГЫЗСТАН) И ЕГО СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Б.М. Дженбаев, Б.Т. Жолболдиев, З.А. Джаманбаева, У.Ж. Кармышева
Институт биологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Киргизия

HISTORY OF RADIUM MINING IN TUYA-MUYUN (KYRGYZSTAN) AND ITS CURRENT STATE

B.M. Dzhenbaev, B.T. Zholboldiev, Z.A. Dzhamanbaeva, U.Zh. Karmysheva
Institute of Biology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan
kg.bek.bm@bk.ru, kg.bek.ilim@gmail.com

Аннотация. В статье дана краткая характеристика истории открытия радия и результаты исследований по современному состоянию медно-уранового месторождения Туя-Муюн в Ошской области (Кыргызстан). Месторождение относится к нижнекаменноугольным массивам и рудник Туя-Муюн карстового происхождения, руды сложены вторичными урановыми минералами и вмещают породы, представленных известняками. Основным носителем урана был неизвестный ранее водный уранилванадат кальция $(\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$, названный *теомоюнитом*. Своеобразие Туя-Муюнского месторождения – уран и радийсодержащие минералы туранит, ферганит, алаит и туямюнит, являлись для науки новыми минералами урана. По данным академика А.Е. Ферсмана, Туя-Муюнский рудник был единственным в мире своеобразным уранованадиевым рудником. В проведенных нами исследованиях установлено современное состояние радиационного фона уранового месторождения Туя-Муюн, от 25 до 360 мкР/ч, вокруг вертикальных ходов или шахт. Радиационный фон, в целом, не превышает предельно допустимой нормы 15–18 мкР/ч, за исключением отвалов и вокруг ходов или шахт.

Актуальность

Исследуемый участок Туя-Муюн находится в Ошской области Кыргызстана, недалеко от границы с Узбекистаном (рис. 1). Все объекты уранового наследия данного участка находятся примерно на расстоянии 2 км от с. Кара-Кокту. От села Кара-Кокту ведет гравийная дорога, от села до г. Ош через г. Ноокат. асфальтированная дорога. Приблизительное расстояние от исследуемого участка 710 км до г. Бишкек, 50 км до г. Ош (через Ноокат) и 12 км до г. Нооката [1, 6, 8].

Известно, что на территории Кыргызстана добыча радия началась с XX века на юге республики, в горном обрамлении Ферганской долины, в месторождении Туя-Муюн. Медно-ванадиево-урановое месторождение Туя-Муюн находится в северных предгорьях Алайской долины и в южной части Ферганской долины, в левом борту среднего течения р. Араван, на перевале Туя-Муюн (в переводе с кыргызского Верблюжий горб), в 30 км к юго-западу от г. Ош.

Месторождение относится к нижнекаменноугольным массивам, местами перекристаллизованное, сильно закарстованный известняк, оконтуренных с севера и юга тектоническими контактами с мощной верхнесилурийской толщей глинисто-углистых и кремнистых сланцев, песчаников и туфов. Таким образом, рудник Туя-Муюн карстового происхождения, руды сложены вторичными урановыми минералами, а вмещающие породы представлены известняками. Однако с давних времен этот рудник был известен местному населению для добычи медной руды, до разработок XX века здесь располагалась древняя шахта. В средние века он активно разрабатывался китайцами, его открытие и получение первого радия связано с историей Кокандского ханства, а для местных жителей имело большое значение проведение разведочных работ геологов того времени [1, 7, 9].



Рис. 1. Карта-схема Кыргызской Республики с указанием расположения участка Туя-Муюн

Добыча радиоактивной руды на месторождении Туя-Муюн была начата в 1890-х гг. По литературным данным, французские исследователи Пьер и Мари Кюри уже в конце 1890-х гг. работали с рудой Туя-Моюн для извлечения радия, который был официально открыт в 1898 г. После присоединения Кокандского ханства к Российской империи, в 1899 г. в его бывших владениях была построена Среднеазиатская железная дорога. Вдоль трассы дороги проводились геологические изыскания, в том числе юристом и предпринимателем В.А. Спечевым была сделана заявка на рудное месторождение Туя-Муюн на залежь медных руд. В.А. Спечев собрал на этом месте образцы руд, среди которых были урановые минералы. Разведка и добыча радия на месторождении Туя-Муюн началась в начале 1900-х гг., инженером Антуровичем и первое время находилось в руках частного «Ферганского акционерного общества для добычи редких металлов», имевшим в Петербурге пробный завод по переработке руд, содержащих радий. Разведочные работы с использованием алмазных буров были проведены в 1904 г. «Ферганское акционерное общество для добычи редких металлов» добыло 820 т руды за период с 1907 по 1913 гг. Большая часть этой руды (655 из 820 т) была отправлена в Санкт-Петербург (Россия) для извлечения радия /урана, который затем экспортировался в Германию [10, 13].

Но практического применения радию в России того времени не нашлось, и месторождение было забыто. После революции единственным известным к этому времени месторождением урана в России было Среднеазиатское месторождение в Туя-Муюне. Руда этого месторожде-

ния, по данным разных авторов, содержала 0,14–4,52% U_3O_8 . Кроме урана, в руде находились ванадий (1,83–6,37%) и медь (3,10–10,88%). Всего было здесь добыто около 5 тыс. т руды с содержанием 1 г. радия в 250–300 т руды. К.А. Ненадкевич в 1908–1910 и в 1912 гг. исследовал месторождение и привез оттуда много образцов. Основным носителем урана был неизвестный ранее водный уранилванадат кальция $(Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot nH_2O)$, он назвал его **теомоюнитом**. Своеобразие Туя-Муюнского месторождения – уран и радий, содержащие минералы туранит, ферганит, алаит и туямюнит, являлись для науки новыми минералами урана. По данным академика А.Е. Ферсмана Туя-Моюнский рудник был в то время единственным в мире своеобразным уранованадиевым рудником. Запасы месторождения оценивались в 15–20 г. радия, 60 т. урана, 120 т. меди [1, 5, 6, 9, 19, 20].

Позднее, в 1915–1916 гг., по инициативе В.И. Вернадского и купца П.П. Рябушинского на руднике Туя-Муюн начались работы над радием (уран). В Советское время выяснилось, что по чистоте радия Туя-Муюн занимает первое место, но крупных запасов радия не имеет. Руда здесь сконцентрирована в кальцит-баритовых телах, относящиеся к древним карстовым полостям в нижнекаменноугольных известняках (Ферсман, 1928). Возраст карста, согласно данным В.И. Казанского (1970), палеозойский, т.е. гораздо более древний, чем предполагалось ранее.

В Советское время выяснилось, что по чистоте радия Туя-Муюн занимает первое место, но крупных запасов радия не имеет. По данным экспедиции 1922 г., запасы доступной к предосмотру руды составляли 5 000 тонн и в этом году на Туямуюнской руде заработал первый Советский радиевый завод: на нем из урановой руды добывали радий. Главная жила была отработана в 1924 г. до глубины 114 м. В 1927 году глубина подземной выработки достигла 170 м, где залежали грунтовые воды. Последующая отработка до глубины 220 м потребовала активного регулирования шахтных вод. На этом этапе добыча была прекращена из-за технических трудностей, связанных с попаданием воды, однако точные сведения о годе прекращения добычи отсутствуют (предположительно между 1930 и 1936 гг.) [4, 15, 17].

Следующий этап работ на Туя-Моюн был связан с разведкой урана. Для выполнения программы геологоразведочных работ в 1945 году было создано государственное предприятие № 15 (Предприятие № 15). Центральное управление предприятия № 15 находилось в г. Ленинабаде (ныне Худжанд), Таджикистан. Это центральное управление в Ленинабаде руководило работами по разведке, добыче и переработке урана в Табошаре, Адрасмане, Чкаловске в Таджикистане, а также в Майлуу-Суу и Туя-Моюн в Киргизии (ныне Кыргызская Республика). Есть информация, что для создания первой Советской атомной бомбы 29 августа 1949 г. использован радий из Туя-Муюна [7, 13, 15, 20].

Изучение Туямуюнского месторождения провели знаменитые известные советские геологи Д.И. Мушкетов (1926), Д.В. Наливкин (1926), К.А. Ненадкевич. (1909, 1912, 1919, 1926), А.Е. Ферсман (1927–1928), Д.И. Щербаков (1924), В.И. Лучицкий (1926), И.С. Комишан (1926), А.С. Моисеев (1924), В.Г. Хлопина и М.А. Пасник (1927) и многие другие исследователи.

В начале 1950-х гг. программа геологоразведочных работ была прекращена. После окончания разведки рекультивационные работы не проводились. Большинство отвалов пустой породы, существующих в настоящее время на Туя-Моюнском месторождении, относятся к этому периоду геологоразведки. Последний этап работ на объекте пришелся на конец 1950-х – начало 1960-х гг. В подземных галереях шахты Туя-Моюн проводились подземные испытательные взрывы под научным руководством Академии наук Советского Союза. Часть подземных галерей была переоборудована под камеры хранения взрывчатых веществ, которые доставлялись к камерам по железной дороге в водоотводной штольне. В 1959 г. были проведены два крупных взрыва 190 и 600 т тротила. Сейсмические волны, вызванные этими подземными взрывами, были зарегистрированы и научно проанализированы. Сведений о проведении рекультивационных работ после испытательных взрывов нет.

Следует отметить, что после добычи радия во времена Советского Союза и после развала Союза данные радиевые месторождения Туя-Муюн остались бесхозными. Местные жители и прилегающее хозяйствующие субъекты используют данные территории как весенняя и осенняя пастбища для скота.

В то же время известно, что при извлечении горных руд, особенно радионуклиды остаются и радиоактивность на месте залегания руды. Вместе с тем, при добыче и переработке образуются отвалы пустой породы и хвосты обогащения, которые требуют к себе повышенного внимания в современное время. Поэтому необходимо проводить радиоэкологические исследования для обеспечения радиоэкологической безопасности окружающей среды в этом районе и блуждающих населенных пунктов в регионе, туристов и спелеологов.

Материалы и методы исследований

Нами радиоэкологические исследования проводились на территории природно-техногенной провинции Туя-Муюн. В исследовании применялись лабораторные оборудования лаборатории биогеохимии и радиоэкологии Института биологии НАН КР – спутниковый прибор (GPS, который регулярно автоматически фиксировал долготу и широту местонахождения, dosimeter-radiometer DKS-96, который регулярно фиксировал радиационную дозу месторождений и прилегающих территорий.

Обследование проведено по параметру: измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма излучения в контрольных точках (по сетке) на высоте 1.

Выполнены измерения мощности дозы гамма излучения на высоте 1 м в точках по сетке. В контрольных точках, где мощность дозы гамма излучения превысила допустимый уровень радиационного фона (0,3 мкЗв/ч) дополнительно отобраны пробы почв с поверхности грунта. Результаты измерений представлены в таблице 6, схема расположения контрольных точек представлена в приложении 1. На вкладке приложения 1 представлен график плотности распределения МЭД в контрольных точках (в абсолютных единицах).

Полевые работы на всех участках, включали в себе измерение географических координат, измерение значений мощности экспозиционной дозы (МЭД), отбор проб, маркировку пробы проводили по общепринятыми методиками. Измерения проводились в соответствии с инструкциями МАГАТЭ по наземному обследованию радиационной обстановки на высоте 0,1 и 1 м от поверхности земли. Согласно техническим инструкциям дозиметров, измерения в одной точке проводилось не менее трех раз, затем определялось среднеарифметическое значение [10, 11, 14, 18].

Почвенное исследование и отбор почвенных образцов проводилось согласно ГОСТ 17.4.3.01-83 «Общие требования к отбору проб почвы». Общий анализ почвенного покрова проведен в Республиканской почвенно-агрохимической станции при Министерстве Сельского хозяйства Кыргызской Республики. Почвенные пробы отбирались из верхних горизонтов (до 20–25 см), где в основном сосредоточены питательные элементы и химические загрязнители [2, 3, 8].

Комплексные научно-экспедиционные исследования проведены в апреле-мае 2017 года и июль-август 2024 г., с научными сотрудниками лаборатории биогеохимии и радиоэкологии Института Биологии НАН КР. Переработка материала научно-экспедиционных работ и анализ проведена в лаборатории биогеохимии и радиоэкологии ИБ НАН КР.

Результаты исследований и их обсуждение

Нами проведено обследование современного состояния почвенно-растительного покрова, содержания радионуклидов и токсических элементов в объектах окружающей среды (почва, вода) на территории бывших урановых производств. Район исследования расположен на южном склоне хребта Туя-Муюн, простирающегося с востока на запад, в западных отрогах Алайской горной системы, в среднегорном поясе со сравнительно рассеченным рельефом (похож на горб верблюда, четко разделено на три участка, названия связано с этим). Этот

хребет состоит в основном из известняков. Территория участка может быть охарактеризована как пустошь с большими площадями выходов скальных пород. Растительный покров скуден из-за очень тонкого слоя плодородной почвы. Приблизительный диапазон абсолютных высот данного участка 1309 м над уровнем моря верху горы Туя-Муюна, в юго-западной части расположены отвалы, а также хорошо заметно вертикальный и горизонтальные ходы рудника (рис. 2 и табл. 1), даны координаты и точки отвалов.

Таблица 1. Месторасположения точки и координаты отвалы Туя-Муюн

№ точки	Место расположения точки	Координаты		
		h	N	E
1	Кызыл-Мойнок дорога между горами	839	41.277057	71.590030
2	Отвал 1	934	41.16691	71.59817
3	Отвал 2	1025	41.16710	71.59825
4	Отвал 3	1165	41.16833	71.59397
5	Отвал 4	1208	41.16890	71.59405
6	Отвал 5	1124	41.16892	71.59405
7	Каньон Данги	1276	—	—



Рис. 2. Общий вид местности с растительным покровом

Почвенный покров

На обследованном участке почвы представлены темными туранскими сероземами. Мощность их невелика и составляет 0,1-0,2 м. Естественная растительность представлена мелко-травьем, и на склонах развито богарное земледелие. Темные сероземы Нооката, развиты на суглинках и более плодородны, чем темные сероземы других зон.

Сероземы туранские темные формируются на обширных подгорных наклонных равнинах, значительно расчлененных долинами рек и временными водотоками, и на холмистых предгорьях. Нижняя граница распространения сероземов проходит на высоте 200–400 м над уровнем моря, верхняя – на высоте 1200–1600 м. Наиболее распространенными почвообразующими породами являются лессы и лессовидные суглинки, часто подстилаемые галечниками; кроме того, встречаются мелкоземистые и каменистые породы.

Содержание гумуса следующее: в слое 0-15см колеблется в пределах – 0,42–2,96%, CO_2 – 3,52–14,96 %, общего азота – 0,037–0,174%; валовый калий – 0,037–0,175%, валовый фосфор – 0,87–1,47%, подвижная форма фосфора – 7,0–60,0 мг/кг,

Реакция почвенного раствора от слабощелочной до щелочной – pH в пределах – 7,85–8,43. Механический состав представлен с учетом содержания физической глины (частицы размером <0,01 мм) по классификации Качинского.

Градации фракции.

Песок – содержание частиц размером 1–0,05мм.

Крупная пыль (лессовидная фракция) – 0,05–0,01мм;

Мелкая + средняя пыль – 0,01–0,001мм,

Сумма частиц – <0,01мм (физическая глина).

Механический состав представлен следующими фракциями: содержание песка в слое 0–15 см – 1,40–40,52%; крупной пыли – 4,24–28,84%; мелкая + средняя пыль – 0,40–27,40; сумма частиц (<0,01мм) – 9,16 – 62,32%).

Мощности экспозиционной дозы

В исследованиях определяли мощность радиационного фона уранового месторождения Тое-Моюн, от 25 до 360 мкР/ч, вокруг вертикальных ходов или шахт. По определению GPS и радиометра DKS-96 месторождение Туя-Муюн расположено на высоте 1000-1300 м. над уровнем моря, радиационный фон не превышает предельно допустимой нормы 15-18 мкР/ч, исключая отвалы и вокруг ходов или шахт.

Отвалы пустой породы образованы за счет отсыпки породы и пустого отвального материала из горных выработок вниз по склону. Склоны отвалов характеризуются естественным углом трения более крупнозернистого отвального материала (30°-35°). Небольшие эрозионные каналы незначительны. Все отвалы геотехнически устойчивы.

Если превышение уровня 0,30 мкЗв/ч (300 нЗв/ч) согласно национальным нормам КР условно использовать в качестве критерия наличия радиоактивной пустой породы в отличие от естественного, ненарушенного грунта, почвы или незагрязненных вскрышных пород, то участки, требующие дополнительного внимания, показаны на рис. 3 и 4). Другие зоны показали уровни МЭД в пределах естественного фона. По результатам измерений радиационного фона составлена карта-схема мощности экспозиционной дозы месторождения Туя-Муюн, с использованием программ «Surfer-12», представлен на рисунке 4.

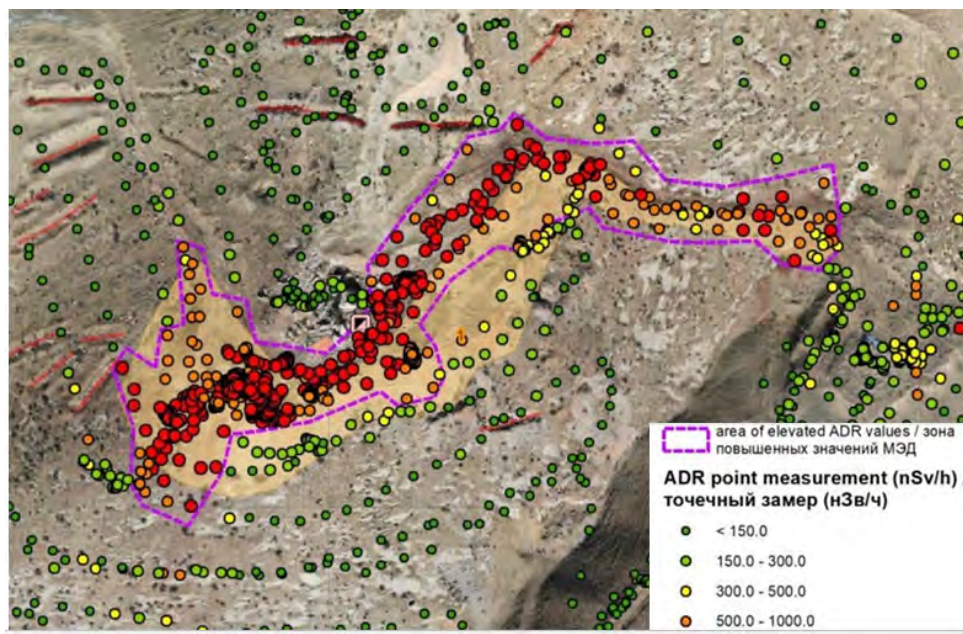


Рис. 3. Зоны с радиоактивными промтоходами с превышением уровня МЭД 0,30 мкЗв/ч (300 нЗв/ч)

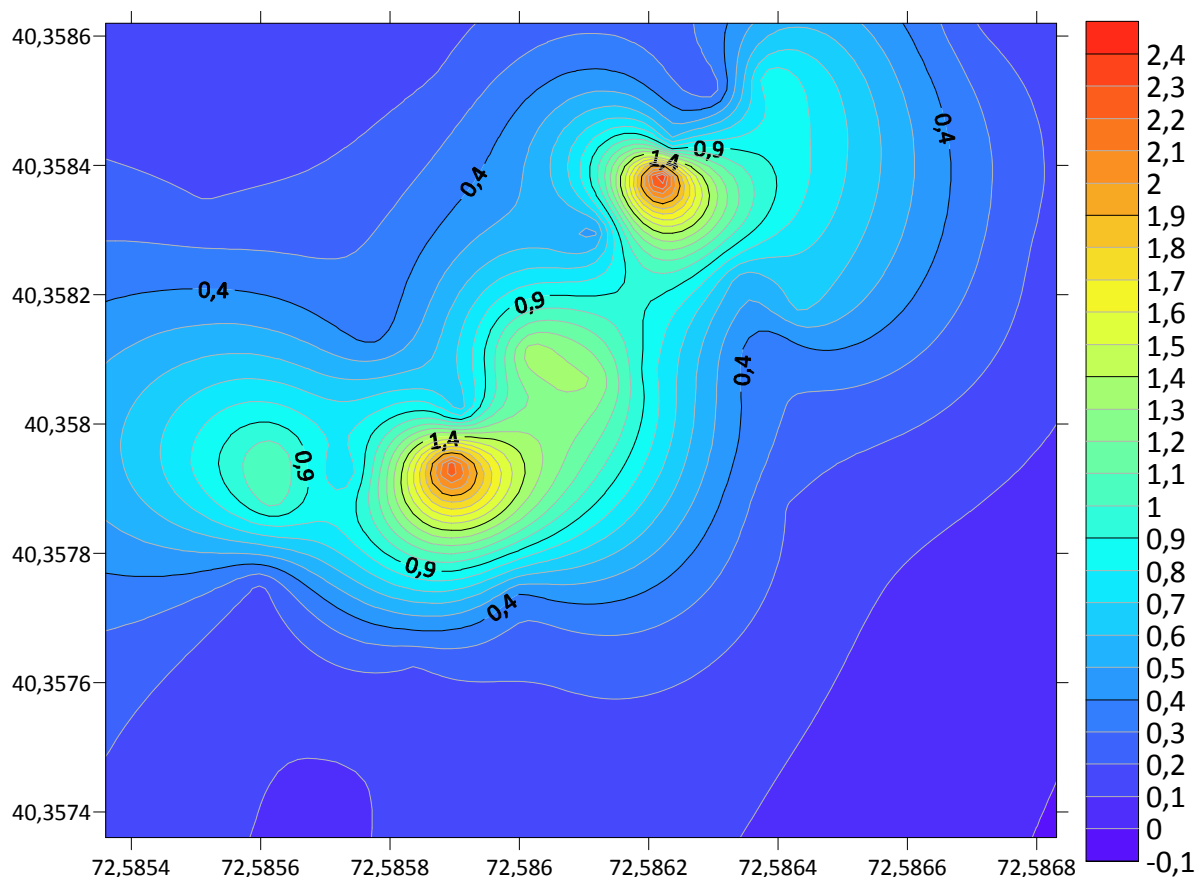


Рис. 4. Карта-схема мощности экспозиционной дозы уранового месторождения Туя-Муюн

Определение содержания ^{238}U в пробах окружающей среды проводились с спектрометрическим методом возможно только по ^{234}Th и $^{234\text{m}}\text{Pa}$ после выдержки пробы в течение 160 дней, результаты показано в таблице 2.

Таблица 2. Результаты гамма – спектрометрического анализа

Площадка	Удельная активность Бк/кг											
	Ra-226			U-238 *			Th-232			Pb-210		
ТМ-1а	8060,1	±	374,9	1769,5	±	103,2	25,5	±	5,4	1292,8	±	46,6
ТМ-1б	8303,5	±	386,5	1029,4	±	60,0	35,0	±	12	909,3	±	32,8
ТМ-2	452,1	±	21,1	214,3	±	12,5	37,7	±	8,0	139,3	±	5,0
ТМ-4	1517,2	±	70,6	450,4	±	26,3	35,5	±	7,5	129,3	±	4,7

Значительное неравновесие между ^{226}Ra и дефицитным ^{238}U наблюдается в отобранных из пробы 2018 г. и других пробах пустой породы проба отбора 2024 года. Результаты исследований показывают, что Ra – 226, U-238 и Pb-210 в участке ТМ–1а и ТМ-1б больше по сравнению ТМ-2 и ТМ-4 повышено, а Th-232 на всех 4 участках на одном уровне с небольшими отклонениями. Поэтому нужно обратить внимание на эти 2 участка, что по отношению ТМ-2 и ТМ-4 повышено более 10 раз, что требуют особого внимания.

Заключение. Современная радиационная мощность экспозиционной дозы в окрестности уранового месторождения Туя-Муюн на уровне допустимой нормы, на отдельных участках на отвалах, во входах на шахты и прилегающих участках выше предельно допустимой нормы. Например, в средней части горы вокруг вертикального хода и отвалов пустой породы, можно считать имеется очаг уранового месторождения в данном районе. Поэтому нами про-

водилось детальное изучение этого месторождения и даны рекомендации: закрыть все вертикальные и горизонтальные ходы; поставить указательные знаки и проводить рекультивацию отвалов пустой породы; необходимо проводить работу с местными жителями, предупреждая спелеологов и туристов об опасности в пещерах. Особенно постоянную опасность представляют вертикальные ходы или карьер, это приносит много вреда фермерам живущим по близости, которые ежегодно теряют десятки голов скота.

Литература

1. Александров С.П. О Тюя-Муюнском руднике // Горный журн. – 1923. – № 12. – С. 791–795.
2. Аринушкина Е.В., Руководство по химическому анализу почв. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
3. ГОСТ 53123-2008. Качество почвы. Отбор проб. – М. : Стандартиформ, 2009. – 60 с.
4. Дженбаев Б.М., Мурсалиев А.М. Биогеохимия природных и техногенных экосистем Кыргызстана. Бишкек, 2012. — 404 с.
5. Дженбаев Б.М., Калдыбаев Б.К., Жолболдиев Б.Т. Проблемы радиоэкологии и радиационной безопасности бывших урановых производств в Кыргызстане // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2013. – Т. 53, № 4. – С. 428–431.
6. Дженбаев Б.М., Кармышова У.Ж., Жолболдиев Б.Т. Современное радиоэкологическое состояние медно-уранового месторождения Тое-Моюн // Доклады НАН КР. – 2017. – №1. – С. 6–10.
7. Карпенко В.Ю., Агаханов А.А., Паутов Л.А. Туранит с Тюя-Муюна, Киргизия: новые данные о минерале // Новые данные о минералах. – М., 2005. – Вып. 40. – С. 37–43.
8. Мамытов А.М. Почвы Киргизской ССР. – Фрунзе : Илим, 1974. – 407 с.
9. Ненадкевич К.А. Тюямунит – новый минеральный вид // Известия Императорской АН. – 1912. – Серия. 6, № 15. – С. 945–946.
10. Ненадкевич К.А., Волчков П.А. О новом минерале – тангите из Тюямуяна // ДАН СССР. Сер. А. – 1926, март. – С. 43–46.
11. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
12. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010) СП 2.6.1.2612-10;
13. Смольянинова Н.Н. Минералогия и генезис Тюя-Муюнского месторождения // Очерки по геологии и геохимии рудных месторождений / под ред. Ф.И. Вольфсона. – М. : Наука, 1970. – С. 58–90.
14. О радиационной безопасности : закон Кыргызской Республики от 29.11.2011 №224. – URL: <https://clck.ru/3NpP59>
15. Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. – Бишкек, 2009. – 239 с.
16. Djenbaev B.M., Kaldybaev B.K., Zholboldiev B.T. Radioactive Waste / edited by R.O. Abdel Rahman. – London : IntechOpen, 2012. – 502 p. – doi: 10.5772/33618.
17. Djenbaev B.M., Kaldybaev B.K., Zholboldiev B.T. et al. // Journal of Physical Science and Environmental Studies. – 2020. – Vol. 6(1). – P. 11–22. – doi: 10.36630/jpses_19012.
18. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection : ICRP Publication 60 // Ann. ICRP. – 1991. – 21.
19. Ферсман А.Е. Тюя-Муюнский радиевый рудник (Из впечатлений поездки весной 1924 года) // Природа. – 1924. – № 1-6. – С. 57–88.
20. Ферсман А.Е. К морфологии и геохимии Тюя-Муюна // Труды. по изучению радия и радиоактивных руд. – Л., 1927. – Т. 3. – С. 1–92.

УДК631.445.122; 631.433,5; 547.211

ПОТОКИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.А. Дюкарев^{1,2}, Е.А. Головацкая¹, А.А. Дмитриченко², Е.А. Заров², А.А. Кулик²,
Е.Д. Лапшина², К.Н. Пустовалов^{1,3}, А.А. Сат^{1,3}, С.В. Смирнов^{1,3}

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

²Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

³Томский государственный университет, г. Томск, Россия

dekot@mail.ru

CARBON DIOXIDE FLUXES IN PEATLAND ECOSYSTEMS OF WESTERN SIBERIA

E.A. Dyukarev^{1,2}, E.A. Golovatskaya¹, A.A. Dmitrichenko², E.A. Zarov², A.A. Kulik²,
E.D. Lapshina², K.N. Pustovalov^{1,3}, A.A. Sat^{1,3}, S.V. Smirnov^{1,3}

¹Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

²Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

³Tomsk State University, Tomsk, Russia

dekot@mail.ru

Аннотация. По результатам экспериментальных исследований на карбоновых полигонах в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре и Томской области изучена суточная и годовая динамика потоков углекислого газа и метана в типичных болотных экосистемах. Годовые оценки чистого экосистемного обмена полученные методом турбулентных пульсаций и камерным методом показывают, что ненарушенные болота являются стоком атмосферного углерода, поглощая от 48 до 151.5 гС/м² и источником метана с выделением до 13.9 5 гСН₄/м² в год.

Болотные экосистемы занимают значимую роль в круговороте углерода как в локальном, так и в глобальном масштабе. Болота в естественном ненарушенном состоянии являются низко продуктивным стоком углерода с длительным периодом хранения. Процесс депонирования углерода нестабилен – в разные годы одни и те же болота могут быть как нетто-стоком, так и нетто-источником углерода. Основным фактором регулирования процесса накопления углерода болотными экосистемами являются климатические и гидрологические условия. Болотные экосистемы выступают вторыми по запасу углерода на Земле (после океана) и первыми на суше [7].

Особую роль в запасании углерода играют бореальные болота северного полушария: накопленное количество углерода в них оценивается в пределах 473–621 Гт углерода [9]. В Западной Сибири болотные комплексы занимают площадь оцениваемую в 42% от общероссийской площади болот [1]. Территория Западной Сибири характеризуется высокой долей болотных экосистем в нативном состоянии, что делает ее идеальным объектом для изучения влияния глобальных изменений на биогеохимические процессы болотных экосистем во всем мире.

Натурные исследования характеристик микроклимата болотных экосистем, включая составляющие теплового и радиационного баланса и углеродного обмена, были организованы на научно-исследовательской полевой станции «Мухрино» [3,6] и стационаре «Васюганье» [2].

На научно-исследовательской полевой станции «Мухрино» наблюдения проводились на двух пунктах КМ-MUN1 и КМ-MUN2. Пункт наблюдений КМ-MUN1 расположен в типичном грядово-мочажинном комплексе в центральной части олиготрофного болота Мухрино. Второй пункт наблюдений (КМ-MUN2) – на расстоянии 630 м на северо-восток от первого в сосново-кустаничково-сфагновом фитоценозе на том же болотном массиве. На стационаре «Васюганье» наблюдения проводились на грядово-озерковом комплексе Бакчарского болот-

ного массива на станции ТО-PLT. Измерительные комплексы были установлены на новых мачтах на высотах 9.3 м (KM-MUN1) и 14 м (KM-MUN2) и 4.3 м (ТО-PLT) над поверхностью болота.

Потоки тепла, влаги и углекислого газа измеренные методом турбулентных пульсаций и представляют собой интегральную оценку потоков с территории. Данные наблюдений обрабатывались в программном обеспечении EddyPro (LI-COR Inc., USA) с применением стандартных поправок [5]. В результатах пульсационных измерений присутствуют многочисленные пропуски, связанные как с перерывами в работе оборудования, так и с фильтрацией некорректных данных в условиях слабого турбулентного перемешивания. Для корректной оценки годовой вариабельности потоков тепла, пропуски в данных были заполнены с помощью пакета REddyProc [8]. Дополнительная фильтрация результатов расчетов выполнена в пакете EddyFilter [3].

Измерение потоков CO₂ с поверхности наземного покрова проводилось с использованием камерной автоматизированной системы мониторинга потоков парниковых газов КАСМ-8 (ИМКЭС СО РАН, Россия). Исследования проводились восемью прозрачными камерами, установленными в окрестности станции наблюдений пульсационным методом.

По данным пульсационных измерений на стационаре «Мухрино» суммарное поглощение углерода с апреля по сентябрь 2023 г. на грядово-мочажинном комплексе (станция KM-MUN1) составило 118.8 гC/м², а на сосново-кустарничково-сфагновом болоте (KM-MUN2) поглощение было 151.5 гC/м². При этом с экосистемным дыханием в атмосферу выделилось 272.6 и 392.5 гC/м², а растительность в процессе фотосинтеза поглотила 392.3 и 544 гC/м² по данным измерений на KM-MUN1 и KM-MUN2, соответственно. Оба исследованных болотных комплекса действовали как сток атмосферного углерода с мая по сентябрь, при этом наибольшее поглощение на станции KM-MUN1 получено в июле (43.3 гC/м²), а на станции KM-MUN2 – в июне (54,7 гC/м²). В 2022 г суммарное поглощение углерода за вегетационный период на грядово-мочажинном комплексе (KM-MUN1) было оценено в 112.5 гC/м², а за год болото аккумулировало 82.8 гC/м².

Чистый экосистемный обмен по данным измерений на стационаре «Васюганье» (ТО-PLT) с мая по октябрь отрицательный и составляет от –3,1 до –42,6 гC/м² в месяц, за исключением сентября и октября 2023 г, когда суммарный месячный NEE был положительным (+9,6 и +22,6 гC/м²). Суммарные потоки за май были рассчитаны по данным измерений за последние 10-15 дней месяца, поэтому эти оценки являются ориентировочными, однако они необходимы для вычисления суммарного поглощения за вегетационный период и сопоставления результатов за разные годы. Годовой ход NEE в 2023–2024 гг. существенно отличается от 2022 г, когда максимальное поглощение углерода (–36,1 гC/м²) было в июне, а в сентябре (+8,8 гC/м²) и октябре (+20,6 гC/м²) болото являлось источником углерода. Суммарные месячные потоки в 2023 и 2024 гг. близки и отличаются менее чем на 6 гC/м² в августе. Всего за теплый период (май-октябрь) болотная экосистема накопила 170,6 и 168,4 гC/м² в 2024 и 2023 гг., что в 2,2 раза больше, чем в 2022 г. (76,3 гC/м²).

Литература

1. Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П. и др. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. – 1994. – №1 2. – С. 17–25.
2. Головацкая Е.А., Веретенникова Е.Э., Дюкарев Е.А. Потоки парниковых газов и депонирование углерода в олиготрофных торфяных почвах южной тайги Западной Сибири // Почвоведение. – 2024. – №2. – С. 226–236.
3. Дюкарев Е.А. Программа для ЭВМ «EddyFilter» Свидетельство о государственной регистрации № 2024617870 от 05.04.2024.
4. Дюкарев Е.А. Заров Е.А., Кулик А.А. и др. Потоки углекислого газа в болотных экосистемах карбонового полигона «Мухрино» // Карбоновые полигоны: мониторинг, геоинформационные системы, секвестрационные технологии : монография / под ред. С.К. Гулева, А.В. Ольчева. –

- М. : Научный мир, 2025. – 420 с.
5. Burba G. Eddy covariance method for scientific, industrial, agricultural and regulatory applications. – Lincoln : LI-COR Biosciences, 2013. – 331 p.
 6. Kupriianova I.V., Kaverin A.A., Filippov I.V. et al. The main physical and geographical characteristics of the Mukhrino field station area and its surroundings // *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. – 2022. – Vol. 13(4). – P. 215–252.
 7. Rydin H., Jeglum J.K. The biology of peatlands . – Oxford : Oxford University Press, 2013. – 370 p.
 8. Wutzler T., Lucas-Moffat A., Migliavacca M. et al. Basic and extensible post-processing of eddy covariance flux data with REddyProc // *Biogeosciences*. – 2018. – Vol. 15. – P. 5015–5030.
 9. Yu Z., Loisel J., Brosseau D.P. et al. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum // *Geophysical Research Letters*. – 2010. – Vol. 37(13). – doi: 10.1029/2010GL043584.

УДК 550.47+57.014

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СТАТУС РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ НАСЕЛЕНИЯ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ

Е.В. Евстафьева^{1,2}, И.В. Шуляк², Л.Ш. Дудченко²

¹*Институт фундаментальной медицины и здоровьесбережения,
Севастополь, Россия, e.evstafeva@mail.ru*

²*Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской
климатологии и реабилитации имени И.М. Сеченова, Ялта, Россия
shulyak.i.v.300482@yandex.ru, vistur@mail.ru*

THE ELEMENTAL STATUS OF VARIOUS CATEGORIES OF THE CRIMEAN PENINSULA'S POPULATION

E.V. Evstafeva^{1,2}, I.V. Shulyak², L.Sh. Dudchenko²

¹*Institute of Fundamental Medicine and Health Preservation, Sevastopol, Sevastopol, Russia
e.evstafeva@mail.ru*

²*Academic Scientific-Research Institute of Physical Treatment Methods, Medical Climatology and Rehabili-
tation named after I.M. Sechenov, Yalta, Russia
shulyak.i.v.300482@yandex.ru, vistur@mail.ru*

Аннотация. В докладе излагаются подходы к оценке экологического риска для экосистем и здоровья человека, разработанные и внедряемые в течение более 20 лет в Крымском регионе. Они основаны на учете биогеохимических характеристик территорий и оценке элементного разных групп населения. Характеризуются особенности элементного статуса, обусловленные как природными условиями региона, так и другими факторами (разные возрастные группы, наличие хронического заболевания, профвредность и т.п.).

Введение

Полуостров Крым представляет собой разнообразную в плане природных условий территорию, где представлены два биогеохимических региона и несколько десятков типов почв. Интенсивное развитие региона в последнее время сопровождается его активной трансформацией, что может приводить как к формированию техногенных биогеохимических провинций, так и изменению элементного статуса жителей. В связи с этим целью ведущихся в течение многих лет в Крыму биомониторинговых исследований является определение особенностей последнего у разных категорий населения.

Материал и методы

Обследованы разные категории населения Крыма: взрослые и дети, здоровые и с хроническими заболеваниями; проживающие на сельскохозяйственных территориях и в городах (Симферополь, Севастополь). Определение 28 микро- и ультрамикроэлементов (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U) в биосубстратах (волосы, кровь) производили нейтронно-активационным методом.

Результаты и обсуждение

Выявлены особенности микроэлементного статуса жителей Крыма в сравнении с другими регионами Российской Федерации, которые по всей видимости обусловлены биогеохимическими особенностями региона. Он характеризовался в основном дефицитом эссенциальных элементов (Zn, Ca, Cu, Fe и др.), который был выражен в различной степени в зависимости от вида химического элемента и категории населения. Так, практически у всех обследованных детей по результатам определения содержания элементов в волосах констатировали дефицит цинка и кальция, а также низкое содержание железа, меди. При этом вариабельность содержания эссенциальных и условно токсичных элементов была меньше в сравнении с элементами

ми, известными своими токсическими свойствами. Повышенное содержание токсичных элементов не носило распространенного характера и в ряде случаев определенным образом было связано с профессиональной деятельностью и/или особенностями образа жизни. Выявлены особенности элементного статуса у жителей разных городов (Симферополь, Севастополь) полуострова. Особенно значительно элементный дисбаланс был выражен у жителей, имеющих хронические заболевания дыхательной, нервной, эндокринной, сердечно-сосудистой систем (бронхиальная астма, постковидные состояния, гипо-, гипертиреоз, сердечная недостаточность и др.), что может иметь практическое значение в аспекте применения реабилитационных мероприятий. Отмечены различия элементного статуса у жителей разных городов. Установлена разная тропность микроэлементов в отношении функционального состояния регуляторных и висцеральных систем организма.

УДК 56.074.6

**СВИДЕТЕЛЬСТВА УЧАСТИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ
В ФОРМИРОВАНИИ УНИКАЛЬНЫХ Nb-REE РУД ТОМТОРСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**С.М. Жмодик, Е.В. Лазарева, В.А. Пономарчук, Т.Н. Мороз,
Б.Ю. Сарыг-оол, А.В. Толстов, А.Ю. Белякова, А.С. Шавекин, А.Ю. Розанов**
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
zhmodik@igm.nsc.ru

**CERTIFICATES OF MICROORGANISMS PARTICIPATION
IN THE FORMATION OF UNIQUE Nb-REE ORES (TOMTOR DEPOSIT)**

**S.M. Zhmodik, E.V. Lazareva, V.A. Ponomarchuk, T.N. Moroz,
B.Yu. Saryg-ool, A.V. Tolstov, A.Yu. Belyakova, A.S. Shavekin, A.Yu. Rozanov**
V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
zhmodik@igm.nsc.ru

Abstract. На основании данных, полученных методами сканирующей электронной микроскопии, КР(Рамановской)-спектроскопии и изотопного анализа углерода и кислорода показано активное участие микроорганизмов в концентрировании редкоземельных элементов (РЗЭ), ниобия и железа при формировании уникальных по содержаниям и запасам руд Томторского Sc-Nb-REE-месторождения. В рудах установлено широкое распространение бактериальных биоморфных структур, выполненных или замещенных, прежде всего, фосфатами и алюмофосфатами РЗЭ и ниобия, а также сульфидами железа. Изотопный состав углерода карбонатов и углеродистого вещества в уникально богатых Nb-REE-рудах в полной мере соответствует биогенному углероду. В горизонтах с большим количеством фосфата кальция (апатитолитах) обнаружены апатиты, формирование которых происходило при участии цианобактерий, что доказывается соответствующими КР-спектрами.

Введение

Томторское месторождение редких и редкоземельных элементов является крупнейшим в Мирове (super-large или world-large deposit) и располагается в пределах Томторского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов на севере Республики Саха (Якутия), занимающая площадь около 250 км² [8, 7]. Карбонатиты составляют центральную часть массива, которая окружена породами микроклин-слюдистого и микроклин-апатит-слюдистого состава и в меньшей мере щелочными породами основного и ультраосновного состава. Во внешней части массива распространены нефелиновые и щелочные сиениты.

В результате ранее проведенных исследований была выделена кора выветривания, сформированная по коренным породам массива, с наиболее мощным профилем по редкометалльным карбонатитам, с каолинит-крандаллитовым, сидеритовым, гетитовым и франколитовым горизонтами. Уникально богатые Sc-Nb-REE руды распространены в виде пластовых залежей во впадинах (депрессиях, котлах) на площади Томторского массива (участки Буранный, Северный и Южный) [7, 4]. Условия появления уникально богатых Sc-Nb-REE-руд активно обсуждаются в течение многих лет, так как выяснение геолого-структурных, минералогическо-геохимических и физико-химических обстановок и факторов формирования и сохранения томторских руд имеет важное научное и практическое значение.

На настоящее время существуют различные представления о причинах формирования уникальных Sc-Nb-REE руд нижнего и верхнего уровней [1–3, 5, 10, 11], в частности: 1 – преобразование в результате окислительного выветривания редкометалльных карбонатитов; 2 – изменение в процессе восстановительного эпигенеза верхних горизонтов коры выветривания редкометалльных карбонатитов; 3 – формирование в виде делювиальных и хемогенно-

осадочных озерных отложений; 4 – образование рудоносных прибрежно-морских отложений с циано-бактериальными сообществами; 5 – отложение руд в результате гидротермального процесса, низкотемпературной сидеритизации и выветривания. Кроме того, в разрезах коры выветривания (нижнего рудного горизонта) обнаружены богатые Nb-REE-руды, по содержаниям сопоставимые с рудами участка Буранный [3].

Материалы и методы

Проведено комплексное изучение уникально-богатых руд (керна колонкового бурения) с участков Буранный, Северный и Южный Томторского Nb-REE-месторождения с применением методов сканирующей электронной микроскопии (MIRA 3 LMU (Tescan Ltd)), изотопного анализа углерода и кислорода (масс-спектрометр FINNIGAN MAT-253), а также микроспектроскопии комбинационного рассеяния (КР, Рамановской) (Horiba Jobin Yvon LabRAM HR800 спектрометр). Аналитические работы проведены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты, свидетельствуют о важной роли микроорганизмов в перераспределении и накоплении редкоземельных элементов и ниобия в нижнем и верхнем рудных горизонтах Томторского месторождения. Концентрирование редкоземельных элементов, ниобия, фосфора и других осуществлялось сообществом микроорганизмов (рис. 1): фототрофов, метаногенов, метанотрофов и протеобактерий – составляющих основу микробиоценоза палео-экосистемы Томторского месторождения [9]. В рудах широко распространены фрамбоиды пирита. Изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ карбонатов во всех изученных образцах уникальных руд соответствует биогенному [6], а изотопный состав $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ (от 7 до 20‰) позволяет говорить об эндогенной (гидротермальной) и, в меньшей мере, экзогенной природе растворов. Весь комплекс данных, а также низкие значения $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ карбонатов, имеющие значения $\sim 0.704\text{--}0.7045$, исключают участие морской воды. Появление аномально низких значений изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$ в карбонатах Nb-REE-руд обусловлено биогенным окислением метана с $\delta^{13}\text{C}_{\text{мет}}$ до -70‰ . Методом рамановской (КР) микроспектроскопии выявлена ассоциация цианобактерий с агрегатами апатита. Цианобактерии проявляют рамановские моды в области $1520\text{--}1517\text{ см}^{-1}$, локализованные по двойным связям центральной части полиеновой цепи каротиноидов [12].

Заключение

В результате комплексного исследования с применением методов сканирующей электронной микроскопии, изотопного анализа углерода и кислорода, а также КР-микроспектроскопии показано активное участие микроорганизмов в процессе формирования уникально-богатых Sc-Nb-REE-руд участков Буранный, Северный и Южный Томторского редкометалльного месторождения.

Исследования выполнены за счет финансовой поддержки Российского Научного Фонда, грант №23-63-10017, <https://rscf.ru/project/23-63-10017>.

Литература

1. Жмур С.И., Кравченко С.М., Розанов А.Ю. и др. О генезисе богатых редкоземельно-ниобиевых руд Томтора (север Сибирской платформы) // Доклады Академии наук. – 1994. – Т. 336, № 3 – С. 372–375.
2. Коноплев А.Д., Толстов А.В., Васильев А.Т. и др. Особенности локализации редкометалльного оруденения на месторождении Томтор // Редкометалльно-урановое рудообразование в осадочных породах. – М. : Наука. – 1995. – С. 223–241.
3. Лапин А.В., Толстов. Минерогения кор выветривания карбонатитов. – М. : Геокарт-Геос,

2011. – 308 с.
4. Лазарева Е.В., Жмодик С.М., Добрецов Н.Н. и др. Строение рудного горизонта участка Буранный месторождения Томтор и распределение REE_2O_3 и Y_2O_3 // Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России : материалы XIV Международной научно-практической конференции. – Якутск, 2024. – С. 139–144.
 5. Покровский Б.Г., Беляков А.Ю., Кравченко С.М. и др. Происхождение карбонатитов и рудной толщи массива Томтор (северо-западная Якутия) по изотопным данным // Геохимия. – 1990. – № 9. – С. 1320–1329.
 6. Пономарчук В.А., Добрецов Н.Л., Лазарева Е.В. и др. Свидетельства микробиально-индуцированной минерализации в породах Томторского карбонатитового комплекса (Арктическая Сибирь) // Доклады РАН. Науки о Земле. – 2020. – Т. 490 (2). – С. 33–38.
 7. Толстов А.В., Тянь О.А. Геология и рудоносность массива Томтор. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1999. – 164 с.
 8. Эрлих Э.Н. Новая провинция щелочных пород на севере Сибирской платформы // ЗВМИ. – 1964. – Т. 429, ч. 93(6). – С. 682–693.
 9. Dobretsov N.L., Zhmodik S.M., Lazareva E.V. et al. Structural and Morphological Features of the Participation of Microorganisms in the Formation of Nb–REE–Rich Ores of the Tomtor Field (Russia) // Doklady Earth Sciences. – 2021. – Vol. 496 (2). – P. 135–138.
 10. Kravchenko S.M., Pokrovsky B.G. The Tomtor alkaline ultrabasic massif and related REE-Nb deposits, northern Siberia // Econ. Geol. – 1995. – Vol. 90(3). – P. 676–689.
 11. Lazareva E.V., Zhmodik S.M., Dobretsov N.L. et al. Main minerals of abnormally high-grade ores of the Tomtor deposit (Arctic Siberia) // Russian Geology and Geophysics. – 2015. – Vol. 56(6). – P. 844–873.
 12. Moroz T.N., Edwards H.G.M., Zhmodik S.M. Detection of carbonate, phosphate minerals and cyanobacteria in rock from the Tomtor deposit, Russia, by Raman spectroscopy // Spectrochimica Acta, Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2021. – Vol. 250(119372). – P. 1–6.

УДК 622.331:665.44

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТОРФОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л.И. Инишева¹, С.А. Ефимова¹, Е.В. Порохина¹, А.В. Головченко²

¹Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия
inisheva@mail.ru, sefimova20@gmail.com, porohkatrin@yandex.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
golovchenko.alla@gmail.com

CHEMICAL PROPERTIES AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF WESTERN SIBERIA PEATS

L.I. Inisheva¹, S.A. Efimova¹, E.V. Porokhina¹, A.V. Golovchenko²

¹Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia,
nisheva@mail.ru, sefimova20@gmail.com, porohkatrin@yandex.ru

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
golovchenko.alla@gmail.com

Аннотация. Многообразие условий образования болот определяет значительное разнообразие химического состава торфов. В Западной Сибири ботаническая классификация включает 186 видов торфа. Поэтому важно знать химические и биологические свойства каждого вида торфа, чтобы определить сырьевую базу для производства той или иной продукции. В работе приведены химические и биологические свойства торфов на примере олиготрофного болота. Показана взаимозависимость химических и биологических свойств торфов. Установлено, что оценка торфяной сырьевой базы по широкому спектру химических и биологических свойств позволит расширить сферы применения получаемых торфяных препаратов в различных областях биологии, медицины и сельского хозяйства.

Введение

В Сибири сосредоточено 39% торфяных ресурсов мира, а заторфованность в центральной части Западно-Сибирской равнины достигает 25% [1]. Многообразие условий образования болот определяет значительное разнообразие химического и биологического состава торфов. В Западной Сибири ботаническая классификация включает 186 видов торфа, а с учетом степени разложения и зольности более 5 тысяч видов. Наиболее изучены виды торфов олиготрофного типа, но в основном по химическим параметрам. Вместе с тем, спектр химических и биологических свойств торфов достаточно широк и неоднороден по стратиграфии залежи месторождения. Поэтому весьма важным является правильный выбор необходимой сырьевой базы с конкретными свойствами торфов, и их запасов на конкретную продукцию. Цель работы – привести биохимическую характеристику торфов, слагающих торфяную залежь верхового типа.

Объекты исследований

Объектом исследований послужило торфяное болото на Обь-Томском водоразделе (координаты отбора образцов 56°23'15.5" с.ш. и 84°37'53.2" в.д.), подстилающие породы: пески. По стратиграфии залежи было отобрано 13 образцов торфа. Одинаковые по ботаническому составу торфа для изучения их органического вещества были объединены в пять образцов. Методы исследований подробно изложены в [2].

Результаты исследований

С поверхности и до глубины 175 см торфяная залежь (ТЗ) сложена верховыми торфами разного ботанического состава, далее идет травяно-гипновый переходный торф, который на

глубине 250 см и до подстилающих минеральных пород переходит в осоково-гипновый торф низинного типа (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика торфов олиготрофного болота

Глубина см	Вид, тип	Ботанический состав	Степень разложения%	Зольность%	Азот валовой %	pH солевой	Выход ГК, % на daf
0–50	Сосново-сфагновый верховой	<i>Sph. angustifolium</i> 30, <i>Sph. balticum</i> 20, <i>Sph. majus</i> 15, <i>Sph. magellanicum</i> 5, шейхцерия 5, сосна 15	25	4,3	1,4	2,3	21,5
100–150	Сосново-пушицевый верховой	<i>Sph. magellanicum</i> 15, сосна 40, пушица 30, вересковые кустарнички 10	50	2,6	1,2	2,4	24,9
150–175	Комплексный верховой	<i>Sph. balticum</i> 25, <i>Sph. magellanicum</i> 15, <i>Sph. angustifolium</i> 15, осока 5, пушица 25, сосна 15	30	2,4	1,3	2,4	27,8
175–200	Комплексный переходный	<i>Sph. balticum</i> 35, <i>Sph. magellanicum</i> 15, <i>Sph. angustifolium</i> 5, осока 5, пушица 25, сосна 15	30	2,4	1,8	2,9	28,4
200–250	Травяно-гипновый переходный	<i>Sph. balticum</i> 10, гипновые мхи 40, пушица 20, осока 20, сосна 10	30	3,3	2,0	3,0	27,4

Торф характеризуется низкой величиной pH, высокой степенью разложения и по зольности относится к малозольным торфам, мощность ТЗ – 3,25 м. Содержание гуминовых кислот (ГК) по ТЗ изменяется от 21,5 до 35,6% в торфах верхового и переходного типов и 41,3% – в низинном торфе.

Анализ ИК-спектров ГК позволяет отметить соответствие профилей полос поглощения типичным для ГК. Количественная оценка содержания функциональных групп по данным ИК-спектроскопии показывает значительную замещенность атомов водорода в ароматическом кольце на гидроксильные, алкильные заместители и эфирные фрагменты.

Рассмотрим характеристику биологического режима в ТЗ в конкретных погодных условиях летнего периода (май–сентябрь) 2022 г., который можно охарактеризовать как теплый и засушливый. В профиле до подстилающей породы, микробиота характеризуется высокой активностью (рис. 1).

Изменения микроорганизмов на глубине свидетельствуют о размножении микробного комплекса и в нижних слоях. Численность бактерий и спор грибов плавно уменьшается вниз по профилю. Актиномицетный мицелий выявлен преимущественно в верхних слоях ТЗ. В грибной составляющей микробной биомассы на всех глубинах преобладали споры. Грибной мицелий фиксировался только до глубины 175 см, максимальные значения отмечались в верхних слоях (24–56 м/г). Таким образом, в структуре микробной биомассы в ТЗ олиготрофного болота преобладает бактериальная составляющая.

Показателем интенсивности процессов трансформации органического вещества (ОВ) в ТЗ является активность ферментов полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПДО) (рис. 2).

Наибольшую активность ПФО проявляют в верхнем слое 0–25 см. По отдельным месяцам активность ПФО различается. Так, в верхнем слое наименьшие значения фермента отмечаются во влажные периоды (май, июль), а максимум активности ПФО – в последующие за ними сухие месяцы (июнь, август). В средней части залежи (50–175 см) более благоприятные условия для деятельности фермента наблюдаются, преимущественно, в мае и сентябре, а в нижней части ТЗ (200–325 см) – в июле-августе. Слой ТЗ мощностью 175 см, сложенный олиготрофными торфами, характеризуется низкими значениями ПДО (не превышают 8,16 мг 1,4-бензохинона/г*30 мин). Одновременно в нижней части ТЗ (200–325 см) активность ПДО увеличивается в 3–5 раз, по сравнению вышележащими слоями.

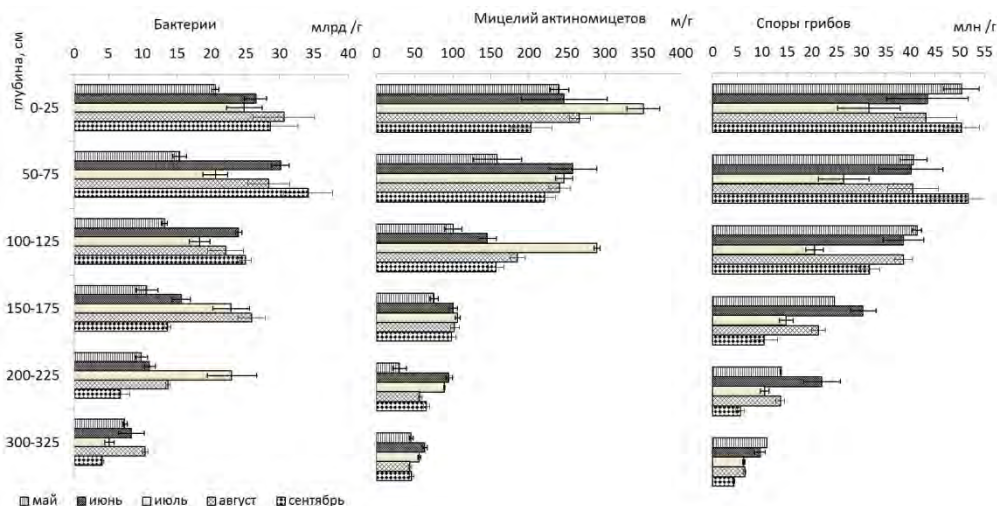


Рис. 1. Микробная биомасса в торфяной залежи верхового болота



Рис. 2. Динамика полифенолоксидазной (а) и пероксидазной (б) активности в торфяной залежи олиготрофного болота

Корреляционный анализ связей между химическим составом торфов и биологическими характеристиками показал наличие связи между мицелием актиномицетов и суммой воднорастворимых и легкогидролизуемых веществ ОВ торфов ($r=0,94$, $p<0,05$), между ферментативной каталазой и фульвокислотами ($r=0,85$, $p<0,05$), между ПДО и содержанием битумов ($r=-0,63$, $p<0,05$).

Заключение

В зависимости от условий торфогенеза в ТЗ в разные годы по метеоусловиям, микробиота и ферменты проявляют разную активность с получением разнообразных продуктов биохимического синтеза, а, следовательно, биологические показатели позволяют прогнозировать изменения природного сырья в процессе трансформации ОВ в ТЗ и при добыче торфа. На основании проведенных исследований можно выделить слой торфа глубиной залегания от 150 до 325 см, который оптимален по свойствам для получения, например, биологически активных веществ. Однако важно учесть, что по стратиграфии залежи месторождения, мощность и глубина залегания этого слоя торфа будет меняться. В дальнейшем предполагается разработать биологические и химические критерии прогнозной диагностики торфов для сельскохозяйственной продукции.

*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 24-26-00161,
<https://rscf.ru/project/24-26-00161>.*

Литература

1. Инишева Л.И., Земцов А.В., Мезенцев А.В. Болота Западной Сибири – их роль в биосфере. – Томск : ТГУ, 1998. – 72 с.
2. Inisheva L.I., Yudina N.V., Golovchenko A.V. Specific features of organic matter and biological properties of peats in forest swamps and their changes in the process of functioning // Eurasian Soil Science. – 2024. – Vol. 57(11). – P. 1785–1794. – doi: 10.1134/S1064229324601768.

УДК 11; 13

К ВОПРОСУ О ВРЕМЕНИ И ВЕЧНОСТИ

М.В. Капитальчук

*Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко,
Тирасполь, Приднестровье, Молдова
marinakapitalchuk@yandex.ru*

TO THE QUESTION OF TIME AND ETERNITY

M.V. Kapitalchuk

*Shevchenko State University of Pridnestrovie, Tiraspol, Pridnestrovie, Moldova
marinakapitalchuk@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрен дискуссионный вопрос о дефиниции понятий «время» и «вечность».

А мы еще не затронули вопрос о вечности...

В.В. Ермаков

Введение

На заключительном заседании XIII Биогеохимической школы в Пущино Вадим Викторович Ермаков, анализируя широкую тематику докладов, заявил: «А мы еще не затронули вопросы о вечности...». В.В. Ермаков уделял большое внимание философскому наследию В.И. Вернадского и ценил новые подходы и анализ философских идей В.И. Вернадского в совокупности с другими философскими подходами выдающихся писателей и ученых, с которыми В.В. Вернадский контактировал. Данные тезисы посвящаются В.В. Ермакову – яркому последователю В.В. Вернадского и как биогеохимику, и как глубокому философу и исследователю.

Основная часть

В философском смысле, вечным можно считать то, что не имеет ни начала, ни конца во времени. В различных контекстах, вечность может относиться к понятиям: «природа», «космос», «душа», а также к абстрактным понятиям, таким как любовь, истина, красота. В другом смысле, относительно вечным может быть что-то устойчивое, не подверженное быстрому разрушению. И в этом смысле понятие «вечность» неразрывно связано с понятием «время». Что такое время? Веками философы задумывались и никак не могли прийти к общему мнению, что такое время. Существует множество подходов к определению. Одни признавали время всемогущим, другие полностью его отрицали. Одни считали, что время проникает повсюду, другие предполагали его только в человеческом воображении.

В.В. Вернадский видел непрерывную связь биогеохимии с философией и гуманитарными науками [4]. Свои многолетние исследования проблемы времени он подытожил в докладе Академии наук 26 декабря 1931 года. Он подчеркнул некоторые его особенности для разных объектов. Для радиоактивных элементов – строго определенное направление процесса, его необратимость. Кроме того, атом в масштабе космического времени сразу, скачками, ритмично переходит в новое состояние, распадаясь и рождая другой атом. Для организмов время – с геохимической точки зрения – выражается тройко: время индивидуального бытия, время смены поколений и время эволюционных превращений в длительном потоке поколений. Если направление и скорость распада атомов не зависят от внешних воздействий, то для живых организмов изменения (а время и есть показатель изменений) связаны неразрывно с окружающей средой. В ответ на критику философа А.М. Деборина, связанной с отсутствием четкой философской установки проблемы времени, В.И. Вернадский написал: «Дать четкую

философскую установку проблемы времени! – Да на это не хватит жизни» [1].

В.И. Вернадский, занимаясь проблемой времени, открывал путь интересный, загадочный, которому нет конца, он придавал особое значение принципу единства пространства-времени. Время – всеобъемлющая категория и нет ни одного материального объекта вне времени, также как и нет времени без материальных (измерительных) объектов.

Несмотря на очевидную смертность, человеку свойственно думать о вечности и о бессмертии. В представлениях В.И. Вернадского о единстве и геологической вечности жизни можно усмотреть что-то от субъективных ощущений. Еще до разработки учения о биосфере ученый писал, что смысл личной жизни определяется ее связью с прошлыми поколениями. Именно в единстве со всем сущим – смысл бессмертия. Р.К. Баландин подчеркивает, что В.И. Вернадский с юношеских лет всерьез задумывался о жизни и смерти, о связи поколений, о цели человеческого существования – как отдельной личности, так и всего человечества [1].

Общеизвестно, что человеку свойственно стремление увековечить себя. Увековечивание себя проявляется в различных формах: создание материальных объектов, вклад в науку и культуру, а также стремление оставить след в истории через поступки и достижения. Это желание оставить после себя что-то значимое и бессмертное, чтобы память о нем жила после физической смерти. Но это имеет смысл только в пневмосфере.

Термин "пневмосфера" был впервые использован русским философом П.А. Флоренским. Он ввел его для обозначения части вещества, вовлеченной в культурный, или, точнее, духовный круговорот. Пневмосфера, в контексте учения о ноосфере, это сфера высших духовных ценностей и духовной энергии, которая формируется и развивается под воздействием человеческого разума и его духовной деятельности. Из писем В.И. Вернадского к П.А. Флоренскому, видно, как перекликались представления Вернадского – о ноосфере и Флоренского – о пневмосфере (сфера человеческого духа) [2, 3]. Пневмосфера в содержательном смысле перекликается с психосферой и инфосферой [5].

Практически для всех материальных объектов свойственны круговороты процессов, постоянное возвращение к прежнему состоянию. Это как бы круговой ход времени. Любой материальный объект изменяется, как это хорошо заметил Геркалит «Все течет, все изменяется», который увековечил себя и свою цитату.

Заключение

Материальные составляющие (люди, природа, обстановка и т.д.) постоянно меняются. Вечной может быть только информация: информация о человеке и о его информационном вкладе (открытые законы, явления, закономерности). И это все может существовать только в пневмосфере и только в психозойскую эру.

Вечная память биогеохимикам и их научному наследию!

Литература

1. Баландин Р.К. Вернадский: жизнь, мысль, бессмертие [Электронный ресурс] // Из Архива В.И. Вернадского. – URL: http://vernadsky.lib.ru/e-texts/archive/balandin.html#603_5.
2. Берестовская Д.С. В.И. Вернадский и П.А. Флоренский – судьбы русских мыслителей // Ученые записки Таврического национального университета им В.И. Вернадского. Серия: Философия. Культурология. Политология. Социология. – 2013. – Т. 24(65). – № 3. – С. 17–30.
3. Капитальчук М.В. Антропоцентризм и биоцентризм в философском наследии В.И. Вернадского и Л.Н. Толстого // Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека : в 2 т. – Тула: Тул. гос. пед. ун-т им. Л.Н. Толстого. – 2019. – Т. 1. – С. 54–60.
4. Капитальчук М.В. Место и роль биогеохимии в развитии биологических знаний // Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине : труды XII Межд. биогеохим. школы. – Тула : Тул. гос. пед. ун. им. Л.Н. Толстого. – 2021. – С. 46–53.

5. Капитальчук М.В. Ноосфера, ноосферное мировоззрение и устойчивое развитие // Эволюция биосферы, биогеохимические циклы и биогеохимические технологии: связь фундаментальных и прикладных исследований : материалы XIII Межд. биогеохим. школы. – Пущино : Товарищество научных изданий КМК. – 2023. – С. 310–315.

УДК 631.4, 550.4

**ПРОФЕССОР МГУ Г.В. МОТУЗОВА. ВКЛАД В ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ (К 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

П.П. Кречетов, Е.И. Караванова

*МГУ имени М.В. Ломоносова
krechetov@mail.ru, karavanovaei@mail.ru*

**PROFESSOR OF MOSCOW STATE UNIVERSITY G.V. MOTUZOVA.
CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF ELEMENTS IN SOILS
(FOR THE 85TH ANNIVERSARY OF BIRTH)**

P.P. Krechetov, E.I. Karavanova

*Moscow Lomonosov State University
krechetov@mail.ru, karavanovaei@mail.ru*

Abstract. Статья посвящена научному наследию заслуженного профессора МГУ имени М.В. Ломоносова, доктора биологических наук Галины Васильевны Мотузовой в связи с 85-летием со дня рождения. Приведены итоги ее многолетней научно-исследовательской и педагогической деятельности на кафедре химии почв факультета почвоведения МГУ. На основе исследований закономерностей распределения химических элементов в почвах разных природных зон Г.В. Мотузова предложила концепцию о системной организации химического состава соединений элементов в почве, которая внесла значительный вклад в понимание природы устойчивости почв к химическому воздействию. На основе этих представлений были разработаны основы методологии и практические рекомендации для проведения экологического мониторинга почв в условиях антропогенной нагрузки и фоновое мониторинга биосферы.

Галина Васильевна Мотузова (1940–2020) – доктор биологических наук, заслуженный профессор МГУ имени М.В. Ломоносова, более полувека проработала на кафедре химии почв факультета почвоведения. Она была достойным преемником своих учителей Н.Г. Зырина, М.А. Глазовской, развивала учение В.И. Вернадского и А.И. Перельмана и внесла неопределимый вклад в развитие химии почв, биогеохимии, экологии. Сфера научных интересов Галины Васильевны была широкой, но более всего ее интересовала химия элементов в почвах. Кандидатская диссертация Галины Васильевны была посвящена формам соединений В, Мп, Си и Zn в почвах Западной Грузии [1]. В 1980–2000-е годы она принимала участие во многочисленных экспедициях: на Дальний Восток, Алтай, Кольский полуостров, Северную Осетию, разные районы Нечерноземья, Монголию, и везде предметом ее внимания и исследований были закономерности трансформации и поведения соединений химических элементов в почвах и ландшафте в целом.

Благодаря оригинальному подходу Галиной Васильевной была разработана концепция о системной организации соединений химических элементов в почвах [2]. Сегодня она является важной теоретической базой для понимания природы и интенсивности протекания химических процессов, регулирующих поведение элементов в почвах, прогнозирования экологических последствий антропогенного воздействия на почвы и разработки методологии почвенно-химического мониторинга [2, 3]. Данная концепция представляет все соединения химических элементов в почве в виде иерархической структуры, в которой нижележащие уровни являются основой для вышележащих. Фундаментом данной организации на вещественно-фазовом уровне является элементарная система соединений химического элемента. Любой из них в почве представлен прочносвязанными и подвижными соединениями твердой, жидкой и газообразной фазы. При этом все эти формы связаны системообразующими процессами синтеза, разрушения и трансформации соединений в результате реакций осаждения-

растворения, сорбции-десорбции, ионного обмена, гидролиза, диссоциации, окисления-восстановления, комплексообразования. Иерархически выше располагается почвенно-профильный уровень, представленный системой соединений химических элементов горизонтов и морфонов, а системообразующими процессами – водная и биогенная внутрiproфильная миграция веществ. Далее следуют биогеоценотический, ландшафтный и биосферный уровни, с собственной системой организации и процессами, регулирующими перенос веществ.

В рамках своей концепции Галина Васильевна сформулировала новые представления об механизмах устойчивости почв. Она показала, что устойчивость почв обеспечивается совокупностью системообразующих процессов, выработанных в процессе эволюции, и специфичных для каждого типа почв. Поскольку каждый уровень системы соединений элементов имеет собственные механизмы поддержания структуры и функционирования, основой устойчивости почвы является сбалансированность потоков вещества на каждом из них. Так, носителями устойчивости почвы на вещественно-фазовом уровне, являются прочносвязанные соединения, обеспечивающие стабильность химического состояния почв, и их лабильные формы, обеспечивающие гибкость, за счет взаимосвязи которых почвенная система проявляет буферные свойства. Устойчивость системы соединений элемента на этом уровне определяется совокупностью химических равновесий между содержанием элемента в твердой фазе и в почвенном растворе. На профильном уровне сами почвообразовательные процессы создают специфичную для данного типа почв систему соединений каждого элемента, которая далее поддерживает устойчивость почвы. Таким образом, совокупность соединений химических элементов проявляет себя как самоорганизующаяся система, поддерживающая устойчивость почв.

Понимание механизмов устойчивости почв к химическому загрязнению легло в основу работ Галины Васильевны, посвященных почвенно-химическому мониторингу [3], в том числе, вопросам организации фоновых экологического мониторинга. Эти исследования основаны на многолетней работе в Кандалакшском, Сихотэ-Алиньском, Тверском биосферных заповедниках.

Согласно системному подходу, распределение попадающих в почву веществ, в том числе, поллютантов, происходит в соответствии с типичной для каждой почвы системой организации соединений элементов, обусловленной конкретными почвенно-химическими и ландшафтно-геохимическими условиями. Галина Васильевна особо подчеркивала, что устойчивость и целостность экосистемы обеспечивается устойчивостью ее центрального звена – почвы и ее системы соединений элементов на всех уровнях организации. При оценке загрязнения почв общее содержание химических элементов является показателем менее информативным, чем для воды, воздуха или биологической продукции. В основе почвенного мониторинга должны лежать показатели содержания подвижных (водорастворимых, обменных) соединений, а также показатели буферности почв к конкретному элементу. Изменения этих показателей позволят диагностировать ранние стадии деградации почв и оценить экологические риски для сопредельных сред.

Особое место в методологии почвенно-экологического мониторинга по мнению Галины Васильевны должно уделяться определению фоновых содержания элементов в почве, что представляет собой отдельную проблему в условиях глобального загрязнения окружающей среды. Галина Васильевна считала перспективным применение статистических методов для выявления максимального содержания элемента, обусловленного естественным природным варьирования, при котором почва сохраняет устойчивое функционирование.

В 2010-е годы внимание Галины Васильевны было сосредоточено на применении предложенных теоретических подходов для анализа различных природных и антропогенных ситуаций с экологической и агрономической целью. Итоги этих исследований нашли отражение в учебных пособиях, книгах и коллективных монографиях, опубликованных в России и за ру-

бежом [3–7]. Всего ею опубликовано около 400 работ, в их числе 27 книг.

Галина Васильевна много времени и сил всегда уделяла учебной работе. Она читала курсы лекций «Химическое загрязнение и его экологические последствия», «Экологический мониторинг», «Почвенно-химический экологический мониторинг», «Устойчивость почв к загрязнению», «Экологическая безопасность производств в России». Подготовила ряд кандидатов наук, в числе которых были специалисты из Вьетнама, Сирии, Грузии. Много сил и внимания посвящала научно-организационной работе, являясь членом Центрального совета и Председателем комиссии по химии почв Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, членом многих Международных научных обществ. Принимала участие в многочисленных международных съездах и конференциях по вопросам почвоведения, экологии, биогеохимии, загрязнения почв и биосферы, где всегда акцентировала внимание зарубежных ученых на учении В.И. Вернадского, значении химических процессов в выполнении почвами их уникальных экологических функций и современных задачах химии почв.

Имя Галины Васильевны внесено в биографический справочник наиболее известных российских и советских исследователей почв «Женщины-почвоведы» [8]. За цикл научных работ она была награждена премией Государственного комитета по народному образованию.

Сегодня, оценивая научное наследие Галины Васильевны Мотузовой, можно с уверенностью сказать, что оно представляет существенный вклад в развитие науки о почвах.

Литература

1. Мотузова Г.В. Формы соединений микроэлементов в субтропических почвах Западной Грузии : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1972. – 24 с.
2. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. – М. : Эдиториал УРСС, 1999. – 168 с.
3. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. – М. : Академический Проект Гаудеамус, 2007. – 237 с.
4. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. – Ростов-на-Дону : Эверест, 2009. – 206 с.
5. Minkina T.M., Motusova G.V., Nazarenko O.G. et al. Heavy metal compounds in soil: Transformation upon soil pollution and ecological significance. – New York : Nova Science Publishers, 2010. – 184 p.
6. Motuzova G.V., Makarichev I.P., Dergham H.M. et al. Soil organic matter and their interactions with metals: processes, factors, ecological significance. – New York : Nova Science Publishers, 2012. – 136 p.
7. Мотузова Г.В., Карпова Е.А. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. – М. : Изд-во МГУ, 2013. – 303 с.
8. Сычева С.А. Женщины-почвоведы. Биографический справочник / под ред. Г.В. Добровольского, Н.Г. Рыбальского. – М. : НИИ-Природа, 2003. – 440 с.

УДК 536.7

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГЕО- И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

С.И. Мазухина

*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН», Апатиты, Россия
simazukhina@mail.ru*

PHYSICOCHEMICAL MODELING IN GEO- AND BIOGEOCHEMICAL SYSTEMS

S.I. Mazukhina

*Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Apatity, Russia
simazukhina@mail.ru*

Abstract. Лечебные воды Краснодарского и Ставропольского краев пользуются популярностью у жителей Мурманской области. На основании полного гидрохимического анализа, показавшего наличие РЗЭ в лечебных водах Кавказа (источник №7, нарзан доломитовый, г. Кисловодск) и результатов моделирования установлены формы миграции элементов как в природных (подогретых) водах, так и их трансформации при взаимодействии с желудочным соком в условиях параметров организма человека при недостатке HCl. Результаты исследования позволили оценить влияние HCl на поведение РЗЭ, изменение значений pH, выпадение твердых фаз, что поможет медикам оценить необходимость применения вод нарзана при лечении гастритов с секреторной недостаточностью. Результаты исследований могут быть использованы в областях геохимии, гидрологии, экологии, медицины.

Введение

Применение метода физико-химического моделирования [2] в изучении основополагающей для земной коры системе «вода-порода – газ – органическое вещество» была обусловлена необходимостью прогноза изменения химического состава вод в результате природной или техногенной нагрузки, водоподготовки, а также влиянием на здоровье человека, поскольку геохимические свойства вод оказывают прямое биохимическое воздействие на организм человека и его физиологические функции. Ранее термодинамическое моделирование применялось для исследования системы «природные воды – желудочный сок (ЖС)» [1], где в качестве природных вод использовались «Марциальные воды» (Карелия), питьевые воды (родники, колодцы, скважины) Апатито-Кировского и Ловозерского районов Мурманской области, лечебные воды Краснодарского края (Горячий ключ) [3, 4]. В результате исследований были определены формы миграции элементов в условиях повышенной и пониженной кислотности, условия и состав минеральных фаз, которые могут быть транспортированы из желудка в другие органы и ткани, определены значения Eh, pH. В рамках данной работы предлагается рассмотреть минеральные воды Кавказа (г. Кисловодск, Ставропольский край) на примере нарзана (доломитовый) (отбор 18.06.2023, скв. № 7) и сопоставить с водами Севера.

Материалы и методы

Основной метод исследования – метод физико-химического моделирования (ПК «Селектор»), разработанный в Институте геохимии (г. Иркутск) [2]. Используемая модель представлена в [3]. Полный гидрохимический анализ состава вод выполнен на современном уровне с привлечением высокоточных методов анализа (ИХТРЭМС КНЦ РАН).

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлены формы миграции некоторых элементов и состав новообразованных фаз нарзана (доломитовый) как исследование системы «вода-порода», где вода – химический состав нарзана, порода – состав фаз, которыми насыщен раствор.

Таблица 1. Результаты моделирования форм миграции элементов вод нарзана
($T\ 36\ ^\circ\text{C}$, $P\ 1\ \text{бар}$)

Ca^{+2}	CaCO_3	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)^{+}$	CaCl^{+}	CaF^{+}	Li^{+}
8,35E+01	1,12	3,40E+01	4,42E-01	1,02E-03	2,37E-01
Mg^{+2}	MgCO_3	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)^{+}$	MgCl^{+}	MgF^{+}	Ba^{+2}
9,64E+01	7,31E-01	5,38E+01	8,81E-01	6,39E-03	1,87E-02
Na^{+}	NaCl	NaSO_4^-	NaHSiO_3	NaCH_3COO	Sr^{+2}
2,40E+02	6,03E-01	1,33E-04	1,15E-02	1,61E-05	1,09
La^{+3}	LaCO_3^{+}	LaHCO_3^{+2}	LaCl^{+2}	LaF^{+2}	Cl^{-}
6,47E-05	1,54E-03	1,29E-04	9,02E-07	1,10E-06	2,16E+02
Ce^{+3}	CeCO_3^{+}	CeHCO_3^{+2}	CeCl^{+2}	CeF^{+2}	Y^{+3}
3,77E-06	1,74E-04	6,51E-06	5,31E-08	2,49E-10	8,15E-03
Nd^{+3}	NdCO_3^{+}	NdHCO_3^{+2}	NdCl_2^{+}	NdF^{+2}	K^{+}
4,71E-07	4,13E-05	6,80E-07	2,20E-11	2,45E-08	1,62E+01
Pr^{+3}	PrCO_3^{+}	PrHCO_3^{+2}	PrCl^{+2}	PrF^{+2}	HCO_3^{-}
1,51E-06	9,60E-05	1,89E-06	2,11E-08	5,71E-08	1,06E+03
Состав новообразованных фаз, %					
FeS_2	CaCO_3	SrCO_3	Eh,B	pH	
0,32	97,84	1,8	-0,223	6,42	

В таблице 2 представлены результаты моделирования системы «вода-ЖС», при начальных условиях pH 6,24, Eh -0,218 В, объем ЖС 100 мл, содержание воды изменяется от 30 до 320 мл в системе.

Таблица 2. Результаты моделирования форм миграции элементов ($T\ 36\ ^\circ\text{C}$, $P\ 1\ \text{бар}$)

Вода, мл	La^{+3}	LaCO_3^{+}	LaHCO_3^{+2}	LaCl^{+2}	Y^{+3}	YOH^{+2}
30	1,29E-04	4,66E-04	8,47E-05	8,20E-06	2,15E-03	1,22E-04
100	1,09E-04	7,77E-04	1,06E-04	4,95E-06	4,33E-03	3,32E-04
320	1,05E-04	1,14E-03	1,31E-04	3,21E-06	6,47E-03	6,14E-04
Вода, мл	Ce^{+3}	CeCO_3^{+}	CeHCO_3^{+2}	CeCl^{+2}	HZrO_3^-	ZrO_2
30	4,25E-05	2,98E-04	2,43E-05	2,74E-06	1,94E-04	1,15E-04
100	1,64E-05	2,26E-04	1,38E-05	7,52E-07	3,74E-04	1,68E-04
320	9,82E-06	2,07E-04	1,06E-05	3,03E-07	5,54E-04	2,35E-04
Вода, мл	Nd^{+3}	NdCO_3^{+}	NdHCO_3^{+2}	NdCl_2^{+}	Sr^{+2}	SrHCO_3^{+}
30	2,37E-05	3,14E-04	1,13E-05	2,81E-08	3,10	6,88E-01
100	6,92E-06	1,81E-04	4,87E-06	4,16E-09	2,44	7,94E-01
320	2,95E-06	1,17E-04	2,67E-06	7,57E-10	1,80	7,12E-01
Вода, мл	Pr^{+3}	PrCO_3^{+}	PrHCO_3^{+2}	PrCl^{+2}	CaCl^{+}	NaCl
30	3,88E-05	3,73E-04	1,59E-05	2,47E-06	3,79	15,8
100	1,24E-05	2,36E-04	7,52E-06	5,67E-07	3,22	8,31
320	6,03E-06	1,74E-04	4,70E-06	1,84E-07	1,58	3,31
Состав новообразованных фаз, %						
Вода, мл	FeS_2	CaCO_3	Apt	SrCO_3	Eh,B	pH
30	6,71	-	93,08	-	-0,211	6,22

100	0,62	94,3	2,69	2,35	-0,218	6,34
320	0,38	97,17	0,51	1,91	-0,220	6,38

Анализ результатов (таблица 1) форм миграции элементов вод нарзана, приводит к выводу, что это восстановительные воды ($E_h < 0$), насыщенные относительно карбонатов, с высокими концентрациями Ca, Mg, Na, K, Sr, HCO_3^- , Cl, Li, Ba, которые на 1-2 порядка выше концентраций аналогичных элементов вод Кольского полуострова. Взаимодействие воды с ЖС приводит к увеличению концентрации хлоридов (таблица 2). Кроме того, состав конкрементов может зависеть от количества воды в желудке (таблица 2). По ряду элементов концентрации вод нарзана сопоставимы с результатами мониторинга (река Поной, с. Краснощелье, Ловозерский район) [3], мг/л: Zr – 0,00018, La – 0,00031, Ce – 0,00042, Y – 0,00037, Nd – 0,00033, Pr – 0,00006, и выше чем концентрации этих же элементов водозабора «Центральный» (г. Кировск) [4].

Заключение

На основании полного гидрохимического анализа, показавшего наличие РЗЭ в лечебных водах Кавказа, и результатов моделирования установлены формы миграции элементов как в природных (подогретых) водах, так и их трансформации при взаимодействии с желудочным соком в условиях параметров организма человека в условиях недостатка HCl. Результаты исследования позволили оценить влияние HCl на поведение РЗЭ, изменение значений pH, выпадение твердых фаз, что поможет медикам оценить необходимость применения вод нарзана при лечении гастритов с пониженной кислотностью. Результаты исследований могут быть использованы в областях геохимии, гидрологии, экологии, медицины.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 24-17-00114 «Оценка химического состояния природных и питьевых вод Мурманской области, форм миграции, влияние на элементный статус жителей».

Литература

1. Мазухина С.И., Максимова В.В., Чудненко К.В. и др. Качество вод Арктической зоны Российской Федерации: физико-химическое моделирование формирования вод, формы миграции элементов, влияние на организм человека. – Апатиты : Издательство ФИЦ КНЦ РАН. 2020. – 158 с.
2. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск : Гео, 2010. – 287 с.
3. Mazukhina S., Drogobuzhskaya S., Masloboev V. et al. Forms of migration of elements in natural and drinking waters in village Krasnoshchelye (Lovozero District, the Kola Peninsula) and human health risk assessment (in press).
4. Mazukhina S.I., Drogobuzhskaya S.V., Tereshchenko P.S. et al. Drinking water, influence on the chemical composition of gastric juice: monitoring and modeling // Biogenic–Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems 2022. BIOCOS 2022 : Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. – Cham, Switzerland : Springer, 2023. – P. 573–585. – doi: 10.1007/978-3-031-40470-2_34.

57.044; 550.422; 616-01/09

**О ФЕНОМЕНЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ ЖИВОТНЫМИ
И ЧЕЛОВЕКОМ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ БАЛАНСА
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ**

А.М. Паничев, Н.В. Барановская

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

Томский политехнический университет, г. Томск

**ON THE PHENOMENON OF USING MINERAL SORBENTS BY ANIMALS
AND HUMANS TO MAINTAIN THE BALANCE OF RARE EARTH ELEMENTS
IN THE BODY**

A.M. Panichev, N.V. Baranovskaya

Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok

Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Аннотация. В период 2015–2025 гг. нами выполнялся комплекс исследований в рамках проверки «редкоземельной гипотезы геофагии» среди животных и людей. На основе полученных оригинальных данных, а также анализа всей опубликованной по данной теме информации установлено, что феномен геофагии у млекопитающих развивается в ландшафтах с избыточными или с аномально низкими содержаниями биологически доступных форм редкоземельных элементов (РЗЭ). В таких ландшафтах у животных и людей возникают сбои в работе нейроиммуноэндокринной системы и могут развиваться специфические геохимические эндемии. Отсюда геофагию (потребление минеральных сорбентов) следует рассматривать как универсальный эволюционно выработанный способ поддержания баланса РЗЭ в организме, который можно адаптировать к современной медицине.

Феномен геофагии, под которым понимаются случаи инстинктивного потребления земельных веществ, всегда был характерен для многих групп животных, причем, в первую очередь для растительноядных, пищевое меню которых составляют растения – организмы с самым высококонтрастным химическим составом, в том числе и в отношении редкоземельных элементов (РЗЭ). В меньшей мере геофагия встречается у всеядных животных и еще реже среди хищников. Еще совсем недавно, не более сотни лет назад, геофагия была широко распространена и среди людей, встречалась практически у всех народов мира, но особенно часто отмечалась среди жителей экваториальной зоны Земли, в том числе на обоих континентах Америки, в Африке, на юге Евразии, на островах Океании, в Австралии и Новой Зеландии. В результате проведенных археологами раскопок древних захоронений людей в Африке и Южной Америке выявлено, что исторические корни геофагических традиций имеют много-тысячелетнюю историю. Детально о распространенности геофагии с анализом литературных источников мы неоднократно писали ранее, в том числе в статье [1]. Оценивая распространенность геофагии, важно отметить, что районы, где это явление было характерным среди людей в прошлом часто продолжают оставаться районами массовой геофагии среди домашних и диких животных.

В течение последних 10 лет нами проводились исследования в районах массовой геофагии среди диких и домашних животных с участием специалистов биологов, геологов и геохимиков из ряда институтов ДВО РАН, а также из Томского политехнического института в связи с проверкой выдвинутой нами в 2015 г. «редкоземельной гипотезы геофагии» или «РЗЭ-гипотезы» [2]. Работы проводились в разных, преимущественно в горных, регионах России: на Кавказе, в горах Южной Сибири и Дальнего Востока, в том числе в Сихотэ-Алине. В результате этих исследований, с учетом анализа всей опубликованной информации по проблеме геофагии, нам удалось установить связь всех случаев массовой геофагии среди диких и

домашних животных с РЗЭ-аномальными ландшафтами. Обзор всех опубликованных материалов по рассматриваемой теме представлен в статье [1]. Под РЗЭ-аномальными мы подразумеваем такие ландшафты, в компонентах которых (в почвах, растительности, иногда в природных водах) содержание биологически доступных форм РЗЭ выше или ниже значений, при которых начинают проявляться вызванные таким фактором специфические эндемии у животных и человека.

Самым распространенным геохимически обусловленным заболеванием, которое имеет тесную связь с геофагией является эндомиокардиальный фиброз (ЭМФ). Это заболевание, известное ранее под названием «Cachexia Africana», имеет давнюю историю, однако окончательно оно было идентифицировано в Африке (Уганда) только в 1947 г. [1]. Это заболевание особенно характерно для людей в странах экваториальной зоны ведущих архаичный образ жизни, встречается также в Китае, особенно в южных и юго-восточных провинциях, где распространены обогащенные РЗЭ карбонатитовые вулканические комплексы с проявлениями и месторождениями РЗЭ ион-адсорбционного типа в глинистых корах выветривания. По данным китайских исследователей (представлены в обзоре [1]), люди, проживающие в южном Китае в районах с высоким фоновым содержанием РЗЭ помимо ЭМФ, страдают от расстройств желудка и анорексии, у них заметно снижены уровни общего белка, глобулинов, альбуминов и сывороточной глутаминовой пировиноградной трансаминазы при более высоких уровнях общего иммуноглобулина. В работе других китайских исследователей (представлено там же [1]) показано, что воздействие Се и Yb на беременных женщин приводит к снижению уровня тиреотропного гормона у младенцев (этот гормон секретируется в щитовидной железе и эпифизе и в значительной мере регулирует рост и развитие организма). Показано также [1], что РЗЭ могут накапливаться в коре головного мозга при длительном поступлении небольших их количеств из окружающей среды и вызывать субклинические повреждения вплоть до онкологии. В тканях опухолей головного мозга (астроцитомы) установлены существенно более высокие содержания РЗЭ, особенно La, Ce, Gd и Lu, по сравнению с аналогичными нормальными тканями. Нами с помощью электронной микроскопии обнаружены Се-содержащие минеральные фазы в тканях головного мозга дикого оленя, добытого в районе с высокими фоновыми содержаниями РЗЭ на территории Сихотэ-Алиня [3].

В Африке и Индии, согласно анализу опубликованных данных, геофагия на фоне ландшафтных аномалий РЗЭ у опрошенных информаторов часто сочеталась с анемиями, в том числе с серповидноклеточной ее формой, с нарушениями работы пищеварительной системы, а также с различными формами нарушений минерального обмена (рахит, остеомалация). На территории США в ряде районов активной геофагии среди диких животных выявлены прионные заболевания [1].

Наш собственный исследовательский опыт, а также анализ опубликованной информации по влиянию различных РЗЭ-элементов на организм животных и человека на основе экспериментов с лабораторными животными, и, особенно, – по применению РЗЭ в практике промышленного откорма животных, позволил нам с высокой вероятностью определить набор РЗЭ-элементов, входящих в норму в организм млекопитающих. Жизненно важными в составе РЗЭ для этой группы организмов, с нашей точки зрения, являются: La, Ce, Pr, Nd, а также Sc и Y, возможно к ним относится также Sm. Остальные элементы, в их числе Eu и оставшиеся представители тяжелой подгруппы (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) являются токсичными. Токсичность их обусловлена тем, что они могут замещать жизненно важные РЗЭ в различных структурах нейроиммуноэндокринной системы организма, но при этом не могут выполнять их функции. Сбои работы в важнейшей защитной и управляющей системе организма не всегда связаны с замещением в ней жизненно важных РЗЭ их токсичными аналогами, бывают случаи, когда количество того или иного жизненно важного РЗЭ-элемента ниже или выше тех пороговых значений, за которыми невозможно нормальное функционирование тех структур, работу которых он обеспечивает.

Очень важный и пока малоизученный вопрос – в каких формах РЗЭ могут усваиваться в организме. Опять же, наш собственный исследовательский опыт и анализ литературных данных по этому вопросу показывают, что наибольшей способностью к усвоению в организме животных обладают РЗЭ в составе органоминеральных соединений, могут они усваиваться, хотя и в меньшей мере, из легкорастворимых вторичных минералов РЗЭ (из водных фосфатов, фторкарбонатов и ряда других). Нарботка таких легкорастворимых вторичных минералов и органоминеральных соединений РЗЭ в природных условиях возможна только в течение длительных периодов химико-биологического выветривания горных пород, обогащенных РЗЭ минералами. Именно этим объясняется отсутствие прямой связи ландшафтных РЗЭ-аномалий с обогащенными такими элементами породами «свежего» облика и молодыми вулканитами, и, одновременно, – наличие многочисленных ландшафтных РЗЭ-аномалий в зоне тропиков по корам выветривания в той или иной мере древних пород, обогащенных минералами РЗЭ.

Судя по данным коллектива авторов [4], которые изучали распределение РЗЭ в почвах Камеруна, содержания РЗЭ в них могут меняться от крайне низких до крайне высоких. При этом значения сумм РЗЭ варьируют от 0,482 до 5926 мг/кг (пять порядков!) со средним значением 297,42 мг/кг. Это среднее содержание намного (часто в разы) выше, чем в почвах всех остальных стран мира. На сегодняшний день самое высокое среднее значение суммы РЗЭ в почвах из 9 стран, находящихся за пределами экваториальной зоны, выявлено в Китае (154,6 мг/кг) [4].

В зависимости от типа материнской породы общее содержание РЗЭ в почвах Камеруна уменьшается в следующем порядке: щелочные магматические породы ультраосновного (нефелиниты) и среднего (сиениты) состава > карбонатиты > щелочные магматические породы основного состава (некоторые типы оливиновых базальтов), которые сопоставимы с некоторыми метаморфическими породами (кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы), далее следует четвертичный аллювий. Самые высокие показатели обогащения РЗЭ тяжелой подгруппы (ТРЗЭ) приурочены к латеритным почвам на древних метаморфических породах чарнокитового ряда, амфиболитах, а также на некоторых органогенных известняках со средними значениями сумм элементов тяжелой подгруппы 115,60 мг/кг, 79,63 и 82,98 соответственно [4].

В высоких широтах формирование ландшафтных аномалий как с избытком, так и с дефицитом биодоступных форм ТРЗЭ, согласно нашим данным, может быть также приурочено к древним корам выветривания тех же пород, что и в зоне тропиков. РЗЭ-аномальные ландшафты, приуроченные к локально сохранившимся площадным и к линейным корам выветривания мезозойского возраста по протерозойским породам карбонатной формации мы изучали на западном побережье Байкала и на о. Ольхон, а приуроченные к корам выветривания древних мигматитов и кристаллических сланцев, в том числе чарнокитового типа изучали в районах активной геофагии в бассейнах р. Чулышман и оз. Телецкого в Горном Алтае. В Сихотэ-Алине нами выявлено 7 районов активной геофагии. Три из них были исследованы детально, и выявленные там РЗЭ-аномальные ландшафты оказались приуроченными к вулканическим кальдерам и локальным зонам гипергенно-гидротермальной проработки в пределах рудоносных разломов с редкометальной минерализацией с мышьяком и сульфидами по раннекайнозойским вулканитам контрастного состава с участием щелочных пород основного и среднего состава [1].

Как показали наши исследования в ландшафтах с дефицитом жизненно важных РЗЭ-элементов, регуляция этих элементов в организмах млекопитающих осуществляется через потребление земельных веществ обогащенных жизненно важными РЗЭ. Это могут быть не только глинистые грунты, могут быть и чисто песчаные, обогащенные нужными минералами РЗЭ. В ландшафтах, где в грунтовых водах и растительности имеется избыток токсичных РЗЭ тяжелой подгруппы, единственный естественный эволюционно сложившийся способ

регуляции работы нейроиммуноэндокринной системы – это потребление любых природных сорбентов, которые способны выводить из организма избыток РЗЭ. Такие сорбенты могут быть минеральными, органоминеральными или чисто углеродными. Млекопитающие чаще всего используют глинистые грунты, цеолиты, тонкодисперсные кремнистые породы, реже используют торфянистые почвы и древесный уголь, выбирая при этом по возможности вещества, обогащенные натрием. Особая тяга животных к натрию в РЗЭ-аномальных ландшафтах может быть связана с тем, что натрий, подобно литию, помогает ослабить состояние стресса в организме, вызванного разбалансировкой нейроиммуноэндокринной системы. Иногда, в натрийдефицитных ландшафтах, поиск натрия для животных, особенно для копытных, может приобретать и самостоятельное значение. Однако, наш опыт исследований показывает, что случаи геофагии с целью получения исключительно натрия встречаются сравнительно редко.

Среди наземных растительноядных животных особо выделяется группа с мускульными желудками. Геофагия у этой группы животных, в частности у птиц, проявляется в постоянном заглатывании камешков, которые почти всегда присутствуют в мускульном желудке. В некоторых районах земного шара птицы стремятся потреблять и тонкодисперсные (вплоть до глинистых) минеральные комплексы. Механизм «гастролитной регуляции» состава и концентрации РЗЭ в организме птиц имеет специфические особенности, его разбирали ранее [1,5].

Как показывают результаты обработки литературных данных, люди, проживая в РЗЭ-аномальных ландшафтах, предпочитают глины (каолинитовые, смектитовые, гидрослюди-стые), выбирая такие, какие им доступны. Иногда используют древесный уголь, крахмал и другие вещества, обладающие сорбционным действием в отношении ионов РЗЭ и содержащих их соединений.

Заключение

Проведенный нами анализ опубликованной информации по геофагии среди людей, а также – информации о геохимических эндемиях, связанных с геофагией и редкоземельными элементами, а также собственный исследовательский опыт, позволяют сделать вывод о том, что геофагия у человека, как и у животных, является естественной эволюционно обусловленной формой саморегуляции организмов с помощью природных минеральных сорбентов. Основной целью такой саморегуляции является поддержание состава и концентрации редкоземельных элементов в нейроиммуноэндокринной системе, что необходимо для нормальной ее работы. Нарушение состава и концентрации необходимых РЗ-элементов в структурах нейроиммуноэндокринной системы приводит к сбоям минерального и общего обмена веществ в организме и в итоге к геохимическим эндемиям и сопутствующим заболеваниям, обусловленным нарушениями в системе иммунитета.

Считаем, что выработанную в процессе биологической эволюции технологию поддержания состава и концентрации редкоземельных элементов в нейроиммуноэндокринной системе с помощью природных сорбентов можно оптимизировать и с успехом применять в медицине с целью лечения и профилактики широкого спектра заболеваний.

Литература

1. Panichev A., Golokhvast K. Major and minor causes of geophagy-lithophagy in animals and humans // *Geosciences*. – 2025. – Vol. 15(3), Atr No. 75. – doi: 10.3390/geosciences15030075.
2. Паничев А.М. Литофагия: причины феномена // *Природа*. – 2016. – № 4. – С. 25–35.
3. Барановская Н.В., Мазухина С.И., Паничев А.М. и др. Особенности миграции химических элементов в природных водах и их отложения в виде минеральных новообразований в живых организмах (физико-химическое моделирование с верификацией на животных) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2024. – Т. 335, № 2. – С. 187–201.

4. Temga J.P., Sababa E., Mamdem L.E. et al. Rare earth elements in tropical soils, Cameroon soils (Central Africa) // *Geoderma Regional*. – 2021. – Vol. 25. – doi: 10.1016/j.geodrs.2021.e00369.
5. Паничев А.М., Середкин И.В. Минеральный состав гастролитов в желудках утиных в Приморском крае и значение кремниевых минералов в физиологии птиц // *Амурский зоологический журнал*. – 2022. – Т. 14, № 3. – Р. 469-491. – doi: 10.33910/2686-9519-2022-14-3-469-491.

УДК 504.75

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕЙ ОБИ

**А.В. Пузанов, О.А. Ельчининова, Т.А. Рождественская, С.В. Бабошкина, Ю.Б. Кирста,
С.Н. Балыкин, Д.Н. Балыкин, А.В. Салтыков, И.А. Трошкова, А.О. Ковригин**

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия
rtamara@iwep.ru*

BIOGEOCHEMICAL SITUATION IN THE UPPER OB BASIN

**A.V. Puzanov, O.A. Elchininova, T.A. Rozhdestvenskaya, S.V. Baboshkina, Yu.B. Kirsta,
S.N. Balykin, D.N. Balykin, A.V. Saltykov, I.A. Troshkova, A.O. Kovrigin**

*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia
rtamara@iwep.ru*

Аннотация. Выявлен вызывающий болезни щитовидной железы у человека и животных дефицит I в почвах, растениях, кормах, водах. Отмечены повышенные концентрации Hg, Pb, Cu, Zn и Cd в почвах над рудными месторождениями, ореолами рассеяния, районах добычи и переработки руд. Содержание ^{137}Cs в почвенном покрове большей части территории не превышает уровня глобального фона. Ракетных топлив и их производных в компонентах наземных и водных экосистем не обнаружено.

Введение

По характеру речной сети, условиям питания и формирования водного режима р. Обь делится на 3 участка: верхний (до устья Томи), средний (до устья Иртыша) и нижний (до Обской губы). Разнообразие ландшафтно-геохимических условий и почвенного покрова вследствие зональности на равнине и вертикальной поясности в горах, значительная аграрная нагрузка, наличие и разработка многочисленных месторождений, ракетно-космическая деятельность обусловили в бассейне Верхней Оби сложную биогеохимическую обстановку. При средних валовых содержаниях химических элементов в почвах, довольно близких к кларкам, выделяются области с повышенными и/или пониженными концентрациями. На рассматриваемой территории находятся многочисленные месторождения, рудопроявления и связанные с ними ореолы рассеяния Hg, Mn, полиметаллов и Fe, ведется (либо велась) добыча, транспортировка и переработка полиметаллических руд и киновари. В бассейне р. Томи негативное влияние на окружающую среду оказывают также предприятия цветной и черной металлургии, химической и угледобывающей промышленности. Незахороненные складированные отходы переработки руд регулярно подвергаются процессам эрозии и дефляции. Территория многократно подвергалась радиационному воздействию в связи с испытаниями ядерных устройств на Семипалатинском полигоне. С другой стороны, в химическом составе компонентов экосистем территории исследования отмечается дефицит некоторых жизненно необходимых микроэлементов. Цель работы – исследовать и оценить с биогеохимических и эколого-геохимических позиций бассейн Верхней Оби.

Материалы и методы

В основных компонентах окружающей среды бассейна Верхней Оби исследованы макро- и микроэлементы-биогены (P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Co, Mo, Zn, B, I, F и др.), микроэлементы – потенциальные токсиканты (Hg, Pb, Cd, Cr, Sb, Sn, As), естественные (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) и искусственные (^{137}Cs) радионуклиды, ракетные топлива (несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и керосин Т1) и их производные.

Анализ отобранного материала выполняли атомно-абсорбционным, рентгено-

флуоресцентным, химическим, спектральным количественным, нейтронно-активационным, хроматографическим, гамма-спектрометрическим методами.

Результаты и их обсуждение

Из группы исследованных химических элементов в бассейне Верхней Оби особое внимание привлекают P, I, F, Hg, Sb, As, Pb, Cu, Zn, Cd, ^{137}Cs и ^{90}Sr . Это связано с тем, что на большей части территории в почвообразующих породах, почвах, природных водах, растениях, местных кормах и продуктах питания выявлен серьезный дефицит P, I и F, в районах ртутных месторождений, рудопроявлений и ореолах их рассеяния – избыток Hg, Sb и As, в компонентах ландшафтов районов полиметаллических месторождений, добычи и переработки руд – избыток Pb, Cu, Zn и Cd; в связи с многолетними испытаниями ядерных устройств на Семипалатинском полигоне и переносом с воздушными массами продуктов распада во многих районах исследованной территории обнаружен повышенный радиационный фон (выше глобального) за счет долгоживущих нуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Одной из медико-экологических проблем рассматриваемой территории является высокий уровень заболеваемости населения эндемическим зобом. Центральное-азиатское внутриконтинентальное положение определяет дефицит I в компонентах экосистем, особенно горных районов. Средневзвешенное содержание I в почвах горных территорий невысокое – 2,4 мг/кг [1]. 70% горной территории занято почвами со средним содержанием I менее 2 мг/кг. Недостаточное содержание I отмечается в кормовых растениях и кормах Алтая (от следовых количеств до 1,32 мг/кг сухой массы). Йодная недостаточность представляет потенциальную опасность заболевания зобом людей и животных. На исследуемой территории выявлены как селенодефицитные, так и селеновые провинции с высоким содержанием селена в степных экосистемах, в условиях которых у животных может наблюдаться селеновый токсикоз.

Среднее содержание других важных микроэлементов в почвенном покрове исследуемой территории не превышает кларка в земной коре. В ряде случаев крайние (нижние и верхние) пределы концентраций отдельных химических элементов в почвообразующих породах, почвах, растениях и кормах различаются между собой на 1-3 математических порядка. Так, почвы супесчаного и песчаного гранулометрического состава сухостепных котловин слабо обеспечены подвижной формой Mn, Cu, Co и Zn для растений повышенного и высокого выноса. С другой стороны, горно-лесные почвы накапливают марганец в количествах, превышающих верхние пороговые концентрации.

В недрах рассматриваемого региона сосредоточены разнообразные и богатейшие по запасам месторождения полезных ископаемых. Выделяются территории с аномально высокими концентрациями Zn, Pb, Cu, Co, Ni, Hg, V, Cr и W в компонентах экосистем – биогеохимические провинции, которые по контуру совпадают с ореолами рассеяния полиметаллических месторождений. Содержание тяжелых металлов в почвах, формирующихся в пределах биогеохимических провинций, значительно превышает верхние пороговые концентрации и ПДК [3]. Растения характеризуются накоплением значительных количеств Co, Cu, Zn, Pb, Ni, морфологическими отклонениями, нарушением физиологических функций.

В областях добычи и переработки полиметаллических руд в почвах обнаруживаются повышенные (относительно фона и нормативных величин), часто аномальные, концентрации основных рудных (Cu, Zn, Pb) и сопутствующих (Cd, As, Ba, Fe) химических элементов. Содержание изучаемых элементов в растениях, формирующих примитивные растительные сообщества на промплощадках, на бортах и подножиях хвостохранилищ, в 2-100 и более раз превышает концентрации в растениях незагрязненных экосистем. Формирование ртутных и ртутьсодержащих рудных месторождений сопровождается развитием ореолов рассеяния Hg. Высоким уровнем концентрации Hg характеризуются почвы Курайской ртутной зоны (Республика Алтай) – до 36 мг/кг [4] при фоновом 0,1–0,2 мг/кг.

Доказательством бывшего радиоактивного загрязнения являются долгоживущие радионукли-

ды, выпавшие на поверхность почвы. Один из них – ^{137}Cs , период полураспада которого около 30 лет. Плотность загрязнения ^{137}Cs почв основной части территории не превышает уровня глобального фона, составляющего в настоящее время 15–30 Бк/кг. Участки с уровнем загрязнения выше фона локальны. На вершинах гор, в ленточных борах долин древнего стока, в колках, в предгорьях Алтая и Салаира встречаются участки с плотностью загрязнения, превышающей глобальный фон в 2–3 раза (до 90 Бк/кг). Ретроспективный анализ внутрипрофильного распределения цезия-137 показал, что более чем за 3 десятилетия глубина распространения радионуклида в почвенной толще увеличилась незначительно.

Количество нормируемых элементов (Pb, Cd, Hg, As) в произведенных на территории исследования продукции и сырье – зерне пшеницы, мясе (свинина, говядина, курица), меде, дикорастущих и культивируемых лекарственных растениях, растительных кормах, – отвечает требованиям нормативных документов.

В середине XX в. на части рассматриваемой территории, сопредельной с Казахстаном, сложился полифакторный загрязняющий комплекс природной среды, особую роль в формировании которого оказали радиоактивные загрязнения, связанные с ядерными испытаниями на Семипалатинском полигоне. Онко-эпидемиологическое исследование заболеваемости злокачественными новообразованиями проживающего там населения выявило районы с показателями заболеваемости, превышающими среднероссийский уровень в 1,5 и более раза [5]. В настоящее время наиболее актуальной и важной для здоровья населения района являются отдаленные последствия действия ионизирующего излучения.

На протяжении более чем 50 лет территории республик Алтай, Хакасия, Тыва и Алтайского края используются в качестве районов падения отделяющихся частей ракет-носителей «Протон» и «Союз». На этих и сопредельных с ними территориях находятся Тигирекский, Алтайский, Хакасский и Убсунурский заповедники, некоторые из них включены в список объектов Всемирного наследия (Телецкое озеро, г. Белуха, Алтайский и Катунский заповедники), что обуславливает ряд проблем при осуществлении ракетно-космической деятельности. Тем не менее, ракетных топлив (НДМГ и керосин Т1) и их производных в почвах, поверхностных водах, донных отложениях, овощных и сельскохозяйственных культурах не обнаружено.

Заключение

Выявлен дефицит йода в почвах, растениях, кормах, водах. Отмечены повышенные концентрации Hg, Pb, Cu, Zn и Cd в почвах над рудными месторождениями, ореолами рассеяния, районах добычи и переработки руд. Содержание ^{137}Cs в почвенном покрове большей части территории не превышает уровня глобального фона. Ракетных топлив и их производных в компонентах наземных и водных экосистем не обнаружено. В целом, биогеохимическая ситуация в бассейне Верхней Оби вполне удовлетворительная для проживания людей и ведения хозяйственной деятельности.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН
(проект FUFZ-2021-0003).*

Литература

1. Мальгин М.А. Йод в почвенном покрове Алтая // Химические элементы в системе почва-растение : сборник статей. – Новосибирск : Наука, 1982. – С. 54–73.
2. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 №62296).
3. Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Рождественская Т.А. и др. Оценка воздействия источника загрязнения техногенного происхождения на гидрохимический сток основных рудных элементов (на примере отвалов Алтайского горно-обогатительного комбината, бассейн р. Алей) // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27, № 11. – С. 54–60.

4. Мальгин М.А., Пузанов А.В. Ртуть в почвах, почвенном и приземном воздухе Алтае-Саянской горной области // Химия в интересах устойчивого развития. – 1995. – Т. 1-2. – С. 167–173.
5. Ковригин А.О., Винокуров Ю.И., Безматерных Д.М. Изучение отдаленных последствий на заболеваемость злокачественными новообразованиями населения Алтайского края // Наука и технологии Сибири. –2023. – № 4(11). – С. 38–44.

УДК 553.314

РОЛЬ МИКРОБИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МЕЗОЗОЙСКИХ МОРСКИХ ЖЕЛЕЗНЯКОВ

М.А. Рудмин

Томский политехнический университет, Томск, Россия
rudminma@tpu.ru

ROLE OF MICROBIAL PROCESSES IN THE FORMATION OF MESOZOIC MARINE IRON ORE DEPOSITS

M.A. Rudmin

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
rudminma@tpu.ru

Abstract. В исследовании рассматривается участие микробиоты в формировании мезозойских морских железняков на примере Бакcharского месторождения (Западная Сибирь). Установлено, что наряду с абиогенным осаждением железа, микробные процессы способствовали формированию органо-минеральных микроструктур и минеральных ассоциаций, связанных с деятельностью сульфатредуцирующих и железоредуцирующих бактерий. Микроонкоиды, нитевидные структуры и углеродистые остатки в железистых корках служат важными индикаторами микробиальной активности. Полученные данные сопоставлены с аналогичными наблюдениями в отложениях других регионов, что подчеркивает постоянство биогеохимических механизмов железнакопления региональных масштабов.

Введение

Осадочные железистые породы (железняки) мезозоя представляют большой интерес как с научной, так и с прикладной точек зрения. Они служат крупными рудами железа (например, Бакcharское месторождение в Западной Сибири – одно из крупнейших в мире [1]) и отражают специфические условия древних морских бассейнов. Механизмы формирования морских ооидовых железняков до конца не выяснены: предполагаются как чисто абиогенные модели (химическое осаждение из железистых морских растворов) [2], так и биогенные гипотезы, учитывающие участие микробных сообществ [3, 4]. В последние годы внимание исследователей привлекает роль микроорганизмов в осаждении железа – от железобактерий, окисляющих Fe(II) до Fe(III) в приповерхностных водах, до сульфатвосстанавливающих бактерий, вызывающих выпадение Fe(II)-сульфидов в осадках [5]. Многочисленные данные указывают, что микробные сообщества способны провоцировать осаждение железистых минералов и формирование органо-минеральных структур. Отчасти известны железистые микробиолиты в отложениях различного возраста – от силура и девона до мела [3]. В железистых корках силурийского возраста (Альпы) обнаружены нитевидные микрообразования, интерпретируемые как остатки грибов или бактерий [6]. Для юрских и меловых ооидовых железняков показано чередование окисленных и восстановленных микроусловий осаждения, возможное при участии органического вещества и микробных процессов [7]. Современные подходы позволяют выявлять в породе «био-отпечатки» – микроостатки, органические молекулы, изотопные сдвиги – свидетельствующие о жизнедеятельности бактерий в ходе диагенеза железистых осадков [6]. Участие микробиоты признается важным фактором генезиса железистых ооидов, хотя степень этого участия может варьировать [7]. Изучение роли микробиальных процессов при формировании мезозойских морских железняков актуально для понимания биогеохимической эволюции железорудных осадочных бассейнов.

Материалы и методы

Основные исследования проводилось на материале Бакчарского железорудного месторождения (Томская область, Западная Сибирь) верхнемелового-палеогенового возраста [1]. Породы месторождения накапливались в прибрежно-морских условиях мелкого эпиконтинентального бассейна (глубины порядка 10-40 м).

Результаты и их обсуждение

Осадочные железняки представлены разнотипными образованиями. Ооиды и пелоиды составляют основную массу руды и в значительной степени образованы абиогенно. Это подтверждается преобладанием в них минералов, характерных для неорганического осаждения, и относительно однородной послойной текстурой. Однако присутствие в породе микроонкоидов и связанных с ними признаков органического вещества указывает на важную дополнительную роль микробиоты. Микроонкоиды встречаются реже (составляют не более нескольких процентов зернового материала), но характеризуются особыми структурами [7]: в их микропористых железистых корках обнаружены углеродистые пленки и нитевидные структуры, идентифицированные как остатки бактериальных матов (тонкие нити длиной десятки микрон) и связанные с ними продукты жизнедеятельности (липидно-углеводные компоненты по данным спектроскопии). Эти органо-минеральные микроструктуры служат прямым свидетельством того, что осаждение части железных минералов происходило при участии микробных сообществ.

Минералог-геохимический анализ показывает, что сидерит и некоторые сульфидные минералы (пирит, вюртцит, пирротин, сложные фазы) сконцентрированы отчасти в ассоциации с органическими остатками – либо заполняют полости внутри фрагментов органики, либо обрамляют их. Это подтверждает биогенную природу данных минеральных новообразований. Можно реконструировать следующий сценарий: первоначальное осаждение железа (в виде гидроксидов и силикатов) происходило абиогенно в условиях кислородсодержащей воды, однако в накопившихся богатых Fe осадках происходило интенсивное разложение органики микробами, что локально создавало бескислородные ниши. В этих микрозонах деятельность сульфатредуцирующих бактерий приводила к образованию H_2S и последующему минералообразованию FeS_2 , а деятельность железоредуцирующих и метанотрофных микробов – к формированию сидеритового цемента. Параллельно, часть железа могла осаждаться и за счет прямого окисления $Fe(II)$ специальными железобактериями при условии умеренной доступности O_2 (диссипативные микрониши внутри матов) – это могло способствовать возникновению некоторых ооидных корочек гетита, особенно обогащенных фосфатом. Последнее свидетельствует о возможной роли бактерий в концентрировании фосфора и осаждении фосфатных минералов внутри железистых ооидов, подобно тому как описано в работах по меловым ооидам Франции [3]. Сопоставление авторских результатов с данными из других регионов подтверждает универсальность влияния микробиальных процессов.

Другой пример – силурийские железистые отложения Карнийских Альп (Италия). Там выявлены многослойные железистые корки вокруг скелетных остатков, состоящие из чередующихся пленок гетита, сидерита и магнетита [6]. Важно отметить, что в Бакчарском месторождении фиксируются следы как доминирующих абиогенных процессов осаждения железа, так и слабые или «уверенные» реликты микробиальной деятельности [7].

Тем не менее, присутствие биогенных свидетельств крайне важно для понимания полной картины генезиса: к примеру, даже будучи скрытыми компонентами, микроонкоиды свидетельствуют о том, что участие биоты приводило к формированию минеральных зерен размером до 0.5–1 мм. Возможно, как раз поступление в осадок железосодержащих восстановленных флюидов (метан, углекислый газ, $Fe(II)$), связанных с глубинными источниками, стимулировало развитие бактериальных сообществ-деструкторов органики, которые, окисляя восстановленные соединения (метан, $Fe(II)$) и восстанавливая сульфаты, превращали часть железа в сидерит и пирит. Таким образом, абиогенный приток железа и биогенные процессы

осаждения действовали совместно.

Заключение

Микробиальные процессы сыграли роль в формировании мезозойских морских железняков, хотя и не полностью определяли накопление железа. На примере Бакчарского месторождения показано, что основная масса железистого осадка осаждалась абиогенно (адсорбционно-химическим путем) из богатых Fe растворов, однако жизнедеятельность бактерий и архей в осадках обусловила образование ряда вторичных железосодержащих минералов и связанных с ними органо-минеральных микроструктур. Микробиота, присутствуя в виде сообществ (матов, пленок) на дне бассейна, создавала микронизи с восстановительной обстановкой, где протекали реакции, недоступные в обычных условиях, – сульфатное восстановление и метанотрофия с участием железа, приводящие к осаждению FeCO_3 и FeS_2 . Одновременно в близповерхностной зоне осадка железоокисляющие микробы могли катализировать формирование гидроксидов Fe(III). Сочетание этих процессов вело к сложной микроструктуре ооидовых руд, включающей как чисто химические концентрические ооиды, так и биогенные микроонкоиды. Микробиота являлась неотъемлемой частью железнакопления в фанерозое, а ее деятельность способствовала формированию уникальных биогеохимических условий, обеспечивших осаждение железа в больших масштабах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке
проекта FSWW-2023-0010.*

Литература

1. Белоус Н.Х. et al. Западно-Сибирский железорудный бассейн. – Новосибирск : СО РАН СССР, 1964. – 448 р.
2. Papineau D. et al. Widespread chemically oscillating reactions during oxidative organic diagenesis recorded during the Ediacaran // Chem. Geol. – 2025. – Vol. 683. – Art. No. 122753.
3. Barale L., D'atri A., Martire L. The role of microbial activity in the generation of lower cretaceous mixed fe-oxide-phosphate ooids from the provencal domain, French Maritime Alps // J. Sedimentary Res. – 2013. – Vol. 83(2). – P. 196–206.
4. Salama W., El Aref M., Gaupp R. Mineralogical and geochemical investigations of the Middle Eocene ironstones, El Bahariya Depression, Western Desert, Egypt // Gondwana Res. – 2012. – Vol. 22(2). – P. 717–736.
5. Abram M.B., Holz M. Early to Middle Devonian ironstone and phosphorite in the northwestern Gondwana Parnaiba Basin, Brazil: a record of an epeiric margin paleoceanographic changes // Sedimentary Geol. – 2020. – Vol. 402. – Art No. 105646.
6. Ferretti A. Ooidal ironstones and laminated ferruginous deposits from the Silurian of the Carnic Alps, Austria // Bollettino della Societa Paleontologica Italiana. – 2005. – Vol. 44(3). – P. 263–278.
7. Rudmin M. et al. Origin of ooids, peloids and micro-oncoids of marine ironstone deposits in Western Siberia (Russia) // J. Asian Earth Sci.. – 2022. – Vol. 237. – Art. No. 105361.

УДК 550.47: 550.4

**ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
АТМОСФЕРНЫХ ВОД ПРИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
С РАСТИТЕЛЬНЫМ ПОКРОВОМ В АГРОЛАНДШАФТАХ
(НА ПРИМЕРЕ ПРИГОРОДА ТОМСКА, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ)**

О.Г. Савичев, Е.Ю. Пасечник

*Томский политехнический университет, Томск, Россия
savichev@tpu.ru, pasechnik@tpu.ru*

**FEATURES OF THE TRANSFORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION
OF ATMOSPHERIC WATERS DURING THEIR INTERACTION
WITH VEGETATION COVER IN AGROLANDSCAPES
(ON THE EXAMPLE OF THE SUBURB OF TOMSK, RUSSIAN FEDERATION)**

O.G. Savichev, E.Yu. Pasechnik

*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
savichev@tpu.ru, paseyu@tpu.ru*

Abstract. Выполнен анализ результатов наблюдений за физико-химическими показателями состояния атмосферных и речных вод в пригороде Томска (Российская Федерация) за период 2019–2024 гг. Показано, что растительный покров оказывает значимое влияние на состав атмосферных осадков, которые поступают на земную поверхность, что необходимо учитывать при оценке элементов геохимического баланса территорий. Установлено, что в течение 2019–2024 г. не выявлено значимых изменений удельной электропроводности вод атмосферных осадков и вод ручья.

Введение

Растительный покров может оказывать существенное влияние на гидрогеохимические условия верхней части геологического разреза [1, 2]. Однако количественные оценки этого влияния, учитывающие региональные особенности природно-территориальных комплексов, встречаются по ряду причин не так часто, как это необходимо для эффективного планирования экологического мониторинга и природоохранных мероприятий, что и определило цель рассматриваемой работы – выявление особенностей трансформации химического состава атмосферных вод при их взаимодействии с растительным покровом на примере пригорода Томска.

Исследуемый участок расположен в северо-восточной части г. Томска, в водосборе малого водотока р. Малая Киргизка, являющегося элементом речной системы «Малая Киргизка – Киргизка (Большая) – Томь – Обь» [3]. Площадь водосбора водотока в створе наблюдений – 3.5 км², из которых: открытой участок без растительности – 2.01 км² (57.43%); садовые участки – 1.10 км² (31.43%); лес – 0.30 км² (8.57%); производственные территории – 0.07 км² (2.00%); дороги – 0.02 км² (0.57%). В целом, он представляет собой модельную территорию с условиями, характерными для юга Западной Сибири [3].

Материалы и методы

Рассматриваемая работа является продолжением и дальнейшим развитием наших исследований многолетних изменений элементов водохозяйственного и геохимического баланса исследуемого участка малого водотока, результаты которых, а также методика исследования, частично изложены в [3]. С учетом этого здесь отметим лишь то, что наблюдения за составом атмосферных осадков и воды в малом водотоке проводились с учетом требований [4] с мая 2019 г. по октябрь 2024 г. Отбор проб атмосферных вод осуществлялся с использованием пластикового осадкомера с диаметром входного отверстия 44 мм, установленного на по-

верхностью земли на высоте 30 см раз в неделю в течение теплого периода. Осадкомеры установлены: 1) на открытом участке поймы водотока с травяным покровом не более 30 см ближайшее дерево – сосна – расположена в 7 м; 2) на открытом участке для выращивания картофеля на удалее от деревьев не ближе 9 м; 3) под сосной (сосна обыкновенная, возраст – 29 лет) в 0.5 м от ствола; 4) под дубом (дуб черешчатый, возраст – 31 лет) в 0.5 м от ствола. Сразу после отбора проб проводилось измерение температуры воды измерителем HI 98127 (HANNA Instruments) и удельной электропроводности измерителем TDS 5 (HM Digital, Южная Корея). Кроме того, 05.08.2023 г. пробы воды были проанализированы в аккредитованной лаборатории Томского политехнического университета с использованием масс-спектрометрического метода с индуктивно связанной плазмой (масс-спектрометр NexION 300D; определение HCO_3^- титриметрическим методом). Более полно методика исследования приведена в [3].

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных результатов (табл. 1) показал, что в летний период исследуемые воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые, способны растворять целый ряд минералов, причем эта способность сохраняется в течение всего периода наблюдений, начиная с 2019 г. [3].

Таблица 1. Физико-химические показатели и химический состав атмосферных осадков и воды ручья по состоянию на 5 августа 2023 г.

Показатель	Единицы измерения	Объект			
		пойма	дуб	сосна	ручей
pH	ед. pH	5.64	6.01	5.39	7.08
ЕС	мкС/см	10	24	23	276
Сумма главных ионов	мг/дм ³	10.3	19.1	14.0	267.8
Si	то же	0.27	0.24	0.39	9.72
P	мкг/дм ³	13.1	150.0	24.5	178.0
Al	то же	4.6	15.5	61.1	872.6
Cu	–/–/–	0.21	1.08	1.87	2.59
Zn	–/–/–	0.88	2.22	6.40	39.63
Pb	–/–/–	0.05	0.14	0.08	0.36

Анализ рядов наблюдений за удельной электропроводностью ЕС атмосферных вод и вод малого водотока показал, что в течение 2019–2024 гг. статистически значимые линейные тренды и нарушение однородности по среднему и дисперсии с уровнем значимости 5% не выявлены, но установлено явно выраженное различие между показателями проб вод, отобранных под сосной, дубом, в пойме. Покрытой травяной растительностью, на картофельном поле и в воде ручья (табл. 2).

Объяснение этого факта заключается в констатации разной степени запыленности крон деревьев и, следовательно, большей площадью взаимодействия воды с твердым веществом. Хвоя сосны обыкновенной за зимний и весенний периоды содержит больше пыли по сравнению с другими деревьями. Соответственно, удельная электропроводность атмосферных осадков, поступающих на почву через ее крону, отличается от других деревьев большими значениями и их большим разбросом. Вполне возможно, имеет значение и содержание поверхностно-активных веществ, влияющих на удельную электропроводность атмосферных вод, что заметно по различиям между тенденциями изменения суммы главных ионов и удельной электропроводности в атмосферных водах под разными деревьями (табл. 1, 2) [3]. Можно предположить, что существенное влияние на удельную электропроводность атмосферных осадков оказывают и метеоусловия с учетом выявленной обратной зависимости между значениями ЕС и объемом воды в осадкомере между сроками наблюдений и различий между этими объемами для разных объектов.

Таблица 2. Средние (за 2019–2024 гг.) значения удельной электропроводности ЕС атмосферных осадков, воды ручья и результаты проверки на однородность и корреляционного анализа

Объект	Параметр*	Объект				
		пойма	поле	дуб	сосна	ручей
Среднее	$A \pm \delta_A$, мкС/см	19.4±1.3	30.7±2.8	63.5±6.0	84.6±7.8	325.7±6.1
пойма	$t/t_{5\%}$	0.00	1.81	3.62	4.13	24.63
	$F/F_{5\%}$	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
	r	1.00	0.46	0.34	0.36	–
поле	$t/t_{5\%}$	1.81	0.00	2.49	3.25	22.02
	$F/F_{5\%}$	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
	r	0.46	1.00	0.41	0.46	–
дуб	$t/t_{5\%}$	3.62	2.49	0.00	1.08	15.44
	$F/F_{5\%}$	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
	r	0.34	0.41	1.00	0.43	–
сосна	$t/t_{5\%}$	4.13	3.25	1.08	0.00	12.22
	$F/F_{5\%}$	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
	r	0.36	0.46	0.43	1.00	–

Примечание: * $t/t_{5\%}$ и $F/F_{5\%}$ – отношения фактических и критических значений критериев Стьюдента и Фишера при уровне значимости 5%; приведены статистически значимые коэффициенты корреляции r при условии $|r| \geq \delta_r$, где $\delta_r \approx \frac{1-r^2}{\sqrt{N-1}}$, N – объем выборки; A и δ_A – арифметическое среднее и погрешность его определения $\delta_A \approx \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$, где σ – среднее квадратическое отклонение.

Заключение

В результате анализа гидрохимических наблюдений в водосборе малого водотока на северо-восточной окраине г. Томска показано, что, во-первых, растительный покров оказывает значимое влияние на состав атмосферных осадков, которые поступают на земную поверхность, что необходимо учитывать при оценке элементов геохимического баланса территорий. Во-вторых, в течение 2019–2024 г. не выявлено значимых изменений удельной электропроводности вод атмосферных осадков и вод ручья.

Литература

1. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the earth // Geochemistry International. – 2008. – Vol. 46(13). – P. 1285–1398.
2. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах : 3-е изд. – М. : Либроком, 2013. – 168 с.
3. Савичев О.Г., Пасечник Е.Ю. Оценка элементов геохимического баланса агроландшафтов и их взаимосвязей с растительным покровом (на примере пригорода Томска, Российская Федерация) // Сахаровские чтения 2024 года: экологические проблемы XXI века : материалы 24-й междунар.научн.конф., 23–24 мая 2024 г. : в 2-х т. – Минск : ИВЦ Минфина, 2024. – Т. 1. – С. 154–158.
4. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:200000 / отв. ред. Э.К. Буренков. – М. : ИМГРЭ, 2002. – 92 с.

УДК:551.51

ЭФФЛОРЕСЦЕНЦИЯ ЭКЗАМЕТАБОЛИТОВ И ОБРАЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ АЭРОЗОЛЕЙ: СЕЗОННАЯ РОЛЬ ЛИСТОПАДНЫХ И ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ

М.П. Тентюков^{1,2}, Д.В. Симоненков¹, Б.Д. Белан¹, В.И. Михайлов^{2,3}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева Сибирского отделения РАН, Томск, Россия

²Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Россия

³Институт химии ФИЦ Коми НЦ Уральского отделения РАН, Сыктывкар, Россия
simon@iao.ru, tentukov@yandex.ru, bbd@iao.ru, system14@rambler.ru

EFFLORESCENCE OF EXAMETABOLITES AND FORMATION OF SECONDARY ORGANIC AEROSOLS: SEASONAL ROLE OF DECIDUOUS AND CONIFEROUS TREES

M.P. Tentyukov^{1,2}, D.V. Simonenkov¹, B.D. Belan¹, V.I. Mikhailov^{2,3}

¹V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch of RAS, Tomsk, Russia

²Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

³Institute of Chemistry, FRC Komi Science Centre UB RAS, Syktyvkar, Russia
simon@iao.ru, tentukov@yandex.ru, bbd@iao.ru, system14@rambler.ru

Abstract. Анализируются результаты УФ-спектрометрии и лазерной гранулометрии водных смывов с поверхности листьев четырех видов листопадных деревьев и хвои с текущих побегов четырех видов лесообразующих пород. Исследования фракционного состава наночастиц в водных смывах растений показали, что он характеризуется двух- и трехмодальными типами распределения. Спектрометрический анализ оптической плотности водных смывов в ультрафиолетовом диапазоне выявил в исследованных растениях нарастание интенсивности поглощения УФ-излучения в интервале 220–300 нм, связанное с полифенолами – вторичными экзаметаболитами растений. Показано, что эффлоресценция полифенолов и последующее их фотоактивированное взаимодействие с аэрозолями инициирует образование на поверхности листьев устойчивых вторичных наноагрегатов, выступающих в качестве прекурсоров вторичных органических аэрозолей в лесном пологом.

Методика

Схема пробоотбора. Исследования выполнены в 2020 г. в три этапа. Первый – в начале лета (конец мая-начало июня). Объектом опробования были листья с листопадных деревьев: ива (*Silix sp.*), береза (*Betula sp.*), тополь (*Populus sp.*), сирень венгерская (*Syringa josikaea J. Jack. ex Reichenb.*). Пробы отбирали в фазу их полного распускания. Объекты второго этапа – хвоя первого года: 18÷25-летние сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), 10-летний подрост пихты европейской (*Abies alba* Mill.) и 30÷40-летняя ель сибирская (*Picea obovata* Lebed.). Пробоотбор выполнен в последнюю декаду сентября (конец вегетационного периода). Третий этап реализован в декабре (период зимнего покоя растений). Объектом также была хвоя первого года, взятая с тех же растений что и в сентябре. Отбор проб хвои для получения смывов производился с ветвей II-го порядка из нижней трети кроны каждого вида в пределах восточных румбов (азимутальный сектор 45–135°). Для листопадных деревьев пробы листьев отбирались с внешней стороны кроны с высоты 1,7–2,0 м. Исследования выполнены на пробных площадках территории Ботанического сада СГУ им. Питирима Сорокина, в 4 км к западу от Сыктывкара.

Метод динамического рассеяния света (ДРС) заключается в регистрации временных флуктуаций интенсивности рассеяния лазерного луча в дисперсной среде. Числовые параметры рассеяния света зависят от размера частиц, интенсивности диффузии частиц и вязкости жидкости. ДРС относится к неразрушающим методам исследований. Метод не требует предварительной калибровки, одинаково эффективен как при низких концентрациях частиц, так и при наличии их агрегатов. Измеряемый размер от 0,5 нм до нескольких микрон.

Подготовка смывов с хвои для гранулометрического анализа и УФ-спектроскопии. Пробы помещали в стеклянные стаканы с деионизированной водой (50 мл) и вносили в ультразвуковую ванну (рабочая частота 35 кГц, мощность генератора 150 Вт), проводя ультразвуковую обработку образцов в течение 5 мин. Для характеристики размеров наночастиц в пробах использовали лазерный анализатор ZetaSizer Nano ZS (Malvern Panalytical, Великобритания). Диапазон измерения частиц от 1 до 10000 нм. По каждой пробе проводилось шесть измерений среднего объемного диаметра частиц (D_{cp}). Оптимальное время накопления сигнала по каждому измерению корреляционной функции определялось автоматически. Затем проводилось их усреднение. Объемное содержание фракций наночастиц в образцах рассчитано по соотношению (%) площади фигур, описывающих в линейных координатах данные распределения частиц по размерам. УФ-спектроскопию водных смывов хвои проводили на спектрофотометре Solar PB2201 (Беларусь).

Результаты и обсуждение

УФ-спектроскопия водных смывов хвои с побегов текущего года. На рисунке 1 приведены спектры поглощения водных смывов с листьев листопадных и хвойных деревьев. Видно, что смывы всех образцов достаточно сильно поглощают излучение в УФ области, что указывает

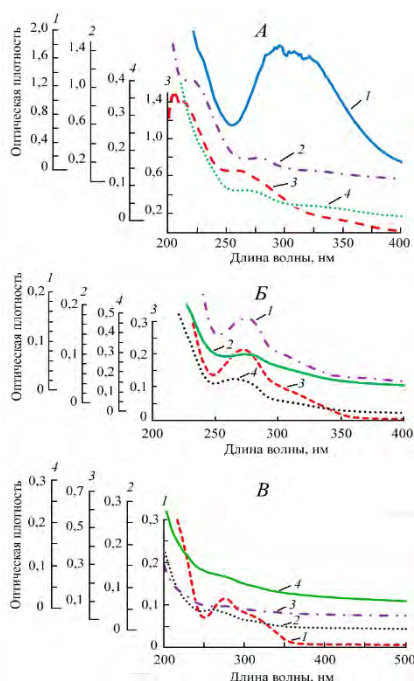


Рис. 1. УФ-спектры поглощения водных смывов с поверхности листьев листопадных и хвойных деревьев, где: А – 1 – тополь, 2 – липа, 3 – ива, 4 – береза; Б – осенняя хвоя, где: 1 – сосна обыкновенная, 2 – сосна сибирская, 3 – ель сибирская, 4 – пихта европейская; В – зимняя хвоя, где 1 – ель сибирская, 2 – пихта европейская, 3 – сосна обыкновенная, 4 – сосна сибирская

на наличие рассеивающих дисперсных частиц и может свидетельствовать о наличии в пробах смывов полифенольных соединений (флавоны, флавоноиды, фенилпропены, хиноны), входящих в состав листьев [4]. Фенольные соединения имеют характерные спектры поглощения в определенных областях УФ-спектра [5]. Их фотосенсибилизационная активность позволяет в растительных клетках ингибировать процесс образования активных форм кислорода [3]. Применительно к высшим растениям полифенолы как вторичные продукты метаболических реакций (экзаметаболиты) локализуются преимущественно в покровных структурах – кутикуле, эпидермисе и его производных (волосках и трихомах) [1]. При этом, фенольные соединения накапливаются в основном в клетках паренхимы и покровных тканей, как наиболее подверженных воздействию неблагоприятных факторов. При избытке они могут диффундировать сквозь клеточные стенки эпидермиса и кутикулы, накапливаясь в результате эфлоресценции на поверхности листьев. Во внешней среде эти экзаметаболиты претерпевают определенные химические преобразования, изменяя тем самым свою химическую активность и, часто, свое фазовое состояние, переходя из газообразного в жидкое, из жидкого в твердое. Визуально это нередко обнаруживается в виде солевых выпотов на поверхности листьев (в англ. литературе подобный процесс обозначается как *salt efflorescence* – выветривание кристаллов; выцветание соли; солевые выцветы). Поскольку полифенолы обладают фотосенсибилизационными свойствами, одинаково проявляющимися и летом, и зимой, то на поверхности листьев возникают условия протекания фотоактивированных реакций

между фенольными соединениями и осевшим аэрозольным веществом. В результате на листовой поверхности образуются относительно прочные вторичные наноагрегаты, которые можно рассматривать как внесезонные прекурсоры вторичных органических аэрозолей в ле-

сах.

Частотное распределение частиц аэрозольного вещества по размерам в водных смывах.

Соотношение гранулометрического состава нанодисперсий твердого вещества в водных смывах листьев и хвои показано на рис. 2. Очевидно, что для листьев листопадных деревьев распределение размеров наночастиц твердого вещества преимущественно трехмодальное со значительной дисперсией. В соотношении размерных фракций доминирует доля мелких частиц диапазона 15÷180 нм. Средний объемный диаметр частиц ($D_{cp.}$) колеблется в интервале 215÷514...266÷830 нм, а в соотношении размеров преимущественно преобладает мелкие частицы, с долей до 45 %. Но для осенней и зимней хвои соотношение нанодисперсий существенно различаются. Для осенней хвои гранулометрический состав смывов характеризуется би-

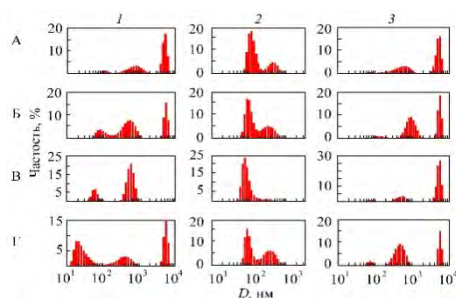


Рис. 2. Гранулометрический состав аэрозольного вещества в водных смывах с поверхности листьев листопадных и хвойных деревьев, где: Листья – 1А – тополь, 1Б – сирень, 1В – ива, 1Г – береза; Осенняя хвоя: 2А – сосна сибирская, 2Б – сосна обыкновенная, 2В – пихта европейская, 2Г – ель сибирская; Зимняя хвоя: 3А – ель сибирская, 3Б – пихта европейская, 3В – сибирская сосна, 3Г – сосна обыкновенная

модальным распределением наночастиц. Размер частиц в четырех видах хвойных лежит в интервале 50÷2000 нм. $D_{cp.}$ колеблется в интервале 78÷199...273÷357 нм, а в соотношении размеров преобладают мелкие частицы, с долей 91–96 %. Общее для всех проб зимней хвои: гранулометрический состав разновозрастных фракций смывов хвои характеризуется трехмодальным распределением наночастиц со значительной дисперсией. В соотношении фракций преобладают крупные частицы (с диапазоном 3000÷7000 нм). Их доля достигает 50÷74 %. На долю мелких (50÷300 нм) и средних (300÷3000 нм) приходится 2÷10 и 20÷50 %, соответственно.

Таким образом, общим для всех образцов листьев является то, что в соотношении размеров преимущественно преобладают мелкие частицы. И если принять, что крупные частицы на поверхности листьев представляют собой прочные наноагрегаты из аэрозолей и полифенолов, и которые могут выступать как внесезонные прекурсоры вторичных органических аэрозолей в лесах, то именно про-

цесс агрегации мелких наночастиц на поверхности листьев приводит к формированию вторичных органических аэрозолей частиц.

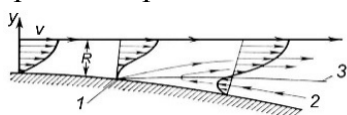


Рис. 3. Изменение скорости течения воздуха в пограничном слое и формирования отрывного слоя, по: [2]. Доп.: обозн.: 1 – точка отрыва пограничного слоя, 2 – область возвратного течения, 3 – линия нулевой скорости

Механизм поступления вторичных органических аэрозолей в полог леса. Упрощенная схема активации вторичных органических аэрозолей и поступления их в полог леса включает в себя отрыв ламинарного пограничного слоя от поверхности листа, с формированием вихревой зоны и с последующим переходом к турбулентности. Особенностью пограничного слоя является его свойство допускать при некоторых обстоятельствах возникновение возвратного течения в непосредственной близости от поверхности. С этим свойством связаны отрыв пограничного слоя от поверхности и возникновение вихревой зоны в области изменения градиента давления (рис. 3). Предполагается, что с подобным механизмом нарушения устойчивости пограничного слоя связан процесс поступления вторичных органических аэрозолей в полог леса.

Литература

1. Соловченко А.Е., Мерзляк М.Н. Экранирование видимого и УФ излучения как механизм фотозащиты у растений // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 6. – С. 803–822.

2. Чжен П. Отрывные течения / пер. с англ. – М. : Мир, 1972. – Т. 1. – 300 с.
3. Agati G., Matteini P., Goti A. et al. Chloroplast-located flavonoids can scavenge singlet oxygen // *New Phytol.* – 2007. – Vol. 174. – P. 77–89.
4. Glasius M., Goldstein A.H. Recent discoveries and future challenges in atmospheric organic chemistry // *Environ. Sci. Technol.* – 2016. – Vol. 50. – P. 2754–2764.
5. Turunen M., Heller W., Strich S. et al. The effects of UV exclusion on the soluble phenolics of young *Scots pine* seedlings in the subarctic // *Environ. Pollution.* – 1999. – P. 219–228.

УДК 631.416.8

О ПРОБЛЕМАХ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Т.И. Сиромля

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
tgulkina@yandex.ru*

ON THE PROBLEMS OF APPLYING BIOGEOCHEMICAL COEFFICIENTS

T.I. Siromlya

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB of RAS, Novosibirsk, Russia
tgulkina@yandex.ru*

Аннотация. Показано отсутствие единых стандартизованных методик определения и оценки содержания различных форм соединений химических элементов в почвах и растениях. Приведены варианты терминов, использующихся для оценки отношения содержания элементов в надземной и подземной частях растений, в почвах и растениях. Отмечено, что использование различных экстрагентов для извлечения доступных растениям форм соединений элементов из почв приводит к некорректной оценке интенсивности их накопления растениями.

Введение

Изучение закономерностей формирования и связей элементного химического состава почвенно-растительного покрова в естественных и антропогенных экосистемах ведется уже много десятков лет. Однако анализ многочисленных литературных данных свидетельствует об отсутствии единых стандартизованных методик определения и оценки содержания различных форм соединений химических элементов (ХЭ) в почвах и растениях. Это служит причиной возникновения серьезных терминологических и классификационных противоречий, затрудняющих адекватное сопоставление результатов, полученных разными исследователями.

Остановимся подробнее на нескольких случаях. Фамилии авторов статей будут приведены лишь для примера и без включения в списки литературы либо не указаны вообще, поскольку биогеохимические коэффициенты используются в каждой второй, если не первой, работе по соответствующей тематике.

Очень часто ученые сравнивают концентрации ХЭ в подземной и надземной частях растений. Один и тот же коэффициент, который рассчитывается как отношение содержания ХЭ в корне растения к его содержанию в надземной части (величина более 1 указывает на наличие барьера при поступлении элемента в наземную часть растения), получил весьма разнообразные названия в литературе:

- коэффициент передвижения (КП) [Ковалевский, 1991];
- коэффициент корневого барьера (ККБ, Ккб) [Практикум ..., 2001; Плеханова, 2007; Сибгатуллина, 2009; Афанасьева, Аюшина, 2018, Ельчиной и др., 2021];
- акропетальный коэффициент (АК) [Валеева, 2004; Сибгатуллина и др., 2014];
- элементостатический барьер [Чаплыгин, 2015; Семенова и др., 2018] и другие.

Помимо использования разных терминов для фактически одного и того же коэффициента, в работах разных авторов появляются и другие отличия. Если у травянистых растений подземную часть можно отобрать полностью, то у древесных растений ККБ часто рассчитывают по отношению к тонким корням. С надземной частью растений ситуация еще сложнее: как вариант это может быть надземная часть полностью, листья, стебли, плоды, кора, побеги разных лет и так далее. Но если, например, цветы ромашки и ее наземная часть резко отличаются по содержанию ХЭ, то и ККБ будет отличаться тоже, и корректно сравнить эти данные будет просто невозможно.

Сравнение с данными иностранных авторов дополнительно осложняется не только использованием другой терминологии (translocation factor (TF) (коэффициент транслокации) [Branquinho et al., 2007; Gupta et al., 2008; Mikołajczak et al., 2017; Zajęcka et al., 2021; Lisiak-Zielińska et al., 2021 и др.], transfer factor (коэффициент переноса/перехода) [Baker et al., 2000; Lasat, 2002; Lajayer, Ghorbanpour, Nikabadi, 2017 и др.], но и тем, что данные коэффициенты рассчитываются как отношение содержания элемента в надземной части растений к его содержанию в корнях, т.е. фактически это величины, обратные ККБ. Величина коэффициента более 1 указывает на активное поступление элемента в надземную часть растений.

Данные о содержании ХЭ в растениях не дают возможности оценить интенсивность их поглощения из почвы, для этих целей используется следующая группа биогеохимических коэффициентов:

- коэффициент биологического поглощения (КБП, A_x);
- коэффициент биогеохимический подвижности (B_x);
- коэффициент биологического накопления (КБН);
- коэффициент поглощения (КП);
- коэффициент накопления (КН) и другие.

В общем виде коэффициент рассчитывается как отношение концентрации ХЭ в надземной части растений к его концентрации в почве, но авторы используют содержание элементов как в золе, так и в сухом веществе, а также в сырой биомассе, и не только их общее количество в почве, но и различные подвижные формы, что значительно затрудняет сравнительный анализ литературных данных [2, 3].

В зарубежных работах для обозначения интенсивности поглощения используются следующие термины:

- concentration factor (CF) (коэффициент концентрации) [Bargagli, 1998];
- enrichment factor (EF) (коэффициент обогащения) [Branquinho et al., 2007];
- bioaccumulation factor (BAF) (коэффициент биоаккумуляции) [Kovacik et al., 2012; Gebrekidan et al., 2013];
- bioconcentration factor (BCF) (коэффициент биоконцентрации) [Mikołajczak et al., 2017];
- phytoaccumulation factor (PF) (коэффициент фитоаккумуляции) [Zajęcka et al., 2021] и другие.

Отдельно стоит обратить внимание на трансфер-фактор TF, который, как было отмечено выше, чаще всего отражает соотношение элементов в надземной и подземной частях растений. Однако встречаются и другие примеры: [Cui et al., 2004; Roslan et al., 2016] – transfer factor рассчитывается как отношение содержания элемента в сырой массе растений к содержанию элемента в воздушно-сухой почве; [Overesch et al., 2013] – transfer factor рассчитывается как отношение содержания элемента (г/кг) в растении к запасу элемента в почве (г/м³). В таких ситуациях сопоставление коэффициентов с одинаковым названием, но рассчитываемых по разным формулам, будет просто бессмысленно.

Рассмотрим еще один случай. При сравнении величин КБН (отношение содержания ХЭ в воздушно-сухом веществе растений к содержанию подвижной формы соединений ХЭ в почве) в литературе зачастую делается вывод о том, что более высокое значение коэффициента указывает на большую интенсивность поглощения элемента. Но при постоянном значении содержания элемента в одной и той же растительной пробе, т.е. при одном и том же «делимом», в зависимости от используемого экстрагента будет резко изменяться содержание подвижных форм соединений элемента, т.е. «делитель». Соответственно, увеличение «делителя» ведет к уменьшению «частного», т.е. КБН. И если, например, содержание обменных форм соединений Си в почвенной пробе меньше, чем комплексных форм ее соединений, то КБН в первом случае будет больше, чем во втором. Таким образом, для менее «агрессивного» экстрагента, извлекающего из почвы меньшую концентрацию ХЭ, КБН всегда будет больше.

Следует обратить внимание еще на один аспект. Поскольку биогеохимические коэффициенты дают возможность оценить интенсивность поглощения растениями ХЭ из почвы, вполне естественно, что их используют для разделения растений на группы по способности накапливать эти элементы. Так, например, Ловкова с соавторами [1] относят к концентраторам растения, для которых КБН выше 1. Таким образом, если использовать какой-либо слабый экстрагент, например, дистиллированную воду или 1н KCl – к концентраторам можно будет отнести практически любое растение. Так, например, в проведенных нами исследованиях [2] КБН Cd для надземной части тысячелистника обыкновенного выше 1 при использовании всех трех типов экстрагентов: ацетатно-аммонийного буфера с pH 4,8, его же с добавлением 1% раствора ЭДТА, 1н HCl, т.е. растение якобы является концентратором Cd. Но содержание данного элемента не превышает 0,5 мг/кг, в то время как по классификации van der Ent et al. [4] к гиперконцентраторам относят растения, содержащие более 100 мг/кг Cd.

Таким образом, для корректной научной коммуникации необходима стандартизация понятийного аппарата и конкретизация терминов, касающихся биогеохимических коэффициентов и других вопросов накопления химических элементов растениями, что поможет избавиться от существующих в настоящее время противоречий.

Список литературы

1. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М. и др. Почему растения лечат. – М. : Ленанд, 2014. – 288 с.
2. Сиромля Т.И. К вопросу о биогеохимических коэффициентах // Сборник трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН «Почвы и окружающая среда». – Новосибирск, 2023. – С. 673–675.
3. Reimann C., Koller F., Frengstad B. et al. Comparison of the element composition in several plant species and their substrate from a 1 500 000-km² area in Northern Europe // Science of the Total Environment. – 2001. – Vol. 278. – P. 87–112.
4. van der Ent A., Baker A.J.M., Reeves R.D. et al. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: facts and fiction // Plant Soil. – 2013. – Vol. 362. – P. 319–334.

УДК 504.05:62/69

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ДО- И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ПЕРИОДЫ
ИХ НАКОПЛЕНИЯ В ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ ОЗЕР ЮГА СИБИРИ,
СФОРМИРОВАВШИХСЯ В ХОДЕ ГУМИДНОГО И АРИДНОГО ТИПОВ
СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА**

В.Д. Страховенко, Г.И. Малов, В.И. Малов, Е.А. Овдина

*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия
strahova@igm.nsc.ru*

**DISTRIBUTION OF ELEMENTS IN THE PRE- AND POST-INDUSTRIAL PERIODS
OF THEIR ACCUMULATION IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL LAKES
IN SOUTHERN SIBERIA, FORMED DURING THE HUMID AND ARID TYPES
OF SEDIMENTATION**

V.D. Strakhovenko, G.I. Malov, V.I. Malov, E.A. Ovdina

*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia
strahova@igm.nsc.ru*

Abstract. Рассматривается вертикальное распределение усредненных содержаний элементов в до (35–60 см) – и постиндустриальные (0–35 см) периоды их накопления в донных отложениях малых озер юга Сибири, сформировавшихся в ходе гумидного и аридного типов седиментогенеза. Выявлено избыточное накопление в постиндустриальный период осадкообразования Hg (во всех ландшафтных зонах), Sb (во всех ландшафтных зонах в условиях гумидного седиментогенеза и в ленточных борах), Cd (во всех ландшафтных зонах, кроме лесостепной зоны Западной Сибири и степной – западный берег Байкала).

Введение

На рубеже XX и XXI веков человечество столкнулось с рядом глобальных экологических проблем, среди которых одним из наиболее значимых последствий антропогенного воздействия на природную среду является происходящая в планетарном масштабе эмиссия макро- и микроэлементов в окружающую среду [3]. Особую тревогу вызвало обогащение биосферы такими элементами как ртуть, кадмий, свинец, в силу их особой токсичности и стремительности нарастания поступлений в 20 веке» [2 и др.]. Качественная и количественная характеристики поступления, перераспределения и накопления этих элементов в природе является одной из фундаментальных проблем экогеохимии, экологии и геохимии седиментогенеза. Надежным источником информации об основных закономерностях изменений в концентрациях элементов, поступающих в озерные системы, являются стратифицированные донные отложения (ДО). ДО содержат информацию о характере направленности процессов, проходящих в водоемах во взаимосвязи с площадью их водосборов. Послойное изучение распределения содержаний элементов в донных осадках, позволяет сравнить и сопоставить современные концентрации элементов с доиндустриальными фоновыми уровнями. Конечно же необходимо учитывать факторы, определяющие геохимический состав формирующихся сапропелей, изменения в поступлении элементов с учетом влияния содержания органического вещества повышение содержания элементов, их перераспределения, происходящие на начальной стадии диагенеза и другие.

Использованные материалы и их интерпретация

Объект исследования – стратифицированные ДО малых озер юга Сибири. Предмет исследования – вертикальное распределение усредненных содержаний элементов в до (35–60 см) – и постиндустриальные (0–35 см) периоды их накопления в ДО малых озер юга Сибири, сфор-

мировавшихся в ходе гумидного и аридного типов седиментогенеза. В этой работе на базе массива аналитических данных по вертикальному распределению элементов в ДО, собранных авторами, начиная с 1991 года по 2024 год, проведена количественная оценка поступления элементов в ДО малых озер юга Сибири за последние 250 лет. Для доиндустриального периода взяты слои колонок ДО с глубины (35–60 см), которые согласно установленным скоростям осадконакопления относятся к периоду времени ранее 1900-х гг. Для постиндустриального периода взяты слои колонок ДО с глубины (0–35 см), которые согласно установленным скоростям осадконакопления относятся к современному периоду времени до 1900-х гг. В постиндустриальный период сформировались верхние 35–25 см ДО колонок озер, отнесенные к 1910–2020 гг. согласно полученным оценкам скорости седиментогенеза в каждом озере с использования метода радиометрического датирования по неравновесному ^{210}Pb [1 и др.].

Керн ДО отбирался при помощи цилиндрического пробоотборника с вакуумным затвором конструкции НПО «Тайфун» (Россия) (диаметром 82 мм) с катамарана и опробовался по-слоино с шагом 1 или 2 см на глубину до 250 см. Изучение элементного состава отобранных образцов ДО выполнено в центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск: определение радионуклидов (385 проб) проводилось на колодезном коаксиальном детекторе из сверхчистого германия (HPGe) с предусилителем и низкофоновым криостатом; масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) (746 проб), рентгеновская дифрактометрия (XRD) (232 пробы), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) (около 500 проб).

Обсуждение результатов

При сопоставлении усредненных содержаний элементов в ДО озер различных ландшафтных зон юга Сибири, расположенных в условиях разных типов седиментогенеза, от нормированных на состав PAAS (постархейский средний австралийский глинистый сланец) [4], установлено, что содержание элементов в ДО, расположенных в условиях разных типов седиментогенеза, отличаются незначительно, за исключением Na, Mg, Ca, Sr, U и Hg (рис. 1). Избыточное накопление в процессе современного осадкообразования Ca, Na, Mg, Sr, U в озерах в аридной зоне седиментогенеза, связано с накоплением в ДО аутигенных карбонатов [1 и др.].

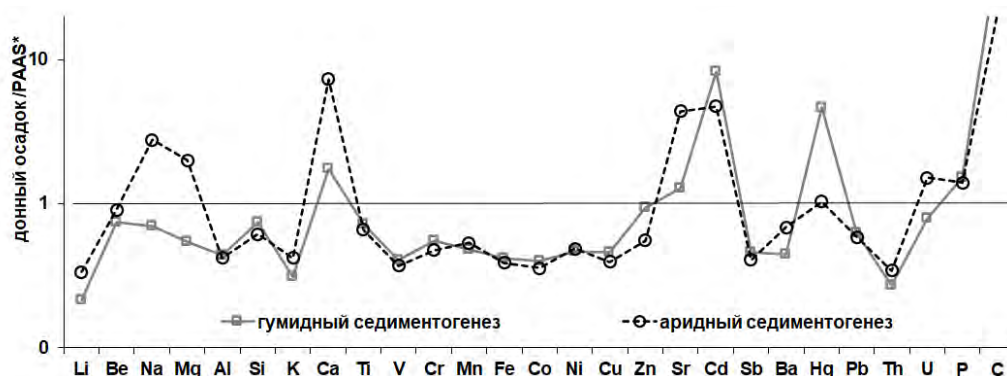


Рис. 1. Усредненные содержания элементов в ДО озер юга Сибири, расположенных в условиях разных типов седиментогенеза, нормированные к значениям PAAS

При сопоставлении усредненных содержаний элементов в до – и постиндустриальные периоды их накопления в ДО озер различных ландшафтных зон юга Сибири, выявлено, что избыточное накопление в постиндустриальный период осадкообразования характерно для Hg (во всех ландшафтных зонах), Sb (во всех ландшафтных зонах в условиях гумидного седиментогенеза и в ленточных борах), Cd (во всех ландшафтных зонах, кроме лесостепной зоны За-

падной Сибири и степной – западного побережья Байкала (см. таблицу).

Таблица. Вертикальное распределение усредненных содержаний элементов) в до (35-60 см) – и постиндустриальные (0-35 см) периоды их накопления в ДО озер юга Сибири в разных типах седиментогенеза и их отношения между собой

Гумидный тип седиментогенеза												
Ланд-шафт	Донный осадок	Na	Mg	Al	K	Ca	Fe	Mn	Sr	Ba	V	Cr
		%						ppm				
Таежная зона Балтий-ский щит	Верх раз-реза*	1,1	0,7	2,9	0,9	1,0	3,2	493	385	263	57	43
	Низ разре-за**	2,3 0	1,3 3	6,17	1,4 6	1,23	4,4 2	327	427	472	88	56
	Верх/Низ	0,5	0,5	0,5	0,6	0,	0,7	1,5	0,9	0,6	0, 6	0,8
Таежная зона юго-восточ-ного по-бережья Байкала	Верх раз-реза	0,5	0,6	5,0	1,0	1,0	2,5	454	147	332	96	105
	Низ разре-за	0,8	0,9	6,9	1,4	1,2	3,2	516	179	429	12 4	111
	Верх/Низ	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0, 8	0,9
Таежная зона юга Западной Сибири	Верх раз-реза	1,1	0,4	1,3	0,3	8,4	0,9	745	551	284	24	25
	Низ разре-за	1,2	0,5	2,0	0,6	6,9	1,3	841	532	264	40	26
	Верх/Низ	0,9	0,9	0,6	0,5	1,3	0,8	0,9	1,0	1,1	0, 6	1,0
Лесо-степь юга За-падной Сибири.	Верх раз-реза	0,6	0,8	3,0	0,9	3,9	1,8	673	331	178	52	64
	Низ разре-за	0,6	0,7	2,9	0,9	3,8	1,6	512	370	171	52	74
	Верх/Низ	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,1	1,3	0,9	1,0	1, 0	0,9
Ланд-шафт	Донный осадок	Co	Ni	Cu	Zn	Th	U	Hg	Pb	Cd	Sb	
		ppm										
Таежная зона Балтий-ский щит	Верх раз-реза	11	22	23	103	5,4	1,5	0,13	18	0,64	0,47	
	Низ разре-за	12	37	32	94	6,2	1,6	0,05	10	0,35	0,20	
	Верх/Низ	0,9	0,6	0,7	1,1	0,9	0,9	2,5	1,8	1,8	2,4	
Таежная зона юго-восточ-ного по-бережья Байкала	Верх раз-реза	11	32	32	125	4,6	5,7	0,05	18	0,20	0,53	
	Низ разре-за	13	40	35	122	4,9	6,5	0,03	13	0,13	0,34	
	Верх/Низ	0,8	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9	1,5	1,3	1,6	1,6	
Таежная зона юга Западной	Верх раз-реза	4,5	16	16	72	2,1	2,0	0,04	8,7	0,21	0,90	
	Низ разре-	5,0	16	15	73	2,1	1,7	0,03	9,5	0,10	0,86	

Сибири	за											
	Верх/Низ	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0	1,1	1,5	0,9	2,2	1,1	
Лесо- степь	Верх раз- реза	8	25	25	70	5,0	2,5	0,05	13	0,25	1,40	
юга За- падной	Низ разре- за	8	23	22	59	5,1	2,5	0,02	8	0,22	1,10	
Сибири.	Верх/Низ	1,0	1,1	1,1	1,2	1,0	1,0	2,4	1,6	1,1	1,3	
Аридный тип седиментогенеза												
Ланд- шафт	Донный осадок	Na	Mg	Al	K	Ca	Fe	Mn	Sr	Ba	V	Cr
		%						ppm				
Степь юг Западной Сибири	Верх раз- реза	4,7	6,2	2,3	1,2	10	0,9	555	210 3	370	64	47
	Низ разре- за	3,0	3,6	3,6	1,5	5,8	1,6	587	114 0	329	66	52
	Верх/Низ	1,6	1,7	0,6	0,8	1,7	0,6	0,9	1,9	1,1	1, 0	0,9
Ленточ- ные бо- ры юг Западной Сибири	Верх раз- реза	1,9	2,7	2,4	0,4	12	0,8	617	165 5	429	44	42
	Низ разре- за	1,8	2,8	3,5	0,4	11	0,7	810	178 7	460	48	44
	Верх/Низ	1,1	1,0	0,7	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	0,9	0, 9	0,9
Степь западно- го побе- режья Байкала	Верх раз- реза	1,3	3,0	4,3	1,0	11	2,5	835	100 7	474	69	81
	Низ разре- за	1,2	2,6	5,5	1,5	10	2,9	1214	821	651	87	79
	Верх/Низ	1,0	1,2	0,8	0,7	1,2	0,8	0,7	1,2	0,7	0, 8	1,0
Ланд- шафт	Донный осадок	Co	Ni	Cu	Zn	Th	U	Hg	Pb	Cd	Sb	
		ppm										
Степь юг Западной Сибири	Верх раз- реза	7,	33	34	40	3,9	2,0	0,08	11	0,21	0,60	
	Низ разре- за	7	30	28	46	3,7	1,8	0,05	12	0,12	0,63	
	Верх/Низ	1,0	1,1	1,2	0,9	1,0	1,1	1,7	0,9	1,7	1,0	
Ленточ- ные бо- ры юг Западной Сибири	Верх раз- реза	8	16	14	38	1,7	1,9	0,06	15	0,10	1,10	
	Низ разре- за	8	16	13	40	1,7	2,0	0,02	15	0,07	0,70	
	Верх/Низ	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	2,5	1,0	1,5	1,6	
Степь западно- го побе- режья Байкала	Верх раз- реза	12	35	28	64	3,0	10	0,07	3,8	0,16	0,49	
	Низ разре- за	14	40	31	70	3,6	10	0,03	4,7	0,19	0,48	
	Верх/Низ	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	1,0	2,5	0,8	0,8	1,0	

Примечание: * – верх разреза – 0–35 см от контакта вода-донный осадок; ** – низ разреза – 35–60 см от контак-
та вода-донный осадок.

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7)
при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования*

Литература

1. Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И. и др. Уровни концентрации химических элементов, вариации минерального состава и современная скорость осадконакопления в сапропелевых залежах малых озер зоны тайги юга Сибири // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64, № 7. – С. 991–1007.
2. Янин Е.П. Техногенные речные илы: вещественный состав и геохимические особенности // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов IX международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : Изд-во Южн. федерального ун-та, 2020. – С. 744–748
3. Kabata-Pendias A. Trace metals in soils-a current issue in Poland //Acta Universitatis Wratislaviensis. Prace Botaniczne. – 2001. – Vol. 79. – P. 13–20.
4. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. – Oxford : Blackwell, 1995. – 330 p.

УДК 574.4+631.45

**ВКЛАД ПРОФЕССОРА М.С. ПАНИНА В ИЗУЧЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
И РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

А.И. Сысо

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
syso@mail.ru*

**THE CONTRIBUTION OF PROFESSOR M.S. PANIN IN STUDYING HEAVY METALS
AND RADIONUCLIDES IN ENVIRONMENT**

A.I. Syso

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of RA Sciences, Novosibirsk, Russia
syso@mail.ru*

Аннотация. Профессор М.С. Панин (06.02.1940 – 27.07.2019) – выдающийся педагог, ученый эколог, организатор научно-преподавательской работы в высшем образовании, общественный деятель Республики Казахстан. Он внес существенный вклад в изучение тяжелых металлов и радионуклидов в окружающей среде, исследовав их содержание, особенности аккумуляции, миграции, формы химических соединений в разных компонентах наземных и водных экосистем Казахстана. Велико теоретическое и прикладное значение результатов его исследований для экологии, биогеохимии, охраны окружающей среды, почвоведения и других наук. Им создана научная школа экологов, проведены международные научно-практические конференции, где ученые Казахстана, России и других стран обсуждали полученные результаты изучения тяжелых металлов и радионуклидов в разных компонентах биосферы.

Панин Михаил Семенович родился 6 февраля 1940 г. в селе Камышенка Бородулихинского района Семипалатинской области Республики Казахстан. В 1957 г. окончил среднюю школу им. Н. Островского с. Бородулиха. В 1963 г. с отличием завершил обучение на биолого-химическом факультете Семипалатинского педагогического института.

Дальнейшая его трудовая деятельность была связана с данным учебным заведением, а также с Семипалатинским государственным университетом имени Шакарима, в состав которого пединститут входил до реорганизации в феврале 2004 г. В них М.С. Панин прошел путь от ассистента до первого руководителя учебного заведения: с 1971 по 1988 гг. он работал заведующим кафедрой химии, с 1972 по 1985 гг. – деканом биолого-химического факультета, проректором по учебной работе, с 1985 по 1995 гг. – ректором педагогического института, с 1995 по 1997 гг. – ректором вновь созданного Государственного университета «Семей», с 1997 по 25.03. 2004 г. – первым проректором Семипалатинского государственного университета имени Шакарима, а затем по 04.09.2005 г. – проректором по учебной работе, а с 05.09.2005 г. по 2012 г. – проректором по научной работе и международным связям и заведующим кафедры экологии и географии вновь созданного Семипалатинского государственного педагогического института.

На всех должностях М.С. Панин активно и творчески работал, используя данные ему природные способности – живой ум, стремление познавать неизведанное, усваивать и применять новые знания, энергию, силу и упорство борца, идущего к поставленной цели сквозь любые тернии, а также доброжелательность и коммуникабельность с людьми разного статуса, активность гражданской позиции в отстаивании законных интересов ВУЗов, их работников и студентов, образования и науки, граждан Республики Казахстан в целом.

Эти способности позволили М.С. Панину существенно улучшить материально-техническую базу Семипалатинских пединститута и университета, усовершенствовать в них научную, учебную и методическую работу, подготовку высококвалифицированных научно-педагогических кадров. Особое внимание он уделял подготовке педагогов и ученых хими-

ков, биологов, экологов для развития научных и прикладных исследований в области охраны окружающей среды Казахстана.

Научная деятельность профессора М.С. Панина преимущественно была направлена на решение актуальных вопросов эколого-биогеохимической оценки содержания тяжелых металлов, естественных и искусственных радионуклидов в почвах, растительных и животных организмах и в других компонентах наземных и водных экосистем природных и техногенных ландшафтов Казахстана. Необходимость в их решении возникла из-за техногенного загрязнения этими химическими элементами окружающей среды Казахстана, что породило угрозу их опасного воздействия на жизнь и здоровье, хозяйственную деятельность населения.

Решение этой актуальной экологической проблемы, потребовало научного обоснования мероприятий по санации загрязненных тяжелыми металлами и радионуклидами территорий, позволяющих повысить их безопасность для человека, животных и растений. Для этого были необходимы разносторонние эколого-биогеохимические, химические и иные исследования, которыми многие годы занимался и руководил М.С. Панин. В этом ему помогали научные и иные сотрудники, преподаватели, аспиранты и студенты возглавляемых им коллективов.

Видятся два важных результата проделанной в данном направлении научной и научно-педагогической работы М.С. Панина.

Первый – получение результатов научных исследований имеющих важное теоретическое и прикладное значение для экологии, биогеохимии, охраны окружающей среды, сельского хозяйства, почвоведения, агрохимии и других наук. Они получили высокую оценку ученых из разных стран мира. Результаты его исследований были опубликованы в многочисленных статьях и монографиях, учебниках и учебных пособиях, а также представленные в научных докладах на международных конференциях в Казахстане, России и других странах, где получили высокую оценку за новизну, обширность и глубину исследований ученого.

Второй – создание крупной научной школы ученых в области экологии, биогеохимии, охраны окружающей среды, почвоведения. Представителями многочисленной научной школы М.С. Панина, активно ведущими изучение тяжелых металлов в окружающей среде, являются доктора биологических наук Т.И. Сиромля, А.Р. Сибиркина и другие ученые, работающие в разных регионах Казахстана и России.

Важнейший вклад в развитие биогеохимических, геоэкологических, почвенно-эколого-агрохимических, экологических исследований ученых разных стран, их научного и творческого сотрудничества внесли инициированные и блестяще проведенные М.С. Паниным в г. Семей (бывший Семипалатинск) в 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012 гг. Международных научно-практических конференций «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде», а также V Международная биогеохимическая школа «Актуальные проблемы геохимической экологии» в 2005 г. В конференциях принимали участие профессора В.А. Алексеенко, А.Б. Бигалиев, В.С. Берель, В.В. Ермаков, В.Б. Ильин, М.А. Мальгин, Г.В. Мотузова, Л.П. Рихванов и другие ведущие ученые стран СНГ, а также молодые исследователи, которые сообщали и активно обсуждали полученные новейшие результаты их исследований. Проведенные научные мероприятия получили большой резонанс среди ученых разных стран, способствовали международному научному сотрудничеству.

Результатами его стало издание с 2006 г. по инициативе М.С. Панина на трех языках единственного на постсоветском пространстве международного журнала «Проблемы биогеохимии и геохимической экологии», получившего широкое признание среди научной общественности стран ближнего и дальнего зарубежья.

В соавторстве с ведущими учеными России М.С. Панин подготовил и издал ряд фундаментальных учебников для высших учебных заведений. В соавторстве с В.С. Безелем – «Экотоксикология» (2008 г.), в соавторстве с В.А. Алексеенко и С.А. Бузмаковым «Геохимия окружающей среды» (2013 г.). Названные и другие учебники, учебно-методические пособия М.С. Панина получили широкое признание в вузах Казахстана и России. Они используются не

только в учебном процессе, но и в научных исследованиях содержания, особенностей аккумуляции, миграции, форм химических соединений тяжелых металлов и радионуклидов в разных компонентах наземных и водных экосистем.

УДК 574.4+631.45

НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ КАК КОМПОНЕНТЕ БИОСФЕРЫ

А.И. Сысо

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
syso@mail.ru*

UNRESOLVED ISSUES OF ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN SOILS AS A COMPONENT OF THE BIOSPHERE

A.I. Syso

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia
syso@mail.ru*

Аннотация. Экологическая оценка элементного химического состава почв как компонента биосферы подразумевает выявление их техногенного загрязнения, наличия в них эссенциальных и условно-эссенциальных макро- и микроэлементов в количестве достаточном для нормального развития растительных и животных организмов, критически низких и высоких для их жизни концентраций химических элементов. Количество химических элементов в почвах поселений и сельхозугодий сегодня преимущественно оценивается с позиций загрязнения окружающей среды и их безопасности как фактора среды обитания человека, а также плодородия и безопасности для сельскохозяйственных культур и их продукции. Нерешенными остаются вопросы экологической оценки элементного химического почв разных типов как среды обитания диких растений и животных в естественных и техногенных ландшафтах.

Почвы важный компонент биосферы, выполняющий в ней глобальную экологическую функцию обеспечения жизни и ее разнообразия на Земле. Их способность осуществлять эту функцию зависит от физических и физико-химических свойств, гранулометрического, минералогического и элементного химического и иного состава почв. Поэтому экологическая оценка качества почв как фактора среды обитания растительных и животных организмов нуждается в определении многих характеризующих ее показателей.

Практикой земледелия выявлены, а наукой обоснованы критические и оптимальные значения показателей состава и свойств почв, позволяющие определить их пригодность для выращивания культурных растений и уровень почвенного плодородия. В настоящее время для оценки на землях сельскохозяйственного назначения плодородия, деградации и загрязнения почв, их устойчивости к разным видам воздействий, влияния почв на растения, животных и человека в почвах контролируется широкий перечень почвенно-агрохимических и санитарно-гигиенических показателей. По некоторым из них определяют пригодность почв, пород и грунтов для землевания, рекультивации, допустимое загрязнение почв химическими веществами.

В почвах как природном теле, возникшем на поверхности земли в результате воздействия факторов почвообразования (горных пород, живых организмов, рельефа, климата и времени), являющимся объектом охраны окружающей среды в России контролируется широкий перечень химических веществ. Он включает химические элементы (ХЭ) и их соединения, имеющие разное биологическое и экологическое значение для жизни растительных и животных организмов, охраны окружающей среды.

Наиболее биологически значимы для живых организмов абсолютно незаменимые или эссенциальные макро- и микроэлементы – N, P, K, Na, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo, B, Se, I, F, Ni, Cr. Доказано, что их недостаток или дисбаланс в почвах может быть губителен для жизни, здоровья, продуктивности растений и животных. Эти элементы-биофилы определяют плодородие почв, биогеохимическое благополучие территорий по их содержанию, соотно-

шению и миграции в системе почва-растение-животные-человек. Поэтому количество и соотношение этих элементов в почвах оценивается по агрохимическим и биогеохимическим критериям и нормативам.

Для живых организмов доказанно важная биологическая роль условно эссенциальных макро- и микроэлементов, перечень которых постоянно расширяется и включает – Si, Br, Li, V, As, Cd, Pb, Sr, Ti, Y, La и другие ХЭ. Без них живые организмы могут существовать, но их недостаток растительным или животным организмам ухудшает протекающие в них биохимические и иные процессы, рост и развитие. Опыты агрохимиков доказали положительное (биостимулирующее) влияние на продуктивность растений Si, а также Y, La, Ce, Sc и других редкоземельных элементов.

Практически все естественные химические элементы, участвующие в биологическом и геологическом круговоротах, наряду с техногенными веществами, с позиций охраны окружающей среды от промышленного загрязнения считаются токсикантами промышленного происхождения. Это породило противоречия и нерешенные вопросы обоснованности использования такого подхода к оценке химических элементов в почвах разных категорий земель, в минеральных и органогенных почвах и почвенных горизонтах.

Примером противоречия служит оценка эссенциальных макро- и микроэлементов в почвах сельхозугодий. С позиций охраны окружающей среды повышение плодородия почв за счет внесения минеральных или органических удобрений, агроулучшителей содержания элементов-биофилов в почвах, считается их загрязнением и нанесением им ущерба. Снижение же плодородия почв, из-за уменьшения содержания в них этих ХЭ, их очищением от поллютантов.

Росгидромет и другие учреждения, контролирующие элементный химический состав почв как объекта охраны окружающей среды на всех категориях земель, оценивают его как загрязнение среды обитания человека. Для этих целей они используют установленные для широкого перечня химических веществ санитарно-гигиенические нормативы – предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) в почвах населенных мест и землях сельскохозяйственного назначения. При оценке количества иных ХЭ в контролируемых почвах применяют геохимический подход – сравнение с их содержанием в однотипных фоновых почвах региона или кларком в почвах России или мира. Загрязнением контрольных почв химическими веществами считается превышение их количества фонового уровня или кларка в 3–5 раз.

Применяемые в охране окружающей среды подходы к оценке количества химических веществ в почвах можно признать экологическими лишь частично. Во-первых, из-за оценки почв только как среды обитания человека, а не всех живых организмов. Во-вторых, из-за использования гигиенических нормативов ПДК и ОДК, ограничивающих только верхний предел абсолютно безопасного уровня содержания ХЭ в почвах как факторе среды обитания человека на землях населенных мест и сельхозугодий. В-третьих, из-за направленности на недопущение превышения максимально допустимого уровня содержания ХЭ только в продукции культурных растений на сельхозугодиях для сельскохозяйственных животных и человека. В-четвертых, из-за некорректности использования установленных только для минеральных почв гигиенических нормативов, региональных и иных кларков ХЭ для их оценки в органогенных почвах и горизонтах.

Собственно экологическая оценка химических элементов в почвах как компоненте биосферы видится не только в выявлении опасности их техногенного загрязнения для человека, но и в определении способности почв обеспечивать эссенциальными и условно эссенциальными элементами растения и животных, а также аномально высокого уровня содержания ХЭ в почвах опасного для жизни и биоразнообразия растений и животных. Однако для такой оценки необходимо решение ряда научных и научно-методических вопросов.

Первым таким вопросом, требующим натурных и лабораторных исследований почв и расте-

ний является – определение в поверхностных корнеобитаемых минеральных и органогенных слоях почв естественных экосистем пределов нормального, критически низкого и высокого содержания эссенциальных и иных химических элементов для доминантных, ресурсных диких растений с разными требованиями к уровню их минерального питания и другим условиям среды. Установление этих параметров почв позволит научно-обоснованно оценивать уровень содержания в них макро- и микроэлементов и прогнозировать последствия его изменения для жизни, биоразнообразия и продуктивности растений и животных в естественных экосистемах, подверженных воздействию антропогенных и/или природных факторов

Второй нерешенный вопрос – необходимость перехода с оценки валового содержания и количества подвижных форм химических элементов в почвах в мг/кг почвы, на их оценку: 1) в объемных единицах в мг/дм³ почвы; 2) в запасах элемента в диагностируемом слое почв в мг или г/м² или кг/га; 3) подвижных форм химических элементов в моль/кг или моль/дм³ почвы. Переход на объемные единицы измерений позволит более объективно оценивать и сравнивать содержания химических элементов минеральных и органогенных почвах и горизонта, а определение запасов достоверней судить о потенциале плодородия почв, количестве и балансе поступивших в них химических веществ техногенного или иного происхождения.

Третий вопрос – актуальность расширения перечня эколого-биогеохимических критериев и нормативов критических концентраций и соотношений химических элементов в органогенных и минеральных почвах естественных экосистем. Наиболее перспективна их разработка на биогеохимической научно-методической основе экологического нормирования, созданной работами В.В. Ковальского, В.В. Ермакова, В.Н. Башкина и других выдающихся ученых, результатов исследований поведения химических элементов в системе почва-растение-животное.

Четвертый вопрос – создание универсальной группировки валового содержания, количества потенциально доступных и доступных растениям форм соединений макро- и микроэлементов во всем диапазоне их концентраций обнаруженных в почвах для оценки их по агрохимическим, биогеохимическим, экологическим, в том числе санитарно-гигиеническим, нормативам. Это позволит по результатам определения в почвах содержания и статуса химических элементов дать им собственно экологическую оценку, поскольку для жизни растительных и животных организмов критический недостаток биологически важных элементов столь же губителен как и их критический избыток, из-за техногенного или иного воздействия на почвы.

Пятый вопрос – определение и узаконивание региональных фоновых значений валового содержания химических элементов в разных по типам и зольности торфяных почвах, разных по генезису и гранулометрическому составу минеральных почвах, диапазона его природного варьирования в них, а также наличия на территории регионов природных геохимических аномалий. Данный вопрос актуален давно, но не решен в большинстве регионов России.

Хотя для решения перечисленных вопросов экологической оценки элементного химического состава почв выдающимися российскими и зарубежными учеными геохимиками, биогеохимиками, почвоведом, агрохимиками, геоботаниками, зоологами, экологами создан существенный научный задел, но вероятно, потребуются новые полевые и лабораторные почвенно-агрохимические, биогеоэкологические, биогеохимические и иные исследования. Их результаты могут послужить реализации Постановления Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 г. № 149 «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий», а также стать фундаментальной научной основой для экологической оценки почв как компонента биосферы и фактора среды обитания растений, животных и человека.

УДК 550.4 + 929

НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ Л.П. РИХВАНОВА

Е.Г. Язиков, А.А. Поцелуев

*Томский политехнический университет, Томск, Россия
yazikoveg@tpu.ru*

SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL HERITAGE OF L.P. RIKHVANOV

E.G. Yazikov, A.A. Potseluev

*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
yazikoveg@tpu.ru*

Abstract. Очерк посвящен жизни и деятельности профессора Томского политехнического университета, доктора геолого-минералогических наук, выдающегося ученого в области радиогеологии, радиоэкологии и металлогении месторождений редких и радиоактивных элементов Леонида Петровича Рихванова. Будучи доцентом, профессором, заведующим кафедрой Геологии и разведки руд редких и радиоактивных элементов, а затем Геоэкологии и геохимии он более 50 лет принимал самое активное участие в подготовке горных инженеров-геологов уранового (редкометалльного) профиля и геоэкологов, а также научных кадров.

Леонид Петрович Рихванов для многих геологов-выпускников Томского политехнического университета (института) периода 1960–2020-х гг., для коллег и учеников был личностью неординарной и во многом выдающейся. Горный инженер-геолог (редкометалльная специализация), доктор геолого-минералогических наук, профессор, «Заслуженный деятель науки РФ», «Заслуженный геолог Российской Федерации», «Почетный разведчик недр», «Почетный работник высшего образования Российской Федерации», действительный член Международной Академии экологии и безопасности жизнедеятельности, член-корреспондент Международной академии наук Высшей школы, член координационного экологического Совета администрации Томской области и экологической комиссии администрации города Томска, председатель Томского отделения Российского Геологического Общества, действительный член Российской Академии естествознания и председатель профессорского собрания Томского политехнического университета.

Он родился в сибирской глубинке в предгорье Восточных Саян 31 июля 1945 г. Детство и юность Леонида Петровича пришлось на сложный послевоенный период восстановления народного хозяйства и, в тоже время, создания новых научно-технических направлений развития страны, требующих развития минерально-сырьевой базы. Уже с 15 лет в период школьных каникул подросток Леня под руководством старшего брата Александра трудился в геологоразведочной партии. Он блестяще оканчивает среднюю школу с серебряной медалью. В то время это свидетельствовало об особой одаренности выпускника. Что впоследствии подтвердилось на всех этапах его научной и педагогической деятельности.

Как профессионал, Леонид Петрович обладал широкими энциклопедическими знаниями, чутко реагировал на появление новых методик в изучении минералогии, геохимии, методов прогнозирования и поисков не только рудных, но и нефтегазовых месторождений. И эти качества в итоге привели его к получению новых фундаментальных знаний.

Леонид Петрович является основателем томской радиогеохимической школы, которая широко известна в России и за ее пределами. Он внес большой вклад в изучение геохимии радиоактивных элементов в природе, их влияния на человека. В 1999 г. он защищает докторскую диссертацию по теме «Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований Алтае-Саянской складчатой области», в которой обобщены многолетние исследования геохимии радиоактивных элементов в магматических и осадочно-метаморфических комплексах

разных геотектонических эпох и этапов развития АССО, а также гидротермально-метасоматических образований различной металлогенической специализации. В дальнейшем развитие этих исследований позволило расширить спектр решаемых не только геологических, но и экологических, технологических задач (поиски углеводородного сырья; радиоэкологическая оценка территорий; типизация, оценка и разбраковка углей, почв, торфов, минеральных удобрений, биогеохимических материалов и т.д.).

По инициативе Леонида Петровича и под его научным руководством активно развивались новые научные направления – комплексное изучение рудных месторождений Центральной Азии, геоэкологические исследования районов добычи полезных ископаемых и урбанизированных территорий, биогеохимические методы изучения и оценки состояния окружающей среды.

Наряду с научными исследованиями Леонид Петрович более 50 лет принимал самое активное участие в подготовке горных инженеров-геологов и геоэкологов. Перечень обеспечиваемых им предметов охватывал все базовые дисциплины этих специальностей. Общение профессора Рихванова Л.П. со студентами во время лекций, лабораторных занятий, при выполнении курсовых и дипломных проектов, в период руководства производственной практикой способствовало формированию специалистов-профессионалов самого высокого качества. Об этом с чувством глубокой благодарности вспоминают на встречах выпускники разных лет. В период заведования кафедрой с 1981 по 2011 гг. были подготовлены многие сотни геологов ураново-редкометалльной специализации и геоэкологов.

Рихванов Леонид Петрович в сложный период 1990–2000-х гг. стал инициатором и организатором проведения на базе Томского политехнического университета ряда международных конференций по «Радиоактивности и радиоактивным элементам в среде обитания человека» (1996, 2004, 2009, 2013, 2016, 2021 гг.).

Леонид Петрович принимал самое активное участие в подготовке и аттестации научных кадров. Он являлся постоянным членом многих диссертационных советов при ТПИ-ТПУ по специальностям:

- геология, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых, минералогия;
- минералогия, кристаллография;
- геохимия и геохимические поиски МПИ;
- горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр;
- геоэкология.

Он уделял огромное внимание работе с выпускниками кафедры, что создавало особую атмосферу товарищества, взаимовыручки, способствовало развитию научных и производственных контактов, решению многих вопросов материально-технического и научно-методического обеспечения работы кафедры и совершенствования ее кадрового потенциала. Им было подготовлено издание очерков «И лучшей судьбы не хотим. 50-летию со дня начала подготовки геологов-уранщиков в Томском политехническом университете : очерки / под ред. проф. Л.П. Рихванова. – Алматы : Бастау. 2004. –208 с.

При консультации и научном руководстве Л.П. Рихванова было подготовлено 6 докторов наук и более 30 кандидатов наук.

Леонид Петрович умел создать атмосферу доброжелательности, творчества, активно поддерживал молодые таланты, был прост в общении. Его активная жизненная позиция проявлялась во всем – в развитии научных направлений, в общественной жизни кафедры, факультета, университета. Он был великолепным тамадой в любой компании.

УДК: 504.064.2

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО
ПОКРОВА ОСТРОВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА
РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

**Е.Ю. Яковлев¹, А.А. Лукошкова¹, А.Е. Липкина², А.В. Пучков¹, А.С. Орлов¹,
В.М. Быков¹, Д.А. Каверин³**

¹*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия
yakov24lev99@mail.ru*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

³*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия*

**RADIOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOIL AND VEGETATION COVER
OF ISLAND TERRITORIES OF THE WESTERN SECTOR
OF THE RUSSIAN ARCTIC**

**E.Yu. Yakovlev¹, A.A. Lukoshkova¹, A.E. Lipkina², A.V. Puchkov¹, A.S. Orlov¹,
V.M. Bykov¹, D.A. Kaverin³**

¹*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch of RASciences,
Arkhangelsk, Russia
yakov24lev99@mail.ru*

²*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

³*Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS, Syktывkar, Russia*

Аннотация. Представлены результаты исследований активностей естественных и техногенных радиоактивных элементов в почвенно-растительном покрове островных территорий Западного сектора Российской Арктики. Характер внутрипрофильного распределения техногенного ¹³⁷Cs практически во всех изученных почвенных разрезах близок к поверхностно-аккумулятивному типу, что отражает поступление радиоцезия в составе атмосферных выпадений. Активности естественных радионуклидов ²²⁶Ra, ²³²Th и ⁴⁰K в почвах обусловлены уровнями их содержаний, характерных для почвообразующих пород.

Введение

Ландшафты высокой Арктики, формируемые в суровых климатических условиях островных территорий, характеризуются слабым развитием почвенно-растительного покрова, распространение которого лимитирует развитие сплошной мерзлоты и покровного оледенения. Очевидно, что ландшафты высокой Арктики, в отличие от расположенных южнее тундровых ландшафтов характеризуются слабым потенциалом к аккумуляции загрязняющих веществ, в том числе радионуклидов. Тем не менее, они важны для характеристики радиационного загрязнения наземных экосистем высокоширотной Арктики. При этом сведений о содержании радионуклидов в ландшафтах арктических архипелагов практически нет. В связи с этим было выполнено исследование распределения радиоактивных элементов в почвенном покрове островных арктических территорий на примере ключевых участков, расположенных на архипелагах Земля Франца Иосифа и Новая Земля.

Материалы и методы исследования

Отбор проб почв проводился в июле 2024 года в рамках экспедиционных исследований по проекту "Арктический плавучий университет – 2024". Первый ключевой участок расположен в пределах острова Мейбел, который относится к южной группе островов архипелага Земля Франца Иосифа. Почвенный покров фрагментарный. Отобранные почвы участка представ-

лены псаммоземами двух подтипов: псаммоземы темнопрофильные и псаммоземами ожелезненные, которые сменяют псаммоземы темнопрофильные по мере удаления от береговой линии. Второй ключевой участок расположен в прибрежной части залива Русская Гавань в северо-западной оконечности острова Северный Архипелага Новая Земля. Почвы участка развиты фрагментарно. Отобранные в районе исследований почвы представляют собой литоземы перегнойно-гумусовые глееватые и литоземы грубогумусовые глееватые. Радионуклиды в почвенных пробах определяли на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC (США) на базе коаксиального детектора GEM10P4-70 из высокочистого германия (HPGe), с процессором импульсных сигналов SBS-75 и программным обеспечением Gamma Pro. Расчет удельных альфа- и бета-активности проводился с помощью альфа-бета-радиометра РКС-01 «Абелия» (НТЦ «Амплитуда», Россия). Параметры радиационного фона в местах отбора проб проводился с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М (НПП Доза, Россия).

Результаты исследования и их обсуждение

Радиационный фон по гамма-излучению в южной части острова Мейбел, измеренный в 51 точке варьирует от 0.02 ± 0.01 до 0.07 ± 0.03 мкЗв/ч при среднем значении мощности дозы 0.03 ± 0.01 мкЗв/ч. Радиационный фон по гамма-излучению в прибрежной части залива Русская Гавань, измеренный в 81 точке варьирует от 0.05 ± 0.01 до 0.14 ± 0.04 мкЗв/ч при среднем значении мощности дозы 0.08 ± 0.01 мкЗв/ч. Удельная активность техногенного ^{137}Cs в изученных почвенных горизонтах острова Мейбел варьирует от 0.7 до 30 Бк/кг. Средняя активность ^{137}Cs составляет 9.4 Бк/кг. Обращает на себя внимание то, что практически весь ^{137}Cs сосредоточен в самых верхних органогенных горизонтах – маломощных гумусово-слаборазвитом и подстильно-торфяном горизонтах до глубин 1–3 см. Активность техногенного ^{137}Cs в почвах прибрежной части залива Русская Гавань изменяется в диапазоне от <1 до 64 Бк/кг, а средняя активность ^{137}Cs составляет 15 Бк/кг. Характер внутрипрофильного распределения ^{137}Cs практически во всех почвенных разрезах близок к поверхностно-аккумулятивному типу. Такой тип распределения является доминирующим для тундровых органогенных почв [2], что обуславливается поступлением радиоцезия преимущественно с атмосферными осадками и прочной его фиксацией на сорбционном и биогеохимическом барьере в верхней части почвенных профилей.

Средние активности естественных радиоактивных элементов в почвах острова Мейбел ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K составляют 7.1, 10.3 и 225 Бк/кг, соответственно, что значительно ниже значений, характерных в среднем для почв Российской Федерации. Согласно [3] среднее содержание ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвах России составляет 19, 30 и 520 Бк/кг, соответственно. В тоже время, средние активности ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвах острова Мейбел хорошо соответствуют их средним содержаниям в базальтах, которые в ряду изверженных пород характеризуются низкими содержаниями естественных радионуклидов: ^{226}Ra – 8.8 Бк/кг (~ 0.7 г/т), ^{232}Th – 9.4 Бк/кг (~ 2.3 г/т) и ^{40}K – 200 Бк/кг ($\sim 0.7\%$ K_2O) [1]. Очевидно, что радионуклидный состав изученных почвенных разрезов является следствием формирования почв в результате выветривания базальтов острова Мейбел.

Средние содержания ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвах района залива Русская Гавань на Новой Земле составляют 22, 36 и 662 Бк/кг, соответственно, что несколько выше значений, характерных в среднем для почв Российской Федерации (^{226}Ra – 19, ^{232}Th – 30 и ^{40}K – 520) [3]. Повышенные активности естественных радионуклидов в почвах района исследований обусловлены уровнями их содержаний, характерных для почвообразующих пород – глинистых сланцев.

Заключение

Представлены результаты исследований активностей естественных и техногенных радиоак-

тивных элементов в почвенно-растительном покрове островных территорий Западного сектора Российской Арктики на примере острова Мейбел Земли Франца Иосифа и района залива Русская Гавань Северного острова Новой Земли. Показано, что уровни техногенной радиоактивности по ^{137}Cs в почвенных горизонтах острова Мейбел варьирует от 0.7 до 30 Бк/кг, в почвах района Русской Гавани от <1 до 64 Бк/кг. Характер внутрипрофильного распределения ^{137}Cs практически во всех почвенных разрезах близок к поверхностно-аккумулятивному типу, что отражает поступление радиоцезия в составе атмосферных выпадений. Активности естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвах изученных районов обусловлены уровнями их содержаний, характерных для почвообразующих пород.

Аналитические исследования выполнены в рамках ФНИР «Особенности миграции элементов и их изотопов в компонентах окружающей среды Западного сектора Российской Арктики в условиях климатических и техногенных изменений» № 125022002727-2. Экспедиционные исследования выполнены в рамках проекта «Арктический плавучий университет – 2024».

Литература

1. Григорьев Н.А. О кларковом содержании химических элементов в верхней части континентальной коры // Литосфера. – 2002. – №1 – С. 61–71.
2. Усачева А.А. Закономерности распределения радиоцезия глобальных выпадений в тундровых и таежных ландшафтах Западной Сибири : дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М. : ИГЕМ РАН, 2020. – 127 с.
3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and effects of ionizing radiation : UNSCEAR 2000 report to the General Assembly. – New York : UNSCEAR, 2000 – 657 p.

Секция 1

**ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ БИОГЕОХИМИИ.
СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ: КЛИМАТИЧЕСКАЯ
ПОВЕСТКА, ТЕХНОГЕНЕЗ, ОЦЕНКА РИСКА**

УДК 543.97:622'17-026.86

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

С.В. Азарова, Е.Г. Язиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
svetazara@tpu.ru, yazikoveg@tpu.ru

ASSESSMENT OF TOXICITY TECHNOGENIC MINERAL FORMATIONS BY BIOTESTING METHODS

S.V. Azarova, E.G. Yazikov

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
svetazara@tpu.ru, yazikoveg@tpu.ru

Abstract. Представлены результаты оценки опасности отходов минерально-сырьевого комплекса методами биотестирования с применением «батарей» тест-объектов: водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.), мушек *Drosophila melanogaster* и овса *Avéna satíva*.

Введение

Отходы минерально-сырьевого комплекса, складированные в отвалах вскрышных и вмещающих пород, хвостохранилищах, шламоотстойниках являются техногенными минеральными объектами (ТМО). По данным Государственного доклада, на сегодняшний день количество отходов добычи и переработки полезных ископаемых в РФ превысило 40 млрд тонн. Только в 2023 г. было образовано свыше 9,2 млрд тонн отходов. В районах их расположения опасность загрязнения окружающей среды определяют физические, химические, токсикологические и гигиенические свойства собранных в них материалов [1]. Токсикологическая характеристика таких объектов зависит от их компонентного состава, оказывающего влияние на живые организмы. Таким образом, оценка совокупного влияния отходов представляется актуальной.

Степень опасности ТМО устанавливается с применением расчетного метода и биотестирования. Расчет в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 4 декабря 2014 г. № 536 и СП 2.1.7.1386-03 проводится по результатам компонентного или химического анализа. Как показывает многолетний опыт исследователей, имеющиеся аналитические методы не могут учесть весь спектр воздействий химических соединений на биоту. Соответственно, необходимо подходить комплексно к оценке опасности веществ для компонентов окружающей среды, в том числе, на живых организмов. Для получения интегральной оценки качества изучаемых компонентов применяются методы биотестирования. Методы экологической токсикологии позволяют классифицировать степень опасности изучаемого материала по ответным реакциям живых организмов. Для целей биотестирования используется большое разнообразие организмов из разных систематических групп от простейших до мелких млекопитающих.

Для исследования токсичности отходов методами биотестирования был выбран материал, отобранный из ТМО Тейского железорудного месторождения Республики Хакасия.

Цель: оценить опасность материала отходов железорудного месторождения с применением биологических тест-объектов.

Материалы и методы

Эколого-геохимические исследования состава отходов ОАО «Тейское рудоуправление» (породы отвалов, шлам отстойника и хвостохранилища) были проведены сотрудниками Томского политехнического университета. Опробование производилось с использованием дейст-

вующих регламентов [1]. Содержание элементов в изучаемых образцах определялось в аккредитованных лабораториях.

Биотестирование проводилось на тест-объектах разных систематических групп: водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb (ФР.1.39.2007.03223) [2], мушки *Drosophila melanogaster* (линии *yellow* и *singed*) [1]. Методом оценки фитотоксичности с применением фито-теста овес *Avéna satíva* (МР 2.1.7.2297-07) [3] было проведено подтверждение результатов, полученных расчетным методом. Критерием токсичности является достоверное количественное значение тест-параметра, на основании которого делается вывод о токсичности образца.

Результаты и их обсуждение

Комплексная оценка заключается в получении результатов методов: расчет и биотестирование (табл.). Для изучаемых видов отходов отмечается уровень загрязнения, не критично отличающийся друг от друга. Можно отметить частичное совпадение.

По расчетному методу отходы относятся к V (по Приказу Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 536) и IV (по СП 2.1.7.1386-03) классу опасности – практически неопасные.

Результат токсикологического анализа на водорослях – наличие токсического воздействия. Качество исследуемой водной вытяжки характеризуется как слаботоксичная для проб отвала «Южный-2» и шламоотстойника, среднетоксичная для пород отвала «Северный» и шлама хвостохранилища, токсичная для отвала «Южный».

Используя в качестве тест-объекта мушку *Drosophila melanogaster*, оценивали биологические показатели: «соотношение полов» и «морфозы» по отношению к концентрации пробы в среде (опыт/контроль). В качестве статистической оценки отклонения применяли критерий соответствия хи-квадрат (χ^2), при подсчете которого можно сделать вывод об эффекте воздействия состава изучаемых проб на тот или иной параметр. По показателю «соотношение полов» генотоксическое воздействие характерно для всех проб. По «морфозам» – для материала шлама хвостохранилища (табл.1).

Фитотоксический эффект на тест-объекте овес *Avéna satíva* подтверждался расчетом эффекта торможения. Оценивалась всхожесть. Проведенные эксперименты показали отсутствие фитотоксичности, а в ряде проб зафиксирована стимуляция роста корней овса *Avéna satíva*, что может способствовать дальнейшему использованию этих отходов.

Таблица 1. Комплексная оценка опасности отходов ОАО «Тейское рудоуправление»

Вид пробы		Класс опасности (*/**)	1	2		3
			качество воды	с.п.	м	фитотоксический эффект
Породы отвалов	«Северный»	5/4	среднетоксичная			
	«Южный»	5/4	токсичная			стимуляция роста корней
	«Южный-2»	5/4	слаботоксичная			
Шлам хвостохранилища		5/4	среднетоксичная			стимуляция роста корней
Шлам отстойника		5/4	слаботоксичная			

Примечание: * – расчет в соответствии с Приказом МПР № 536; ** – расчет по СП 2.1.7.1386-03; 1 – *Chlorella vulgaris* Beijer, 2 – *Drosophila melanogaster* («соотношение полов»-с.п./ «морфозы»-м), 3 – *Avéna satíva*.

	наличие биологического влияния
	отсутствие биологического влияния

Заключение

Расчет опасности материала показал, что отходы относятся к практически неопасным. Выбранная «батарея» тест-объектов позволяет учесть особенности биологического воздействия, оценить токсичность водорастворимой части и твердой фазы изучаемых образцов, прогнозировать возможность использования объектов для рекультивации. Совпадения результатов биотестирования с рассчитанным классом опасности подтверждает эффективность выбранных тест-объектов.

Литература

1. Azarova S.V., Usmanova T.V., Mezhibor A.M. Environmental problems of mining waste disposal sites in Russia // Rev. Environ. Contam. Toxicol. – 2019. – Vol. 247. – P. 59–84. – doi: 10.1007/398_2018_17.
2. ФР.1.39.2007.03223 Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей (тест-объект – зеленые протококковые водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bred.) – 11 с.
3. МР 2.1.7.2297-07 Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. – Роспотребнадзор, 2008. – 15 с.

УДК 621.892:629.7

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ПРИ СЖИГАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ РЕАКТИВНЫХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ:
ЭКСПЕРИМЕНТ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ**

Д.В. Антонов, М.Е. Микулич, Р.Е. Черкасов, П.А. Стрижак

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
dva14@tpu.ru*

**PHYSICAL AND CHEMICAL REGULARITIES
IN THE COMBUSTION OF COMPOSITE JET LIQUID FUELS:
EXPERIMENT, MODELING, TESTING**

D.V. Antonov, M.E. Mikulich, R.E. Cherkasov, P.A. Strizhak

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
dva14@tpu.ru*

Abstract. Представлены результаты экспериментальных исследований характеристик горения модельных образцов жидких топлив и их смесей, полученных по разным химическим технологиям (прямогонный и гидроочищенный), в малоразмерных газотурбинных установках (МГТУ). Получены значения ключевых характеристик работы установок на разных видах топлив: тяга, статическое давление во впускном канале, статическое давление в компрессоре, полное давление в компрессоре, камере сгорания и турбине, скорости вращения турбины, температуры входящего воздуха, внутри компрессора, на выходе турбины и на срезе сопла. Проведены термогазодинамические расчеты рабочего процесса в камерах сгорания МГТУ в режиме, для которого достигаются установленные значения по потребной тяге на разных видах топлив. Зарегистрированы концентрации антропогенных выбросов.

Введение

Рост транспортной отрасли на глобальном уровне приводит к значительному увеличению потребления топлива, обусловленному расширением пассажирских и грузовых перевозок [1]. При этом переход на альтернативные виды топлива для транспорта и энергетических установок представляет собой сложную многоаспектную проблему. Ее решение требует комплексного подхода, учитывающего как технические, так и экономические факторы, особенно в условиях возрастающего антропогенного воздействия на окружающую среду. Цель настоящей работы – определение условий, при которых специализированная подготовка жидкого топлива (прямогонного и гидроочищенного керосина) позволяет повысить ключевые параметры работы МГТУ.

Материалы и методы

В качестве опытных образцов топлив применялись керосин марки ТС-1, прямогонный керосин и гидроочищенный керосин, групповой состав которых представлен в таблице 1. Структурный и групповой составы опытных образцов определялись методом двумерной хроматографии с использованием пламенно-ионизационного и масс-селективного детекторов. Комплексная двумерная газовая хроматография позволяет проводить исследования многокомпонентных смесей, включая нефтепродукты.

Керосин марки ТС-1 характеризуется высоким содержанием ароматических углеводородов (62.15%), что значительно больше, чем в прямогонном (23.02%) и гидроочищенном (24.44%) керосинах (табл. 1). Прямогонный керосин отличается сопоставимыми концентрациями н-алканов (25.09%), изо-алканов (28.30%) и алкенов/циклоалканов (23.59%) (табл. 2). Существенные отличия гидроочищенного керосина, прежде всего, связаны с этапами глубокой переработки углеводородного сырья, такими как гидрокрекинг и изомеризация для улучшения

показателей качества керосина.

Таблица 1. Групповой состав образцов топлив

Класс углеводородов	Содержание, % масс.		
	Керосин марки ТС-1	Прямогонный керосин	Гидроочищенный керосин
н-алканы	9,83	25,09	20,46
изо-алканы	18,53	28,30	25,56
алкены и циклоалканы	9,49	23,59	29,54
ароматические углеводороды	62,15	23,02	24,44

Результаты и их обсуждение

Измерение концентраций компонентов дымовых газов осуществляется с помощью полустационарного газоанализатора при непрерывном мониторинге на каждом режиме работы. При увеличении скорости вращения лопастей турбины растут концентрации газовых антропогенных выбросов, что приводит к снижению концентрации окислителя (рис. 1). Содержание CO_2 ниже при сжигании гидроочищенного керосина, чем при сжигании прямогонного керосина и керосина марки ТС-1. Керосин марки ТС-1 имеет наибольшее содержание ароматических углеводородов, что приводит к пониженному соотношению Н/С, которое влияет на концентрацию CO_2 . На рисунке 1б представлены изменения концентраций CO при использовании различных видов топлива и их смесей. Содержание CO значительно ниже при сжигании смеси топлив и гидроочищенного керосина по сравнению со сжиганием других видов керосина. Поскольку CO в основном образуется в зонах с низкими температурами, то возможной причиной тенденции к выделению CO является высокая скрытая теплота его испарения, которая приводит к снижению локальной температуры газа в камере сгорания.

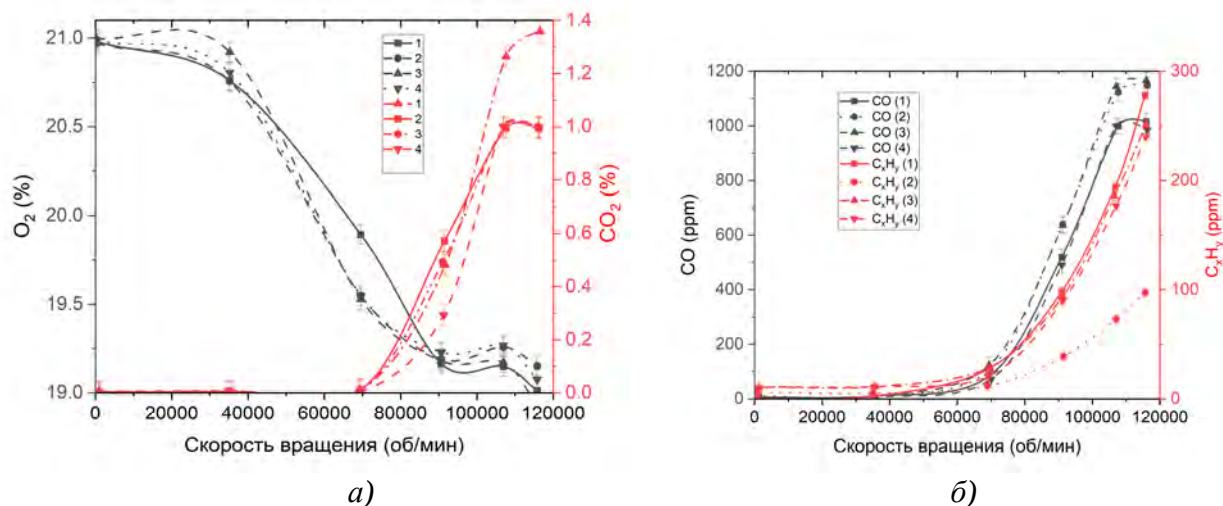


Рис. 1. Типичные значения концентраций компонентов дымовых газов: окислителя и углекислого газа в % (а) и CO и C_xH_y (б) при сжигании образцов топлив:

1 – прямогонный керосин; 2 – гидроочищенный керосин; 3 – гидроочищенный (50%) + прямогонный (50%) керосин; 4 – керосин марки ТС-1

На спроектированном стенде проводились исследования эффективности работы авиационного двигателя при сжигании различного жидкого авиационного топлива. Практически на всех режимах работы МГТУ прямогонный керосин показал лучшие значения по эффективному КПД (рис. 2). Согласно [1] эффективный КПД зависит от мощности турбины, которая в свое время зависит от разницы температур в турбине и на срезе сопла. В силу малых размеров га-

зотурбинной установки на больших мощностях сопло прогревается практически до температур турбины, что понижает эффективный КПД газотурбинной установки. Для всех топлив третий режим (91000 об/мин) является наилучшим по эффективному КПД, так как на нем разница между температурами в турбине и на срезе сопла достигает максимальных значений по сравнению с другими режимами.

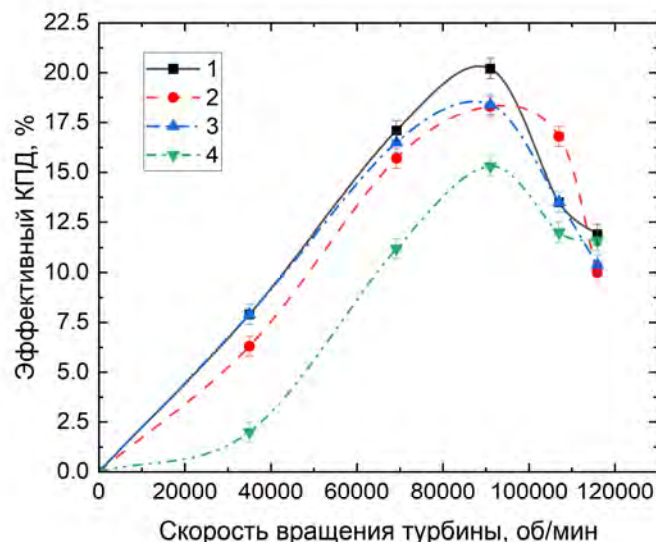


Рис. 2. Сравнение эффективного КПД МГТУ по частоте вращения лопаток турбины на разных топливах и их смесях: 1 – прямогонный керосин; 2 – гидроочищенный керосин; 3 – гидроочищенный (50%) + прямогонный (50%) керосин; 4 – керосин марки ТС-1

Заключение

При проведении огневых стендовых испытаний (ОСИ) определены ключевые характеристики двигателя при сжигании различного авиационного жидкого топлива. Гидроочистка топлива является эффективным методом для снижения выбросов NO_x , N_2O и SO_x в составе дымовых газов (снижение отмечается на 75% для SO_x и на 20% для NO_x), но является достаточно затратным процессом и повышает его себестоимость. Важно отметить, что использование смеси топлив также демонстрирует снижение антропогенных выбросов на 60% для SO_x и на 30% для NO_x относительно прямогонного керосина, имеющего максимальные значения, достигающие 2.6 ppm на максимальных частотах вращения для SO_x и 26 ppm для NO_x . Таким образом, разработка эмпирических закономерностей компаундирования гидроочищенного керосина с другими типами может позволить снизить стоимость конечного продукта при сохранении тенденции к уменьшению антропогенных выбросов. Небольшое различие статической тяги во многом обусловлено изменением температур в камере сгорания, турбине и на срезе сопла. Эти отклонения оказывают значительное влияние на эффективность работы установки, что приводит к тому, что КПД при использовании различных типов топлива может различаться на 3-5%. Установлено, что н-алканы обеспечивают высокую температуру на срезе сопла благодаря полному сгоранию и образованию продуктов с высокой теплоемкостью, однако н-алканы и изоалканы имеют высокую температуру замерзания, что может повлиять на эксплуатацию топлива на больших высотах и в зимний период. Понижается температура замерзания за счет нафтенов, олефинов и ароматических углеводородов за счет содержания более сложных молекул, которые хуже кристаллизуются. За счет этого также повышается вязкость и плотность топлива. Олефины, несмотря на высокую теплоту сгорания, снижают стабильность хранения керосина, поскольку склонны к окислению и полимеризации. Ароматические углеводороды повышают вязкость, температуру замерзания топлив, од-

нако при горении рассматриваемых углеводородов выделяется повышенная концентрация антропогенных выбросов, сажи, увеличивается шум и вибрация работы газотурбинной установки за счет нестабильности горения топлива.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (грант 24-79-10031, <https://rscf.ru/project/24-79-10031/>).

Литература

1. Antonov D.V., Cherkasov R.E., Gneusheva V.V. et al. Comprehensive approach to static firing tests of micro gas turbine engines powered by liquid fuels // Energy. – 2024. – Vol. 313. – Art No. 133870.

УДК 504.73/.74.054

**МЕЛКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ ИМПАКТНЫХ РЕГИОНОВ:
РОЛЬ В БИОГЕННЫХ ЦИКЛАХ В УСЛОВИЯХ СОКРАЩЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ**

С.В. Мухачева, В.С. Безель

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия
msv@ipae.uran.ru*

**SMALL MAMMALS OF THE IMPACT REGIONS:
ROLE IN BIOGEOCHEMICAL CYCLES DURING THE PERIOD
OF REDUCED INDUSTRIAL EMISSION**

S.V. Mukhacheva, V.S. Bezel

*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia
msv@ipae.uran.ru*

Abstract. Рассмотрено участие мелких млекопитающих (ММ) в биогеохимических (БГХ) циклах эссенциальных (Cu, Zn) и токсических (Cd, Pb) микроэлементов (МЭ) в условиях интенсивного загрязнения среды выбросами медеплавильного комбината и после их существенного снижения. Анализировали пространственно-временную динамику поступления МЭ с пищей (ТП) и их содержания в организме животных (ЖО). За 25 лет на импактной (сильно загрязненной) территории значения ТП для Cu, Cd и Pb приблизились к фоновым, Zn – снизились в 2 раза; содержание Cd и Pb в ЖО приблизилось к фоновому, для Cu и Zn различия усилились. На буферных (умеренно загрязненных) участках величина ТП и ЖО не менялась. К концу периода наблюдений отмечена интенсификация (фоновая зона), замедление (импактная) и стабилизация (буферная) БГХ обмена МЭ.

Введение

По современным представлениям в структуре и функционировании природных биогеоценозов (БГЦ) важнейшее значение имеют пищевые цепи живых организмов. Участие животных в биогенном обмене включает транзитный поток элементов (ТП), связанный с потреблением первичной продукции и выделением элементов с продуктами жизнедеятельности, «животный опад» (ЖО) в виде отмирающих особей, а также роющую и гнезδοстроительную функции. В случае ММ основные потоки МЭ связаны с их трофической деятельностью. Животные-фитофаги, в том числе мышевидные грызуны, способствуют ускорению и стабилизации минерального обмена в БГЦ, однако их роль часто недооценивается [4].

Промышленное загрязнение не только увеличивает содержание отдельных МЭ в компонентах биоты, но и, в силу антропогенной трансформации природных БГЦ, влияет на интенсивность и состав биогенных циклов. В результате деформации биогенных потоков изменяется исходное фоновое распределение элементов. В связи с повсеместным снижением объемов промышленных выбросов в последние десятилетия усилилось внимание к проблеме восстановления нарушенных экосистем. Особый интерес представляют процессы самопроизвольной (без участия человека) реабилитации территорий, которые позволяют исследовать механизмы и скорость естественного восстановления природных БГЦ.

Цель работы – оценить динамику величины биогенных потоков эссенциальных (Cu, Zn) и токсических (Cd, Pb) МЭ через популяции рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) из окрестностей крупного медеплавильного комбината после существенного сокращения выбросов. Предполагали, что постепенное восстановление компонентов биоты, начавшееся после снижения выбросов, приведет к выравниванию количественных показателей биогенных потоков изученных МЭ на сравниваемых территориях.

Методы

Исследования проводили в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ) в периоды стабильно высоких (1990–1992 гг., I период) и почти прекратившихся выбросов (2015–2017 гг., II период). В результате длительного (с 1940 г.) воздействия вокруг СУМЗа сформировались зоны с разной степенью поражения экосистем: импактная (1–3 км от завода), буферная (4–10 км) и фоновая (20–30 км). В качестве модельного объекта использовали рыжую полевку (*C. glareolus*) – типичного обитателя лесов таежной зоны, доминировавшего в составе сообществ ММ загрязненных (более 50 % численности населения) и фоновых (около 75 %) территорий в течение всего периода наблюдений.. Работы выполнены по единой методике на одних и тех же ключевых участках. Животных отлавливали ежегодно (3 тура, май – сентябрь) с помощью ловушек-плашек (25 шт. через 5–7 м, экспозиция – 4 суток), которые устанавливали на стационарных линиях в импактной, буферной и фоновой зонах. Отлов животных проводили одновременно на всех участках, располагая в каждой зоне от 3 до 9 линий. Отработано 26 тыс. ловушко-суток (13.8 тыс. в I период, 12.3 тыс. – во II), добыто 764 особи (416 – в I период, 348 – во II). У добытых полевок определяли пол, возраст, репродуктивный статус, массу тела.

Накопление МЭ в рационе животных оценивали по их аккумуляции в содержимом желудка, в целом организме – в тушках. Содержимое желудка отбирали у каждой особи при вскрытии, высушивали, гомогенизировали, подвергали микроволновому озолению (с 65%-ной HNO_3). Тушки (без желудочно-кишечного тракта) высушивали, сжигали в муфельной печи с последующим озолением. Концентрацию элементов в образцах определяли методом атомной абсорбции с использованием пламенного (Cu, Zn) и электротермического (Cd, Pb) вариантов атомизации. Проанализировано 487 образцов желудков, 15 тушек.

Для оценки величины ТП и ЖО использовали данные по абсолютной численности животных [2]. Суточное потребление корма «условной» особью для I и II периода вычисляли на основе средневзвешенных значений с учетом демографической структуры, размерно-весовых показателей полевок и количества поедаемого корма [3]. ТП и ЖО рассчитывали для бесснежного периода – с мая по октябрь (6 мес.), учитывая, что полевки являются короткоцикловыми животными (продолжительность жизни около 1 года). Величину суточного ТП в пределах зоны вычисляли как произведение численности животных, концентрации соответствующего элемента в рационе и потребления корма «условной» особью. Для расчета ЖО использовали данные о численности животных, средней массе «условной» особи и концентрации соответствующего элемента в тушке.

Расчеты выполнили в пакете JMP v.11. Статистически значимыми считали различия при $p < 0.05$. Данные по концентрациям МЭ логарифмировали. Для выявления различий между участками и периодами использовали дисперсионный анализ (ANOVA).

Результаты и обсуждение

Численность населения C. glareolus при увеличении техногенной нагрузки монотонно снижалась ($F = 6.67$, $p = 0.011$), в пределах зоны различия между периодами были незначимыми ($F = 0.69$, $p = 0.421$). В период II зональные различия усилились за счет разнонаправленных трендов: 40% увеличения обилия полевок в фоновой (с 13 до 18 экз/га) и буферной зонах (с 7 до 11 экз/га) при одновременном 60% снижении в импактной зоне (с 3.8 до 2.3 экз/га). Сходным образом изменялась и *биомасса* (г/га) полевок: она увеличилась в фоновой (с 259 до 354) и буферной (с 131 до 207) зонах, снизилась в импактной (с 75 до 48).

Суточное потребление корма «условной» особью составляло в среднем 3.0 г (сухой массы) и не имело зональных отличий ($F = 1.49$, $p = 0.264$), в то же время от I периода ко II повсеместно регистрировали 10 % снижение этого показателя ($F = 7.76$, $p = 0.017$), что, вероятно, обусловлено общим «омоложением» населения.

Концентрации всех МЭ в рационах полевок по мере приближения к заводу ($p < 0.0001$) закономерно увеличивались. На импактных участках в Iй период отмечено превышение фоновых концентраций Cu, Cd и Pb в 5–6 раз, Zn – в 2 раза. Во IIй период диапазон изменений для Zn сохранился на том же уровне, концентрации Cu при удалении от завода уменьшились в 4.6 раза. Для Cd и Pb различия, напротив, усилились в 7–10 раз. Снижение концентраций в рационах полевок от I периода ко II было значимым для Cu ($F = 23.42$, $p = < 0.0001$) и Pb ($F = 9.18$, $p = 0.003$), аккумуляция Cd увеличилась, а Zn – не изменилась.

Расчетные значения ТП показывают, что в течение бесснежного периода на каждом гектаре пихтово-еловых лесов за счет потребления первичной продукции популяциями *C. glareolus* в биогеохимический обмен включается Zn – от 0.2 до 1.3 г, Cu – от 0.06 до 0.6 г, Cd – от 2.4 до 23 мг, Pb – от 7.1 до 163 мг. При этом зональные различия в величине ТП для всех МЭ были значимыми. Для Cu, Cd и Pb в течение обоих периодов регистрировали нелинейные изменения с максимумом в буферной зоне, для Zn отмечали монотонное убывание по мере приближения к СУМЗу. Четкие временные изменения ТП от I периода ко II отмечали только в импактной зоне для Cu ($F = 11.33$, $p = 0.028$) и Pb ($F = 11.04$, $p = 0.029$).

Содержание элементов в ЖО для Cd, Pb и Zn оказалось в 25–75 раз ниже в сравнении с ТП, для Cu различия достигали 75–200 раз. Независимо от периода исследований эссенциальные МЭ в большем количестве содержались в ЖО на фоновых участках, токсические – на загрязненных территориях.

Ранее было показано, что участие ММ в биогенных циклах определяется уровнем загрязнения среды и численностью животных [1]. Наши данные подтвердили эти выводы. В условиях снижения выбросов результатом сочетанного действия факторов в зависимости от сбалансированности процессов могут быть интенсификация, замедление или стабилизация БГХ обмена МЭ. В импактной зоне интенсивность обмена для большинства МЭ двукратно снизилась по сравнению с исходными значениями, так что величина ТП достигала фоновых значений (Cu, Cd, Pb), либо была ниже (Zn). В буферной зоне БГХ обмен стабилизировался, существенных изменений величины ТП не выявлено ни для одного МЭ. Именно в этой зоне для большинства МЭ (кроме Zn) ТП достигал максимальных значений, превышая фоновые уровни в 1.7–5.5 раз, импактные – в 1.3–3.7 раз. В фоновой зоне констатировали интенсификацию биогенного обмена (кроме Pb), когда величина ТП увеличилась в 2 раза по сравнению с исходными значениями. За этот период, в импактной зоне поток Cd и Pb через ЖО близок к фоновым значениям, для Cu и Zn различия, напротив, усилились.

Заключение

Установлено, что БГХ своеобразие ТП МЭ через локальные популяции *C. glareolus* на участках с разным уровнем загрязнения определяется численностью животных и содержанием элементов в их рационе. Многократное сокращение объема промышленных выбросов СУМЗ за последние 25 лет (1990–2017 гг.) не привело к эквивалентному снижению концентраций ТМ в корме *C. glareolus* из окрестностей СУМЗа. Изменения численности животных в градиенте загрязнения носили разнонаправленный характер – в фоновой и буферной зонах она выросла, в импактной зоне – снизилась. Подобный феномен является результатом межвидовой конкуренции двух симпатрических видов лесных полевок (рыжей и красной) с близкими экологическими требованиями, а не следствием снижения качества среды вблизи источника эмиссии. Результатом сочетанного действия перечисленных выше факторов в зависимости от сбалансированности процессов были интенсификация (фоновая зона), замедление (импактная зона), либо стабилизация (буферная зона) БГХ обмена элементов. Наши предположения о постепенном выравнивании количественных показателей ТП изученных МЭ на загрязненных и фоновых территориях подтвердились частично. Величина ТП Cu, Cd, Pb в импактной зоне к концу периода исследований приблизилась к фоновым значениям. Основной причиной подобных изменений было не снижение концентраций МЭ в компонентах биоты, а су-

щественные перестройки в структуре сообщества ММ, повлекшие за собой резкое падение численности *C. glareolus* на импактной территории.

*Анализ данных и подготовка рукописи выполнены в рамках госзадания
Института экологии растений и животных УрО РАН.*

Литература

1. Безель В.С., Мухачева С.В., Куценогий К.П. и др. Участие мелких млекопитающих в биогенных циклах химических элементов в наземных экосистемах // Пробл. биогеохим. и геохим. экол. – 2007. – Т.4., № 2. – С. 80–91.
2. Бернштейн А.Д., Михайлова Т.В., Апекина Н.С. Эффективность метода ловушко-линий для оценки численности и структуры популяций рыжей полевки // Зоол. журн. – 1995. – Т. 74, № 7. – С. 217–282.
3. Мухачева С.В. Особенности питания рыжей полевки в условиях техногенного загрязнения среды обитания // Сиб. экол. журн. – 2005. – № 3. – С. 523–533.
4. Покаржевский А.Д. Геохимическая экология наземных животных. – М. : Наука, 1985. – 429 с.

УДК 550.461

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА
В УСЛОВИЯХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

А.В. Ветошкина¹, И.А. Тарасенко^{1,2}, А.С. Холодов¹, Е.А. Вах¹

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

vetoshkina.alena@mail.ru

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OBJECTS OF ACCUMULATED HARM
UNDER CONDITIONS OF NATURAL AND CLIMATIC CHANGES
(PRIMORSKY KRAI)**

A.V. Vetoshkina¹, I.A. Tarasenko^{1,2}, A.S. Kholodov¹, E.A. Vakh¹

¹Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

vetoshkina.alena@mail.ru

Аннотация. Исследована проблема влияния накопленных отходов горноперерабатывающей промышленности (хвостов обогащения) на качество подземных вод, используемых населением пгт. Ярославский Приморского края для нецентрализованного водоснабжения. Приведен анализ гидрогеохимических процессов, влияющих на миграцию загрязнителей из хвостов обогащения флюоритовых руд в подземные горизонты. Показано, что техногенные воды хвостохранилища обладают повышенной минерализацией и содержат токсичные компоненты (Be, As, Li, Cd и др.), относящиеся к 1–2 классам опасности. Составлены рекомендации по мониторингу и управлению рисками.

Экологическое наследие прошлого – это большая проблема современности. Одним из ключевых аспектов изучения является оценка влияния объектов накопленного вреда (ОНВ) на качество окружающей среды, особенно в условиях изменения климата. В данной работе мы рассмотрим проблему влияния накопленных отходов горнодобывающих производств на качество подземных вод в Приморском крае, где климатические изменения усиливают риски увеличения загрязнения.

Цель настоящего исследования – оценить влияние хвостохранилища Ярославского ГОКа на качество воды в нецентрализованных источниках водоснабжения пгт. Ярославский (родники, колодцы, самоизливающаяся скважина).

Объект исследования – хвостохранилище Ярославского горно-обогатительного комбината и прилегающие подземные водоносные горизонты. Ярославский ГОК проводил добычу и обогащение флюоритовых руд из крупнейших в России Вознесенского и Пограничного месторождений, расположенных в Хорольском районе Приморского края. В рудах этих месторождений помимо флюорита содержатся стратегически важные элементы – бериллий, литий, рубидий и цезий, и в процессе флотационного обогащения эти элементы переходили в хвосты обогащения. В результате в хвостохранилище концентрируется не только основной минерал – флюорит (CaF_2), но и ряд потенциально токсичных элементов [1–3].

По нашим данным, полученным в результате анализа отходов обогащения, складированных в данном хвостохранилище, содержатся элементы, которые в своих медианных значениях значительно превышают их кларковые содержания в литосфере (рис. 1). Анализы выполнены в лаборатории аналитической химии Аналитического центра ДВГИ ДВО РАН методом атомно-эмиссионной спектроскопии (ИСП-АЭС, спектрометр iCAP 7600 Duo) для катионов и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС, спектрометр Agilent 7700) для определения микроэлементного состава. Многие из этих элементов относятся к 1–2 классам опасности по воздействию на здоровье человека в силу проявления канцерогенных и му-

тагенных свойств [4–7]. Все эти элементы и их соединения обладают хорошей растворимостью и высоким коэффициентом водной миграции, что часто приводит ко вторичному накоплению в различных средах и объектах биосферы [8, 9–12] и, как следствие, к загрязнению водных ресурсов, почв. Это может вызывать долгосрочные экологические проблемы и представлять угрозу для здоровья человека.

Хвостохранилище расположено в зоне потенциального затопления и подвержено постоянному негативному воздействию нескольких деструктивных факторов. Среди них – давление столбов жидких отходов и возникающее фильтрационное напряжение, воздействующее непосредственно на тела дамб. После прекращения функционирования обогатительной фабрики нагрузка от гидродинамических воздействий немного сократилась, однако оставшаяся масса насыщенных водой отходов сохраняет способность продолжать негативно влиять на конструктивную прочность сооружения.

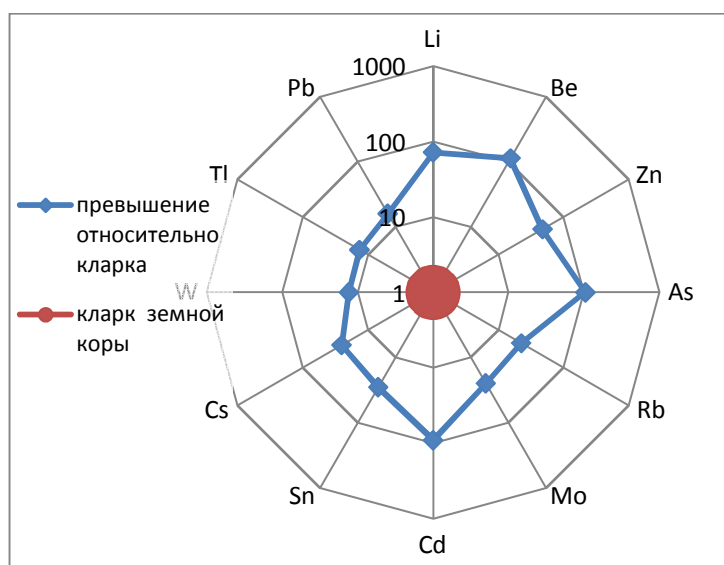


Рис. 1. Превышение медианных значений в отложениях хвостохранилища Ярославского ГОКа над кларковыми содержаниями в земной коре (по: [4])

Дополнительным фактором риска выступает химическая суффозия – процесс растворения и последующего выноса растворимых соединений из структуры хвостов. Этот процесс способствует формированию пустот и снижает несущую способность оснований дамб, создавая дополнительные предпосылки для нарушения целостности защитного покрытия и усиления проникновения загрязненных вод в нижележащие слои грунта.

Определение уровня техногенного загрязнения подземных вод выполнялось путем сопоставления результатов химического анализа проб с действующими гигиеническими нормами для питьевой воды. Критерии безопасности были установлены исходя из предельно допустимых концентраций (ПДК) отдельных химических элементов в воде, предназначенной для хозяйственно-питьевого использования (СанПиН 1.2.3685-21).

Помимо прямого химического анализа, применялись дополнительные критерии оценки техногенного происхождения загрязнения. Такие признаки включали аномально высокий уровень присутствия элементов, характерных для отходов конкретного производственного цикла (например, литий (Li), бериллий (Be), фториды (F⁻)), а также нестандартные пропорции ионов в водном растворе. Для визуализации и сравнительного анализа использовались диаграммы Пайпера, позволившие классифицировать различные типы вод, включая техногенно измененные и природные. Дополнительные аспекты оценки включали физико-химические параметры, такие как реакция среды (pH) и общая минерализация, которые играют важную роль в определении поведения и распространения загрязнителей в грунте.

Выполненное исследование дало представление о текущем состоянии подземных вод в поселке городского типа (пгт) Ярославский, находящихся под воздействием объекта накопленного вреда – хвостохранилища горно-обогатительного комбината (ГОК). Было обнаружено, что химический состав вод хвостохранилища характеризуется значительным повышением минерализации (до 1,6 г/л), доминированием сульфатно-натриевого солевого состава и высоким содержанием токсичных элементов (таких как литий (Li), бериллий (Be), мышьяк (As), кадмий (Cd) и др.), превышающим средние фоновые значения в десятки раз. Вследствие происходящих гипергенных процессов происходит переход опасных веществ из твердых частиц хвостов в водную фазу (рис. 2).

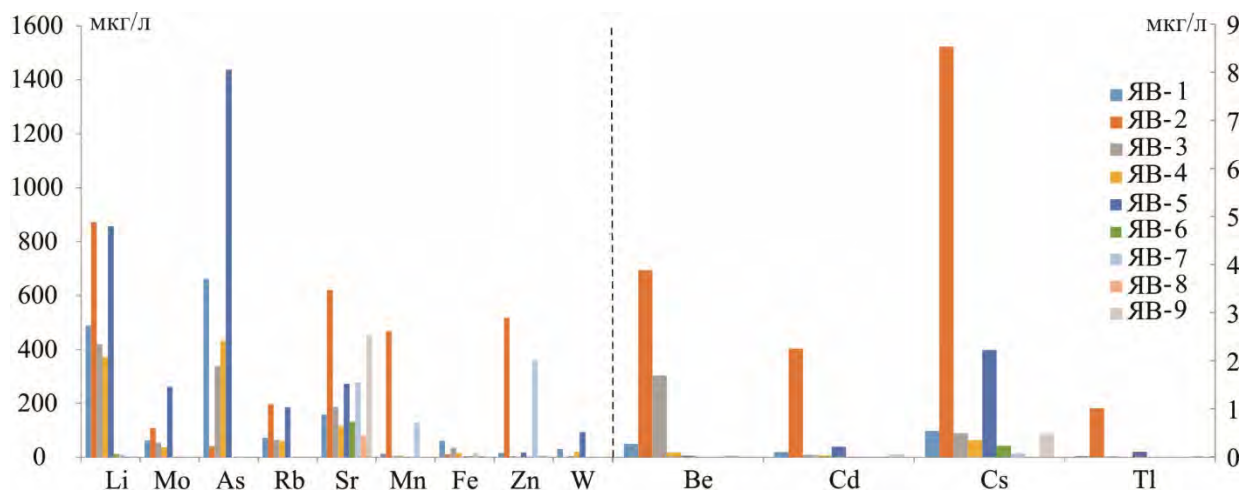


Рис. 2. Распределение микроэлементов в природных и техногенных водах пгт Ярославский, мкг/л: ЯВ 1-5 – техногенные воды хвостохранилища Ярославского ГОКа; ЯВ 6-9 – природные подземные воды

Воды источников нецентрализованного водоснабжения поселка (родники, колодцы, самоизливающиеся скважины) преимущественно относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу с низкой минерализацией (0,1–0,68 г/л) и соответствуют общим гигиеническим нормативам по важнейшим контролируемым показателям. Единственным выявленным нарушением стало небольшое превышение уровня марганца (Mn) – 1,3 ПДК в образце воды из колодца. Концентрации всех прочих потенциальных токсикантов, включая As, Be, Cd и другие, оставались ниже установленных пороговых величин, несмотря на непосредственную близость хвостохранилища. Следовательно, на момент завершения исследования доступные населению источники водоснабжения могли считаться безопасными по своему химическому составу.

Тем не менее, в ходе работы было подтверждено присутствие множества токсичных элементов (As, Be, Cd и др.) в системе «хвостохранилище – подземные воды», пусть и в небольших концентрациях. Их обнаружение свидетельствует о постоянном процессе миграции загрязнителей, создающем потенциальную угрозу для качества воды. Такая угроза может резко усилиться при изменениях гидрогеологических условий, таких как увеличение объемов инфильтрации в результате сильных осадков или повреждений дамб, что приведет к резкому увеличению концентрации опасных веществ в воде родников, колодцев и скважин.

Учитывая тенденцию учащения случаев паводков в регионе, такая перспектива представляется вполне вероятной. Исходя из этого, настоятельно рекомендовано введение строгого мониторинга качества подземных вод, расширение перечня анализируемых загрязнителей и оперативное принятие защитных мер при первых сигналах ухудшения ситуации. Кроме того, предложено усовершенствовать технические средства укрепления хвостохранилища и сокра-

тить вероятность аварийных сбросов.

Представленное исследование подчеркивает необходимость комплексного научного подхода при анализе воздействия объектов накопленного вреда на окружающую среду. Использование методик гидрогеохимического анализа совместно с токсикологическими показателями позволяет своевременно выявлять скрытые угрозы и разрабатывать эффективные меры, обеспечивающие экологическую безопасность населения.

Литература

1. Комаров М.А., Алискеров В.А., Кусевич В.И. и др. Горно-промышленные отходы – дополнительный источник минерального сырья // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2007. – № 4. – С. 3–9.
2. Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Крысенко Г.Ф. и др. Переработка флюоритсодержащего минерального сырья и отходов Ярославского горно-обогатительного комбината: монография. – М. : Инфра-М, 2018. – 115 с. – doi: 10.12737/1734-0.
3. Фатов А.С., Лихникевич Е.Г. Гидрохимическая технология переработки хвостов обогащения Ярославского ГОКа – реального источника литиевой продукции // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 9, № 2-1. – С. 371–374.
4. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. – М. : Недра, 1990. – 348 с.
5. Beryllium, Cadmium, Mercury, and exposures in the glass manufacturing industry : IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. – Lyon: IARC, 1993. – Vol. 58. – P. 41–117.
6. Худолей В.В. Канцерогены: характеристики, закономерности, механизмы действия. – СПб. : Нестор, 1999. – 420 с.
7. CICAD №32. Beryllium and Beryllium compounds. – Geneva: WHO, 2001. – 71 p.
8. Тарасенко И.А., Зиньков А.В. Экологические последствия минералого-геохимических преобразований хвостов обогащения Sn–Ag–Pb–Zn руд (Приморье, Дальнегорский район). – Владивосток : Дальнаука, 2001. – 194 с.
9. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. – М. : Мысль, 1983. – 272 с.
10. Эйхлер В. Яды в нашей жизни. – М. : Мир, 1993. – 192 с.
11. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов : справочник : в 6 кн. / под ред. Э.К. Буренкова. – М. : Недра, 1994. – Кн. 1: S-элементы. – 304 с.
12. Tarasenko I.A., Zin'kov A.V., Kholodov A.S. et al. Concentrating mill wastes are the source of pollution of human environment and natural ecosystems with heavy metals: a case study in Primorsky Krai, Russian Federation // J. Chem. – 2020. – Vol. 2020. – Art. No. 6570126. – doi: 10.1155/2020/6570126.

УДК 101.1:316.7(470.56)

СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ТЕХНОГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ)

Г.И. Завьялова

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
lanser35@mail.ru

SOCIO-CULTURAL AND ECONOMIC CONSEQUENCES OF TECHNOGENESIS (ON THE EXAMPLE OF THE ORENBURG REGION)

G.I. Zavialova

Orenburg State University, Orenburg, Russia
lanser35@mail.ru

Abstract. XXI век – век искусственного интеллекта и техногенеза, когда мощный инновационный прогресс привел к улучшению и облегчению жизни людей, и одновременно обострил глобальные проблемы, которые повлекли за собой необратимые последствия в экологии, экономике и культуре. Как техника воздействует на человека? Как взаимодействовать человеку с техникой (техноэтика)? Автор в своем исследовании сопоставляет философско-антропологическую и практическую составляющую техногенеза, говорит о необходимости изменения сознания людей в отношении к технике, к технологиям, защите окружающей среде. А также, на примере Оренбургской области, проводит анализ состояния загрязнения окружающей среды в области за последние 5 лет.

Введение

Впервые, термин техногенез, ввел в научный оборот академик А.Е. Ферсман в 1934 г. Под этим термином он буквально понимал «специфическую геохимическую систему, которая связана непосредственно с деятельностью человека» [4]. Но если мы разберем морфологию этого термина, то увидим, что технэ (с греч. *techné*) переводится как «искусство, мастерство, умение», а генез (с греч. *genes*) – как «происхождение, возникновение», что позволяет нам интерпретировать данный термин, как «изменения в обществе, вызванные техносферной революцией и техносферной деятельностью самого человека» (авторская интерпретация).

Вопросами техногенеза в начале 20 века, его антропологической составляющей занимались такие русские космисты, как Н.Ф. Федоров [3] и В.И. Вернадский [1]. В современном же обществе под «техногенезом» понимается деятельность человека в разных сферах общества, взаимодействие человека с техникой (техноэтика). Но как техника воздействует на человека? Нельзя однозначно ответить на этот вопрос. С одной стороны, мощный инновационный прогресс привел к улучшению жизни людей, облегчению этой жизни, но с другой стороны вышли наружу глобальные проблемы и те вопросы глобализации, которые привели и приводят к необратимым последствиям в атмосфере, гидросфере, биосфере. В век новой технологической революции мы наблюдаем негативные последствия техногенеза в разных сферах (социальной, культурной и экономической).

Автоматизация, компьютеризация и роботизация производства приводят в социальной сфере к росту безработицы, так как предпринимателям выгоднее приобрести и установить «машину», (ИИ), которая будет работать 24/7, которой не нужно платить заработную плату, давать время на отдых и сон. Роботизация производства приводит к увеличению роста безработицы, а как следствие к росту бедности в стране, к социальной напряженности и увеличению конфликтов. В культурной сфере, техногенез, одновременно с изменением способов коммуникации, приводит к стиранию культурных кодов современных стран и кризису культурной идентичности. Уже сейчас, современные философы начинают задумываться, как соотнести технику и культуру и как сделать техноэтику одним из приоритетных направлений в этике ученого. Динамика технического прогресса негативно сказывается и на загрязнении окру-

жающей среды. Бесконтрольное использование природных ресурсов, увеличение их добычи, приводит к тому, что возможность возобновления этих ресурсов, скорость их восстановления не совпадают со скоростью потребления.

Объем загрязнений воздуха, воды и почвы привели к тому, что экологическая проблема, стала одной из самых актуальных в XXI веке, и ее решения – это решение всего человечества. Огромное количество заводов и предприятий по всему миру загрязняют окружающую среду. Поэтому перед человечеством стоит проблема разрешения экологического кризиса, поиска альтернативных источников энергии, введение наукоемких и энергосберегающих технологий. Многие ученые, политические деятели и экологи работают над решением этих проблем.

Материалы и методы

Оренбургская область во все времена была форпостом России на границе с Азией, на ее юго-восточных рубежах. Но при всей важности Оренбургского края, с конца XX века Оренбургская область входит в перечень регионов с самой загрязненной атмосферой. Индустриальный прогресс XX века сделал из аграрного Оренбуржья промышленный кластер: Оренбургский газоперерабатывающий завод, Оренбургский гелиевый завод, Орскнефтеоргсинтез, Уральская сталь, Медногорский медно-серный комбинат и другие предприятия тяжелой промышленности наносят неисправимый вред окружающей среде Оренбургской области. Так, по данным Росгидромета, состояние окружающей среды в Оренбургской области в 2024 г. не может не вызывать опасения (превышение норм ПДК по бенз(а)пирену и тяжелым металлам) [2].

Центральными городами Оренбургской области являются: города Оренбург, Орск, Медногорск, Кувандык и другие, именно в них и находятся промышленные предприятия, которые наносят вред окружающей среде региона (2024 г. показывает экстремально высокий уровень загрязнения сероводородом) [2].

Крупным промышленным центром Оренбургской области является город Орск, где уровень загрязнения атмосфера оценивается как высокий, особенно по формальдегиду [2]. Также случаи превышения ПДК отмечены по сероводороду и фенолу (сказывается работа и влияние ОАО "Орскнефтеоргсинтез"). Если мы проанализируем данные за последние пять лет, то мы увидим, что в г. Орске увеличился уровень превышения ПДК по диоксиду серы, диоксиду азота и оксиду азота [2].

Еще одним крупным промышленным центром черной металлургии является город Новотроицк Оренбургской области, где расположены такие металлургические предприятия как Уральская сталь, ОАО "Новотроицкий завод хромовых соединений", ОАО "Новотроицкий цементный завод". Здесь наблюдается самый высокий уровень загрязнения атмосферы по фенолу и диоксиду азота, а также по тяжелым металлам: железо, кадмий, магний, марганец, медь, никель, свинец, цинк и хром [2]. Используя данные за последние пять лет, мы видим, что в г. Новотроицк также идет увеличение уровня ПДК по диоксиду серы, диоксиду азота, и бенз(а)пирену [2].

В городе Медногорске на загрязнения окружающей среды оказывают большое влияние выбросы ООО "Медногорский медно-серного комбинат" и ООО "Уралэлектро". Это приводит к тому, что уровень загрязнения атмосферы в городе отмечается как «высокий», а превышение уровня ПДК по диоксиду серы, сероводороду, оксиду углерода, и диоксиду азота, даже по сравнению с прошлым годом только увеличивается [2]. В связи с этим, ежегодно информируются контролирующие природоохранные органы Оренбургской области. Но динамика не утешительная! Мы продолжаем наблюдать процесс загрязнения атмосферы города Медногорска, в том числе сероводородом. За последний год санитарно-гигиеническим нормативам не соответствовала 31 проба [2].

Что же происходит с поверхностными водами Оренбургской области? При изучении мониторинга загрязненности поверхностных вод Оренбургской области в 2024 г. и на основании ги-

гигиенических требований к качеству воды, установленных СанПином, выделяется классификация степени загрязненности поверхностных вод: от первого класса до пятого класса, где 3-й класс, разряд «б» – очень загрязненная, 4-й класс, разряд «а», «б» – грязная, разряд «в» и «г» – очень грязная, пятый класс – экстремально грязная [2]. За последний год наблюдается увеличение загрязняющих веществ в реке Урал, которые превышают уровень ПДК в два раза по меди, сульфатам, по цинку, а также увеличение по железу на 5% (с 4,7 ПДК в 2023 г. до 9,2 ПДК в 2024 г.) [2]. В Оренбургской области мониторинг поверхностных вод в 2024 г. показал класс качества воды третий и четвертый, что соответствует степени загрязнения как очень загрязненная, очень грязная и грязная. Основными загрязняющими веществами, характерными для водоемов Оренбургской области являются соединения тяжелых металлов, соединения биогенных элементов – азот аммонийный, азот нитритный, и из главных ионов – это сульфаты и магний [2].

Заключение

Таким образом, проанализировав данные Росгидромета по Оренбургской области в 2024 г. можно сделать неутешительные выводы, что при увеличении мощности промышленных предприятий наблюдается ухудшение экологической ситуации в регионе, и как следствие – рост заболеваний, в том числе онкологических, и увеличение смертности граждан.

Мы понимаем, что техника окончательно вошла в нашу жизнь, и техногенез с его трансформациями в жизни людей играет главенствующую роль. Но при всем при этом мы видим, что увеличение добычи полезных ископаемых приводит к загрязнению окружающей среды, роботизация производства приводит к росту безработицы, меняются технологии и правила коммуникации. Поэтому перед современным поколением стоит непростая задача: объединиться для решения проблемы соотношения техники и этики, техники и экологии, техники и антропологии.

Литература

1. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М. : Наука, 1989. – 261 с.
2. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды Оренбургской области за 2024 год по данным Оренбургского ЦГМС [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Оренбургской области. – Оренбург, 2025. – URL: <https://mpr.orb.ru/presscenter/news/241618> (дата обращения: 30.05.2025).
3. Федоров Н.Ф. Философия общего дела. – М. : Эксмо, 2012. – 755 с.
4. Ферсман А.Е. Занимательная геохимия. – М. : ЕУ Медиа, 2025. – 422 с.

УДК 504.054; 504.064

ОСОБЕННОСТИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩ НА ПРИМЕРЕ АЛТАЙСКОГО И ДЖИДИНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

К.А. Зезюн¹, Е.М. Быкова², С.В. Азарова³, Б.Р. Соктоев⁴

Томский политехнический университет, Томск, Россия

¹kaz13@tpu.ru, ²emb11@tpu.ru, ³svetazara@tpu.ru, ⁴bulatsoktoev@tpu.ru

FEATURES OF BIOTESTING OF TAILINGS WASTE ON THE EXAMPLE OF ALTAI AND DZHIDA MINING AND PROCESSING PLANTS

K.A. Zeziun¹, E.M. Bykova², S.V. Azarova³, B.R. Soktoev⁴

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

¹kaz13@tpu.ru, ²emb11@tpu.ru, ³svetazara@tpu.ru, ⁴bulatsoktoev@tpu.ru

Abstract. Приведены результаты оценки токсичности материала отходов хвостохранилищ Алтайского и Джидинского горно-обогатительных комбинатов с использованием в качестве тест-организмов семян овса *Avena Sativa* L. и мушек *Drosophila melanogaster*.

Введение

Функционирование горно-обогатительных комбинатов оказывает существенное воздействие на компоненты окружающей среды. Одним из источников поступления загрязняющих веществ являются хвостохранилища.

Вблизи г. Горняк до 1995 г. действовал Алтайский горно-обогатительный комбинат (АГОК). Его деятельность была направлена на производство свинцовых, цинковых и медных концентратов, в которых помимо этого содержались серебро, золото, кадмий и др. Для складирования отходов обогащения, которые в результате исследований расчетным методом признаны практически неопасными, были созданы два хвостохранилища: «Старое» эксплуатировалось до 1968 г., «Новое» – с 1968 по 1995 гг. Площадь первого хвостохранилища составляла 0,27 км², средняя мощность 12,5 м, объем образованных отходов около 333205 м³. Площадь «Нового» – 0,8 км², средняя мощность 10 м, объем отходов 7935597 м³ [5]. В ранее проведенном исследовании расчетным методом был установлен V класс опасности отходов [1].

Примерно в это же время в г. Закаменск (Республика Бурятия) осуществлял работу Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат (ДВМК), который прекратил производство в 1997 г. Добываемые руды содержали примеси Pb, Zn, F, Mo, W, Be, Bi, As, относящиеся к элементам I–III класса опасности. Общая масса отходов обогащения составила около 45310000 т. Объектом размещения являлось насыпное хвостохранилище, площадь которого была примерно равна 0,22 км², средняя мощность – 10,6 м [4]. Согласно статье Артемовой О.С. и Язовцевой А.М. хвосты Джидинского ВМК относятся к IV классу опасности [2]. Вследствие дефляционных процессов мелкодисперсный материал хвостохранилищ распространяется на значительные расстояния, что приводит к загрязнению прилегающих территорий.

Целью данной работы является оценка токсичности материала отходов хвостохранилищ Алтайского и Джидинского ГОКов с применением методов биотестирования.

Материалы и методы

Биотестирование представляет собой подход, при котором оценивается реакция живых организмов на внешнее воздействие окружающей среды. Данная методика позволяет анализировать влияние отдельных загрязняющих веществ и их комплексное воздействие, которое может проявляться в виде усиления токсического эффекта или его ослабления.

Согласно методическим указаниям МР 2.1.7.2297-07, при проведении фитотестирования от-

ходов предпочтительно использовать семена овса, демонстрирующие высокую воспроизводимость результатов. Тест-функцией является интенсивность роста корней проростков семян. Исследование предусматривает обязательное тестирование минимум трех различных концентраций вытяжки из отходов. С помощью методики можно определить суммарную токсичность и класс опасности отходов горнодобывающей промышленности [6]. Собственный эксперимент поставлен с использованием семян овса *Avena Sativa* L. (нативный экстракт, 1:1, 1:2, 1:5, 1:10, 1:50, 1:100).

Принцип оценки степени опасности отхода базируется на экспериментально установленной зависимости величины фитотоксического эффекта от разведения водного экстракта (рис.1) с использованием регрессионной модели: $\lg R = -mE_T + b$, где E_T – фитоэффект, установленный в эксперименте, R – разведение экстракта отхода, m – коэффициент соответствующий каждому значению фитоэффекта, b – коэффициент регрессии. В соответствии с данной методикой класс опасности отхода устанавливается по величине ER_{50} (средне-эффективное разведение, вызывающее фитоэффект = 50 %) [6].

В исследовании токсичности отходов хвостохранилищ в качестве биологического индикатора также применялась плодовая мушка *Drosophila melanogaster*. Были задействованы генетические линии *singed* и *yellow*. В каждую пробирку с питательным субстратом помещали по три виргинные самки *yellow* и три самца *singed* для получения гибридного потомства. Концентрация пробы в питательной среде составляла 0,5%. Тест-параметрами служили сроки развития, морфозы и соотношение полов. Для подтверждения токсического проводился расчет показателя Хи-квадрат [3].

Результаты и их обсуждение

Ингибирование роста корней семян овса зафиксировано в условиях их прямого контакта с нативным экстрактом и его разведениями 1:1, 1:2. Однако при определенной концентрации водная вытяжка отхода оказывает стимулирующий эффект. Средне-эффективное разведение (ER_{50}) получено в пределах 1–10 для обеих проб отходов. Согласно МР 2.1.7.2297-07, можно предположить, что отходы «Старого» хвостохранилища АГОКа и насыпного хвостохранилища ДВМК можно отнести к 3 классу опасности [6].

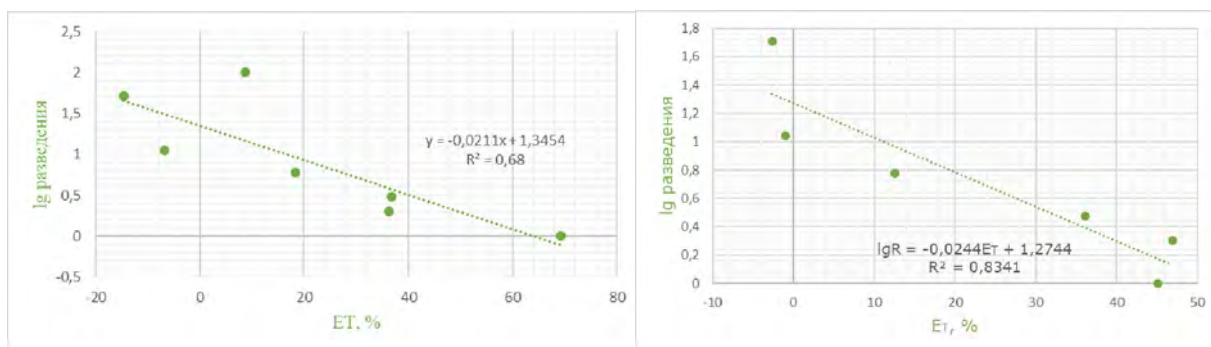


Рис. 1. Зависимость $\lg R = f(E_T)$ по влиянию отходов хвостохранилища: 1 – ДВМК, 2 – АГОК

Сроки развития мушек *Drosophila melanogaster* в контрольной среде и среде с пробами отходов хвостохранилищ были одинаковыми. В среде с материалом отходов ДВМК значение Хи-квадрат для параметра «морфозы» составило 2,85, для «соотношение полов» – 0,53. Для хвостохранилища АГОКа это же значение для «морфоз» – 11,49, для «соотношения полов» – 0,03.

Значения Хи-квадрат используются для определения границ случайных отклонений. Допустимой границей вероятности считается 0,05. В данном эксперименте с двумя линиями мух число степеней свободы равно 1, следовательно, табличное значение показателя составляет

3,84 [3].

Фактические значения показателя для ДВМК ниже теоретического. Для результатов эксперимента с пробой АГОКа установлено превышение теоретического значения для параметра «морфозы», что говорит о наличии токсического воздействия.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных экспериментов показали, что отходы хвостохранилища АГОКа оказывают токсическое воздействие на семена овса *Avena Sativa* L. и мушек *Drosophila melanogaster*, однако расчетным методом отнесены к V классу опасности. В то время, как для отходов хвостохранилища ДВМК, отнесенных ранее к IV классу опасности, зафиксирован фитотоксический эффект, но нарушений развития мушек *Drosophila melanogaster* не наблюдается.

При биотестировании использование разных тест-организмов может приводить к расхождению в результатах из-за комплекса факторов, связанных с физиологией, чувствительностью объектов к токсикантам и условиями проведения эксперимента. К тому же биотестирование носит интегральный характер. То есть оно оценивает совокупное воздействие загрязняющих веществ, которые могут усиливать или ослаблять токсичность друг друга.

Литература

1. Азарова С.В., Пузанов А.В., Осипова Н.А. Воздействие отходов хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината на почвенный покров // Горный журнал. – 2019. – № 1. – С. 111–116.
2. Артемова О.С., Язовцева А.М. Оценка предотвращенного эколого-экономического ущерба при решении проблем на Джидинском вольфрам-молибденовом комбинате // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №. 11. – С. 258–261.
3. Зезюн К.А. Оценка токсичности материала отходов хвостохранилищ алтайского горно-обогатительного комбината с применением в качестве тест-объекта *Drosophila melanogaster* // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXVIII Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова. – Томск : Изд-во ТПУ, 2024. – Т. 1. – С. 232–233.
4. Ходанович П.Ю., Смирнова О.К., Яценко Р.И. Экологические проблемы освоения сульфидсодержащих вольфрамовых месторождений в условиях таежно-мерзлотных ландшафтов расчлененного среднегорья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2003. – №. 2. – С. 147–152.
5. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на золото и серебро в пределах техногенных образований золотушинской обогатительной фабрики и локтевского сереброплавильного завода за 1999–2001 гг. – Змеиногорск : Рудно-Алтайская экспедиция, 2001. – Кн. 1.
6. МР 2.1.7.2297-07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. Методические рекомендации. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 15 с.

УДК 691+550.4+550.47

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

О.Д. Лукашевич, В.Н. Лукашевич

*Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия
odluk@yandex.ru, vnluc@yandex.ru*

**GEOCHEMICAL AND BIOGEOCHEMICAL ASPECTS
OF NEW DIRECTIONS OF CONSTRUCTION MATERIALS SCIENCE**

O.D. Lukashevich, V.N. Lukashevich

*Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia
odluk@yandex.ru, vnluc@yandex.ru*

Abstract. В докладе представлен анализ современных подходов к развитию строительного материаловедения на основе реализации геохимических и биогеохимических факторов воздействия на структуру природных и искусственных камней. Выделены основные перспективные направления зарубежных и отечественных исследований: биоминерализация, биодеструкция, биозащита (биоцидные добавки), биостойкость (биологическое сопротивление), природоподобные процессы и структуры, наноструктурирование, самовосстановление строительных материалов и изделий. Показан транс-междисциплинарный характер теоретических знаний и практического использования перспективных технологий и материалов.

Введение

Строительное материаловедение переживает сегодня, с одной стороны, «экологический ренессанс» (направленность на получение безопасных для окружающей среды и человека «зеленых» строительных материалов (СМ), изготовление которых позволяет экономить электрическую энергию и использовать бросовое техногенное сырье). С другой стороны, стремление выиграть в конкурентной борьбе за инвестиции и получить максимальную прибыль порождают интерес к созданию дешевых, легких, долговечных, эстетичных материалов, которые могут найти спрос в мало- и многоэтажном строительстве. Застройщики, муниципалитеты, бизнес-структуры – все заинтересованы в инновационных СМ. Указанные качества СМ во многом связаны с их устойчивостью против разрушительных сил природного характера (химических, биологических, механических) и проявлением новых свойств, часто проявляющихся в результате синергетического эффекта при совместном воздействии химических, биологических, микроклиматических факторов. Таким образом, актуальность обозначенной автором темы не вызывает сомнения.

Материалы и методы

Исследование выполнено на основе анализа и обобщения публикаций, основанного на междисциплинарном подходе.

Результаты и их обсуждение

Ограниченный объем данной публикации позволяет лишь кратко рассмотреть сформулированные выше актуальные вопросы строительного материаловедения и дать оценку их степени изученности, потенциальной эффективности и возможности широкого использования на практике. В докладе предполагается более подробное освещение вопроса.

Таблица 1. Некоторые примеры новых направлений развития технологий получения строительных материалов на основе биогеохимических исследований

Направление исследований	Поставленные цели и задачи исследований	Степень проработки темы	Источники литер.
Получение биостойких СМ	Получение экспериментальных данных о стойкости СМ (например, на основе цементных и гипсовых связующих) при воздействии химических и микробиологических агентов. Оптимизация состава СМ с приданием грибостойких, бактерицидных, фунгицидных свойств	Имеются патенты на изобретения, публикации, апробация в гражданском строительстве	1, 2
Повышение коррозионной стойкости СМ в присутствии влаги	Разработка добавки на основе отходов скипидара и золы, обеспечивающую более плотную структуру и стойкость цементных систем, а в штукатурной смеси – стойкость к плесени <i>A. Niger</i>	Проведен большой объем физико-химических исследований с использованием современного оборудования	3
Химическое модифицирование цементных бетонов	Увеличение долговечности и прочности цементных бетонов путем введения химических добавок, которые внедряются в структуру цемента камня в результате процессов адсорбции, ионного обмена, создают центры кристаллизации	Процессы структурообразования в цементных системах исследуются с позиции регулирования их механических характеристик методом подбора	4
Создание самовосстанавливающихся СМ	Получение бетонов с функцией устранения трещин в результате деятельности бактерий и осаждения кальцита. Синтез биомиметических материалов на основе природоподобных процессов	Получены первые искусственные наноматериалы, имитирующие свойства биоматериалов или созданные на основе принципов, реализованных в живой природе.	5
Создание биогенных СМ	На основе цианобактерий (размножаются в питательной среде благодаря фотосинтезу) и наполнителей (песок, базальт) образуются искусственные камни	Пока это лабораторная но перспективная разработка, достоинства: экономия сырья, энергии, отсутствие углеродного следа: весь CO ₂ связывается	6
Создание «умных» СМ (биокирпичей, керамических кирпичей, биофундаментов)	Получение СМ с заданными свойствами (поглощение загрязнителей, изменение цвета) при помощи биогеохимических процессов	Разработаны микробиологически индуцированные добавки с цементирующим эффектом	7
Разработка вспомогательных биотехнологий для уничтожения отходов СМ	Переработка пластика бактериями (ПЭТ), личинками червей (полистирол), насекомых (полиэтилен)	На основе изучения механизмов деструкции полимеров под действием природных ферментов разрабатываются синтетические аналоги ферментов	8

Примечание: * – Приведенные примеры не исчерпывают всего многообразия новых СМ и технологий их получения.

Заключение

Процессы, протекающие при получении, эксплуатации, разрушении строительных материалов, во многом близки к физико-химическим и микробиологическим процессам и явлениям, протекающим при формировании и метаморфических преобразованиях горных пород.

Новые направления в теории и практике строительного материаловедения с использованием биотехнологий открывают широкие возможности создания биопозитивных материалов, конструкций и в целом – биосферно-совместимых городов.

Литература

1. Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Богатов А.Д. Исследование биостойкости строительных материалов, модифицированных биоцидными добавками // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 8. – С. 48–53.
2. Богатов А.Д., Кретьева В.М., Сураева Е.Н. Свойства цементных композитов с биоцидными добавками // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 3(48). – С. 179–183.
3. Чикичев А.А., Белых С.А., Кудяков А.И. Гидрофобно-фунгицидная добавка и штукатурная сухая смесь на ее основе // Вестник МГСУ. – 2017. – Вып. 12. № 6(105). – С. 661–668.
4. Жадяева Т.С., Епифанова Н.А., Терешкин И.П. Химизация технологии цементных сырьевых смесей как основа изготовления долговечных строительных конструкций и изделий на их основе // Л. Огаревские чтения: материалы всероссийской с международным участием научной конференции : в 3-х ч. – Саранск, 2022. – С. 670–674.
5. Vafaeva K.M., Vatin N.I. Kordas G. Self-healing building materials: The future of construction // AlfaBuild. – 2023. – Vol. 29(4). – P. 2912. – doi: 10.57728/ALF.29.12.
6. Живые строительные материалы – цианобактерии [Электронный ресурс]. – URL: <https://microbius.ru/news/creating-bio-concrete-and-biogenic-construction-materials-with-cyanobacteria>. (дата обращения: 20.05.2025).
7. Биофундамент: как используются микроорганизмы в строительстве [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.techinsider.ru/science/370312-biofundament-kak-ispolzuyutsya-mikroorganizmy-v-stroitelstve> (дата обращения: 20.05.2025).
8. Жук П.М. Биотехнологии в архитектурном проектировании // Наука, образование и экспериментальное проектирование. – 2021. – С. 284–287. – doi: 10.24412/cl-35672-2021-1-0071.
9. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, Вып. 1(100). – С. 9–16. – doi: 10.22227/1997-0935.2017.1.9-16.

УДК 622.772; 62

**БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СПОДУМЕНА ДВУМЯ ШТАММАМИ
ASPERGILLUS NIGER, СОЛЮБИЛИЗАТОРАМИ ФОСФАТОВ**

С.В. Клементьев¹, А.З. Миндубаев², М.Ю. Сидоров³, Д.П. Малахов⁴, А.Н. Гостева⁵

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

²ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

³Геологический институт ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская область

⁴Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН, Казань, Россия

⁵Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им.И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, Мурманская область

**BIOLEACHING OF SPODUMENE BY TWO STRAINS OF *ASPERGILLUS NIGER*,
PHOSPHATE SOLUBILIZERS**

S.V. Klementiev¹, A.Z. Mindubaev², M.Y. Sidorov³, D.P. Malakhov⁴, A.N. Gosteva⁵

¹Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

²FRC KazSC RAS, Kazan, Russia

³Geological Institute of Geological Institute, Apatity, Murmansk region

⁴A.E. Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, Kazan Scientific Center, RAS, Kazan, Russia

⁵I.V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Kola Scientific Center RAS, Apatity, Murmansk region

Одним из важных применений биогеотехнологических разработок является биовыщелачивание – извлечение элементов из руд, при помощи микроорганизмов. Исследуются экстремотолерантные культуры гриба *Aspergillus niger* AM1 ВКМ F-4815D и AM2 ВКМ F-4816D. *A. niger* F-4815D выделен в 2014 году из емкости с кусковым белым фосфором, хранящимся в толще воды. Гриб оказался способен обезвреживать белый и красный фосфор, окисляя его до фосфата, а также метаболизировать соединения фосфора и растворять нерастворимые в воде фосфатные соединения, включая трикальцийфосфат.

A. niger F-4816D – дочерний штамм, возникший в 2016 году при культивировании F-4815D. В 2018 году оба штамма задепонированы во Всероссийской коллекции микроорганизмов. Филогенетическое дерево штаммов показало, что они относятся к кластеру внутри вида, специализирующемуся на солюбилизации фосфатных минералов [1]. Поэтому, закономерно возникла идея использовать исследуемые штаммы грибов для выборочного биовыщелачивания элементов из минералов. Для биовыщелачивания лития культуры грибов солюбилизаторов фосфата применены впервые. А также, сравнивались эффективности биовыщелачивания в полноценной культуральной среде, содержащей фосфаты, и в среде без источников фосфора – необходимого для роста микробных культур элемента. Предполагалось, что в условиях нехватки биогенного элемента грибы начнут более интенсивно растворять минерал для извлечения микропримесей фосфатов, и заодно переводить в водорастворимую форму содержащийся в нем литий.

ИК-спектры сподумена соответствуют таковым из литературных источников [2]. Эти результаты свидетельствуют о том, что исследуемый минерал действительно является сподуменом. Проведенный рентгенофлуоресцентный анализ показал наличие 0.013404 % фосфора (в пересчете на оксид P_2O_5) в составе исследуемого минерала. Исследуемый минерал не был прокален перед началом эксперимента.

Рост аспергиллов наблюдался во всех вариантах культуральных сред, но в полноценной с источником фосфора, как следовало ожидать, намного интенсивнее. Было предположение, что исходная культуральная среда загрязнена фосфатами, однако анализ это не подтвердил. Среда без источников фосфора содержит всего 0.96 ± 0.13 мг фосфат-ионов / $дм^3$, эта концен-

трация на уровне погрешности. Значит, основным источником фосфата для роста служил минерал.

Через 14 суток культивирования культуры уже достигли стадии воздушного мицелия и сформировали споры.

Определение лития в биомассе грибов и культуральной среде проводили методом пламенно-эмиссионной спектроскопии [3].

Результат биовыщелачивания штаммами *A. niger* F-4815D и F-4816D свидетельствует о следующем. Аспергиллы в представленном исследовании сравнительно эффективно извлекали литий в виде ионов Li^+ из минерала сподумена Ловозерского месторождения (Мурманская область). Причем, основное количество извлеченного элемента накапливалось в биомассе грибов. Что касается влияния фосфатной подкормки, то результаты получились противоречивыми. Рост в среде без фосфатов положительно сказался на экстракции лития в случае *A. niger* F-4816D, однако в случае с *A. niger* F-4815D зависимость приобретает обратный характер. Возможно, это связано с тем, что дочерний штамм *A. niger* F-4816D имеет более выраженные адаптации к дефициту фосфора и более эффективно извлекает его из минералов по сравнению с родительским штаммом *A. niger* F-4815D.

Результаты исследования позволили сформулировать следующие выводы. Биовыщелачивание действительно является потенциальным методом добычи лития. Штаммы *Aspergillus niger* AM1 ВКМ F-4815D и AM2 ВКМ F-4816D в перспективе могут применяться для биовыщелачивания минералов и концентратов.

Литература

1. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Bedeeva E.K. et al. Biological degradation of yellow (white) phosphorus, a compound of first class hazard // Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2021. – Vol. 66(8). – P. 1239–1244. – doi: 10.1134/S0036023621080155.
2. Chukanov N.V., Chervonnyi A.D. Infrared spectroscopy of minerals and related compounds. – Springer, 2016. – 1109 p.
3. Кудрявцев А.Г., Сучков А.Б. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций натрия, калия, лития, стронция в пробах питьевых, природных и сточных вод методом пламенно-эмиссионной спектроскопии : ПНД Ф 14.1:2:4.138-98. – М. : ФЦАО, 2017. – 22 с.

УДК 614.751-026.86(571.17)

**ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О СОДЕРЖАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ В НЕСКОЛЬКИХ ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ
(Г. МЕЖДУРЕЧЕНСК, ЮЖНЫЙ КУЗБАСС)**

Н.А. Осипова¹, Е.Г. Язиков¹, А.В. Таловская¹, К.Ю. Осипов², С.А. Новиков¹

¹Томский политехнический университет, Томск, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

osipova@tpu.ru, yazikoveg@tpu.ru, yazikoveg@tpu.ru, nsa@tpu.ru, osipov@iao.ru

**HEALTH RISK ASSESSMENT BASED ON DATA ON THE CONTENT
OF ELEMENTS IN SEVERAL NATURAL ENVIRONMENTS
(MEZHDURECHENSK, SOUTHERN KUZBASS)**

N.A. Osipova¹, E.G. Yazikov¹, A.V. Talovskaya¹, K.Y. Osipov², S.A. Novikov¹

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

osipova@tpu.ru, yazikoveg@tpu.ru, yazikoveg@tpu.ru, nsa@tpu.ru, osipov@iao.ru

Abstract. Экологические риски здоровью населения от воздействия компонентов уличной пыли (учтены 26 элементов по данным масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой) и почв оценены с учетом перорального, ингаляционного и кожного путей поступления и использованием стандартных факторов экспозиции. В порядке уменьшения значений суммарных коэффициентов опасности (неканцерогенный риск), учитывающих все три пути поступления загрязнителей, элементы образуют следующий ряд: As ($1,6 \times 10^{-1}$) > Cr ($4,1 \times 10^{-2}$) > Pb ($2,4 \times 10^{-2}$) > Mn ($2,2 \times 10^{-2}$) > Sb ($1,5 \times 10^{-2}$) > Ba ($1,4 \times 10^{-2}$) > Al ($8,6 \times 10^{-3}$) > Cu ($4,4 \times 10^{-3}$) > Co ($1,7 \times 10^{-3}$) > Cd ($1,7 \times 10^{-3}$) > Zn ($1,0 \times 10^{-3}$) > Hg ($2,2 \times 10^{-4}$); Σ КО (неканц) = $29,4 \times 10^{-2}$. Данный уровень риска характеризуется как приемлемый (допустимый риск).

Введение

Процесс анализа потенциального вреда здоровью, связанного с возможным химическим загрязнением среды составляет основу оценки экологического риска. Работа весьма актуальна для территорий с высоким уровнем антропогенной нагрузки, к которым относятся предприятия угольной промышленности [1, 2]. При добыче угля вблизи г. Междуреченск в атмосферный воздух выбрасывается значительное количество угольной пыли – 3300 тонн ежегодно. По мере распространения аэротехногенных шлейфов от объектов по добыче и переработке угля частицы угольной пыли осаждаются из воздуха на депонирующие природные среды.

Материалы и методы

Всего было отобрано 29 проб уличной пыли и образцов почв в тех же точках. Методом ИСП-МС с пробоподготовкой в предварительно измельченных на виброистирателе пробах определено содержание 57 химических элементов на приборе ИСП-масс-спектрометр ELAN в ХАЦ «Плазма» (г. Томск, аттестат аккредитации RA.RU.516895 от 05.05.2016 г., с использованием стандартных образцов сравнения.)

Статистические показатели содержаний химических элементов в пробах определяли в программе «Statistica», расчеты показателей риска – в специально созданной программе для ЭВМ на основе российских нормативных документов и подходов ЕРА [3, 4]

Результаты и обсуждение

Содержания химических элементов, включая группу макроэлементов (Na, Ca, Fe, Ti, Mn, Al, Si, K, P) и микроэлементов, таких как тяжелые металлы 1, 2, 3 класса опасности, редкие, ред-

коземельные и радиоактивные элементы, в валовых пробах уличной пыли, варьируют в широких пределах. По значениям коэффициента вариации (V) крайне неравномерное распределение ($V > 75\%$) характерно для Pb, неравномерное ($V = 40\text{--}75\%$) – для V, Ni, Be, Ge, As, Se, Mo, In, Sb, Sn и Bi, что может указывать на наличие геохимических аномалий на территории города, сформированных под воздействием локальных источников загрязнения.

По значениям ФО, рассчитанного относительно кларка земной коры, городская уличная пыль существенного обогащена Cu, Zn, Ge, As, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sb, Pb, Ca (ФО от 1,4 до 4,8) (рис. 1), что может быть связано с воздействием автотранспорта, ремонтных мастерских на территории города и дальним переносом от угледобывающих предприятий. Содержание большей части рассматриваемых элементов, в т. ч. макроэлементов, редких, редкоземельных и радиоактивных элементов, в пробах близко к кларкам земной коры, что, вероятно, свидетельствует о поступлении этих элементов в составе частиц горных пород и угля вследствие дальнего переноса от буровзрывных работ на близрасположенных угледобывающих месторождениях. Вмещающие породы на месторождениях содержат минералы группы силикатов и алюмосиликатов. Угли Кузнецкого бассейна в качестве примесей содержат группу таких микроэлементов, как редкие, редкоземельные и радиоактивные.

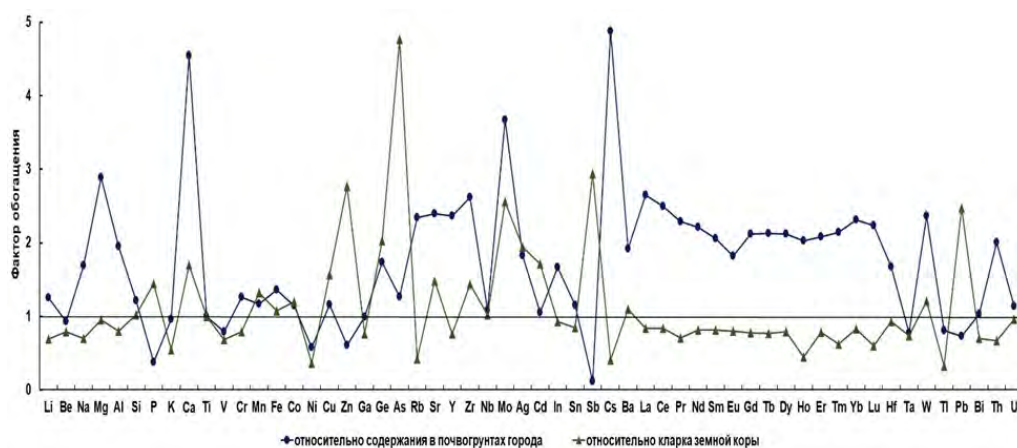


Рис. 1. Факторы обогащения элементов в уличной пыли относительно содержаний в почвогрунтах и кларка земной коры

По уменьшению суммарного КО (неканц.) элементы, обнаруженные в уличной пыли, образуют ряд $\text{As } (1,6 \times 10^{-1}) > \text{Cr } (4,1 \times 10^{-2}) > \text{Pb } (2,4 \times 10^{-2}) > \text{Mn } (2,2 \times 10^{-2}) > \text{Sb } (1,5 \times 10^{-2}) > \text{Ba } (1,4 \times 10^{-2}) > \text{Al } (8,6 \times 10^{-3}) > \text{Cu } (4,4 \times 10^{-3}) > \text{Co } (1,7 \times 10^{-3}) > \text{Cd } (1,7 \times 10^{-3}) > \text{Zn } (1,0 \times 10^{-3}) > \text{Hg } (2,2 \times 10^{-4})$; $\sum \text{КО (неканц.)} = 29,4 \times 10^{-2}$.

Уровни содержания большинства рассматриваемых химических элементов в почвах г. Междуреченск ниже или соответствуют средним концентрациям элементов в верхней части континентальной земной коры. Содержания некоторых тяжелых металлов (Zn, Pb, Cd, Hg, Cu, Mn, Ti), полуметаллов (Sb, As, Ge), редких и редкоземельных (Hf, Yb), радиоактивных (U) элементов в почвах г. Междуреченска формируют положительные геохимические аномалии со средними коэффициентами концентрации до 26,1–1,9 единиц.

Для засыпки болотистой местности и строительства объектов промышленного и гражданского назначения в г. Междуреченск были использованы вскрышные породы с близ расположенных угольных разрезов. Наибольшие концентрации Cu, V, Cr, Sn, Ni и Co во вскрышных породах угольных предприятий Кузбасса соответствуют средним концентрациям в верхней части континентальной земной коры. Тогда как концентрации Hg, Sb, Mo, Pb, Cd, Mn, Zn во вскрышных породах до 1,8–20,8 раз превосходят указанный критериальный уровень, что находит прямое отражение в установленной геохимической специализации почв г. Междуреченск.

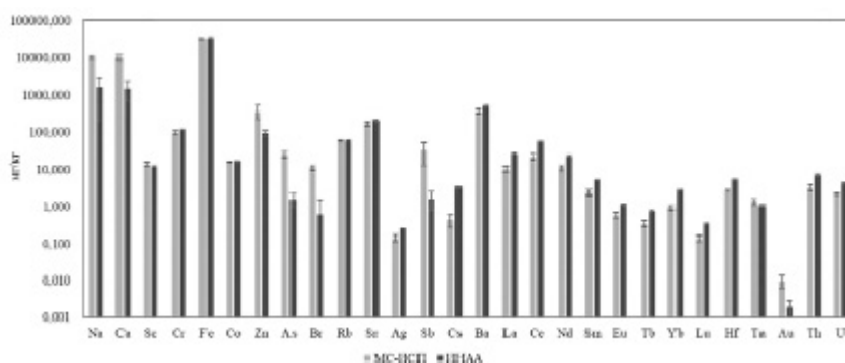


Рис. 2. Средние концентрации химических элементов в почвах г. Междуреченск по данным аналитических определений методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) и инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА)

Таким образом, геохимические особенности загрязнения почв г. Междуреченск, формируемые под влиянием добычи угля, соответствуют геохимической специализации добываемых углей. Известно, что угли, добываемые на разрезах вблизи г. Междуреченск (Ольжерасский, Красногорский, Сибиргинский, Междуреченский), в 2 и более раз обогащены Mn, Nb, Be, Zr, Mo, Y, As, Sr, Ni, Pb, Cu, Li, Sn, Ti, Zn, P, Ba, Hf, Ga, Tb, V, Co, Lu, Ta, Sm, Eu относительно среднего состава каменных углей. Другим основным источником поступления химических элементов в почвы г. Междуреченск является депонирование пылевых выбросов местных угольных котельных. Вблизи теплоэлектростанции и локальных котельных, использующих кузбасские угли, атмосферные пылеаэрозоли в повышенных количествах содержат Hg, Zn, Ni, Mo, Co, Ba, Sr, Cd, As, Sb, Pb, V, U и Fe.

В том случае, когда оценка риска проводилась по содержанию элементов почве, наблюдалась следующая картина по ранжированию суммарных КО (неканц.)

По уменьшению суммарного КО (неканц.) элементы, по данным анализа почв, образуют ряд $Fe(1,5 \times 10^{-1}) > Sb(1,21 \times 10^{-1}) > As(1,1 \times 10^{-1}) > Al(4,7 \times 10^{-2}) > Cr(3,9 \times 10^{-2}) > Pb(2,0 \times 10^{-2}) > Mn(2,1 \times 10^{-2}) > V(1,5 \times 10^{-2}) > Ba(7 \times 10^{-2}) > Tl(0,006) > Cu(4,4 \times 10^{-3}) > Ni(3,0 \times 10^{-3}) > Zn(2,0 \times 10^{-3}) > Cd(1,7 \times 10^{-3})$. $\sum КО (неканц.) = 57,0 \times 10^{-2}$.

Необходимо отметить, что в этот перечень входят лишь Zn, Cu, Mn, As, отмеченные выше среди 13 элементов с коэффициентами концентрации относительно кларка в земной коре 26,1–1,9 единиц, что еще раз.

Следует обратить внимание на тот факт, что в перечень элементов, вносящих весомый вклад в суммарный риск, входят лишь только 4 (Zn, Cu, Mn, As,) из 13 элементов с коэффициентами концентрации относительно кларка в земной коре 26,1–1,9 единиц. То есть превышение над кларком еще не повод для отнесения элемента в разряд опасных токсикантов. Нормирование относительно референтных концентраций в случае расчета КО, в отличие от нормирования по фоновым и кларковым, дает более убедительные доказательства относительно вреда здоровью. Вышесказанное еще раз подчеркивает необходимость сочетания геохимического и эколого-гигиенического подходов при оценке опасности почвенного и пылевого загрязнения, а также учет как минимум двух сопредельных сред.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 20-05-00675 А.*

Исследования выполнены в НИ ТПУ в рамках программы повышения конкурентоспособности ТПУ среди ведущих мировых исследовательских центров.

Литература

1. George J., Masto R., Ram L. et al. Human exposure risks for metals in soil near a coal-fired power-generating plant // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2015. – Vol. 68(3). – P. 451–461.
2. Tang Z., Chai M., Cheng J. et al. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in Eastern China // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2016. – Vol. 138. – P. 83–91.
3. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения : руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания : Р 2.1.10. (утв. Роспотребнадзором 06.09.2023). – М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
4. Risk assessment guidance for superfund : Vol. 1. Human health evaluation manual. Interim final. – Washington : U.S. Environmental Protection Agency, 1989. – 192 p. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/rags_a.pdf (дата обращения 20.12.2022).

УДК 502.131

**ЦЕЛИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В РОССИИ:
ПРОГРЕСС СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И НЕРЕШЕННЫЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

А.Л. Переломова, М.Д. Ромашко, М.М. Королькова

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Факультет иностранных языков и
регионоведения, Москва, Россия
aleksandra.perelomova1111@gmail.com*

**SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN RUSSIA:
PROGRESS IN SOCIO-ECONOMIC INDICATORS AND UNRESOLVED
ENVIRONMENTAL CHALLENGES**

A.L. Perelomova, M.D. Romashko, M.M. Korolkova

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Foreign Languages and Regional Studies, Moscow, Russia
aleksandra.perelomova1111@gmail.com*

Аннотация. Концепция устойчивого развития объединяет интересы экономики, общества и природы. Переключаясь с идеями о ноосфере В.И. Вернадского, она могла бы лежать в основе стратегии социально-экономического развития Российской Федерации. В статье рассматривается динамика достижения нашей страной целей устойчивого развития, успехи и трудности в ходе их реализации.

В июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро прошла Конференция ООН по окружающей среде и развитию – Саммит Земли. Это была крупнейшая международная экологическая встреча, собравшая более 8 тыс. делегатов и около 3 тыс. представителей неправительственных организаций из 179 стран. На конференции были приняты ключевые документы, в том числе «Повестку дня на 21 век» – программа реализации концепции устойчивого развития на национальных уровнях. Важную роль в ее подготовке сыграл доклад «Наше общее будущее» (1987) Всемирной комиссии по окружающей среде и развитию при ООН, где впервые был прозвучал термин «устойчивое развитие» [12]. Устойчивое развитие предполагает удовлетворение потребностей настоящего поколения без ущерба для будущих. Данная концепция объединяет интересы экономики, общества и природы, переключаясь с идеями о ноосфере В.И. Вернадского [2].

Сегодня данная модель развития человечества предполагает реализацию 17 целей устойчивого развития (ЦУР), принятых Генеральной Ассамблеей ООН в 2015 г. на срок до 2030 г. Данные цели постулируют, что при устойчивом развитии сохранение окружающей природной среды должно происходить одновременно с решением таких проблем, как искоренение нищеты, ликвидация голода, гендерного неравенства и сохранения мирного развития. Для того чтобы ЦУР стали реальностью, необходима приверженность им всего человечества и реализация посредством национальных социально-экономических политик. Российская Федерация, как подписант указанных международных соглашений, участвует в реализации ЦУР. При отсутствии всеобъемлющей долгосрочной социально-экономической стратегии развития нашей страны логично определить ориентиры, которые могли бы стать целями ее развития. Сформулированные ЦУР могли бы служить такими ориентирами, если адаптировать их к реалиям нашей страны и при условии нахождения России в составе мирового сообщества цивилизованных стран.

В 2016 г. был опубликован доклад Аналитического центра при Правительстве РФ «Цели устойчивого развития ООН и Россия» [3]. В июле 2024 г. на сайте Российского национального комитета содействия Программе ООН по окружающей среде (UNEP) были представлены последние данные о достижении Россией ЦУР [9]. К 2024 г. Россия занимала 56-е место в рей-

тинге стран по достижению целей устойчивого развития. Рассмотрение динамики достижения ЦУР к 2016 и к 2024 гг. позволяет сделать следующие выводы.

На 2024 г. Россия достигла одной из 17 целей ЦУР – ликвидации бедности. В отношении восьми целей наблюдаются положительные изменения по ряду показателей. Остальные остаются в состоянии стагнации. Статистические данные говорят, что с 2000 по 2015 г. уровень абсолютной монетарной бедности в России снизился. Однако в период экономического спада 2015–2016 гг. он вновь увеличился, особенно в относительно бедных регионах. К 2024 г. Россия, согласно данным, преодолела абсолютную бедность на национальном уровне. В 2016 г. было заявлено, что в России цель по ликвидации голода в целом достигнута, и на первый план вышли другие аспекты продовольственной безопасности, в частности, качество питания. Для России характерен низкий уровень недоедания. При этом 24% взрослого населения страдают от ожирения.

Одной из особенностей России является контраст между достаточно высоким уровнем экономического развития и неудовлетворительным состоянием здоровья взрослого населения. По ключевым показателям в этой сфере страна значительно уступает другим развитым государствам. К 2024 г. Россия достигла целевых показателей по уровню детской и младенческой смертности, вакцинарованию, подростковой фертильности (среди женщин) и доле родов в присутствии медицинского персонала. Однако остаются и проблемы: ожидаемая продолжительность жизни в России снизилась до 69,4 лет и находится на уровне Ирака, Узбекистана, Киргизии и Монголии, что значительно ниже чем в Японии и Австралии (84 года). В 2016 г. главным проявлением гендерного неравенства в России была разница в оплате труда, но к 2024 г. ситуация улучшилась, и уровень гендерного равенства повысился.

К 2016 г. 96% россиян имели полное среднее образование, что выше среднего показателя Организации экономического сотрудничества и развития (75%) и стран БРИКС. К 2024 г. российское образование оценивается выше среднемирового уровня. В 2016 г. Россия поставила цель к 2030 г. перейти к постиндустриальному развитию – не отказываясь от природных ресурсов, а усиливая роль инноваций и интеллектуального потенциала. К 2024 г. в целом удалось достичь ключевых экономических ориентиров: наблюдается рост ВВП, уровень безработицы остается низким, а число несчастных случаев на производстве минимально. Однако в сфере развития инфраструктуры сохраняются серьезные вызовы. Так, расходы на исследования и разработки составляют всего 0,9% ВВП, что заметно ниже, чем в других странах: в США этот показатель достигает 3,46%, в Германии – 3,14%, а в Бразилии – 1,15%.

Несмотря на значительные успехи в достижении ряда ЦУР, перед Россией остаются серьезные экологические вызовы, требующие комплексных решений. Наибольшую тревогу вызывает вклад страны в глобальное изменение климата. Россия занимает четвертое место в мире по объему выбросов парниковых газов, уступая лишь США, Китаю и Индии. Среди критических показателей для России – Индекс устойчивого регулирования содержания азота, который оценивает эффективность использования удобрений и сельскохозяйственных земель. В России этот показатель составляет 0,8, что соответствует уровню Индии, Испании и Канады. Ситуация с чистой энергетикой и доступностью экологичного топлива к 2024 г. также остается непростой. Хотя 100% населения обеспечено электричеством, лишь 72% имеют доступ к экологически чистому топливу. Доля возобновляемых источников в общем энергопотреблении составила всего 3,7%, тогда как в Норвегии и Швеции она превышает 58–61%, а в Беларуси и Японии составляет около 8%. Таким образом, показатели по экологическим ЦУР в России еще далеки от целевых. Наиболее значимыми из экологических проблем, на наш взгляд, являются загрязнение атмосферного воздуха, ухудшение качества водных ресурсов, деградация лесных экосистем и экологические риски, связанные с транспортировкой топлива. Так, согласно исследованиям, в крупных промышленных центрах, таких как Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Краснодар, Омск, Волгоград уровень загрязнения воздуха регулярно превышает ПДК для твердых частиц, двуокиси серы, оксидов азота, окиси углеро-

да. Основными источниками загрязнения выступают промышленные предприятия, угольные электростанции и автомобильный транспорт. Особую опасность представляют выбросы от сжигания попутного нефтяного газа, объемы которого в России составляют четверть от мирового [6]. Не менее остро стоит вопрос качества водных ресурсов. В 2023 г. Росгидромет зафиксировал 62%-й рост случаев экстремального загрязнения пресных вод по сравнению с предыдущим годом, в то время как случаев умеренного загрязнения стало на 2% меньше [4]. В Москве-реке концентрация тяжелых металлов и нефтепродуктов местами превышает нормы в 40 раз [6]. В Черном море интенсивное цветение воды и рост содержания сероводорода из-за сбросов отходов угрожают экосистеме водоема, что может привести к гибели моря в ближайшие 50–70 лет [5]. Морские воды загрязняются нефтепродуктами, например, после крушения двух танкеров 15 декабря 2024 г., когда в море попало около 4 тыс. тонн нефти [5, 10]. Особую тревогу вызывает состояние лесных ресурсов России, на долю которой приходится около 20% мировых лесов [8]. Ежегодно страна теряет до 200 млн кубометров леса из-за незаконных вырубок, пожаров и слабого управления. В 2021 г., по данным Рослесхоза, сгорело 18,2 млн га леса [1]. Проблемы связаны с отсутствием эффективного мониторинга, недостаточными мерами по защите лесов, нехваткой квалифицированных специалистов, климатическими изменениями, коррупцией и слабым правовым контролем [7]. Лесовосстановление значительно отстает от вырубок [11].

Россия добилась значительных успехов в реализации отдельных целей устойчивого развития, особенно в социально-экономических областях. Однако экологические вызовы остаются значительными. Для их преодоления необходим комплекс мер – от экологического просвещения и модернизации промышленности до активного перехода к «зеленой» экономике. Реализация ЦУР в России – сложный и многоуровневый процесс, требующий согласованных усилий государства, бизнеса и общества. Дальнейший прогресс возможен при системном подходе, совершенствовании нормативной базы и активном участии граждан.

Литература

1. Билалов И. А., Тараканов Д. А., Малофеев Р. Е. Анализ современного состояния проблемы лесных пожаров в Российской Федерации // Материалы XXI Международной научно-практической конференции «Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2024)». – Уфа : РИЦ УУНиТ, 2024. – 340 с. – С. 93–96.
2. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. – М. : Наука, 1991. – 271 с.
3. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2016 год. Цели устойчивого развития. ООН и Россия / под ред. С.Н. Бобылева, Л.М. Григорьева. – М. : Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2016. – 298 с.
4. Количество экстремальных загрязнений рек и водоемов возросло в полтора раза [Электронный ресурс] // ФинЭкспертиза. – URL: <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2024/kol-ekstr-zagr-rek-vozroslo> (дата обращения 05.04.2025).
5. Кротова М.А., Петерс А.Я., Терещенко Е.Р. Экологические проблемы России и их решение // Общество: политика, экономика, право. – 2014. – №. 1. – С. 117–120.
6. Ляховенко О.И., Чулков Д.И. Основные экологические проблемы российских городов и стратегия их разрешения // Русская политология. – 2017. – №. 3(4). – С. 21–26.
7. Михайлова В. Сколько леса в России. Сохрани Лес [Электронный ресурс]. – URL: <https://forest-save.ru/esg-blog/skolko-lesa-v-rossii> (дата обращения: 15.05.2025)
8. Свежий взгляд. Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 [Электронный ресурс] // Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. – URL: <https://www.fao.org/interactive/forest-resources-assessment/2020/ru> (дата обращения 15.05.2025)
9. Цели устойчивого развития ООН: достижения России. НП «Юнепком» [Электронный ресурс] // Российский национальный комитет содействия Программе ООН по окружающей среде. – URL: <http://www.unepcom.ru/news/news2024/6181-240718sdg.html> (дата обращения:

- 15.05.2025).
10. Шашурин П. Ю. Проблемы и перспективы экологической безопасности в сфере перевозки топлива // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 2. – С. 413–416.
 11. Щербакова А.Н., Плехотникова Г.В. Лесные ресурсы России: состояние и условия развития // Сборник научных статей 6-й Всероссийской национальной научно-практической конференции «Проблемы развития современного общества». – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2021. – С. 146–150.
 12. United Nations General Assembly. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future [Электронный ресурс] : transmitted to the General Assembly as an annex to document A/42/427. – New York: UN, 1987. – URL: <https://digitallibrary.un.org/record/139811>. – Chapter 2: Towards Sustainable Development, paragraph 1.

УДК 550.4

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ПОТОКОВ РАСТВОРЕННОГО УГЛЕРОДА В СЕТИ КАРБОНОВЫХ ПОЛИГОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.А. Сафонова¹, Е.Н. Тихонова², С.С. Шешницан³

*Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
Воронеж, Россия*

¹anastasi.safonova18@gmail.com, ²tichonova-9@mail.ru, ³sheshnitsan@gmail.com

ON THE STUDY OF DISSOLVED CARBON FLOWS IN THE NETWORK OF CARBON POLYGONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.A. Safonova¹, E.N. Tikhonova², S.S. Sheshnitsan³

Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia,

¹anastasi.safonova18@gmail.com, ²tichonova-9@mail.ru, ³sheshnitsan@gmail.com

Abstract. Почвенные воды играют ключевую роль в биогеохимическом цикле углерода, обеспечивая миграцию его мобильных форм – растворенного органического (РОУ) и неорганического (РНУ) углерода. В работе представлены преимущества лизиметрического метода при оценке данных потоков. Анализ выявил ограниченное и фрагментарное применение лизиметров в рамках работы отечественных карбоновых полигонов. Отмечена необходимость включения системного мониторинга РОУ и РНУ в программы полигонов для повышения полноты национального углеродного баланса и обеспечения сопоставимости с международными системами наблюдений.

Введение

Почвенные воды или почвенные растворы выступают связующим звеном между пулами химических элементов в растениях и почве, выполняя важнейшие функции: сорбцию и десорбцию газов, ионов; осаждение, растворение и миграцию элементов и соединений; комплексообразование с органическими и минеральными компонентами. Однако понятие «почвенный раствор» и методы его анализа остаются предметом дискуссий в научном сообществе.

Традиционные методы анализа почвенных вод включают в себя водные вытяжки, вытеснение раствора жидкостью или центрифугирование и применение давления, однако все они имеют существенные ограничения. При проведении водных вытяжек образец почвы длительное время контактирует с дистиллированной водой, что приводит к искусственной переработке состава ионов и диссоциированию более слабых органических кислот, в результате чего полученный раствор зачастую не соответствует естественному почвенному раствору. Метод вытеснения жидкостью или центрифугирования, хотя и менее деструктивен, нарушает естественную структуру почвы при упаковке в колонку, а перемешивание вытесняющей жидкости с почвенным раствором и длительность процедуры порождают артефакты в виде процессов сорбции-десорбции, ионного обмена и локальных изменений pH и Eh по мере движения раствора вниз по колонке. Использование давления, например высокоточного гидростатического вытеснения, также смещает газовое равновесие в почве, что приводит к изменению pH, Eh и состава карбонатного пула, и, как следствие, искажению данных о реальном составе почвенного раствора.

В связи с этим единственным надежным способом получения данных о потоках влаги и миграции растворенного углерода *in situ* остается лизиметрический метод [1].

Исторически лизиметры применяли еще в конце XIX века: первые отечественные установки для исследования почвенных растворов соорудил П. А. Костычев на Шатиловской опытной станции в 1893 г. В мировой практике лизиметры используются примерно с середины XVIII века, но лишь в последние десятилетия получили развитие координированные сети, например, платформа Lysimeter Research Group в Европе. Тем не менее в России метод остается

редким, что отчетливо видно на примере деятельности официальных карбоновых полигонов [2].

Поэтому целью работы стал обзор современных лизиметрических подходов и анализ степени их включенности в инфраструктуру российских карбоновых полигонов, с акцентом на необходимость системного учета РОУ и РНУ почвенных вод в национальной программе углеродного мониторинга.

Материалы и методы

Проведен обзор научной литературы, включая публикации, входящие в состав РИНЦ и ВАК, проанализированы данные о деятельности девятнадцати карбоновых полигонов России.

Результаты и их обсуждение

Анализ деятельности 19 официальных карбоновых полигонов России выявил выраженную диспропорцию между декларируемыми задачами комплексного мониторинга углеродного баланса экосистем и фактическим применением методов, позволяющих количественно оценить ключевой путь миграции углерода – через почвенные воды.

Лишь 2 карбоновых полигона – FOR&ST CARBON в Воронежской области и Чашниково в Московской области ведут регулярный отбор почвенных вод и проводят оценку углерода. На остальных полигонах лизиметрическое оборудование либо отсутствует, либо используется нерегулярно и вне рамок углеродного учета. Для наглядности результаты сведены в таблицу:

Таблица 1. Деятельность карбоновых полигонов РФ [3]

Полигон	Регион, природная зона и ландшафт	Направления мониторинга
FOR&ST CARBON (Воронеж)	Воронежская обл., среднерусская лесостепь (Оско-Донская низменность) – сосново-дубовые леса, опушки, пойменные урочища.	Измерение потоков CO ₂ и CH ₄ (э/к турбулентностей), учет углерода в почвах, растительности и биомассе, осадках и почвенных водах.
«Евразийский» (Башкортостан)	Республика Башкортостан, лесостепь (ковыльная степь, залежи, лиственничники) и окружающие леса и болота.	Потоки CO ₂ и CH ₄ (в т. ч. на болотном комплексе), мониторинг уровня грунтовых вод и углеродного баланса экосистем.
«Мухрино» (ХМАО)	Ханты-Мансийский АО, западная тайга (смешанные елово-пихтовые леса с вязгальными и сфагновыми болотами, озера).	Потоки CO ₂ и CH ₄ (болото) по координатам, водно-энергетический баланс экосистемы (ЭДК-измерения).
«Семь Лиственниц» (ЯНАО)	Ямало-Ненецкий АО, лесотундра (лиственничные леса на тундровых равнинах, озерные экосистемы).	Непрерывный мониторинг потока CO ₂ (градиентный метод на башне около 200 м), оценка запасов углерода в почвах, листве, надземной биомассе.
BioCarbon (Новосибирск)	Новосибирская обл., равнинная лесостепь, предгорная подтайга (осиновые, елово-пихтовые леса).	Потоки CO ₂ и CH ₄ (лесостепные экосистемы), оценка биомассы и углеродного баланса почвы и растительности (мониторинг углерода в ЛПК).
«Покровский» (МО/Калуга/Киров)	Московская, Калужская, Кировская обл., природно-антропогенный ландшафт (сельхозугодья, заброшенные поля, лесополосы).	Мониторинг потоков парниковых газов (CO ₂ , CH ₄) на агро- и агролесных участках, тестирование технологий покровных культур и снижения эмиссий.
Цимлянское водо-	Ростовская и Волгоградская обл.,	Изучение качества воды и выбро-

хранилище (Ростов/Волг.)	водохранилище и прибрежная лесостепь.	сов парниковых газов (особенно метана) из водохранилища; гидрологическая динамика.
WAY CARBON (Чечня)	Чеченская Республика, переходные зоны горной тундры – горы, леса, степные пастбища.	Оценка секвестрационного потенциала почв и экосистем; влияние агротехнологий и выпаса на поглощение С; мониторинг биоразнообразия.
«Геленджик» (Краснодар)	Краснодарский край, прибрежный субтропический лес и морская акватория (бережная зона Черного моря).	Изучение углеродного цикла морских и прибрежных экосистем; синхронный мониторинг CO ₂ (суша – море).
«Росзянка» (Калининград)	Калининградская обл., заболоченный низинный массив (Виттигирренский торф), сельхозугодья, побережье Балтийского моря.	Мониторинг потоков CO ₂ и CH ₄ из торфяников; оценка углеродного баланса почв и растительности прибрежных низин; гидрогеохимия.
Ural-Carbon (Свердловск)	Свердловская обл., южная тайга (смешанные елово-пихтовые леса).	Турбулентный мониторинг CO ₂ и CH ₄ в таежных лесах; учет запасов углерода и азота в почвах, древесине и лесной биомассе.
«Чашниково» (МО)	Московская обл., Клинско-Дмитровская гряда – смешанный лес и сельхозугодья (озимые поля).	Разработка низкоуглеродных стратегий; лесовосстановительные технологии; мониторинг потоков CO ₂ при консервации леса; гидромониторинг.
Агро Инжинирия (Самара)	Самарская обл., лесостепь (Степь Предуралья) – возвышенная сельхозравнина с оврагами.	Мониторинг CO ₂ /CH ₄ потоков на пахотах и экспериментальных полях; оценка технологий сохранения углерода в почве и оптимизации сельхозугодий (карбоновые фермы).
Дальневосточный (Приморский)	Приморский край, побережье (лесная терраса бухты Аякс) и морская акватория.	Измерение выбросов и поглощения CO ₂ (атмосфера–море) на наземной террасе и в контролируемой морской бухте (в соответствии с международными стандартами).
Калужский (Калуга)	Калужская обл., лесостепь (сельхозугодья и участки лиственных/хвойных лесов).	Эксперименты по регенеративному земледелию; селекция покровных трав; мониторинг CO ₂ -эмиссии на окультуренных и лесных участках.
Томский (Томск)	Томская обл., южная тайга и пойма Оби (болота, леса, пойменные луга).	Мониторинг потоков CO ₂ и CH ₄ в лесо-болотных экосистемах; учет водных ресурсов и почвенного углерода (гидрология, качество воды).
Тюменский (Тюмень)	Тюменская обл., лесостепь (смешанные леса и пойменные луга); умеренно-континентальный климат.	Мониторинг потоков CO ₂ и CH ₄ в лесных, пойменных и агроландшафтах; гидрогеохимический учет водных ресурсов; оценка миграции питательных веществ и РОУ/РНУ.
Карбон-Сахалин (Сахалин)	Сахалинская обл., прибрежная полоска и островные леса, мор-	Изучение потока CO ₂ «суша–море»; мониторинг РОУ и РНУ в

	ская акватория с умеренным влажным климатом.	прибрежной зоне; оценка углеродного баланса лесных и болотных экосистем острова.
Волга-Карбон (Татарстан)	Республика Татарстан, лесостепь и прибрежные поймы Волги; умеренный континентальный климат.	Мониторинг потоков CO ₂ и CH ₄ в лесных массивах и пойменных лугах; гидрологический учет водоемов Волги; оценка углеродного баланса экосистем пойменных лугов

В сложившейся ситуации довольно ценным представляется опыт западноевропейских стран, где в рамках платформы *Lysimeter Research Group* объединены стандартизированные данные из 20 стран. Данные установки обеспечивают регулярные и сопоставимые оценки потоков РОУ, РНУ и других водорастворимых компонентов. Их интеграция в крупные международные программы мониторинга, такие как ICOS, позволяет учитывать водный компонент наряду с газообменом и биомассой.

В российских условиях, особенно в зоне лесостепи и агроландшафтов, вклад почвенных вод в углеродный цикл может быть значительным. Однако отсутствие регулярного мониторинга делает эти потоки «невидимыми» и ограничивает точность национального углеродного баланса.

Таким образом, результаты обзора демонстрируют критическую нехватку лизиметрических наблюдений в структуре карбоновых полигонов России и подтверждают настоятельную необходимость разработки единых стандартов отбора и анализа РОУ и РНУ. Это обеспечит более полное понимание углеродной динамики и повысит сопоставимость с международными данными.

Заключение

Проведенный обзор убедительно показал, что лизиметрические исследования почвенных вод и потоков растворенного органического и неорганического углерода на российских карбоновых полигонах в настоящее время являются исключением, а не правилом. Систематический мониторинг водного компонента практически отсутствует на подавляющем большинстве полигонов. Это существенно снижает полноту оценки углеродного баланса экосистем и затрудняет интеграцию российских данных в международные исследовательские инициативы. Для повышения точности и сопоставимости национальных углеродных бюджетов первостепенное значение имеет расширение сети лизиметрических наблюдений на карбоновых полигонах, внедрение единых методических стандартов для оценки потоков РОУ и РНУ и интеграция этих результатов в общую систему экологического мониторинга.

Реализация этих мер позволит существенно улучшить понимание биогеохимических процессов в почвенно-водных системах и их роли в глобальном цикле углерода, а также укрепить позиции российской науки в международных исследованиях углеродного баланса.

Литература

1. Попов В.В. Почвенный раствор и методы его изучения // Почвы и окружающая среда. – 2020. – Т. 3, № 1. – e103. – doi: 10.31251/pos.v3i1.106
2. Умарова А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв. – М. : Геос, 2011. – 265 с.
3. Карбоновые полигоны Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <https://carbon-polygons.ru> (дата обращения: 30.05.2025).

УДК 574.21:574.64:57.021

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ИХТИОФАУНЕ ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМОВ АЛТАЯ И ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Н.А. Осипова¹, А.А. Шкригун¹, А.В. Торопов²

¹Томский политехнический университет, Томск, Россия

²Ассоциация патриотического воспитания «Хозяин Своей Земли», Бийск, Россия
osipova@tpu.ru, aas421@tpu.ru, alexeytoropov@gmail.com

MERCURY AND HEAVY METALS CONTENT IN THE ICHTHYOFAUNA OF NATURAL RESERVOIRS OF ALTAI AND ASSESSMENT OF RISK TO HUMAN HEALTH

N.A.Osipova¹, A.A.Shkrigun¹, A.V.Toropov²

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Association of patriotic education " Hozyain Svoei Zemli ", Biysk, Russia
osipova@tpu.ru, aas421@tpu.ru, alexeytoropov@gmail.com

Abstract. В статье содержатся сведения о содержании ртути и тяжелых металлов в органах и тканях рыб водоемов Алтай. Выявлены органы и ткани, накапливающие ртуть в наибольшей степени. Проанализирована степень влияния ледниковых вод гор Республики Алтай и уровень антропогенной нагрузки на содержание ртути и тяжелых металлов.

Введение

Рыбы занимают в биоценозах водных экосистем верхний трофический уровень и обладают ярко выраженной способностью накапливать элементы, в том числе токсичные. Потребляемая в пищу рыба с местных водоемов может послужить угрозой для человека. Поэтому необходимы сведения о геохимии основных промысловых видов рыб – речного окуня и щуки водоемов Алтай. Выявление геохимических особенностей речных рыб, в частности, содержание ртути, представляет важную и своевременную задачу.

Организм рыб репрезентативен для оценки загрязнения по морфофизиологическим и экосистемным параметрам [1, 2]. Экосистемы стремятся к самоочищению с помощью гидродинамических, физико-химических, микробиологических и гидробиологических процессов. Особенно эффективно они справляются с органическими загрязнителями.

Содержание ртути в органах и тканях рыб определяется условиями обитания, химическим составом воды, природными и техногенными факторами [3, 4]. При регулярном употреблении рыбы, содержащей ртуть, могут возникнуть неблагоприятные последствия для здоровья [5].

Материалы и методы

В ходе работы были отобраны четыре партии проб в водоемах Алтайского края, изучены 10 особей. Партия одна отобрана в реке Бия, в г. Бийске, нижней его части. Партия два отобрана в 60 км от города Бийска, в пойме реки Бия, населенный пункт с.Соусканиха. Партия три отобрана в реке Курья, село Клéпиково в Усть-Пристанском районе. Партия четыре отобрана в протоке Малышевская, ниже устья Заломной (Старая Обь). Пробы отобраны рыбаками «Алтайского рыболовного клуба».

Партия 1 (три особи щуки). Река Бия, на 1 км ниже по течению от края жилой застройки города Бийска Алтайского края, на 4 км ниже по течению Бийского речпорта и на 4 км выше по течению «Водосброса» – места сточных вод сбросного канала коммунальных очистных сооружений г.Бийска, Бийской ТЭЦ и основных промышленных предприятий города (водосброс в одном месте).

Партия 2 (окунь). Река Бия, левобережная медленнотекущая протока на 2 км ниже по течению от с. Соусканиха Красногорского района Алтайского края. Протока является местом не-

реста, нагула и зимовки щуки, окуня, плотвы, уклеи, ельца, постоянным местом обитания карася. Промпредприятия отсутствуют, развито сельское хозяйство, в том числе посевы зерновых, заготовка сена, выпас скота. В с. Соусканиха базируется 2 сельхозпредприятия, одно из которых с площадями 800 га полностью на органическом сельском хозяйстве с замкнутым циклом, второе – активно использует агрохимию, площадь их сельхозугодий около 2000 га.

Партия 3 (окунь). Река Курья, в пределах с. Клепиково Усть-Пристанского района Алтайского края. Территория заказника с разрешенным любительским рыболовством и запретом на использование моторных лодок. Курья – медленнотекущая река правобережной поймы р. Оби. Место нереста, нагула и зимовки щуки, окуня, плотвы, постоянное место обитания карася и линя.

Антропогенная нагрузка минимальная и связана с любительским рыболовством.

Из четырех пунктов отбора проб наименьшее влияние ледниковых вод гор Республики Алтай.

Партия 4 (окунь). Протока Старая Обь в устье курьи Заломная (акватория Алтайского края). Протока Старая Обь протекает по территории Шелаболихинского района Алтайского края и Сузунского района Новосибирской области. Течет в западном направлении по заболоченной пойме Оби. Впадает в Обь по левому берегу в 3192 км от ее устья на высоте 115,5 метра над уровнем моря.

Каждую особь очищали от чешуи. Далее извлекали органы, отделяли костную и мышечную ткань и высушивали их до постоянной массы. Далее образцы измельчали и приступали к измерениям.

Количественный анализ образцов органов и тканей отобранных проб проводился атомно-абсорбционным методом (Ртутный анализатор РА-915+ с приставкой ПИРО-915).

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 показано содержание ртути в изученных пробах. Средние содержания ртути в пробах рыбы (мышечная ткань) равны, соответственно: 173 нг/г (р.Бия, нижнее течение); 120 нг/г (протока ниже с. Соусканиха); 163 нг/г (с.Клепиково); 190 нг/г (протока Малышевская). Максимальное содержание (190 нг/г) отмечено в рыбах протоки Малышевская, причина чего пока неясна, так как антропогенная нагрузка в этом районе минимальна. Возможно, это связано с рельефом местности. В горной местности содержание ртути может быть выше, чем в равнинных районах.

Содержание ртути в пробах рыбы второй партии значительно ниже, чем в остальных. Из четырех пунктов отбора проб для левобережной медленнотекущей протоки р.Бии характерно наибольшее влияние ледниковых вод гор Республики Алтай.

Наибольшие концентрации Hg приходятся на мышечную ткань, это может быть связано с наличием серосодержащих аминокислот и белков, способствующих связыванию, а также условиями обитания и формой трофического взаимодействия.

По уменьшению содержания ртути в рыбе (рисунок 2) органы и ткани рыб (как щуки, так и окуня) располагаются в следующем ряду (нг/г): мышцы (160)> кишечник (78)> кости (59)> жабры (42)> молоки (34)> икра (15).

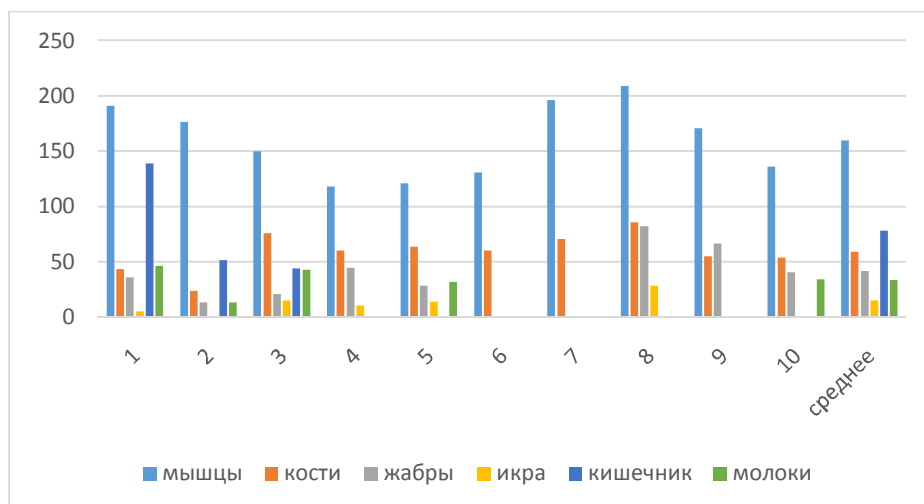


Рис.1. Содержание ртути в органах и тканях рыб в разных точках вылова

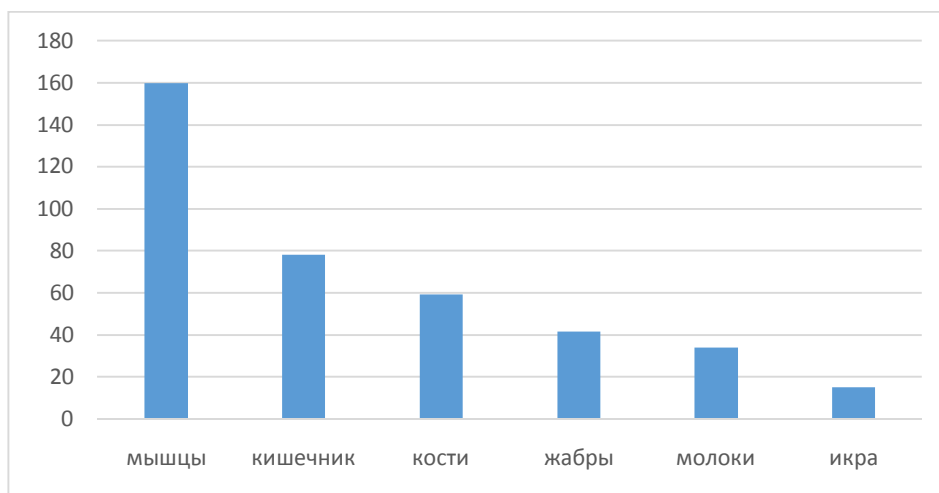


Рис. 2. Среднее содержание ртути в различных органах и тканях рыб

Аминокислоты, содержащиеся в мышечной ткани, благодаря наличию серы способны образовывать прочные связи с ртутью. Именно поэтому содержание ртути в мышечной ткани выше, чем в других органах и тканях. Уменьшение содержания ртути от мышц к икре объясняется особенностями строения рыб. Гонады ввиду их критической значимости для продолжения рода имеют сильную защиту от накопления поллютантов. Другие органы полости тела тоже важны, поэтому занимают срединные позиции между мышцами и икрой

Авторы выражают благодарность ассоциации патриотического воспитания «Хозяин Своей Земли» за помощь в постановке задач исследования и обработке данных, и «Алтайскому рыболовному клубу» за отбор проб.

Литература

1. Попов П.А. К экологии щуки (*esox lucius*) реки Оби // Известия АО РГО. – 2021. – № 1. – С. 76–90.
2. Попов П.А. К экологии речного окуня (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758) из водоемов Сибири // Известия АО РГО. – 2017. – №3. – С. 109–120.
3. Сухенко С.А. Ртуть в водохранилищах: новый аспект антропогенного загрязнения биосферы : аналитический обзор. – Новосибирск. – 1995. – 54 с. – (Серия "Экология", вып. 36).
4. Надвоцкая В.В., Тимофеев В.В. Использование хроматографического анализа для контроля

- загрязненности поверхностных водных объектов / Вестник КамчатГТУ. – 2025. – № 71. – С. 61–71.
5. Dragan F., Lestyan M., Lupu V.V. et al. The threat of mercury poisoning by fish consumption // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13(1). – Art. No. 369.

УДК 628.1.033

**УРАН В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ:
ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНКА РИСКОВ
ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ**

Н.И. Яндола

¹*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия
YandolaNI@ipgg.sbras.ru*

**URANIUM IN THE NATURAL WATERS OF THE NOVOSIBIRSK REGION:
DISTRIBUTION PARAMETERS RISK ASSESSMENT TO PUBLIC HEALTH**

N.I. Yandola

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia
YandolaNI@ipgg.sbras.ru*

Abstract. Высокое содержание урана в подземных водах Новосибирской области имеет природный характер, связанный с гранитоидами Приобского и Барлакского комплексов. Уран обладает высокой токсичностью и хроническое воздействие даже малых его доз может приводить к серьезным заболеваниям. Измеренные концентрации растворенного в воде урана, содержащегося в колонках, колодцах и частных скважинах, изменяются от $3 \cdot 10^{-7}$ до 0,35 мг/дм³. В пределах населенных пунктов пгт. Колывань, с. Новобибеево и СНТ Аэрофлот-1 значения коэффициента HQ достигают 18,5 при безопасной границе, равной единице. При этом, 93% всех исследованных проб на территории исследования являются безопасными. В 7% случаев необходимо незамедлительно принимать управленческие решения в сфере водоснабжения населения.

Введение

Уран – это естественный радиоактивный элемент, широко распространенный в земной коре. В пределах изучаемой территории (рис. 1) (Колывань-Томская складчатая система и прилегающие структуры) высокое содержание урана имеет природный характер, что неоднократно освещалось в работах нашего коллектива [1–4, 7]. Главными источниками урана являются гранитоиды Приобского и Барлакского комплексов.

В окислительных условиях уран выщелачивается из этих пород и приобретает степень окисления 6+. Далее уран в виде уранил-иона (UO_2^{2+}) образует легкорастворимые соединения с анионами, такими как CO_3^{2-} , SO_4^{2-} и Cl^- . В такой форме U образует вторичные карбонаты и сульфаты и способен к миграции на большие расстояния. Этот процесс происходит в присутствии восстановителей, таких как: органическое вещество, H_2S и оксиды железа [6].

Уран обладает как радиологическими, так и химическими токсическими свойствами. Однако при попадании в организм с питьевой водой наибольшую опасность представляет именно его химическая токсичность. При поглощении растворимый уран быстро всасывается и накапливается преимущественно в почках, где вызывает повреждение проксимальных канальцев. Последствиями этого нарушения становятся нарушение фильтрационной функции, повышение β_2 -микроглобулина, а в тяжелых случаях – развитие почечной недостаточности. Хроническое воздействие даже относительно низких доз может приводить к субклиническим нарушениям функции почек. Также, уран концентрируется в костной ткани, где может замещать кальций, способствуя долговременному накоплению и хроническому радиационному воздействию [8].

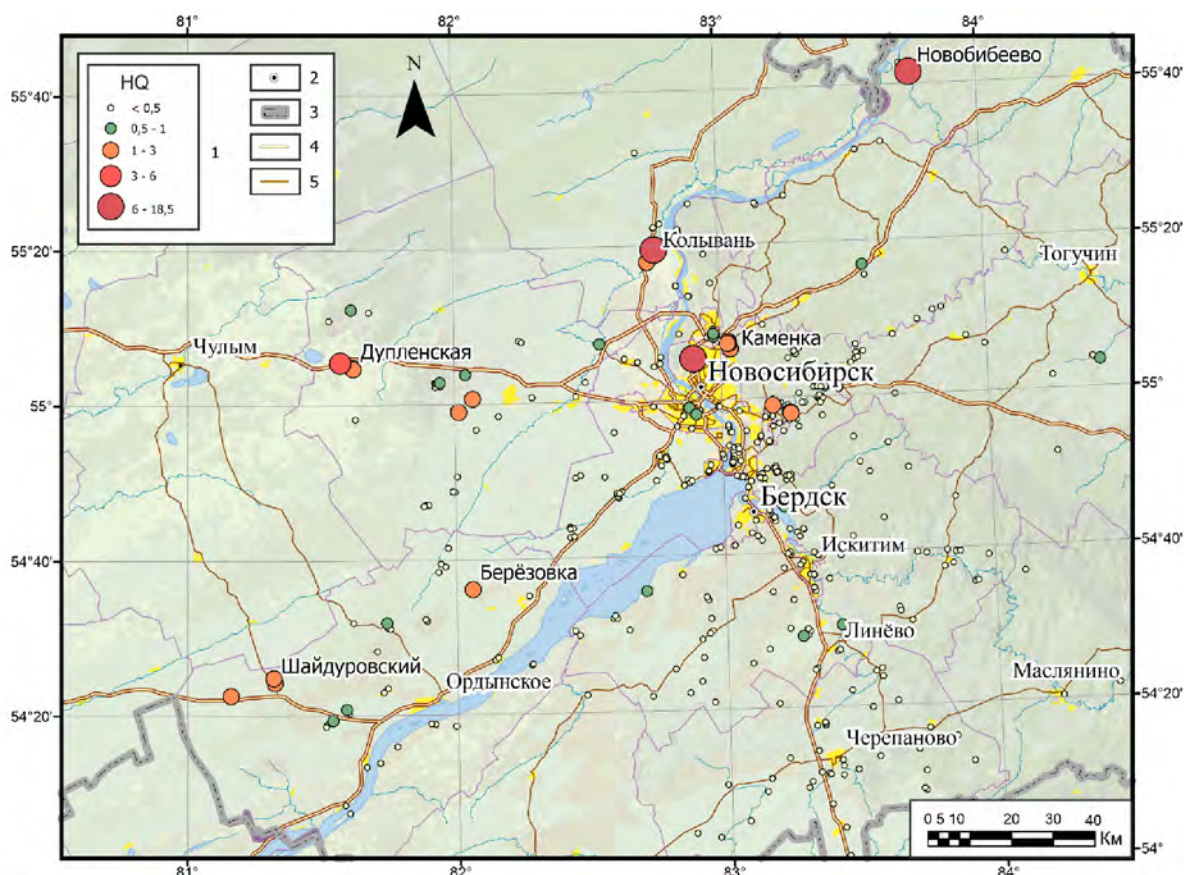


Рис. 1. Оценка опасности подземных вод, использующихся в целях питьевого водоснабжения, по коэффициенту неканцерогенного риска (НҚ).

Условные обозначения: 1 – Значения коэффициента НҚ; 2 – населенные пункты; 3 – граница НСО; 4 – дороги федерального и регионального значения; 5 – дороги областного значения

Материалы и методы

Материалами для настоящего исследования послужили результаты химико-аналитических исследований 603 пробы вод из скважин, колонок и колодцев, которые используются местными жителями в питьевых целях. Пробы были отобраны в ходе экспедиционных работ 2022–2025 гг. Непосредственно на объектах было выполнено определение pH, Eh, температуры, содержания растворенного O₂, с помощью оборудования (мультипараметровый измеритель pH/ОВП/проводимости Hanna HI98195 и оксиметр Hanna HI98198) и полевой гидрогеохимической лаборатории. Последующее лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, проводилось в ПНИЛ гидрогеохимии ИШПР ТПУ.

В ходе исследования была определена оценка риска для здоровья населения согласно Руководству по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [5].

Риск развития неканцерогенных эффектов (НҚ) для мужчин (м) и женщин (ж) производился по формуле:

$$HQ_{As} = LADD / RfD,$$

где RfD – референтная (безопасная) суточная доза. Для урана RfD составляет 0,0003 мг/(кг·сут.).

Среднесуточная доза в течение жизни (LADD) рассчитывалась по формуле:

$$LADD = (C \cdot WI \cdot EF \cdot ED) / (BW \cdot AT \cdot 365),$$

где C – концентрация вещества в воде, мг/дм³; WI – потребление воды, л/день, принимаемое как 2 л/день; EF – частота воздействия, дней/год, принимаемая как 350 дней в год; ED – про-

должительность воздействия, лет, принимая как 30 лет; BW – масса тела, кг, принимаемая как 70 кг для мужчин и 58 кг для женщин; AT – период усреднения экспозиции, принимаемый за 30 лет; 365 – число дней в году.

Результаты и их обсуждение

Измеренные концентрации растворенного в воде урана, содержащегося в изученных объектах, изменяются от $3 \cdot 10^{-7}$ до $0,35 \text{ мг/дм}^3$. Максимальное содержание урана в воде ($>0,1 \text{ мг/дм}^3$) ограничено территорией распространения гранитоидов Приобского комплекса и фиксируется в пгт. Колывань, с. Новобибеево и СНТ Аэрофлот-1. Жители этих населенных пунктов подвержены наибольшему риску развития неонкологических заболеваний почек, связанных с употреблением питьевой воды, содержащей растворимые соединения урана. Здесь значения коэффициента HQ изменяются в значительных пределах и достигают 18,5 при безопасной границе, равной единице. При этом, 93% всех исследованных проб на территории исследования являются безопасными и не представляют серьезной угрозы для здоровья населения.

Заключение

Растворенный в воде уран представляет значительную опасность для здоровья человека преимущественно из-за его нефротоксических свойств. Эпидемиологические исследования показывают, что даже при концентрациях урана в питьевой воде ниже установленных нормативов могут наблюдаться нарушения работы почек. На территории Колывань-Томской складчатой системы жители населенных пунктов, расположенных в пределах распространения гранитоидных комплексов, особенно подвержены угрозе развития заболеваний, связанных с ураном. Полученные данные говорят о необходимости немедленного принятия управленческих решений в сфере водоснабжения населения уязвимых территорий.

Полевые работы в левобережной части реки Обь и оценка рисков выполнены при финансовой поддержке Проекта № 25-17-20024 Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области.

Литература

1. Деркачев, А.С. Особенности распределения значений $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в природных водах Обь-Зайсанской складчатой области // Науки о земле. Современное состояние : материалы VII Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции, Новосибирск, 02–08 августа 2024 года. – Новосибирск : Новосибирский национальный исследовательский государственный университет. – 2024. – С. 119–121.
2. Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Вакуленко Л.Г. и др. Радиоактивность водовмещающих пород Обь-Зайсанской складчатой области // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2024. – № 1(57). – С. 110–120.
3. Новиков Д.А., Максимова А.А., Сухорукова А.Ф. и др. Распределение РЗЭ и U в системе вода – порода на примере Скалинского проявления радоновых вод // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2024. – № 3(59). – С. 141–151.
4. Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Черных А.В. Распределение урана в системе вода-горная порода в пределах Обь-Зайсанской складчатой области // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28, № 12. – С. 34–39.
5. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.
6. Cowart J.B., Osmon J.K. The relationship of uranium isotopes to oxidation/reduction in the Edwards carbonate aquifer of Texas // Earth Planet. Sci. Netherlands. – 1980. – Vol. 48(2). – P. 277–283.
7. Novikov D.A., Dultsev F.F., Pyryaev A.N. et al. Natural radionuclides and geochemical features of

- Siberian waters: the case of the Novobibeyevo hydro-radon occurrence // *Applied Radiation and Isotopes*. – 2025. – Vol. 223. – Art. No. 111852.
8. Zhang L., Chu J., Xia B. et al. Health effects of particulate uranium exposure // *Toxics*. – 2022. – Vol. 10(10). – Art. No. 575.

Секция 2

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОХИМИИ
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА**

УДК 550.47

СТРУКТУРНАЯ УГЛЕХИМИЯ. ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ НОВОГО НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ ИЗУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ СИНГЕНЕТИЧЕСКИХ КАУСТОБИОЛИТОВ

В.П. Иванов

*Томский политехнический университет, Томск, Россия
ivp2005@mail.ru*

STRUCTURAL COAL CHEMISTRY. MAIN ASPECTS OF A NEW SCIENTIFIC AND PRACTICAL DIRECTION OF STUDYING THE MOLECULAR STRUCTURE OF SYNGENETIC CAUSTOBIOLYTES

V.P. Ivanov

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia ivp2005@mail.ru

Аннотация Научно-практическое направление «Структурная углехимия» создано для изучения сингенетических каустобиолитов (СКБ) – горных пород богатых органическим веществом, опирается на существующие гипотезы и модели строения на атомарно-молекулярном и надмолекулярном уровне и в рамках его разработана методология СКАУФВ (структурно-кластерный анализ углефицированных веществ). Структура СКБ представлена углефицированными и углеродистыми веществами, представляющие органо-минеральные или минерально-органические композиции, в виде самоорганизации “полимер–минерал” и “кластер–кристалл”. Изучаются они по структурообразующим элементам (С, N, H, O) и их связями с металлами в виде металлоорганических соединений. В интерпретации строения используются конструкционные связи химических элементов: функциональные, формообразующие и контактные, которые позиционируются формами связи энергий в ядре, атоме, молекуле, кластере и агрегате.

История возникновения направления и предпосылки его создания. Угольные вещества в стратосфере встречаются во всех основных типах осадочных комплексов. Они находятся в разных формах концентрации от рассеянного (менее 10% от общей массы осадка) и умеренно концентрированного. Чем выше степень концентрации, тем сложнее петрографическая структура угольного вещества и выше уровень его организации [8]. Различие сингенетических каустобиолитов (СКБ) обусловлено продуктами преобразования растительного материала под действием фоссилизации: мумификации, обугливания, биоминерализации, и гумификации в виде оторфенения (гелификации и фюзенизации) остатков высших растений в торф, а низших растений за счет гнилостного брожения остатков в сапрпель. При литификации торфа происходит углефикация, а сапрпели – сапрпелизация. Максимумы развития ОВ сапрпелевого типа совпадают с наиболее интенсивными этапами сланценакопления, а минимумы отвечают главным эпохам угленакопления [1].

В связи с этим, СКБ представляют собой два вида углефикации-сапрпелизации органического исходного материала: углефицированные (УФВ) и углеродистые (УВ) вещества, которые в осадочных отложениях концентрируются либо угольными слоями и пластами, либо слоями и пластами органических (горючих и негорючих) сланцев. Кроме этого, в них либо концентрируются металлы (металлоносные угли), либо их органическая составляющая становится компонентом рудогенеза (металлоносные черносланцевые отложения).

Основные гипотезы. На современном этапе углехимической науки структура углей на молекулярном уровне представляется в виде матрицы, которая состоит подвижной и неподвижной фаз организации связей химических элементов (ХЭ). Среди предложенных структурных моделей углей выделяются эмпирическая, фазовая, пространственная. Эмпирическая модель структуры (автор Скляр М.Г.) представляется элементным составом углей в виде формулы, например витринит газового угля имеет формулу $C_{315}H_{255}S_{11}N_{6}O_{25}$, с молекулярной мас-

сой – 5371. Фазовая модель структуры (создана под руководством Саранчу-ка В.И.) отражает стадийность превращения надмолекулярной организации углей в соответствии стадиям углефикации: длиннопламенная и газовая – кристаллоподобные слои; газово-жирная – глобулы; жирная и коксовая – глобулярно-сфероидный переход; сфероиды – отощенно-спекающаяся и тощая; фибриллы – антрациты. Данная модель больше отражает степень агрегации молекулярных соединений и в этом есть важное открытие авторов. Пространственная модель структуры (авторы Камнева А.И., Платонов В.В.) отображает фрагменты углеродного скелета ОМУ в виде структурной изомерии химического строения органических соединений в виде ароматических, гидроароматических, гетероциклических и алифатических фрагментов и функциональных групп. Остальные модели носят обобщенный гипотетический характер построения на данных углехимического анализа. Автором публикации предложено рассматривать угольное вещество как композиционную химическую структуру, состоящую из трех мацеральных групп: липтинита, витринита и инертинита, с структурной характеристикой, которая складывается: 1) структурной изометрии углеродного скелета; 2) положения кратной связи; 3) положения функциональных групп; 4) класса органических соединений, их валентности ХЭ и уровня агрегации.

Области базовых знаний. С появлением большого числа спектральных методов и приборов во всем известном науке диапазоне электромагнитного спектра изучение веществ (органических и неорганических) на атомарно-молекулярном уровне привело к появлению базовых знаний в области химии: структурной, кластерной, супрамолекулярной, металлоорганической, элементоорганической и квантовой.

Теория построения материи. В современной физике материя, область физической химии, рассматривается не только как вещество, но как виды излучений или совокупность различных фундаментальных частиц, учитывая законы ее движения и неразрывную связь между ее строением и движением. Здесь важным объектом наблюдения становятся свойства связей на разных уровнях организации материи, а световой, нейронный, (нейтронный), функциональный и химический уровни, на которых происходит образование физической материи, зарождение элементов и их доактуализация и актуализация. Существуют уровни проявления связей: астрофизический, элементарных частиц, ядерный, атомный, молекулярный и надмолекулярный. Уже на уровне элементарных частиц (квантовая энергия связи) возникают продукты размером с кластер.

Различия физических и химических понятий связи элементов. В химии существуют виды связей: валентные, деформационные, ионные, водородные, металлические, ковалентные и силы Ван-дер-Ваальса. Их использование не позволяет раскрыть физическую организацию материи как сложной комбинации ХЭ. В частности, это касается металлоорганических соединений, т.к. значимость видов связей химических элементов, атомов и молекул в пространственной изометрии МОС значительно возрастает и в значительной мере обусловлена филогенией растительных остатков и видом металла. Теория колебаний и волн для изучения когерентных образований в диссипативных неравновесных средах, состоящих из диссипативных структур и автоволн, естественная форма самоорганизации с наличием концентрированных волн в автокаталитических реакциях, отражающихся пространственно-временными изменениями, например, медленные окислительно-восстановительные реакции в отложениях горных пород.

Особенности структурного строения СКБ. Если рассматривать СКБ в виде ИК спектральной характеристики УВ и УФВ как систему композиционной организации, состоящих на микроуровне из двух сложных подсистем “полимер–минерал”, на молекулярном уровне “кластер–кристалл” и основной подсистемы колебаний атомов в молекулах и между молекулами, то нужно другое описание для выделения основных связей в сложных системах и подсистемах.

Физическая суть методологии СКАУФВ. В основе ИК спектральная характеристика диф-

фузного отражения, получаемая с помощью Фурье-преобразователя в диапазоне полос 7500–350 см⁻¹ и приставки (DRIFTS) для порошкообразных образцов. ИК спектр обрабатывается ИТ-программой ASPECT, а СКАУФВ включает комплекс анализов: структурно-групповой (СГА), структурно-кластерный анализ органического вещества (СКАОВ), анализ металлоорганических соединений (СКАМОС) и анализ количества связей между элементами С, N, O, H. Существует расчет структурно-генетических показателей (СГП) [2], баланса связей в ОВ по структурообразующим элементам (С, N, H, O) – функциональным структурным единицам (ФСЕ), и количество их связей с металлами в виде МОС. Проводится математическая обработка с результатами других спектральных данных, например ИСП-МС анализа и все это увязывается с результатами углепетрографических и углехимических методов исследований и дает возможность изучать концентрацию и композицию угольного вещества на атомарно-молекулярном и надмолекулярном уровне.

Основные понятия конструктивных связей. Для раскрытия самоорганизации композиций из органических и неорганических веществ в виде систем “полимер–минерал” и “кластер–кристалл” на атомарно-молекулярном и надмолекулярном уровне применяются конструкционные связи: *функциональные, формообразующие и контактные*, которые опираются на фундаментальную дисциплину – физическую химию. В этом случае деление форм связей проводится по типам энергий ядра, атома, молекулы и агрегата.

Функциональные связи это энергии связи, возникающие внутри ядра, и они носят ядерный характер и обладают разным механизмом потерь массы – потери энергии (энергии связи) на уровне внутренних энергий ядра атома и внешних энергий ядра внутри атома. Эти свойства формируются в доактуализационный период образования химических элементов. В актуализационный период образования химических элементов у них появляется способность в виде атомов соединяться в молекулы с возникновением химизма (преобразование) и такие связи будут *формообразующими связями*. На надмолекулярном уровне также возникают связи атомов с молекулами и молекул с молекулами, поэтому возникает контакт между простыми формами организации в виде кластеров. Поэтому признаку выделяются *контактные связи*, и с их помощью образуется кластерная материя – композиционная материя твердого вещества [1].

Применение новой методологии. Апробация методологии проводилась в разных аспектах изучения углефицированных углеродистых веществ, а также определения в них форм нахождения микроэлементов и их форм связей с органическими лигандами. Работы выполнялись за счет грантового финансирования научных исследований и хозяйственных работ. Основные результаты опубликованы в статьях [2–5].

Литература

1. Иванов В.П., Тимкин Т.В., Пахтаева М.Г. Структурная углехимия как научно-практическое направление изучения сингенетических каустобиолитов (обзор) // Химия твердого топлива. – 2025. – № 2. – С. 21–31.
2. Иванов В. П. и др. Возможности инфракрасной спектроскопии диффузного отражения для изучения органических веществ каустобиолитов // Кокс и химия. – 2023. – № 5. – С 33–46.
3. Иванов В.П., Тимкин Т.В., Болдина А.Д. и др. Особенности определения металлоорганических соединений в углеродистых веществах черносланцевых отложений с применением ИК-спектроскопии диффузного отражения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 2. – С. 141–156.
4. Иванов В.П., Рычкова И.В. Палеотологическая и спектрометрическая характеристика фитолейм средне-позднеюрских растений юга-востока Западной Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2021. – Т. 29, № 6. – С. 84–95.
5. Arbuzov S.I., Spears D.A., Ilenok S.S. et al. Modes of occurrence of germanium and tungsten in the Spetsugli germanium ore field, Pavlovka brown coal deposit, Russian Far East // Ore Geology Reviews. – 2021. – Vol. 132. – Art. No. 103986.

УДК 556.114.7

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ

Н.А. Мухортина

Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,

Томск, Россия

volkovana@ipgg.sbras.ru

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN NATURAL OBJECTS OF NORTHERN AREAS

N.A. Mukhortina

Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, Tomsk, Russia

volkovana@ipgg.sbras.ru

Abstract: В результате исследования методом высокоэффективной жидкостной хроматографии было идентифицировано 13 полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в природных объектах северных районов. Суммарное содержание в поверхностной воде варьируется от 0,15 до 0,37 мкг/л для Красноярского края и от 0,27 мкг/л до 1,10 мкг/л для ЯНАО, в донных отложениях концентрация ПАУ составляет 1,50 до 19,44 мкг/г. Среди низкомолекулярных ПАУ преобладают такие соединения, как нафталин, флуорен и фенантрен, среди высокомолекулярных – флуорантен, источник происхождения которого имеет пиролитический характер. Рассчитанный коэффициент опасности показал, что в образцах Красноярского края данный показатель не высок, по сравнению с объектами ЯНАО.

Введение

Водные объекты (воды, донные отложения и прибрежные почвы) в наибольшей степени подвержены воздействию предприятий нефтяной отрасли. Негативное воздействие оказывается не только в результате аварийных ситуаций и утечек органических веществ, но и при обычной эксплуатации промышленных объектов на всех стадиях освоения, начиная от строительства и заканчивая использованием углеводородного сырья [4].

В настоящее время для оценки состояния водных объектов используются такие показатели, как pH, Eh среды, ионный состав, ХПК, БПК₅, нефтепродуктов, фенолов, тяжелых металлов и бенз(а)пирена [8]. Для перечисленных показателей утверждены предельно-допустимые концентрации, существуют регламенты и нормативные документы. При этом не учитываются индивидуальные органические соединения, а именно группа полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), проявляющих канцерогенные и мутагенные свойства, характеризующиеся высокой миграционной активностью и устойчивостью к химической и биологической трансформации. В водной среде ПАУ сорбируются взвешенными частицами, далее оседают и накапливаются в донных отложениях, что позволяет использовать их в качестве индикаторов для оценки антропогенного воздействия [5]. Цель данной работы заключалась в том, чтобы провести экологическую оценку состояния водных объектов с разной антропогенной нагрузкой.

Материалы и методы

Для исследования были выбраны территории Красноярского края и Ямало-Ненецкого Автономного Округа (ЯНАО). Специфичность данных объектов заключается в том, что на севере Красноярского края произошел разлив дизельного топлива из разгерметизированного резервуара, а объекты ЯНАО расположены в зоне постоянной промышленной эксплуатации [1, 3]. Качественное и количественное определение ПАУ в образцах поверхностной воды и донных отложений проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), на

хроматографе Shimadzu LC-20 (Shimadzu, Япония) с диодно-матричным и флуоресцентным детектированием, на обращенно-фазовой колонке SupelcoSil LC-PAH с фазой C₁₈ в лаборатории Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.

Результаты и их обсуждение

В образцах поверхностных вод и донных отложений были определены индивидуальные ПАУ: нафталин (Нф), 2-метилнафталин (2-МНф), флуорен (Фл), фенантрен (Ф), антрацен (Ант), флуорантен (Флт), пирен (Пир), бенз(а)антрацен (БаА), хризен (Хр), бенз(б)флуорантен (БвФлт), бенз(к)флуорантен (БкФлт), бенз(а)пирен (БаП), дибенз(а,х)антрацен (ДБА). Суммарное содержание ПАУ в поверхностной воде Красноярского края изменяется от 0,15 до 0,37 мкг/л, уменьшаясь по мере удаленности от разлива, в водах ЯНАО (от 0,27 до 1,10 мкг/л) в среднем почти в 9 раз выше, чем в Красноярском крае, на фоновом участке в 2 раза.

На долю низкомолекулярных ПАУ в объектах Красноярского края приходится около 78 % отн. от всех идентифицированных ПАУ, преобладают нафталин, флуорен и фенантрен, что указывает на преимущественный вклад нефтяной составляющей [3]. При этом в ЯНАО доля низкомолекулярных, значительно меньше и составляет 48 % отн. с преобладанием нафталина и фенантрена (рис. 1Б). Среди высокомолекулярных ПАУ в воде Красноярского края доминирует флуорантен (рис. 1А) среднее содержание составляет 0,026 мкг/л, как и в природных водах ЯНАО (рис. 1Б), которого содержится на порядок выше – 0,22 мкг/л. Источником поступления являются пиролизические процессы (сжигание нефти, дров, угля, автомобильного топлива) [7]. Содержание бенз(а)антраценов, бенз(б)флуорантенов, бенз(к)флуорантенов и дибенз(а,х)антраценов, которые могут указывать на выбросы автотранспорта, во всех образцах Красноярского края варьируют от 0,002 до 0,009 мкг/л, в ЯНАО – от 0,01 до 0,15 мкг/л.

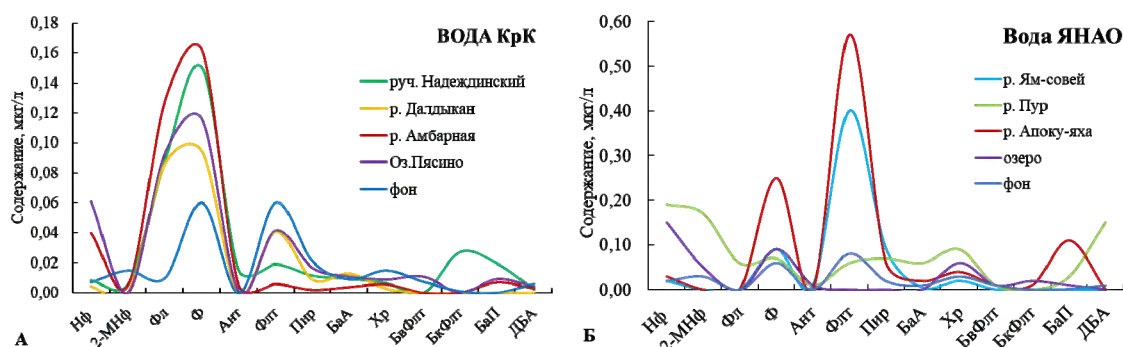


Рис. 1. Распределение полициклических ароматических углеводородов в поверхностной воде: А) Красноярского края и Б) в ЯНАО

Донные отложения активно участвуют в процессе обмена в системе «вода – донные отложения», а также проявляют хорошую сорбционную активность по отношению к органическим веществам, поэтому могут выступать в качестве индикатора для выявления техногенного загрязнения [2]. В донных отложениях с территории ЯНАО концентрация ПАУ варьируется от 1,90 до 19,44 мкг/г, что почти в 4 раза выше, чем в донных отложениях Красноярского края (рис. 2).

В донных отложениях Красноярского края содержание ПАУ, отражающих вклад пирогенных источников поступления, варьирует в пределах от 0,07 до 3,67 мкг/г (рис. 2А). Максимальная концентрация, относительно фоновой участка, установлена в р. Далдыкан, в составе преобладают флуорантен, пирен и хризен. Содержание бенз(а)антрацена, бенз(б)флуорантена, бенз(к)флуорантена и дибенз(а,х)антрацена колеблется в интервале от 0,07 до 0,09 мкг/кг по всей исследованной территории Красноярского края.

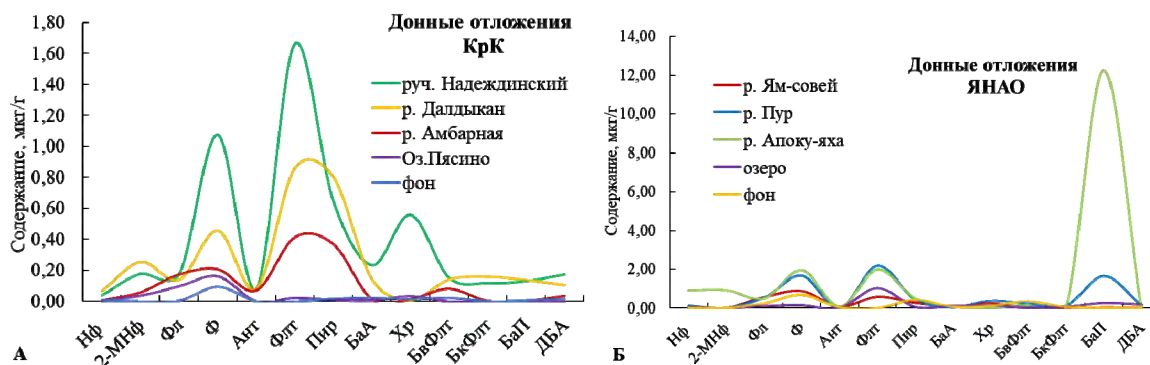


Рис. 2. Распределение полициклических ароматических углеводородов в донных отложениях: А) Красноярского края и Б) в ЯНАО

Низкомолекулярные ПАУ в донных отложениях ЯНАО выявлены в небольших количествах, основная часть приходится на высокомолекулярных ПАУ. Преобладают флуорен и фенантрен (рис. 2Б), максимальное содержание определено в р. Пур, наименьшее наблюдается в озере. Среди высокомолекулярных ПАУ доминируют флуорантен, хризен и бенз(а)пирен, содержание остальных варьируются от 0,06 до 0,19 мкг/г.

Известно, что наиболее канцерогенным веществом является бенз(а)пирен, обладающий свойством биоаккумуляции и высокой устойчивостью к физико-химическим воздействиям [7]. В России установлено значение ПДК только для питьевых вод, которое составляет 0,01 мкг/л, для донных отложений и почв значение ПДК не регламентируются [6]. В исследованных образцах поверхностной воды Красноярского края содержание бенз(а)пирена изменяется по мере удаленности от разлива неравномерно, максимальная концентрация зафиксирована в 2 км от разлива дизельного топлива. Для образцов воды ЯНАО содержание бенз(а)пирена превышает ПДК в реках Апоку-яха и Ям-совей. Содержание бенз(а)пирена в исследуемых донных отложениях, как и в поверхностных водах, распределяются неравномерно, превышение не выявлено.

На основе полученных данных о составе ПАУ изучаемых образцов Красноярского края и ЯНАО рассчитана степень канцерогенности с использованием коэффициентов опасности ПАУ ($K_{ПАУ}$). В образцах Красноярского края данный показатель невысок, по сравнению с объектами ЯНАО, в донных отложениях он уменьшается по мере удаленности от разлива дизельного топлива. Проведенная экологическая оценка свидетельствует о высоком уровне хронического загрязнения в водных объектах ЯНАО и невысокого уровня в водных объектах Красноярского края [3].

Литература

1. Глязнецова Ю.С., Немировская И.А., Флинт М.В. Изучение последствий аварийного разлива дизельного топлива в Норильске // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 113–118.
2. Морозов С.В., Ширапова Г.С., Черняк Е.И. и др. Стойкие органические загрязнители в экосистеме озера Байкал // Химия в интересах устойчивого развития. – 2018. – № 26. – С. 233–239.
3. Мухортина Н.А. Особенности состава и распределения нефтяных компонентов в почвах и водных объектах северных районов Красноярского края и Западной Сибири в связи с источниками загрязнения : дис. ... канд. хим. наук. – Томск, 2024. – 114 с.
4. Немировская И.А. Углеводороды в воде, взвешях, сестоне и донных осадках Белого моря в конце летнего периода // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 1. – С. 68–79.
5. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем. – Ростов-на-Дону : НОК, 2008. – 222 с.

6. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : Санитарные нормы и требования СанПиН 1.2.3685-21. – М. : Госсанэпидемнадзор России, 2021. – 469 с.
7. Хаустов А.П., Редина М.М. Полициклические ароматические углеводороды как геохимические маркеры нефтяного загрязнения окружающей среды // Экспозиция нефти и газ. – 2014. – № 4. – С. 92–96.
8. Чуйкина Д.И., Король И.С., Мухортина Н.А. и др. Полиароматические углеводороды малых водоемов Томского района // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 10. – С. 216–225.

УДК 551.312

**ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ ПРОЦЕССОВ СОВРЕМЕННОГО БИОГЕННОГО
КАРБОНАТООБРАЗОВАНИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕССТОЧНЫХ ОЗЕР
ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ДЛИТЕЛЬНОМ СЕКВЕСТРЕ УГЛЕРОДА**

А.А. Новоселов

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

an.a.novoselov@utmn.ru

**THE POTENTIAL OF CONTEMPORARY BIOGENIC CARBONATE FORMATION
PROCESS WITHIN THE BOTTOM SEDIMENTS OF ENDORHEIC LAKES
IN SOUTHERN WEST SIBERIA FOR LONG-TERM CARBON SEQUESTATION**

A.A. Novoselov

University of Tyumen, Tyumen, Russia

an.a.novoselov@utmn.ru

Abstract. Представлены результаты исследования процессов современного биогенного формирования карбонатов в донных отложениях бессточных озер лесостепной и подтаежной зон юга Западной Сибири. Особое внимание уделено роли альго-бактериальных сообществ в локализации процессов биоминерализации, приводящих к долговременному накоплению углерода в озерных донных отложениях. Показано, что активная биоминерализация способствует стабилизации углерода в форме карбонатов, что потенциально значимо для регионального углеродного цикла лесостепных и подтаежных ландшафтов Западной Сибири.

Введение

Глобальное изменение климата и рост концентрации CO₂ в атмосфере ставят перед наукой задачу поиска эффективных путей секвестрации углерода [5]. Континентальные водоемы, особенно озерные экосистемы, играют ключевую роль в региональных и глобальных циклах углерода [3, 4, 6], однако, роль мелких и средних озер лесостепной и подтаежной зон изучена недостаточно. Целью данного исследования является оценка вклада процессов биогенного карбонатообразования в консервации углерода в донных отложениях бессточных озер юга Западной Сибири. Работа направлена на уточнение и детализацию методологии оценки компонентов цикла углерода для аквальных систем подтаежных и лесостепных ландшафтов Западной Сибири.

Материалы и методы

Исследование проводилось на малых бессточных озерах лесостепной и подтаежной зон юга Западной Сибири. Использовался комплексный подход, включающий методы гидрохимического анализа (определение pH, TDS, основных ионов), рентгеноструктурного анализа (идентификация минерального состава донных отложений), просвечивающая поляризационная и сканирующей электронной микроскопии (изучение морфологии новообразованных минералов).

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования выявили активные процессы современного аутигенного минералообразования в донных отложениях бессточных озер юга Западной Сибири. Наиболее широко представлены карбонатные минералы, включающие как кальциевые (кальцит, арагонит), так и магниевые (гидромагнетит, доломит) разновидности. Особый интерес представляет обнаруженный факт формирования высокомагнезиальных карбонатов, которые в континентальных условиях встречаются относительно редко.

Установлено, что процессы карбонатообразования имеют выраженную биогенную природу и тесно связаны с деятельностью альго-бактериальных сообществ. Микроорганизмы создают благоприятные условия для кристаллизации минералов через несколько механизмов: изменение pH среды в результате фотосинтетической активности, выделение экзополисахаридных пленок, служащих матрицей для роста кристаллов, и аккумуляцию ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} в зонах биопленок. Наибольшая интенсивность минералообразования наблюдается в период активного всплеска активности водорослей, в период эвтрофикации, когда формируются массивные карбонатные корки толщиной до 1 см.

Важным результатом также является обнаружение устойчивой ассоциации карбонатных минералов с органическим веществом непосредственно в донных отложениях. Образующиеся биоминеральные агрегаты демонстрируют значительную устойчивость таких новообразований к растворению, что обеспечивает долговременную консервацию углерода в осадках. Это особенно характерно для магнезиальных карбонатов, которые сохраняются даже при сезонных изменениях гидрохимического режима водоемов, в том числе промерзание и оттаивание прибрежных участков.

Полученные данные свидетельствуют, что процессы современного аутигенного минералообразования в бессточных озерах региона играют важную роль в цикле углерода. Образование и накопление карбонатных минералов, особенно их магнезиальных форм, представляет собой эффективный механизм долговременной секвестрации углерода, что необходимо учитывать при оценке общего углеродного баланса лесостепных и подтаежных ландшафтов Западной Сибири.

Заключение

Бессточные озера юга Западной Сибири являются активными зонами формирования аутигенных карбонатов, включающих как кальциевые, так и магнезиальные минералы. Процессы биоминерализации, связанные с деятельностью альго-бактериальных сообществ, играют важную роль в образовании и стабилизации карбонатов, способствуя долговременной секвестрации углерода. Полученные данные подчеркивают необходимость учета роли процессов современного карбонатообразования в континентальных аквальных системах в региональных и глобальных моделях углеродного цикла и указывают на перспективы дальнейших исследований в этом направлении.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 25-27-00369, <https://rscf.ru/project/25-27-00369>.*

Литература

1. Солотчина Э.П., Складов Е.В., Страховенко В.Д. и др. Минералогия и кристаллохимия карбонатов современных осадков малых озер Приольхонья (Байкальский регион) // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 461, № 5. – С. 579–585.
2. Balland-Bolou-Bi C., Bolou-Bi E.B., Vigier N. et al. Increased Mg release rates and related Mg isotopic signatures during bacteria-phlogopite interactions // Chemical Geology. – 2019. – Vol. 506. – P. 17–28.
3. Downing J.A., Prairie Y.T., Cole J.J. et al. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments // Limnology and Oceanography. – 2006. – Vol. 51(5). – P. 2388–2397.
4. Downing J.A. Global limnology: up-scaling aquatic services and processes to the planet Earth // Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen. – 2009. – Vol. 30. – P. 1149–1166.
5. Houghton R.A. Balancing the global carbon budget // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2007. – Vol. 35. – P. 313–347.
6. Raymond P.A., Hartmann J., Lauerwald R. et al. Global carbon dioxide emissions from inland waters // Nature. – 2013. – Vol. 503. – P. 355–359.

7. Sauze J., Ogee J., Maron P.-A. et al. The interaction of soil phototrophs and fungi with pH and their impact on soil CO₂, CO¹⁸O and OCS exchange // Soil Biology and Biochemistry. – 2017. – Vol. 115. – P. 371–382.

УДК 504.5

**ПОГЛОЩЕНИЕ АНТИБИОТИКОВ ПРИРОДНЫМИ
И ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ
ГЛИНИСТЫМИ МИНЕРАЛАМИ**

Л.В. Переломов¹, М.М. Герцен¹, Т.С. Дудникова², И.В. Хайданов¹, В.И. Сычев¹

¹*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого (Толстовский университет), Тула, Россия
perelomov@rambler.ru*

²*Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванковского ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия
ts-dudnikova@tyto98.ru*

**ADSORPTION OF ANTIBIOTICS BY NATURAL AND CHEMICALLY MODIFIED
CLAY MINERALS**

L.V. Perelomov¹, M.M. Gertsen¹, T.S. Dudnikova², I.V. Khaidanov¹, V.I. Sychev¹

¹*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tolstoy University), Tula, Russia
perelomov@rambler.ru*

²*Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
ts-dudnikova@tyto98.ru*

Аннотация. Изучена адсорбция антибиотиков различных групп (пенициллинов, аминогликозидов, амфениколов, сульфаниламидов, тетрациклинов) двухслойными и трехслойными глинистыми минералами, а также органоглинами, синтезированными с использованием сурфактантов различных типов. Показано, что ключевым фактором поглощения антибиотиков на глинах является гидрофильность молекул органических веществ и кислотность сорбционного раствора, которая в значительной степени определяет ионные свойства антибиотиков. Модификация природных минералов различными типами ПАВ приводит к увеличению поглощения гидрофобных антибиотиков, особенно в случае использования катионного ПАВ. Как модель Ленгмюра, так и модель Фрейндлиха удовлетворительно описывают поглощение антибиотиков природными глинами и органоглинами.

Введение

Антибиотики представляют собой одно из главных открытий человечества, спасшее огромное количество жизней и позволившее значительно улучшить качество жизни людей, существенно изменив лечение большого количества инфекционных заболеваний. Однако, их масштабное использование приводит к загрязнению объектов окружающей среды – поверхностных и подземных вод, донных отложений, почв [4]. Для достижения целей устойчивого развития разработка научных основ технологий и поиск средств, направленных на минимизацию риска загрязнения вод и почв антибиотиками, и рекультивацию уже загрязненных объектов, является актуальной задачей. Слоистая структура, большая удельная поверхность, химическая и механическая стабильность, способность многих минералов к набуханию, наличие реактивных функциональных групп, заряд поверхностей делают глинистые минералы отличными адсорбирующими материалами. Однако, отрицательный заряд и гидрофильный характер поверхности глин ограничивают их использование для поглощения органических веществ с крупными гидрофобными фрагментами, а также анионов. Для решения этих проблем и повышения эффективности минеральных сорбентов проводят их модификацию органическими веществами – синтезируют органоглины [3].

Материалы и методы

В сорбционных экспериментах нами было изучено поглощение антибиотиков различных групп (пенициллинов, аминогликозидов, амфениколов, сульфаниламидов, тетрациклинов) двухслойными (группа каолинита) и трехслойными (группа смектита) глинистыми минера-

лами, а также органоглинами, синтезированными с использованием сурфактантов различных типов. Определение количества адсорбированных антибиотиков проводилось в равновесном растворе с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии [1]. Экспериментальные данные были аппроксимированы уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха. Изучено влияние свойств сорбционного раствора (рН, ионной силы) на процесс адсорбции.

Результаты и их обсуждение

Полученные нами данные по адсорбции антибиотиков различных групп свидетельствуют, что ключевым фактором поглощения антибиотиков на глинах является гидрофильность их молекул. Показателем гидрофильности и гидрофобности может служить коэффициент распределения в системе октанол-вода (K_{ow}). Гидрофильные базальные поверхности глинистых слоев слабо взаимодействуют с гидрофобными молекулами антибиотиков (амоксциллин, $\log K_{ow}=0.87$) и эффективно поглощают гидрофильные молекулы (окситетрациклин, $\log K_{ow}=-0.90$). Так при исходной концентрации антибиотика в растворе 100 мг/л и соотношении твердой и жидкой фазы 1:50 природный бентонит поглощал всего 5-7% амоксициллина. В тоже время в аналогичных условиях окситетрациклин поглощался бентонитом практически полностью. Причем на поглотительные свойства бентонита не влияло его происхождение из разных месторождений. Вермикулит поглощал около 88% от исходного тетрациклина, каолинит – более 97%.

Модификация природного бентонита различными типами поверхностно активных веществ (ПАВ) приводит к увеличению поглощения гидрофобных антибиотиков. Наибольший эффект отмечен для органоглины, синтезированной на основе бентонита и цетримониум хлорида – катионного ПАВ.

Как модель Ленгмюра, так и модель Фрейндлиха, исходя из высоких значений коэффициентов корреляции, удовлетворительно описывают поглощение антибиотиков природными глинами и органоглинами. Тем не менее, для уравнения Ленгмюра в большинстве случаев коэффициенты корреляции несколько выше.

рН оказывает существенное влияние на поглощение антибиотиков глинистыми минералами. При изменении рН базальные поверхности глинистых минералов обычно остаются отрицательно заряженными при всех значениях кислотности, однако при подкислении раствора могут изменяться заряды на структурных ребрах и сколах за счет протонирования групп Al-OH и Si-OH. Это приводит к росту ионных взаимодействий между положительно заряженными краями глины и анионными частицами органических веществ [2]. Однако, основное влияние изменение рН оказывает на протонирование различных функциональных групп молекул антибиотика, в результате чего те могут приобретать гидрофильные или гидрофобные свойства, катионный или анионный характер и изменять свое взаимодействие с поверхностью глинистого минерала. Таким образом, влияние кислотности на поглощение антибиотиков зависит от свойств молекул адсорбата.

Наши данные указывают на небольшое снижение адсорбции антибиотиков при увеличении ионной силы сорбционного раствора, что может происходить как вследствие конкуренции адсорбатов за сорбционные позиции адсорбента с другими катионами, так и вследствие образования комплексных соединений между ионами металлов и антибиотиков, имеющих меньшее химическое сродство к адсорбенту [5].

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 25-17-20037
«Поглощение антибиотиков разных групп природными
и модифицированными глинистыми минералами».*

Литература

1. Государственная фармакопея Российской Федерации 14-го издания 2018 год. Количественное определение амоксициллина тригидрата, ФС.3.1.0113.22.
2. Feuille C., Daniel I., Michot L.J. et al. Adsorption of nucleotides onto Fe-Mg-Al rich swelling clays // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 2013. – Vol. 120. – P. 97–108. – doi: 10.1016/j.gca.2013.06.021.
3. Perelomov L., Mandzhieva S., Minkina T. et al. The synthesis of organoclays based on clay minerals with different structural expansion capacities // *Minerals.* – 2021. – Vol. 11(7). – Art. No. 707. – doi: 10.3390/min11070707.
4. Perelomov L., Sizova O., Gertsen M. et al. Antibiotic resistance in metal-tolerant microorganisms from treatment facilities // *Antibiotics.* – 2023. – Vol. 12. – Art. No. 1678. – doi: 10.3390/antibiotics12121678.
5. Sassman S.A., Lee L.S. Sorption of three tetracyclines by several soils: assessing the role of pH and cation exchange // *Environmental Science and Technology.* – 2005. – Vol. 39(19). – P. 7452–7459.

УДК 504.5

ПОГЛОЩЕНИЕ КАТИОНОВ СВИНЦА ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТА И ПАВ РАЗНЫХ ТИПОВ

Л.В. Переломов, М.М. Герцен

*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, Тула, Россия
perelomov@rambler.ru, mani.gertsen@gmail.com*

ADSORPTION OF LEAD CATIONS BY ORGANOMINERAL SYSTEMS BASED ON BENTONITE AND DIFFERENT TYPES OF SURFACTANTS

L.V. Perelomov, M.M. Gertsen

*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula, Russia
perelomov@rambler.ru, mani.gertsen@gmail.com*

Abstract. Определена сорбционная способность органоминеральных систем на основе бентонита и амфотерных и неионогенных ПАВ по отношению к катионам свинца. Установлено, что по величине A_{∞} разработанные сорбенты образуют ряд: органоглина с кокамидом диэтаноламина (неионогенным ПАВ) < бентонит и органоглина с лаураминооксидом (неионогенным ПАВ) < органоглина с кокоиминодипропионатом натрия (амфотерным ПАВ) < органоглина с кокоамфодиацетатом динатрия (амфотерным ПАВ) < органоглина с алкилполиглюкозидом (неионогенным ПАВ). Константа Ленгмюра изменяется в ряду: бентонит < органоглина с кокамидом диэтаноламина (неионогенным ПАВ) < органоглина с лаураминооксидом (неионогенным ПАВ) < органоглина с алкилполиглюкозидом (неионогенным ПАВ) < органоглина с кокоамфодиацетатом динатрия (амфотерным ПАВ) < органоглина с кокоиминодипропионатом натрия (амфотерным ПАВ).

Введение

Взаимодействие органических веществ, находящихся в почвенном растворе, с глинистыми минералами является сложным процессом, зависящим от химической природы поверхности и структурных параметров минералов, физических и химических свойств органических веществ, условий среды [4]. Органические вещества оказывают значительное влияние на минералы, модифицируя их поверхность за счет образования как химических соединений, так и межмолекулярных агломератов, построенных за счет водородных связей и других дальноточных сил (Ван-дер-Ваальсовых, магнитных), а также коагуляционных контактов. В результате физические и химические свойства продуктов их взаимодействия (органоглин) заметно отличаются от свойств отдельных исходных компонентов. Взаимодействия тяжелых металлов со сложными продуктами межфазного взаимодействия глинистых минералов и почвенных органических веществ неспецифической и специфической природы в настоящее время недостаточно изучены. Целью работы являлось изучение сорбционной способности синтезированных органоминеральных систем на основе бентонита и поверхностно-активных веществ (ПАВ) разных типов по отношению к катионам свинца.

Материалы и методы

Для синтеза органоминеральных систем использовали моноионную натриевую форму бентонита Саригюхского месторождения (BentoGroupMinerals, Москва, Россия) и амфотерные (кокоамфодиацетат динатрия, кокоиминодипропионат натрия) и неионогенные ПАВ (лаураминооксид, кокамид диэтаноламин, алкилполиглюкозид). Интеркалирование сурфактантов проводили согласно методике [2]. Изучение адсорбции Pb^{2+} разработанными органоглинами проводили в статических сорбционных экспериментах. Содержание Pb^{2+} в жидкой фазе определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре Analytik Jena ContrAA® 800 F (Analytik Jena AG, Йена, Германия). Для расчета сорбируемости (удельного содержания катионов свинца в фазе сорбента) ионов Pb^{2+} в системе использовали уравнение:

$$A = \frac{C_0 - C}{m} \times V,$$

где A – количество поглощенных катионов, ммоль/г; C – концентрация элемента в равновесном растворе, ммоль/л; C_0 – аналитическая концентрация металла, ммоль/л; V – объем раствора, л; m – навеска адсорбента, г.

Данные адсорбции ионов Pb^{2+} на поверхности органоглин аппроксимировали в рамках теоретической модели Ленгмюра [5].

Результаты и их обсуждение

Установлено, что коэффициенты корреляции выше 0,98 (R) подтверждают адекватность модели Ленгмюра для описания процесса адсорбции Pb^{2+} на поверхности как исходного бентонита, так и разработанных органоминеральных систем. По значениям A_∞ анализируемые объекты, модифицированные амфотерными ПАВ можно расположить в ряд: бентонит < органоглина с кокоиминодипропионатом натрия < органоглина с кокоамфодиацетатом динатрия. Параметр K_L , отражающий силу взаимодействия между ионом металла и функциональными центрами сорбирующей поверхности, увеличивается в следующем порядке: бентонит < органоглина с кокоамфодиацетатом динатрия < органоглина с кокоиминодипропионатом натрия.

Таблица 1. Параметры адсорбции Pb^{2+} органоминеральными системами на основе бентонита и амфотерных/неионогенных ПАВ

Сорбент	R	A_∞ , ммоль/г	K_L , л/ммоль
Бентонит	0,99	1,02±0,03	0,80±0,04
С участием амфотерных ПАВ			
Органоглина с кокоиминодипропионатом натрия	0,99	1,05±0,07	3,36±0,01
Органоглина с кокоамфодиацетатом динатрия	0,99	1,10±0,04	2,72±0,09
С участием неионогенных ПАВ			
Органоглина с лаураминоксидом	0,98	1,02±0,04	1,94±0,02
Органоглина с кокамидом диэтаноламина	0,98	0,95±0,04	1,43±0,06
Органоглина с алкилполиглюкозидом	0,99	1,21±0,05	2,10±0,05

При использовании неионогенных ПАВ распределение сорбентов по величине A_∞ следующее: органоглина с кокамидом диэтаноламина < бентонит < органоглина с лаураминоксидом < органоглина с алкилполиглюкозидом. Несмотря на то, что расчетное значение максимальной адсорбции на органоминеральном комплексе с кокамидом диэтаноламина ниже, чем у исходного бентонита, его эффективность в условиях относительно низких концентраций металла достаточно высока [2]. Величина K_L в данном случае: бентонит < органоглина с кокамидом диэтаноламина < органоглина с лаураминоксидом < органоглина с алкилполиглюкозидом.

Заключение

Полученные данные по адсорбции катионов Pb^{2+} исходной формой бентонита и синтезированных органоглин из водных растворов можно сравнить с литературными данными существующих аналогов (табл. 2):

Таблица 2. Сравнение предельной адсорбции Pb^{2+} синтезированными органоминеральными

системами с аналогами

Сорбент	A_{∞} , ммоль/г
Бентонит	1,02
Бентонит (Саудовская Аравия)	0,25 [1]
Магнитно-модифицированный цеолит	0,59 [3]
Органоглина с кокоамфодиацетатом динатрия	1,10
Органоглина с алкилполиглюкозидом	1,21

*Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания Минпросвещения
России «Синтез и свойства органоглин для поглощения углеводородов нефти»
(Соглашение №073-00065-25-01 от 18.03.2025 г.).*

Литература

1. Al-Jlil S.A. Kinetic of adsorption of chromium and lead ions on bentonite clay using novel internal parallel model // Research Journal of Environmental Toxicology. – 2015. – Vol. 9(1). – P. 1–16
2. Gertsen M., Perelomov L., Kharkova A. et al. Removal of lead cations by novel organoclays derived from bentonite and amphoteric and nonionic surfactants // Toxics. – 2024. – Vol. 12(10). – Art. No. 713.
3. Nah I.W., Hwang K.-Y., Jeon C. et al. Removal of Pb ion from water by magnetically modified zeolite // Minerals Engineering. – 2006. – Vol. 19(14). – P. 1452–1455.
4. Perelomov L., Mandzhieva S., Minkina T. et al. The synthesis of organoclays based on clay minerals with different structural expansion capacities // Minerals. – 2021. – Vol. 11(7). – Art. No. 707.
5. Rivagli E., Pastorello A., Sturini M. et al. Clay minerals for adsorption of veterinary FQs: Behavior and modeling // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 2(1). – P. 738–744.

УДК 504.5

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В СОВРЕМЕННЫХ НАНОСАХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Е.Н. Перькова, А.А. Селезнев

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия
ekaterina.perkova@urfu.me*

METHODOLOGY FOR THE DETERMINATION OF MICROPLASTICS IN CONTEMPORARY URBAN SEDIMENTS

E.N. Perkova, A.A. Seleznev

*Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia
ekaterina.perkova@urfu.me*

Abstract. В ходе работы был разработан и опробован подход к качественному и количественному определению содержания микропластика в современных пылегрязевых осадках городской территории на примере города Екатеринбург. В работе использовались такие методы инструментального анализа как, визуальная диагностика на оптическом микроскопе, Рамановская спектроскопия, ИК-Фурье спектроскопия, хроматография.

Введение

Под микропластиком понимают частицы полимерных материалов размером меньше 5 мм. Микропластик обнаруживается повсеместно в объектах природной и искусственно созданной среды: в воде, почве, атмосферном воздухе, полярных льдах. Существует необходимость, разработки методик, подходов, научного задела для проведения оценки количества полимерного вещества в окружающей среде, и подходов к его нормированию в объектах окружающей среды.

Материалы и методы

Одним из перспективных геоиндикаторных компонентов для проведения оценки экологического состояния городских территорий являются различные типы современных поверхностных осадков [1].

Объектом опробования являются дорожная пыль и отложения в локальных понижениях микрорельефа. Пробы отбирались в летний сезон. При отборе и подготовке проб к анализу исключалось использование инструментов содержащих полимерные вещества.

Отобранные пробы высушивались при комнатной температуре. Ситовались через сито 3 мм. Фракция меньше 3 мм методом отстаивания в растворе соли NaCl (концентрация 120 г/л) разделялась на легкую фракцию, содержащую частицы полимерных материалов и тяжелую фракцию, минеральную матрицу. Легкая фракция собиралась и сушилась при комнатной температуре в чашках Петри.

Визуальная диагностика полученной фракции проводилась на оптическом микроскопе с увеличением в 4 и 10 раз в ИПЭ УрО РАН. Каждая найденная частица была охарактеризована по морфологическим признакам, измерены ее размеры и сделаны фото частиц.

Из всех найденных частиц было выбрано 10, наиболее характерных по морфологическим признакам микропластику. Для каждой частицы получен Рамановский спектр на Рамановском спектрометре в ЦКП «Геоналитик» ИГГ УрО РАН.

Результаты и их обсуждение

В результате визуальной диагностики было найдено 240 частиц, охарактеризованных как микропластик. Все найденные частицы были распределены по типам: волокна, сферулы, фрагменты, обломки, пленки. Для каждой составлено морфологическое описание, и фотография частицы. Результатом визуальной диагностики является составленный каталог найденных частиц.

Полученные Рамановские спектры частиц были проанализированы с использованием библиотеки спектров [2], [3], [4]. Только одна частица из десяти является полимером, полиэтилентерефталатом (PET), на спектре данной частицы было определено два характерных пика соответствующих PET. На остальных полученных спектрах было найдено только по одному пику.

Заключение

На данный момент подход, заключающийся в визуальной диагностике с последующей Рамановской спектроскопией характерных частиц не пригоден для качественного и количественного определения микропластика в современных палеогрязевых осадках городской территории. Оптическая микроскопия завышает результаты, а Рамановская спектроскопия отдельных частиц, является очень долгим и трудозатратным методом анализа, не позволяющим оценить большое количество проб.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24-17-20036) и Правительства Свердловской области (проект 24-17-20036).

Литература

1. Seleznev A. et al. Mineral phase composition of the surface dirt sediment in an urban environment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 317(1). – Art. No. 012009. – doi: 10.1088/1755-1315/317/1/012009.
2. Araujo C. et al. Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects // Water research. – 2018. – Vol. 142. – P. 426–440. – doi: 10.1016/j.watres.2018.05.060.
3. Mattsson K. et al. Comparison of pre-treatment methods and heavy density liquids to optimize microplastic extraction from natural marine sediments // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12(1). – Art. No.15459. – doi: 10.1038/s41598-022-19623-5.
4. Zhang S. et al. A simple method for the extraction and identification of light density microplastics from soil // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 616. – P. 1056–1065. – doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.213.

УДК 631.4:631.417:636.294 (571.121)

ВЛИЯНИЕ ВЫПАСА ОЛЕНЕЙ НА СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ АРКТИЧЕСКОЙ ТУНДРЫ

А.В. Соромотин¹, Е.А. Филимоненко^{1,2}, Д.В. Московченко^{1,3}, М.А. Упова¹,

¹Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

asoromotin@mail.ru

²Научно-технологический университет «Сириус», Сочи, Россия

efilimonenko@mail.ru

³Тюменский научный центр СО РАН, РФ, Тюмень, Россия

moskovchenko1965@gmail.com

IMPACT OF REINDEER GRAZING ON THE COMPOSITION OF ORGANIC MATTER IN ARCTIC TUNDRA SOILS

A.V. Soromotin¹, E.A. Filimonenko^{1,2}, D.V. Moskovchenko^{1,3}, M.A. Uporova¹

¹University of Tyumen, Tyumen, Russia

asoromotin@mail.ru

²Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia

efilimonenko@mail.ru

³Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of RAS, Tyumen, Russia

moskovchenko1965@gmail.com

Abstract: В работе представлены результаты изучения изменения структуры органического вещества арктической почвы под влиянием выпаса домашних северных оленей. Показано, что повышение интенсивности пастбищной нагрузки приводит к снижению общего органического и растворенного углерода в верхнем почвенном горизонте и к изменению структуры почвенного органического вещества, снижая долю легкоразлагаемого лабильного углерода.

Введение

Оленеводство является наиболее распространенным видом землепользования, важнейшим источником средств к существованию и традиционным образом жизни для коренных народов Арктики. Север Западной Сибири является арктическим регионом с развитым оленеводством, где в течение последних нескольких десятилетий наблюдается значительный рост популяций домашних северных оленей. Интенсивность выпаса влияет на круговорот питательных веществ и углерода (C) в почве Арктики, что является значимым фактором глобального регулирования баланса C и должно учитываться в моделях изменения климата [3]. Воздействие оленей на почву и растительность многофакторно, помимо чрезмерного потребления ими надземной биомассы лишайников, стада оленей вытаптывают и разрушают почвенно-растительный покров, стимулируют дефляцию на легких почвах, добавляют питательные вещества с фекалиями и мочой. Целью данного исследования было изучение изменений в структуре органического вещества почв (ОВП) под влиянием выпаса оленей различной интенсивности.

Материалы и методы

Полевые работы по отбору почв проводились в августе 2024 года на участке зимних касла-ний оленьих стад в районе озера Ярато-1 (полуостров Ямал) в подзоне типичных арктических тундр с обилием водно-болотных угодий, озер, термокарстовых форм рельефа. Почва относится к подбугру оподзоленному, сформированному на слоистых оглееных супесях. В соответствии с классификацией стадии нарушенности пастбищ северных оленей [1] на исследованной территории было выделено 3 участка: участок 1 с практически ненарушенным лишайниковым покровом (стадия I, ПП1). Участок 2 отнесли к умеренно нарушенным, так

как были установлены очаги дефляции, и лишайниковый покров был частично нарушен (II стадия, ПП2). Участок 3 характеризовался обширными очагами дефляции и фрагментарным лишайниковым покровом (стадия III, ПП3).

Для каждой стадии пастбищной нагрузки (ПП1, ПП2 и ПП3) нами были заложены по 5 репликативных субплощадок размером 1×1 м. Чтобы минимизировать влияние пространственной неоднородности, на каждой субплощадке было отобрано 5 случайных почвенных проб с помощью пробоотборника (диаметр керна 2,5 см) с глубины 0–10 см. После удаления слоя мортмассы (остатков растений), части корней и биокорки пробы почвы с каждой субплощадки были смешаны в одну составную пробу. Таким образом, на каждую стадию пастбищной нагрузки было отобрано по 5 составных проб.

Содержание общего С (ТОС) и общего азота (ТН) в почве определяли методом сухого сжигания на анализаторе Vario Pyro Cube Analyzer (Elementar, Германия. Поскольку pH_{H_2O} почв на всех участках не превышала 5,12 измеренное содержание ТОС приравнивалось к содержанию органического С (C_{org}). Содержание растворенного органического С (DOC), растворенного азота (DON) определяли с помощью анализатора TOC-L (Shimadzu, Япония) методом каталитического окисления (NPOC) при 680 °С.

Для изучения термостабильности ОБП использовали термогравиметрический анализ (ТГ). ТГ-анализ 35-75 мг почвы проводили на приборе TGA/DSC 3+ (Mettler Toledo, Швейцария). ОБП фракционировали на три пула с различной термической стабильностью [2]: термически лабильный фракция (сгорает при 150-320 °С), термически стабильный (320-410 °С) и термически стойкий (410-590 °С). Термическую стабильность ОБП оценивали по двум параметрам: температуре, при которой сгорала половина ОБП (Т50) и индексу стабильности (SI), рассчитанному как отношение содержания термически лабильной фракции ОБП к сумме содержаний термически стабильной стойкой фракции ОБП [2]. Определение функциональных групп в составе ОБП проводили на ИК-Фурье спектрометре (IRSpirit Shimadzu).

Результаты и их обсуждение

Анализ содержания C_{org} и общего азота, проведенный методом сухого сжигания показал, что их содержания в почве на участке ПП1 с минимальной нагрузкой значительно превышают содержания на участках ПП2 и ПП3 (таблица). Наибольшее содержание растворенного органического углерода (DOC), растворенного азота (DON) отмечено в почвах участка с минимальной пастбищной нагрузкой (ПП1). Таким образом, в поверхностных горизонтах содержание органического вещества снижается с увеличением степени нарушенности.

Таблица. Содержание растворенного органического углерода (DOC), растворенного органического азота (DON), общего органического углерода (C_{org}), общего азота (TN) и C/N в почвах на участках арктической тундры с различной пастбищной нагрузкой. Разные надстрочные буквы указывают на значимые различия ($p < 0,01$)

Стадия нагрузки	DOC, мг/кг	DON, мг/кг	ТОС, %	TN, %	C/N
ПП1 (n=5)	795,3±83,8 ^a	44,9±4,6 ^a	1,99±0,34 ^a	0,09±0,01 ^a	22,48±0,89 ^a
ПП2 (n=5)	388,9±36,9 ^b	2,6±1,8 ^b	0,62±0,07 ^b	0,03±0,003 ^b	20,60±0,54 ^a
ПП3 (n=5)	311,2±32,4 ^b	16,9±1,4 ^b	0,67±0,09 ^b	0,03±0,005 ^b	23,32±2,51 ^a

Соотношение C/N варьирует от 21 до 23. На изученных участках соотношение C/N изменяется слабо, различия между участками статистически недостоверны. Таким образом, измене-

ние скорости минерализации ОВП под влиянием выпаса незначительное. Низкое содержание азота свидетельствует о накоплении слабогумифицированного органического вещества, следовательно, процессы минерализации органического вещества в обследованных почвах идут медленно. Одной из причиной этого может являться слабая микробиологическая активность почв.

Изучение термической стабильности и структуры ОВП на участках с различной пастбищной нагрузкой, показало, что усиление пастбищной нагрузки приводит к повышению термической стабильности ОВП. Нами отмечено повышение температуры сгорания половины ОВП (T50): с 344,3 °C на ПП1 до 352,0 °C на ПП2 и 360,1 °C на ПП3. Индекс стабильности (SI) с увеличением степени деградации пастбищ снижается: с 2,95 на ПП1 до 1,90 на ПП2 и 1,63 на ПП3.

Анализ ОВП методом ИК Фурье спектроскопии показал снижение интенсивности пиков колебаний гидроксильных (3600–3300 см⁻¹) и метиленовых (2960–2840 см⁻¹) групп на участках с интенсивной пастбищной нагрузкой, что говорит об уменьшении доли лабильного пула углерода в структуре ОВП и коррелирует с результатами термогравиметрического анализа ОВП.

Заключение

Интенсивная пастбищная нагрузка в арктической тундре снижает количество общего и растворенного органического углерода в верхнем почвенном горизонте, а также приводит к изменению структуры почвенного органического вещества, уменьшая долю легкоразлагаемого лабильного углерода.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 24-16-00163.*

Литература

1. Магомедова М.А., Морозова Л.М., Эктова С.Н. и др. Полуостров Ямал: растительный покров. – Тюмень : Сити Принт, 2006. – 360 с.
2. Filimonenko E., Uporova M., Dimitryuk E. et al. Effects of reindeer grazing on thermal stability of organic matter in topsoil in Arctic tundra // CATENA. – 2025. – Vol. 254. – Art. No. 108928. – doi: 10.1016/j.catena.2025.108928.
3. Vaisanen M., Ylanne H., Kaarlejarvi E. et al. Consequences of warming on tundra carbon balance determined by reindeer grazing history // Nat. Clim. Change. – 2014. – Vol. 4. – P. 384–388. – doi: 10.1038/nclimate2147.

УДК 574

**ИНТЕНСИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ГОРОДСКИХ И ПРИРОДНЫХ ПОЧВ
МОСКОВСКОГО РЕГИОНА**

М.В. Сушенцова, А.В.Шарапова

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия
vfhbif2001@yandex.ru*

**INTENSITY OF BIOLOGICAL DESTRUCTION
OF ORGANIC MATTER OF URBAN AND NATURAL SOILS
IN THE MOSCOW REGION**

M.V. Sushentsova¹, A.V.Sharapova¹

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
vfhbif2001@yandex.ru*

Abstract. Проведено исследование интенсивности биологической деструкции органических соединений в природных и антропогенно-измененных дерново-подзолистых почвах карбонового полигона «Чашниково», а также в городских почвах в юго-западной части г. Москвы, находящихся под влиянием автотранспорта. Выявлено, что различия в биологической активности почв исследованных объектов с использованием двух показателей: интенсивность разложения целлюлозы и биологического потребления кислорода обусловлены влиянием химических свойств почв.

Введение

Вклад антропогенной и техногенной деятельности в глобальную эмиссию CO₂ составляет примерно 4–5%. При этом оценка баланса углерода в биосфере остается достаточно неопределенной. Стоит отметить, что в современных условиях примерно 90% первичного органического вещества из отмершей фитомассы, поступающего в почву, минерализуется и вновь возвращается в атмосферу (Körschens, 2018). В условиях города и высокого уровня техногенной нагрузки на экосистемы, на придорожных участках, подвергаемых влиянию транспорта (выхлопные газы, твердые частицы), часто наблюдается увеличение эмиссии CO₂ из почв относительно зеленых парковых зон (Байтурина, Самильянова, 2023).

Цель работы: дать сравнительную оценку интенсивности биологической деструкции органических соединений в городских и природных почвах.

Материалы и методы

Ключевые участки расположены в зоне южной тайги на территории карбонового полигона «Чашниково» и на территории ЮЗАО г. Москвы, испытывающей воздействие транспортной инфраструктуры. Карбоновый полигон «Чашниково» расположен на северо-западе Московской области, в Солнечногорском районе. Зональным типом почв являются дерново-подзолистые, на переувлажненных участках встречаются болотно-подзолистые и торфяные почвы (Стома, Богатырев, Макаров, Монахов, 2017).

Участки исследования в Москве можно разделить на несколько групп:

- 1) участки МКАД (автомагистраль федерального значения) с высокой интенсивностью движения автотранспорта, заложено 8 площадок (по 4 на внешней и внутренней стороне кольцевой автомагистрали);
- 2) Урбанизированный фон: 3 площадки в центральной части Говоровского, Тропаревского и Мещерского лесопарков;
- 3) Участки МГУ (влияние внутригородской дорожной инфраструктуры) – 3 площадки в зоне действия автотранспорта магистральных улиц (пр. Вернадского и Мичуринский,

Университетский проспекты) на придорожных газонах и разделительных полосах, а также на перекрестках;

- 4) Участки, характеризующие состояние внутригородских городских экосистем: в парке возле посольства Китая, на территории университета имени М.В. Ломоносова и в парке 40-летия ВЛКСМ.

Объектом исследования были выбраны поверхностные горизонты (0–10 см) природных (дерново-подзолистых почв) и городских почв (урбодерново-подзолистых почв и конструкторов (систематика по Прокофьева, Герасимова и др., 2014).

Полевые наблюдения за биологическими (ЦА и БПК) и химическими (Сорг, Сгк, Сфк, рНводн, ЕС) показателями почв проводились с июня по октябрь 2023 года.

Целлюлозолитическая способность (ЦА) – способность почвенных микроорганизмов разлагать целлюлозу. ЦА определялась аппликационным методом (Krechetov et al., 2022).

БПК отражает количество кислорода, затраченного на биологическое окисление органических веществ почвенными микроорганизмами (Шарапова, 2013; Krechetov et al., 2022).

Измерение рН выполнено в водных суспензиях (при соотношении почва: дистиллированная вода как 1:5) потенциометрическим методом. Удельная электропроводность (ЕС) в той же пробе кондуктометрическим методами. Содержание органического углерода в почвах определено методом окисления бихроматом калия в серной кислоте по методу Тюрина. Анализ содержания углерода гуминовых и фульвокислот проводился по ускоренному методу Кононовой-Бельчиковой (Кононова, Бельчикова, 1961; Химия почв: аналитические методы исследования..., 2009).

Результаты и их обсуждение

Почвы придорожных участков и разделительных полос автомобильных дорог и магистральных улиц города Москвы отличаются по химическим и биологическим свойствам, что связано с особенностями формирования и конструирования профиля в результате благоустройства придорожных территорий, а также влиянием работ по обслуживанию дорожной инфраструктуры.

Величина рН урбодерново-подзолистых почв и конструкторов варьирует от 5,42 до 8,09, что выше значений, характерных для дерново-подзолистых почв Чашниково. Сравнительно высокие значения электропроводности водных суспензий городских почв (38–170 мкСм/см) по сравнению с почвами Чашниково (48–150 мкСм/см) говорят об увеличении в них содержания солей, что может быть обусловлено использованием противогололедных смесей. Наибольшие значения рН наблюдаются на участках МКАДа.

Содержание органического углерода в городских почвах выше, чем в природных и освоенных дерново-подзолистых почвах и варьирует от 1,95 до 7,04 %.

Наибольшее содержание углерода (Сорг) в почвах природных ландшафтов наблюдается в болотных низинных и торфяно-глеевых почвах. В освоенных дерново-подзолистых почвах под луговой растительностью, содержание Сорг ниже, чем в почвах, сформированных в аналогичных ландшафтных условиях, но под лесными фитоценозами. Такое снижение может быть вызвано минерализацией органического вещества в период сельскохозяйственного использования данных почв.

Городские почвы характеризуются более высокой долей малодоступных для окисления форм углерода в составе негидролизуемого остатка (доля НО 0,51–6,17%, в то время как Сгк варьирует от 0,14 до 1,06%, Сфг – от 0,06 до 2,72%) органических веществ в почве. В природных и освоенных почвах карбонового полигона преобладает доля потенциально подвижных, доступных для окисления органических веществ гумусовых кислот (доля Сгк варьирует от 0,22 до 1,71 %, доля Сфк – от 0,08 до 5,13%, доля НО – от 0,39 до 0,97%) .

Городские почвы характеризуются высокой степенью вариабельности показателей биологической активности, что может быть вызвано различиями их химических и биологических

свойств.

Биологическая деструкция растительных остатков (по показателю ЦА) интенсивнее в природных почвах (21,25 мгЛГОВ/сут), чем в городских почвах (4,54 мгЛГОВ/сут). В дерново-подзолистых почвах природных ландшафтов ЦА под травянистыми экосистемами выше, чем под лесной растительностью. Высокая интенсивность биологической деструкции на всех ключевых участках исследования наблюдается в июле и сентябре.

БПК интенсивнее в городских, чем в природных почвах, в августе это показатель составил 0,87 и 0,029 ммоль O_2 /100 г почвы соответственно, и в сентябре – 0,021 и 0,018 ммоль O_2 /100 г почвы. Биологическая активность почв по показателю БПК в фоновых почвах, а также на участках вблизи МКАД сопоставима, тогда как для обочин и разделительных полос магистральных улиц она снижается, что, по-видимому, обусловлено меньшим содержанием биохимически разлагаемых органических веществ.

Таким образом, проведенное исследование показало, что участки лесных фитоценозов карбонового полигона «Чашниково» обладают более высоким потенциалом к секвестрации углерода, чем городские почвы, для которых преобладают процессы биологической деструкции и минерализации органических соединений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ
№ 19-77-30004-П.*

Литература

1. Байтурина Р.Р., Салимьянова Л.Р. Эмиссия парниковых газов и концентрация мелкодисперсной пыли в городских насаждениях // Оптимизация лесопользования : материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию Почетного работника высшего образования, Заслуженного лесовода России Залесова Сергея Вениаминовича, Екатеринбург, 26–27 октября 2023 года. – Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2023. – С. 267–272.
2. Стома Г.В., Богатырев Л.Г., Макаров М.И. и др. Летняя практика по почвоведению : учебно-методическое пособие для студентов 1 курса факультета почвоведения МГУ. – М.: МГУ, 2017.
3. Ускоренный метод определения состава гумуса минеральных почв (с применением пирофосфата натрия для извлечения из почвы гумусовых веществ) : метод. руководство / сост. М.М. Кононова, Н.П. Бельчикова. – М. : Б. Москва, 1961.
4. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С. и др.. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. – 2014. – № 10. – С. 1155–1164.
5. Кречетов П.П., Дианова Т.М. Химия почв : аналитические методы исследования : учебное пособие / под ред. Н.С. Касимова. – М. : МГУ, 2009. – 147 с.
6. Шарапова А.В. Окислительно-восстановительное состояние почв Среднерусской лесостепи в зоне влияния терриконов угольных шахт : дис. ... канд. геогр. наук. – М., 2013. – 161 с.
7. Коршенс М. Длительные полевые опыты как важная основа для практически значимых исследований глобального цикла углерода // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири : в 5 т. / по ред. В.Г. Сычева, Л. Мюллера. – М. : Изд-во ВНИИ агрохимии, 2018. – С. 234–238.
8. Krechetov P.P., Sharapova A.V., Semenov I.N. et al. Protocol of conjugate evaluation of the biological activity of soils in terms of cellulolytic activity and biological consumption of oxygen // MethodsX. – 2022. – Vol. 9. – Art. No. 101841. – doi: 10.1016/j.mex.2022.101841.

УДК 631.417.2:504.5(470.324)

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ВКЛАД ПОЧВ В УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС
ЛЕСОСТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ: ОЦЕНКА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА И ЭМИССИИ CO₂
В ТИПИЧНОЙ И ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

С.С. Шешнищан, Т.Л. Шешнищан, А.М. Бахтин

*Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия
sheshnitsan@gmail.com, tatianasheshnitsan@gmail.com, bakhtin_2019@inbox.ru*

**BIOGEOCHEMICAL CONTRIBUTION OF SOILS TO THE CARBON BALANCE
OF FOREST-STEPPE ECOSYSTEMS: ASSESSMENT OF CARBON STOCKS AND CO₂
EMISSIONS IN TYPICAL AND SOUTHERN FOREST-STEPPE
OF THE VORONEZH REGION**

S.S. Sheshnitsan, T.L. Sheshnitsan, A.M. Bakhtin

*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
sheshnitsan@gmail.com, tatianasheshnitsan@gmail.com, bakhtin_2019@inbox.ru*

Аннотация: В работе приведены результаты исследований почв на карбоновом полигоне в Воронежской области “FOR&ST CARBON” в четырех типах экосистем лесостепи. Выполнена количественная оценка эмиссии CO₂ и запасов углерода в почвах пашни, лесных полос, сосняков и дубрав. Установлено, что почвы под древесной растительностью обладают более высокими запасами органического углерода и большей микробной активностью по сравнению с агроэкосистемами. Показано, что именно почвенный компонент определяет различия в углеродном балансе между типами экосистем, формируя основу климатически эффективного управления землепользованием в лесостепной зоне.

Введение

Почвы играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле, выступая одновременно крупнейшим наземным хранилищем углерода и источником эмиссии CO₂ [4]. На фоне нарастающего интереса к природно-климатическим решениям по снижению антропогенных выбросов парниковых газов возрастает значимость количественной оценки дыхания почв и их способности к долговременному накоплению углерода [2, 3]. Почвенный покров лесостепной зоны, характеризующийся высоким биогеохимическим потенциалом и одновременно сильной антропогенной трансформацией, представляет собой уникальную модельную систему для оценки потоков и запасов углерода при различных формах землепользования. Ведущими типами экосистем, формирующими пространственно неоднородную ландшафтную структуру лесостепи Воронежской области, выступают пашни, полезащитные лесные полосы, хвойные и лиственные леса. Комплексное сопоставление этих четырех репрезентативных типов экосистем позволяет выявить ключевые закономерности биогеохимической регуляции углеродного цикла и обосновать приоритетные направления устойчивого управления на региональном уровне.

Целью настоящего исследования является количественная оценка эмиссии диоксида углерода из почв и запасов углерода в почвах агроэкосистем (пашня, лесная полоса) и лесных экосистем (дубравы и сосновые боры) на территории южной и типичной лесостепи.

Материалы и методы

Экспериментальная часть была реализована в 2023–2024 годах на базе карбонового полигона в Воронежской области “FOR&ST CARBON”. В качестве моделей для агроэкосистем были изучены черноземы миграционно-мицеллярные под полезащитной лесной полосой (старовозрастное лиственное насаждение) и прилегающей пашней с многолетним сельскохозяйственным использованием (зернопропашные севообороты), а для лесных экосистем – серогу-

мусовые глееватые почвы нагорных дубрав и серогумусовые иллювиально-ожелезненные почвы сосновых боров. Эмиссию CO_2 из почв измеряли методом закрытых камер с использованием портативной системы измерения почвенного газообмена LI-870SC ($\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$) на основе инфракрасного газоанализатора (LI-COR Biosciences Inc., США), температурно-влажностный режим почв фиксировали с помощью автоматических сенсорами, а вклад дыхательных компонентов определяли методом субстрат-индуцированного дыхания. Содержание углерода (%) в пробах почв определяли с использованием элементного анализатора ECS 8024 NC Soil Special (N.C. Technologies SRL, Италия) методом каталитического сжигания пробы в присутствии кислорода при температуре 1000 °C. Каждую пробу анализировали в трех повторностях. Пересчет проводили на сухую массу с учетом влажности.

Результаты и их обсуждение

Результаты показали, что на протяжении вегетационного сезона уровень эмиссии CO_2 из почв лесополос был выше, чем на пашне (в среднем 2,68 против 1,83 мкмоль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$). В лесной полосе зафиксированы более благоприятные условия – высокая влажность, более стабильный температурный режим, наличие постоянного подстильного покрова. Множественный регрессионный анализ подтвердил значимый вклад как температуры, так и влажности в формирование эмиссионного потока. На пашне абиотическая регуляция эмиссии была более тривиальной: она определялась главным образом температурой и ее взаимодействием с влажностью. Существенным фактором, объясняющим более низкие потоки CO_2 с пахотных земель, является регулярное механическое нарушение почвенного покрова, гомогенизация верхнего горизонта и снижение биологической активности. Внесение легкодоступного субстрата (глюкозы) продемонстрировало высокую чувствительность микробных сообществ в почвах лесополос (коэффициент усиления 3,5) по сравнению с пашней (2,4), что указывает на больший потенциал гетеротрофной активности в лесных экосистемах. Анализ долевого участия дыхательных компонентов показал, что на пашне преобладает микробное дыхание (до 100%), тогда как в лесополосах вклад автотрофного (корневого) компонента достигает 41,4%. Это отражает более сложную трофическую организацию черноземных почв, трансформировавшихся под влиянием лесной растительности в условиях длительного отсутствия агротехнического вмешательства.

Уровень эмиссии CO_2 в нагорных дубравах превышал таковой в сосновых борах при сходных климатических условиях. При этом, в дубравах почвы характеризуются более высоким содержанием органического углерода (до 1,83% в верхних горизонтах), более мощному гумусовому горизонту и признаками переувлажнения, способствующими как аккумуляции органики, так и усилению микробной активности. Значения эмиссии в этих условиях достигали 5,80 мкмоль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, тогда как в супесчаных почвах под сосняками – не превышали 4,10 мкмоль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Величина микробного дыхания варьировала: 83,3% в сосновом бору, 49,1% в дубраве, что отражает доминирование сапротрофов в хвойных биогеоценозах и более выраженное участие корневого дыхания в лиственных лесах. Коэффициент микробного усиления в дубравах (2,82) также превышал аналогичный показатель сосняков (1,72), что характеризует потенциальную пластичность микробного сообщества почв лиственных экосистем в ответ на поступление легкоразлагаемой органики.

Оценка запасов углерода в почвах показала, что максимальные значения характерны для наиболее продуктивных лесных экосистем. В дубняках снытьевых, например, запасы углерода в метровом слое почвы достигали 139,3 тС/га, в сосняках молиниевых – 244,0 тС/га (включая углерод подстилки), однако структура пулов существенно различалась: в сосняках преобладали надземная фитомасса и мортмасса (валеж, подстилка), тогда как в дубравах основная доля углерода сосредоточена в почве и древесных остатках. В среднем, лесные почвы под лиственными древостоями содержали до 91,0 тС/га, под хвойными – 57,6 тС/га.

Контраст между лесными и агроэкосистемами особенно ярко проявляется в верхних гори-

зонтах почв. Так, содержание углерода в слое 0–10 см под лесополосами достигает 7,1%, на пашне – около 3,5%. Эти различия сглаживаются лишь на глубине более 80–90 см, что указывает на долговременное воздействие растительности на вертикальную дифференциацию запасов углерода. Углерод органических веществ в почвах демонстрирует резкое убывание с глубиной, тогда как углерод неорганических соединений (карбонаты) возрастает, особенно в агроценозах, где горизонт с высоким содержанием карбонатов залегает ближе к дневной поверхности вследствие деградации почвенного профиля [1].

Таким образом, что лесные полосы и лиственные леса в условиях лесостепи выполняют функцию биогеохимических буферов, эффективно аккумулирующих углерод и стабилизирующих потоки углекислого газа. В отличие от агроэкосистем, они обладают более высоким уровнем микробной активности, устойчивой гидротермической регуляцией и способностью к долгосрочному депонированию углерода. Эти экосистемы должны рассматриваться как приоритетные элементы климатически ориентированных решений в системе управления землепользованием.

Заключение

Результаты исследования убедительно показывают, что почвы являются не только пассивным фоном для биологических процессов, но и активно функционирующим компонентом, формирующим основу углеродного баланса лесостепных экосистем. В четырех сравниваемых типах биогеоценозов – пашне, полезащитных лесных полосах, сосняках и дубравах – почвы отличаются как по абсолютным запасам органического углерода, так и по интенсивности эмиссионных потоков CO₂, отражающих активность углеродного обмена. Сравнительный анализ показал, что именно почвенный компонент определяет структурные различия в углеродном балансе экосистем: при равных климатических условиях вклад почв в общий запас углерода варьирует более чем в два раза. Следовательно, почвы не просто отражают текущее состояние экосистем, но и формируют его биогеохимическую траекторию, выступая регулятором соотношения между источниками и стоками углерода.

В контексте климатически ориентированного управления землепользованием эти результаты подчеркивают важность учета почвенной составляющей в национальной системе мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов. Это открывает новые возможности для увеличения потенциала секвестрации и устойчивого регулирования климатических функций лесостепного ландшафта.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000012-7 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001).

Литература

1. Шешнищан С.С., Голядкина И.В., Шешнищан Т.Л. и др. Поступление углерода и азота с растительным опадом в почвы пригородных лесов г. Воронежа // Почвоведение. – 2025. – № 5. – С. 564–576.
2. Crow S., Sierra C. The climate benefit of sequestration in soils for warming mitigation // Biogeochemistry. – 2022. – Vol. 161. – P. 71–84.
3. Feng X., Dai G., Liu T. et al. Understanding the mechanisms and potential pathways of soil carbon sequestration from the biogeochemistry perspective // Science China Earth Sciences. – 2024. – Vol. 67. – P. 3386–3396.
4. Melkani S., Manirakiza N., Baker S., Bhadha J. Current and Emerging Protocols for Carbon Measurement in Agricultural Soils // EDIS. – 2023. – Vol. 2023. – P. SL508.

Секция 3

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОМ
МОНИТОРИНГЕ АЭРОЗОЛЕЙ**

УДК 546.161:551.578.46(571.16-25)

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРИДОВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ
В ПРОМЫШЛЕННО-СЕЛИТЕБНЫХ РАЙОНАХ (НА ПРИМЕРЕ Г. ТОМСКА)**

А.Д. Андреева, А.И. Беспалова, А.В. Таловская, Н.А. Осипова

Томский политехнический университет, Томск, Россия

ada22@tpu.ru

**DISTRIBUTION OF FLUORIDES IN SNOW COVER
IN INDUSTRIAL-RESIDENTIAL AREAS (CASE STUDY OF TOMSK CITY)**

A.D. Andreeva, A.I. Besspalova, A.V. Talovskaya, N.A. Osipova

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

ada22@tpu.ru

Abstract: В работе приведено изучение содержания фторид-ионов в снеговом покрове промышленно-селитебных районов г. Томска, сравнительный анализ с концентрациями элемента в почвенном покрове и уличной пыли города.

Введение

Фтор – один из важных микроэлементов в работе живых организмов, отвечающий за образование костной ткани, регуляцию работы отдельных систем организма, а также обладающий токсическим действием, так как является галогеном [1, 6].

Антропогенными источниками фтора и его соединений выступают металлургическая и химическая промышленности, производство строительных материалов (стекла, кирпича, эмали, красок и т.д.) и удобрений, а также сельское хозяйство и объекты угольной теплоэнергетической промышленности [7].

В качестве индикатора загрязнения территории используется такая депонирующая среда как снеговой покров, отражающая кратковременный характер загрязнения [5].

В г. Томске в зонах жилой застройки расположены промышленные предприятия и объекты теплоэнергетики, которые выбрасывают твердые вещества, содержащие различный спектр химических элементов.

Целью данной работы является изучение содержания фторидов в снеговом покрове в промышленно-селитебных районах г. Томска.

Материалы и методы

В ходе исследования пробы снегового покрова отбирались в следующих функциональных зонах: 1) зона влияния промышленных объектов (на расстоянии до 2 км в северо-восточном направлении от ГРЭС-2, кирпичных заводов); 2) транспортная и 3) рекреационная. Пробы снегового покрова отбирались и подготавливались согласно стандартной методике [3, 5]. В 2024 г. было отобрано и изучено 12 проб снегового покрова. Кроме того, в зонах влияния рассматриваемых предприятий также были отобраны пробы почвогрунтов и уличной пыли. Определение содержания фторид-ионов проводилось потенциометрическим методом при помощи прибора Анион 4100 с фтор-селективным электродом ЭЛИС-131F и хлорсеребряным электродом сравнения Ag/AgCl в лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» на базе ОГ ИШПР ТПУ. В работе используется термин «фтор» или «фторид-ион», под которым подразумевается водорастворимый фтор и его соединения.

Расчет интенсивности нагрузки элемента на территорию проводится по следующей формуле:

$$HF = \frac{CF \cdot V}{S \cdot n},$$

где H^F – интенсивность нагрузки фторид-ионов в снеготалой воде на территорию, мг/(м²·мес.); C_F – концентрация фтора в талой снеговой воде, мг/дм³; V – общий объем пробы талой снеговой воды, дм³; S – площадь отбора проб снега, м²; n – число месяцев от даты об-

разования устойчивого снежного покрова до даты отбора проб.

Результаты и их обсуждение

Содержание фторид-ионов в снеговом покрове в пробах, отобранных в зоне влияния кирпичных заводов, достигается максимума на расстоянии 0,2 км, далее концентрация постепенно снижается в 3 раза по мере удаления от объектов (рис. 1).

В зоне действия ГРЭС-2 содержание фтора в пробах постепенно увеличивается с пиком на расстоянии 1,6 км и резко снижается на расстоянии 2 км. В пробах транспортной и рекреационной зон существенных отличий нет. Концентрации фтора в талой снеговой воде в изученных пробах не превышают предельно допустимую концентрацию фтора для вод рыбохозяйственного назначения ($0,75 \text{ мг/дм}^3$), установленную Приказом №552 Министерства сельского хозяйства РФ. Общая нагрузка, создаваемая поступлением фтора на территорию, для зоны влияния ГРЭС-2 составляет $0,6 \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{мес.)}$, для зоны влияния кирпичных заводов – $1,2 \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{мес.)}$.

В 2013 году на территории Томской области проводилось аналогичное исследование, в результате которого были получены следующие значения концентрации фтора в снеговом покрове: вблизи кирпичных заводов – $1,24 \text{ мг/дм}^3$, вблизи ГРЭС-2 – $0,11 \text{ мг/дм}^3$ [4]. При сравнении ранних данных с полученными можно сделать вывод, что содержание фторид-ионов вблизи кирпичных заводов снизилось в 3 раза, а вблизи ГРЭС-2 увеличилось в 2 раза. Фоновая концентрация фтора в снеготалой воде была изучена в исследовании 2013 года и находится ниже предела обнаружения метода ($<0,05 \text{ мг/дм}^3$).

В исследовании на территории г. Братска вблизи алюминиевого завода (БрАЗ) средняя концентрация фторид-ионов в снеговом покрове на промежутке от 0,5 до 2 км составляет $21,9 \text{ мг/дм}^3$ [2], что значительно выше концентраций вблизи ГРЭС-2 и кирпичных заводов г. Томска.

В окрестностях города Островец-Свентокшиский (Польша) проводилось исследование содержания элемента в снеговом покрове вблизи сталелитейного завода и теплоэлектростанции [8]. Средняя концентрация фторид-ионов в этом районе составила $0,15 \text{ мг/дм}^3$, что ниже концентраций элемента в снеговом покрове в районе ГРЭС-2 и кирпичных заводов г. Томска в 2,6 и 1,5 раза, соответственно.

На территории г. Томска при сравнении содержания фторид-ионов в талой снеговой воде и в почвенной вытяжке отмечаются закономерности: для кирпичных заводов – концентрация элемента постепенно снижается по мере удаления от объектов, для ГРЭС-2 – концентрация постепенно увеличивается и достигает пика на расстоянии 1,5–1,6 км, а затем резко снижается. Сравнение содержания фторид-ионов в талой снеговой воде и в водной вытяжке из уличной пыли показало, что вблизи ГРЭС-2 на расстоянии 1,5–1,6 км концентрации в пробах талой снеговой воды достигают максимума, а в пробах водной вытяжки из уличной пыли – минимума.

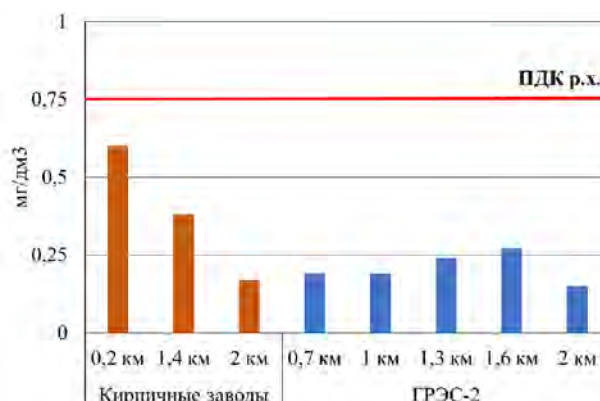


Рис. 1. Содержание фтора в снеготалой воде

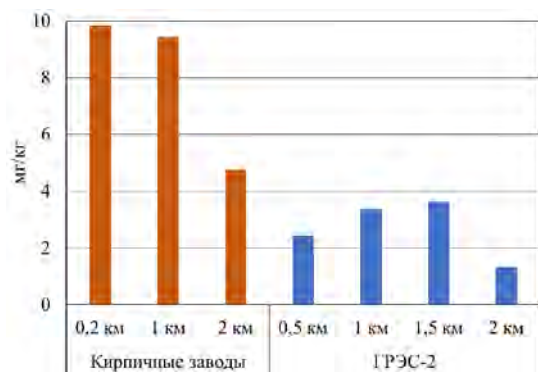


Рис. 2. Содержание фтора в водной вытяжке из почвогрунтов

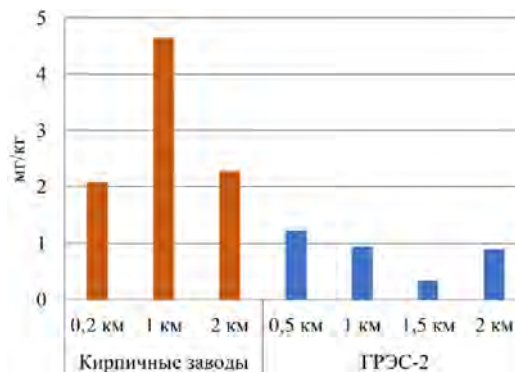


Рис. 3. Содержание фтора в водной вытяжке из уличной пыли

Заключение

Таким образом, выполнено изучение содержания фтора в снеговом покрове, а также проведен сравнительный анализ с другими компонентами среды в промышленно-селитебных районах г. Томска. Наибольшие концентрации фторид-ионов наблюдаются в районах промышленных объектов. Концентрация фторид-ионов в снеговом покрове ниже, чем в водной вытяжке из почвогрунтов и уличной пыли, так как почвенный покров отражает долговременный характер загрязнения, а уличная пыль состоит преимущественно из почвенных частиц и аэрозольных выпадений.

Литература

1. Донских И.В. Влияние фтора и его соединений на здоровье населения (обзор данных литературы) // Acta Biomedica Scientifica. – 2013. – № 3-2 (91). – С. 179–185.
2. Игнатенко О.В., Полтанова А.В., Мещерова Н.А. Загрязнение снежного покрова компонентами выбросов Братского алюминиевого завода // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – 2007. – Т. 1. – С. 98–104.
3. Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е. и др. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. – М.: АПР, 2016. – 276 с.
4. Поликанова С.А., Самохина Н.П., Филимоненко Е.А. Оценка загрязнения фтором снегового покрова г. Томска и его окрестностей // Проблемы геологии и освоения недр : пруды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск : ТПУ, 2013. – Т. 2. – С. 601–603.
5. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
6. Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза. – 2007. – № 4. – С. 2–98.
7. Fuge R., Andrews M.J. Fluorine in the UK environment // Environmental Geochemistry and Health. – 1988. – Vol. 10. – P. 96–104.
8. Jarzyna, K., Kozłowski R., Szwed M. Chemical properties of snow cover as an impact indicator for local air pollution sources // Infrastructure and Ecology of Rural Areas. – 2017. – Vol. 4(2). – P. 1591–1607.

УДК 550.4:628.511.134(571.16-25)(571.51-25)

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА СОСТАВА УЛИЧНОЙ ПЫЛИ
ПРОМЫШЛЕННО-УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
(НА ПРИМЕРЕ Г. КРАСНОЯРСКА И Г. ТОМСКА)**

А.И. Беспалова, А.В. Таловская

Томский политехнический университет, Томск, Россия

aib38@tpu.ru

**GEOCHEMICAL SPECIFICITY OF STREET DUST COMPOSITION
IN INDUSTRIAL-URBANIZED AREAS
(ON THE EXAMPLE OF KRASNOYARSK AND TOMSK)**

A.I. Besspalova, A.V. Talovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

aib38@tpu.ru

Abstract. Представлено изучение химического состава уличной пыли на примере промышленно-урбанизированных городов Томска и Красноярска. Рассчитаны статистические параметры; коэффициенты обогащения относительно кларков земной коры и среднего содержания элементов в почвогрунтах; индексы геоаккумуляции. Сравнительный анализ городов показал схожие и различные особенности накопления химических элементов в уличной пыли.

Введение

В летнее время года объектом для оценки состояния окружающей среды на промышленно-урбанизированных территориях является уличная пыль, представляющая собой неоднородный материал, осаждаемый на городской асфальтированной поверхности, и включающий частицы почвы, органические остатки и частицы от движения транспортных средств, промышленных выбросов, городского строительства и дорожного покрытия [9].

В промышленно-экономическую структуру города Томска входят топливная, машиностроительная, нефтехимическая и другие отрасли промышленности [1]. Преобладающими отраслями промышленности г. Красноярска являются цветная металлургия, машиностроение и металлообработка [2].

Согласно ежегодным государственным экологическим докладам о состоянии и охране окружающей среды в последнее время в Томской области и Красноярском крае уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах является очень высоким [1-2].

Целью работы является сравнительный анализ химического состава уличной пыли на промышленно-урбанизированных территориях, отличающихся промышленной спецификой, на примере г. Томска и г. Красноярска.

Материалы и методы

Отбор уличной пыли осуществлялся в летнее время года в г. Томске и г. Красноярске согласно методикам, приведенным в литературных источниках [5-9]. Расположение точек отбора сконцентрировано в районах промышленных предприятий. Общее количество отобранных и обработанных проб уличной пыли составило в г. Томске – 50, в г. Красноярске – 39.

Изучение элементного состава проб выполнено методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) по аттестованной методике в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ (аналитики Судыко А.Ф., Богутская Л.В.). Определение содержания ртути в пробах осуществлялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии на ртутном анализаторе «РА-915+» с пиролизической приставкой «ПИРО-915+» в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» на

базе отделения геологии ТПУ (при консультации к.х.н., доцента ОГ ТПУ Осиповой Н.А.). Всего определено содержание 29 элементов в пробах.

Для оценки степени обогащения уличной пыли химическими элементами производился расчет коэффициентов обогащения (K_e) [4–9] относительно кларка земной коры [3] и содержания элементов в почвогрунтах города, так как уличная пыль может включать как частицы горных пород, так и почвогрунтов: $K_e = (C / C_{\text{норм}})_{\text{проба}} / (C / C_{\text{норм}})_{\text{земн. кора (или почвогрунт)}}$, где: C и $C_{\text{норм}}$ – содержание интересующего и реперного элемента (в данном случае Sc) в пробе, земной коре или почвогрунте. Значения K_e более 1 указывают на антропогенные источники поступления химических элементов, а K_e менее 1 – на литогенную природу элементов.

Для оценки уровня загрязнения уличной пыли изучаемыми химическими элементами производился расчет индекса геоаккумуляции (I_{geo}) [6–7]: $I_{\text{geo}} = \log_2(C / (1,5 \cdot C_f))$, где C – содержание химического элемента в пробе, мг/кг; C_f – содержание химического элемента в почвогрунтах фоновой территории, мг/кг.

Статистическая обработка данных о содержании химических элементов в пробах выполнялась в ПО «Statistica».

Результаты и их обсуждение

Результаты показали статистически достоверно высокие различия содержаний элементов Sm , Ca , Lu , U , Th , Yb , Ba , Sr , Sc , Fe , Co , Na , Eu , La в уличной пыли городов Томск и Красноярск ($p < 0,0005$; критерии Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни). Содержания Hg уличной пыли рассматриваемых городов различаются сильно значимо ($0,005 > p \geq 0,0005$), а Ce , Hf , и Rb – статистически значимо ($0,050 > p \geq 0,005$). Статистически достоверно не различаются содержания элементов Cr , Au , Nd , Br , Tb , Ta .

Высокие концентрации Hf и Hg характерны для проб уличной пыли г. Томска, в сравнении с данными для проб из г. Красноярска. Элементы Sm , Ce , Ca , Lu , U , Th , Yb , Ba , Sr , Sc , Rb , Fe , Co , Na , Eu , La имеют более высокие содержания в уличной пыли из г. Красноярска.

Результаты определения коэффициентов обогащения относительно кларка земной коры в г. Томске, показали, что согласно градации элементы Sc , Hg , Na , Th , Ta , Rb , Cs имеют природное происхождение ($K_e < 1$), остальные же изучаемые элементы, вероятно, имеют техногенные источники поступления в уличную пыль. Умеренное обогащение, соответствующее умеренному уровню загрязнения согласно градации [7], характерно для следующих элементов в уличной пыли г. Томска: Ca , Zn , As , Sb , Hf ($2 < K_e < 5$). Значительное обогащение, соответствующее значительному уровню загрязнения, наблюдается для Au , Cr ($5 < K_e < 20$). Согласно коэффициентам обогащения относительно почвогрунтов As и Ca имеют значительное обогащение; Sr , Cr , Au – умеренное, а остальные элементы практически не обогащают уличную пыль.

Определенные значения I_{geo} в уличной пыли города Томска относительно фона для почв [4] показали, что согласно градации [6] большая часть элементов относится к низкому уровню загрязнения территории. Уровень от низкого до умеренного представлен элементами Lu , Co , Ta , Yb , As , Na , Rb , Fe , Ba , U ($I_{\text{geo}} = 0,14-0,68$); умеренный – Tb , Sb , Cr ($I_{\text{geo}} = 1,41-1,56$) и от умеренного до сильно загрязненного – Ca ($I_{\text{geo}} = 3$).

Рассчитанные коэффициенты обогащения уличной пыли относительно кларка земной коры в г. Красноярске показали, что содержание элементов Sc , Tb , Th , Nd , Rb , Ta , Hg , Cs не превышает кларк земной коры ($K_e < 1$), что может указывать на их литогенную природу. Большинство элементов согласно градации, из работы [7], могут иметь техногенное происхождение. Умеренным обогащением характеризуются элементы As , Ca , Sb , Cr , Zn , Co ($2 < K_e < 5$). Значительное обогащение наблюдается для Au ($5 < K_e < 20$) и предположительно может быть вызвано антропогенной деятельностью.

Результаты определения коэффициентов обогащения уличной пыли г. Красноярска относи-

тельно почвогрунтов города показали низкую степень обогащения, соответствующую минимальному загрязнению территории изучаемыми элементами ($K_e < 2$). Данные результаты могут быть обоснованы схожими содержаниями элементов в пробах уличной пыли и почвогрунтов, так как уличная пыль в том числе содержит в себе почвенные частицы.

Согласно определенным значениям индексов геоаккумуляции территория города Красноярская характеризуется низким уровнем загрязнения для большинства элементов, содержащихся в уличной пыли. Значения I_{geo} для Ca, Sb, Sr ($0 < I_{geo} < 1$) в уличной пыли определяют уровень загрязнения от низкого до умеренного на территории города.

Заключение

Таким образом, сравнение промышленно-урбанизированных городов Томска и Красноярска показало повышенные содержания элементов Au, Cr, Ca, Zn, As, Sb, в уличной пыли обоих городов относительно кларка земной коры и почвогрунтов. Дополнительно, специфичными элементами для уличной пыли из Томска являются Hf, Tb, Lu, Co, Ta, Yb, As, Na, Rb, Fe, Ba, U, а для пыли из г. Красноярска – Co и Sr.

Литература

1. Государственный доклад «Об экологической ситуации в Томской области в 2023 году». – Томск, 2024. – 137 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2023 году». – Красноярск, 2024. – 386 с.
3. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург : УрО РАН, 2009. – 382 с.
4. Жорняк Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2009. – 24 с.
5. Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е. и др. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы : монография. – М. : АПР, 2016. – 276 с.
6. Zhu Z., Sun G., Bi X. et al. Identification of trace metal pollution in urban dust from kindergartens using magnetic, geochemical and lead isotopic analyses // *Atmospheric Environ.* – 2013. – Vol. 77. – P. 9–15.
7. Sutherland R. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii // *Environmental Geology.* – 2000. – Vol. 39. – P. 611–627.
8. Tang Z., Chai M., Cheng J. et al. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China // *Ecotoxicology and Environmental Safety.* – 2016. – Vol. 138. – P. 83–91.
9. Wei X., Gao B., Wang P. et al. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China // *Ecotoxicology and Environmental Safety.* – 2015. – Vol. 112. – P. 186–192.

УДК 504.3.054:504.064.2:551.578.4

ПОЛИЭЛЕМЕНТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПЫЛЕВОЙ ФРАКЦИИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА Г. ЧИТЫ (В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2022–2023 ГГ.)

Е.А. Бондаревич

Читинская государственная медицинская академия, Чита, Россия

bondarevich84@mail.ru

MULTI-ELEMENT POLLUTION OF THE DUST FRACTION IN THE SNOW COVER OF CHITA CITY (DURING THE WINTER PERIOD OF 2022–2023)

E.A. Bondarevich

Chita State Medical Academy, Chita, Russia

bondarevich84@mail.ru

Abstract. Исследование направлено на оценку загрязнения снежного покрова Читы неорганическими микроэлементами в зимний период 2022–2023 гг. Методами рентгенофлуоресцентного анализа изучен состав пылевой фракции снега в различных функциональных зонах города. Установлено значительное превышение фоновых концентраций для Th (в 11 раз), Rb (в 7 раз), Mn, Pb и Sr (в 5 раз). Основными источниками загрязнения признаны промышленные выбросы, транспорт и угольное отопление. Наибольшие уровни накопления Pb, Zn и Cu зафиксированы в зонах транспортных магистралей и жилой застройки. Результаты указывают на выраженное техногенное воздействие на окружающую среду города.

Введение

Чита – крупный промышленный и логистический центр Восточной Сибири, где неблагоприятные природно-климатические условия усугубляются техногенным загрязнением. В холодный период года из-за малого количества осадков и штилевой погоды в городе формируется устойчивый смог, содержащий токсичные частицы, которые оседают в снежном покрове [1]. Это создает дополнительную нагрузку на дыхательную и другие системы организма человека.

Цель работы – выявление основных неорганических загрязнителей в пылевой фракции снега на урбанизированной территории Читы в сравнении с фоновыми показателями.

Материалы и методы

В конце февраля 2023 г. произведен отбор 54 проб снега на территории г. Читы и в Читинском районе Забайкальского края с использованием стандартных методик [2]. Снег, после доставки в лабораторию, расплавляли в пластиковых контейнерах при комнатной температуре, а в дальнейшем проводили разделение жидкой и твердой фаз фильтрацией через бумажные фильтры (синяя лента, $d_{\text{пор}}=2-3$ мкм). Полученный твердый осадок подвергали сухому озолению в муфельной печи ЭКПС 5 при температуре 500 °C в течение 2 ч. Далее 10,0 мг пыли помещали в пробирку типа Eppendorf, приливали 100,0 мкл 1.0% раствора Тритона X-100 и 10,0 мкл стандарта, а после суспензию наносили на кварцевый прободержатель. Определение содержания химических элементов (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Sn, Sb, Cs, Ba, La, W, Pb, Th, U) проводилось рентгенофлуоресцентным методом полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano GmbH (Германия)). Концентрацию элементов рассчитывали методом внутреннего стандарта, в качестве которого использовался стандартный образец соли германия, разбавленный деионизированной водой ($\Omega = 18,2$ МОм) с концентрацией $2,50 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Для каждой пробы производилось трехкратное измерение аналитического сигнала.

Обработка аналитических данных проводилась с использованием программ «Microsoft Excel 2019» и «PAST 3.5». Данные приведены в медианной величине для каждой функциональной

зоны города, а по ним вычислен коэффициент концентрации (K_c): $K_c = \frac{C_{\text{проба}}}{C_{\text{фон}}}$, где $C_{\text{проба}}$ и $C_{\text{фон}}$ – содержание элемента в пробе и в условиях фоновых участков (в мг/кг). Значение коэффициента менее 1 указывает на низкое загрязнение, от 1 до 3 – на умеренное, от 3 до 6 – на значительное, а более 6 – на очень высокое (Степанец, 2021) [1, 3].

Результаты и их обсуждение

В условиях урбанизированной территории содержание всех изучаемых элементов в пылевой фракции снежного покрова было большим, чем в условиях фоновых территорий (табл. 1).

Таблица 1. Медианное содержание микроэлементов

Элемент	Ме Чита, мг/кг Ме фон, мг/кг	Элемент	Ме Чита, мг/кг Ме фон, мг/кг	Элемент	Ме Чита, мг/кг Ме фон, мг/кг
<i>Ti</i>	547,16 136,78	<i>Zn</i>	92,34 55,56	<i>Cs</i>	4,14 1,52
<i>V</i>	12,93 2,64	<i>As</i>	11,67 3,03	<i>Ba</i>	232,61 61,13
<i>Cr</i>	20,58 6,45	<i>Se</i>	0,13 0,04	<i>La</i>	4,01 1,10
<i>Mn</i>	392,51 69,60	<i>Br</i>	0,14 0,12	<i>W</i>	0,82 0,80
<i>Fe</i>	12505,66 2688,96	<i>Rb</i>	13,63 1,96	<i>Pb</i>	22,89 4,27
<i>Co</i>	0,57 0,20	<i>Sr</i>	282,64 52,04	<i>Th</i>	1,18 0,10
<i>Ni</i>	9,74 2,44	<i>Sn</i>	12,06 4,40	<i>U</i>	0,34 0,13
<i>Cu</i>	25,20 5,23	<i>Sb</i>	5,72 2,08		

Наибольшее превышение фона зафиксировано для Th (более чем 11-кратное), что возможно связано с геологическими особенностями территории г. Чита, а также техногенными источниками (угольные ТЭЦ, использующие бурый уголь местных месторождений). Выявлены высокие уровни поступления в снежный покров с пылью Rb (7-кратное превышение), что обусловлено с активным поступлением микроэлемента в составе микрочастиц угольной золы, а также Mn, Pb и Sr (более 5-кратное превышение). Эти элементы типичные индикаторы промышленно-транспортного загрязнения территории. Умеренное загрязнение выявлено по Zn, Sn, Sb, Cs, U – превышение в 2–3 раза, тогда как Co, Br и W демонстрируют минимальные отклонения от фона.

Данные по функциональным зонам города и фона (промышленная, участки вдоль транспортных путей, селитебная – много- и малоэтажная застройка, парково-рекреационная) выявили следующие тенденции по группам микроэлементов. Из тяжелых металлов в наибольшей мере происходило аккумуляция в пыли свинца (фон: 1,35–150,67 мг/кг (Ме 4,27 мг/кг) с максимумом накопления вдоль транспортных путей – 145,32 мг/кг ($K_c = 8,78$), а также в районах малоэтажной застройки – 80,59 мг/кг ($K_c = 9,67$). По видимому основными источниками Pb являются автотранспорт (историческое использование этилированного бензина, износ шин), а в селитебной зоне угольное отопление малых котельных и печей, не оборудованных системами улавливания микрочастиц сажи. Вторым по значимости загрязнителем был цинк, содержание которого в наибольших количествах зафиксировано в условиях многоэтажной застройки – 626,37 мг/кг ($K_c = 4,08$) и вдоль транспортных путей – 235,92 мг/кг ($K_c = 3,91$). Источниками поступления Zn могут быть транспорт (износ деталей, промышленные выбросы и

локальные геохимические аномалии, характерные для Читы по этому микроэлементу). Еще одним приоритетным микроэлементом-загрязнителем снежного покрова была медь, максимум аккумуляции которой выявлен вдоль транспортных путей – 96,95 мг/кг ($K_c = 4,56$). Высокие уровни в пылевой фракции железа и марганца отмечены для промзон города – Fe до 25132,09 мг/кг ($K_c = 3,85$) и вдоль транспортных путей – Mn до 1154,35 мг/кг ($K_c = 6,94$). Источниками поступления являются промышленные выбросы, износ деталей транспортных средств и дорожная пыль.

Из высокотоксичных и радиоактивных элементов в наибольшей мере фиксировалось накопление As, Sb, Th. Поступление мышьяка обусловлено использованием в теплоэнергетике бурого угля, при этом его максимум отмечен в промзоне – до 20 мг/кг пыли, $K_c = 3,24$. В условиях малоэтажной застройки выявлены высокие уровни накопления Sb и Th – 12,76 мг/кг ($K_c = 4,03$) и 1,84 мг/кг ($K_c = 4,12$) соответственно. Источниками Sb могут быть твердое топливо и автомобильные тормозные системы, а Th может поступать из топлива или иметь природное происхождение.

Выводы

1. Снежный покров Читы характеризуется значительным накоплением тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu) и токсичных элементов (As, Sb, Th). Основные источники загрязнения:
 - транспорт (Pb, Cu, Zn);
 - промышленные выбросы (Fe, Mn);
 - угольное отопление (As, Th).
2. Наиболее загрязненные зоны: территории вдоль дорог и районы с малоэтажной застройкой.
3. Высокие концентрации Th указывают на возможную геохимическую аномалию или влияние угольной золы.
4. Для снижения негативного воздействия на здоровье населения урбанизированной территории требуется ужесточение контроля за выбросами промышленных предприятий, переход на более экологичные виды топлива и мониторинг транспортного загрязнения.

Литература

1. Бондаревич Е.А. Оценка техногенного загрязнения городской среды Читы по состоянию снежного покрова // Лед и Снег. – 2019. – Т. 3. № 59. – С. 389–400. – doi: 10.15356/2076-6734-2019-3-393.
2. Касимов Н.С., Власов Д.В. Геохимия снегового покрова урбанизированных территорий. – М. : Геос, 2015. – 312 с.
3. Степанец В.Н., Серых Т.Г., Папина Т.С. Оценка содержания микроэлементов в снежном покрове юга Западной Сибири // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 64. – С. 480–492. – doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-480-492.

УДК 504.73.05 (470.26)

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ГОРОДАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

З.П. Вольф¹, Е.В. Топчая¹, В.Ю. Топчая²

¹ГАОУ КО ОО Школа-интернат лицей-интернат, Калининград, Россия
volfzlata@gmail.com, yekaterina_topchaya@mail.ru

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
piwis@mail.ru

ESTIMATION OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN THE CITIES OF THE KALININGRAD REGION

Z.P. Volf¹, E.V. Topchaya¹, V.Yu. Topchaya²

¹Boarding school – lyceum, Kaliningrad, Russia
volfzlata@gmail.com, yekaterina_topchaya@mail.ru

²Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia
piwis@mail.ru

Abstract. При использовании метода лишеноиндикации дана качественная оценка загрязнения атмосферного воздуха в трех городах Калининградской области – Пионерский, Калининград и Черняховск. В каждом из городов изучена эпифитная лишенофлора, определено проективное покрытие, видовой состав и морфология талломов лишайников, а также рассчитаны лишеноиндикаторные индексы. Показано, что атмосферный воздух в г. Пионерский менее загрязнен, чем в г. Калининграде и г. Черняховске.

Введение

Чистота атмосферы один из главных показателей экологического благополучия как природных, так и урбанизированных территорий. Оценка последствий техногенеза на окружающую среду, помимо физических и химических методов, предполагает использование биологических подходов, которые позволяют получить данные о реакции организмов-биоиндикаторов, на увеличение загрязнения их среды обитания [1]. Одним из методов биоиндикации, позволяющем качественно оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха является лишеноиндикация. Использование лишайников для качественной оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха является актуальным, достаточно точным, простым и доступным методом [6]. Эпифитные лишайники высокочувствительны к загрязнению среды обитания, особенно к загрязнению атмосферного воздуха и осадков. На них губительно действуют прежде всего вещества, увеличивающие кислотность среды и ускоряющие окислительные процессы – диоксид серы, оксиды азота, окись углерода, фтороводород, хлороводород и озон [3]. Наиболее чувствительны к повышению уровня загрязнения воздуха кустистые жизненные формы лишайников, а наиболее устойчивые накипные. При этом лишайники толерантны к повышенному содержанию в окружающей среде тяжелых металлов, которые накапливаются в их талломах.

Материалы и методы

Исследования проводились в весенний период 2025 года в трех городах, расположенных в разных частях Калининградской области – г. Пионерский, г. Калининград и г. Черняховск (рис. 1). В каждом городе исследования эпифитной лишенофлоры выполнялись на пробных площадках с произрастающими на них деревьями одной породы и примерно одного возраста. Так, в г. Пионерский замеры проведены в городском парке на побережье Балтийского моря (березы со средними $D_{\text{ствола}}$ 77 см (от 67 до 96 см) и $H_{\text{ствола}}$ 9 м (от 7 до 12 м); в г. Калининграде в сквере на ул. Тельмана (липы со средними $D_{\text{ствола}}$ 116 см (от 90 до 141 см) и $H_{\text{ствола}}$ 9 м (от 7 до 11 м) и в центре города, район ж/д вокзала «Северный» (буки со средними $D_{\text{ствола}}$ 132 см (от 96 до 168 см) и $H_{\text{ствола}}$ 10 м (от 7 до 13 м); в г. Черняховске на немецком воинском

кладбище (грабы со средними $D_{\text{ствола}}$ 122 см (от 112 до 142 см) и $D_{\text{ствола}}$ 7 м (от 6 до 9 м) и в парке «Городская долина» (клены со средними $D_{\text{ствола}}$ 118 см (от 100 до 140 см) и $H_{\text{ствола}}$ 12 м (от 10 до 14 м). При изучении эпифитной лишенофлоры в городах области нами были использованы методы: определение проективного покрытия, количества и разнообразия видов на пробных площадках [2]; частота встречаемости обнаруженных видов и оценка морфологии талломов лишайников [7]; расчет и анализ лишеноиндикаторных индексов [5]. Проективное покрытие эпифитов разных видов на пробных площадках определялось методом линейных пересечений. Вид и группу всех обнаруженных лишайников определяли по [4].



Рис. 1. Города (кружочки) Калининградской области, где проводились исследования

Для качественной оценки степени загрязнения атмосферного воздуха проведены расчеты следующих лишеноиндикаторных индексов: – индекс чистоты атмосферы, IAQ (Index of Atmosphere Quality) рассчитывали по формуле (1): $IAQ = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i C_i}{10}$, где Q_i – экологический индекс определенного i -того вида (или индекс токсифобности), C_i – показатель обилия данного i -того вида, n – количество видов. Чем больше показатель IAQ, тем чище воздух на исследуемой территории. IAQ сильно зависит от видового разнообразия лишайников. Значение IAQ коррелирует с концентрацией SO_2 в воздухе; – индекс полеотолерантности (IP) рассчитывали по формуле (3): $IP = \sum_{i=1}^n \frac{a_i c_i}{C_{in}}$, где n – количество видов на пробной площадке, a_i – класс полеотолерантности определенного вида, c_i – проективное покрытие вида, C_{in} – сумма баллов проектного покрытия всех видов. Вычисляется IP для всей площадки в среднем для всех модельных деревьев. Чем выше значение IP, тем более загрязнен атмосферный воздух.

Результаты и их обсуждение

Общий видовой состав эпифитной лишенофлоры, используемой для лишеноиндикации составил в г. Пионерский – 6 видов (*Parmelia sulcata*, *Xanthoria parietina*, *Lobaria pulmonaria*, *Ramalina farinacea*, *Evernia prunastri* и *Ramalina celastri*), в г. Калининграде – 3 вида (*Parmelia sulcata*, *Xanthoria parietina*, *Lecanora conizaeoides*) и в г. Черняховск – 7 видов (*Parmelia sulcata*, *Xanthoria candelaria*, *Phlyctis argena*, *Lecanora conizaeoides*, *Chrysothrix candelaris*, *Lecanora allophana* и *Physcia stellaris*). Наиболее часто встречаемые на всех изученных урбанизированных территориях виды эпифитов – *Parmelia sulcata* и *Xanthoria parietina*.

В городах Калининград и Черняховск выявлены только листоватые и накипные, или корковые, жизненные формы лишайников, при этом у листоватых эпифитов выявлены морфологические отклонения в виде диспигментации талломов у *Xanthoria candelaria* и уменьшение размеров слоевищ с частичным некрозом у *Parmelia sulcata*. В г. Пионерский отмечены листоватые и кустистые формы лишайников, морфологические отклонения выявлены лишь у кустистого лишайника *Evernia prunastri* в виде незначительной длины почернения корового

слоя. Для каждого из изученных видов лишайников определены классы полеотолерантности [5], т.е. реакции видов на концентрации загрязняющих веществ в атмосфере, чем выше класс полеотолерантности, тем устойчивее к загрязнению воздуха виды лишайников: II класс – *Evernia prunastri*, *Ramalina celastri*; IV – *Lobaria pulmonaria*; V – *Ramalina farinacea*; VI – *Chrysothrix candelaris*, *Lecanora allophana*; VII – *Parmelia sulcata*; VIII – *Physcia stellaris*, *Xanthoria candelaria*, *Phlyctis argena*; IX – *Xanthoria parietina*; X – *Lecanora conizaeoides*. Результаты расчетов проективного покрытия и лишеноиндикаторных индексов для исследуемых городов Калининградской области представлены в таблице 1.

Таблица 1. Качественная оценка степени загрязнения атмосферного воздуха в городах Калининградской области

г. Пионерский					
Пробная площадка	Проективное покрытие, %	IAQ	IP	Концентрация SO ₂ , мг/м ³	Степень загрязнения
Городской парк	77	7,7	6,12	0,03 – 0,08	Средняя
г. Калининград					
Сквер на ул. Тельмана	43	7,1	7,34	0,08 – 0,10	Сильная
Район ж/д вокзала «Северный»	14	1,4	9,16		
г. Черняховск					
Немецкое воинское кладбище	50	3,9	8,35	0,08 – 0,10	Сильная
Парк «Городская долина»	53	6,7	6,73	0,03 – 0,08	Средняя

Заключение

В результате качественной оценки загрязнения атмосферного воздуха в городах Калининградской области методом лишеноиндикации выявлено, что наибольший уровень загрязнения отмечается в г. Калининграде и г. Черняховске, а г. Пионерский, находящийся на побережье Балтийского моря, наименее загрязнен.

Авторы выражают благодарность администрации ГАУ КО ОО ШИЛИ.

Литература

1. Гелашвили Д.Б., Кулябина Е.Ю., Сидоренко М.В. Лишеноиндикационный мониторинг и разработка региональной шкалы токсифобности эпифитных лишайников (на примере Нижегородской области) // Поволжский экологический журнал. – № 2. – 2005. – С. 111–120.
2. Кравченко М.В., Боголюбов А.С. Оценка загрязнения воздуха методом лишеноиндикации : методическое пособие. – М. : Экосистема, 2001. – 15 с.
3. Кузнецов В.Н. Справочные и дополнительные материалы к урокам экологии. – М. : Дрофа. – 2002. – 126 с.
4. Определитель лишайников России [Электронный ресурс]. – URL: <http://ecosystema.ru/08nature/lich/index.htm> (дата обращения: 15.05.2025).
5. Трасс Х.Х. Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – Т.7. – С. 122–137.
6. Чеснокова С.М. Лишеноиндикация загрязнения окружающей среды : практикум. – Владимир : Владимирский гос. ун-т. – 1999. – 38 с.
7. Экологический мониторинг : учебно-методическое пособие : изд. 3-е, испр. и доп. / под ред. Т.Я. Ашихминой. – М. : Академический Проект, 2006. – 416 с.

УДК 550.462

**НАКОПЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ (^7Be , ^{210}Pb) И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ
В КОМПОНЕНТАХ БИОГЕОЦЕНОЗА АРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
(ЯНАО)**

Ю.С. Восель, М.С. Мельгунов, К.А. Мезина, М.Ю. Кропачева

Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

vosel@igm.nsc.ru

**ACCUMULATION OF NATURAL RADIONUCLIDES (^7Be , ^{210}Pb) AND MICRO-ELEMENTS
IN THE BIOGEOCENOSIS COMPONENTS OF IN THE ARCTIC WESTERN SIBERIA**

Y. Vosel, M. Melgunov, K. Mezina, M. Kropacheva

Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch RAS, Novosiborsk, Russia

vosel@igm.nsc.ru

Abstract. Проведены исследования накопления ^7Be и ^{210}Pb и широкого спектра микро и макроэлементов во мхах, лишайниках, хвое кедр и лиственницы на территории ЯНАО в арктической части Западной Сибири. Показано, что концентрация пылевых частиц в изучаемых объектах растет в ряду: хвоя кедр, хвоя лиственницы, мхи и лишайники. В таком же ряду на данной территории растут концентрации Zr, Hf, Ti, Th, Fe, V, Li, Na, Si, Be, Y, ΣREE, Sc. Коэффициенты обогащения этих элементов (КО) относительно (пост архейского глинистого сланца) PAAS близки к единице, что также доказывает их терригенное происхождение. Исключением является радиально-симметричное распределение содержания Pb в биологических объектах по поверхности изучаемой территории (с центром, находящемся в черте города Новый Уренгой).

Введение

Ландшафтно-геохимические процессы, определяющие миграционные потоки элементов и их формы в окружающей среде, обуславливают их региональные фоновые уровни и формирование природных и антропогенных аномалий. Огромное количество работ связано с изучением мхов, лишайников, хвои и листьев разных деревьев, как биопланшетов, отражающих состав атмосферных выпадений и степень их загрязнения. [1, 2, 5] Эти исследования в основном проводились на территории Европы. Другие регионы, например, арктические части Америки и Евразии изучены гораздо меньше. В частности, подробных исследований арктической части Западной Сибири по содержаниям микроэлементов ранее не проводилось. Работы по изучению мхов и лишайников на севере западной Сибири в основном были направлены на исследование загрязнения этого региона искусственными радионуклидами [5].

В данной работе проведены исследования накопления широкого спектра микро и макроэлементов во мхах, лишайниках, хвое кедр и лиственницы на территории Новоуренгойского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Кроме того, проведены измерения в изучаемых биопланшетах содержания естественных радионуклидов атмосферного происхождения ^7Be и ^{210}Pb , которые являются общепринятыми индикаторами атмосферных выпадений.

Материалы и методы

В сентябре 2018 г. на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в районе г. Новый Уренгой были проведены экспедиционные работы. Отбор проб осуществлялись вдоль радиальных маршрутов по автотрассам г. Новый Уренгой – п. Ямбург (северное направление), г. Новый Уренгой – г. Тарко-Сале (восточное направление до п. Коротчаево и далее южное направление) и г. Новый Уренгой – г. Надым (западное направление). Все пробы лишайника, мха, однолетней хвои кедр и лиственницы были отобраны, на удалении от автотрассы около 100 м.

Все высушенные пробы компонентов биогеоценоза (мхов, лишайников, хвои лиственницы и

хвои, и ветвей кедра) подвергались ступенчатому озолению на воздухе при температуре 450 градусов.

Определение содержаний ^7Be , $^{210}\text{Pb}_{\text{атм}}$ в образцах лишайников, мхов и хвои проводилось методом высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии на основе колодезного HPGe полупроводникового детектора GWL-220-15 (активный объем 220 см³; диаметр колодца 15,5 мм; глубина колодца – 40 мм; разрешение лучше 1,4 кэВ на энергии 122 кэВ; лучше 2,3 кэВ на энергии 1,33 МэВ) по специально разработанной методике [3].

Такие элементы как Al, Si, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Se, Si, Sn, Sr, V, Zn измерялись методом ICP-AES (iCAP 6000 Series, Thermo Scientific, USA) максимальная относительная погрешность измерений $\pm 30\%$, диапазон определения концентраций от 0,05 до $5 \cdot 10^4$ ppm. Элементы Be, Sc, Ti, V, As, Rb, Zr, Mo, Sb, Cs, Y, REE, Th, U определялись методом ICP-MS на приборе AGILENT 8800 с реакционно-столкновительной ячейкой. Метод позволяет определять концентрации от 0,05 до $5 \cdot 10^4$ ppm. Относительное стандартное отклонение составляет 15%. Перевод проб в раствор для этих методов осуществлялся методом кислотного разложения с использованием системы микроволновой печи MARS-5 CEM Corporation.

Результаты и их обсуждение

Плотности выпадения с атмосферными осадками ^7Be (200–400 Бк/м²) и ^{210}Pb (500–1000 Бк/м²) для мхов и лишайников в исследуемом районе для всех точек отбора находятся примерно на одном уровне. Это говорит о достаточно равномерном поступлении на поверхность земли пылевых частиц, содержащих эти радионуклиды. Для проб хвои можно говорить о проявлении корреляции между этими двумя радионуклидами. Расчет коэффициента линейной корреляции Пирсона (R) для группы точек хвои дает $R = 0.75$. Эта корреляция не удивительна, поскольку эти радионуклиды поступают на земную поверхность в сорбированном на мелких пылевых частицах виде [4], соответственно их активности пропорциональны количеству этих частиц.

Другой численной характеристикой, которая указывает на вхождение элементов (Zr, Hf, Ti, Th, Fe, V, Li, Na, Si, Be, Y, ΣREE и др.) в состав литогенных частиц образца, служит значение коэффициента обогащения (КО) [6]. Поскольку потребность в Sc как у деревьев, так и другой растительности весьма мала КО рассчитывался относительно него. Проведенное в данном параграфе рассмотрение показывает, что коэффициенты обогащения выбранных элементов относительно PAAS близки к 1, что доказывает их терригенное происхождение. Терригенное происхождение рассматриваемых элементов в изучаемых биологических объектах подтверждается также их высокими коэффициентами корреляции со Sc. То есть их присутствие в изучаемых объектах есть результат твердых фоновых атмосферных выпадений.

Большое количество элементов имеют очень высокие значения КО. В основном это относится к биогенным элементам, таким как P, Se, Mn, Mg, Ca, K, Zn, а также к некоторым их химическим аналогам (Sr, Ba, Rb, Cs, Cd). При этом содержания этих элементов в лишайниках значительно меньше, чем во мхах и хвое, что так же указывает на биологический характер их накопления.

Что касается Pb, то высокие средние значения его КО во всех компонентах экосистемы легче всего приписать наличию антропогенных выпадений свинца на изучаемой территории. При этом в некоторых точках пробоотбора значения КО значительно повышены, при этом можно заметить определенную закономерность в расположении этих точек на местности. Максимальные значения КО на местности лежат на окружности радиусом примерно 30 км с центром в городе Новый Уренгой. Описанная картина соответствует наличию высоко расположенного источника выбросов Pb. Можно прийти к выводу, что существует местный источник выпадения свинца на данной территории.

Заключение

В данной работе проведены исследования накопления широкого спектра микро и макроэлементов во мхах, лишайниках, хвое кедр и лиственницы на территории Новоуренгойского района ЯНАО. На основании проведенных измерений удельных активностей маркеров атмосферных выпадений ^7Be и ^{210}Pb показано, что концентрация пылевых частиц растет в ряду: хвоя кедр, хвоя лиственницы, мхи и лишайники. В таком же ряду на данной территории растут концентрации Zr, Hf, Ti, Th, Fe, V, Li, Na, Si, Be, Y, ΣREE , Sc. КО этим элементам относительно глинистого сланца близки к 1, что доказывает их терригенное происхождение. Терригенное происхождение рассматриваемых элементов в изучаемых биологических объектах подтверждается также их высокими коэффициентами корреляции со Sc. То есть их концентрации в изучаемых объектах есть результат твердых фоновых атмосферных выпадений.

КО биогенных элементов и их аналогов (P, Se, Mn, Mg, Ca, K, Zn, Sr, Ba, Rb, Cs) значительно больше единицы, что связано с высокими концентрациями этих элементов в биологической части образцов.

Наблюдается радиально-симметричное распределение по поверхности изучаемой территории (с центром, находящемся в черте города Новый Уренгой) содержаний Pb в биологических объектах. Это позволяет сделать вывод, о наличии точечного источника вокруг которого происходит антропогенное выпадение Pb на поверхность этих биологических объектов. Наиболее четко это распределение проявляется на примере хвои лиственницы и кедр.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№122041400193-7) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Аналитические исследования проведены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследованиях СО РАН.

Литература

1. Aboal J., Boquete M., Carballeira A. et al. Quantification of the overall measurement uncertainty associated with the passive moss biomonitoring technique: sample collection and processing // *Environmental Pollution*. – 2017. – Vol. 224. – P. 235–242.
2. Dowdall M., Gwynn J.P., Moran C. et al. Uptake of radionuclides by vegetation at a High Arctic location // *Environmental Pollution*. – 2005. – Vol. 133. – P. 327–332.
3. Gavshin V.M., Melgunov M.S., Sukhorukov F.V. et al. Disequilibrium between uranium and its progeny in the Lake Issyk-Kul system (Kyrgyzstan) under a combined effect of natural and man-made processes // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2005. – Vol. 83. – P. 61–74.
4. Leppanen A.P. Deposition of naturally occurring ^7Be and ^{210}Pb in Northern Finland // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2019. – Vol. 208. – Art. No. 105995.
5. Malikova I.N., Strakhovenko V.D., Shcherbov B.L. Distribution of radionuclides in moss-lichen cover and needles on the same grounds of landscape-climatic zones of Siberia // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2019. – Vol. 198. – P. 64–78.
6. Popovic D., Todorovic D., Frontasyeva M. et al. Radionuclides and heavy metals in Borovac, Southern Serbia // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2008. – Vol. 15. – P. 509–520.

УДК: 574.4

РЕЗУЛЬТАТЫ БИОМОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ХОДЕ ПОСТПИРОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ НА ВЕРХОВЫХ БОЛОТАХ

Л.П. Гашкова

*Сибирский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного
центра агробиотехнологий РАН, Томск, Россия
gashkova-lp@rambler.ru*

BIOMONITORING OF ELEMENT CONTENT DURING POST-FIRE SUCCESSION IN BOGS

L.P. Gashkova

*Siberian Institute of Agriculture and Peat – a branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobio-
technology RAS, Tomsk, Russia
gashkova-lp@rambler.ru*

Аннотация. Изложены результаты мониторинга изменения элементного состава растений под влиянием пирогенного воздействия на болото спустя 6–8 лет после пожара. Объектами исследования выбраны три болотных массива, два из которых расположены в таежной зоне, и один в лесотундровой зоне Западной Сибири. Оценивается степень изменения содержания элементов на протяжении трех лет в листьях *Chamaedaphne calyculata*, отобранных на постпирогенных и соседних с ними участках верховых болот. В результате установлено, что как на постпирогенных, так и на соседних с ними участках в исследованный период наблюдался тренд на снижение концентрации Na, Fe, Zn, Cu, Cd и Pb. Наиболее резко, по сравнению с другими элементами, в листьях снижалась концентрация Cd.

Введение

Природные пожары вносят значительный вклад в загрязнение атмосферы и оказывают влияние на биогеохимические циклы [7, 8]. Мониторинг состояния химического состава окружающей среды с использованием анализа растений применяется в течении длительного времени и становится все более актуальным [3, 6, 9].

Материалы и методы

Объектами для изучения влияния пожара на изменение химического состава растений стали постпирогенные и ненарушенные верховые болота, расположенные на Западно-Сибирской равнине. Исследованные нами болотные массивы расположены в междуречье Бакчара и Чаи, на террасе р. Бакчар, и в междуречье Пура и Надыма. Пожары произошли в 2014–2016 гг. На каждом из болотных массивов для сравнения выбраны постпирогенные и невыгоревшие, но расположенные в непосредственной близости от пожара участки. Пробы листьев *Chamaedaphne calyculata* отбирались с побегов текущего года, в июле, ежегодно с 2022 по 2024 гг. Для анализа изменения концентрации элементов по годам рассчитана величина достоверности аппроксимации отдельно для выгоревших и невыгоревших участков.

Результаты и их обсуждение

В ходе подготовки и проведения исследования возникла проблема выбора фоновых участков для определения степени влияния выгорания на изменение элементного состава растений. Для растений верховых болот с преимущественно атмосферным типом питания характерны низкие концентрации элементов. Различия в концентрации элементов между болотными массивами или даже их частями могут нивелировать постпирогенное увеличение содержания элементов в растениях. Кроме того, влияние пожара распространяется в разной степени на весь болотный массив. Поэтому для определения степени воздействия пожара на выгорев-

шие и соседние с ними участки проводится мониторинг содержания элементов с 2017 г. В данной статье приведены результаты, полученные в течении последних трех лет, которые показали наличие изменений в содержании элементов за данный период. Изменения затрагивают в разной степени концентрацию всех рассмотренных элементов, и различаются между участками. В результате сравнения полученных данных отдельно по постпирогенным и соседним с ними точкам отбора обнаружено, что на постпирогенных участках с 2022 по 2024 гг. наблюдается увеличение содержания K, Mg, Ca и Mn и снижение P, Na, Cd, Fe, Zn, Cu и Pb с 2022 по 2024 гг. (высокая и удовлетворительная точность аппроксимации) (табл. 1).

Таблица 1. Среднее содержание элементов (мг/кг) по годам в листьях *Chamaedaphne calyculata* на постпирогенных участках

Год	Na	Mg	P	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	n
2022	30	1326	997	3761	6182	1504	112	5,5	27	0,26	0,34	9
SD	11	176	84	145	1055	380	41	0,40	2,6	0,02	0,16	
2023	27	1373	841	4011	6908	2145	88	4,4	21	0,23	0,31	12
SD	9	146	103	369	589	744	26	0,28	2,0	0,01	0,16	
2024	13	1461	788	4194	8086	2226	75	3,3	18	0,18	0,24	9
SD	2	126	122	548	346	726	11	0,41	0,6	0,02	0,09	

На участках, соседних с выгоревшими, не отмечается роста концентрации элементов, но прослеживается снижение содержания Na, Fe, Zn, Cu, Cd и Pb, как и на постпирогенных участках (табл. 2).

Таблица 2. Среднее содержание элементов (мг/кг) по годам в листьях *Chamaedaphne calyculata* на невыгоревших участках

Год	Na	Mg	P	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	n
2022	35	1340	826	3462	6617	1256	90	7,5	18	0,11	0,35	9
SD	5	217	228	605	329	395	12	2,7	0,8	0,06	0,15	
2023	26	1305	781	4342	5662	1357	135	3,9	17	0,09	0,26	12
SD	10	398	120	235	2107	565	86	0,9	1,4	0,02	0,06	
2024	19	1456	848	4020	6384	1427	62	3,2	14	0,06	0,14	9
SD	13	180	118	625	657	470	4	0,1	1,8	0,00	0,06	

Зафиксированные нами изменения содержания элементов на исследованных участках объясняются тем, что при сгорании растительного материала в зависимости от температуры пожара изменяется доступность элементов, способность конденсироваться на частицах дыма [4]. Предыдущие исследования показали, что в первые годы после пожара некоторые элементы переходят в более подвижную форму, в результате чего активно поглощаются растениями и активно выносятся с водой [1, 2]. Увеличение концентрации K, Mg, Ca и Mn на постпирогенных участках на 6–8 год после пожара говорит о том, что начинается восстановление концентрации вынесенных в первые годы после пожара элементов и постепенное накопление их растениями. Данное предположение подтверждается тем, что на участках, соседних с выгоревшими, не происходит подобного увеличения концентрации. Обнаруженное нами в 2022–2024 г. снижение содержания Na, Fe, Zn, Cu, Cd и Pb в растениях как на постпирогенных, так и на соседних с ними участках также указывает на продолжение процесса восстановления экосистемы после пожара.

Заключение

Таким образом, в результате мониторинга содержания элементов в листьях *Chamaedaphne calyculata* обнаружено снижение содержания элементов, накопленных в результате пожара, а кроме того, на постпирогенных участках наблюдается восстановление содержания элемен-

тов, концентрация которых снижалась в первые годы после пожара в результате выноса элементов.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда,
проект № 22-77-10024.*

Литература

1. Синюткина А.А., Гашкова Л.П., Харанжевская Ю.А. Пирогенное изменение болотной растительности и торфа в Западной Сибири // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2024. – Т. 79(1). – С. 78–88. – doi: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.6.
2. Харанжевская Ю.А. Оценка изменений гидрологического режима и химического состава вод Васюганского болота под влиянием осушения и пирогенного фактора // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2024. – Т. 69(3). – С. 453–471.
3. Alves C.A., Gonçalves C., Pio C.A. et al. Smoke emissions from biomass burning in a Mediterranean shrubland // Atmospheric Environment. – 2010. – Vol. 44(25). – P. 3024–3033. – doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.05.010.
4. Gray D.M., Dighton J. Mineralization of forest litter nutrients by heat and combustion // Soil Biology and Biochemistry. – 2006. – Vol. 38(6). – P. 1469–1477. – doi: 10.1016/j.soilbio.2005.11.003.
5. Gonzalez A.G., Pokrovsky O.S., Beike A.K. et al. Metal and proton adsorption capacities of natural and cloned *Sphagnum* mosses // Journal of Colloid and Interface Science. – 2016. – Vol. 461. – P. 326–334. – doi: 10.1016/j.jcis.2015.09.012.
6. Kuzmina D., Lim A.G., Loiko S.V. et al. Experimental assessment of tundra fire impact on element export and storage in permafrost peatlands // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 853. – Art. No. 158701. – doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158701.
7. Li G., Sun L., Ji S. et al. Low-severity fire promote carbon emissions in permafrost peatlands of the Great Khingan Mountains, Northeast China // Catena. – 2025. – Vol. 252. – Art. No. 108870. – doi: 10.1016/j.catena.2025.108870.
8. Swislawski P., Waclawek S., Antos V. One year of active moss biomonitoring in the identification of PAHs in an urbanized area – prospects and implications // Environmental Science Pollution Research. – 2024. – Vol. 31. – P. 38416–38427. – doi: 10.1007/s11356-024-33831-8.

УДК 550.7:582.681.82(470.57-25)

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ» (НА ПРИМЕРЕ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО, Г. УФА)

Г.А. Гончаров, Б.Р. Соктоев

Томский политехнический университет, Томск, Россия

gag8@tpu.ru

BIOLOGICAL UPTAKE OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE SOIL-PLANT SYSTEM (CASE STUDY OF *POPULUS BALSAMIFERA* L., UFA CITY)

G.A. Goncharov, B.R. Soktoev

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

gag8@tpu.ru

Abstract. Установлено, что тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) в условиях г. Уфы активно накапливает Sr, Zn, Br, Ca и Rb ($A_x > 1$), что указывает на их высокую подвижность и биодоступность. Элементы со средними ($A_x = 0,1-1$) и низкими ($A_x < 0,1$) коэффициентами характеризуются ограниченным поступлением, что отражает избирательность растения и эффективность почвенных барьеров.

Введение

Живое вещество обладает способностью избирательно поглощать и накапливать химические элементы, что обуславливает необходимость изучения их распределения в растительных организмах, особенно в условиях антропогенной нагрузки. Элементный состав зольного остатка растений, отражающий особенности минерального питания, может существенно отличаться от состава почвы и среднего содержания элементов в земной коре [2]. Для оценки интенсивности поступления и степени биодоступности химических элементов используется коэффициент биологического поглощения (КБП, A_x). Колебания содержания макро- и микроэлементов в окружающей среде, особенно в почве и атмосфере, оказывают прямое влияние на химический состав растительной ткани. При этом многие виды демонстрируют выраженную избирательность в поглощении отдельных элементов, обусловленную как физиологическими особенностями, так и внешними (в том числе техногенными) условиями среды. Особый интерес представляет изучение биогеохимического поведения растений в условиях урбанизированных территорий, где возрастает роль антропогенных факторов. Ранее проведенные исследования показали, что древесные растения способны накапливать такие элементы, как Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Mn, Br и As [4]. При этом необходимо учитывать как корневой, так и воздушный пути поступления элементов: например, Br может поглощаться растениями не только из почвы, но и из атмосферы в составе газов и аэрозолей [3]. Использование КБП позволяет комплексно оценить биодоступность химических элементов, выявить эффективность почвенных барьеров и определить потенциал растений в качестве индикаторов экологического состояния среды. Настоящее исследование направлено на анализ КБП для 28 химических элементов в листьях тополя бальзамического, произрастающего на территории г. Уфы.

Материалы и методы

Для оценки экологического состояния городской среды и выявления степени антропогенного воздействия промышленных объектов на территорию г. Уфы был проведен биомониторинг с использованием листьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L., 1753). Материал собирался с деревьев одного вида и приблизительно одинакового возраста, преимущественно с нижней части кроны (на высоте 1,5–2 м от уровня почвы), что соответствует зоне наиболее интенсивного контакта с атмосферными загрязнениями и находится в пределах дыхательной

зоны человека.

С целью сохранения пыле-газоаэрозольной фракции листьев пробы не промывались, а высушивались при комнатной температуре. Всего было собрано 106 проб в два этапа: в августе 2021 г. (51 проба) и в августе 2022 г. (55 проб).

Анализ методом ИНАА (инструментальный нейтронно-активационный анализ) проводился в ядерно-геохимической лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» им. Л.П. Рихванова на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ (методика измерений НСАМ ВИС № 510-ЯФ, аналитики – А.Ф. Судыко, Л.Ф. Богутская). Анализ содержания ртути в образцах выполнялся методом атомно-абсорбционной спектроскопии с термическим разложением на ртутном анализаторе «РА-915М» с приставкой «ПИРО-915+» (консультант – к.г.-м.н. Е.Е. Ляпина). Предел обнаружения Hg составляет 5 нг/г.

Для оценки перехода химических элементов из почвы в растения использовался коэффициент биологического поглощения. КБП является показателем, отражающим способность растений накапливать химические элементы из почвенной среды. Он используется для оценки степени биодоступности элементов и селективности их усвоения растительным организмом. Расчет КБП проводится по формуле:

$$A_x = \frac{C_{n(\text{зола})}}{C_{n(\text{почва})}}$$

где $C_{n(\text{зола})}$ – содержание химического элемента в золе растения (мг/кг), $C_{n(\text{почва})}$ – содержание химического элемента в горной породе или почве (мг/кг), на которой произрастает данное растение.

Результаты и их обсуждение

Анализ значений КБП, рассчитанных для 28 химических элементов в листьях тополя бальзамического на территории города Уфы, позволил выявить выраженные различия в степени накопления элементов растительным организмом.

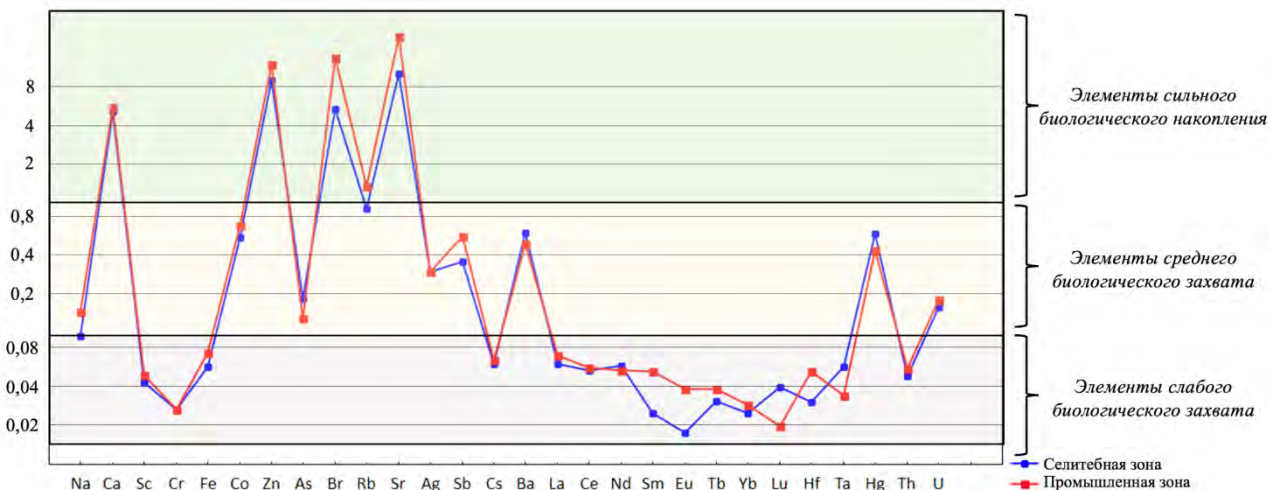


Рис. 1. График значений A_x для 28 химических элементов рассчитанные для листьев тополя бальзамического с территории г. Уфы

К категории сильного биологического накопления ($A_x > 1$) отнесены элементы Sr (20,3 ед.), Zn (10,0 ед.), Br (8,0 ед.), Ca (5,6 ед.) и Rb (1,1 ед.), что свидетельствует об их высокой подвижности в системе «почва-растение» и активном биологическом усвоении. Среди них особое внимание привлекают Sr и Br – элементы, способные накапливаться в значительных количествах даже при низких концентрациях в почве, что может быть связано как с биохимической

активностью, так и с особенностями условий урбанизированной среды.

Элементы с A_x в диапазоне от 0,1 до 1 ед. (среднего биологического захвата) включают Co, Hg, Ba, Sb, Ag, U, As и Na, чье поступление в растительные ткани ограничено, но все еще определяется биологическим спросом и степенью доступности в окружающей среде. Для остальных элементов – преимущественно редкоземельных, а также Fe, Cr, Cs, Ta и Th – значения $A_x < 0,1$, что указывает на слабый биологический захват и, вероятно, эффективное функционирование почвенных барьеров.

Также на основе сопоставления полученных данных по коэффициентам КБП в листьях тополя бальзамического на территории г. Уфа и результатов исследования, проведенного в г. Усть-Каменогорске с использованием листьев тополя черного (*Populus nigra* L., 1753) [1], можно отметить как сходства, так и различия в характере накопления химических элементов растениями. На обеих урбанизированных территориях были зафиксированы высокие значения КБП для биофильных элементов, таких как Ca, Zn, Sr, что отражает физиологическую потребность растений в этих элементах и их хорошую биодоступность. Однако, в Уфе наблюдается выраженное накопление Br (8,0 ед.), что не было характерно для Усть-Каменогорска и может быть связано с особенностями газообразного техногенного воздействия и атмосферного поступления бромсодержащих соединений.

Элементы Br и Rb демонстрируют сходные пространственные закономерности накопления в листьях тополя бальзамического на территории г. Уфа. Повышенные значения КБП по обоим элементам зарегистрированы в районах предприятий металлообработки, топливно-энергетической инфраструктуры города и на территории микрорайона Затон, где сосредоточены главные ТЭЦ города, включая Уфимские ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 и Затонскую ТЭЦ. Такая пространственная увязка может указывать на общую природу поступления этих элементов в окружающую среду. Br и Rb, в отличие от большинства тяжелых металлов, поступают в растения преимущественно через листовой аппарат из атмосферы, а не из почвы. В условиях эксплуатации теплоэнергетических объектов, работающих на природном газе, возможно высвобождение бромсодержащих и щелочных соединений в виде газообразных и мелкодисперсных аэрозольных форм, способных адсорбироваться на поверхности листьев или проникать внутрь через устьица. Таким образом, накопление Br и Rb в районах с высокой концентрацией энергетических объектов может рассматриваться как индикатор специфического состава выбросов, связанного с процессами сжигания природного газа при генерации тепловой и электрической энергии.

Заключение

Таким образом, установлено, что тополь бальзамический в условиях г. Уфа активно аккумулирует биофильные элементы Sr, Zn, Br, Ca и Rb ($A_x > 1$), что отражает их высокую подвижность и доступность в системе «почва-растение», а также особенности городской среды. Наибольший интерес представляет элемент Br, чье повышенное накопление, связано преимущественно с воздушным путем поступления.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема FSWW-2023-0010).

Литература

1. Ялалтдинова А.Р. Биологическое поглощение химических элементов в системе «почва-растение» (на примере тополя черного, г. Усть-Каменогорск) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 7–11 апреля 2014 г. – Томск : Изд-во ТПУ, 2014. – Т. 1.
2. Couch R.L., Basiliko N., Beaudette D. E. et al. Short-term effects of wood ash application on soil properties, growth, and foliar nutrition of *Picea mariana* and *Picea glauca* seedlings in a plantation trial // Canadian Journal of Soil Science. – 2020. – Vol. 101(2). – P. 203–215.

3. Tobler L., Kueffer J., Furrer V. et al. Bromine and iodine in the system “aerosol-plant” // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. – 1994. – Vol. 350. – P. 85–88.
4. Tozser D., Nagy N. E., Tamas J. et al. Heavy metal uptake by plant parts of Populus species: a meta-analysis // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Vol. 30(26). – P. 69416–69430.

УДК504.3.054 / 504.064.36

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ

Д.В. Гусак

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
vydigus@mail.ru*

INFLUENCE OF SOME FACTORS ON DISTRIBUTION OF PARTICULATE MATTER

D.V. Gusak

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia
vydigus@mail.ru*

Abstract. Чистый атмосферный воздух необходим для обеспечения нормальной жизнедеятельности живых организмов. В населенных пунктах чистота атмосферного воздуха оценивается посредством показателей качества, а поддержание высокого качества осложнено наличием множества источников выбросов и выделения. Существующая сеть мониторинга атмосферного воздуха позволяет оценить общее состояние, без детализации по отдельным микрорайонам. Более детальный мониторинг могут обеспечить малогабаритные приборы мониторинга, но необходимо учитывать специфику распространения загрязняющих веществ в условиях населенных пунктов.

Введение

Взвешенные частицы (ВЧ) являются распространенным загрязнителем атмосферного воздуха. Ввиду различного состава, данный загрязнитель способен оказывать негативное влияние на различные системы человеческого организма [2]. В населенных пунктах основными источниками ВЧ являются выбросы промышленных предприятий, автотранспорта, строительные и ремонтные работы, пожары и чрезвычайные или аварийные ситуации.

Для наблюдений за концентрациями загрязняющих веществ, в населенных пунктах устанавливают стационарные посты наблюдений, дополнительно применяют маршрутные и подфакельные наблюдения. К сожалению, в последнее время данных, поступающих с постов наблюдений, оказывается недостаточно. Кроме того, периодичность наблюдений, установленная РД 52.04.186-89 [3] недостаточна для оперативного наблюдения за развивающейся ситуацией в случае активного загрязнения, поступающего с определенного источника, либо новообразовавшегося. Согласно данным Западно-Сибирского управления гидрометеорологической службы, в г. Томске установлено 7 стационарных постов мониторинга, на которых проводят измерения 3 раза в сутки. Посты наблюдения позволяют проводить общую оценку загрязнения атмосферного воздуха в городе. Несмотря на соответствие количества постов мониторинга требованиям упомянутого ранее руководящего документа, у органов власти существует запрос и потребность на получение более детальных данных с более высокой оперативностью. Кроме того, текущее расположение постов уже не соответствует требованиям РД 52.04.186-89.

Материалы и методы

С целью усовершенствования существующей системы мониторинга, в ИМКЭС СО РАН было проведено исследование по разработке метода организации системы мониторинга атмосферного воздуха с применением малогабаритных приборов мониторинга. Одним из этапов исследования была оценка концентраций ВЧ при наличии влияющих на их распространение факторов. Измерения были проведены на территории академгородка г. Томска и на перекрестке пр. Фрунзе и пр. Комсомольского. Для измерения использовали измерители пыли, изго-

товленные в процессе исследования на основе ArduinoUno. Предварительно, для измерителей были проведены совместные измерения с сертифицированными анализаторами пыли «Атмас», в результате которой была выявлена погрешность до 25%, что соответствует требованиям ГОСТ 17.2.4.02–81 [1]. Однако, несмотря на это, результаты измерений рассматривались с точки зрения влияния рассматриваемого фактора, что проявлялось заметной усредненной разнице.

Результаты и их обсуждение

Измерения проводили при действии таких факторов как изменяющийся рельеф местности, наличие растений на пути распространения, разная интенсивность движения автотранспорта, наличие светофора. Дополнительно, проведены измерения при изменяющейся геометрии дороги. Результаты измерений приведены на рисунках 1 и 2. Над гистограммами надписаны величины стандартного отклонения концентраций на определенном участке.



Рис. 1. Результаты измерений при изменяющейся геометрии дороги и рельефе местности

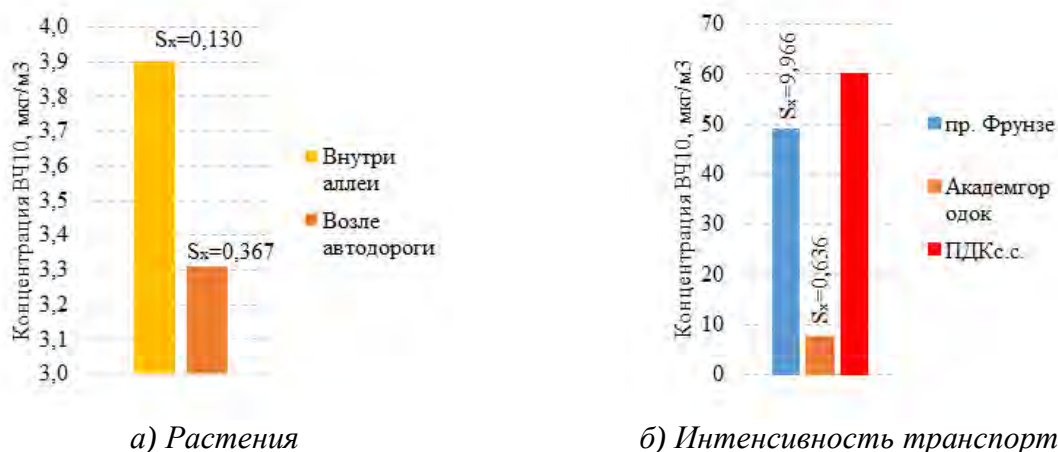


Рис. 2. Результаты измерений при наличии растений и разной интенсивности транспорта

Результаты измерений были подвергнуты оценке достоверности различий с целью подтверждения либо опровержения влияния рассматриваемых факторов. Результаты оценки сведены в таблицу 1.

Согласно полученным результатам, рассматриваемые факторы действительно оказывают влияние на распространение ВЧ, все кроме растений. Проведенная оценка достоверности показала, что на исследуемом участке фактор наличия растений проявлен недостаточно, т.е. растущие на участке деревья слабо задерживают загрязнение, поступающее от автомобиль-

ной дороги. Однако, согласно литературным данным [4], растения способны задерживать загрязнения и выступать продуваемым барьером, но при ином виде посадки.

Таблица 1. Оценка достоверности различий результатов измерений

Участок измерений	Проспект Академический	Ул. Юрия Ковалева	Проспект Академический	Пр. Фрунзе и пр. Академический
Влияющий фактор	Геометрия автодороги	Рельеф местности	Растения	Интенсивность транспорта
$T_{\text{крит}}$	1,98			
Минимальное $T_{\text{расч}}$	6,044	5,284	1,44	3,917
Достоверность различий	Достоверны	Достоверны	Недостоверны	Достоверны

В результате поворота автодороги концентрация $ВЧ_{10}$ увеличилась до 3,86 раз, в результате изменения рельефа местности – до 4,75 раз. Сравнение участок с интенсивностью движения автомобилей более чем в 2 раза (1100 против 500) показало отличие в концентрациях $ВЧ_{10}$ в 6,38 раз.

Заключение

При организации в населенных пунктах системы мониторинга на основе малогабаритных приборов, необходимо учитывать факторы, которые влияют на распространение взвешенных частиц. К таким факторам относятся роза ветров, рельеф местности, городская застройка, зеленые насаждения, интенсивность движения транспорта. Согласно проведенной оценке части указанных факторов, была подтверждена необходимость их учета при установке малогабаритных приборов мониторинга. Кроме того, для повышения качества проводимых измерений, необходимо разрабатывать собственные малогабаритные измерительные устройства.

Литература

1. ГОСТ 17.2.4.02–81. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ.. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 2 с.
2. Колпакова А.Ф., Шарипов Р.Н., Волкова О.А. et al. О роли загрязнения воздуха взвешенными частицами в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний. Меры профилактики // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2020. – № 19 (3). – С. 71–77.
3. РД 52.04.186–89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Взамен Руководства по контролю загрязнения атмосферы (Л. : Гидрометеиздат, 1979). – СПб. : Гидрометеиздат, 1991. – 694 с.
4. Рубцов Л.И., Лаптев А.А. Справочник по зеленому строительству : 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Будівельник, 1971. – 311 с.

УДК 556.3:540.4

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ УРАНА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.М. Дутова, А.Н. Никитенков, А.А. Балабаненко

Томский политехнический университет

dutova@tpu.ru

FEATURES OF URANIUM MIGRATION IN THE GROUNDWATER OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

E.M. Dutova, A.N. Nikitenkov, A.A. Balabanenko

Tomsk Polytechnic University

dutova@tpu.ru

Аннотация. В работе приведены результаты изучения содержания урана в природных водах юга Западной Сибири. Методом физико-химического компьютерного моделирования проведен анализ форм миграции урана в различных геохимических условиях, с составом воды, открытым по CO_2 при Т и Р, соответствующих условиям приповерхностных водоносных горизонтов. В различных геохимических условиях уран ведет себя в водах по-разному, что обусловлено в основном изменением Eh раствора и временем взаимодействия в системе.

При выполнении работы использована информация о составе и ураноносности подземных вод нижнемелового и юрского водоносных комплексов из производственных отчетов В.Г. Иванова. Для сравнительной характеристики привлекалась информация по гидрогеохимии урана представленная в опубликованных работах А. К. Лисицина [4], В. Н. Гуськовой [2]. Целью проводимых исследований явилось изучение количественных содержаний урана, а также форм миграции урана. Для выполнения обработки использовался пакет EXCEL, где реализованы различные методы статистического анализа данных. В результате обобщения фактического материала были получены данные по содержаниям урана в природных водах юго-восточной окраины Западно-Сибирского артезианского бассейна. В ходе работ рассматривались поверхностные воды, а также подземные воды четвертичного, палеогенового и мелового водоносных горизонтов. В целом, содержание урана в природных водах колеблется в значительных пределах ($0,046 \div 24$ мкг/л), значительно варьируя в зависимости от геохимических условий. Содержание урана в поверхностных водах изменяется от 0,29 до 0,55 мкг/л и в среднем составляет 0,42 мкг/л. Изучаемые воды палеогеновых отложений в среднем содержат 0,126 мкг/л урана, варьируя в пределах от 0,046 до 1,1 мкг/л, а воды меловых отложений – 0,223 (в пределах от 0,046 до 1,1 мкг/л), что значительно ниже кларковых значений, составляющих 0,99–1,19 и позволяет говорить о том, что в целом данные воды ураном не обогащены. Воды четвертичного водоносного горизонта, характеризуются наибольшим содержанием урана и имеют окислительную обстановку ($E_h=135$), что согласуется с данными А.И. Перельмана, согласно которым наибольшая миграционная способность урана характерна именно для вод с окислительной обстановкой. Окислительно-восстановительная обстановка данных вод – нейтральная, рН данных вод составляет порядка 7,2. Воды меловых отложений характеризуются средними содержаниями урана порядка 0,223 мкг/л, минерализация вод характеризуется значениями от 0,5 до 35 г/л. Наибольшие содержания урана (порядка 1–2 мкг/л) наблюдаются в районе Крапивинского, Игольско-таловского и Чкаловского месторождений углеводородов.

Обобщенные данные по содержанию урана в природных водах представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание урана в природных водах юго-восточной окраины Западно-Сибирского артезианского бассейна

	Поверхностные воды	Подземные воды		
		Четвертичных отложений	Палеогеновых отложений	Меловых отложений
М, мг/л	<u>178–300</u> 239	940	<u>344–1097</u> 596	<u>255–18924</u> 5246
pH	<u>7,6–7,7</u> 7,65	<u>7,2–7,4</u> 7,3	<u>6–8,1</u> 7,15	<u>6,35–8,95</u> 7,57
Eh, мВ	<u>50–181</u> 93	<u>–15–135</u> 60	<u>–74–108</u> –32	<u>–184–(–24)</u> –96
U, г/л · 10 ⁻⁷	<u>2,9–5,5</u> 4,2	<u>11–240</u> 126	<u>0,6–7,3</u> 1,26	<u>0,46–11</u> 2,23
Число проб	4	2	21	8
Число проб с содержанием U > 1·10 ⁻⁶ г/л, %	0	100	9,5	37,5

Расчет форм миграции химических элементов производился при помощи авторского комплекса физико-химического моделирования HydroGeo, разработанного М.Б. Букаты [1, 3, 5, 6].

В данной работе миграция урана изучается в подземных водах верхних горизонтов юго-восточной окраины Западно-Сибирского артезианского бассейна. Следует отметить, что изучаемые воды отличаются разнообразием гидрохимических параметров, таких как, минерализация, водородный показатель, окислительно-восстановительный потенциал, а также содержание макро и микрокомпонентов. Определенный набор этих параметров будет определять присутствие тех или иных форм химического элемента в природных водах, а также их процентное соотношение. Обобщенные данные по формам миграции урана в природных водах представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика форм миграции урана в природных водах, %

Формы U		Соотношение форм миграции U в природных водах, %			
		Поверхностные воды	Подземные воды		
			Четвертичных отложений	Палеогеновых отложений	Меловых отложений
U ⁶⁺	(UO ₂ (CO ₃) ₃) ⁴⁻	18	59	40	47
	(UO ₂ (CO ₃) ₂) ²⁻	82	41	46	21
	UO ₂ CO ₃	–	–	1	–
U ⁴⁺	(U(OH) ₃) ⁺	–	–	13	32

Полученные результаты указывают на то, что в водах изученных горизонтов находится преимущественно шестивалентный уран, т.е. преобладают формы карбонатных комплексов, т.е. (UO₂(CO₃)₂)²⁻, (UO₂(CO₃)₃)⁴⁻. На эти формы приходится от 99,8% в водах мелового водоносного горизонта, до 67% в четвертичном водоносном горизонте от общего спектра форм урана в изучаемых водах. Намечается тенденция увеличения содержания форм карбонатных комплексов с глубиной. В результате чего можно сделать вывод, что карбонатные комплексы

урана образуются в зоне пассивного водообмена при окислительной обстановке.

В водах палеогенового водоносного горизонта, где окислительно-восстановительная обстановка становится менее окислительной и более восстановительной появляется гидроксокомплекс четырехвалентного урана (13,33%). Хотя наибольшая часть в соотношении форм миграции по-прежнему принадлежит комплексам шестивалентного урана. В четвертичном водоносном горизонте содержание $U(OH_3)^+$ увеличивается, но он все еще не является преобладающим.

Большое влияние на миграцию урана оказывают pH, Eh, M. Изменение минерализации очень сильно влияет на формы миграции урана в природных водах.

Обобщенные данные по влиянию минерализации на форму миграции урана в природных водах представлены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние минерализации на формы миграции урана

Формы U Соединение урана		Минерализация воды, г/л	
		<10	>10
		Соотношение форм миграции U в природных водах, %	
U ⁶⁺	$(UO_2(CO_3)_3)^{4-}$	50	13
	$(UO_2(CO_3)_2)^{2-}$	43	5
	UO_2CO_3	1	–
U ⁴⁺	$(U(OH)_3)^+$	6	82

Усредненные данные по формам миграции урана в природных водах при различных значениях Eh представлены в таблице 4.

Таблица 4. Влияние Eh природных вод на формы миграции урана

Формы U Соединение урана		Eh природных вод, мВ	
		>0	<0
		Соотношение форм миграции, % U в природных водах, %	
U ⁶⁺	$(UO_2(CO_3)_3)^{4-}$	45	24
	$(UO_2(CO_3)_2)^{2-}$	36	72
	UO_2CO_3	–	4
U ⁴⁺	$(U(OH)_3)^+$	19	–

Самые большие содержания урана попадают в область нейтральных вод, т.е pH от 6,9 до 7,2. при изменении pH в область кислых или щелочных вод происходит закономерное уменьшение содержания урана в природных водах.

Изменение соотношения форм миграции урана при изменении pH имеет сложную закономерность. Общие данные по формам миграции урана представлены в таблице 5.

Таблица 5. Влияние pH природных вод на формы миграции урана

Формы U Соединение урана		pH природных вод	
		Нейтральная	Щелочная
		Соотношение форм миграции, % U в природных водах, %	
U ⁶⁺	$(UO_2(CO_3)_3)^{4-}$	30	45
	$(UO_2(CO_3)_2)^{2-}$	50	39
	UO_2CO_3	–	16
U ⁴⁺	$(U(OH)_3)^+$	20	–

Литература

1. Букаты М.Б. Рекламно-техническое описание программного комплекса HydroGeo. – М. : ВНТИЦ, 1999. – 5 с.
2. Гуськова В.Н. Уран. Радиационно-гигиеническая характеристика. – М. : Атомиздат, 1972. – 216 с.
3. Дутова Е.М., Никитенков А.Н. Физико-химическое моделирование поведения урана в системе «Вода гранитоиды» // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 330. – С. 202–207.
4. Лисицин А.К. Гидрогеохимия рудообразования (на примере экзогенных эпигенетических урановых руд). – М. : Недра, 1975. – 248 с.
5. Dutova E.M., Nikitenkov A.N., Kuzevanov K.I. The hydrogeo software package and its usage // E3S Web of Conferences. — 2019. — Vol. 98: 16th International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16) and 13th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (1st IAGC International Conference) : Tomsk, 2019. — Art. No. 04005.
6. Parnachev V.P., Dutova E.M., Nikitenkov A.N. et al. Modelling of the dissolution and reprecipitation of uranium under oxidising condition in the zone of shallow groundwater circulation // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 178–179. – P. 63–76. doi: 10.1016/j.jenvrad.2017.07.016.

УДК 550.424.4

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЕВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОДУКТАХ ГОРЕНИЯ
БИООБЪЕКТОВ**

И.С. Журкова, Б.Л. Щербов

*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
zhurkova@igm.nsc.ru*

**DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN COMBUSTION PRODUCTS
OF BIOOBJECTS**

I.S. Zhurkova, B.L. Shcherbov

*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch RA, Novosibirsk, Russia
zhurkova@igm.nsc.ru*

Abstract. Лесные пожары приводят к загрязнению атмосферы, способствуют переносу аэрозолей на большие расстояния, приводят к изменению свойств почвенно-растительного покрова, эрозии земель и последующему загрязнению водоемов. Количественные выбросы токсичных элементов при сгорании биообъектов могут варьироваться в зависимости от вида растений и условий протекания лесного пожара. Было проведено сжигание мхов, лишайников, хвои сосны на полевой установке и получены их продукты горения. В продуктах горения определены содержания химических элементов. Показано, что большая часть As и Hg выносятся в атмосферу при горении всех изучаемых биообъектов. Количественный вынос Cd при горении мха и хвои сосны составляет 35 и 62%, соответственно.

Введение

Лесные пожары приводят к загрязнению атмосферы, способствуют переносу аэрозолей на большие расстояния [7], приводят к изменению свойств почвенно-растительного покрова [3], эрозии земель и последующему загрязнению водоемов [2]. Нриагу [6] подсчитал, что глобальные выбросы токсичных элементов при лесных пожарах и сжигании биомассы составляют 1900 т Pb, 7600 т Zn, 3800 т Cu, 190 т As и 110 т Cd. Содержания химических элементов могут увеличиваться или уменьшаться в золе, полученной при горении почвенно-растительного покрова, в зависимости от их температур кипения (испарения) [5]. Температуры лесных пожаров достаточны для возгонки Hg (100 – 200 °C) и разложения комплекса Hg–гуминовая кислота (200 – 300 °C) [3]. Основной вынос As происходит при 300 – 500 °C [4], Cd, Cu, Pb и Zn – высвобождаются при температуре в диапазоне 550 – 600 °C [7]. Вынос элементов происходит преимущественно в составе сажисто-смолистого материала, аэрозольных частиц и частично в составе зольного материала. Зола очень мобильна, ее удаление с выжженного участка происходит с ветром и водой [7]. Различная интенсивность пожара приводит к различным геохимическим формам и химическому поведению элементов в золе, что в свою очередь может влиять на их растворимость в воде [7].

Распределение химических элементов и их содержание в продуктах горения варьируется в зависимости от интенсивности огня и вида лесных горючих материалов (ЛГМ), сгораемых при пожаре. Для хвои ели, сосны, кедра, пихты, лиственницы – с вероятностью 0,75 кинетика пиролиза идентична [1]. Аналогично лишайник и мох Шребера, а у мха сфагнума кинетические параметры резко отличаются от остальных ЛГМ. Так же процесс (сушка или пиролиз) зависит от части растения – в приповерхностных слоях вещества веточки может начинаться пиролиз, а в окрестности оси симметрии может происходить сушка [1].

Цель работы – изучить распределение химических элементов в продуктах горения мхов, лишайников и хвои сосны.

Материалы и методы

Продукты горения (зольный и сажисто-смолистый материалы, аэрозольные частицы в составе жидкого конденсата) мха, лишайника, хвои сосны были получены на полевой установке (рис.1). Эксперимент состоял в следующем: в почвенном углублении разводился огонь, на который ставили экран с пробой. Под действием нагревания проба активно тлела, из нее выделялись дымовые газы. Сажа осаждалась на колпаке, а также собиралась на стекла размером 3 на 7 см, в барботер уходил дым, который конденсировался в барботере. После сгорания пробы конденсат сливался в стеклянную пробирку. Сажа с колпака тщательно собиралась, а с экрана собиралась зола, оставшаяся после сжигания пробы.

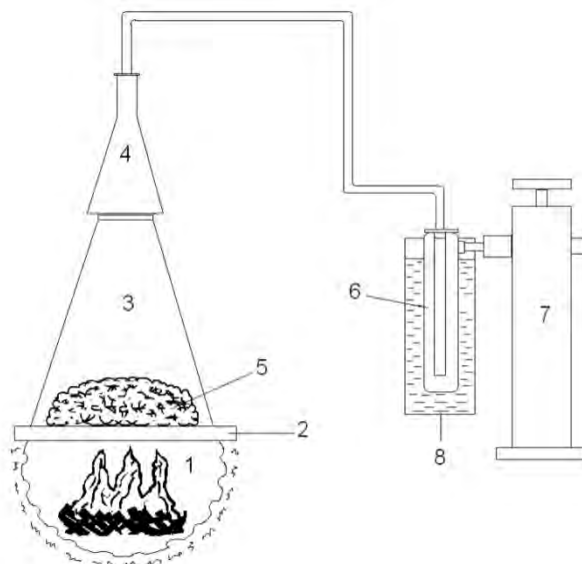


Рис. 1. Схема получения продуктов горения при сжигании компонентов биогеоценоза:
1 – топка; 2 – эмалированный поддон; 3 – металлический конус; 4 – конус – уловитель дыма;
5 – исходный материал; 6 – барботер; 7 – обратный насос; 8 – охладитель

Для определения содержания химических элементов (Cd, As, Pb, Ni, Cu, Zn, Mn) в продуктах горения применяли масс-спектрометрический метод с индуктивно связанной аргонной плазмой. Замеры проводили на масс-спектрометре высокого разрешения Elan-DRC-e (Химико-аналитический центр «Плазма», Томск).

Разложение проб для масс-спектрометрического анализа проводилось согласно методике МУК 4.1.1483-03. Навески проб массой 0,10 г помещались во фторопластовый цилиндр и добавлялось 5 мл HNO_3 конц. Разложение проб проводилось в микроволновой системе разложения со встроенным бесконтактным датчиком температуры и давления BERGHOF. Растворенные пробы количественно переносились в мерную полипропиленовую пробирку и анализировались.

Для снижения ошибки измерения проводились как из разбавленных растворов проб, так и из неразбавленных. Для контроля точности анализа использовались стандартные образцы состава травосмеси Тр-1, листа березы ЛБ-1, элодеи канадской ЭК-1. Ошибка определения не превысила 10 %.

Результаты и их обсуждение

Зольность (табл. 1) мха, лишайника, хвои сосны составила 10, 8, 8% соответственно, при температуре горения, достигающей 600°C .

Оптическое изучение сконденсировавшегося на стекле материала показало, что он представляет собой сажистое вещество для мха и лишайника и сажисто-смолистое вещество для хвои

сосны. В золе, полученной при сжигании мха, лишайника, хвои сосны содержание Hg не превышает 3%, содержание As составляет менее 1%, что говорит о практически полном выносе этих элементов в составе сажистых и аэрозольных частиц. Содержание Cd в зольных материалах, полученных после сжигания мха и хвои сосны составляет 35 и 62% соответственно. При сжигании лишайника его содержание не изменяется. При сжигании хвои сосны содержание Pb в золе составляет 28%, содержание Zn – 96%, такие значения свидетельствует о том, что Zn практически не выносятся при температурах, соответствующих низовому пожару.

Таблица. 1. *Масса исходных проб и золы, зольность биообъектов.*

Биообъект	Масса исходная, гр.	Масса золы	Зольность, %
Мох	3000	300	10
Лишайник	2200	176	8
Хвоя сосны	3200	96	8

Заключение

В результате экспериментов выявлены ярко выраженные мигранты (As, Hg) большая часть которых выносятся при горении всех изучаемых растительных компонентов в составе сажистого материала или аэрозольных частиц.

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№122041400193-7)
при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации. Аналитические исследования проведены
в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследованиях СО РАН.*

Литература

1. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск : Наука, 1992. – 407 с.
2. Abraham J., Dowling K., Florentine S. Assessment of potentially toxic metal contamination in the soils of a legacy mine site in Central Victoria, Australia // Chemosphere. – 2018. – Vol. 192. – P. 122–132.
3. Campos I., Vale C., Abrantes N. et al. Effects of wildfire on mercury mobilisation in eucalypt and pine forests // Catena. – 2015. – Vol. 131. – P. 149–159.
4. Cuypers F., de Dobbelaere C., Hardy A. et al. Thermal behaviour of arsenic trioxide adsorbed on activated carbon // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Vol. 166(2-3). – P. 1238–1243.
5. Melendez-Perez J.J., Fostier A.H., Carvalho J.A. et al. Soil and biomass mercury emissions during a prescribed fire in the Amazonian rain forest // Atmospheric Environment. – 2014. – Vol. 96. – P. 415–422.
6. Nriagu J.O. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals // Nature. – 1989. – Vol. 338(6210). – P. 47–49.
7. Tuhy M., Ettler V., Rohovec J. et al. Metal (loid) s remobilization and mineralogical transformations in smelter-polluted savanna soils under simulated wildfire conditions // Journal of Environmental Management. – 2021. – Vol. 293. – Art. No. 112899.

УДК 581.192:630*114.351 (470.21)

**ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА
СТАРЕЮЩЕЙ И ОПАДАЮЩЕЙ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ
ПРИ АЭРОТЕХНОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ
Е.А. Иванова¹, Т.А. Сухарева¹, В.Э. Смирнов²**

¹*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия
ea.ivanova@ksc.ru*

²*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия
vesmirnov@gmail.com*

**AGE DYNAMICS OF ELEMENTS OF SCOTS PINE SENESCENT AND FALLING
NEEDLES IN THE NORTHERN TAIGA PINE FORESTS
UNDER INDUSTRIAL AIR POLLUTION**

E.A. Ivanova¹, T.A. Sukhareva¹, V.E. Smirnov²

¹*Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Apatity, Russia
ea.ivanova@ksc.ru*

²*Center for Forest Ecology and Productivity RAS, Moscow, Russia
vesmirnov@gmail.com*

Abstract. Изучена возрастная изменчивость элементного состава хвои (зеленой стареющей, бурой и опавшей) *Pinus sylvestris* L. в северотаежных сосновых лесах при воздушном загрязнении в Мурманской области. Результаты V-test демонстрируют общую картину вне зависимости от уровня загрязнения: снижение концентрации N, P, K и увеличение Fe и Zn по мере отмирания хвои связаны с естественными процессами оттока подвижных и накопления малоподвижных элементов, что свидетельствует о наличии адаптационных механизмов у сосны обыкновенной при высоких уровнях техногенного воздействия.

Введение

Лесные экосистемы центральной части Мурманской области находятся под влиянием многолетнего воздушного загрязнения со стороны крупнейшего в Северной Европе источника выбросов тяжелых металлов и SO₂ – медно-никелевого комбината «Североникель». Хвоя сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. чувствительна к воздушному загрязнению, что позволяет использовать ее как индикатор для оценки состояния лесных экосистем [8, 11, 13]. Элементный состав наиболее изучен для молодых и самых физиологически активных групп хвои [6-7, 11], а также для опада, который выступает в роли переносчика элементов от древесных растений в почву [2, 10, 13]. Изучение динамики элементного состава стареющей хвои сосны, переходящей в опад, позволит более полно оценивать потоки элементов и связь древесного яруса и почв в биогеохимических циклах в лесных экосистемах в условиях промышленного загрязнения. Цель работы: выявить особенности изменения химического состава стареющей зеленой, бурой и опавшей хвои сосны в возрастной динамике под влиянием аэро-техногенного загрязнения в сосновых северотаежных лесах на территории Мурманской области (Россия).

Материалы и методы

Исследования проводились на мониторинговых площадках Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН в сосняках кустарничково-лишайниковых, произрастающих на иллювиально-железистых подзолах (Rustic podzols). Площадки расположены на разном удалении по направлению распространения загрязнения в ЮЮЗ направлении от комбината «Североникель», в соответствии с состоянием растительности представляют собой различные стадии дигрессионной сукцессии: техногенные редколесья (Tr, 10 км), дефолирующие

леса (Дф, 31 км) и леса в фоновых условиях (Фн, 175 км) [4].

Сбор материала проводили в соответствии с международной методикой ICP-Forests. Ветки с живой хвоей отбирались из верхней трети кроны в 5–15-кратной повторности в конце вегетационного периода, древесный опад собирался круглогодично с помощью опадоуловителей. В работе представлены данные состава хвои последних лет жизни (4–7 годов жизни), бурой хвои (не опавшей), а также опада хвои за период 1993–2019 гг. Концентрации металлов (К, Fe, Zn, Cu, Ni) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии, общее содержание N – методом Кьельдаля, P – методом колориметрии. Влияние воздушного загрязнения и возрастную изменчивость состава хвои оценивали с применением метода V-test [9] в среде статистического программирования R. Степень влияния факторов на параметры состава оценивали по величине коэффициента детерминации R^2 .

Результаты и их обсуждение

Дисперсионный анализ данных демонстрирует достоверные изменения содержания Zn, Fe, Ni, Cu ($R^2=0.4\div0.9$; $p<0.05$) для всех возрастных групп хвои под влиянием загрязнения. V-test показал, что во всех группах хвои содержание Zn снижалось по мере приближения к источнику загрязнения в 2–4 раза (рис. 1), тогда как содержание Fe, Ni, Cu увеличивалось в 3, 100–150 и 30–38 раз, соответственно, по сравнению с фоном ($p<0.05$), что связано с повышением доступности для растений соединений тяжелых металлов в почвах при загрязнении и дополнительным поступлением металлов из эмиссий. Снижение содержания Zn в хвое и опаде в условиях техногенного стресса, вероятно, связано как с его низкими концентрациями в органогенных горизонтах почв, так и с проявлением антагонизма между Zn и тяжелыми металлами [3, 4, 6].

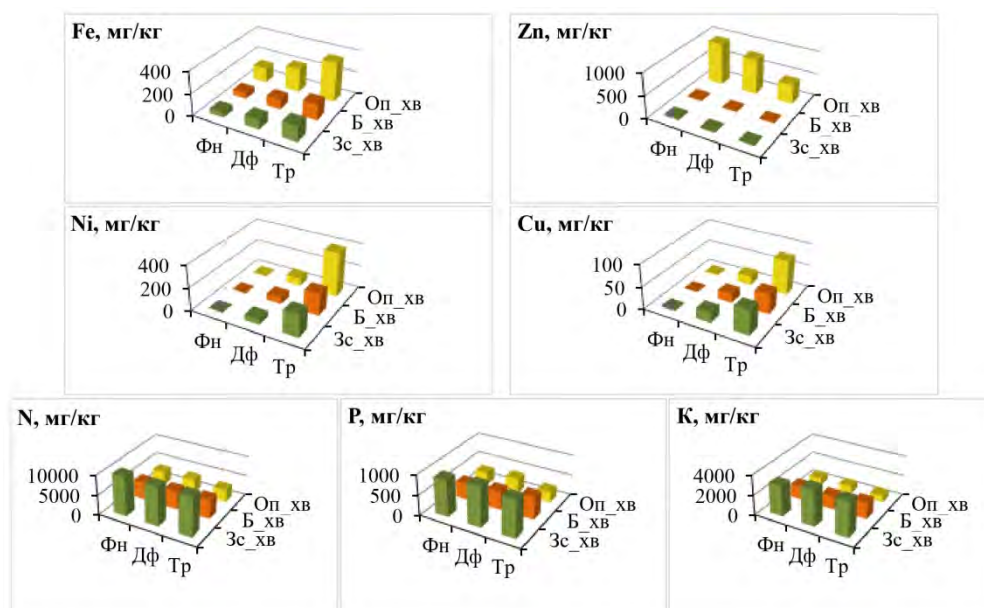


Рис. 1. Возрастная изменчивость содержания элементов в стареющей и опадающей хвое на разных стадиях дигрессии. Фн – фоновая территория, Дф – дефолирующие леса, Тр – техногенные редколесья, Зс_хв – зеленая стареющая хвоя, Б_хв – бурая хвоя, Оп_хв – опад хвои

Возрастная изменчивость состава хвои сосны как в фоновых условиях, так и в лесах на разных стадиях дигрессии наиболее ярко проявилась для К, Р, N, Fe, Zn, Ni ($R^2=0.3\div0.9$; $p<0.05$). Результаты V-test показали, что во всех изученных древостоях концентрации N, Р, К были выше в зеленой стареющей хвое и линейно снижались в 2–5 раз к опадению хвои. Напротив, содержание Fe было в 2–3 раза выше в опаде. Наибольшие различия наблюдались для Zn: концентрации цинка в опавшей хвое были выше, чем в хвое на деревьях в 20–54 раза.

Отток подвижных элементов питания и накопление менее подвижных – естественные процессы, наблюдаемые чаще на примере более молодой хвои [4, 7, 11]. Наблюдаемое нами сохранение природной тенденции процессов оттока подвижных N, P и K вне зависимости от уровня загрязнения может говорить о наличии адаптивной стратегии у сосны обыкновенной и существовании механизма поддержания гомеостаза за счет перераспределения элементов [5].

Резкое повышение содержания Zn перед опадением в условиях загрязнения наблюдалось и у других авторов [12]. Известно, что фитотоксичным для растений считаются концентрации цинка 100–400 мг/кг [3]. Валовое содержание в зеленой и бурой хвое в нашем исследовании не превышает этих значений (12–46 мг/кг), тогда как в опаде наблюдается уже значительно превышение токсических концентраций (427–941 мг/кг). Можно предположить, что это проявление природного механизма иммобилизации в опадающей хвое токсичного для растений Zn для удаления его с опадающей хвоей [1].

Заключение

Аэротехногенное загрязнение в северотаежных сосновых лесах в Мурманской области приводит к усиленному накоплению тяжелых металлов в хвое и опаде *Pinus sylvestris* L. При этом возрастная динамика состава хвои старшего возраста и опада имеет общие особенности вне зависимости от уровня загрязнения. Линейное уменьшение концентраций элементов питания (N, P, K) и выраженный рост содержания Fe и Zn во всех древостоях по мере отмирания хвои свидетельствует о наличии адаптивных механизмов у сосны обыкновенной, позволяющих поддерживать тенденции природных процессов даже при высоких уровнях техногенного воздействия.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИППЭС КНЦ РАН (№ 1023032200043-6)
и ЦЭПЛ РАН (№ 124013000750-1).

Литература

1. Баргалы Р. Биогеохимия наземных растений. – М. : Геос, 2005. – 457 с.
2. Иванова Е.А. Формирование и разложение древесного опада в сосновых лесах на северном пределе распространения при аэротехногенном загрязнении : дис. ... канд. биол. наук. – М., 2022. – 114 с.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
4. Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1998. – 316 с.
5. Сазонова Т.А. Эколого-физиологическое исследование реакции хвойных растений Северо-запада России на воздействие природных и антропогенных факторов : автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Петрозаводск, 2006. – 311 с.
6. Сухарева Т.А., Лукина Н.В. Минеральный состав ассимилирующих органов хвойных деревьев после снижения уровня атмосферного загрязнения на Кольском полуострове // Экология. – 2014. – № 2. – С. 97–104.
7. Торлопова Н.В., Робакидзе Е.А. Химический состав хвои сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения Сыктывкарского лесопромышленного комплекса // Сибирский экологический журнал. – 2012. – № 3. – С. 415–422.
8. Alaoui H.A.A., Ozer Genc C., Aricak B. et al. The possibility of using Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles as biomonitor in the determination of heavy metal accumulation // Applied Ecology and Environmental Research. – 2020. – Vol. 18(2). – P. 3713–3727.
9. Husson F., Le S., Pages J. Exploratory multivariate analysis by example using R : 2nd ed. – London : Chapman & Hall/CRC Press, 2017. – 248 p.
10. Jonczak J., Parzych A. The content of heavy metals in the soil and litterfall in a beech-pine-spruce

- stand in northern Poland // Archives of environmental protection. – 2014. – Vol. 40 (4). – P. 67–77.
11. Lamppu J., Huttunen S. Relations between Scots pine needle element concentrations and decreased needle longevity along pollution gradients // Environmental Pollution. – 2003. – Vol. 122. – P. 119–126.
 12. Tuna G., Falay E.O., Altioek H. et al. Investigation of spatial variation of air pollution around an industrial region using trace elements in tree components // IJCEBS. – 2013. – Vol. 1(2).
 13. Ukonmaanaho L., Merila P., Nojd P., Litterfall production and nutrient return of the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland // Boreal Environment Research. – 2008. – Vol. 13 (Suppl. B). – P. 67–91.

УДК: 502/504

ДИНАМИКА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ И ПЕРЕДВИЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ

ПО РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

И.Д. Кара-Сал, С.К. Кужугет

*Центр биосферных исследований, г. Кызыл
irinakarasal@mail.ru, ksayana2017@yandex.ru*

ANALYSIS OF EMISSIONS OF POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERE FROM STATIONARY AND MOBILE SOURCES IN THE REPUBLIC OF TYVA

I.D. Kara-Sal, S.K. Kuzhuget

*Center for Biosphere Research, Kyzyl
irinakarasal@mail.ru, ksayana2017@yandex.ru*

Аннотация. Сегодня одной из экологических проблем остается вопрос загрязнения атмосферного воздуха в урбанизированных территориях. В связи с этим нами поставлена цель – провести сравнительный анализ результатов 5-летнего мониторинга выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и передвижных источников, зафиксированных в Республике Тыва. Сравнительный анализ динамики выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух за период 2019–2023 гг. показал, что выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников загрязнения с каждым годом увеличивается, а от передвижных источников уменьшается. Выявлено, что основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха Республики Тыва от стационарных источников загрязнения вносят твердые вещества, оксид углерода и оксиды азота, а от передвижных – оксид углерода и оксиды азота.

Введение

В современном мире загрязнение атмосферного воздуха стало одной из наиболее серьезных экологических проблем, особенно в урбанизированных территориях. Основными источниками загрязнения являются выбросы вредных веществ, как от стационарных, так и от передвижных источников. Наибольшее количество загрязняющих веществ концентрируется вблизи этих источников, после чего они оседают на почву и попадают в водные объекты, что приводит к их загрязнению. Основной вклад в это загрязнение вносят выбросы автотранспорта, энергетического комплекса и промышленных предприятий. Согласно данным 2024 года, в Республике Тыва зарегистрировано около 70 000 транспортных средств, что является значительным увеличением по сравнению с предыдущими годами, когда их количество составляло всего 50 000. Особенно заметен рост числа автомобилей в пределах Кызылской агломерации, что подчеркивает актуальность данной проблемы [6]. В связи с этим, сравнительный анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Республики Тыва от стационарных и передвижных источников становится крайне важным.

Республика Тыва расположена в географическом центре Азии, на юге Восточной Азии. Границы республики на западе, севере и востоке проходят по водораздельным хребтам, на юге – по приподнятым равнинам и предгорьям и совпадают с государственной границей Российской Федерации [5].

Материалы и методы исследования

Для исследования состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, поступающих от стационарных и передвижных источников за последние пять лет (2019–2023 гг.), был применен статистический метод. На основе собранных данных проведен детальный анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Республики Тыва.

Результаты и обсуждения

Согласно отчету о состоянии и охране окружающей среды Республики Тыва, общий объем выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от стационарных источников за последние пять лет (2019–2023 гг.) варьировался от 4277 до 9188 тонн. В то же время, выбросы от передвижных источников составили от 3265 до 5560 тонн [1–4]. Эти данные подчеркивают значительное влияние как стационарных, так и передвижных источников на качество атмосферного воздуха в регионе.

Динамика выбросов от стационарных источников. Анализ динамики выбросов наиболее распространенных загрязняющих веществ от стационарных источников (табл. 1) показывает, что наибольшее количество выбросов в республике было зафиксировано в 2023 г. – 9188 тонн, тогда как наименьшее значение наблюдалось в 2019 г. – 4277 тонн. Таким образом, можно отметить устойчивый рост объемов выбросов от стационарных источников в течение рассматриваемого периода. Из представленных данных видно, что выбросы твердых веществ, оксида углерода и оксидов азота имеют наибольшие значения, тогда как выбросы диоксида серы и углеводородов (включая летучие органические соединения) находятся на более низком уровне. Это может указывать на необходимость более строгого контроля и регулирования именно этих видов загрязняющих веществ.

Динамика выбросов от передвижных источников. Что касается динамики выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников (табл. 1), то максимальный уровень выбросов был зафиксирован в 2020 г. – 5560 тонн, в то время как минимальное значение наблюдалось в 2022 г. – 3265 тонн. Начиная с 2020 г., выбросы загрязняющих веществ от передвижных источников значительно снизились, что может быть связано с различными факторами, включая меры по улучшению экологической ситуации и возможные изменения в транспортной политике региона. Данные демонстрируют, что выбросы оксида углерода и оксидов азота остаются на достаточно высоком уровне, что требует внимания и разработки эффективных мер по их сокращению. В то же время, снижение общего объема выбросов от передвижных источников в последние годы может свидетельствовать о положительных изменениях в области экологии и транспорта в республике.

Таблица 1. Динамика выбросов наиболее распространенных загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников по Республике Тыва за 5 лет (2019–2023 гг.)

Годы	Твердые вещества	Диоксид серы	Оксид углерода	Оксиды азота (в пересчете на NO ₂)	Углеводороды с учетом ЛОС (исключая метан)	Всего, тонны
от стационарных источников, тонн						
2019	1551	500	1418	720	86	4277
2020	1684	601	1575	739	94	4692
2021	2129	689	2242	991	163	6 217
2022	2825	1180	2314	1658	122	8100
2023	2588	1260	2 666	2535	138	9188
от передвижных источников, тонн						
2019	50	60	2970	1480	450	5010
2020	50	70	3300	1650	490	5560
2021	30	70	1840	1260	280	3480
2022	29	65	1750	1196	225	3265
2023	28	65	1916	1189	262	3460

Выводы

По результатам проведенного исследования установлено, что выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников неуклонно увеличиваются с каждым годом, тогда как выбросы от передвижных источников демонстрируют тенденцию к снижению. Уменьшение объема выбросов от автомобильного транспорта может быть связано с рядом мер, принятых на государственном уровне, направленных на улучшение экологической ситуации. В частности, это включает ограничения на ввоз подержанных автомобилей, которые зачастую не соответствуют современным стандартам по выбросам, а также повышение требований к качеству углеводородного топлива.

Таким образом, можно сделать вывод, что основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха Республики Тыва вносят стационарные источники, в частности выбросы твердых веществ, оксида углерода и оксидов азота.

В то же время от передвижных источников наибольшее количество загрязняющих веществ составляют оксид углерода и оксиды азота. Это подчеркивает необходимость дальнейших усилий по контролю и снижению уровня загрязнения воздуха как со стороны стационарных, так и передвижных источников. Эффективные меры могут включать модернизацию производственных процессов, внедрение новых технологий очистки выбросов и развитие общественного транспорта для снижения зависимости от личных автомобилей.

Литература

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Тыва за 2019 год. – Кызыл, 2020. – С.8–12.
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва за 2020 год. – Кызыл, 2021. – С.8–12.
3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва за 2022 год. – Кызыл, 2023. – С.8–12.
4. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва за 2023год. – Кызыл, 2024. – С.8–12.
5. Самбуу А.Д., Красноборов И.М., Севастьянов В.В. и др. Природные ресурсы Республики Тыва. – Новосибирск : Гарамонд, 2018. – Т. 1.– 488 с.
6. Транспорт и дороги в Туве: Итоги 2024 года [Электронный ресурс]. – URL: <https://tmgnews.ru/novosti/transport-i-dorogi-v-tuve-itogi-2024-goda> (дата обращения 28.04.2024).

УДК 504.3.054

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В УСТЬЯХ РЕК БЕЛОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ

Е.И. Котова¹, Д.П. Стародымова¹, О.П. Нецветаева¹, А.С. Лохов¹, К.В. Титова²

¹Институт океанологии им. П.П. Шишова, Москва, Россия

kotova.ei@ocean.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова УрО РАН, Архангельск
Россия, *ksyu_sev@mail.ru*

GEOCHEMICAL FEATURES OF SNOW COVER IN THE ESTUARIES OF THE WHITE AND BARENTS SEA RIVERS

E.I. Kotova¹, D.P. Starodymova¹, O.P. Netsvetaeva¹, A.S. Lokhov¹, K.V. Titova²

¹Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

kotova.ei@ocean.ru

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research Ural Branch of RAS, Arkhangelsk, Russia
ksyu_sev@mail.ru

Abstract. В работе рассматриваются результаты анализа талого снега в заливах и устьях рек Баренцева и Белого морей. Отмечено влияние морского аэрозоля, которое проявляется в увеличении минерализации и pH талого снега. В результате антропогенной деятельности и природных процессов отмечено увеличение количества взвеси в снежном покрове Кольского залива, устьев рек Онега и Северная Двина. Вблизи Кольского залива значительным источником загрязнения снега нерастворимыми соединениями ванадия и никеля является деятельность по перегрузке угля в порту Мурманска. В дельте р. Северной Двины предприятия судостроения и судоремонта вносят вклад в загрязнение снега нерастворимыми соединениями сурьмы и меди, а вследствие влияния ТЭЦ наблюдается повышенное содержание марганца.

Введение

Растущий интерес к геохимии объектов окружающей среды арктических и субарктических регионов обусловлен их ключевой ролью в перераспределении веществ и металлов между наземными, океаническими и атмосферными источниками. Атмосферный перенос – это основной путь, по которому загрязняющие вещества, в том числе поллютанты, попадают в окружающую среду отдаленных регионов, а вследствие климатических условий Арктика очень чувствительна к воздействию человека. Талая вода является существенным источником металлов и металлоидов в речной воде и способствует переносу микроэлементов с суши в океан. Однако, в отличие от относительно хорошего понимания концентраций и потоков микроэлементов во внутренних водах высоких широт, поступление элементов из атмосферы с талым снегом изучено крайне слабо. По данным исследования [3] воздействие талых снежных вод на водотоки исследуемой территории существенно.

Материалы и методы

В зимние периоды 2022/23, 2023/24, 2024/25 годов проводились экспедиционные исследования геохимических характеристик снежного покрова западного сектора Российской Арктики. Работы включали отбор проб снега с выбранных площадок вблизи Кольского залива, Канда-лакшского залива, в устьях рек Кемь, Онега, Кянда, Солза, Северная Двина, Мезень, Пеша, Индига, Печора. После отбора пробы снега доставлялись в лабораторию в неизменном виде, где пробы растапливали при комнатной температуре. Сразу же после растапливания пробы проводились замеры уровня pH и минерализации талой фазы снега. Пробы фильтровались с использованием фильтровальной установки через предварительно взвешенные фильтры из

полиэфирсульфона с диаметром пор 0,45 мкм для последующего определения количественных и качественных характеристик нерастворимого вещества. Определение элементного состава проводилось с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500. Образцы твердого вещества перед анализом были разложены с применением концентрированных кислот.

Результаты и их обсуждение

Значения *минерализации* талого снега в устьях рек Кемь, Кянда и Мезень находились в интервале 5–4 мг/л. Одной из особенностей талых вод других рек являются высокие значения минерализации талого снега в отдельные годы. Впервые высокое значение минерализации снега (140 мг/л) было зафиксировано в районе залива Параниха Двинского залива Белого моря в 2021 г., а в 2022 г. оно составило уже 204 мг/л. В этом же году на побережье Онежского залива минерализация талого снега была на уровне 680 мг/л. В 2023 г. значения минерализации в данных точках изменялись в диапазоне 1233–1596 мг/л. А вот в 2024 г. на всем побережье Онежского и Двинского заливов Белого моря минерализация снежного покрова в 2024 г. была относительно невелика: 9–18 мг/л. И это было исключением, т.к. в 2025 г. минерализация снега в данных точках находилась на уровне 410–1985 мг/л. В устье р. Печора влияние морского аэрозоля на состав талых вод отмечено в 2023 г. на границе с морем, когда минерализация снежного покрова составила 250 мг/л. В устье р. Пеша наибольшую минерализацию имеет снежный покров в средней части, где значения находились в интервале 127–958 мг/л. В остальных точках минерализация талого снега изменялась в пределах 8–32 мг/л. В эстуарии р. Индиги минерализация талых вод за весь период наблюдений не опускалась ниже значения 40 мг/л, которое было определено в удалении от места впадения реки в море. Наибольшие значения минерализации снега в устье р. Индиги получены в пробах, отобранной между поселком и побережьем: 1182–12630 мг/л [2].

Уровень pH талой фазы снежного покрова изменялся в широком диапазоне: 4,2–9,2. Более щелочные свойства снежный покров имел в прибрежных районах Ненецкого автономного округа, особенно в 2023 г.: устье р. Индига (8,7–9,2), устье р. Пеша (до 7,0), устье р. Печора (7,0). На всей исследуемой территории западного сектора Российской Арктики в 2024 г. наблюдалась тенденция к снижению уровня pH талой фазы снежного покрова с 6,12 в среднем за 2023 г. до 5,28 в 2024 г. Закисление талых вод отмечается в устье р. Кянда (среднее значение – 4,93), р. Солза (среднее значение – 5,08), а также на побережье Кольского залива (5,09 в среднем). Увеличение уровня pH талых вод до 7,2 отмечено и в устье р. Северной Двины, но здесь влияние оказывает уже антропогенный фактор.

Содержание нерастворимого вещества в снежном покрове территорий, вне зоны влияния антропогенных источников не превышает 3 мг/л. Увеличение количества взвеси в снеге до 7 мг/л наблюдается в устье р. Онега вследствие воздействия открытых горных работ на карьере Покровский [1]. Терминал по перегрузке угля в порту Мурманска является одним из главных источников пыли в районе Кольского залива. В результате его деятельности содержание нерастворимого вещества в снеге достигает 10 мг/л. В дельте р. Северная Двина, где расположен Архангельский промышленный узел содержание взвеси в снежном покрове оставляет 4–7 мг/л.

Влияние атмосферного канала поступления нерастворимого вещества наиболее проявлено в устье р. Онега. Количество взвешенного вещества, поступающего за зимний период на подстилающую поверхность, составило в среднем 345 мг/м², достигая в отдельные годы значений 515–723 мг/м². В период снеготаяния в Кольский залив с талыми водами попадает до 206 мг/м² нерастворимого вещества. В дельте Северной Двины за зиму на подстилающую поверхность поступает 217 мг/м² взвеси, в устье р. Кянда – 140 мг/м², р. Мезень – 135 мг/м², р. Солза – 103 мг/м². В устьевые области рек Ненецкого автономного округа (Пеша, Индига, Печора) за зиму выпадает 45–63 мг/м² взвеси.

Состав нерастворимого материала талых вод в исследуемых регионах отличается относительной стабильностью в отношении большинства компонентов. Повышенное содержание ванадия характерно для взвешенного вещества снега Кольского залива. Одним из источников антропогенного ванадия совместно с никелем здесь являются мазутные теплоэлектростанции, включая ТЭЦ, и котельные Мурманска. Высокие содержания Sb в устье р. Северной Двины вблизи предприятий судоремонта и судостроительства г. Северодвинск. Наибольшие содержания Mn получены в пробах снежного покрова, отобранных вблизи Архангельской агломерации (дельта р. Северная Двина). На территории Ненецкого автономного округа на фоне пониженного среднего содержания ванадия (36 мг/кг), марганца (393 мг/кг), кобальта (8 мг/кг), никеля (30 мг/кг), меди (40 мг/кг), молибдена (1,7 мг/кг) и кадмия (0,8 мг/кг) в нерастворимом веществе снега незначительно выше содержание свинца (79 мг/кг) и мышьяка (19 мг/кг). В районе Кеми порядок элементов в геохимическом ряду состава взвешенного вещества снега отличается от среднего состава земной коры преобладанием бария и стронция над марганцем: $Al > Ti > Ba > Sr > Mn$. На территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа в геохимический ряд добавляется цинк. Ряд для взвешенного вещества снега Архангельской области: $Al > Ti > Mn > Ba > Sr > Zn$, Ненецкого автономного округа: $Al > Ti > Mn > Ba > Zn > Sr$.

В составе снега устья р. Индига, где отмечается существенное влияние на состав снега морских вод [2] увеличивается не только содержание морских ионов (хлорид, сульфаты, ионы натрия, магния), но и содержание лития, ванадия, марганца, кобальта, меди, мышьяка и молибдена.

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда
«Атмосферный перенос как источник загрязнения экосистем
западного сектора Российской Арктики» № 22-77-10074.*

Литература

1. Берестов А.В., Котова Е.И. Анализ состава снежного покрова на прилегающих территориях карьера «Покровское» в Онежском районе в году // Естественные и технические науки. – 2025. – №4 (203). – С. 167–174.
2. Котова Е.И., Нецветаева О.П., Новикова Ю.В. и др. Ионный и альгологический состав снежного покрова устьев рек бассейна Баренцева моря // Арктика: экология и экономика. – 2024. – Т. 14, № 1(53). – С. 127–134.
3. Starodymova D.P., Kotova E.I., Shevchenko V.P. et al. Winter atmospheric deposition of trace elements in the Arkhangelsk region (NW Russia): Insights into environmental effects // Atmospheric Pollution Research. – 2024. – Vol. 15(12). – Art. No. 102310.

УДК 550.4.02

**МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ АЭРОЗОЛЕЙ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ
ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ Г. ОМСКА)**

В.В. Литай, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков

Томский политехнический университет, Томск, Россия

litau.tomsk@mail.ru

**ELEMENT COMPOSITION OF PARTICULATE MATTER
BASED ON THE STUDY SNOW COVER (CASE FOR OMSK)**

V.V. Litau, A.V. Talovskaya, E.G. Yazikov

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

litau.tomsk@mail.ru

Abstract. В статье приведена оценка эколого-геохимического состояния района размещения предприятий химической и нефтехимической промышленности, машиностроения и теплоэнергетики по данным многолетних (2013–2025 гг.) наблюдений уровня пылевой нагрузки и химического состава твердой фазы снегового покрова в г. Омске. Выявлено, что уровень пылевой нагрузки изменяется от низкого (менее 250 мг/(м²*сут.)) до среднего (250–450 мг/(м²*сут.)) в период наблюдения. Установлено, что в твердой фазе снегового покрова происходит накопление Hg, Ba, Cr, Sb, Br, Sr выше фоновых концентраций.

Введение

Экологическая ситуация в г. Омске и Омской области обусловлена как природно-климатическими факторами, так и промышленной деятельностью. Основные отрасли экономики региона включают нефтепереработку, химическую и нефтехимическую промышленность, машиностроение, сельское хозяйство, строительство и производство строительных материалов, а также энергетику. Эти сектора, а также транспортная инфраструктура, оказывают значительное антропогенное воздействие на природные комплексы и урбанизированные зоны Омской области.

Снеговой покров является идеальной депонирующей средой, в которой накапливаются и преобразуются пылевые частицы, что делает снеговой покров удобным объектом для исследования химического состава и свойств пылевых частиц, а также выявления источников их поступления [1–5].

По результатам наших снегогеохимических исследований на территории г. Омска в 2013 г. выявлены ореолы с высоким уровнем пылевой нагрузки, приходящиеся на район расположения промышленного узла, где сосредоточены крупные промышленные предприятия энергетического, нефтехимического и машиностроительного комплекса [2].

Целью данной работы является изучение динамики уровня пылевой нагрузки (2013–2025 гг.) и оценка содержания тяжелых металлов в твердом осадке снега на территории г. Омска.

Материалы и методы

Исследование проводилось на основе проб, отобранных в районе расположения Северного промышленного узла (предприятия нефтехимической и химической отрасли), ТЭЦ-5 и Октябрьского промышленного узла (предприятия машиностроения и нефтехимической отрасли) г. Омска в 2013, 2014, 2015 [2, 4], 2016 [5] и 2025 гг. Отбор и подготовка проб снегового покрова проводились в соответствии с методическими рекомендациями [1]. Использовались методы площадной и векторной системы отбора проб в зависимости от видов источников загрязнения и их пространственного расположения в городе.

Объектом исследования являлся твердый осадок снега, содержащий осевшую атмосферную пыль в снеговой покров.

Содержание тяжелых металлов и металлоидов, как приоритетных загрязнителей, в пробах определяли инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) в аттестованной ядерно-геохимической лаборатории на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ (аналитики Судыко А.Ф., Богутская Л.В.).

По результатам исследования выполнялся расчет пылевой нагрузки (P_n) и коэффициентов концентрации (K_c) относительно регионального фона [4] по общепринятым формулам [1]. По значениям P_n оценивают уровни загрязнения территории по градациям [1]: менее 250 мг/(м²*сут.) – низкий; 250–450 – средний; 450–850 – высокий; более 850 – очень высокий. Обработка аналитических данных проводилась с использованием прикладной программы «Statistica».

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 приведены данные по динамике уровней пылевой нагрузки в период многолетних наблюдений. Определено, что в районе Северного промышленного узла наиболее низкий уровень пылевой нагрузки зафиксирован в 2015 г., в районе Октябрьского промышленного узла в 2014 г., в районе ТЭЦ-5 – значительно не изменяется.

Таблица 1. Динамика уровни пылевой нагрузки (P_n) по данным исследования снегового покрова в зоне влияния предприятий г. Омска (2013–2025 гг.)

Район исследования	Средние значение P_n , мг/(м ² *сут.)				
	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.*	2025 г.
Северный промышленный узел (НПЗ и ТЭЦ)	53	38	29	61	52
Угольная ТЭЦ-5	244	248	н.о.	н.о.	330
Октябрьский промышленный узел	132	60	н.о.	н.о.	138

Примечание: н.о. – не определялось; 2016 г. – данные Т.С. Шаховой [5]

На территории Северного промышленного узла, где сосредоточены предприятия нефтехимической и химической промышленности, а также Октябрьского промышленного узла с предприятиями машиностроения и нефтехимической отрасли, на протяжении всех лет наблюдений сохраняется в среднем низкий уровень пылевой нагрузки. На территории влияния предприятия угольной теплоэнергетики (ТЭЦ-5) значения пылевой нагрузки соответствуют среднему уровню загрязнения.

При сопоставлении полученных результатов с региональным фоновым уровнем для Западной Сибири выявлено, что уровень пылевой нагрузки на изучаемых территориях за весь период наблюдения превышает фоновые значения в 4–9 раз в районе Северного промышленного узла, в 32–47 – в районе ТЭЦ-5, в 9–15 раз – в районе Октябрьского промышленного узла. По результатам исследований в твердом осадке снега в районах расположения промышленных предприятий установлены уровни накопления отдельных тяжелых металлов и металлоидов относительно фона (табл. 2). Статистическая обработка данных по содержанию тяжелых металлов в пробах твердого осадка снега г. Омска показала, что распределение Cr, Co, Zn, Sr, Sb является мультимодальным, что указывает на множество источников их поступления. Нормальный закон распределения содержания элементов в твердом осадке снега установлен для Hg, Zn, As, Br, Sr, Ba, отличный от нормального распределения – Cr, Co, Sb, что также свидетельствует об различных источниках.

В твердой фазе снегового покрова происходит накопление тяжелых металлов и металлоидов. Интенсивно ($K_c=2-10$) концентрируются в пробах Hg, Ba, Cr, Sb, Br, Sr. При чем значительно высокие коэффициенты концентрации Ba, Cr, отмечаются в районе Северного промышленного узла. Близко к фоновым концентрациям ($K_c<1,5$) выделяются Zn и Co.

Таблица 2. Коэффициенты концентрации тяжелых металлов и металлоидов в твердом осадке снега относительно регионального фона в зоне влияния предприятий г. Омска

Элементы	Северный промышленный узел	ТЭЦ-5	Октябрьский промышленный узел	г. Омск
Hg	2,7	2,6	2,4	2,6
Zn	2,6	1,0	1,2	1,8
Co	1,7	1,1	1,4	1,6
Cr	5,2	0,4	0,8	2,3
Sb	2,7	0,6	0,9	3,4
Br	3,2	3,3	2,4	2,7
Ba	11,4	8,6	9,3	9,7
Sr	2,7	3,1	3,0	3,0

Заключение

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы о том, что в период наблюдений с 2013-2016 гг., 2025 г. пылевая нагрузка в среднем варьируется от 29 до 330 мг/(м²*сут.), что соответствует изменению от низкого до среднего уровня загрязнения. Определены уровни накопления тяжелых металлов и металлоидов в твердом осадке снега в районе расположения предприятий теплоэнергетики, нефтехимической и химической промышленности, машиностроения.

Литература

1. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
2. Литау В.В., Таловская А.В., Язиков Е.Г. и др. Оценка пылевого загрязнения г. Омска по данным снеговой съемки // Оптика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 28, № 3. – С. 256–259.
3. Новикова В.Д., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Динамика пылевой нагрузки и химического состава снегового покрова в районе расположения предприятий теплоэнергетики и коксохимии (на примере г. Кемерово) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336, № 3. – С. 193–207.
4. Таловская А.В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова) : дис. ... докт. геол.-минерал. наук. – Томск, 2022. – 373 с.
5. Шахова Т.С. Влияние нефтеперерабатывающих заводов на эколого-геохимическую обстановку прилегающих территорий по данным изучения снегового покрова (на примере гг. Омск, Ачинск, Павлодар) : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2018. – 192 с.

УДК 504.05; 504.06

МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ВЫПАДЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ХМАО-ЮГРЫ

Д.В. Московченко¹, А.Г. Бабушкин¹, М.Н. Топтыгина²

¹Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия
moskovchenko1965@gmail.com

²Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия
m.n.toptygina@utmn.ru

MONITORING OF ATMOSPHERIC DEPOSITION OF HEAVY METALS AT OIL FIELDS IN KHMAO-YUGRA

D.V. Mjkskovchenko¹, A.G. Babushkin¹, M.N. Toptygina³

¹ Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia
moskovchenko1965@gmail.com

² Tyumen State university, Tyumen, Russia
m.n.toptygina@utmn.ru

Abstract. Проведена оценка уровня загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами на территории нефтяных месторождений ХМАО-Югры. Выявлена значительна доля проб, загрязненных Zn и Cr. Содержание Zn зависит от количества отходов бурения и объемов сжигаемого попутного нефтяного газа. Для определения трендов загрязнения атмосферы проведено сопоставление результатов мониторинга 2015–2023 гг. с данными 2005–2010 гг. Отмечено снижение содержания в снеге Fe, Zn и рост содержания Mn.

Введение

При добыче нефти значительная доля загрязняющих веществ распространяется атмосферным путем. Объекты геологической разведки, транспортной и промышленной инфраструктуры являются источниками поступления в атмосферу тяжелых металлов (ТМ) [1, 2, 5, 6, 8]. Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО-Югра) является главным нефтедобывающим регионом РФ. Интенсивное освоение месторождений определяет необходимость проведения экологического мониторинга.

Недропользователи, в соответствии с постановлением правительства ХМАО-Югры, обязаны проводить мониторинг снежного покрова – выполнять опробование и определять состав снеготалых вод. Ранее, по данным мониторинга, был выявлен рост содержания в снеге Ni, Cr, Zn, Hg [5]. Цель исследования – дать оценку современного уровня атмосферных выпадений ТМ на нефтяных месторождениях ХМАО-Югры.

Материалы и методы

Использованы результаты экологического мониторинга за период 2015–2023 гг. Опробование выполнялось недропользователями ежегодно в период максимального влагозапаса (март – апрель). В пробах было определено содержание Fe, Mn, Cr, Ni, Pb, Zn. Обработаны результаты по 1320 пунктам мониторинга, расположенных преимущественно на территории Сургутского, Нижневартовского, Ханты-Мансийского и Нефтеюганского административных районов.

Усредненные показатели состава снег были вычислены для округа в целом и для каждого административного района ХМАО-Югры. Для определения источников ТМ был проведен корреляционный анализ, определивший зависимость содержания ТМ от показателей техногенного воздействия (количества скважин и отходов бурения, протяженности автодорог, числа объектов подготовки и перекачки нефти). Для оценки уровня загрязнения использовался геоаккумуляционный индекс Igeo [7]:

$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_m}{1,5 B_m} \right]$, где C_m – содержание вещества в снеготалой воде на лицензионном участке, B_m – фоновое содержание. При значениях $I_{geo} < 1$ загрязнение слабое либо отсутствует, в диапазоне $I_{geo} = 1-2$ уровень загрязнения умеренный, $2-3$ – повышенный, $3-4$ – высокий, $4-5$ – очень высокий, >5 – экстремальный.

Результаты и их обсуждение

Содержание Pb, Ni, Cr, Fe более чем в 50 % проанализированных проб было ниже предела обнаружения. Содержание Zn составило в среднем 20.0 мг/л, что меньше среднего значения, выявленного ранее на месторождениях углеводородов Западной Сибири – 26.7 мг/л [2]. Среднее содержание Mn составило 20.5 мкг/л, медиана – 2.9 мкг/л. Более чем в половине проанализированных проб содержание Mn было фоновым. Значительное различие среднего арифметического и медианы вызвано случаями аномально высокого содержания, что, вероятно, вызвано попаданием в пробы почвенных частиц, источником которых является автотранспорт. Содержание Pb и Ni обычно не превышало 5 мкг/л, содержание Fe более чем в половине проанализированных проб варьировало от 10 до 50 мкг/л, что соответствует фоновому уровню.

В соответствии со значениями I_{geo} , наиболее часто снеготалые воды на месторождениях ХМАО-Югры загрязнены цинком (рис. 1). Преобладает умеренный уровень загрязнения.

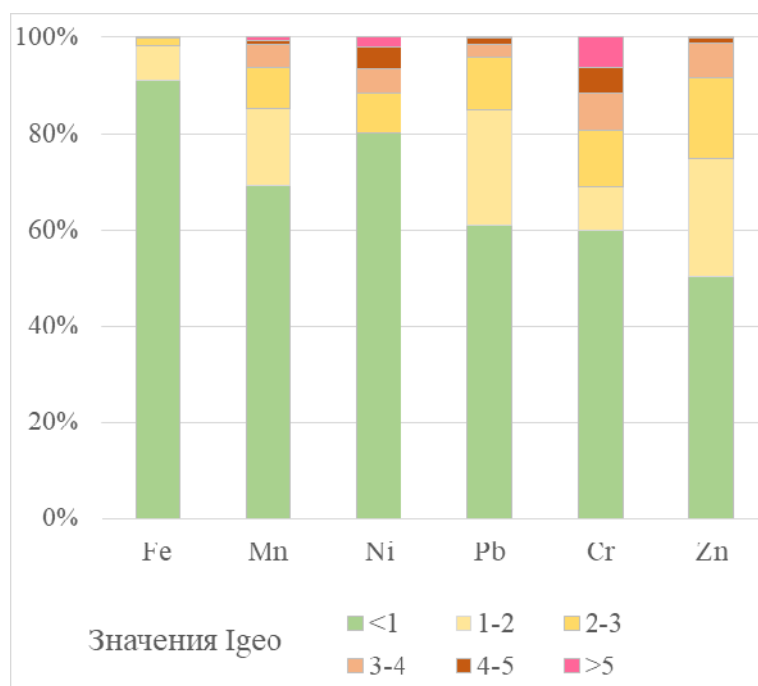


Рис. 1. Процентное распределение содержания ТМ в снежных водах на месторождениях ХМАО-Югры

Велика доля проб с повышенным содержанием Ni, Cr, Pb. Для Cr характерна значительная контрастность концентраций – от фоновых до экстремальных. Высокий и экстремальный уровень загрязнения наиболее часто отмечается для Cr и Ni (11 и 6% проб соответственно). Ранее в снеге нефтяных месторождений было отмечено преобладание Zn, Cr, Cu в составе твердофазной составляющей [6]. Эти элементы типичны для промышленной пыли и твердых отходов [3], что свидетельствует о влиянии антропогенных источников формирования аэрозолей.

Поступление в снег Zn зависит от количества отходов бурения (коэффициент корреляции $r=0.82$) т.е. определяется интенсивностью буровых работ. Ранее отмечалось, что в снеготалых водах под влиянием буровой установки возросло содержание Zn и взвешенных веществ [2]. Одним из источников поступления Zn являются факела сжигания попутного нефтяного газа [5, 6]. Нами также выявлена корреляционная зависимость между количеством факелов сжигания попутного газа и содержанием Zn ($r=0.55$). Ранее загрязнение снега Zn было выявлено на Ватинском месторождении [6] и нефтяных месторождениях Томской области [4].

Концентрация Ni связана положительной корреляционной зависимостью с протяженностью автодорог ($r=0,62$), что позволяет идентифицировать транспорт как основной источник выбросов Ni. Ранее повышенное содержание Ni в снеге было отмечено в Среднем Приобье [6] и на Заполярном газовом месторождении [8]. Содержание Cr коррелирует с протяженностью автодорог ($r=0,57$) и количеством отходов бурения ($r=0,50$).

При сравнении данных мониторинга 2005–2010 и 2015–2023 гг. отмечено снижение медианного значения Zn, при этом среднее арифметическое осталось на прежнем уровне. В последнее десятилетие в округе сократились объемы сжигаемого в факелах попутного газа, что вероятно, привело к снижению регионального уровня загрязнения. Приблизительно на треть снизилось содержание железа. Наблюдается разнонаправленное изменение содержания Mn. Если медиана уменьшилась, то среднее арифметическое значение выросло, что связано с ростом числа проб с аномально –высокими концентрациями Mn при невысоком фоновом уровне.

Заключение

Наиболее часто в соответствии со значениями Igeo снеготалые воды на месторождениях ХМАО-Югры загрязнены Zn и Cr. Хром поступает в снег под влиянием буровых работ и вследствие движения транспорта. Источниками Zn являются буровые работы и факела сжигания попутного нефтяного газа, число которых за последнее десятилетие на территории ХМАО-Югры сократилось, что привело к снижению выбросов этого элемента. Также отмечено снижение содержания Fe по сравнению с уровнем 2005–2010 гг.

*Работа выполнена в ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания
Министерства науки и высшего образования РФ
(тема № FWRZ-2021-0006).*

Литература

1. Башкин В.Н. Биогеохимические циклы в тундровых экосистемах импактных зон газовой индустрии // Геохимия. – 2017. – № 1. – С. 954–966.
2. Дорожукова С.Л. Эколого-геохимические особенности нефтегазодобывающих районов Тюменской области : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2004. – 25 с.
3. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В. и др. Геохимия снежного покрова в восточном округе Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2012. – № 4. – С. 14–24.
4. Климова А.А. Комплексная эколого-геохимическая оценка бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2021. – 24 с.
5. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Криосфера Земли. 2012. – Т. 16, № 1. – С. 71–81.
6. Московченко Д.В., Пожитков Р.Ю., Тигеев А.А. Оценка содержания металлов и металлоидов в снежном покрове на участках нефтедобычи Среднего Приобья // Лед и Снег. – 2022. – Т. 62, № 4. – С. 51–563.
7. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // Geojournal. 1969. – Vol. 2. –

P. 108–118.

8. Pozhitkov R., Moskovchenko D., Soromotin A. et al. Trace elements composition of surface snow in the polar zone of northwestern Siberia: the impact of urban and industrial emissions // Environmental Monitoring and Assessment. – 2020. – Vol. 192(4). – P. 215–221.

УДК 551.578.4: 550.4 (470.26)

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЭРОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДА КАЛИНИНГРАДА ПО СОСТАВУ СНЕГА

Я.А. Мягкова¹, В.Ю. Топчая²

¹ГАУ КО ОО Школа-интернат лицей-интернат, Калининград, Россия
ogbtxlv@mail.ru

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
piwis@mail.ru

ECOGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF AERIAL POLLUTION OF KALININGRAD CITY BY SNOW COMPOSITION

Ya.A. Myagkova¹, V.Yu. Topchaya²

¹Boarding school – lyceum, Kaliningrad, Russia
ogbtxlv@mail.ru

²Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia
piwis@mail.ru

Abstract. Изучен количественный и качественный состав твердых атмосферных частиц и содержание нерастворимых форм тяжелых металлов в снеговом покрове г. Калининграда. Показано, что значения pH снега в городе имеет щелочную реакцию, средняя концентрация твердых частиц в снеговом покрове составляет 1,2 мг/л, при среднем значении их потока 0,6 мг/м²/сутки. Твердые частицы снега представлены агрегатами частиц сажи, минеральными органическим детритом. Выявлено обогащение Cu, Zn, Mo, Cd, Sb, Pb и Bi твердых частицы снегового покрова г.Калининграда, преимущественно от техногенных источников.

Введение

В черте городов функционируют промышленные предприятия, тепловые электростанции и высокий трафик транспорта, относящиеся к главным источникам выбросов вредных веществ в атмосферу [1]. Уровень техногенного воздействия на приземный слой атмосферы в городах можно оценить, анализируя химический состав атмосферных осадков и снегового покрова. Изучение снегового слоя позволяет всесторонне исследовать как влажные, так и сухие осадки загрязняющих веществ, а также их накопление в период снегозалегаания [2]. Снег не является пассивным веществом, он активно участвует в обмене газов с нижними слоями атмосферы. По данным [3], рыхлый снег толщиной 30 см на площади 1 гектар способен поглотить 3–5 кг SO₂ и аналогичное количество NH₃ в течение суток. В геохимических исследованиях компонентов окружающей среды особое внимание уделяется тяжелым металлам (ТМ) в депонирующих средах, включая снег [4]. Это связано с их высокой токсичностью, накопительной способностью и значительной биохимической активностью. Исследований состава снегового покрова городов Калининградской области крайне мало. Таким образом, эколого-геохимические исследования содержания ТМ в снеговом покрове Калининграда весьма актуальны. Цель исследования – проанализировать состав и уровень загрязнения ТМ снега в г. Калининграде.

Материалы и методы

Исследования проводились в зимний период 2024/25 гг. Отбор проб снега выполнен 22 января 2025 г. в 4 точках, с различной техногенной нагрузкой, г. Калининграда – в районе ул. Ломоносова, в Южном парке, в 100 м от ТЭЦ-2 (ул. Энергетиков), и в 1 км от нее (рис. 1).

Снег отбирался на всю глубину снегозалегаания, соблюдая меры по предотвращению загрязнения пробы. Собранный снег в чистой пластиковой таре доставлялся в лабораторию ГАУ КО ОО ШИЛИ, где растапливался при комнатной температуре. В талой воде определялся

водородный показатель рН-метром «Starter2100». Талая вода фильтровалась под вакуумом через предварительно взвешенные ацетат-целлюлозные фильтры ($D_{\text{пор}} 0,45 \text{ мкм}$). Количество выделенной на фильтры взвеси определялось гравиметрически на весах «Госметр» (дискретность 0,001 г). Качественный состав твердых частиц снега, изучался на сканирующем электронном микроскопе HITACHI TM4000 PLUS в ГАУ КО ОО ШИЛИ и методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) в ИПТМ РАН, г. Черноголовка.



Рис. 1. Местоположение точек отбора проб снегового покрова в г. Калининграде

Для выявления вклада литогенного или техногенного источников формирования элементного состава снега рассчитывался коэффициент обогащения (KO) относительно среднего состава континентальной земной коры по формуле : $KO = (Эл/Al)_{\text{проба}} / (Эл/Al)_{\text{земная кора}}$, где Эл и Al – содержание химического элемента и алюминия в пробе и в верхней части континентальной земной коры [6]. Результаты расчетов значения KO интерпретированы по [7].

Результаты и их обсуждение

Значения рН талого снега имел щелочную реакцию: 6,8–7,9 и в среднем составило 7,1, с отклонением на 1,3 рН от нейтрального водородного показателя (рН 5,6–5,8) атмосферных осадков [5]. Средняя концентрация твердых частиц в снеговом покрове г. Калининграда составила 1,2 мг/л, при этом наиболее низкие концентрации отмечены в Южной парке (0,4 мг/л), а наиболее высокие – на ул. Ломоносова (2,45 мг/л). Поток твердых атмосферных частиц, выпадающих со снегом и накапливающихся в снеговом покрове в г. Калининграде варьировал от 0,13 мг/м²/сутки (Южный парк) до 1,22 мг/м²/сутки (ул. Ломоносова) и в среднем составил 0,6 мг/м²/сутки. Такие не высокие значения потока вероятно связаны с небольшой продолжительностью снегонакопления в зимний период 2024/25 гг. Твердая взвесь, выделенная из снега разных районов города представлена преимущественно сажевыми агрегатами различной текстуры, минеральными и органическими частицами (рис. 2).

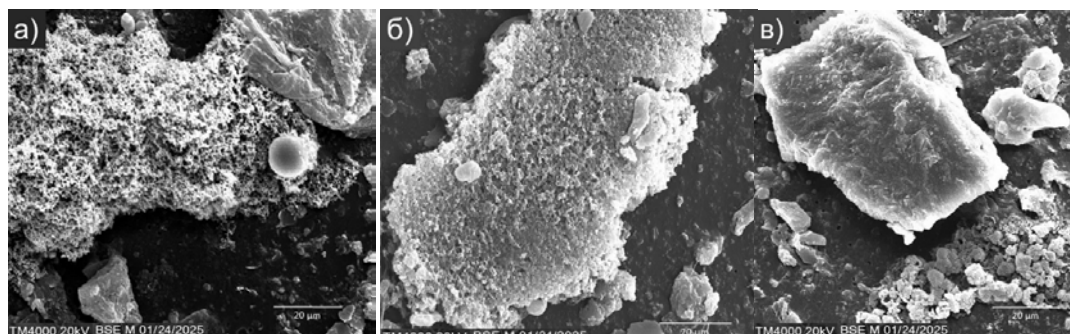


Рис. 2. Вещественный состав твердых частиц снегового покрова г. Калининграда: а, б) рыхлый агрегат частиц сажки, несколько микросферул золы-уноса ТЭЦ, минеральный и органический детрит; в) минеральная частица и скопление пористых агрегатов сажки

Данные о содержании нерастворимых форм ТМ в снеговом покрове г. Калининграда представлены в таблице 1.

Таблица 1. Концентрация нерастворимых форм ТМ в снеге, мкг/г

Элемент	Калининград			
	ул. Ломоносова	Южный парк	ТЭЦ-2	
			в 100 м	в 1 км
Be	9,65	3,28	2,46	1,86
Al	198867,93	70079,38	48674,18	35018,33
Ni	122,47	349,82	284,08	33,69
Cu	1205,09	564,81	358,76	218,09
Zn	9902,68	1685,73	1583,30	536,46
As	37,46	< ПО	< ПО	< ПО
Mo	34,86	16,92	15,80	15,02
Cd	< ПО*	7,17	6,48	3,87
Sb	60,96	36,34	43,86	27,51
Pb	2727,45	701,24	126,43	59,99
Bi	31,54	2,39	1,75	1,17

Примечание: <ПО – ниже предела обнаружения.

Твердые частицы снегового покрова г. Калининграда обогащены, преимущественно от техногенных источников – медью, цинком, молибденом, кадмием, сурьмой, свинцом и висмутом. Техногенного обогащения твердых частиц снегового покрова никелем, бериллием и мышьяком не выявлено. Наибольшее загрязнение ТМ (Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sb, Pb и Bi) снега выявлено в 100 м от ТЭЦ-2 и меньшее количество ТМ (Cu, Zn, Mo, Sb, Pb), поступающих от техногенных источников, выявлено в снеговом покрове Южного парка.

Заключение

Эколого-геохимическая оценка аэрогенного загрязнения г. Калининграда выявила незначительную дифференциацию количественного и качественного состава твердых атмосферных частиц снегового покрова. При не высоких средних значениях концентрации (1,2 мг/л) и потока (0,6 мг/м²/сутки) твердых частиц, выявлено преобладание в их составе сажевых агрегатов различной размерности и текстуры и обогащение твердой взвеси, выделенной из снега – Cu, Zn, Mo, Cd, Sb, Pb и Bi.

Авторы выражают благодарность администрации
ГАУ КО ОО ШИЛИ.

Литература

1. Воронцова А.В., Зарина Л.М., Нестеров Е.М. Некоторые новые данные по загрязнению снежного покрова // Геология, геоэкология, эволюционная география: сборник научных трудов международной конференции. – СПб. : Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2011. – С. 184–189.
2. Кондратьев И.И., Муха Д.Э., Болдескул А.Г. и др. О химическом составе атмосферных осадков и снежного покрова в Приморском крае // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 1. – С. 91–100.
3. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Снежный покров в сфере влияния города. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 176 с.
4. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М. : Недра, 1990. – 333 с.
5. Чередниченко В.С., Нысанбаева А.С., Мадиебеков А.С. Кислотность атмосферных осадков в Республике Казахстан // Европейский исследователь. – 2014. – Т. 68, № 2-1. – С. 294–296.
6. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. – 2003. – Vol. 3. – P. 1-64. – doi: 10.1016/B0-08-043751-6/03016-4.
7. Veyseyre A., Moutard K., Ferrari C. et al. Heavy metals in fresh snow collected at different altitudes in the Chamonix and Maurienne valleys, French Alps: initial results // Atmospheric Environment. – 2001. – Vol. 35(Is. 2). – P. 415–425. – doi: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00125-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00125-4).

УДК 550.4:551.578.46(571.17-25)

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕРАСТВОРИМОЙ ФРАКЦИИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ Г. КЕМЕРОВО

В.Д. Новикова, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,
vdk10@tpu.ru*

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE INSOLUBLE FRACTION OF SNOW COVER IN THE VICINITY OF KEMEROVO

V.D. Novikova, A.V. Talovskaya, E.G. Yazikov

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, vdk10@tpu.ru

Abstract. Исследование направлено на оценку эколого-геохимического состояния г. Кемерово – крупного промышленного центра Сибири – с использованием снегового покрова как индикатора атмосферных выпадений. Территория города разделена на зоны с высоким, средним и низким уровнем пылевой нагрузки. Анализ нерастворимой фракции снега выявил высокие уровни загрязнения тяжелыми металлами, редкими элементами относительно фона, связанные с промышленными выбросами и автотранспортом. Результаты демонстрируют пространственное распределение геохимических ассоциаций в нерастворимой фракции снежного покрова, коррелирующее с расположением промышленных зон и переносом выбросов согласно главенствующему направлению ветра.

Введение

Город Кемерово, как промышленный центр, характеризуется значительными выбросами загрязняющих веществ, формирующими «городской остров тепла». Снеговой покров, аккумулирующий твердые частицы, служит эффективным индикатором для оценки атмосферных выпадений. Цель работы – анализ пылевой нагрузки и химического состава нерастворимой фракции снежного покрова для выявления источников загрязнения и их пространственного распределения.

Материалы и методы

Снегогеохимическая съемка проводилась на территории г. Кемерово в соответствии с методом площадной съемки и методическим рекомендациям [2–3], масштабом 1:50000 со сгущением и разряжением сети в некоторых районах. Всего было отобрано 68 проб снега в течение четырех зимних сезонов (2016, 2020, 2022 и 2023 гг.).

В лабораториях учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» и международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» на базе отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета проводился анализ проб нерастворимой фракции снежного покрова. Элементный состав исследовали с применением инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) и атомно-абсорбционной спектроскопии с пиролизной приставкой для определения концентрации ртути.

Результаты и их обсуждение

В г. Кемерово пылевая нагрузка изменяется от 15 до 609, при среднем 207 мг/(м²·сут.). Территория города разделена на три зоны, различающиеся по интенсивности пылевой нагрузки (рисунок). Первая зона, характеризующаяся высоким уровнем пылевой нагрузки (240–600 мг/(м²·сут.)) относительно фона, расположена в северной части города с частной и многоэтажной застройкой, которая подвержена влиянию выбросов от предприятий теплоэнергетики и химического производства. Вторая зона, где зафиксированы средний уровень

пылевой нагрузки ($60\text{--}240 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$), занимает основную часть городской территории, включая жилые, рекреационные районы и транспортные узлы. Третья зона с низким уровнем пылевой нагрузки ($20\text{--}60 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$) охватывает западную часть города, где расположен завод по производству азотистых удобрений, а также часть южных кварталов с малоэтажной жилой застройкой.

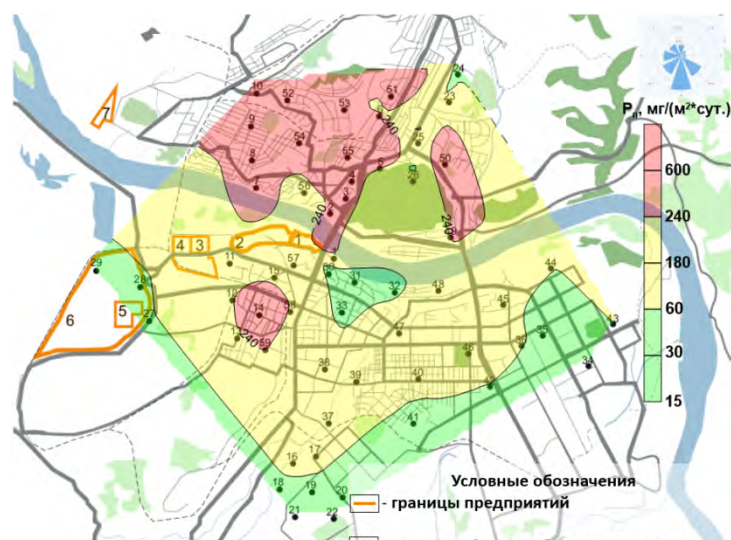


Рис. Схема распределения пылевой нагрузки на территории г. Кемерово («роза» ветров приведена на зимний период, градация по уровню пылевой нагрузки [6])

По коэффициентам концентраций элементов выявлена степень интенсивности их накопления в пробах нерастворимой фракции снежного покрова (таблица). Наиболее интенсивно ($K_c > 10$) концентрируются в пробах такие элементы, как U, Yb, Tb, La, Sm, Ba. Менее интенсивно ($K_c = 2\text{--}10$) в нерастворимой фракции снежного покрова накапливаются Ce, Sr, Ca, Ta, Na, Th, Lu, Hf, Nd, Sc и близко к фоновым концентрациям ($K_c < 1,5$) выделяются элементы Eu, Cr, As, Br.

Таблица Геохимические ряды ассоциаций химических элементов в нерастворимой фракции снежного покрова и суммарный показатель загрязнения (Z_c) в г. Кемерово

Геохимический ряд относительно фона	Z_c
$U_{22} - Yb_{17} - Tb_{16} - La_{15} - Sm_{11} - Ba_{10} - Ce_8 - Sr_6 - Ca_5 - Ta_4 - Na_4 - Th_4$ <i>$- Lu_3 - Hf_3 - Nd_2 - Sc_2 - Hg_2 - Co_2 - Fe_2 - Zn_2 - Cs_2 - Sb_2 - Rb_2 - Eu_1 -$</i> $Cr_1 - As_1 - Br_1$	124

Примечание: субскрипты – значения K_c ; выделены **полужирным шрифтом** элементы с наиболее интенсивным накоплением; *курсивом* с менее интенсивным накоплением; обычным шрифтом элементы близкие к фоновым концентрациям.

Общий вклад химических элементов в загрязнении снегового покрова отражается с помощью суммарного показателя загрязнения согласно общепринятой градации [2–3], для исследуемой территории г. Кемерово уровень загрязнения соответствует среднему (таблица).

Определены корреляционные связи между химическими элементами в нерастворимой фракции снежного покрова. Выявлены наиболее значимые коэффициенты корреляции на уровне $p < 0,01$. Высокая и очень высокая корреляционная связь (r от 0,63 до 0,92) установлена между элементами Sc, Co, Rb, Cs, Ba, La, Ce, Eu, Yb, Lu, Hf, Th, U, что может указывать об общем источнике их поступления и схожих геохимических свойствах.

По данным Арбузова С.И. состав углей Кузнецкого бассейна характеризуется редкоземельной и радиоактивной специализацией [1]. Нами установлена средняя и высокая степень корреляции между содержанием Ca, Sc, Sr, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Hg, Th, U в нерастворимой фракции снежного покрова и их концентрациями в золе уноса, а также между нерастворимой фракцией снега и углем [4]. Тем самым, выявленная геохимическая специфика нерастворимой фракции снежного покрова отражает влияние сжигание углей на теплоэлектростанциях города и предприятиях коксохимии.

Выделена геохимическая ассоциация Cr-Zn-Br-Sb в нерастворимой фракции снежного покрова, отражающая преимущественно влияние автотранспорта. В дорожной пыли дворов доля многих тяжелых металлов и металлоидов (Ni, Cr, Cd, Bi, As, Zn) возрастает [5].

Заключение

Проведенное исследование снегового покрова на территории г. Кемерово, где функционируют крупные предприятия химической, коксохимической и теплоэнергетикой отрасли, использующие угли Кузнецкого бассейна, позволило получить оценку эколого-геохимического состояния территории и выявить основные источники загрязнения.

Авторы выражают благодарность аналитикам Судыко А.Ф. и Богутской Л.В. за выполнение аналитических работ методом ИНАА, к.х.н., доценту отделения геологии ТПУ Осиповой Н.А. за консультирование в процессе определения концентрации ртути в пробах, Филимоненко Е.А. и Володиной Д.А. за содействие в 2016 году в отборе проб.

Литература

1. Арбузов С.И. Металлоносность углей Сибири // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, № 1. – С. 77–83.
2. Касимов Н.С., Кошелева Н.В., Власов Д.В., и др. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. – 2012. – № 4. – С. 14–24.
3. Ревич Б.А., Сает Ю.И., Смирнова Р.С. и др. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
4. Новикова В.Д., Таловская А.В., Языков Е.Г. Динамика пылевой нагрузки и химического состава снегового покрова в районе расположения предприятий теплоэнергетики и коксохимии (на примере г. Кемерово) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336, № 3. – С. 193–207. – doi: 10.18799/24131830/2025/3/4984.
5. Сычева Д. Г. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах и дорожной пыли городов Бурятии в зоне влияния угольных ТЭС: источники загрязнения, фракционирование и экологический риск : автореф. дис. ... канд. географ. наук. – М., 2025. – 26 с.
6. Таловская А.В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова) : дис. ... докт геол.-минерал. наук. – Томск, 2022. – 373 с.

УДК 544.023.523:[551.510.4+551.578.46]

**ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ
И НЕРАСТВОРИМОГО ОСАДКА СНЕГОВОГО ПОКРОВА
НА ФОНОВОЙ И ПРИГОРОДНОЙ СТАНЦИЯХ В ТОМСКОМ РЕГИОНЕ**

Р.Ю. Санарова¹, А.В. Таловская¹, Д.В. Симоненков²

¹*Томский политехнический университет, Томск, Россия*

sanarovaraya15@bk.ru, talovskaj@yandex.ru

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия*

simon@iao.ru

**GRANULOMETRIC COMPOSITION OF ATMOSPHERIC AEROSOL
AND INDISOLABLE SNOW COVER PRECIPITATION
AT BACKGROUND AND SUBURBAN STATIONS IN THE TOMSK REGION**

R.Y. Sanarova¹, A.V. Talovskaya¹, D.V. Simonenkov²

¹*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

sanarovaraya15@bk.ru, talovskaj@yandex.ru

²*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia*

simon@iao.ru

Abstract. Приведены результаты сравнительных исследований дисперсного состава аэрозолей приземного атмосферного воздуха и гранулометрического состава твердого осадка снежного покрова в долевом соотношении. В работе используются данные многолетнего мониторинга состояния атмосферного воздуха на базе ИОА СО РАН в двух пунктах, расположенных в округе города Томск, а также результаты исследования твердого осадка снежного покрова на базе НИ ТПУ.

Введение

Многочисленными исследованиями подтверждается роль снежного покрова как накопителя аэрозольных частиц атмосферного воздуха [1]. Взаимодействие двух депонирующих сред – атмосферного аэрозоля и снежного покрова делает возможным оценить атмосферный перенос взвешенных частиц от источников их поступления в атмосферу до места осаждения. В связи с этим определенный научный интерес представляет совместное исследование распределения частиц по размерным фракциям в атмосферном аэрозоле и твердом осадке в снежном покрове.

Сопоставление результатов анализа дисперсного состава атмосферного аэрозоля и гранулометрического состава твердого осадка снежного покрова в двух пунктах разной степени воздействия города Томск является целью представленной работы.

Материалы и методы

Определение дисперсного состава атмосферного аэрозоля проходило на двух станциях мониторинга ИОА СО РАН: TOR-станции в Академгородке г. Томск и обсерватории «Фоновая» в 60 км к западу от города с использованием приборов Grimm модель 1,109/1,108 (диапазон 0,25–32 и 0,3–20 мкм соответственно), для получения распределения аэрозольных частиц в нано-диапазоне использовались данные диффузионного спектрометра аэрозоля (диапазон размеров частиц 3–200 нм).

Отбор проб снежного покрова осуществлялся сотрудниками кафедры геологии НИ ТПУ на территории Томского Академгородка (вблизи ул. Королева д.6) (пригородная проба) и Обсерватории «Фоновая» ИОА СО РАН (фоновая проба) в конце зимнего периода по стандартной методике [2]. Гранулометрический состав нерастворимого (твердого) осадка снежного покрова определялся методом лазерной дифракции в НОЦ «Наноцентр» ТПУ на приборе фирмы Shimadzu (анализатор SALD-710) с диапазоном размеров частиц от 0,01 до 300 мкм.

Результаты и их обсуждение

Воздействие города Томск на TOR-станцию, расположенную в пригородном Академгородке, отражается в повышении счетной концентрации аэрозоля в 2,6 раз в сравнении с данными обсерватории «Фоновая».

Дисперсный состав аэрозолей на станциях ИОА СО РАН схож: преобладают частицы размерами менее 1 мкм (PM₁). Однако, доля короткоживущих частиц грубодисперсных фракций от 7,5 мкм в 4,5–77 раз выше в воздухе фонового района.

Согласно проведенному гранулометрическому анализу твердого осадка снегового покрова, в фоновой пробе минимальный размер твердых частиц составляет 3,95 мкм, что свидетельствует об отсутствии частиц фракции PM_{2,5} и благоприятной экологической обстановке. При этом, средний размер частиц в твердом осадке снегового покрова пригорода составляет 4,36 мкм, что в 12 раз меньше среднего размера частиц фоновой пробы – 52,3 мкм.

Для фоновой пробы характерно трехмодальное распределение, причем, большее модальное значение соответствует верхнему пределу обнаружения методом – 300 мкм, а минимальное – 7,33 мкм. Долю крупных частиц фракции 50–300 мкм в 2,5 раза выше, чем в пригороде, можно объяснить наличием деревень в районе с печным отоплением.

В пригороде распределение частиц по размерам так же трехмодальное, при этом вторая и третья (меньшие) моды соответствуют размерам частиц 46,9 и 162 мкм, что достаточно близко к среднему размеру частиц фоновый пробы (52,3 мкм) и двух ее мод (38,2 и 300 мкм). Частицы данного пика в снеговой покров могут попадать в результате естественного осадения или же выметания из атмосферы во время снегопадов.

Порядка 30% частиц пригородной пробы приходятся на пик в диапазоне размеров частиц от 0,08 до 0,33 мкм с острым пиком (модой) 0,132 мкм, что соответствует наиболее долгоживущей в атмосфере аккумуляционной моде аэрозоля, предшественником которой, по всей видимости, являются выбросы ГРЭС-2, работающей на газу и автотранспорта, использующего дизельное топливо. Достаточно большой разрыв в распределении между этим пиком и следующими свидетельствует о происхождении мелкодисперсных частиц, связанным с процессами образования частиц непосредственно в атмосфере из выбросов газов-предшественников или из продуктов сгорания дизельного топлива. Данные измерения направлению ветра в изучаемый период на TOR-станции показывают, что вероятным источником наночастиц (10–80 нм) в атмосферном воздухе, помимо труб ГРЭС-2, являются большегрузные автомобили, работающие на дизельном топливе, которые в большом количестве используются Томской домостроительной компанией для вывоза крупных панелей с места их производства на юго-западе от Академгородка.

Данные статистического анализа между гранулометрическим составом атмосферного аэрозоля и твердого осадка снегового покрова также косвенно подтверждают это. Во фракциях частиц более 1 мкм и менее 0,1 мкм определены статистически высоко значимые отличия, при это доля фракции частиц более 1 мкм на 4 порядка (в 4482 раза) выше в снеговом покрове, в атмосферном аэрозоле, напротив, в 67 раз больше доля фракции менее 0,1 мкм. Распределение частиц по размерам в пределах от 0,1 до 1 мкм в твердом осадке снегового покрова и атмосферном аэрозоле не имеет статистически значимых различий и отличается лишь в 2,5 раза.

Возвращаясь к распределению частиц по размерам, между дисперсным составом атмосферного аэрозоля и гранулометрическим составом твердого осадка снегового покрова пригорода отмечается сходство в диапазоне до 0,4 мкм (наличие значимой корреляции со смещением) (рис. 1).

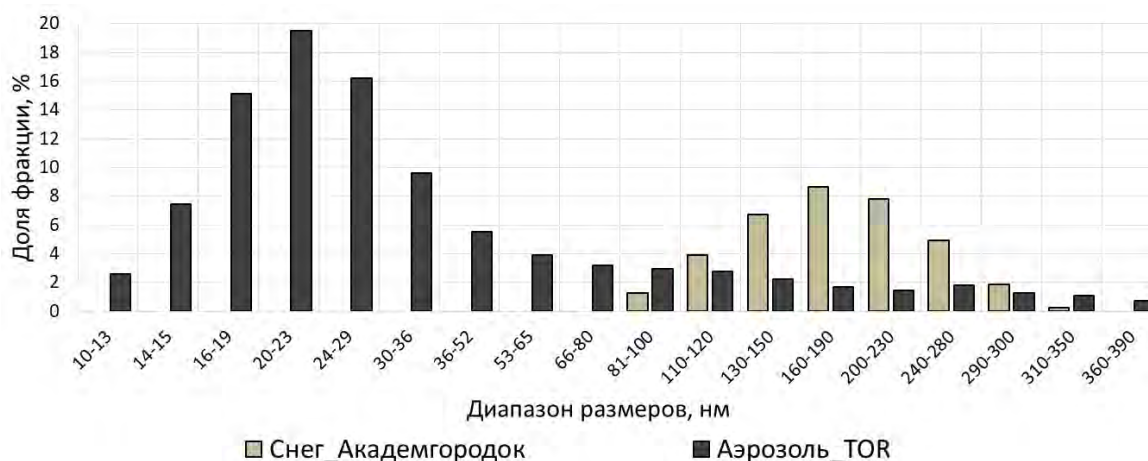


Рис.1. Распределение частиц по гранулометрическим фракциям в твердом осадке снегового покрова и атмосферных аэрозолях (Томский Академгородок)

Эти же частицы в процессе выметания и не продолжительного конденсационного роста (до 80–350 нм), вероятно, накапливаются в снеговом покрове, что объясняет смещение в диапазоне размеров частиц.

Заключение

Дисперсный состав аэрозолей в сравнении с гранулометрическим составом твердого осадка снегового покрова более постоянен. Статистически значимых различий двух точек анализа атмосферного аэрозоля не выявлено. В твердом осадке снегового покрова более явно отражается воздействие города (различия статистически значимы).

Для частиц твердого осадка снегового покрова характерно трехмодальное распределение по размерам. В обеих пробах отмечается диапазон 10–100 мкм с близкими пиками 46,9 и 38,2 мкм. Наибольшие отличия двух проб просматриваются в мелкодисперсной фракции (PM1), которая отсутствует в фоновой пробе и близка к дисперсному составу атмосферного аэрозоля в пригороде.

Определено повышение долей крупных фракций в фоновом районе в сравнении с пригородом: фракции от 7,5 мкм для атмосферного аэрозоля и от 50 мкм для твердого осадка снегового покрова.

Выявлено сходство дисперсного состава атмосферного аэрозоля и гранулометрического состава твердого осадка снегового покрова пригорода в нанодиапазоне.

Литература

1. Тентюков М.П., Шукуров К.А., Белан Б.Д. и др. Сопряженный анализ гранулометрического состава аэрозольного вещества в приземном воздухе и снежном покрове: влияние воздушных масс на распределение аэрозольных частиц // Оптика атмосферы и океана. – 2021. – № 8. – С. 577–584.
2. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 111 с.

УДК 504:550.4:551.578.46:551.510.42(571.1)

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ПО АНАЛИЗУ СНЕГОВОГО ПОКРОВА (ЮГ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

А.В. Таловская

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,
talovskaya@tpu.ru*

ECO-GEOCHEMICAL MONITORING OF ATMOSPHERIC AEROSOLS BASED ON THE SNOW COVER STUDY (THE SOUTH OF THE WESTERN SIBERIA)

A.V. Talovskaya

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, talovskaya@tpu.ru

Abstract: Представлены результаты оценки эколого-геохимического состояния в городах юга Западной Сибири на основе изучения химического и минерально-вещественного состава аэрозолей твердых частиц, осевших в снеговой покров.

Введение

В городских агломерациях юга Западной Сибири расположены теплоэлектростанции и крупные промышленные объекты различной специализации, деятельность которых приводит к формированию «аэрозольной шапки» над городами. Получение знаний о составе аэрозолей возможно при минералого-геохимическом изучении нерастворимого осадка снегового покрова. Цель данной работы – оценка эколого-геохимического состояния в городах юга Западной Сибири на основе изучения химического и минерально-вещественного состава аэрозолей твердых частиц, осевших в снеговой покров.

Материалы и методы

Отбор и подготовка проб снегового покрова осуществлялись по единой методике в соответствии с методическими рекомендациями ИМГРЭ [1] и на основе многолетнего опыта геохимических исследований коллектива кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ (в н.в. отделения геологии). Вес каждой пробы снега составлял не менее 17 кг для получения необходимой массы осадка для выполнения аналитических исследований.

Нашим коллективом (А.В. Таловская, Е.Г. Языков, Н.А. Осипова, Е.А. Филимоненко, Д.А. Володина, В.Д. Новикова (Кирина), В.В. Литав, Е.С. Торосян, Т.С. Шахова, Т.Е. Адильбаева, А.В. Бутенко, студенты разных лет обучения) сбор и анализ основного фактического материала выполнялся на территории Томской, Кемеровской, Омской, Новосибирской области, Республики Хакасия, Красноярского края и отдельных городов Республики Казахстан [2].

В городах размещение пунктов отбора проб снегового покрова выполнялась с использованием как площадной сети на всей территории (с шагом 250–1000 м), так и векторной системы наблюдений с учетом главенствующего направления ветра (0,5–5,5 км от источника) в зоне воздействия предприятий различных отраслей производства (теплоэнергетическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая, металлургическая, машиностроительная, угле- нефте- и горнодобывающая, строительная).

Значительная часть определений количественного содержания 27 химических элементов в пробах определялась инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) в аттестованной ядерно-геохимической лабораториях учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» ТПУ (аналитики: А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). В лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ в пробах проводилось измерение содержания ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии, определение минерально-фазового состава с помощью порошковой рентгеновской дифрактометрии, исследование микрочастиц методом

электронной сканирующей микроскопии и микроскопическим методом. Содержания 60 химических элементов в пробах определялось масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой в ХАЦ «Плазма» (г. Томск, директор: Н.В. Федюнина). Обработка полученных данных включала определение эколого-геохимических показателей (коэффициент концентрации (K_c), коэффициент превышения выпадений над фоном (K_p), суммарный показатель загрязнения (Z_c) и нагрузки (Z_p)) в соответствии с методическими рекомендациями ИМГРЭ; статистический анализ в ПО «Statistica».

Результаты и их обсуждение

На урбанизированных территориях юга Западной Сибири установлено, что уровни концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова превышают фон в 2–140 раз, а величины среднесуточного выпадения элементов на снеговой покров выше фона в 3–900 раз. Выявлена техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова на каждой урбанизированной территории, которая обусловлена промышленной спецификой функционирующих предприятий. Суммарное воздействие химических элементов, определяемое по Z_c и Z_p , формирует средний, высокий и очень высокий уровни загрязнения.

В зонах воздействия изучаемых предприятий различных отраслей промышленности выявлены индикаторные химические элементы в нерастворимом осадке снегового покрова, характеризующие специфику воздействия производств. Установлено, что геохимические особенности проб нерастворимого осадка снегового покрова из зон воздействия функционирующих предприятий отчетливо отражаются в техногенной геохимической специализации проб всего города.

В результате многолетних наблюдений за формированием геохимических особенностей нерастворимого осадка снегового покрова в многопрофильном промышленном городе, например, Томске, определено, что нерастворимый осадок обогащен U, La, Ce, Tb, Sm, Yb, Na, Ba, Mo, W (K_c от 5 до 15). Менее интенсивно концентрируются в пробах макроэлементы (Ca, Fe, Mg, Al, Si, K, Ti), тяжелые металлы и металлоиды (Hg, Zn, As, Bi, Cd, Sb, Co, Sr, V, Ni), РЗЭ, Th (K_c от 1,5 до 5). Формируется средний уровень загрязнения. В период наблюдения произошли изменения в уровнях концентрации в пробах и структуре геохимических ореолов Hg, Br, РЗЭ, U, Th, As и Sr, обусловленные природоохранными мероприятиями на предприятиях и объектах теплоэнергетики, изменением промышленной инфраструктуры города в целом. Наши многолетние исследования позволили установить приоритетные элементы-загрязнители в нерастворимом осадке снегового покрова из районов расположения предприятий: РЗЭ, U, Th, Hg, Ba, As, Sr, Zn, Cd, W, Br, Sb – теплоэнергетика; W, Bi, Fe, Ca – заводы ЖБК; лантаноиды, Na – кирпичные заводы; Br, Sb, Hg – нефтехимический комбинат.

В моногороде с наличием машиностроительного и ферросплавного производства (например, Юрга) для проб нерастворимого осадка снегового покрова индикаторами являются Fe, Cr и Co, уровни накопления которых в нерастворимом осадке превышают фон в 2–3 раза. Определено формирование в окрестностях промзоны геохимических ореолов Fe, Cr и Co, в которых уровни концентрации в нерастворимом осадке составляют 2–5 фонов. В тоже время, городские пробы отличаются интенсивным концентрированием U ($K_c=41,5$), La, Tb, Yb (K_c от 15 до 25), Ba, Ce, Sm, Na, Sr, Ta, Th (K_c от 5 до 15), Ca, Hg, Sc, Rb, Cs, Nd, Eu, Hf (K_c от 1,5 до 5), формирующие высокий уровень загрязнения. В пробах из промзоны выделены геохимические ассоциации Cr-Sb, Sc-Co-Zn-Hg, Fe-Nd, Ba-Th, т.е. элементов входящих в состав выбросов машиностроительных и металлообрабатывающих производств согласно опубликованным работам.

Моногород, подвергаемый воздействию горнорудного техногенеза, например, Сорск, характеризуется высокими уровнями накопления в пробах элементов добываемых руд, в частности Mo ($K_c=6$, $K_p=294$) и Cu ($K_c=6$, $K_p=327$), а также макроэлементов (K_c от 2 до 10) и некото-

рых редкоземельных элементов, отражающие состав вмещающих пород. Уровни накопления элементов в городских пробах обусловлены атмотехногенными потоками пылевых выбросов от расположенных недалеко от города объектов месторождения.

В пробах нерастворимого осадка снегового покрова из района расположения металлургического комбината (черная металлургия), например, в моногороде Новокузнецк к элементам с высоким уровнем накопления относительно фона относятся U и лантаноиды (K_c от 10 до 25), а также V, Mn, Mg, Fe, Co, Zn, Sr, Cd (K_c от 4 до 10). Геохимические особенности проб также определяются накоплением Ti, Cu, Cr, Mo, W, Al, Si, Hg и редкоземельных элементов ($K_c=2-3$). Определены значимые корреляционные связи Fe-Zn-Cd, Mn-Cu-Zn-As-Cd-V, Cr-Cu-Zn-As, Sr-Co-Nd ($r \approx 0,9$) в пробах нерастворимого осадка. Формируется средний уровень загрязнения.

В целом на урбанизированных территориях минерально-вещественный состав нерастворимого осадка снегового покрова характеризуется доминированием техногенных (39–90%) над природными (10–61%) образованиями, при фоне 76 и 24%, соответственно. В пробах на долю индикаторных микроминеральных фаз приходится до 25 %, которые представлены силикатами и алюмосиликатами, карбонатами, фторидами, ферритами, окислами железа и алюминия, сульфидами. Например, цеолит и лизардит являются индикаторными в пробах из зоны воздействия НПЗ (г. Омск), кальцит, браунмиллерит и хатрурит – цементных заводов (г. Топки, г. Искитим), волластонит – заводов по производству ЖБК (г. Томск). В пробах частота встречаемости индикаторных микрочастиц металлов и металлоидов (металлосодержащие микрочастицы) достигает 5 %. Например, в пробах из района расположения предприятия по добыче и обогащению медно-молибденовой руды (г. Сорск), характерным является наличие микрочастиц сульфидов молибдена, сульфидов меди и железа. Особенностью проб из зоны воздействия НПЗ, например, в Омске, является высокая частота встречаемости микрочастиц, близких по составу к цериевым фосфатам и оксидам лантаноидов.

Заключение

На урбанизированных территориях техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова контрастно проявляется в спектре макро- и микроэлементов, определяется видами функционирующих промышленных предприятий и пространственно-временной динамикой формирования геохимических ореолов. В зонах техногенеза в минерально-вещественном составе нерастворимого осадка техногенные образования включают специфичные виды микрочастиц металлов и металлоидов и микроминеральных фаз.

Литература

1. Ревич Б.А., Сает Ю.И., Смирнова Р.С. и др. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
2. Таловская А.В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова) : дис. ... докт. геол.-минерал. наук. – Томск, 2022. – 373 с.

УДК 519.22:504:550.4:551.578.46:669.712.013

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ
ПО СОСТАВУ АЭРОЗОЛЕЙ, ОСЕВШИХ В СНЕГОВОЙ ПОКРОВ
В ОКРЕСТНОСТЯХ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Е.О. Тарменок, А.В. Таловская

Томский политехнический университет, Томск, Россия

ekatar1328@gmail.com, talovskaj@yandex.ru

**STATISTICAL ANALYSIS OF ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL DATA
OF AEROSOLS COMPOSITION IN SNOW COVER
(ALUMINA REFINERY AREA)**

E.O. Tarmyonok, A.V. Talovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

ekatar1328@gmail.com, talovskaj@yandex.ru

Аннотация. в работе рассматривается применение методов математического анализа для обработки экспериментальных данных, характеризующих химический состав твердых частиц, оседающих в снежный покров района глиноземного производства. Статистическая обработка включала в себя расчет численных характеристик, проведение кластерного и однофакторного дисперсионного анализов.

Ключевые слова: твердый осадок снега, глиноземное производство, статистический анализ, кластерный анализ, факторный анализ, элементный состав

Введение

Применение статистических методов в эколого-геохимических исследованиях позволяет структурировать и систематизировать большой объем данных о химическом составе проб, выявить ключевые тенденции и аномалии.

Производство алюминия крайне важно для народного хозяйства, ведь этот металл является одним из самых необходимых для металлургии. Для работы алюминиевых заводов необходимо сырье – глинозем, производство которого является самым масштабным в промышленности. По литературным данным для снегового покрова в районах размещения глиноземного производства характерными являются Na, K, Sr, Ba, Ca, Co, Mg, Cu, Fe, V, Ni, Sc, Mn, Ni [1], а в составе исходного сырья и технологической пыли содержатся оксиды кальция, натрия и железа [2].

Целью данного исследования является применение методов математического анализа экспериментальных данных, полученных при исследовании химического состава аэрозолей твердых частиц, осевших в снеговой покров в районе расположения глиноземного производства.

Материалы и методы

Отбор и подготовка проб снегового покрова производились по стандартной методике [3–4]. Отбор 20 проб выполнялся по 5 векторам от основных источников выбросов предприятия на расстояние до 10 км с учетом главенствующего направления ветра и нормативно-методических рекомендаций. По результатам отбора и подготовки проб получены твердый осадок снега, содержащий севшие из воздуха аэрозольные частицы. Элементный состав проб твердого осадка снега определялся с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), который проводился в ядерно-геохимической лаборатории на базе лабораторий учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» центра коллективного пользования УНУ ИРТ-Т (аналитики: А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Содержание ртути определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (РА-915М с приставкой ПИРО-915+) в лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» ОГ ИШПР ТПУ при кон-

сультации Осиповой Н.А., к.х.н., доцента ОГ ТПУ. С помощью стандартного набора сит размером 500, 125, 100, 40 и 20 мкм был определен гранулометрический анализ состава проб твердого осадка снега. Статистическая обработка данных производилась с использованием ПО «Statistica» и включала в себя оценку числовых характеристик, проверку гипотез о нормальном распределении, кластерный и однофакторный дисперсионный анализ с использованием пособия [6].

Результаты и их обсуждение

В первую очередь было произведено вычисление оценок числовых характеристик содержаний химических элементов в пробах. Распределение анализируемых химических элементов характеризуется множественными значениями моды, что может говорить о различных источниках поступления химических элементов. После анализа числовых характеристик, химические элементы были разделены на четыре группы в зависимости от значения коэффициента вариации (≤ 39 – однородное распределение, 40–79 – неоднородное, 80–159 – сильно неоднородное, ≥ 160 – крайне неоднородное [5]). В пробах твердого осадка снега большая часть элементов (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Hg, Ce, Sm, Eu, Yb, Lu, Th, U) характеризуется однородным распределением, Br, Hf, Nd, Tb – неоднородным, а Ta – сильно неоднородным.

Для проверки гипотезы о нормальном распределении было использовано три критерия – Пирсона, Колмогорова–Смирнова, отношения показателей асимметрии и эксцесса к их стандартным ошибкам. Вывод о несоответствии нормальному распределению выбирался, если по двум из трех выбранных критериев распределение не соответствовало нормальному. После проведения проверки, оказалось, что распределение всех изучаемых элементов не соответствуют нормальному распределению, следовательно, в дальнейшем применялись непараметрические методы статистического анализа.

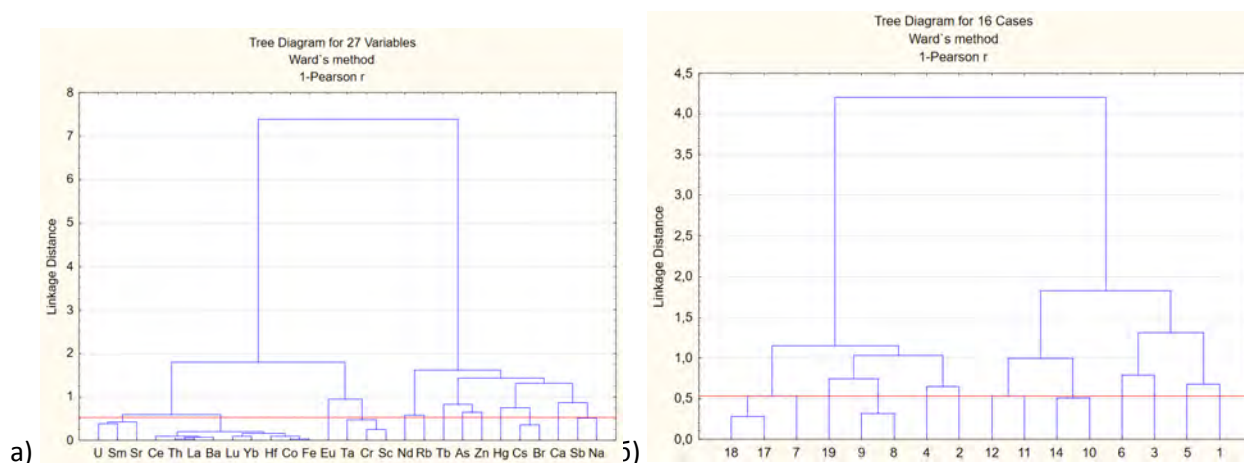


Рис. Дендрограммы корреляционной матрицы ($n=18$, $1-r_{0,05} = 0,53$): а) ассоциаций химических элементов в твердом осадке снега; б) точек расположения проб твердого осадка снега в районе глиноземного производства

По результатам кластерного анализа по наивысшим мерам сходства парных коэффициентов корреляции Пирсона r пробы твердого осадка снега были объединены в группы по схожему элементному составу, а также были выявлены отдельные ассоциации химических элементов (рисунок). На дендрограммах корреляционных матриц в твердом осадке из окрестностей глиноземного комбината (рисунок а) выделены следующие значимые корреляции: [U-Sm]-Sr, Ce-[Th-La]-Ba-Lu-Yb-Hf-[Co-Fe], Ta-[Cr-Sc], Cs-Br. В квадратных скобках указаны более сильные связи между элементами внутри выделенной ассоциации. По элементному составу

проб, отобранных в различных точках по мере удаления от предприятия, было выделено три группы с наибольшими корреляционными связями в северо-восточном направлении: точки 17 и 18, которые находятся на расстоянии 2 км; точки 8, 9, расположенные от 4 до 7 км, а третья группа объединяет точку 10, расположенную в 10 км и точку 14, которая находится в 4 км от предприятия в юго-западном направлении (рисунок, б).

Результаты ситового анализа показали, что мере удаления от глиноземного комбината в север-северо-восточном направлении в пробах твердого осадка снега увеличивается доля фракций 100–125 и 125–500 мкм. В северо-восточном направлении снижается процентное содержание частиц размером 125–500, 40–100 и 20–40 мкм, при этом частиц с размером от 100 до 125 мкм становится больше. В восточном направлении в пробах увеличивается содержание частиц размером более 500 мкм и 125–500 мкм, процентное же содержание фракций 100–125 и 40–100 мкм снижается. Для оценки воздействия размера фракции частиц на накопление химических элементов в пробах твердого осадка снега был проведен непараметрический однофакторный дисперсионный анализ по тесту Краскела–Уоллиса. Согласно критерию Краскела–Уоллиса высоко значимые различия между средними в группах, которые говорят о воздействии фактора, существуют при $p < 0,0005$. Высоко значимыми различиями характеризуются следующие химические элементы: Na, Cr, La, Hf, Ta, Th, из чего можно сделать вывод, что содержание данных элементов меняется в зависимости от изучаемого размера частиц.

Заключение

В ходе данного исследования проанализирован химический состав проб твердого осадка снега из района расположения глиноземного производства с помощью отдельных методов статистической обработки данных. Проведенный анализ показал неравномерность распределения химических элементов в твердом осадке снега в районе глиноземного завода. Выделены геохимические ассоциации элементов (U-Sm-Sr, Ce-Th-La-Ba-Lu-Yb-Hf-Co-Fe, Ta-Cr-Sc) в твердом осадке снега. Непараметрический дисперсионный анализ подтвердил существенное влияние размеров частиц на концентрацию ряда элементов (Na, Cr, La, Hf, Ta, Th).

Литература

1. Дворецкая Ю.Б. Геоэкологическая оценка влияния глиноземного производства на окружающую среду (на примере г. Ачинск) : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Красноярск, 2007. – 174 с.
2. Кирюшин Е.В. Разработка технологий для снижения выбросов загрязняющих веществ от печей спекания и оценка их экологической эффективности : дис. ... канд. тех. наук. – Красноярск, 2022. – 165 с.
3. Сает Ю.Е., Башаркевич И.Л., Ревич Б.А. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 66 с.
4. Ревич Б.А., Сает Ю.Е., Смирнова Р.С. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. – М. : Министерство здравоохранения СССР, 1990. – 17 с.
5. Зорькина Л.М., Петухова А.В. Комплексный анализ данных геохимических поисков месторождений нефти и газа. – М. : Недра, 1981. – 261 с.
6. Михальчук А.А., Язиков Е.Г. Многомерный статистический анализ эколого-геохимических измерений. Часть II. Компьютерный практикум: учебное пособие. – Томск : Изд-во. ТПУ, 2014. – 150 с.

УДК 504.4.054

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И УРАН В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
ЗАГРЯЗНЕННОГО УЧАСТКА РЕКИ ШАГАН**

**А.Е. Темиржанова¹, Е.Г. Язиков², Ж.А. Байгазинов^{3,4},
Н.Ж. Мухамедияров^{3,4}, К.К. Дускаев¹**

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
temirzhanova.aray@mail.ru, kduskaev@gmail.com

²Томский политехнический университет, Томск, Россия
yazikoveg@tpu.ru

³АО «Парк ядерных технологий», Курчатов, Казахстан
zh.baigazinov@gmail.com, nurlan.eventumlab@gmail.com

⁴Учреждение образования «Alikhan Bokeikhan University», Семей, Казахстан

**HEAVY METALS AND URANIUM IN BOTTOM SEDIMENTS
OF THE POLLUTED SITE OF THE SHAGAN RIVER**

**A.Ye. Temirzhanova¹, E.G. Yazikov², J.A. Baigazinov³,
N.Zh Mukhamediyarov³, K.K.Duskayev¹**

¹ Al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan, temirzhanova.aray@mail.ru,
kduskaev@gmail.com

²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, yazikoveg@tpu.ru

³JSC «Park of Nuclear Technologies», Kurchatov, Kazakhstan, zh.baigazinov@gmail.com,
nurlan.eventumlab@gmail.com

⁴Educational institution «Alikhan Bokeikhan University», Semey, Kazakhstan

Abstract. В работе рассматриваются особенности пространственного распределения и взаимосвязи химических элементов в системе компонентов р. Шаган в пределах локализованных участков, подверженных постоянному радиоактивному загрязнению. В качестве объекта выбран участок реки Шаган, расположенный в зоне разгрузки загрязненных подземных и трещинных вод с территории ранее функционировавших «боевых» скважин площадки «Балапан» Семипалатинского испытательного полигона (СИП). В донных отложениях реки на участке 2 км от «Атомного озера» показано, что распределение элементов имеет неоднородный характер. В точках зоны разгрузки загрязненных подземных вод концентрации химических элементов отличаются в несколько раз. Отмечена аномально высокая концентрация Zn, с превышением пороговой концентрации (ПЕС) и возможным негативным эффектом для биоты данной экосистемы.

Введение

В результате многолетних наблюдений за гидрохимическим состоянием реки Шаган, проведенных в течение последнего десятилетия, были выявлены участки, на которых фиксируется непосредственная разгрузка загрязненных трещинных и подрусловых вод в ее поверхностный сток. Эти зоны характеризуются устойчивыми признаками техногенного влияния и требуют особого внимания при оценке экологического состояния данного водного объекта [7, 1, 2].

Река Шаган – левобережный приток реки Иртыш с протяженностью более 250 км. Река имеет сезонный водный режим с преобладанием весеннего и летнего стока. Питание осуществляется за счет атмосферных осадков, талых вод, подземных притоков и временных водотоков [3]. Гидрологическая сеть региона отличается высокой чувствительностью к техногенному воздействию, что делает ее важным объектом для изучения геохимических и экологических последствий ядерной деятельности.

Материалы и методы

Отобраны пробы воды и донных отложений на исследовательском участке р. Шаган. В полевых условиях пробы воды фильтровали через бумажный фильтр «Синяя лента» и подкисляли минеральными кислотами для стабилизации и сохранения репрезентативности образца, а также предотвращения потери качественных характеристик при элементном анализе. Донные отложения объемом более 1 кг каждого образца размещали в контейнерах из инертных материалов во избежание вторичного загрязнения. Содержание микроэлементов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с использованием многоэлементных стандартных растворов и градуировочной кривой. Статистический и корреляционный анализ проводили в Statistica 13.0 и Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

С целью оценки текущего гидрохимического состояния и уточнения ранее полученных данных по р. Шаган [4, 8] проведен анализ химического состава воды и донных отложений на загрязненном участке. Установлено, что в исследуемый период воды реки относятся к сульфатно-хлоридному натрий-кальциевому типу. Подобный состав характерен для условий аридного климата и обусловлен высокой минерализацией при низкой водности. В таблице 1 представлены данные о содержаниях группы химических элементов в донных отложениях, отобранных на участке разгрузки загрязненных трещинных и подрусловых вод в поверхностный водоток. Степень загрязнения донных отложений изучаемыми группами элементов исследуемого участка р. Шаган определяли путем сравнения измеренных концентраций с их контрольными уровнями концентрации (Threshold Effect Concentration (TEC) – пороговая концентрация, ниже которой негативных эффектов не наблюдается, и Probable Effect Concentration (PEC) – пороговая концентрация, выше которой возможны негативные эффекты) [6, 5]. Тогда как содержание остальных элементов сопоставляли со средним содержанием в верхней части континентальной коры и определили их кларк концентрации.

Таблица 1. Содержание химических элементов в донных отложениях загрязненного участка р.Шаган, мг/кг n=7

Элементы	X±SEM	Me	σ	Min	Max	CV, %	Кларк по Григорьеву, 2009	TEC	PEC
Mn	14700±9200	3000	24300	2800	68200	170	770	460*	1100*
Fe	34800±10000	27200	26600	16700	93300	76	40600	-	-
Cu	70±18	52	47	24	140	68	39	31,6	149
Zn	26400±10600	22700	28000	66	63600	106	75	121	459
Pb	18,0±2,6	17,0	7,0	12,0	29,0	37	17	35,8	128
U	21,0±5,3	14,0	14,0	8,4	43,0	65	2,5	-	-

Примечание: * – Guidelines for Identifying, Assessing and Managing Contaminated Sediments in Ontario, 2008.

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что концентрация Mn превышает значение пороговой концентрации, ассоциированной с вероятным возникновением негативных эффектов (PEC), в 13 раз. Содержание Mn в донных отложениях варьирует в интервале 2800...68200 мг/кг. Кроме того, среднее значение его концентрации превосходит кларковое значение в верхней части континентальной коры, что может указывать на наличие дополнительного источника поступления этого элемента в рассматриваемую среду. Напротив, концентрация Cu остается ниже уровня PEC, однако в отдельных точках наблюдается значительное превышение порогового значения, при котором негативные эффекты, как правило, не фиксируются (TEC). Так, в зоне слияния старого и нового русел и в некотором удалении от нее уровень TEC превышен в 4 раза, а вблизи области поступления загрязненных подземных вод в поверхностные – около 2 км – превышение зафиксировано в 1,5 раза. Для боль-

шинства точек отбора проб концентрация Zn превышает уровень ПЕС в диапазоне от 4 до 100 раз. Что касается Pb, его концентрации демонстрируют незначительные колебания между различными точками и не выходят за пределы как ТЕС, так и ПЕС, что, по-видимому, отражает его преимущественно природное происхождение. Дополнительно были рассмотрены концентрации Fe, U, в отношении которых отсутствуют нормативные значения предельно допустимого содержания. В связи с этим была проведена сравнительная оценка их концентраций с кларковыми значениями в верхней континентальной коре (по данным Григорьева, 2009). Установлено, что содержание Fe соответствует его кларку, тогда как концентрация U превышает кларковое значение в 8 раз. На основании анализа превышения кларков установлена следующая последовательность уменьшения средних концентраций микроэлементов: **Zn₃₅₀ > Mn₁₉ > U_{8,4} > Cu_{1,8}**. Такая геохимическая тенденция может свидетельствовать о наличии дополнительного источника поступления Zn.

Корреляции между отдельными микроэлементами в донных отложениях могут быть обусловлены их геохимическими связями, а также предоставлять информацию об источниках и путях поступления элементов. В донных отложениях загрязненного участка р. Шаган была выявлена значительная корреляция между содержанием Mn и Fe (0,96), Cu и Zn (0,96), Cu и Pb (0,97), а также Zn и Pb (0,96), что может подтверждать их общее происхождение от одного или нескольких источников. Между концентрацией U и содержанием остальных изучаемых элементов установлена слабая отрицательная связь.

Заключение

В донных отложениях загрязненного участка р. Шаган в зоне разгрузки загрязненных подземных и трещинных вод с территории ранее функционировавших «боевых» скважин площадки «Балапан» определено содержание 6 элементов. Максимальные концентрации (>10000 мг/кг) характерны для Mn, Fe и Zn, что может быть обусловлено выщелачиванием пород с высоким содержанием этих элементов. Zn и Mn присутствует в количестве 14700 и 26400 мг/кг, что выше уровня пороговой концентрации (ПЕС), выше которой возможны негативные эффекты для существующих там микро- и макроорганизмов. Таким образом, для более глубокого понимания геохимических процессов, происходящих на загрязненных участках водотока реки Шаган необходимо постоянное изучение химического состава воды и донных отложений.

Работа выполнена в рамках проекта «Комплексное радиоэкологическое исследование бассейна р. Шаган и разработка рекомендаций по минимизации негативного влияния на окружающую среду и население» (ИРН АР22783154) при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Литература

1. Айдарханов А.О., Лукашенко С.Н., Айдарханова А.К. и др. Радиоактивное загрязнение вод реки Шаган (по результатам 2011-го года) // Радиация и риск. – 2014. – № 23(4). – С. 35–42.
2. Aktayev M., Subbotin S., Aidarkhanov A. et al. Characterization of geological and lithological features in the area proximal to tritium-contaminated groundwater at the Semipalatinsk test site // Plos one. – 2024. – Vol. 19(3). – Art. No. e0300971. – doi: 10.1371/journal.pone.0300971.
3. Большая советская энциклопедия. 1969-1978 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bse-sci-lib.com> (дата обращения: 15.05.2025).
4. Gorlachev I., Kharkin P., Dyussebayeva M. et al. Comparative analysis of water contamination of the Shagan River at the Semipalatinsk test site with heavy metals and artificial radionuclides // J. Environ. Radioact. – 2020. – Vol. 213. – Art. No. 106110. – doi: 10.1016/j.jenvrad.2020.106110
5. Guidelines for Identifying, Assessing and Managing Contaminated Sediments in Ontario: An Integrated Approach. 2008 / Ministry of the Environment, Conservation and Parks. – Ontario : Queen's Printer for Ontario, 2008.

6. MacDonald D.D., Ingersoll C.G. A guidance manual to support the assessment of contaminated sediments in freshwater ecosystems. – Washington : Fisheries Development, 2002. – Vol. 3. Interpretation of the results of sediment quality investigations.
7. Лукашенко С.Н. Обеспечение радиационной безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона : отчет по республиканской бюджетной программе 011 ИЯФ НЯЦ РК. – Алматы : Институт ядерной физики НЯЦ РК, 2005.
8. Ташекова А.Ж., Лукашенко С.Н., Койгельдинова М.Т. и др. Характеристика элементного состава воды р. Шаган // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 12. – С. 141–146.

УДК 551.510.721 (470.26)

РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Ю. Топчая, Е.И. Котова

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия,
piwis@mail.ru, ecopp@yandex.ru*

RADIOACTIVE ELEMENTS IN SOLID AEROSOL PARTICLES DEPOSITED IN ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE KALININGRAD REGION

V.Yu. Topchaya, E.I. Kotova

*Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia
piwis@mail.ru, ecopp@yandex.ru*

Abstract. Определено содержание радиоактивных тория и урана в атмосферных выпадениях в снеговом покрове и дождевых осадках на территории Калининградской области в 2024–2025 гг. Показано, что по Th/U в снеге и дожде на территории региона исследования имеют смешанную природу радиоактивности. Выявлены возможные источники радиоактивных элементов в атмосферных выпадениях.

Введение

Атмосферный перенос является одним из основных механизмов распространения различных химических элементов, в том числе и радиоактивных. Основным источником поступления в приземные слои атмосферы тория и урана является интенсивное сжигание больших объемов угля [6]. Содержание радиоактивных элементов в твердых атмосферных выпадениях определяется их источниками, направлением переноса воздушных масс, метеорологическими условиями и районом формирования ядер конденсации. Особенности географического положения и атмосферной циркуляции, с преобладанием западного трансграничного переноса воздушных масс, оказывают существенное влияние на уровень техногенного воздействия на приземный слой атмосферы и состояние наземных экосистем Калининградской области.

Материалы и методы

В 2024 и 2025 гг. отобрано и проанализировано 28 проб атмосферных осадков (12 проб снега и 16 проб дождя) на территории Калининградской области – в г. Балтийске, г. Зеленоградске, г. Калининграде и г. Черняховске (рис. 1). Пробы снега и дождя отбирались в соответствии с [3, 4], дождь собирался в 2024 г. в весенне-осенний период, а в 2025 г. – в апреле. В камеральных условиях талая снеговая и дождевая вода фильтровались под вакуумом –0,6 атм. через предварительно взвешенные дисковые мембранные фильтры, ацетат целлюлозы 0,45 мкм, диаметром 47 мм. Содержание (мкг/г) радиоактивных элементов (Th, U) в твердых атмосферных выпадениях атмосферных осадков проанализировано во всех образцах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, г. Черноголовка (Московская область). На основании данных ИСП-МС анализа рассчитаны коэффициенты концентрации (K_k), показывающие отношение весового содержания Th и U в твердых гидрофильных атмосферных выпадениях к кларку литосферы [1], что позволило оценить степень концентрации ($K_k > 1$) или рассеяния ($K_k < 1$) данных радиоактивных элементов. Уровень техногенной трансформации твердых атмосферных выпадений в снеге и дожде был оценен путем расчета величины отношения Th/U [2]. Возможные источники поступления радиоактивных элементов на территорию региона оценены с использованием модели HYSPLIT4, доступной на веб-сайте Лаборатории воздушных ресурсов (NOAA Air Resources Laboratory) и данных анализа метеорологических элементов NCEP/NCAR [5]. В системе READY (Real-time

Environmental Applications and Display system) на вебсайте NOAA Air Resources Laboratory, для дат отбора проб рассчитаны пятисуточные обратные траектории движения воздушных масс в приземном слое (50 м) атмосферы к заданным в координатах точкам.



Рис. 1. Местоположение точек отбора проб снегового покрова и дождевых осадков на территории Калининградской области

Результаты и их обсуждение

Содержание Th в твердых атмосферных выпадениях в снеге на территории Калининградской области 2024–2025 гг. изменялось от 1,1 до 18,9 мкг/г и в среднем составило $7,2 \pm 3,2$ мкг/г ($n=12$), в дождевых осадках в среднем – $2,2 \pm 0,7$ мкг/г ($n=16$), при диапазоне значений 0,6–3,8 мкг/г. Содержание U в атмосферных выпадениях в снеге изменялось от 0,5 до 10 мкг/г и в среднем – $4,1 \pm 1,2$ мкг/г, а в дождевых осадках – от 0,2 до 2,5 мкг/г и в среднем составило $1,2 \pm 0,4$ мкг/г. Т.е., концентрация Th и U в снеге почти в 3,5 раз больше, чем в дождевых осадках. Значения содержания Th в атмосферных выпадениях всех типов осадков выше, чем концентрация U, что соответствует природной закономерности содержания данных радиоактивных элементов в природных объектах. Значения Th/U отношения в дождевых осадках 2024–2025 гг. имело пространственно-временные вариации: в апреле варьировало от 1,4 (г. Калининград) до 4,8 (г. Зеленоградск); в июле 2024 г. – от 1,2 (г. Балтийск) до 7,6 (г. Зеленоградск); в октябре 2024 г. – от 1,9 (г. Черняховск) до 2,4 (г. Зеленоградск и г. Балтийск). Коэффициенты концентрации Th и U в дождевых осадках находились в пределах от 0,1 до 0,8 с превышением содержания U, исключения лишь составили дожди 2024 г. в г. Балтийске (апрель) и в г. Зеленоградске (июль), где содержания Th незначительно были выше. Величины отношения Th/U и коэффициентов концентрации радиоактивных элементов в атмосферных выпадениях в снеговом покрове представлены в таблице 1.

Таблица 1. Отношения содержания тория к урану и коэффициенты их концентрации в снеговом покрове на территории Калининградской области

Район	2024 г.		2025 г.	
	Th/U	Kк	Th/U	Kк
Балтийск	2,3	$U_{(1)} - Th_{(0,5)}$	1,3	$U_{(2,8)} - Th_{(0,7)}$
Зеленоградск	2,1	$U_{(2,5)} - Th_{(1)}$	1,3	$U_{(2,5)} - Th_{(0,4)}$
Калининград	1,5	$U_{(1)} - Th_{(0,3)}$	2,1	$U_{(0,5)} - Th_{(0,2)}$
Черняховск	1,9	$U_{(4)} - Th_{(1,5)}$	5,2	$U_{(0,2)} - Th_{(0,1)}$

Полученные значения K_k указывают на концентрацию U в атмосферных выпадениях в снеге, однако в дожде Th и U находятся в большей степени рассеяния. Выявлены повышенные значения отношения Th/U (>7) в дожде июля 2024 года в г. Зеленоградске, что указывает на ториевую природу поступления радиоактивных элементов, вероятно связанную с повышенным содержанием в составе атмосферных выпадений осадочных пород прибрежно-морских фаций. По Th/U отношения (1–5) радиоактивные элементы в атмосферных выпадениях снега и дождя на территории Калининградской области имеют смешанную природу радиоактивности, характерную для зон техногенеза. Так как в регионе эксплуатируется преимущественно газовые ТЭС, и лишь одна угольная – Приморская ТЭС, возможными техногенными источниками поступления U и Th в регион являются эмиссии угольных ТЭС и вынос с открытых угольных карьеров расположенных на территории западных европейских государств. Как видно на (рис. 2), воздушные массы весной 2025 г. проходили над карьерами Турошувского угольного бассейна, находящегося на юго-западе Польши на границе с Чехией и Германией, а в зимний период 2024 г. над объектами угольной энергетики западной и центральной части Республики Польша.

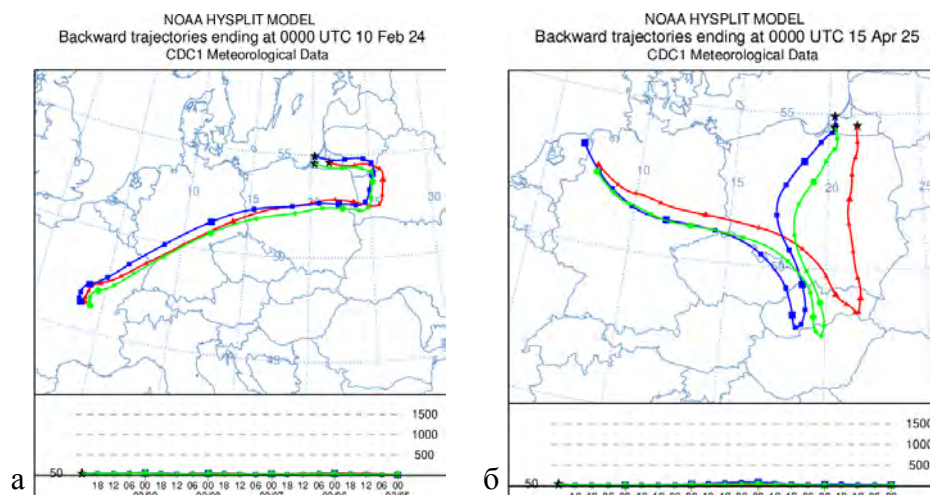


Рис. 2. Обратные траектории поступления воздушных масс к точкам отбора проб снега (а) и дождя (б) на территории Калининградской области

Заключение

По Th/U отношения (1–5) радиоактивные элементы в атмосферных выпадениях снега и дождя на территории Калининградской области имеют смешанную природу радиоактивности. Техногенное поступление U и Th в регион исследования происходит в результате трансграничного атмосферного переноса эмиссий угольных ТЭС и выноса с открытых угольных карьеров расположенных в юго-западной, западной и центральной частях Республики Польша.

Литература

1. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – Вып. 7. – 1962. – С. 555–571.
2. Рихванов Л.П., Арбузов С.И., Барановская Н.В. и др. Радиоактивные элементы в окружающей среде // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, № 1. – С. 128–136.
3. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186–89 (действует с 01.07.1991). – М. : Госкомгидромет. – 1991.
4. Чечко В.А, Курченко В.Ю. Методы исследований золотого материала в береговой зоне юго-восточной Балтики // Создание и использование искусственных земельных участков на бере-

- гах и акватории водоемов : труды межд. конференции. – Новосибирск. – 2009. – С. 175–180.
5. Draxler R.R., Rolph G.D. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model [Electronic resource]. – College Park, MD : NOAA Air Resources Laboratory, 2013. – URL: <http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.
 6. Russell M.C., Belle J.H., Liu Y. The impact of three recent coal-fired power plant closings on Pittsburgh air quality: a naturalexperiment // Journal of the Air & Waste Management Association. – 2017. – Vol. 67(1). – P. 3–16.

УДК 504.3.054

ВЛИЯНИЕ НЕРЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ СВАЛОК НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СНЕГОВОЙ СЪЕМКИ

Т.В. Чередова^{1,2}, С.Г. Дорошкевич¹

¹Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия

²Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия
cheredova-tv@yandex.ru, sv-dorosh@mail.ru

IMPACT OF UNCULTIVATED LANDFILLS ON ATMOSPHERIC AIR POLLUTION BASED ON SNOW SURVEY RESULTS

T.V. Cheredova^{1,2}, S.G. Doroshkevich²

¹Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

²East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia
cheredova-tv@yandex.ru, sv-dorosh@mail.ru

Abstract. В работе показано влияние нерекультивированных свалок на загрязнение атмосферного воздуха по результатам анализа нерастворимого осадка снегового покрова. Установлено, что пылевая нагрузка на объектах размещения отходов превышает фоновые показатели в 2-6 раз, содержание мелких пылеватых частиц в снеге со свалок выше, чем на фоновых участках. В составе нерастворимого осадка снега на свалках выявлены минералы, не свойственные фоновым участкам (хромферит, пирофанит, халькозин и др.), что свидетельствует об участии техногенного поверхностного грунта в формировании снегового покрова на свалках. Для снижения негативного воздействия объектов размещения отходов на окружающую среду требуется их рекультивация.

Введение

Снеговая съемка является перспективным направлением для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, поскольку позволяет получить информацию о поступлении поллютантов в атмосферный воздух за весь период снегонакопления. Особую популярность снеговая съемка получила в работах, посвященных оценке воздействия на атмосферный воздух деятельности крупных промышленных предприятий [1], оказывающих значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха на урбанизированных территориях, к ним относятся объекты теплоэнергетики, заводы, фабрики. Однако немаловажным источником загрязнения атмосферы являются объекты размещения отходов. Исследования многих авторов показывают, что полигоны отходов являются серьезным источником негативного воздействия на окружающую среду, при этом особую экологическую опасность представляют собой заброшенные и нерекультивированные объекты размещения отходов. Оценка влияния на окружающую среду таких объектов, расположенных в Республике Бурятия, ранее не проводилась, в связи с этим целью настоящей работы являлось изучение воздействия на атмосферный воздух нерекультивированных объектов размещения отходов по результатам анализа снегового покрова.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны закрытые, но не рекультивированные к настоящему времени свалки промышленных (ТПРО), золошлаковых (ЗШО), коммунальных (ТКО) отходов, расположенные в границах Улан-Удэнской агломерации: в районе п. Сотниково, п. Стеклозавод, п. Восточный (падь Бабасанова), п. Площадка (рис .1). Исследования были проведены в период 2021–2023 гг. Отбор проб снега проводился на теле свалок, в зоне их влияния и на условно-фоновых участках, подобранных индивидуально для каждой свалки. Условно-фоновый участок выбирался с учетом розы ветров, антропогенной нагрузки и орографических особенностей местности на расстоянии 500–1000 м от границы свалок. Отбор проб снега проводился в феврале каждого года исследований в период максимального

снегозадержания в соответствии с методическими рекомендациями по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов [2]. Масса отобранной пробы с одной пробной площадки составляла не менее 10 кг. Таяние снега осуществлялось при комнатной температуре в течение одних суток. Полученный объем снеговой воды пропусклся через фильтр «синяя лента», в дальнейшем проводился анализ нерастворимого осадка, задержанного на фильтре. Гранулометрический состав твердых частиц снегового покрова был установлен в ЦКП «Научные приборы» Бурятского государственного университета им. Доржи Банзарова (г. Улан-Удэ) с помощью метода лазерной дифракции. Анализ морфологического и минерального состава твердого осадка проводился с помощью растровой электронной микроскопии в режиме переменного давления (Variable Pressure, VP) в ЦКП «Геоспектр» Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (г. Улан-Удэ). По результатам анализа была рассчитана пылевая нагрузка на изучаемых территориях, валовый выброс пыли, установлен гранулометрический и минеральный состав нерастворимого осадка снегового покрова.



Рис. 1. Схема размещения объектов исследования:

1 – свалка п. Сотниково; 2 – свалка п. Стеклозавод; 3 – свалка п. Площадка; 4 – свалка п. Восточный; Указанные годы – периоды функционирования свалки; S – площадь свалки, га

Результаты и их обсуждение

Пылевая нагрузка на всех изучаемых объектах размещения отходов превышает фоновые показатели в 2–6 раз, что свидетельствует об участии техногенного грунта при формировании снежного покрова на свалках. В районе свалок ТКО п. Сотниково, п. Стеклозавод и ТПрО падь Бабасанова установлен низкий уровень загрязнения снегового покрова (P_n 3,40–28,2 мг/м²×сут); в районе свалки ЗШО п. Площадка – средний (P_n 337,9 мг/м²×сут) и высокий (P_n 571,1 мг/м²×сут) уровни загрязнения снегового покрова, что связано с ее расположением п. Площадка в зоне влияния объектов теплоэнергетики и крупных промышленных предприятий г. Улан-Удэ.

На основании полученных данных о величине пылевой нагрузки были рассчитаны валовые выбросы пыли (т/год), поступающие в атмосферу от нерекультивированных объектов размещения отходов. Расчет был проведен с учетом фонового загрязнения на каждой свалке и продолжительностью наличия устойчивого снегового покрова в зимний период, когда пыление невозможно. Валовые выбросы составили для свалки ТКО п. Сотниково – 0,121 т/год, для свалки ТПрО падь Бабасанова – 0,265 т/год, для свалки ТКО п. Стеклозавод – 1,616 т/год, для свалки ЗШО – 2,647 т/год.

Размеры твердых частиц в нерастворимом осадке снегового покрова с объектов размещения отходов варьируются в диапазоне от 50 нм до 315 мкм, что значительно меньше, чем на условно-фоновых участках – от 124 до 800 мкм (табл. 1).

Таблица 1. Гранулометрический состав нерастворимых частиц снегового покрова, отобранного на объектах захоронения отходов в пределах Улан-Удэнской агломерации

Площадки отбора проб		Диаметр частиц, мкм			
		Максимальный (d_{max})	Минимальный (d_{min})	Усредненный ($d_{50\%}$)	Модальный (d_{moda})
ТКО п. Сотниково (n=10)	фон	800,000	124,111	296,774	280,460
	свалка	315,102	3,356	59,248	176,016
ТКО п. Стеклозавод (n=10)	фон	800,000	315,102	585,356	800,000
	свалка	315,102	3,356	81,030	110,467
ТПрО падь Бабасанова (n=10)	фон	800,000	249,627	539,844	800,000
	свалка	315,102	8,521	83,596	139,441
ЗШО п. Площадка (n=5)	свалка	110,467	0,051	17,506	34,469

Примечание: n – число замеров.

В снеговом покрове, отобранном на всех объектах размещения отходов, встречаются пылеватые частицы размером 2–50 мкм (ГОСТ 25100-2011) в количестве 28-87% и частицы размером менее 10 мкм, что негативно сказывается на работе органов дыхания населения [3].

Морфологический состав частиц нерастворимого осадка снегового покрова представлен микросферулами, глобулами, волокнами и частицами неправильной формы размерами от менее 1 до 10^3 мкм. Минеральный состав нерастворимого осадка снегового покрова в основном представлен частицами природного происхождения, характерными для горных пород Байкальского региона: кварц и различные алюмосиликаты (плагиоклазы, амфиболы, эпидоты, каолиниты, калиевые полевые шпаты, биотиты, хлориты и др.). В составе нерастворимого осадка снегового покрова встречаются также частицы техногенного происхождения: железосодержащие и углеродистые структуры, представленные золами, шлаками и частицами несгоревшего топлива. Вместе с тем в составе нерастворимого осадка снега на свалках были выявлены минералы, не свойственные фоновым участкам (хромферит, пиррофанит, халькозин и др.), поступление которых возможно с привозными поверхностными грунтами с тела свалок при захоронении отходов.

Заключение

Нерекультивированные объекты размещения отходов вносят вклад в загрязнение атмосферного воздуха пылеватыми частицами. Нерастворимый осадок снегового покрова на свалках характеризуется меньшим диаметром частиц и большим минеральным разнообразием по сравнению с условно-фоновыми участками. Для снижения негативного воздействия на окружающую среду требуется их рекультивация.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту АААА-А21-121011890033-1 Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока.

Литература

1. Таловская А.В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова) : автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. – Томск, 2022. – 46 с.
2. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населен-

- ных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. – М. : Изд-во ИМГРЭ, 1990. – 16 с.
3. Стреляева А.Б., Лаврентьева Л.М., Лупиногин В.В. и др. Исследования запыленности в жилой зоне, расположенной вблизи промышленных предприятий частицами PM10 и PM2,5 // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2(45). – С. 154.

УДК 543.2; 550.4

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА РЕАГЕНТОВ ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ БИОИНДИКАТОРОВ АЭРОЗОЛЕЙ В МЕТОДИКЕ SET (SEQUENTIAL ELUTION TECHNIQUE) В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Я. Чжан, М.Ю. Кропачева

*Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия
chzanya@igm.nsc.ru*

OPTIMISATION OF REAGENT COMPOSITION FOR AEROSOL BIOINDICATOR DIGESTION IN THE SET (SEQUENTIAL ELUTION TECHNIQUE) IN GEOCHEMICAL STUDIES

Y. Zhang, M.Y. Kropacheva

*V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
chzanya@igm.nsc.ru*

Abstract. Целью исследования явилась оптимизация состава реагентов для разложения образцов мхов и лишайников, используемых как биоиндикаторы аэрозольного загрязнения, в рамках методики Sequential Elution Technique (SET). Сравнивались шесть вариантов разложения по значениям относительного стандартного отклонения (RSD) и полноте извлечения элементов. Наилучшие результаты показал состав 2 мл HNO_3 + 0,1 мл HF + 2 мл H_2O_2 . Предложенная схема подходит как для биомассы, так и для фильтров, обеспечивая унифицированную подготовку проб. Результаты повышают аналитическую надежность метода SET при геохимическом мониторинге аэрозольных осадков.

Введение

Атмосферные аэрозоли, состоящие из твердых и жидких частиц различного происхождения, играют важную роль в формировании геохимического фона и вносят существенный вклад в загрязнение почв, водоемов и растительности. Они могут содержать широкий спектр химических элементов, включая тяжелые металлы, радионуклиды и органические соединения, что требует разработки высокочувствительных и надежных методов их мониторинга.

Один из подходов в изучении аэрозольных выпадений – это использование методов биоиндикации, позволяющих оценивать пространственно-временные тенденции поступления вещества в биосферу. Среди разнообразия биоиндикаторов особое внимание привлекают мхи и лишайники, обладающие уникальной способностью аккумулировать вещества, поступающие из атмосферы [2]. Их морфологические и физиологические особенности, включая отсутствие корней и защитной кутикулы, способствуют эффективному захвату и накоплению компонентов аэрозольной фракции, включая как растворенные, так и твердые частицы [1].

Методика Sequential Elution Technique (SET) [3] предназначена для изучения распределения элементов аэрозольного происхождения в тканях мхов и лишайников. Она позволяет количественно оценивать уровни атмосферных выпадений, устанавливать их пространственно-временные закономерности, а также определять биодоступность и потенциальную токсичность различных компонентов аэрозолей.

Фракция 0 отражает краткосрочные атмосферные поступления и может использоваться для оценки недавно осевших водорастворимых солей и ионов, адсорбированных на поверхности таллома. Фракции 1 и 2 характеризуются высокой биодоступностью и потенциальной экологической опасностью, поскольку позволяют определить аэрозольные частицы, закрепленные на клеточной стенке, в межклеточном пространстве, а также проникшие внутрь клетки. Фракция 3 отражает долгосрочное накопление и историческое загрязнение, она включает элементы, прочно связанные с компонентами клеточной стенки, а также нерастворимые остатки и кристаллические отложения, локализованные внутри клеток.

Ранее нами была модифицирована и отработана методика SET для задач исследования мониторинга аэрозолей и геохимического фона. При работе с большеобъемной пробой биоиндикатора для ускорения процесса пробоподготовки исключалась стадия фильтрования жидких фракций от твердой составляющей. В то же время получение этой информации позволяет делать более точную оценку форм элементов и их подвижности в аэрозолях. Кроме того, при разложении образцов происходили частичные потери ряда элементов, в том числе важных с точки зрения геохимии. В настоящем исследовании предложен ряд методов для исправления выявленных недочетов адаптированной методики SET, которые повышают прикладную ценность методики SET в задачах эколого-геохимического мониторинга аэрозольных выпадений.

Материалы и методы

Образцы мхов и лишайников были отобраны в 2023 году в ленточном бору, расположенном в 6,5 км к северу от села Панкрушиха (Алтайский край, Россия). Каждый образец разделяли на три анатомических уровня: верхнюю, среднюю и нижнюю части. Для фракционирования использовали навеску 50 г сырой массы. Каждая фракция выделяется своим реактивом: фракция 0 – промывание бидистиллятом; фракция 1 – 0,1 М Na₂EDTA; фракция 2 – 1 М HNO₃; объем биомасса/раствор = 1:10. Фракция 3 высушивается до постоянного веса.

После усреднения каждой жидкой фракции три параллельные аликвоты по 25 мл фильтровали через мембранные фильтры с размерами пор 0,45 и 0,22 мкм. Полученные растворы анализировали непосредственно без разложения, так как представляли собой истинный раствор, а осадок на фильтрах подвергался кислотному разложению. Для этого фильтры помещали в автоклавные пробирки и добавляли реагенты по одной из шести вариантов: 1) 2ml HNO₃+0,1ml HF; 2) 5ml HNO₃+0,1ml HF; 3) 6ml HNO₃+0,1ml HF; 4) 5ml HNO₃+0,1ml HF+1ml H₂O₂; 5) 2ml HNO₃+0,1ml HF+1ml H₂O₂; 6) 2ml HNO₃+0,1ml HF+2ml H₂O₂. Разложение проводили при температуре 180 °С в течение 1,5 часов. После охлаждения объем доводили до 10 мл. Содержание элементов определяли методом индуктивно-связанной плазменной эмиссионной спектроскопии (ИСП-АЭС) в ЦКП многоэлементного и изотопного анализа СО РАН. Рассчитывались значения относительных стандартных отклонений (RSD), и проводилось межвариантное сравнение.

Результаты и их обсуждение

Сравнение шести вариантов разложения показало, что вариант 6 (2 мл HNO₃ + 0,1 мл HF + + 2 мл H₂O₂) обеспечивает наилучшую воспроизводимость: у 15 из 17 анализируемых элементов значения RSD были ниже 30%. Для сравнения: вариант 1 – 5/17; вариант 2 – 7/17; вариант 3 – 10/17; вариант 4 – 9/17; вариант 5 – 11/17. Таким образом, вариант 6 может рассматриваться как оптимальный как для фильтров, так и для образцов биомассы, что позволяет унифицировать этап пробоподготовки и повысить эффективность аналитического процесса.

При проведении геохимических исследований возникает необходимость в измерение конкретных элементов, поэтому сравнили каждый элемент из шести вариантов. Результаты показали, что вариант 6 является наилучшим по элементам Al, Ba, Ca, Cu, Fe, K; вариант 5 является наилучшим по элементам Mg, Mn, Ni, Pb; вариант 4 является наилучшим по элементам Cr, P; вариант 2 является наилучшим по элементам Ti, V, Zn; вариант 1 является наилучшим по Sr. Следует отметить, что ни один из предложенных вариантов не обеспечил надежного извлечения Li, что указывает на необходимость разработки отдельной методики для его определения в биоиндикаторах.

Традиционный метод разложения включает озоление образца в муфельной печи и кислотное разложение в открытой фторопластовой чашке. Несмотря на простоту и низкую стоимость, он может сопровождаться потерями летучих элементов при озолении (Cd), неполным пере-

носом пробы на различных этапах, а также потерями Si при кислотном разложении с HF в открытой системе. Есть риск загрязнения пробы через реагенты (HClO_4 , H_2O_2 и др.). Предлагаемый нами метод разложения в закрытой автоклавной системе исключает перенос пробы, снижает потери, позволяет использовать меньший объем реагентов, повышает достоверность аналитических данных.

Таким образом, вариант 6 может быть принят в качестве универсального протокола для разложения фильтров и биомассы при биогеохимических исследованиях аэрозольных выпадений методом SET. Это позволяет не только упростить процедуру пробоподготовки, но и минимизировать потери целевых элементов, обеспечивая более надежные аналитические данные для оценки состояния окружающей среды и аэрозольной нагрузки.

Заключение

Проведенное исследование позволило определить оптимальный состав реагентов для разложения биоиндикаторов аэрозольного загрязнения в рамках методики SET. На основании оценки воспроизводимости (по значениям RSD) и экстракции целевых элементов установлено, что наиболее эффективным является вариант с применением смеси 2 мл HNO_3 + 0,1 мл HF + 2 мл H_2O_2 . Данный протокол обеспечивает надежное разложение как фильтров, так и образцов биомассы, позволяя унифицировать аналитическую процедуру и сократить количество применяемых реактивов.

Применение данной методики способствует повышению точности и достоверности биогеохимических исследований атмосферного загрязнения.

*Работа выполнена по государственному заданию
ИГМ СО РАН (№122041400193–7).*

Литература

1. Bargagli R., Brown D.H., Nelli L. Metal biomonitoring with mosses: Procedures for correcting for soil contamination // Environmental Pollution. – 1995. – Vol. 89(Is. 2). – P. 169–175.
2. Giordano S., Adamo P., Monaci F. et al. Bags with oven-dried moss for the active monitoring of airborne trace elements in urban areas // Environmental Pollution. – 2009. – Vol. 157(Is. 10). – P. 2798–2805.
3. Perez-Llamazares A., Aboal J.R., Carballeira A. et al. Sequential elution technique applied to terrestrial mosses: Acclimatization period and replicability // Journal of Environmental Biology. – 2017. – Vol. 38(Is. 3). – P. 489–493.

УДК 551.578.46

**ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСАДКА СНЕЖНОГО
ПОКРОВА В РАЙОНЕ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ ГУСИНООЗЕРСКОЙ ГРЭС**

О.Н. Чудинова¹, А.В. Украинцев², Е.П. Черных³, А.Ж. Чимитова¹

¹Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
Улан-Удэ, Россия, chudinova1980@inbox.ru; chimitova2025@bk.ru

²Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, ukraintsev87@bk.ru

³Филиал «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация», г. Гусиноозерск, Россия,
chernykh_ep@interrao.ru

**STUDY OF THE SNOW COVER INSOLUBLE SEDIMENT COMPOSITION
IN THE AREA OF GUSINOOZERSK SDPP ASH AND SLAG DUMPS**

O.N. Chudinova¹, A.V. Ukraintsev², E.P. Chernykh³, A.Zh. Chimitova¹

¹East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia
chudinova1980@inbox.ru; chimitova2025@bk.ru

²Dobretsov Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, Russia
ukraintsev87@bk.ru

³Branch "Gusinoozerskaya GRES" of JSC "Inter RAO-Electrogeneration", Gusinoozersk, Russia
chernykh_ep@interrao.ru

Abstract. Работа посвящена определению уровней накопления элементов в нерастворимом осадке снежного покрова в районе золошлакоотвалов Гусиноозерской ГРЭС. В ходе данной работы выполнен отбор и подготовка проб снежного покрова, определение элементного состава с помощью атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Определены уровни пылевой нагрузки, накопления тяжелых металлов с учетом метеоусловий и условий хранения золошлаковых отходов.

Введение

Снежный покров играет важную роль в природных и техногенных системах, являясь интегральным индикатором состояния атмосферного воздуха и аккумулятором загрязняющих веществ, поступающих из различных источников. В промышленных регионах с развитой энергетикой и горнодобывающей отраслью снежный покров становится ключевым объектом эколого-геохимических исследований. Особенно актуально изучение состава нерастворимого осадка снежного покрова, поскольку он может содержать тяжелые металлы, золошлаковые частицы и другие токсичные компоненты, связанные с выбросами предприятий [1]. Золоотвалы тепловых электростанций являются значительным источником аэрозольного загрязнения окружающей среды. Пылевые частицы, образующиеся при сжигании угля, могут распространяться на значительные расстояния и оседать на поверхности снежного покрова, что создает потенциальную угрозу для экосистем и здоровья человека [2]. Нерастворимый остаток, остающийся после таяния снега, представляет собой концентрат таких частиц и может служить эффективным индикатором техногенного воздействия на окружающую среду [3].

Объекты исследования

Гусиноозерская ГРЭС является одним из крупнейших предприятий теплоэнергетики Западного Забайкалья. Установленная электрическая мощность составляет 1244 МВт, установленная тепловая мощность – 224,5 Гкал/ч. В качестве топлива используется бурый уголь Окино-Ключевского разреза.

Система гидрозолоудаления на предприятии совместная оборотная: негорючие остатки топлива (зола и шлак) из шлаковых шахт топки котельных агрегатов и летучая зола, осаждаемая

в золоуловителях, смывными устройствами непрерывно удаляются гидротранспортом, направляются в смывные каналы системы гидрошлакозолоудаления, после чего проходят металлоуловитель, шлакодробилку и поступают в багерный насос, которым перекачиваются в виде золошлаковой пульпы по золопроводам на золоотвалы I и II очереди с возвратом отстоявшейся (осветленной воды) на повторное использование. Золошлакоотвалы размещены на расстоянии 1–1,7 км от основной промплощадки ГРЭС.

Материалы и методы

Исследования нерастворимого осадка снежного покрова проводились в полевых и лабораторных условиях в 2024–2025 гг. Отбор проб снежного покрова проводился по периметру золошлакоотвалов Гусиноозерской ГРЭС. Всего было отобрано 9 проб снега. Отбор и пробоподготовка проводились согласно рекомендациям, описываемым в работах [4]. Подготовка проб снега заключается в разделении твердого осадка снега, состоящего из нерастворимых частиц, осажденных на поверхность снежного покрова, и талой воды, полученной при оттаивании. В качестве условно фоновой в 2025 г. была отобрана проба в лесном массиве пригорода г. Улан-Удэ.

Содержание химических элементов в пробах нерастворимого осадка снега определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) на спектрометре iCAP Pro XP Duo («Thermo Scientific», США) в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Новосибирск).

Результаты и их обсуждение

Пылевая нагрузка характеризует количество аэрозольных частиц, оседающих на поверхность снега за зимний период и сохраняющихся в виде нерастворимого осадка после его таяния, и определяется расчетным методом. Во всех исследуемых точках расчетная пылевая нагрузка превышает фоновое значение (от 4,71 до 1958,48 раз) (табл. 1). В двух точках (ГЗ-5 (1), ГЗ-6 (2)) уровень загрязнения характеризуется как максимальный, что может быть обусловлено расположением точек с подветренной стороны относительно сухой, пылящей поверхности золоотвалов.

Таблица 1. Пылевая и общая геохимическая нагрузка

Точка отбора проб	Пылевая нагрузка, P_n		Уровень загрязнения (по P_n)	Суммарный показатель имиссии ТМ, Z_d	Уровень экологической опасности (по Z_d)
	мг/(м ² × сут.)	превышение фона, раз			
ГЗ-1	7,90	6,48	низкий	894	неопасный
ГЗ-2	15,28	12,52	низкий	1534	умеренно опасный
ГЗ-3	7,48	6,13	низкий	747	неопасный
ГЗ-4	5,75	4,71	низкий	434	неопасный
ГЗ-5 (1)	2389,35	1958,48	максимальный	196758	чрезвычайно опасный
ГЗ-6 (2)	2052,71	1682,55	максимальный	230206	чрезвычайно опасный
ГЗ-7 (3)	550,64	451,35	очень высокий	45594	чрезвычайно опасный
ГЗ-8 (4)	8,93	7,32	низкий	952	неопасный
ГЗ-9 (5)	234,47	192,19	средний	7936	очень опасный

Для оценки общей геохимической нагрузки на ландшафты был использован суммарный по-

казатель имиссии элементов Z_d , который представляет собой сумму коэффициентов превышений выпадений над фоном K_d . В зависимости от значений Z_d определяли степень экологической опасности загрязнения ландшафтов тяжелыми металлами [5]. Показатель Z_d рассчитывался по 12 элементам: *V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Pb*. Суммарная имиссия элементов варьирует в широком диапазоне: от 434 (неопасный уровень) до 230206 (чрезвычайно опасный). Низкое и среднее загрязнение с неопасной и умеренно опасной экологической ситуацией ($Z_d < 2000$) характерно для точек, расположенных вблизи хранения золошлаковых отходов, покрытых водным зеркалом (кроме ГЗ-8 (4)). Очень высокое загрязнение сочень опасной экологической ситуацией ($4000 < Z_d < 8000$) характерно для точки ГЗ-9(5), где золошлаки находятся как в «сухом», так и в «мокром» состоянии. Максимальное загрязнение с чрезвычайно опасной экологической ситуацией ($Z_d > 8000$) характерно для трех точек, вблизи которых золошлаки хранятся только в «сухом» виде, при этом их расположение относительно преобладающего направления ветра не играет роли.

Заключение

Расчетная пылевая нагрузка, характеризующая количество аэрозольных частиц в снеге, во всех исследуемых точках превышает фоновое значение. Уровень загрязнения территории по значению пылевой нагрузки варьируется от низкого ($P_n < 200 \text{ мг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$) до максимального ($P_n > 800 \text{ мг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$). Для оценки загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами использован суммарный показатель имиссии элементов Z_d , который учитывает не только содержание элемента в нерастворимом осадке, но и пылевую нагрузку от источников выбросов. Показатель Z_d , определенный по 12 тяжелым металлам, варьируется в широком диапазоне и характеризует экологическую ситуацию на исследуемой территории от неопасной ($Z_d < 1000$) до чрезвычайно опасной ($Z_d > 8000$).

*Исследование выполнено за счет гранта
«Молодой ученый ВСГУТУ-2024».*

Литература

1. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю. и др. Минералого-геохимические особенности снежного покрова на антропогенно нарушенных территориях Надым-Пуровского междуречья (север Западной Сибири) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2024. – № 3. – С. 17–31. – doi: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.3.2.
2. Сафонов С.А. Угольная промышленность. Загрязнение окружающей среды при улучшении качественных характеристик угля // Вестник науки и образования. – 2024. – № 3(146). – С. 16–19.
3. Новикова В.Д., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Динамика пылевой нагрузки и химического состава снежного покрова в районе расположения предприятий теплоэнергетики и коксохимии (на примере г. Кемерово) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336, № 3. – С. 193–207. – doi: 10.18799/24131830/2025/3/4984.
4. Янченко Н.И. Практика отбора проб снежного покрова для химического анализа // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 12. – С. 94–104.
5. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В. и др. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2012. – № 4. – С. 14–24.

УДК 551.57; 911.2

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ГРАДИЕНТ ТЕМПЕРАТУР В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ИРКУТСКА

Н.И. Янченко, Е.А. Анциферов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
fduecn@bk.ru antsiferov@istu.edu

SURFACE TEMPERATURE GRADIENT IN THE IRKUTSK SNOW COVER

N.I. Ianchenko, E.A. Antsiferov

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
fduecn@bk.ru antsiferov@istu.edu

Аннотация. Рассчитан поверхностный температурный градиент снега, с учетом температуры поверхности снега, температуры поверхности почвы и высоты снега. Установлено, что наибольшая частота встречаемости градиентов находится в трех интервалах: 0–25 °С/м (23 и 11%); 25–50 °С/м (30 и 30%); 50–75 °С/м (30 и 30%).

Введение

Снежный покров представляет собой пористую среду, состоящую из воздуха и трех фаз воды (водяной пар, лед, жидкая вода). На основании измерения высоты снежного покрова и перепада температуры в слоях снежного покрова рассчитывается градиент температур, в связи с тем, что градиент температур в снежном покрове определяет движение воздуха в снеге (термическую конвекцию), движение водяного пара (сублимацию, конденсацию).

Также градиент температур между слоями снега, наряду со структурой снега, являются движущими силами в изменении давления пара, приводящего к метаморфизму кристаллов в снеге. Кроме того, данные о градиенте температур в снеге необходимы в расчетах тепломассопереноса, которые имеют очевидное практическое применение и учитываются для прогноза наводнений, схода лавин, промерзания грунта, микроклимата почвы [5], строительства зимних автодорог и т.д.

Данное исследование посвящено документированию значений поверхностного градиента температуры в снежном покрове, рассчитанного на основании перепада температур между поверхностью снега и поверхностью почвы, высоты снежного покрова в холодный сезон 2022–2023 гг. и 2023–2024 гг. в Иркутске.

Район, объект, исходные данные и методы исследования

Представленные результаты натурных наблюдений за температурой воздуха, температурой снежного покрова и высотой снежного покрова в Иркутске были выполнены с помощью автономного автоматического атмосферно-снежного программного комплекса [3], расположенного в районе Иркутского национального исследовательского университета на нижнем стадионе. В месте установки комплекса трава была дополнительно скошена (для того чтобы свести к минимуму помехи при измерении высоты СП).

В исследовании указано местное время. Высота снежного покрова (СП) определяется по относительно резкому изменению температуры T на границе атмосфера-поверхность снежного покрова [2] по данным в 6 утра (местное время), при отсутствии солнечной радиации. На границе снежный покров–атмосфера отмечается изменение хода T , по данным термоксы, в 6 утра. Ошибка измерения высоты $\pm 2,5$ см (это расстояние между термодатчиками). К результатам измерения высоты СП, полученным в период накопления снежного покрова и период схода СП, когда значения менее 7,5–10,0 см, нужно относиться критически т.к. может отсутствовать контакт датчиков со снегом. Высота СП 7,5–10,0 см бывает несколько дней в первой половине ноября и после двадцатых чисел марта.

Результаты и обсуждение

Градиент температуры по высоте снежного покрова (∇T , °C/м) вычисляется как перепад температур, деленный на высоту. Температура на поверхности почвы ($T_{пп}$) минус температура на поверхности снежного покрова ($T_{псп}$), деленная на высоту снежного покрова:

$$\Delta T_{пп-псп} \text{ }^{\circ}\text{C} = T_{пп} \text{ }^{\circ}\text{C} - T_{псп} \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$\nabla T \text{ }^{\circ}\text{C/м} = \Delta T_{пп-псп} / H, \text{ }^{\circ}\text{C/м} \quad (2)$$

Это связано с тем, что при низких высотах СП может не быть контакта датчиков температуры с окружающим снегом. При $H_{СП} \geq 0,1$ м наибольшая частота встречаемости градиентов находится в трех интервалах: 0–25 °C/м (23 и 11%); 25–50 °C/м (30 и 30%); 50–75 °C/м (30 и 30%), соответственно, в первом и втором измерительных сезонах (рис. 1, табл. 2).

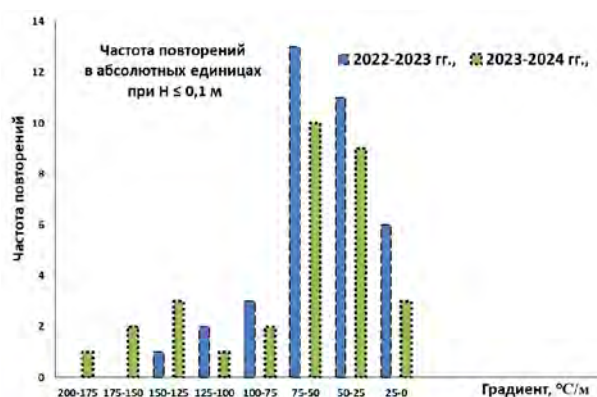


Рис. 1. Частота повторений поверхностного градиента температуры в 2022–2023 гг. и 2023–2024 гг., при $H_{СП} \leq 0,10$ м

Таблица 2. Относительные частоты встречаемости поверхностного градиента температур в декабре- марте 2022–2023 гг., и 2023–2024 гг. При $H_{СП} \geq 0,10$ м

∇ , °C/м	XII-III, 2022–2023 гг.		XII-III, 2023–2024 гг.	
	N, °C/м	N, %	N, °C/м	N, %
0–25	7	23	3	11
25–50	9	30	8	30
50–75	9	30	8	30
75–100	2	6	3	7
100–125	3	10	4	15
	30	100	26	100

В работе [4] приведена классификация температурного градиента: $|\nabla T| \leq 5$: слабый градиент; $5 < |\nabla T| \leq 20$: средний градиент; $20 < |\nabla T| \leq 50$: сильный градиент, $|\nabla T| > 50$: суперградиент. Таким образом, в Иркутске градиент меняется от суперградиента более 75 °C/м в ноябре до среднего градиента от 20 °C/м до 50 °C/м в марте.

Заключение

- автономный автоматический атмосферно-снежный программный комплекс функционировал в снежный период с ноября по март 2022–2023 годов и 2023–2024 годов на экспериментальной площадке нижнего стадиона ИРНИТУ (Иркутск)
- наибольшая частота встречаемости температурного градиента находится в трех интервалах: 0–25 °C/м (23 и 11%); 25–50 °C/м (30 и 30%); 50–75 °C/м (30 и 30%), соответственно в холодный период 2022–2023 гг. и 2023–2024 гг.

Литература

1. Чернов Р.А. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности глубинной изморози // Лед и Снег. – 2013. – № 3. – С. 71–77.
2. Янченко Н.И. Изменение солнечной радиации и высоты снежного покрова в марте. Иркутск // Российская Арктика. – 2024. – Т. 6, № 3. – С. 43–54.
3. Kiselev M.V., Voropay N.N., Dyukarev E.A. et al. Automatic meteorological measuring systems for microclimate monitoring // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. First International Geographical Conference of North Asian Countries «China-Mongolia-Russia Economic Corridor: Geographical and Environmental Factor and Territorial Development Opportunities». – Irkutsk, 20–26 August 2018. – P. 190. – doi: 10.1088/1755-1315/190/1/012031.
4. Li Zhaoguo, Lyu Shihua, Chen Hao et al. Changes in climate and snow cover and their synergistic influence on spring runoff in the source region of the Yellow River // Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 799. – Art. No. 149503. – doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149503.
5. Thompson K.L., Pauli J.N., Erker T. et al. Urban greenspaces promote warmer soil surface temperatures in a snow-covered city // Landscape and Urban Planning. – 2022. – Vol. 227. – Art. No. 104537. – doi: 10.1016/j.landurbplan.2022.104537.

Секция 4

**БИОГЕОХИМИЯ
ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

УДК 504.4.054; 504.4.06

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ПРУДА ПЛЕХАНОВСКИЙ

Е.И. Афзалова¹, Н.Ф. Чистякова², Е.Ю. Машченко³

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

¹stud0000263007@study.utmn.ru, ²n.f.chistyakova@utmn.ru, ³stud0000225667@study.utmn.ru

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF THE PLEKHANOVSKY POND

E.I. Afzalova¹, N.F. Chistyakova², E.Yu. Mashchenko³

Tyumen State University, Tyumen

¹stud0000263007@study.utmn.ru, ²n.f.chistyakova@utmn.ru, ³stud0000225667@study.utmn.ru

Аннотация. Выявлены особенности химического состава поверхностных вод; оценено качество вод по санитарному, органолептическому, санитарно-токсикологическому и эпидемиологическому показателям вод пруда Плехановский, расположенного в Калининском АО г. Тюмени. Высокая степень загрязнения поверхностных вод, используемых в рекреационных целях, потребовала проведения обработки этих вод микробиопрепаратом «Аква ЭМ-1». Проведенная обработка снизила содержание общих колиформных, термотолерантных бактерий и колифагов, что повысила микробиологическое качество поверхностных вод.

Введение

Плехановский пруд площадью 16 648 м² является основным водоемом Плехановского микрорайона г. Тюмень, расположен внутри частного сектора и активно используется местным населением в рекреационных целях.

Экосистема – единство, включающее все организмы на определенном участке, взаимодействует с окружающей средой таким образом, что поток энергии создает четко определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ (обмен веществом и энергией между биотической и абиотической частями) внутри системы. Основные особенности экосистемы – ее безразмерность и безграновость [2]. Экосистему пруда можно представить в виде следующих компонентов:

- продуценты – автотрофы (водоросли и высшие травянистые растения), производящие органическое вещество из неорганического в процессе фотосинтеза и обогащающие воду кислородом – основой для обеспечения пищей, энергией и кислородом животных и других гетеротрофных организмов;
- консументы – гетеротрофы, различные виды животных (рыбы, моллюски, насекомые, черви, дафнии и т.д.), роль которых в водоемах заключается в разложении органических веществ и обогащении воды углекислым газом, ранним продуктом фотосинтеза.
- редуценты – чаще всего представлены сапрофитами (грибы, бактерии) а также жуками-мертвоядами и т.д. Они преобразуют органические вещества в неорганические, которые используются растениями в процессе минерального питания [1].

Вода – главная составляющая массы тела всех живых организмов: в организме человека она занимает около 75%, в растительном организме – до 95%. В настоящее время загрязнение водоемов (химическое, физическое, биологическое) проявляется в изменении физических, биологических и химических характеристик самих поверхностных вод, донных отложений и населяющей его биоты (зоофитопланктон, зоофитобентос). Загрязнение водоемов приводит к эвтрофикации – это чрезмерному обогащению водных масс биогенным материалом, что отражает быстрое увеличение биологической продуктивности, приводящей к перенасыщению водоемов удобрениями, интенсивному росту водорослевых микроорганизмов. Фитопланктон, особенно примитивные сине-зеленые водоросли, начинает размножаться. Водоем «за-

цветает», а цветущие водоросли погибают, вызывая вторичное загрязнение вод и донных отложений.

Материалы и методы

В основу работы положены результаты анализа проб поверхностных вод и донных отложений пруда Плехановский, отобранные в разные гидрологические режимы: весеннее половодье, летне-осенняя межень (2022–2023 гг.). С использованием результатов анализа проб рассчитывались ионно-солевой состав вод (формула М.Г. Курлова), степень загрязнения вод водоема в зависимости от значений комплексных показателей, рассчитанных по лимитирующим признакам вредности: санитарный, органолептический, санитарно-токсикологический и эпидемиологический (методологии НИИ Гигиены Ф.Ф. Эрисмана), по которым оценивалось качество вод пруда с использованием метода расчета ИЗВ; строились диаграммы Роджерса для разных гидрологических режимов пруда, отражающие особенности ионно-солевого состава вод.

Результаты и их обсуждение

Комплексная оценка качества вод пруда Плехановский в 2022–2023 гг. изменялась от «очень загрязненных» до «чрезвычайно загрязненных». Наиболее информативным среди отдельных показателей экологического качества воды является органолептический критерий, отражающий загрязнение воды с учетом запаха, взвешенных веществ, содержания железа, марганца, органических соединений, ХПК, БПК₅.

Учитывая высокую загрязненность вод пруда Плехановский Департаментом городского хозяйства г. Тюмень была предпринята попытка очистки вод с помощью микробиопрепарата «Аква ЭМ-1». ЭМ-колобки – сделанные из земли (грунта, глины) шарики, которые используются во всем мире главным образом для очистки донных отложений водных объектов, то есть для улучшения качества водной среды и устранения неприятных запахов в загрязненных реках, морях, озерах и болотах, а также в районах, пострадавших от наводнений. Внутри ЭМ-колобка формируется высокой плотности колонии (популяция) эффективных микроорганизмов (ЭМ), обеспечивающих полезное брожение. Помимо молочнокислых и дрожжевых бактерий есть группа микроорганизмов, которая выполняет важную работу – это синтезирующие бактерии. Они не нуждаются в кислороде, они используют токсичные вещества, такие как метан, аммиак и сероводород, выделяемые гнилостными бактериями, и превращают их в аминокислоты и сахара. Эти органические субстанции (сахара и другая органика) через растительный планктон (прежде всего микроводоросли) становятся кормом животного планктона и простейших организмов, что восстанавливает пищевую цепочку в водоеме, а, следовательно, и естественную способность водоема к самоочищению.

По данным, предоставленным Департаментом городского хозяйства г. Тюмень (в период июнь – сентябрь 2022 г.), нами была составлена таблица, отражающая количество бактерий (общие колиформные и термотолерантные колиформные) и вирусов (колифаги) до обработки и после обработки вод пруда микробиологическим препаратом «Аква ЭМ-1» (табл. 1).

До обработки микробиопрепаратом вод пруда Плехановский превышение ПДК наблюдалось только по общим колиформным бактериям и составляло 2500 КОЕ/100мл (в 6 раз больше допустимого уровня). По термотолерантным колиформным бактериям и колифагам превышений их содержания в воде пруда не зарегистрировано.

После обработки пруда 09.07.2022 г., через 3 дня 12.07.2022 г. сотрудниками ДГХ были отобраны пробы воды для микробиологического и химического анализов. По данным анализов Департамента городского хозяйства по отобраным пробам началось снижение ОБК на 1900 КОЕ/100 мл (76%), увеличение ТКБ на 600 КОЕ/100мл (100%), показатели колифагов остались неизменными. Что свидетельствует о повышенной чувствительности ОКБ к препарату.

В сентябре этого же года (06.09.2022 г.) сотрудниками ДГХ были отобраны повторные про-

бы воды пруда Плехановский, по их данным наблюдается снижение всех трех показателей. Так на конец летней межени количество ОКБ в водах пруда равен 100 КОЕ/100мл (уменьшилось на 83,3%), ТКБ 100 КОЕ/100мл (уменьшилось на 83,3%), и колифаги 0 БОЕ/100мл (уменьшилось на 100%). Данная динамика снижения содержания ОКБ, ТКБ и колифагов подтверждает эффективность использования микробиопрепарата для целей повышения микробиологического качества поверхностных вод.

Таблица 1. Количество бактерий и вирусов до обработки и после обработки микробиологическим препаратом Аква ЭМ-1 [Составлена автором на основании данных, предоставленных Департаментом городского хозяйства города Тюмень]

	Дата отбора проб	Значение	ПДК
Общие колиформные бактерии	07.06.2022 (до обработки)	2500 КОЕ/100 мл	500 КОЕ/100 мл
	12.07.2022 (после обработки)	600 КОЕ/100 мл	
	06.09.2022 (после обработки)	100 КОЕ/100 мл	
Термотолерантные колиформные бактерии	07.06.2022 (до обработки)	0 КОЕ/100 мл	100 КОЕ/100 мл
	12.07.2022 (после обработки)	600 КОЕ/100 мл	
	06.09.2022 (после обработки)	100 КОЕ/100 мл	
Колифаги	07.06.2022 (до обработки)	4 БОЕ/100 мл	100 БОЕ/100 мл
	12.07.2022 (после обработки)	4 БОЕ/100 мл	
	06.09.2022 (после обработки)	0 БОЕ/100 мл	

Заключение

Рассмотрев активность микробиопрепарата «Аква ЭМ-1» в отношении общих колиформных бактерий (ОКБ), термотолерантных бактерий (ТКБ) и колифагов, можно сделать вывод о том, что показатели ОКБ уменьшились на 2400 КОЕ/100мл (96%); показатели ТКБ с 07.06.2022 по 12.07.2022 увеличились на 600 КОЕ/100мл (100%), а с 12.07.2022 по 06.09.2022 уменьшились на 500 КОЕ/100мл (83,3%); показатели колифагов уменьшились на 4 БОЕ/100мл (100%), что подтверждает эффективность использования микробиопрепарата «Аква ЭМ-1» для целей повышения микробиологического качества поверхностных вод.

Литература

1. Биогеоценоз водоема, его биотические и абиотические факторы. Цепи питания [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/9530140/page:22>.
2. Свойства живых организмов и уровни организации живого [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/9530140/page:22> (дата обращения: 06.05.2022)
3. Татьянаникова Е.М., Жилина А.С. Экологическая система пруда. Условия самодостаточности [Электронный ресурс] : Реферат, 2013. – URL: https://revolution.allbest.ru/ecology/00606153_0.html.

УДК: 54(075)

ХАРАКТЕРИСТИКА АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД БОЛЬШОГО ФЕРГАНСКОГО КАНАЛА (АЛТИАРИК)

З.А. Ахназарова, М.А. Ахмадалиев

*Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан
akhnazarovaz@mail.ru*

CHARACTERISTICS OF THE ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE WATER OF THE BIG FERGANA RIVER (ALTIARIK)

Z.A. Akhnazarova, M.A. Akhmadaliev

Fergana State University, Fergana, Uzbekistan

Аннотация. Изучался химический состав, pH, NO₂⁻, Cl⁻, F⁺ и – NH₄⁺, общая минерализация и жесткость, а также органолептические свойства вод Ферганского большого канала (Алтиарик) для определения перспективы выращивания водорослей *Chlorella vulgaris*.

Введение

Основной целью данного исследования поставлено изучение химического состава вод из Ферганского Большого канала (г.Алтиарик) для определения перспектив выращивания одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris*. В основе исследования положены данные вод по общепринятым критериям. Образцы были взяты из Большого Ферганского канала в весенний период (март 2025 год). Изучили химический состав вод по содержанию в них основных компонентов – Cl, F, соединений группы азота – NH₄⁺, NO₂⁻, а так же минерализация, общая жесткость, pH среды.

Анализ литературы

Большой Ферганский канал имени Усмана Юсупова (ранее – Большой Ферганский канал имени Сталина) – крупный ирригационный канал в Узбекистане, Кыргызстане и Таджикистане. Построен в 1939–1940 годах, являлся одним из крупнейших гидротехнических сооружений СССР. Построен канал методом всенародной стройки (хашара) [1].

Так как хлорелла на сегодняшний день является ценным и легкодоступным способом обогащения пищевого рациона животных и имеет ряд преимуществ, предполагается ее активное разведение. Большим преимуществом хлореллы является содержание в ее клетках необходимых витаминов для нормального функционирования организма животных. [3]

Ранее проводились анализы воды из Кургантепинского водохранилища (г.Коканд), на основе которых было определено, что эти воды с очень низким содержанием аммония, нитратов и отсутствием нитритов, из-за чего рост хлореллы очень медленный. А так как работа направлена на активную культивацию хлореллы, то воды Кургантепинского водохранилища и Ферганского Большого канала не подходят для этой цели.



Рис. 1. Фото Большого Ферганского канала[2]

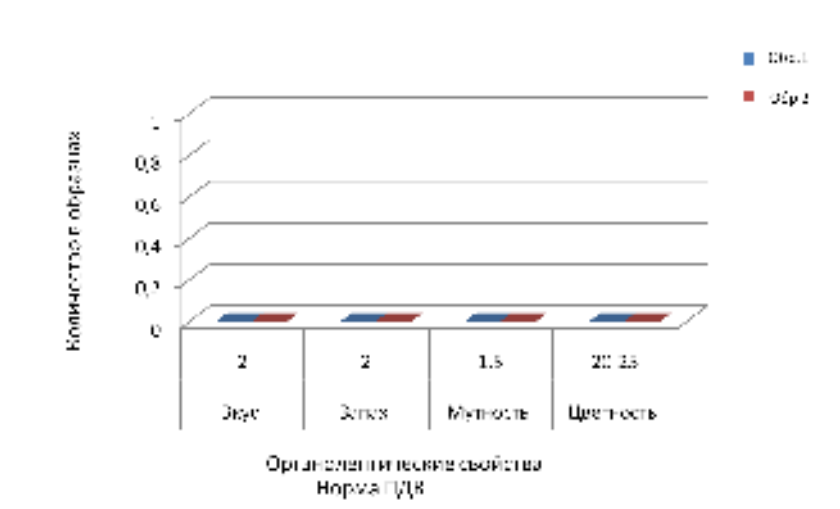


Диаграмма 1. Сравнительная характеристика результатов органолептических показателей вод в виде столбчатой диаграммы

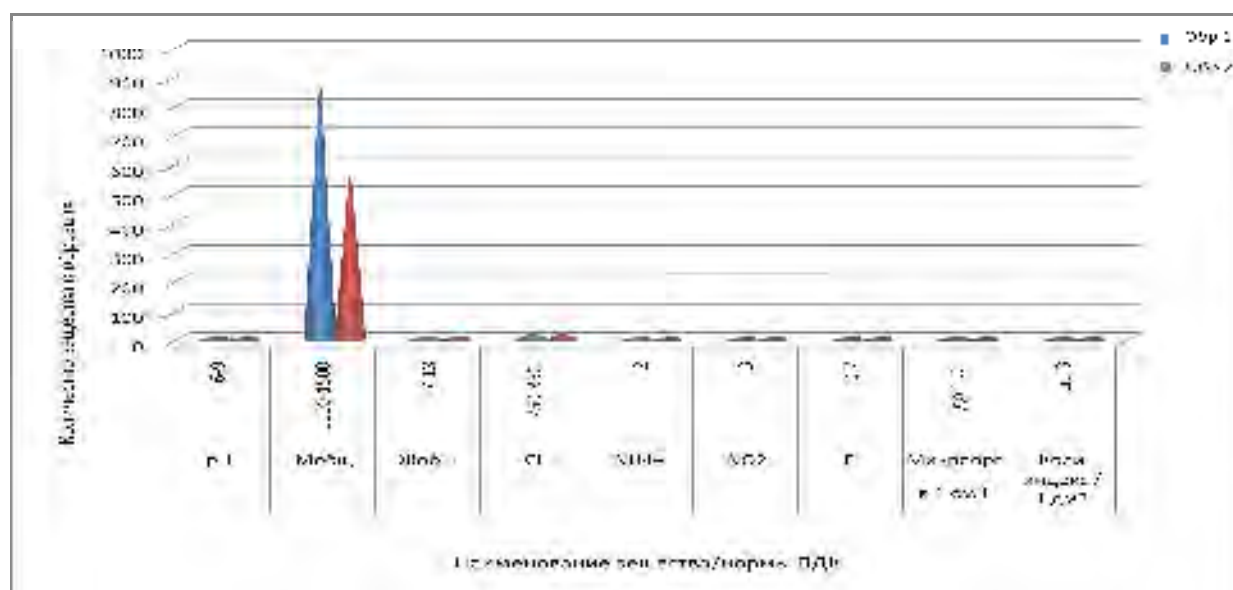


Диаграмма 2. Столбчатая диаграмма показателей общего химического состава вод образцов 1 и 2

Заключение

Изучив данные диаграмм 1 и 2, понятно, что вода обоих образцов абсолютно безвкусная, мутность воды полностью отсутствует, также полное отсутствие какого-либо запаха. Шкала цветности имеет показатель 0. Таким образом, воды образцов 1 и 2 по органолептическим показателям не превышает норм ПДК и является условно чистой. [4] А соли аммония и нитриты отсутствуют вовсе. Данные показатели радуют возможностью использования ее для нужд населения. Однако, для активного культивирования хлореллы она непригодна, из-за недостаточного количества необходимых питательных элементов для хлореллы. В связи с тем, что исследования вод направлены на активную культивацию хлореллы, можно утвердительно сказать, что воды изученных водоемов никак не подходят для этой цели. Результаты

подтверждены практически, путем содержания хлореллы в водах образцов.

Литература

1. Большой Ферганский канал (Алтиарик) [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Большой_Ферганский_канал.
2. Большой Ферганский канал [Электронный ресурс]. – URL: <https://meros.uz/ru/object/katta-fargona-kanali>.
3. Суфьянова Л.М., Смоленцев С.Ю. Биологическое значение хлореллы для выращивания сельскохозяйственных животных и птиц (обзор) // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2024. – Т. 10, № 1.
4. Органолептические свойства в критериях качества воды [Электронный ресурс]. – URL: <https://rusfilter.ru/blog/voprosy-o-vode/kak-opredeljajutsja-kriterii-kachestva-vody>.

УДК 577.118

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ГОРБУШЕ, КЕТЕ И НЕРКЕ ИЗ ОХОТСКОГО МОРЯ

М.А. Беланов¹, А.В. Литвиненко^{1,2}, К.Р. Масалева¹, И.В. Карпенко², М.М. Донец¹,
А.Д. Боровкова¹, В.А. Лях^{1,3}, В.Ю. Цыганков¹

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия
belanov.ma@gmail.com

²Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия
litvinenko.av@bk.ru

³Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
lyah.va@dvfu.ru

THE CONTENT OF TRACE ELEMENTS IN PINK SALMON, CHUM SALMON AND SOCKEYE SALMON FROM THE SEA OF OKHOTSK

M.A. Belanov¹, A.V. Litvinenko^{1,2}, K.R. Masaleva¹, I.V. Karpenko², M.M. Donets¹,
A.D. Borovkova¹, V.A. Lyakh³, V.Y. Tsygankov¹

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
belanov.ma@gmail.com

²Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
litvinenko.av@bk.ru

³Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
lyah.va@dvfu.ru

Abstract. Проводили исследования уровней токсичных (As, Cd, Pb и Hg) и других (Cu, Mn, Fe, Ni и Zn) элементов в мышечной массе, печени и гонадах горбуши, кеты и нерки из Охотского моря. Концентрации микроэлементов в большей степени зависят от видовых особенностей лососей и региональной биогеохимической специфики. В среднем, содержание токсичных Pb, Hg, As и Cd в мышечной массе и печени всех исследованных видов лососей не превышало допустимых значений, однако средние значения ртути в икре кеты несколько превышали допустимые уровни. Наибольшие значения меди и никеля среди лососей были обнаружены в органах и тканях западно-камчатской нерки, отражая геохимические условия среды.

Введение

Тихоокеанские лососи по праву являются достоянием России. Их ценные пищевые качества ставят их на одно из первых мест среди всех добываемых видов рыб. Массовые виды – горбуша, кета и нерка – по своей экологической специфике являются планктофагами. Зоопланктон, вобравший в себя фитопланктон, вырастающий на биогенных и других элементах, поставляемых вулканизмом и апвеллингами из глубоководных желобов и котлованов биогеохимических провинций океана, передает зафиксированные в его биомассе микроэлементы организмам следующего трофического уровня, в том числе, лососям [6].

Содержание эссенциальных и токсичных элементов в органах и тканях лососевых рыб обусловлено геохимической спецификой региона и эколого-биологическими особенностями видов. В отличие от горбуши и кеты, нерка относится к видам с длительным пресноводным циклом, проводя в пресных водах до двух-трех лет жизни. За это время лососи успевают накопить микроэлементы, характерные для геохимической специфики региона.

В тихоокеанских лососях из Охотского моря в предыдущих исследованиях мы неоднократно наблюдали повышенные концентрации Pb, обусловленные вулканической деятельностью в районе Курило-Камчатского «огненного кольца» и апвеллингами [2, 5].

Цель работы – определить концентрации микроэлементов в горбуше, кете и нерке из Охотского моря и оценить пищевую безопасность рыб для человека.

Материалы и методы

Пробы мышечной ткани, печени и гонад (семенники и икра) горбуши (*Oncorhynchus gorbusha*) и кеты (*O. keta*) отбирали от рыб, выловленных в заливе Терпения (юго-восточное побережье Сахалина) осенью 2024 г.; образцы нерки (*O. nerka*) собраны в р. Хайрюзова (Тигильский район, Западная Камчатка) в июле 2023 г.

Образцы проб биологического материала замораживали до -18°C на месте сбора. Подготовку к анализу образцов проводили методом кислотного разложения в микроволновой системе MARS 6. Минерализаты проб анализировали на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-7000. Концентрацию выражали в мг/кг сырой массы как среднее $\pm$ стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение

Уровни Zn в органах и тканях горбуши, кеты и нерки из Охотского моря распределены достаточно ровно; в мышцах количество составляет от $4,20 \pm 0,56$ у кеты до $4,78 \pm 1,65$ у горбуши, в печени от $30,10 \pm 2,50$ до $47,98 \pm 8,93$ у горбуши, в икре от $22,60 \pm 1,45$ у кеты до $24,91$ у нерки, в семенниках – от $13,0 \pm 1,08$ у кеты до $23,66 \pm 5,89$ у нерки. Количество Mn в органах охотоморских лососей также весьма сопоставимо: в мышцах от $0,07 \pm 0,05$ у нерки до $0,13 \pm 0,06$ у горбуши, в печени от $1,40 \pm 0,37$ у горбуши до $1,74 \pm 0,51$ у кеты, в икре от $0,18$ до $0,99$ у горбуши и в семенниках от $0,17 \pm 0,01$ у кеты до $0,23 \pm 0,06$ у горбуши.

Уровни содержания Cu в печени горбуши и кеты достаточно велики (от $44,59 \pm 16,12$ до $104,69 \pm 53,28$), однако печень нерки содержит наибольшее количество этого металла среди всех рыб: $271,10 \pm 287,4$. Широкий диапазон значений в исследованных образцах свидетельствует о различной микроэлементной емкости рыб, а также может указывать на геохимическую специфику региона [1, 7]. Наибольшие показатели уровней Cu в генеративных органах отмечены также в западно-камчатской нерке, где они составляли от $16,75 \pm 19,34$ в семенниках до $34,41$ в икре (рис. 1).

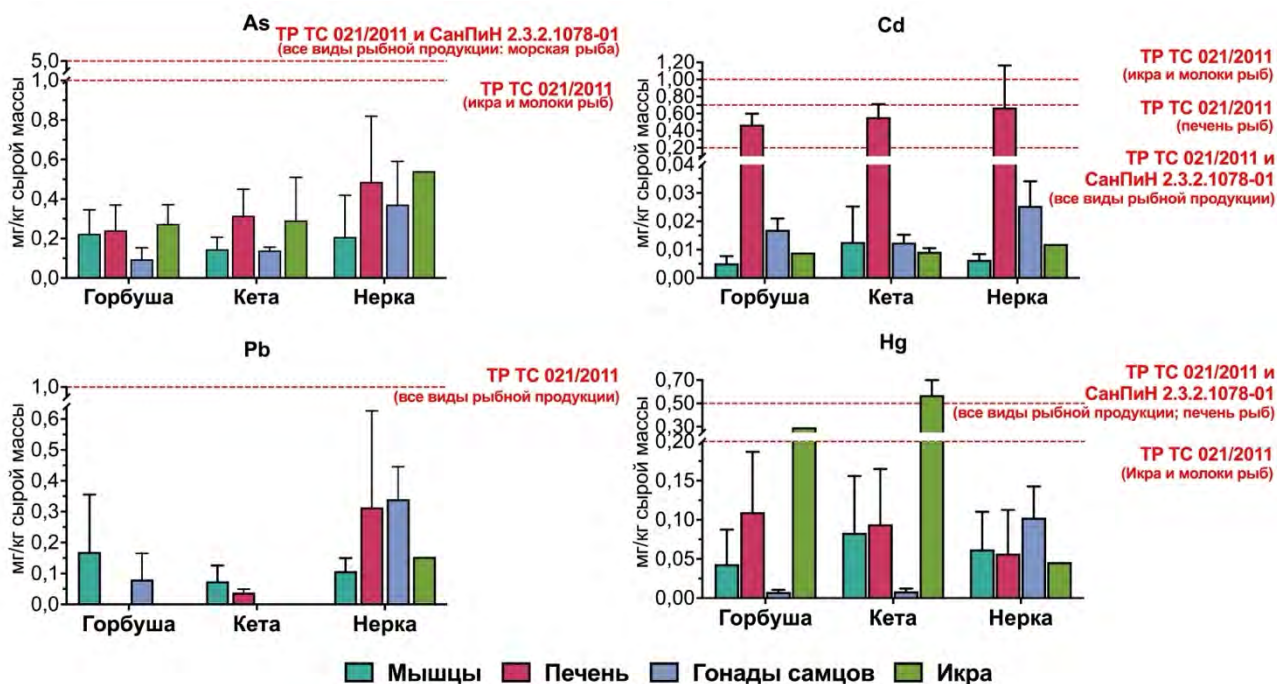


Рис. 1. Уровни микроэлементов в лососевых рыбах из Охотского моря

Концентрация токсичных элементов в горбуше, кете и нерке из Охотского моря как показано

на рис. 2, не вызывала опасений по Pb, Cd и As во всех органах и тканях. Количество Pb составляло от $0,04 \pm 0,01$ в печени кеты до $0,34 \pm 0,11$ в семенниках нерки; Cd – от $0,01 \pm 0,002$ в мышцах горбуши до $0,67 \pm 0,49$ в печени нерки; As – от $0,10 \pm 0,06$ до $0,54$ в икре нерки. Эти уровни ниже ПДУ [3, 4] и не вызывают опасений со стороны потребителей. Однако, среднее количество Hg ($0,57 \pm 0,14$) в икре кеты превысило ДУ по этому металлу ($0,5$ мг/кг) (рис. 2).

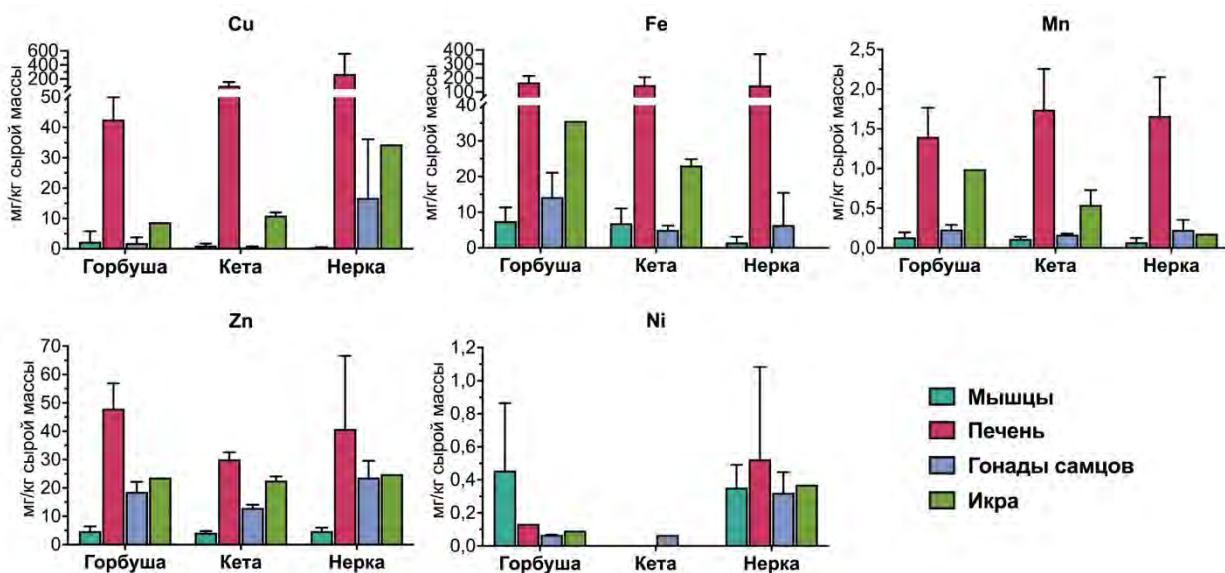


Рис. 2. Уровни токсичных микроэлементов в лососевых рыбах из Охотского моря

Заключение

В тканях тихоокеанских лососей наблюдаются значительные отличия в содержании меди, обусловленные длительностью пресноводного цикла, особенностями питания, а также приуроченностью путей миграций и нагула. В икре кеты из Охотского моря обнаружено небольшое превышение уровня Hg (в 1,14 раз), остальные показатели (Cd, Pb и As) не вызывают опасений. Превышение ДУ по Hg в образцах икры охотоморской кеты требует особого контроля за содержанием этого токсичного металла.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда
№ 23-74-10032.

Литература

1. Заварихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Генетические и геохимические особенности почв Камчатки. Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН. – М. : Наука, 2011. – 45 с.
2. Литвиненко А.В., Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю. Влияние мест нагула на содержание тяжелых металлов в горбуше (*Oncorhynchus gorbuscha*, Salmonidae) // Вестник КамчатГТУ. – 2022. – № 62. – С. 52–78.
3. О безопасности пищевой продукции Технический Регламент таможенного союза (ТР ТС 021/2011) утвержден Комиссией Таможенного союза от 09.12.2011 г. – № 880.
4. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – М. : Госкомсанэпиднадзор РФ. – 2002. – 156 с.
5. Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю., Ковальчук М.В. и др. Микроэлементный состав горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, 1792 из Сахалино-Курильского региона // Биол. моря. – 2019. – Том 45. – № 4. – С. 260–266.
6. Христофорова Н.К., Литвиненко А.В., Ковальчук М.В. и др. Сравнение микроэлементного со-

- става кеты (*Oncorhynchus keta* Walbaum 1792) из Японского и Охотского морей // Морской биол. журнал. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 92–104.
7. Чудаева В.А. Геохимия речных вод // Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков: в 3 т. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – С. 179–186.

УДК 550.461

РЗЭ КАК МАРКЕРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ШАНУЧ (КАМЧАТКА)

Е.А. Вах, А.В. Ветошкина

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
Adasea@mail.ru, lelenka81@mail.ru*

REE AS MARKERS OF THE ENVIRONMENTAL SITUATION AT THE SHANUCH DEPOSIT (KAMCHATKA).

E.A. Vakh, A.V. Vetoshkina

*Far Eastern Geological Institute, Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, Russia,
Adasea@mail.ru, , lelenka81@mail.ru*

Abstract. Изучен состав подземных и поверхностных вод, формирующихся в зоне гипергенеза сульфидных руд месторождения Шануч (Камчатский край). Результаты показали высокие концентрации никеля, меди, кобальта и других микроэлементов в рудничных и болотных водах, особенно в зоне окисления сульфидных руд, где концентрация РЗЭ может достигать 42,75 мкг/л. Наблюдается значительное обогащение легких РЗЭ и отрицательная европиевая аномалия в рудничных и болотных водах. Анализ показал различия в профилях распределения РЗЭ в зависимости от типа воды, что указывает на влияние геохимического состава вмещающих пород и горнодобывающей деятельности. Полученные результаты подчеркивают важность мониторинга качества воды в районах с интенсивной добычей полезных ископаемых. Для минимизации воздействия на экосистемы и водные ресурсы необходимо учитывать особенности распределения РЗЭ и других элементов, а также контролировать и предотвращать загрязнение.

Введение

Месторождение Шануч, расположенное в Камчатском крае, представляет собой важный геолого-экономический объект, который привлекает внимание как в связи с наличием медно-никелевых оруденений, так и в контексте изучения экологического состояния природной среды в районе добычи полезных ископаемых [1, 2]. Геологическая структура района характеризуется сложными тектоническими и литологическими особенностями, включая домеловые углеродсодержащие сланцы, гнейсы, метатерригенные породы и гранитоидные интрузии, что создает благоприятные условия для формирования рудных тел с высокими концентрациями никеля, меди и кобальта [3]. Помимо этого, здесь также встречаются платина, палладий и золото, что усиливает привлекательность месторождения для горнодобывающей промышленности.

Целью настоящего исследования является изучение химического состава подземных и поверхностных вод в зоне гипергенеза сульфидных руд месторождения Шануч, а также оценка воздействия горнодобывающей деятельности на гидрогеохимические системы региона. Особое внимание уделяется распределению редкоземельных элементов в водах и их аномальным характеристикам, связанным с процессами окисления и фильтрации. Результаты данного исследования позволяют не только уточнить геохимическую картину района, но и выработать рекомендации по минимизации воздействия промышленной деятельности на экосистему и водные ресурсы.

Материалы и методы

Каждая проба отбиралась в емкость из полипропилена и направлялась в Аналитический центр коллективного пользования при Дальневосточном геологическом институте ДВО

РАН. Фильтрация проб осуществлялась через мембранный фильтр (0,45 микрон) с помощью вакуумного насоса. Для анализа микроэлементов пробы подвергались подкислению азотной кислотой. 55 элементов определялись методом масспектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Спектрометр Agilent 7700x, Agilent Techn., США. Макрокатионы определялись методом атомно-эмиссионной спектрометрии (спектрометр iCAP 7600 Duo), макроанионы методом ионной хроматографии (ионный жидкостный хроматограф LC-20, Shimadzu, Япония). Определение гидрокарбонатов выполнено с помощью титратора Dosimat 765 от Metrohm (Швейцария) цена деления 0,002 мл. Общая минерализация воды (Σn) определялась как сумма макрокомпонентов:

$$\Sigma n = [Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [SO_4^{2-}] + [Cl^-] + [HCO_3^-].$$

Результаты и их обсуждение

Результаты гидрогеохимического исследования подземных и поверхностных вод в зоне гипергенеза сульфидных руд показали высокие концентрации различных элементов, включая никель (Ni), железо (Fe), марганец (Mn), кобальт (Co), алюминий (Al), стронций (Sr), медь (Cu), цинк (Zn), уран (U), а также редкоземельные элементы (РЗЭ) и скандий (REY+Sc). Концентрации этих элементов в рудничных водах и болотах месторождения значительно превышают фоновый уровень, особенно в водах, отбираемых на выходе из штольни (ШЗ), где концентрации РЗЭ достигают 42,75 мкг/л. В то же время, в пробах, отобранных в центре штольни (Ш2), концентрации РЗЭ значительно ниже (около 3,01 мкг/л), что подтверждает влияние геохимических процессов и фильтрации на распределение этих элементов.

Исследование профилей распределения РЗЭ в водах показало две отчетливо различающиеся группы. Первая группа включает подземные и речные воды, которые имеют схожий профиль распределения РЗЭ, поскольку эти воды питаются из одного источника. Вторая группа включает рудничные воды и болота, где профиль распределения РЗЭ отражает состав окружающих пород и процессы, происходящие в зоне окисления сульфидных руд. Важно отметить, что рудничные и болотные воды характеризуются отрицательной цериевой аномалией ($Ce/Ce^* - 0,46-0,97$), в то время как подземные и речные воды показывают положительную аномалию европия ($Eu/Eu^* - 1,13-1,46$).

Кроме того, в рудничных водах наблюдается высокая концентрация тяжелых металлов, таких как никель, медь, марганец и кобальт, что может быть связано с особенностями сульфидных руд и процессами их окисления. Присутствие таких элементов в значительных концентрациях в водах зоны окисления может оказывать серьезное влияние на окружающую среду, что требует разработки эффективных методов контроля и очистки вод в районе месторождения.

Результаты также показали, что профили распределения РЗЭ в рудничных водах изменяются при разбавлении водой с грунтовыми водами и атмосферными осадками. Это может свидетельствовать о том, что процессы фильтрации и взаимодействие вод с окружающими породами способствуют вымыванию более легких элементов и накоплению более тяжелых, таких как европий и церий [4].

Заключение

Важным аспектом исследования является выявление значительных изменений в химическом составе вод, связанных с горнодобывающей деятельностью. Низинный болотный массив и ручьи, стекающие с горного массива, играют важную роль в изменении качества воды в реке Шануч. Эти экосистемы взаимодействуют с промышленной деятельностью, что может привести к ухудшению качества водоемов в области влияния добычи.

Таким образом, полученные результаты подчеркивают необходимость комплексного подхода к управлению водными ресурсами и мониторингу состояния окружающей среды в районе месторождения. Геохимический барьер, созданный болотным массивом, служит естествен-

ным фильтром, который может ограничивать миграцию загрязняющих веществ и уменьшать негативное воздействие на экосистему. Однако, для устойчивого экологического управления необходимо постоянно отслеживать изменения в составе вод, чтобы минимизировать возможные риски загрязнения водоемов и негативные последствия для флоры и фауны региона.

*Данная работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00304 «Влияние современного техногенеза на поведение РЗЭ в системе «вода-порода-донные отложения» на примере Cu-Ni месторождения Шануч (Камчатка)»,
<https://rscf.ru/project/24-27-00304/>.*

Литература

1. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Эколого-геохимические изменения компонентов природной среды территории медно-никелевого месторождения (Центральная Камчатка) // География и природные ресурсы. – 2019. – № 3. – С. 49–59.
2. Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. Динамика эколого-геохимических изменений природных вод и почв на разных этапах освоения Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. – 2015. – Вып. 27, № 3. – С. 80–91.
3. Степанов В.А., Гвоздев В.И., Трухин Ю.П. Минералы благородных и редких металлов в рудах Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // Записки Российского минералогического общества. – 2010. – Т. 139, № 2. – С. 43–58.
4. Чудаев О.В., Харитонов Н.А., Челноков Г.А. Геохимические особенности поведения редкоземельных элементов в водах Дальнего Востока России в условиях природных и антропогенных аномалий. – Владивосток : Дальнаука. 2017. – 152 с.

УДК 579

**ИЗУЧЕНИЕ ПРЕСНОВОДНОГО ФИТОПЛАНКТОНА
КОСИНСКОГО ТРЕХОЗЕРЬЯ, В СВЯЗИ С ИХ ЭВТРОФИКАЦИЕЙ**

М.Л. Головин¹, В.Ю. Березкин^{1,2}, В.С. Баранчуков¹, В.Б. Розанов³, В.В. Трифонов²

¹ *Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия*

mikhail.golovin.00@list.ru

² *Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы*

³ *Минэнерго России, Департамент Угольной промышленности*

**INVESTIGATION OF FRESHWATER PHYTOPLANKTON
OF THE KOSINSKY THREE-LAKES REGION,
IN RELATION WITH THEIR EUTROPHICATION**

M.L. Golovin¹, V.Yu. Berezkin^{1,2}, V.S. Baranchukov¹, V.B. Rozanov³, V.V. Trifonov²

¹ *Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, Moscow, Russia*

mikhail.golovin.00@list.ru

² *Friendship University of Russia, Moscow, Russia*

³ *Ministry of Energy of Russia, Department of Coal Industry, Russia*

Abstract. Исследовано колебание численности и биоразнообразия пресноводного фитопланктона группы Косинских озер (Белого, Черного и Святого), расположенных в районе «Косино-Ухтомский» г. Москвы, в период 2023–2024 гг. в виду существующей угрозы их эвтрофикации. Территория, на которой они расположены имеет статус особо охраняемой природной территории (ООПТ) г. Москвы. В ходе систематических наблюдений было выявлено 42 вида, 18 родов фитопланктона, установлена их сезонная динамика. Качество воды озер, рассчитанное по индексу Пантле–Букка в модификации Сладечека, соответствует β-мезотрофному классу – умеренно загрязненные. Установлено сезонное снижение численности видов до 5,5 раз. Результаты работы подтвердили выявленные ранее снижение биоразнообразия озер, в связи урбанистическими процессами.

Введение

Экологические проблемы, возникающие в результате урбанизации, становятся все более значимыми для крупных городов, включая Москву. Одним из важнейших индикаторов здоровья экосистем являются фитопланктонные сообщества, отражающие как физическое состояние водоема, так и интенсивность внешнего воздействия. В условиях увеличивающейся плотности населения и расширения городской инфраструктуры возрастает нагрузка на городские водоемы, вызывая серьезные угрозы их стабильности и качеству воды [2].

Косинские озера, расположенные на юго-восточной окраине Москвы, представляют собой важный природный объект и входят в состав особой охранной территории ООПТ «Косинский», признанной одной из значимых зон отдыха и средообразующих участков мегаполиса. Данные водоемы играют важную роль в поддержании биоразнообразия региона и обеспечивают важные рекреационные возможности для жителей столицы [3].

Однако рост населения и увеличение застройки оказывают существенное давление на экосистемы Косинских озер, повышая риск эвтрофикации – процесса обогащения водоемов органическими веществами и минеральными солями, что ведет к резкому росту некоторых групп водорослей и гибели прочих организмов [1]. Ранее проводившиеся исследования [3] выявили, что в Белом озере доминируют сине-зеленые водоросли (95% от общего количества, что свидетельствует о высокой эвтрофикации водоема, а в Черном и Святом озерах, преобладали диатомовые водоросли (90%), из чего можно констатировать, что они менее эвтрофированы чем Белое.

Целью работы было определение видового состава и количественных показателей фито-

планктона, необходимых для выявления ранних признаков эвтрофикации и разработки рекомендаций по управлению состоянием экосистем исследуемых водоемов.

Материалы и методы

Отбор проб проводился в июне 2023 г. и октябре 2024 г., в каждом из озер батометром объемом 0,5 л [4]. Пробы фитопланктона отбирались в двух ключевых участках каждого озера. Для фиксации материала применялся формалин, обеспечивающий сохранение клеток и предотвращающий распад тканей. Пробы концентрировали общепринятым осадочным методом [5]. Фиксированную пробу планктона отстаивают в затемненном месте в течение нескольких дней, исходя из расчета, что фитопланктонные клетки оседают со скоростью 1 см за 3 часа. Подсчет численности клеток водорослей проводили под микроскопом ЛОМО МИКМЕД-2 с использованием камеры Нажотта объемом 0,05 см³. Проба просматривалась визуально и фотографировалась с помощью цифровой камеры SCMOS05100KPA, установленной на микроскоп, с увеличением объектива ×8. Визуализация полученных данных и обработка снимков осуществлялась с помощью программы TourView. На основе средних значений размеров клеток были просчитаны биообъемы, путем приравнивания отдельных форм к подобным геометрическим фигурам. Биомассу фитопланктона определяли методом вычисления суммарного объема клеток водоросли данного вида.

Результаты и их обсуждение

По результатам исследований были построены диаграммы для сравнения изменений фитопланктона с лета по осень. Наибольшее биоразнообразие наблюдается в Черном озере (рис. 1а). Самыми многочисленными оказались отделы Diatomeae и Cyanophyta, а самыми малочисленными Ochrophyta и Charophyta.

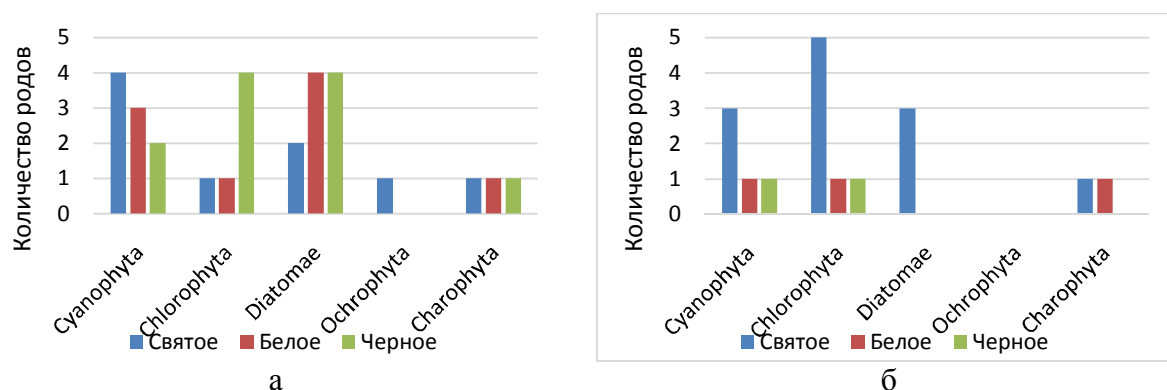


Рис. 1. Сезонное соотношение родов разных отделов фитопланктона
а – летний период, б – осенний период

Таблица 1. Сезонное соотношение фитопланктона (Лето 2023/Осень 2024 года)

Озеро	Лето 2023 г	Осень 2024 г	Лето/Осень (%)	Во сколько раз уменьшилось/увеличилось
Святое	9	12	133,3	1,3
Белое	9	3	33,3	3
Черное	11	2	18,2	5,5
Всего	29	17	58,6	1,7

После летнего периода в Белом озере исчезли 4 рода Diatomeae и 2 рода Cyanophyta (рис. 1б). Количество родов отделов Charophyta и Chlorophyta осталось неизменным. Черное озеро имеет наихудшее биоразнообразие, тут в основном фигурируют отделы Cyanophyta и Chlorophyta, а большая часть родов исчезла (рис. 1в).

Снижение численности фитопланктона со сменой сезона является общей тенденцией всех трех озер. Больше всех страдает Черное озеро из-за самого значительного сезонного уменьшения фитопланктона в 5,5 раза. Самым устойчивым к изменениям оказалось Святое озеро, так как количество родов к осени увеличилось в 1,3 раза (табл. 1).

Заключение

Проведенное исследование выявило значительное ухудшение биологического разнообразия фитопланктона в Косинских озерах, связанное с увеличением процессов эвтрофикации. Сравнительная характеристика озер показала, что озеро Белое наиболее загрязнено по сравнению с двумя другими озерами что, связано с более интенсивной антропогенной нагрузкой на данный водоем. В ходе наблюдений 2024–2025 гг. фитопланктон Косинских озер был представлен 5 отделами: Chlorophyta, Cyanophyta, Diatomeae, Charophyta, и Ochrophyta (в порядке убывания численности). Качество воды Косинских озер, рассчитанное по индексу Пантле–Букка в модификации Сладечека, с использованием биоиндикаторных видов фитопланктона соответствует β -мезотрофному классу – умеренно загрязненные. Подтверждено, что выявленная ранее тенденция к снижению биоразнообразия фитопланктона и численности отдельных видов, носит не только сезонный характер, но и отражает негативные антропогенные процессы, протекающие в системе Трехозерья по настоящее время (2016–2024 гг). Экосистемы всех трех Косинских озер подвержены сильной антропогенной нагрузке, в меньшей степени Святое озеро и в большей Белое и Черное, что проявляется в наличии уродливых форм фитопланктона с различными деформациями, что может быть связано, в первую очередь, с загрязнением озерных вод в результате рекреационной деятельности.

*Работа выполнена при частичной поддержке ГЕОХИ РАН,
в рамках госзадания 2024 г.*

Литература

1. Березкин В.Ю., Розанов В.Б. Эколого-геологические исследования территории района Косино-Ухтомский // Материалы молодежного инновационного проекта «Школа экологических перспектив». – Воронеж, 2012 – С. 65–70.
2. Волчек А.А., Д.Н. Дашкевич, Е.И. Дмухайло. Защита озер от эвтрофикации // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды : тезисы докладов IV Международной научной конференции. – Минск, 2011. – С. 14.
3. Розанов В.Б., Березкин В.Ю., Еськов Е.К. К изучению пресноводного фитопланктона Косинских озер : материалы VII биогеохимической школы. – М., 2011. – С. 177–181.
4. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. – М. : МГУ, 2003. – 153 с.
5. Суханова И.Н. Концентрирование фитопланктона в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. – М. : Наука, 1983. – С. 97–105.

УДК 550.47: 550.4

ЗАВИСИМОСТЬ МИКРОФЛОРЫ ОТ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КУЗБАССА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Е.В. Домрочева, О.Е. Лепокурова

*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Томск, Россия*

DomrochevaYV@ipgg.sbras.ru; LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

DEPENDENCE OF MICROFLORA ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATER BODIES OF KUZBASS UNDER CONDITIONS OF TECHNOGENIC LOAD

E.V. Domrocheva, O.E. Lepokurova

Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, Tomsk, Russia

DomrochevaYV@ipgg.sbras.ru; LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

Abstract. В статье представлены результаты комплексного исследования микробиологического и химического составов некоторых природных вод Кемеровской области, что является важным аспектом экологического мониторинга. Получены первые зависимости микробного разнообразия и общей численности от типа водного объекта (речные, озерные воды и две динамические зоны подземных вод) и химических параметров водной среды.

Введение

Активная добыча угля в Кузбассе и интенсивная промышленная деятельность оказывают значительное влияние на водные объекты территории. За последние 20 лет сотрудниками ТФ ИНГГ СО РАН накоплены данные по геохимии природных вод региона, прежде всего по центральной и южной частям, где расположены угледобывающие производства [1, 2]. Однако с экологическим уклоном они ранее глубоко не анализировались. В данной работе решалась задача по выявлению закономерностей распределения микрофлоры в различных водных объектах и связи с химическим составом вод. Изучение этих особенностей имеет важное значение для оценки экологического состояния вод и разработки мер по их охране.

Объект и методы

Детальные исследования природных и гидрогеологических условий региона представлены [1]. Объектами исследования стали поверхностные и подземные воды Кемеровской области, которые отбирались из рек (Глухая, Тутуясс, Кыргай, Талда и др.), мелких безымянных озер, родников и скважин. Подземные воды представлены двумя разными гидродинамическими зонами: активного (отобранные из источников и неглубоких скважин до 200 м) и замедленного (из скважин глубиной от 400 до 1200 м) водообменов. Всего проанализировано 67 проб воды: 30 из поверхностных водоемов, а 37 из подземных источников.

Методы исследования включали: химический и микробиологический анализы и их статистическую обработку. Аналитические исследования проводились стандартными методами в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета. Для анализа использовались данные по химическому составу (основные ионы, некоторые микроэлементы, органические вещества) и микробиологическим показателям (общее микробное число, группы бактерий: нефтеокисляющие, железоокисляющие, сульфат восстанавливающие бактерии и др.).

Результаты исследования и их обсуждения

Химический состав природных вод. Поверхностные воды характеризуются относительно низкой минерализацией (37–370 мг/л) и большим разбросом значений pH среды от 6,7 до 9,4:

более щелочные озерные воды и воды крупных рек. По составу воды $\text{HCO}_3\text{--Ca}$ типа, иногда сложного катионного состава Ca--Mg--Na . Наблюдается повышенное содержание органических веществ (ХПК до 63 мг/л) и азотных соединений (NH_4^+ до 0,54 мг/л, NO_3^- до 6,5 мг/л).

Подземные воды зоны активного водообмена характеризуются более высокими значениями минерализации (до 870 мг/л) и pH в среднем 7,9, что обусловлено большим временем взаимодействия в системе вода-порода, а в некоторых случаях антропогенной нагрузкой. В химическом составе увеличивается содержание: Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , что чаще всего связано с естественными геохимическими процессами, но в целом воды остаются $\text{HCO}_3\text{--Ca}$ типа. В некоторых скважинах фиксируются высокие концентрации Fe (до 24,5 мг/л). Известно, что их концентрации могут способствовать росту определенных микроорганизмов и уменьшать разнообразие других [3].

Подземные воды зоны замедленного водообмена характеризуется еще большей минерализацией (до 26,6 г/л) и pH от 7,2 до 8,6. Состав меняется на $\text{HCO}_3\text{--Na}$ тип (содовый), в нижней зоне увеличиваются концентрации Cl^- . Кроме этого фиксируются высокие концентрации Fe (до 122 мг/л), а также органических веществ ($\text{C}_{\text{орг}}$ до 52,7 мг/л).

Микрофлора природных вод. В поверхностных водах (озерах и реках) наблюдается наибольшее видовое разнообразие (табл. 1). Общее микробное число (ОМЧ) варьируется здесь до 10 660 КОЕ/мл. Доминируют сапрофитные и нефтеокисляющие бактерии, связанные, по-видимому, с антропогенной нагрузкой. Для рек характерны значительные колебания численности нефтеокисляющих бактерий (160–34 000 КОЕ/мл).

Таблица 1. Зависимость микробиологического состава от химических параметров для разных типов водных объектов Кузбасса

Тип вод (кол-во проб)	Химический параметр (ед.изм.)	Мин.	Макс.	Среднее	Основные микроб- ные группы	Численность (КОЕ/мл)	Зависимость
<i>Поверхностные воды</i>							
Озера (5)	ОЖ (мг-экв/л)	0,45	3,48	2,55	Психофильные сапрофиты	880-12800	Обратная
	ХПК (мг/л)	3,9	11,7	8,47	Нефтеокисляющие	380-8990	Прямая
Реки (14)	ОЖ (мг-экв/л)	0,59	5,0	2,2	Психофильные сапрофиты	30-28000	Прямая
	NH_4^+ (мг/л)	0,02	1,03	0,30	Нитрифицирующие	10-100000	Прямая
	ХПК (мг/л)	0,09	6,6	1,5	Железосодержащие	500-5190	Не стабиль- ная
	ХПК (мг/л)	3,9	126,5	25,7	Нефтеокисляющие	160-34000	Не стабиль- ная
<i>Подземные воды</i>							
Активный водообмен (28)	Минер. (мг/л)	351	769	514	Олиготрофы	60-94200	Присутствие
	$\text{C}_{\text{орг}}$	1,5	8,82	5,78	Психофильные сапрофиты	40-52400	Стимулирует активность
	$\text{C}_{\text{орг}}$	1,98	38,69	7,21	Олиготрофы	60-94200	Стимулирует активность
Замедленный водообмен (9)	Минер. (мг/л)	3272	17473	9958	Олиготрофы	9180-51620	Прямая не значительная
	Глубина (м)	437	1200	923	Психофильные сапрофиты	7660-55200	Прямая
	Глубина (м)	1040	1200	1085	Олиготрофы	9180-51620	Прямая

Примечание: КОЕ/мл – колониеобразующие единицы на миллилитр.

Установлены некоторые корреляции химического и микробиологических составов. В озерах: 1) прямая между химическим потреблением кислорода (ХПК) и численностью нефтео-

кисляющих микроорганизмов; 2) обратная между общей жесткостью (ОЖ) и численностью психрофильных сапрофитов. В реках: 1) прямая зависимость между ОЖ и психрофильными сапрофитами; 2) прямая между концентрацией аммония (NH_4^+) и нитрифицирующими бактериями; 3) нестабильная зависимость для железосодержащих и нефтеокисляющих микроорганизмов от ХПК.

В подземных водах в результате взаимодействия с горными породами, происходит накопления Fe и, соответственно, появляются железобактерии. В целом доминируют олиготрофы, психрофильные сапрофиты и на большей глубине энтеробактерии, ОМЧ меняется от 50 до 2700 КОЕ/мл.

Для зоны активного водообмена отмечены зависимости видового разнообразия микроорганизмов от минерализации, pH и концентрации органических веществ ($C_{\text{орг}}$). Наибольшая микробиологическая активность характерно для среды с соленостью 350–500 мг/л, pH 8,6–8,8. Олиготрофные микроорганизмы преобладают в пробах с низкой минерализацией. Присутствие нефтеокисляющих и железобактерий связано с геохимическими особенностями среды. Отмечается стимулирующее влияние $C_{\text{орг}}$ на активность психрофильных сапрофитов и олиготрофов.

В зоне замедленного водообмена микробные сообщества менее разнообразны, но адаптированы к высокой солености и низкому содержанию кислорода. Присутствуют нефтеокисляющие бактерии (до 18900 КОЕ), сульфатовосстанавливающие бактерии (8–10 кл/мл), олиготрофы (до 51620 КОЕ). С глубиной увеличивается количество олиготрофов и психрофильный сапрофитов.

Заключение

Состав природных вод Кузбасса представляет собой сложную динамичную систему, в которой разнообразие микроорганизмов и их численность зависят от химического состава воды и условий окружающей среды. Установлены следующие закономерности:

- В поверхностных водах доминируют сапрофитные и нефтеокисляющие бактерии, связанные с антропогенной нагрузкой.
- В зоне активного водообмена преобладают олиготрофные микроорганизмы, также присутствуют сапрофиты и железобактерии, зависящие от геохимической среды этой зоны.
- В зоне замедленного водообмена развиваются анаэробы, адаптированные к высоким соленостям и дефициту кислорода.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 25-27-00170, <https://rscf.ru/project/25-27-00170>.*

Литература

1. Лепокурова О.Е., Домрочева Е.В. Элементный состав природных вод и вмещающих отложений Кузбасса с оценкой водной миграции (на примере Нарыкско-Осташкинской площади) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т.332. – № 2. – С. 200–213.
2. Лепокурова О.Е., Домрочева Е.В., Наливайко Н.Г. Первые данные о составе микрофлоры природных вод Нарыкско-Осташкинской площади (Кузбасс) // Материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России с международным участием. – Иркутск, 2021. – С. 78–82.
3. Chapelle F.H. Groundwater Microbiology and Geochemistry (2nd ed.). – Wiley, 2007. – 495 p.

УД К 504.4.054; 504.4.06

ПАУ КАК ИНДИКАТОРЫ АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Е.В. Домрочева, И.С. Король, Н.А. Мухортина

*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Томск, Россия*

DomrochevaYV@ipgg.sbras.ru; irinakorol@yandex.ru; volkovana@ipgg.sbras.ru

PAHS AS INDICATORS OF ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON AQUATIC ECOSYSTEMS OF THE KUZNETSK COAL BASIN

E.V. Domrocheva, I.S. Korol, N.A. Mukhortina

Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, Tomsk, Russia

DomrochevaYV@ipgg.sbras.ru; irinakorol@yandex.ru; volkovana@ipgg.sbras.ru

Abstract. Исследование посвящено изучению состава и распространения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в природных водах Кузбасса. Анализ проб поверхностных и подземных вод, выявил значительные концентрации ПАУ (0,054–18,94 мкг/л), с преобладанием высокомолекулярных соединений (32–75%). Установлено, что основными источниками ПАУ являются техногенные процессы и взаимодействие вод с угольными пластами. Результаты подчеркивают влияние угольной промышленности на качество вод и необходимость мониторинга загрязнения для сохранения экосистем региона.

Введение

В Кузнецком бассейне угольные отложения и объекты угольной промышленности создают уникальные условия для негативного воздействия на водные ресурсы. Это подчеркивает необходимость анализа состава и распространения органических веществ, таких как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в водах региона. Важно оценить влияние угольной отрасли на качество вод, выявить маркеры загрязнения и использовать данные для реконструкции условий формирования вод в экосистемах. Деятельность угольной промышленности может приводить к загрязнению вод органическими соединениями, такими как фенолы и углеводороды, что негативно сказывается на экосистемах. Комплексное исследование роли органических веществ требует учета химических и биологических аспектов. ПАУ, токсичные соединения, могут возникать как из естественных процессов, так и из антропогенных источников, что делает Кузбасс интересной площадкой для их изучения в природных водах. Основная цель работы – изучение состава и распространения органических веществ в природных водах Кузбасса.

Материалы и методы

Кузбасс, расположенный на юге Западной Сибири, характеризуется сложным геологическим строением с преобладанием осадочных пород, формировавшихся на протяжении миллионов лет. В регионе присутствуют угленосно-терригенные отложения, состоящие из песчаников, алевролитов и аргиллитов, содержащих угольные пласты пермо-карбонового и юрского возрастов. Гидрографическая сеть в основном относится к реке Томь и ее притокам, таким как Абашево, Мрассу и др. Подземные воды региона демонстрируют нормальную вертикальную гидродинамическую зональность и делятся на три зоны водообмена: активного, замедленного и весьма замедленного.

Основой данной работы являются результаты исследования природных вод, собранные в ходе отбора проб в 2022–2025 годах, а также данные по геохимии вод Кузнецкого угольного бассейна, накопленные за последние годы сотрудниками ТФ ИНГГ СО РАН [1]. В рамках исследования ПАУ было проанализировано 30 проб воды, из которых 10 взяты из поверхно-

стных водоемов, а 20 из подземных источников. Исследования сосредоточены на центральной и южной частях Кузбасса, где имеются значительные запасы угольного метана.

Анализ проб проводился в лаборатории физико-химических исследований керна и пластовых флюидов Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, расположенном в г. Томск. Определение содержания ПАУ осуществлялось в соответствии с методикой ПНД Ф 14.1:2:4.70-96 методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Экстракция ПАУ проводилась с использованием н-гексана. Для очистки образцов использовался метод тонкослойной хроматографии на оксиде алюминия III степени активности. Хроматографический анализ проводился на аппарате Shimadzu LC-20, оснащенный диодноматричным и флуоресцентным детекторами.

Результаты и их обсуждение

На основании анализа имеющихся данных по химическому составу природных вод мы установили, что подземные воды подчиняются четкой вертикальной гидродинамической зональности. Выделяются две основные зоны: зона активного водообмена, находящаяся на глубинах от 30 до 200 м (редко до 300–400 м), и зона замедленного водообмена, верхняя граница которой достигает 600–700 метров, а нижняя – 1200 м.

Каждая из зон имеет свои уникальные химические характеристики, которые определяются как природными процессами, так и воздействием человека. Поверхностные воды имеют слабощелочную и щелочную реакцию с pH 7,6–9,9 и минерализацией в основном от 0,1 до 0,4 г/л. В то же время пробы с территорий смежных с промышленными, имеют более высокую минерализацию (от 0,48 до 1,80 г/л) и узкий диапазон значений pH (от 8,0 до 8,5). Концентрации Ca^{2+} варьируются от 6 до 54 мг/л, Mg^{2+} – от 1,8 до 12,5 мг/л, натрия Na^+ – от 1,8 до 33 мг/л. Содержание HCO_3^- составляет 22–273 мг/л, SO_4^{2-} – 2,5–12,4 мг/л, Cl^- – 0,4–9,9 мг/л. Минерализация поверхностных вод колеблется от 37,2 до 371 мг/л. Значения pH находятся в диапазоне 6,8–9,9, что соответствует слабощелочной среде.

Подземные воды Кузбасса, это воды с более высокой минерализацией по сравнению с поверхностными водами. Для активного водообмена характерны концентрации Ca^{2+} от 5 до 120 мг/л, Mg^{2+} – от 1,2 до 30,5 мг/л, Na^+ – от 6,6 до 137 мг/л. Содержание HCO_3^- достигает 114–580 мг/л, SO_4^{2-} – 0,1–16,9 мг/л, Cl^- – 0,5–35,7 мг/л. Минерализация подземных вод варьируется от 171 до 769 мг/л, что свидетельствует о более высокой степени их засоленности. Для подземных вод зоны замедленного водообмена отмечаются повышенные концентрации Na^+ (до 420 мг/л) и Cl^- (до 10,9 мг/л). Значения pH подземных вод находятся в пределах 7,0–9,0, что соответствует нейтральной и слабощелочной среде.

Таблица 1. Состав некоторых ПАУ в природных водах Кузбасса

Показатели	Поверхностные воды		Подземные воды		
	Реки и озера	Реки и озера смежные с промышленными территориями	Активный водообмен	Верхняя часть зоны замедленного водообмена	Нижняя часть замедленного водообмена
$\text{C}_{\text{орг}}$, мг/л	2,1-16,1	2,4-3,5	0,7-8,3	0,2-19,1	3,9-326
ПО, $\text{mgO}_2/\text{л}$	0,6-16,4	3,8-15,3	0,2-4,6	0,3-1,2	1,3-19,2
ХПК, $\text{mgO}_2/\text{л}$	3,9-28,8	8,4-54,1	3,5-11,7	4,9-19,0	5,0-161
$\Sigma\text{ПАУ}$, мкг/л	0,054-0,885	0,237-0,0885	0,565-0,612	0,691-2,433	0,119-18,94
$\Sigma\text{НМ}$	0,014-0,506	0,102-0,506	0,204-0,282	0,206-1,612	0,001-10,540
$\Sigma\text{ВМ}$	0,041-0,378	0,116-0,404	0,330-0,361	0,484-0,0821	0,038-8,399

Примечание: ПО – перманганатная окисляемость, ХПК – химическое потребление кислорода, $\text{C}_{\text{орг}}$ – органический углерод, $\Sigma\text{ПАУ}$ – сумма полиароматических углеводородов, $\Sigma\text{НМ}$ – сумма низкомолекулярных соединений, $\Sigma\text{ВМ}$ – сумма высокомолекулярных соединений.

Особое внимание следует уделить ПАУ, которые являются стойкими экотоксикантами и могут поступать в водоемы на всех этапах добычи и переработки угля [2]. В исследуемых водных объектах количественно определены следующие индивидуальные ПАУ (табл. 1).

Результаты проведенных исследований по изучению индивидуального состава ПАУ в природных водах Кузбасса показали, что общее содержание ПАУ варьирует в диапазоне от 0,054 до 18,94 мкг/л. На долю ВМ ПАУ, с молекулярной массой более 200 а.е.м., содержащих от 4 до 6 конденсированных колец, приходится от 32 до 75 % отн. Для природных вод Кузбасса установлены значительные содержание фенантрена от 0,009 до 3,65 мкг/л и флуорентена от 0,031 до 0,28 мкг/л, что может служить надежным индикатором техногенной нагрузки для данной территории. ПАУ можно использовать в качестве геохимических маркеров загрязнения окружающей среды. Наиболее распространенными и достоверными соотношениями являются: $Flt/(Flt+Pyr)$, $BaA/(BaA+Chr)$, $(FLT+PYR)/(PHEN+CHR)$. Для территории центральной и южной частей Кузбасса данные соотношения представлены на рисунке 1.

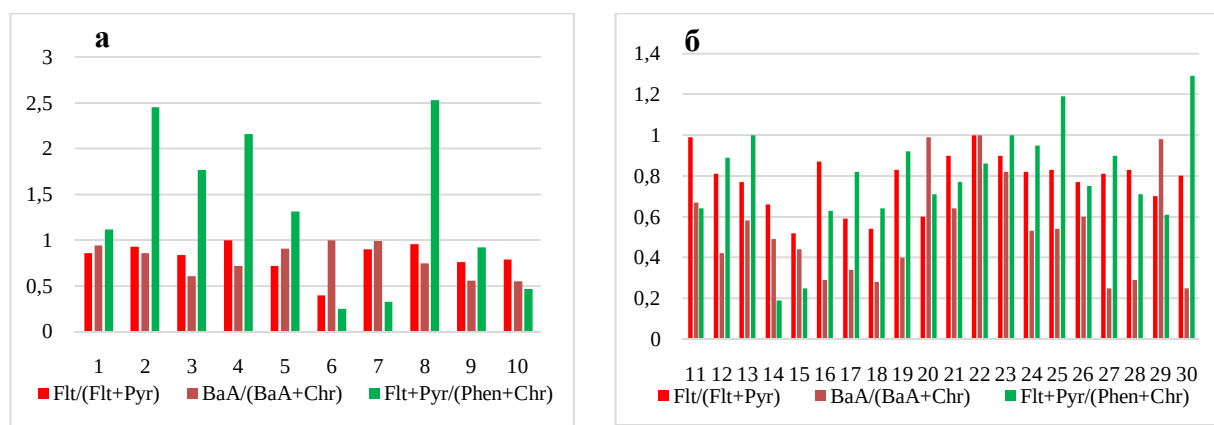


Рис. 1. Соотношения ПАУ в поверхностных (а) и подземных (б) водах Кузбасса

Рассчитанные соотношения указывают на пирогенный источник происхождения, основная доля которого приходится на процесс сжигания углей. Однако, следует учитывать реальные ситуации отбора проб. Если для поверхностных вод наличие полиаренов может быть связано с техногенными процессами, то для подземных – наличие ПАУ вероятно связано с взаимодействием вод с угольными пластами и миграцией наиболее подвижных и растворимых ПАУ по водоносным горизонтам. Проблема идентификации источника поступления ПАУ осложняется тем, что они формируются во многих природных и техногенных процессах.

Заключение

Гидрогеохимические исследования природных вод Кузбасса выявили значительную вариативность их химического состава, обусловленную как природными, так и техногенными факторами. Водные системы, расположенные в зонах повышенной антропогенной нагрузки, как правило характеризуются высокими значениями содержания ПАУ. Важно отметить, что распределение индивидуальных ПАУ по изучаемым водным объектам Кузбасса неравномерное, некоторые пробы обогащены одним, двумя или несколькими компонентами, другие представлены низкими концентрациями или следовыми количествами, которые фиксируются данным методом ВЭЖХ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00170,
<https://rscf.ru/project/25-27-00170/>

Литература

1. Домрочева Е.В. Геохимическое состояние природных вод юга Кузбасса на примере Тутуянской площади // Международный научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь». – Новосибирск, 2019. – Т. 2, № 3. – С. 239–245.
2. Исмагилов З.Р., Журавлева Н.В., Керженцев М.А. и др. Экологические проблемы Кузнецкого угольного бассейна. Научные подходы и технологии для снижения загрязнений окружающей среды // Химия в интересах устойчивого развития. – 2018. – Т. 26, № 3. – С. 241–260.

УДК 556: 550.461: 550.42

**ПРИРОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ CL И BR
В СОЛЕННЫХ ОЗЕРАХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ**

В.В. Дребот¹, С.В. Борзенко², О. Шуакар-Сташ^{3,4,5}, Р. Стотлер⁴

¹Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Томск, Россия

DrebotVV@ipgg.sbras.ru

²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия
svb_64@mail.ru

³Isotope Tracer Technologies Inc., Уотерлу, Канада
orfan@it2isotopes.com

⁴Университет Уотерлу, Уотерлу, Канада
randy.stotler@uwaterloo.ca

⁵Гуэлфский университет, Гуэлф, Канада

**THE NATURE OF CL AND BR STABLE ISOTOPES DISTRIBUTION IN SALINE LAKES
AND GROUNDWATER OF EASTERN TRANSBAIKALIA**

V.V. Drebot¹, S.V. Borzenko², O. Shouakar-Stash^{3,4,5}, R. Stotler⁴

¹Tomsk Branch of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of SB RAS, Tomsk, Russia
DrebotVV@ipgg.sbras.ru

²Institute of Natural Resources, Ecology, and Cryology of SB RAS, Tomsk, Russia
svb_64@mail.ru

³Isotope Tracer Technologies Inc., Waterloo, Canada
orfan@it2isotopes.com

⁴University of Waterloo, Waterloo, Canada
randy.stotler@uwaterloo.ca

⁵University of Guelph, Guelph, Canada

Аннотация. Показано, что значения стабильных изотопов ($\delta^{37}\text{Cl}$) и брома ($\delta^{81}\text{Br}$) в соленых озерах Восточного Забайкалья и питающих их подземных водах изменяются в широких пределах: от -0.98 до 1.17‰ SMOС и от -0.28 до 3.24‰ SMOB. С ростом солености озер и снижением pH, показатели $\delta^{37}\text{Cl}$ сначала уменьшались, а затем снова увеличивались, тогда как значения $\delta^{81}\text{Br}$ неуклонно росли в том же направлении. В парных системах с подземными водами, наоборот, сигнатуры $\delta^{37}\text{Cl}$ в озерах увеличиваются по отношению к скважинам (или не меняются), а $\delta^{81}\text{Br}$ – снижаются. Это объясняется сложным сочетанием контролирующих процессов, таких как взаимодействие в системе водопорода, растворение солей, дефляция и микробиологическая активность.

Введение

В настоящее время изотопно-геохимический подход активно применяется при решении большого числа исследовательских задач применительно к водным экосистемам. При этом благодаря достижениям в области аналитических технологий наряду с изотопами O, C, N, и S в последнее время стали рассматривать и стабильные изотопы хлора ($\delta^{37}\text{Cl}$) и брома ($\delta^{81}\text{Br}$). $\delta^{37}\text{Cl}$ и $\delta^{81}\text{Br}$ обладают способностью фракционировать при образовании соли из насыщенных растворов, а также вовлечены в биогеохимические процессы из-за чего их предлагают использовать при изучении систем соленых озер [2, 3]. Целью настоящего исследования является изучение вариаций $\delta^{37}\text{Cl}$ и $\delta^{81}\text{Br}$ в соленых озерах Восточного Забайкалья, а также связанных с ними подземных водах и объяснить особенности их распределений.

Материалы и методы

Опробование проводилось в 2021 г. в юго-восточной части Забайкальского края на границе с Монголией в пределах от 49° до 51° с.ш. и от 114° до 117° в.д. Пробы отбирали из десяти со-

ленных озер (номера на рис. 1 указаны рядом с названием водоема в скобках): Барун-Торей (23), Ножий (1), Баян-Булак (8), Балыктуй (9), Укшинда (7), Горбунка (4), Дабаса-Нор (17), Борзинское (26), Хилганта (6). Опробование водоемов выполняли «в паре» с питающими подземными водами из ближайших к озерам скважин в количестве четырнадцати проб. Одна проба была взята из реки Ульдза (19), берущей начало в Монголии и впадающей в крупнейшее озеро – Барун-Торей.

$^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ и $^{81}\text{Br}/^{79}\text{Br}$ определяли методом масс-спектрометрии изотопных отношений при постоянном потоке (CF-IRMS) в сочетании с газовой хроматографией (GC) на приборах IsoPrime Micromass (Великобритания), Agilent 6890 (США) и CTC Analytics CombiPAL (Швейцария) в канадской лаборатории Isotope Tracer Technologies Inc. (г. Уотерлу). Данные измерялись относительно Стандарта среднеокеанических хлоридов (SMOC) и Стандарта среднеокеанического брома (SMOB) соответственно и представлены в дельта-промилле (‰). Аналитическая точность анализов составляет $\pm 0,2\%$. Концентрации хлора и общую минерализацию определяли в лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии ИПРЭК СО РАН (г. Чита) титриметрическим методом. Содержание брома определяли методом ИСП-МС в Аналитическом центре ИГХ СО РАН (г. Иркутск). Измерения pH проводили *in situ* с помощью карманного многофункционального измерителя AMTAST AMT03 (США).

Результаты и их обсуждение

Исследуемые озера представляют собой бессточные котловины, pH и минерализация воды в которых изменяется в широких пределах от 8,5 до 9,6 от 1 до 231 г/л, соответственно. Ранее авторами [1] все исследуемые в работе водоемы были подразделены на два геохимических типа: содовый (точки 1, 2, 7, 8, 9, 12, 26 на рис. 1) и хлоридный (точки 4, 6, 17 на рис. 1). По мере увеличения солености содержание карбонатов постепенно уменьшается, параллельно снижается и pH. Концентрация брома и хлора в составе озер изменяются от 0,22 мг/л до 212 и от 15,8 до 37095 мг/л соответственно. Минимальные их значения отмечаются в наполняющемся после длительного засушливого режима, сопровождающегося полным иссушением, пресном (в момент отбора) озере Барун-Торей (точка 23 на рис. 1), а максимальные – в хлоридном озере Горбунка (точка 4 на рис. 1). Самым соленым озером является единственное самосадочное Борзинское (231 г/л, точка 26 на рис. 1). В период ледостава хлоридные озера Горбунка (точка 4 на рис. 1) и Хилганта (точка 6 на рис. 1) также осаждают галит. Питающие озера подземные воды также имеют пестрый химический состав, их pH изменяется от 6,7 (вода $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, точки 3, 11, 13, 14, 15, 16, 18 на рис. 1) до 8,3 (вода $\text{HCO}_3\text{-Na}$, точки 10, 20, 21, 22, 24, 25), а минерализация – от 0,2 до 1,7 г/л. Максимальная концентрация брома и хлора подземных вод определена в скважине на водосборе оз. Горбунка (525 мг/л и 3,4 г/л соответственно), точка 5 на рис. 1. Река Улдза (точка 19 на рис. 1) пресная (минерализация=0,45 г/л) и слабощелочная (pH=7,8). По химическому типу: $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$.

Полученные значения стабильных изотопов хлора и брома в исследуемых водах изменяются в широких пределах: от -0.31 до +1.05‰ в озерах и от -0.98 до 1.20‰ в подземных водах для $\delta^{37}\text{Cl}$, и от -0.28 до +2.26 ‰ в озерах и от 0.69 до 2.83‰ в подземных водах соответственно, что хорошо соотносится с их геохимическим обликом. Предметом внимания в данной работе является выявленное характерное распределение полученных изотопных значений. С ростом солености озер и снижением их pH, показатели $\delta^{37}\text{Cl}$ внутри группы содовых озер сначала снижались от 0,35 до -0.31‰, а затем снова увеличивались от 0.23 до 0.43‰ в хлоридных озерах и оз. Борзинское (1.05‰), отражая переход от разбавления и ионного обмена к испарительному концентрированию. В то время как показатели $\delta^{81}\text{Br}$ неуклонно росли в том же направлении от -0.28 до 1.59‰. В парных системах с питающими водоемы грунтовыми водами, наоборот, сигнатуры $\delta^{37}\text{Cl}$ в озерах в целом увеличиваются по отношению к сопутствующим скважинам (или не меняются), а $\delta^{81}\text{Br}$ – снижаются (рис. 1). Это объясняется сложным сочетанием контролирующих процессов, влияющих на фракционирование $\delta^{37}\text{Cl}$ и $\delta^{81}\text{Br}$,

ключевым из которых является взаимодействие в системе вода-порода. Переносимые ветром соли также могут способствовать изотопному циклу, возвращая ^{35}Cl и ^{79}Br в озера и зону аэрации с атмосферными аэрозолями, что в течение длительного времени, вероятно, приводит к постоянному сдвигу изотопного сигнатур. В озерах четко выражены процессы сульфатредукции и метаногенеза, окисления серы и метана и т. д., поэтому микробиологические процессы также можно выделить как одну из причин выявленного распределения изотопов. Предварительные исследования влияния микробиологического биовосстановления брома показали как истощение, так и обогащение после микробиологического восстановления бромированных фенолов или высвобождения бромистого метила [4]. Другие микробиологические процессы, в том числе активность солевывделяющих галофитов [2], могли привести к снижению остаточных значений $\delta^{37}\text{Cl}$ в водоемах. Учитывая сходство тенденций, наблюдаемых для значений $\delta^{37}\text{Cl}$ и $\delta^{81}\text{Br}$ с опубликованными данными по другим соленым озерам, результаты можно обоснованно распространить на другие засушливые территории, что может способствовать расширению представлений о поведении хлора и брома в условиях меняющегося климата в засушливых экосистемах.

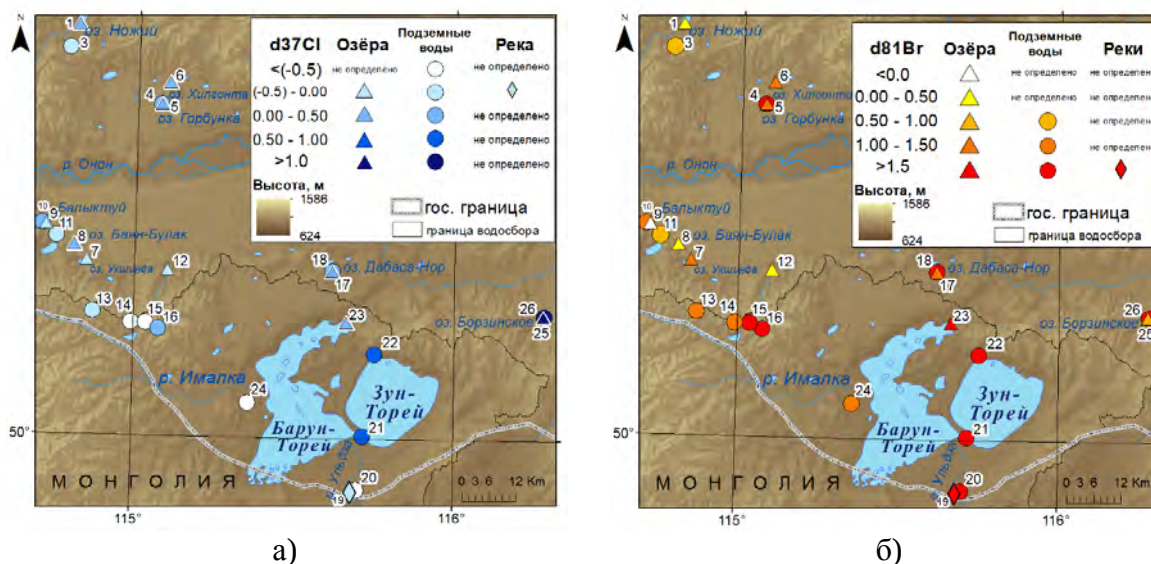


Рис. 1. Распределения стабильных изотопов хлора (а) и брома (б) в водах

Исследование выполнено при финансовой поддержке проектов ФНИ РАН (№0266-2022-0016 и № 121032200070-2). Авторы благодарят команду IT² Isotope Tracer Technologies из г. Ватерлоо за возможность провести анализ $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ и $^{81}\text{Br}/^{79}\text{Br}$.

Литература

1. Borzenko S.V., Shvartsev S.L. Chemical composition of salt lakes in East Transbaikalia (Russia) // Applied Geochemistry. – 2019. – Vol. 103. – P. 72–84.
2. Eastoe C.J. Stable chlorine isotopes in arid non-marine basins: Instances and possible fractionation mechanisms // Applied Geochemistry. – 2016. – Vol. 74. – P. 1–12.
3. Hanlon C., Stotler R., Frapre S. et al. Comparison of $\delta^{81}\text{Br}$ and $\delta^{37}\text{Cl}$ composition of volatiles, salt precipitates, and associated water in terrestrial evaporative saline lake systems // Isotopes in Environmental and Health Studies. – 2017. – Vol. 53(5). – P. 446–465.
4. Horst A., Bonifacie M., Bardoux G. et al. Isotopic characterization (2H , ^{13}C , ^{37}Cl , ^{81}Br) of abiotic degradation of methyl bromide and methyl chloride in water and implications for future studies // Environmental Science and Technology. – 2019. – Vol. 53(15). – P. 8813–8822.

УДК 556.314, 550.47, 536.7

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ И ПИТЬЕВЫХ ВОД
МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ, ФОРМ МИГРАЦИИ
И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СТАТУС ЖИТЕЛЕЙ**

С.В. Дрогобужская, С.И. Мазухина, В.А. Маслобоев

ИХТРЭМС ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия

s.drogobuzhskaia@ksc.ru, drogosv@yandex.ru, simazukhina@mail.ru

**ASSESSMENT OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF NATURAL AND DRINKING
WATERS OF THE MURMANSK REGION, FORMS OF MIGRATION
AND THE ELEMENTAL STATUS OF RESIDENTS**

S.V. Drogobuzhskaya, S.I. Mazukhina, V.A. Masloboev

Tananaev Institute of Chemistry KSC RAS

s.drogobuzhskaia@ksc.ru, drogosv@yandex.ru, simazukhina@mail.ru

Abstract. Работа посвящена исследованию химического состава природных и питьевых вод регионов Мурманской области с точки зрения ПДК и БЗК, форм миграции и возможного влияния на здоровье человека с помощью мониторинга современными методами анализа и термодинамического физико-химического моделирования. С точки зрения физиологической полноценности питьевая вода оказалась «бедной» во всех местах отбора проб в городах и поселках Мурманской области. Постоянное употребление жителями области слабоминерализованной питьевой воды является одной из основных причин дисбаланса макро- и микроэлементов в организме, характеризующегося выраженным дефицитом основных эссенциальных элементов, присутствием редких элементов и РЗЭ и формированием на этом фоне патологических состояний в организме.

Введение

Показателями, негативно влияющими на здоровье населения Мурманской области, является не только загрязнение водных объектов, но и дефицит макро- и микроэлементов в источниках питьевого водоснабжения – поверхностных и подземных водах. Недостаток биогенных микроэлементов в питьевой воде может быть причиной возникновения алиментарно-зависимых заболеваний. Новые исследования биологов и медиков подтвердили отрицательную роль низких значений в пищевом рационе ряда элементов – Ca, Mg, K, F, J, Fe, Mn, Co, Zn, Mo, Se, Ni, Br [1]. Учитывая, что человек в среднем потребляет до 2 л воды в сутки, поступление этих элементов с водой не менее важно, чем с пищей. В ряде городов и районов Мурманской области заболеваемость взрослого населения превышает среднероссийские показатели, заболеваемость детского населения также выше на 30-40 %, что наблюдается на протяжении многих лет. З

начительные превышения наблюдаются в городах Апатиты, Кировск, Мурманск и Ловозерском районе (злокачественные новообразования, мочекаменная болезнь, болезни системы кровообращения и ЖКТ, костно-мышечной системы). Поэтому актуальным является исследование химического состава природных и питьевых вод в регионах Мурманской области, форм миграции и оценке их возможного влияния на здоровье человека. Среди определяемых химических элементов особое внимание уделено группам редких и редкоземельных (РЗЭ) элементов.

Материалы и методы

Анализ химического состава проб природной, питьевой воды и биосубстратов проводили с привлечением методов анализа – масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ELAN 9000 DRC-e и Plasma Quant MS Elite), потенциометрии, системы капиллярного электрофореза и титриметрии. Термодинамические расчеты выполняли с помощью физико-

химического моделирования (ФХМ), реализованного в программном комплексе «Селектор», разработанном в ИГ СО РАН. ПК снабжен системой встроенных баз термодинамических данных, оснащен модулем формирования моделей различной сложности [2].

Результаты и их обсуждение

Установлено, что питьевая вода, подаваемая населению *Апатито-Кировского* района, как природная, так и на момент подачи потребителю по содержанию основных макро- и микро-элементов и величине общей минерализации не имеет сбалансированный полноценный состав. В скважинах водозабора «Центральный» (г. Кировск) установлено превышение ПДК для pH и Al, обнаружены микроэлементы (Zr, La, Ce) на которые не разработаны ПДК и действие которых на организм человека еще не изучены. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о необходимости пересмотра ПДК P, Sr и NO_3^- для исследуемого региона. Концентрации Ca и Mg на несколько порядков меньше рекомендуемых для вод разных категорий по критерию полноценности [3]. Микроэлементный (Co, Cu, Mn, Ni, Zn, Cr) состав с позиции биологически значимой концентрации (БЗК) имеет более низкие значения, чем рекомендуемый уровень [1]. С помощью моделирования создана идеальная модель ЖС, изучено взаимодействие желудочного сока с водой – возможность возникновения геохимического барьера, приводящего к изменению валентности элементов (Fe, Cu, U, La, Ce и др.) и форм миграции. Исследование химического состава желудочного сока (ЖС) жителей района показало наличие тех же элементов, что и в питьевой воде, а также селективное накопление элементов в ЖС разных возрастных групп: U, Ce, Nb, Sr, Ba, Zn, Cu преобладают в группе 12–22 года; Mo в группе 32–55 лет; Zr, La – 60–79 лет. Определены низкие средние концентрации элементов Na, Cl, K и высокая концентрация P и pH, особенно для 3-й возрастной группы. В составе ЖС присутствуют лантаноиды. Элементный состав ЖС и желчных конкрементов сопоставим, их концентрации в последних значительно выше.

На формирование химического состава поверхностных вод *Ловозерского района* влияют породы Ловозерского массива. Увеличение степени взаимодействия «вода – порода» приводит к увеличению концентраций F, Cl, SO_4^{2-} , HCO_3^- , что влияет на подвижность РЗЭ и других элементов. Определены формы миграции U, Ag, Ba, Ni, V, Al, La, Ce, Zr, установлено, что жизненно важные элементы в исследованных источниках находятся в благоприятной для здоровья человека химической форме (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}), формы миграции канцерогенных или токсичных элементов являются одними из наиболее токсичных (Ni^{2+} , Ba^{2+} , HVO_3^{2-} , Sr^{2+}). Соотношения Ca/P и Ca/Sr, присутствующее в природных и питьевых водах, могут провоцировать заболевания костей и зубов у населения – группа OH^- в гидроксиапатите $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ может быть заменена на F⁻, Cl⁻, O^{2-} , а Ca^{2+} может быть изоморфно замещен рядом элементов: Sr, U, Ba и РЗЭ. Вода, поступающая из затопленных шахт, за счет увеличения степени взаимодействия «вода-порода» и перехода в раствор F⁻, Cl⁻ и S, обеспечивает переход в раствор редких элементы и РЗЭ, которые являются в живых организмах регуляторами биологических процессов, влияние которых на здоровье человека еще не изучено в полной мере. С помощью мониторинга и ФХМ природных вод р. Вирма и вод центрального водоснабжения (с. *Ловозеро*) дана оценка влияния реагентов, применяемых в результате водоподготовки, на химический состав воды: реагент и его количество (коагулянт, жидкий хлор, сода и NaOCl) оказывают влияние на pH, Eh, химический состав воды и состав новообразованных фаз. Анализ результатов химического состава подземных вод в селах Краснощелье и Каменка (*Ловозерский район*) свидетельствуют о более высоких концентрациях элементов Ca, K, Na, Ba, Sr, РЗЭ, Cl, Zr, Cu, Co, Zn в воде колодцев и скважин, что может быть объяснимо взаимодействием «вода-порода». Концентрации NO_3^- в колодцах в десятки раз выше, чем в поверхностных (0,35 мг/л) что указывает на их биогенное или техногенное поступление, но не превышает ПДК (45 мг/л) [4]. Нитрат-ион содержит N^{+5} в максимальной степени окисления и является высокотоксичным, что может способствовать заболеванию детей метаглобиномией (болезнь

крови), а производные нитратов в организме (нитрозамины) имеют канцерогенные свойства. Преобладающие формы миграции лантаноидов – нитратные, причем, в подземных водах они на несколько порядков выше, чем в поверхностных (Шумесозеро). Концентрации Li и Be в р. Поной значительно выше, чем в колодцах, что связано, скорее всего, с месторождениями лития и бериллия в Кейвах, где протекает река. Высокое содержание железа в реке можно объяснить влиянием болот. Концентрации Y, La, Ce, Sr, Li, Be в р. Поной и колодце превышают концентрации этих элементов в водах водозабора «Центральный» (г. Кировск) и в водопроводных водах г. Мурманска. С точки зрения БЗК и форм миграции элементов макро- и микроэлементный (Co, Cu, Mn, Ni, V, Zn, Cr) состав имеет более низкую концентрацию, чем рекомендуемый для них уровень, в тоже время концентрации U, Th, Y выше в несколько раз, чем их БЗК. Учитывая, что воды колодцев в с. Краснощелье могут содержать до 50 мкг/л РЗЭ, а скважины до 450 мкг/л, изменение их форм миграции в желудке может приводить к накоплению в организме человека. Присутствие в питьевых подземных водах РЗЭ при их постоянном употреблении может стать причиной заболеваний нервной системы и других органов. Оценка элементного статуса детей с. Ловозеро, где происходит добыча и переработка РЗЭ-руд подтвердило присутствие РЗЭ в волосах детей.

В ходе исследования питьевых вод центрального водоснабжения в 3-х округах г. Мурманска и г. Кола установлено различие химического состава вод: состав вод Первомайского округа отличается от вод других округов сравнительно более высокими концентрациями Y, Zr, La, Ce, U. Сопоставление химических составов вод округов г. Мурманска с химическим составом питьевых вод водозабора «Центральный» (г. Кировск) указывает на более высокие концентрации Ca, Mg, Sr, Ba, РЗЭ и более низкие концентрации Al, U, F⁻, NO³⁻, Na⁺, HCO₃⁻ и pH. Показано изменение форм миграции элементов и новообразованных фаз в водопроводных водах и при параметрах желудка человека, увеличение подвижности лантаноидов, хлориды которых влияют на свертываемость крови.

Заключение

Использование мониторинга позволило исследовать химический состав вод с точки зрения ПДК и БЗК, а моделирование – осуществлять новые подходы к рассмотрению вопросов возможных форм миграций химических элементов в природных водах и организме человека, формирования новообразованных фаз в зависимости от различных параметров (pH, Eh, температуры, химического состава воды, условий ее формирования и др.). С точки зрения физиологической полноценности питьевая вода оказалась «бедной» во всех местах отбора проб в городах и поселках Мурманской области. Постоянное употребление в пищевых целях жителями области слабоминерализованной питьевой воды является одной из основных причин дисбаланса макро- и микроэлементов в организме, характеризующегося чертами так называемого северного типа с выраженным дефицитом основных эссенциальных элементов и формированием на этом фоне патологических состояний в организме. Изучение трансформации форм элементов при поступлении в организм человека дает возможность прогнозирования патологических состояний и, как следствие, перехода к профилактике заболеваний. Среди определяемых химических элементов особое внимание было уделено группам редких и редкоземельных (РЗЭ), поскольку изучению их биологических свойств в последние годы уделяется особо пристальное внимание.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ №24-17-00114
«Оценка химического состояния природных и питьевых вод Мурманской области,
форм миграции, влияние на элементный статус жителей».*

Литература

1. Барвиш М.В., Шварц А.А. Новый подход к оценке микро-компонентного состава подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения // Геоэкология. – 2000. – № 5. – С. 467–473.

2. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск : Гео, 2010. – 287 с.
3. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. СанПиН 2.1.4. 1116-02. – М. : Мин-во здравоохранения РФ. – 2002.
4. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. СанПиН 2.1.3685-21. – 2021.

УДК 550.47

**НАКОПЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ И ВЗВЕШЕННЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ МАКРОФИТАМИ В ДЕЛЬТАХ РЕК ЮГА РОССИИ**

Т.В. Дубровская, М.Ю. Лычагин

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова Москва, Россия
dtv97@yandex.ru*

**ACCUMULATION OF DISSOLVED AND SUSPENDED FORMS OF HEAVY METALS
AND METALLOIDS BY MACROPHYTES IN RIVER DELTAS
OF THE SOUTHERN RUSSIA**

T.V. Dubrovskaya, M.Y. Lychagin

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
dtv97@yandex.ru*

Abstract. Определены уровни содержаний тяжелых металлов и металлоидов в высших водных растениях в дельтах Волги, Дона и Кубани, особенности их накопления в связи с видовой специализацией и содержанием в среде обитания. Проведен анализ аккумуляции металлов в речной взвеси, осаждающейся на поверхности водных растений (эпифитов-взвеси). Получены данные, позволяющие оценить пространственную изменчивость содержаний тяжелых металлов и металлоидов в макрофитах. Проведена оценка влияния антропогенного фактора на содержание элементов в растениях и интенсивности их макрофитами с помощью коэффициента обогащения EF.

В последние десятилетия дельты крупных рек привлекают все большее внимание исследователей в связи с климатическими изменениями и усиливающейся антропогенной нагрузкой. Это определяет актуальность проблемы оценки эколого-геохимического состояния водных объектов дельт. В комплексе эколого-геохимических методов оценки к числу весьма перспективных относятся биогеохимические, что было показано ранее для высших водных растений (макрофитов) в дельтах Волги и Селенги [2, 5]. Водные растения накапливают химические элементы, поступающие из воды и донных осадков, а, кроме того, осаждают на своей поверхности речную взвесь, переносимую водным потоком, которую Е.П. Янин [3] предложил называть эпифитоввзвесью. Являясь простым и удобным материалом для исследований, эпифитоввзесь отличается более высокими концентрациями химических элементов, нежели другие компоненты аквальных ландшафтов; повышенные содержания химических элементов в эпифитоввзвеси фиксируют сезонный уровень загрязнения [4].

Данная работа направлена на выявление специфики накопления тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) высшими водными растениями (ВВР) в дельтах Волги, Дона и Кубани. Она основана на результатах комплексных эколого-геохимических исследований 2017–2021 гг., в ходе которых проводилось геохимическое опробование воды, речной взвеси, донных осадков и водных растений в различных водных объектах дельт: рукавах, протоках, ериках, култуках и др. Для биогеохимического изучения были выбраны наиболее распространенные виды ВВР, относящиеся к трем эколого-морфологическим группам: 1) гидрофиты погруженные – роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum*), рдесты – плавающий (*Potamogeton natans*), пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus*), 2) гидрофиты плавающие – кубышка желтая (*Nuphar lutea*), чилим (водяной орех, рогульник плавающий) (*Trapa natans*), сальвиния плавающая (*Salvinia natans*) 3) гидрофиты (прибрежно-водные растения) – ежеголовник прямой (*Sparganium erectum*), тростник южный (*Phragmites australis*), рогоз узколистный (*Typha angustifolia*) и лотос орехоносный (*Nelumbo nucifera*).

Отбирались листья и стебли растений без корневой части. В лабораторных условиях они отмывались дистиллированной водой и высушивались в сушильных шкафах при температуре

40 °С. Полученная при отмывании растений жидкость выпаривалась на песчаной бане до получения сухого порошка – эпифитовзвеси. Химический состав сухого вещества макрофитов и других компонентов аквальных систем определялся единым методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Кроме того, определялась зольность растений и эпифитовзвеси. Для характеристики накопления ТММ макрофитами рассчитывались коэффициенты накопления (Кн) и биологического поглощения (Ах), коэффициенты обогащения (ЕF). Проводился статистический анализ полученных данных, в т.ч. корреляционный анализ содержаний ТММ в растениях и компонентах среды обитания. В программе ArcGIS 10.3 были построены карты распределения ТММ в компонентах аквальных ландшафтов.

Анализ содержаний элементов в сухом веществе растений показал, что способность концентрирования ТММ уменьшается в следующей последовательности: прикрепленные, плавающие в толще воды, → прикрепленные, плавающие на поверхности, → неприкрепленные, плавающие в толще воды, → неприкрепленные, плавающие на поверхности, → прибрежные растения.

Было отмечено, что растения группы гидрофитов погруженных (роголистник погруженный, рдест пронзеннолистный) накапливают ТММ вне зависимости от условий произрастания; в меньшей степени это характерно для нимфейника щитолистного и кубышки желтой. Элементный состав роголистника погруженного, рдеста пронзеннолистного, нимфейника щитолистного и кубышки желтой во многом обусловлен их морфологическими особенностями. Сальвиния плавающая, лотос орехоносный, и в меньшей степени, чилим (рогольник плавающий) обладают специфическим групповым концентрированием, содержания ТММ в них зависят от места произрастания. Гидрофиты накапливают наименьшее количество ТММ, их элементный состав также сильно зависит от условий местообитания.

Эпифитовзвесь состоит из минеральных частиц разной крупности, в основном мелкодисперсных, а также из органических частиц, таких как остатки самих растений и других организмов (детрита). Количество взвеси, осаждаемой растениями, зависит от их морфологического строения и условий произрастания. Растения с тонкими рассеченными листьями (роголистник погруженный, уруть сибирская, сальвиния плавающая) накапливают больше взвеси, чем растения с толстыми плотными листьями без «ворсинок» (лотос орехоносный, нимфейник щитолистный, кубышка желтая и др.); накопление у погруженных растений, произрастающих во всей толще воды (роголистник погруженный, рдест пронзеннолистный и др.) идет активнее, нежели у растений с тонким стеблем и плавающими листьями (рдест плавающий, кубышка желтая, лотос орехоносный и др.).

Содержание ТММ в эпифитовзвеси, как правило, выше, чем в самих водных растениях. В дельтах Волги, Дона и Кубани уровни ТММ как в эпифитовзвеси, так и просто во взвеси существенно ниже концентраций ТММ во взвешенном веществе рек Европы [6], что объясняется более высокой антропогенной нагрузкой на последние. Сравнение концентраций ТММ в эпифитовзвеси в разных дельтах показало, что наибольшим содержанием ТММ характеризуется эпифитовзвесь в дельте Кубани (2021 г.), а также в дельте Волги в Астраханском заповеднике (2017 г.). В дельте Кубани эпифитовзвесь активно накапливает Al, Be, V, Cr, Co, Cu, Zn, As и Pb, в дельте Волги – Fe, Mn, Cr, Ni, Mo и U. Разброс между максимальными и минимальными содержаниями элементов в эпифитовзвеси в изучаемых дельтах невелик. Наибольшие коэффициенты накопления ТММ отмечены в группе гидрофитов, что связано с их прибрежным положением. На выходах из протоков, в зарастающих ериках с медленным течением накопление эпифитовзвеси идет гораздо активнее, нежели в протоках с быстрыми скоростями течения.

Анализ зольности эпифитовзвеси показал, что для роголистника погруженного, чилима (рогольника плавающего), сальвинии плавающей, лотоса орехоносного зольность эпифитовзвеси в 2–8 раз выше, чем зольность самих растений. Зольность эпифитовзвеси составляет 80–88%, вне зависимости от вида, на котором она осаждается. Содержание органического

вещества в эпифитовзвеси составляет 12–20%, а в растениях – 63–90%, что свидетельствует о том, что в составе эпифитовзвеси преобладает минеральная взвесь. Как и для самих растений, так и для эпифитовзвеси в пределах одного вида зольность различается незначительно – от 75 до 86%, что связано с местоположением растения – в устьевых частях протоков и каналов зольность эпифитовзвеси выше. Выявлено, что состав эпифитовзвеси в определенной степени соответствует составу взвеси. Эпифитовзвесь осаждается в течение всего периода вегетации растения, и слабая корреляция содержаний ТММ в эпифитовзвеси с химическим составом взвеси свидетельствует о сильной изменчивости химического состава последней.

Проведена оценка интенсивности накопления ТММ водными растениями с помощью коэффициента обогащения EF (Enrichment Factor). В дельте Дона выявлено обогащение эпифитовзвеси Cd, Mn, Sb, Bi и As. Кроме того, отмечено обогащение эпифитовзвеси Ca и Sr, связанное с карбонатностью почв в дельте Дона. Эпифитовзвесь дельты Волги также обогащена Cd, Sb, Mn, Sn, Ca и Sr. В дельте Волги наблюдаются видовые различия в накоплении ТММ в эпифитовзвеси. Основным накопителем является лотос, на его плавающих листьях накапливается взвесь, переносимая по поверхности водного потока, более мелкая по гранулометрическому составу. Более крупная взвесь перемещается в толще воды и в придонном слое, поэтому у роголистника погруженного и рдеста пронзеннолистного значения EF ниже, чем у лотоса. В дельте Кубани также отмечены видовые различия в накоплении ТММ. Так, у сальвинии плавающей и рдеста плавающего отмечаются наибольшие коэффициенты обогащения, что связано с поглощением тонкой фракции взвеси с поверхности воды.

Таким образом, концентрации ТММ в высших водных растениях увеличиваются в ряду от гидрофитов узколистных до гидрофитов погруженных, что обусловлено условиями произрастания растений. Накопление ТММ прикрепленными растениями зависит от состава донных отложений, неприкрепленных – от растворенного вещества в воде. Наиболее интенсивной аккумуляцией характеризуются рдест пронзеннолистный, роголистник погруженный. Эпифитовзвесь играет значительную роль в осуществлении барьерной функции высших водных растений в дельтах рек. Содержание ТММ в ней зависит и от химического состава растений, и от химического состава приносимого взвешенного вещества. Накопление ТММ в эпифитовзвеси идет гораздо активнее, чем в самих растениях, и ее можно использовать для целей биоиндикации. Дельты Волги, Дона и Кубани несмотря на многие различия, в частности различия видового состава сообществ макрофитов, характеризуются близким содержанием ТММ в одних и тех же видах, что свидетельствует об универсальной индикаторной значимости общих для обеих дельт видов водных растений.

Литература

1. Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н. и др. Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. 100 лет со дня рождения А.И. Перельмана. – М. : Лига-Вент, 2016. – 244 с.
2. Лычагина Н.Ю., Касимов Н.С., Лычагин М.Ю. Биогеохимия макрофитов дельты Волги. – М. : МГУ, 1998. – (Серия: Геоэкология Прикаспия, вып.4).
3. Янин Е.П. Эпифитовзвесь – индикатор загрязнения речных систем тяжелыми металлами // Водные ресурсы. – 1999. – Т. 26, № 6. – С. 731–734.
4. Янин Е.П. Эпифитовзвесь – новый индикатор загрязнения речных систем тяжелыми металлами. – М. : ИМГРЭ, 2002. – 51 с.
5. Shinkareva G.L., Lychagin M.Yu., Tarasov M.K. et al. (2019) Biogeochemical specialization of macrophytes and their role as a biofilter in the Selenga DELTA // Geography, Environment, Sustainability. – 2019. – Vol. 12(3). – P. 240–263.
6. Viers J., Dupre B., Gaillardet J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database // Science of The Total Environment. – 2009. – Vol. 407(2). – P. 853–868.

УДК: 556.531.4:546.16.04(235.216)

**ФТОР В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГОРНЫХ РЕК
КЫРГЫЗСТАНА (КОК-АРТ)**

Г.М. Ирисова¹, Б.М. Дженбаев², З.Т. Абдыкеева³, З.А. Джаманбаева²

¹*Жалал-Абадский государственный университет имени Б. Осмонова, Жалал-Абад, Киргизия
gulbara.irisova@bk.ru*

²*Институт биологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Киргизия
kg.bek.bm@bk.ru, kg.bek.ilim@gmail.com*

³*Национального центра охраны материнства и детства МЗ КР, Бишкек, Киргизия
abdykeeva_zamira@mail.ru*

**FLUORINE IN WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF MOUNTAIN RIVERS
OF KYRGYZSTAN (KOK-ART)**

G.M. Irisova¹, B.M. Djenbaev², Z.T. Abdikeeva³, Z.A. Dzhamanbaeva²

*B. Osmonov Jalal-Abad State University, Jalal-Abad, Kyrgyzstan
gulbara.irisova@bk.ru*

²*Institute of Biology, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan
kg.bek.bm@bk.ru, kg.bek.ilim@gmail.com*

³*National Center for Protection of Motherhood and Children of the Ministry of Health of the KR, Bishkek,
Kyrgyzstan
abdykeeva_zamira@mail.ru*

Аннотация. В статье дано содержание фтора в воде и донных отложениях реки Кок-Арт в Кыргызстане Джалал-Абадской области Ферганской долины. Исследования были проведены в ряде населенных пунктов бассейна реки с применением метода фотоколориметрии (по ГОСТ 43-86-89) атомно-эмиссионной спектрометрии. Результаты исследования показали, что валовые содержания фтора в донных отложениях во всех экспериментальных участках реки Кок-Арт сравнительно высокие, показатели концентрации в отношении гигиенического норматива в почвах (10 мг/кг), реки и питьевых водах в пределах нормы и ниже.

Актуальность. Известно, что фтор является одним из ключевых микроэлементов и абсолютно необходим для нормального функционирования живого организма. В организме этот химический элемент обычно находится в виде трудно растворимых солей с железом, кальцием и магнием. При том, что его соединения входят в состав всех тканей человеческого организма, практически весь фтор приходится на костную ткань и зубную эмаль [1, 2].

Главным источником поступления фтора в организм человека обычно является питьевая вода, причем его концентрация свыше 2 мг/л в подавляющем большинстве случаев вызывают развитие у людей различных форм гиперфтороза – заболеваний, обусловленных хроническим избытком фтора, прежде всего, флюороз зубов и скелета, а при недостатке развивается кариес. Всемирной организацией здравоохранения установлены нормативы содержания фтора в питьевой воде – 0,7–1,2 мг/л, ПДК – 1,5 мг/л; недостаточное содержание – ниже 0,6 мг/л [9]. ПДК фтора в питьевой воде в Кыргызстане составляет 1,5 мг/литр. Это значение соответствует нормам, установленным для стран СНГ. Оптимальное содержание фтора для профилактики кариеса считается 1 мг/литр, но превышение ПДК может приводить к негативным последствиям для здоровья, в частности, к флюорозу [3, 4].

Методы исследования

Определение массовой концентрации фторида в воде проводилось по методу фотоколориметрии (по ГОСТ 43-86-89) и донные осадки атомно-эмиссионной спектрометрии.

Результаты исследования

Поэтому во многих странах Европы, Азии, США и др. рекомендовано добавление фтора в питьевую воду и др. продуктах для корректировки фтора. В горных реках Кыргызстана уровень фтора, как незаменимый микроэлемент, изучено слабо. Нами изучен фтор в горных реках Кок-Арт Джамал-Абадский области в Ферганской долине, один из густонаселенных регионов.

Полученные данные содержания фтора в донных отложениях в исследованных участках р. Кок-Арт показывали, что уровень повышен по отношению к почвенному покрову в республике (10 мг/кг). Особенно наблюдалось повышение уровня концентрации фтора в донных отложениях верхних участках р. Кок-Арт (Саты до 730 мг/кг, Кара-Алма – 690 мг/кг и Калмак-Кырчын – 680 мг/кг) по сравнению с нижними участками повышено на 20-30%. Фтор в илистых донных отложениях озера может быть и выше, чем в реках, например, в Кокчетавских озерах до 3500 мг/кг [5, 6]. Анализ воды р. Кок-Арт нами проводился по сезону года, однако в весенний период содержание фтора реки Кок-Арт и питьевых водах района показало пределы нормы (ГОСТ 4386-89). В роднике с. Калмак-Кырчын содержание фтора составило 1,05 мг/дм³, в реке Калмак-Кырчын 1,15 мг/дм³, особенно в с. Достук 1,26 мг/дм³, в с. Гавриловка 1,26 мг/дм³, в центре Сузак 1,25 мг/дм³. По-видимому, это связано с климатическими и гидрогеохимическими процессами, что в другие сезоны годы показало более стабильные концентрации фтора. Фтор поступает в воду природными и антропогенными путями эти процессы оказывают прямое воздействие на содержание фтора в воде и донных отложениях, который накапливается в водоемах, озерах, реках.

Литература

1. Трифонова Т.А., Марцев А.А., Селиванов О.Г. и др. Гигиеническая оценка содержания фтора в воде централизованного водоснабжения Владимирской области // Hygiene & Sanitation (Russian Journal). – 2019. – Т. 98, № 7. – С. 701–706.
2. Донских И.В. Влияние фтора и его соединений на здоровье населения (обзор данных литературы) // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2013. – № 3(91), ч. 2. – С. 179–185.
3. Янин Е.П. Фтор в питьевых водах и его влияние на интеллектуальное развитие детей // Экологическая экспертиза. – 2010. – № 3. – С. 57–65.
4. Предельно допустимые концентрации и ориентировочно допустимые количества химических веществ в почве" постановлением Кыргызской Республики от 11 апреля 2016 года № 201.
5. Аничкина Н.В. Исследования биогеохимии фтора в компонентах геосистем: научное обозрение // Биологические науки. – 2016. – № 3. – С. 5–23.
6. Перельман А.И. Геохимия : учеб. для геол. – М. : Высш. шеола, 1989. – 265 с.

УДК 504.43:550.46

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

В.Е. Кац¹, К.С. Савенко², О.О. Вторушина¹

¹АО «Алтай-Гео», г. Горно-Алтайск, Россия
altai.geo@yandex.ru

²Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия
KassiSav@yandex.ru

RARE EARTH ELEMENTS IN THE GROUNDWATER OF THE ALTAI REPUBLIC

V.E. Kats¹, K.S. Savenko², O.O. Vtorushina¹

¹JSC «Altai-Geo», Gorno-Altai, Russia
altai.geo@yandex.ru

²Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia
KassiSav@yandex.ru

Аннотация. В статье приводится общий анализ данных по содержанию редкоземельных элементов (РЗЭ) в подземных водах Республики Алтай. Сравнивается их среднее значение с геохимическим фоном подземных вод бассейна Верхней и Средней Оби. Приводятся результаты корреляционного анализа данных по содержанию РЗЭ и некоторых других химических элементов и их соединений.

Введение

Подземные воды Республики Алтай связаны с водоносными зонами и комплексами в трещинных, трещинно-жильных, трещинно-карстовых скоплениях вод в породах разнообразного литологического состава. Возраст варьирует от рифея до голоцена, с преобладанием водоносных зон кембро-девонских толщ складчатого фундамента и горизонтов неоген-четвертичных аллювиальных отложений межгорных впадин и долин рек. До триасового фундамента подземные воды, как правило, имеют гидравлическую связь с водами четвертичных отложений и циркулируют в зоне трещиноватости до глубины 150–200 м [3, 4].

Несмотря на гидрогеологическую неоднородность химический состав подземных вод Республики Алтай они имеют в целом выдержанный характер. Воды относятся к типу пресных (средняя минерализация 0,4 г/дм³), нейтральных (рН 7–8) существенно гидрокарбонатных натриево-магниевых-кальциевых среднежестких вод (4,5 мг-экв.) [6].

На территории региона в настоящее время отсутствуют крупные промышленные предприятия, способствующие явно выраженному техногенному загрязнению подземных вод. Поэтому основными источниками не органического загрязнения подземных вод следует считать природные факторы, т.е. особенности геохимического фона.

Изученность вопроса содержания РЗЭ в подземных водах республики крайне низкая. Есть отдельные исследования по поверхностным водотокам [1, 2, 8 и др.]. Авторами ранее публиковались данные по суммарному содержанию РЗЭ в подземных водах, были выявлены аномалии с их повышенными концентрациями и значимые корреляционные связи с уровнями минерализации [6].

Материалы и методы

Данные по химическому составу подземных вод на территории Республики Алтай получены за период 2013–2024 гг. АО «Алтай-Гео» при проведении разного рода геологических, гидрогеологических и геохимических исследований. Всего на разные показатели было проанализировано 174 пробы воды из скважин, колодцев и родников. РЗЭ определялись методом масс-спектрометрии в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета. Исследованиями были охвачены водоносные зоны разных возрастов. Пробы отбирались во всех муниципальных районах республики с при-

вязкой к населенным пунктам. Статистический анализ данных проводился в программе Microsoft Excel, РЗЭ в соответствии с общепринятыми подходами разделялись на легкие редкоземельные элементы (ЛРЗЭ – La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) и тяжелые (ТРЗЭ – Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu).

Результаты и их обсуждение

Среднее содержание РЗЭ в подземных водах Республики Алтай варьирует в значительных пределах от $0,009 \pm 0,001$ мкг/дм³ для тулия и лютеция до $0,45 \pm 0,15$ мкг/дм³ для церия и $0,47 \pm 0,03$ мкг/дм³ для скандия. Суммарное содержание РЗЭ варьирует в пределах $0,004$ – $37,4$ мкг/дм³ (при среднем значении $1,15 \pm 0,33$ мкг/дм³), соответственно ЛРЗЭ – $0,002$ – $32,4$ мкг/дм³ ($0,96 \pm 0,29$ мкг/дм³) и ТРЗЭ – $0,002$ – $4,9$ мкг/дм³ ($0,20 \pm 0,04$ мкг/дм³).

Для сравнения по данным Е.Ю. Пасечник и др. [5] суммарная концентрация редкоземельных элементов в подземных водах бассейна Верхней и Средней Оби составляет для четвертичных отложений $2,03$ мкг/дм³, палеогеновых – $0,14$ мкг/дм³ и палеозойских – $2,65$ мкг/дм³ (в среднем $1,6$ мкг/дм³). Как и в случае средне суммарных концентраций РЗЭ, в разрезе отдельных элементов все ЛРЗЭ, за исключением европия, а также гадолиний, диспрозий и эрбий на территории республики в основном ниже значений по Западной Сибири. Превышают их, соответственно европий и ТРЗЭ, например, тербий в 1,5 раза, тулий в 1,6 раз.

Таблица 1. Значения коэффициента парной корреляции для уровней содержания РЗЭ и других элементов и их соединений в подземных водах Республики Алтай

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
La	1,00													
Ce	0,67	1,00												
Pr	0,71	0,99	1,00											
Nd	0,73	0,99	1,00	1,00										
Sm	0,74	0,98	0,99	0,99	1,00									
Eu	0,70	0,94	0,96	0,96	0,97	1,00								
Gd	0,73	0,98	0,99	0,99	1,00	0,96	1,00							
Tb	0,66	0,92	0,94	0,93	0,95	0,96	0,94	1,00						
Dy	0,71	0,97	0,98	0,99	0,99	0,96	1,00	0,95	1,00					
Ho	0,23	0,32	0,33	0,32	0,34	0,36	0,34	0,40	0,35	1,00				
Er	0,66	0,93	0,94	0,94	0,95	0,93	0,96	0,94	0,98	0,36	1,00			
Tm	0,47	0,65	0,68	0,66	0,71	0,76	0,70	0,88	0,72	0,41	0,78	1,00		
Yb	0,62	0,88	0,90	0,90	0,91	0,90	0,93	0,92	0,95	0,35	0,99	0,79	1,00	
Lu	0,39	0,58	0,61	0,59	0,64	0,71	0,64	0,83	0,66	0,39	0,74	0,97	0,78	1,00
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,18	0,14	0,15	0,15	0,16	0,15	0,16	0,14	0,17	0,02	0,16	0,09	0,17	0,09
HCO ₃	0,06	0,11	0,09	0,10	0,10	0,15	0,11	0,09	0,13	0,05	0,17	0,08	0,17	0,10
SO ₄	0,19	0,16	0,17	0,18	0,18	0,17	0,19	0,18	0,23	0,05	0,27	0,15	0,28	0,17
Жест- кость	0,15	0,16	0,15	0,17	0,17	0,19	0,18	0,16	0,21	0,05	0,26	0,12	0,26	0,14
Минера- лиз.	0,15	0,15	0,13	0,15	0,15	0,19	0,16	0,16	0,19	0,05	0,23	0,13	0,23	0,16
Ca	-	0,01	0,11	0,10	0,12	0,13	0,16	0,14	0,16	0,15	0,06	0,20	0,19	0,22
	0,01	0,04	0,04	0,07	0,08	0,07	0,15	0,08	0,19	0,03	0,33	0,14	0,38	0,20
Mg	-	0,01	0,04	0,04	0,07	0,08	0,07	0,15	0,08	0,19	0,03	0,33	0,14	0,38
	0,01	0,04	0,04	0,07	0,08	0,07	0,15	0,08	0,19	0,03	0,33	0,14	0,38	0,20

Уровни значимости корреляционных связей:

	95%
	99%
	99,9%

Следовательно, на данном этапе можно говорить о том, что геохимический фон РЗЭ на территории Республики Алтай приближен к территории Западной Сибири, но имеют место региональные особенности. На территории региона встречаются геохимические аномалии с повышенными относительно фона концентрациями как отдельных РЗЭ, так и их суммы в де-

сятки и более раз [7]. В частности, две скважины в районе золотодобывающего рудника «Веселый» (около с. Сейка), трубчатый колодец в г. Горно-Алтайске, на котором после Чуйского (Алтайского) землетрясения произошло резкое повышение температуры подземных вод (с 7 °С до 32 °С), а также колодцы в селах Оро, Элекмонар, Паспарта, где источниками РЗЭ являются геологические и гидрогеохимические особенности водовмещающих пород.

При анализе данных нами были выявлены корреляционные связи между уровнями содержания РЗЭ и карбонатов, сульфатов, хлоридов, кальция, магний, калия, а также с показателями рН, жесткости и общей минерализации (табл. 1).

Данный вопрос требует более детального исследования, например, установлено [7], что в изученных подземных водах с минерализацией более 850–860 мг/дм³ значимость корреляционных связей с содержанием в них РЗЭ увеличивается.

Заключение

Проведенные исследования показали, что геохимический фон РЗЭ на территории Республики Алтай в целом приближен к территории Западной Сибири, но имеют место региональные особенности. Установленные аномалии по некоторым РЗЭ, обусловлены по-видимому, в большей степени гидрогеохимическими особенностями водовмещающих пород, а также активизацией сейсмической деятельности в Алтае-Саянском регионе с 2003 г. Выявлены также статистически значимые связи между уровнями содержания РЗЭ и сульфатами, карбонатами, с показателями рН, общей жесткости и минерализации, что требует дальнейшего более детального исследования.

Литература

1. Бородин Е.В., Бородин У.О. Особенности состава поверхностных вод бассейна р. Кучерлы (Горный Алтай) // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 368–379.
2. Бородин Е.В., Бородин У.О. Гидроэкологические и физико-химические особенности поверхностных вод верховьев бассейна р. Катунь и оз. Тальмень (Горный Алтай) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2020. – № 4. – С. 68–81.
3. Гидрогеология СССР. – М. : Недра, 1972. – Т. 17: Кемеровская область и Алтайский край. – 606 с.
4. Кац В.Е., Фалалеев Ю.А. Особенности состояния подземных вод в Республике Алтай // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2006. – № 5(1). – С. 75–80.
5. Пасечник Е.Ю., Савичев О.Г., Домаренко В.А. и др. Редкоземельные элементы в поверхностных и подземных водах верхней гидрогеодинамической зоны в бассейне Верхней и Средней Оби (Западная Сибирь) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2020. – Т. 32. – С. 113–127.
6. Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р. Особенности химического состава солевых отложений подземных питьевых вод Республики Алтай // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324, № 1. – С. 190–195.
7. Щучинов Л.В., Кац В.Е., Вторушина О.О. и др. Содержание редкоземельных элементов в подземных водах Республики Алтай // Медицина труда и экология человека. – 2024. – № 4. – С. 68–84.
8. Panichev A.M., Seryodkin I.V., Kalinkin Y.N. et al. Development of the «rare-earth» hypothesis to explain the reasons of geophagy in Teletskoye Lake are kudurs (Gorny Altai, Russia) // Environmental Geochemistry and Health. – 2018. – Vol. 40. – P. 1299–1316.

УДК 55.556

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ЭВТРОФНОГО ОЗЕРА КУЧАКОВО

В.Н. Колотыгина, Е.А. Солдатова

*Институт лесоведения ИЛАН РАН, Московская обл., с. Успенское, Россия
mns@vkolotygina.ru*

SEASONAL DYNAMICS OF WATER CHEMICAL COMPOSITION IN THE EUTROPHIC LAKE KUCHAKOVO

V.N. Kolotygina, Soldatova E.A.

*Institute of Forestry ILAN RAS, Moscow, Russia
mns@vkolotygina.ru*

Abstract. Представлены результаты исследования сезонной динамики химического состава воды эвтрофного озера Кучаково (Тюменская область). Исследования проводились с мая по октябрь 2023 года на трех участках озера: пелагиаль, открытая и зарастающая литораль. Установлено, что воды озера характеризуются как ультрапресные, слабощелочные или щелочные в зависимости от сезона, гидрокарбонатные магниево-кальциевые. Выявлена сезонная динамика основных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+) и анионов (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}), а также физико-химических параметров (рН, содержание растворенного кислорода, электропроводность). Полученные результаты вносят вклад в понимание биогеохимических процессов, протекающих в эвтрофных озерах суббореальной зоны.

Введение

Химический состав воды озер служит индикатором состояния водных экосистем, отражая природные и антропогенные процессы в водоеме и на водосборе [1, 2]. Особый интерес представляет изучение сезонной динамики химического состава эвтрофных озер с высокой биологической продуктивностью и интенсивными внутриводоемными процессами [3, 4]. Эвтрофные озера играют важную роль в биогеохимическом круговороте, накапливая биогенные вещества и трансформируя органическое вещество [5]. Химический состав этих вод подвержен значительным сезонным колебаниям из-за изменений интенсивности биологических процессов, температурного и гидрологического режимов [6]. Исследование сезонной динамики химического состава имеет теоретическое и практическое значение: позволяет выявить закономерности функционирования водных экосистем и разработать меры по управлению качеством воды [7].

Материалы и методы

Озеро Кучаково расположено в Нижнетавдинском районе Тюменской области, в подзоне южной тайги суббореального климата. Площадь водного зеркала составляет 342 га, макс. глубина – до 6 м, средняя – 2,5 м. Дно преимущественно илистое, берега пологие, сложены суглинками и местами торфом. Озеро периодически связано с озерами Тангач и Ипкуль [8]. По трофическому статусу относится к эвтрофным водоемам [9]. На месте определялись рН, электропроводность и содержание растворенного кислорода. Лабораторный анализ включал определение основных катионов и анионов, растворенный углекислый газ, соединения азота и фосфора и растворенный органический углерод.

Результаты и обсуждение

Значения рН показали выраженную сезонную динамику: весной и осенью – слабощелочная среда, летом – щелочная (рис. 1). Наибольшие значения наблюдались в период активного развития фитопланктона из-за интенсивного фотосинтеза [10]. Содержание растворенного

кислорода достигало максимума в июле-августе и значительно снижалось к октябрю из-за уменьшения фотосинтеза и усиления деструкции органического вещества [11]. Электропроводность варьировала от 280 до 340 мкСм/см, с минимумом летом. Прозрачность воды снижалась с 1,5 м весной до 0,8 м в период "цветения". Воды озера относятся к гидрокарбонатным кальциево-магниевым с минерализацией 210–280 мг/л. Среди анионов доминирует HCO_3^- (до 180 мг/л) с минимумом в июле (рис. 2). Летом при высоких значениях pH увеличивается доля карбонат-иона и снижается концентрация CO_2 . Содержание SO_4^{2-} невелико (0,1–0,6 мг/л) с максимумом в июле-августе (рис. 3).

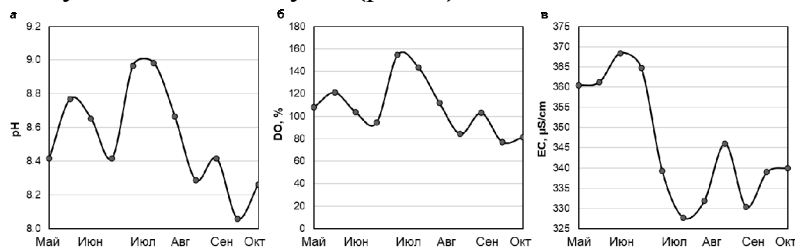


Рис. 1. Динамика физико-химических параметров озера Кучаково: а – водородный показатель (pH), б – содержание растворенного кислорода (DO), в – электропроводность (ЕС)

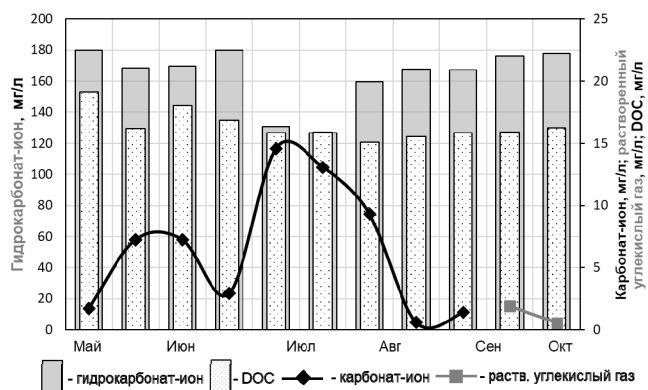


Рис. 2. Динамика содержания различных форм углерода в воде озера Кучаково

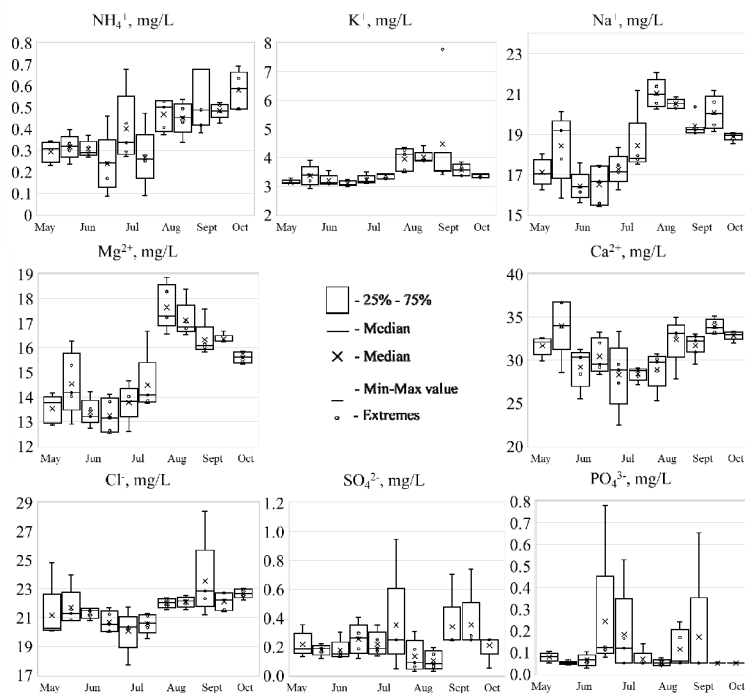


Рис. 3. Динамика компонентов химического состава вод озера Кучаково

Среди катионов преобладают Ca^{2+} и Mg^{2+} с различной сезонной динамикой. Концентрация Ca^{2+} максимальна в мае, затем снижается к июлю на 30% и вновь повышается к октябрю, что связано с образованием CaCO_3 при высоких значениях pH летом. Содержание Mg^{2+} , Na^+ , K^+ напротив, возрастает к августу, что может быть связано с поступлением этих элементов с поверхностным стоком после интенсивных осадков. Динамика соединений азота характеризуется снижением содержания NO_3^- от максимальных значений в мае до минимальных в июле-августе и повышением концентрации NH_4^+ к осени (до 0,65 мг/л), что связано с разложением органического вещества. Такая динамика типична для эвтрофных озер и связана с потреблением нитратов фитопланктоном в период его активного развития и усилением процессов аммонификации при разложении органического вещества в конце лета – начале осени. Содержание PO_4^{3-} показывает сложную динамику с пиком в июле (до 0,45 мг/л) и минимумом в октябре. Четкой закономерности в изменении концентрации PO_4^{3-} не наблюдается, что может быть связано с комплексным влиянием различных факторов: потреблением фитопланктоном, высвобождением из донных отложений при аноксии придонных слоев, поступлением с поверхностным стоком. Соотношение C:N:P в июле-августе приближается к соотношению Редфилда, оптимальному для водорослей (106:16:1), а в остальные периоды отклоняется от него [12].

Заключение

Сезонная динамика химического состава воды озера Кучаково определяется комплексом взаимосвязанных факторов. Биологические факторы включают интенсивность фотосинтеза и деструкции органического вещества. В период активного развития фитопланктона происходит потребление CO_2 и биогенных элементов, что приводит к повышению pH, снижению концентрации NO_3^- и PO_4^{3-} , уменьшению содержания HCO_3^- и повышению концентрации кислорода. В конце вегетационного периода усиливаются процессы деструкции, что сопровождается снижением pH, повышением концентрации NH_4^+ и увеличением содержания CO_2 . Физико-химические факторы включают температуру воды, влияющую на скорость биохимических процессов, растворимость газов и равновесие в карбонатной системе. Наибольшее влияние на сезонную динамику оказывают биогеохимические процессы и климатические факторы, связанные с осадками, развитием фитопланктона и равновесием в карбонатной системе.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 23-77-10012. Полевые работы осуществлялись при поддержке программы развития ТюмГУ «Приоритет-2030», обработка результатов при поддержке Государственного задания ИЛАН РАН (№ 123033000042-6).

Литература

1. Никаноров А.М. Гидрохимия: учебник. – СПб. : Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
2. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л. : Гидрометеиздат, 1970. – 278 с.
3. Scheffer M. Ecology of shallow lakes. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2004. – 357 p.
4. Wetzel R.G. Limnology: Lake and river ecosystems : 3rd ed. – San Diego: Academic Press, 2001. – 1006 p.
5. Драбкова В.Г., Сорокин И.Н. Озеро и его водосбор – единая природная система. – Л. : Наука, 1979. – 195 с.
6. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. – М. : Наука, 2010. – 268 с.
7. Jeppesen E., Sondergaard M., Jensen J.P. et al. Lake responses to reduced nutrient loading – an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies // Freshwater Biology. – 2005. – Vol. 50. –

- Р. 1747–1771.
8. Алексеева Н.А., Алешина О.А., Арефьев С.П. и др. Природа биостанции Тюменского государственного университета "Озеро Кучак". – Тюмень : Тюменский гос. ун-т, 2005. – 112 с.
 9. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. – 1977. – Vol. 22(2). – P. 361–369.
 10. Stumm W., Morgan J.J. *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*. – John Wiley & Sons, 2013. – 1040 p.
 11. Kalff J. *Limnology: inland water ecosystems*. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. – 592 p.
 12. Redfield A.C. The biological control of chemical factors in the environment // *American Scientist*. – 1958. – Vol. 46. – P. 205–221.

УДК 556.314

**ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ
В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ
ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА)**

Ю.В. Колубаева¹, Н.А. Мухортина¹, И.С. Иванова²

¹*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Томск, Россия*

kolubaevayv@ipgg.sbras.ru, volkovana@ipgg.sbras.ru

²*Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия
ivanovais_1986@mail.ru*

**POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN THE ENVIRONMENTAL OBJECTS
IN THE OIL AND GAS PRODUCTION TERRITORIES
(YAMAL-NENETSKIY AUTONOMOUS DISTRICT)**

Yu.V. Kolubaeva¹, N.A. Muhortina¹, I.S. Ivanova²

¹*Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, Tomsk, Russia
kolubaevayv@ipgg.sbras.ru, volkovana@ipgg.sbras.ru*

²*Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia
ivanovais_1986@mail.ru*

Abstract: Проанализированы данные о содержании полициклических ароматических углеводородов в пресных подземных и речных водах, а также донных отложениях водотоков территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Предпринята попытка визуализации данных с использованием диаграмм смещения, построенных в координатах вкладов пар индивидуальных соединений полициклических ароматических углеводородов в их суммарную концентрацию. Полученные результаты сопоставлены с составом индивидуальных соединений выбросов различных промышленных и коммунально-бытовых объектов и составом нефти.

Введение

Как известно к числу загрязнителей объектов окружающей среды принадлежит целый ряд компонентов, регламентируемых нормативными документами. Однако существуют показатели, которые являются токсичными, обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, являются устойчивыми к химической и биологической трансформации, характеризуются высокой миграционной активностью, в повышенных содержаниях оказывают негативное влияние на природные экосистемы, но при этом, практически не нормируются. К числу таких относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – большая группа органических соединений, структуру которых образуют два и более ароматических кольца. Данные соединения входят в состав нефти, добыча которой активно ведется на территории исследуемого региона. В этой связи определение ПАУ и изучение возможных источников их поступления в объекты окружающей среды территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) является актуальной задачей.

Материалы и методы

В основу данной работы были положены данные по химическому составу десяти проб подземных вод, отобранных из скважин хозяйственно-питьевого назначения, а также пробы вод и донных отложений из восьми рек территории ЯНАО. Физико-химические параметры образцов определены стандартными методами, ионный состав – методом капиллярного электрофореза. Содержания индивидуальных полиароматических углеводородов в образцах проводили по методике, описанной в ПНД Ф 14.1:2:4.70-96 [1], на приборе Shimadzu LC-20 (Япония) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в лаборатории

физико-химических исследований керна и пластовых флюидов Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. В исследуемых образцах были количественно определены приоритетные индивидуальные соединения: нафталин (Naph), 2-метилнафталин (2-MeNaph), флуорен (Flu), фенантрен (Phen), антрацен (Antr), флуорантен (Flt), пирен (Pyr), бенз(а)антрацен (BaA), хризен (Chr), бенз(б)флуорантен (BbF), бенз(к)флуорантен (BkF), бенз(а)пирен (BaP), дибенз(а, h)антрацен (DBA). К группе низкомолекулярных соединений (НМ) были отнесены нафталин, 2-метилнафталин, флуорен, фенантрен и антрацен; остальные ПАУ – к высокомолекулярным (ВМ).

Для визуализации данных был применен подход, предложенный и подробно описанный в работе [2], базирующийся на нормировании концентраций одних индивидуальных ПАУ по концентрациям других с нанесением данных на диаграммы смешения, построенные в координатах вкладов пар индивидуальных соединений ПАУ в их суммарную концентрацию.

Результаты и их обсуждение

Химический состав исследуемых пресных природных вод подробно описан в [3]. В сравнении с речными подземные воды характеризуются меньшими содержаниями растворенных органических веществ (по Сорг), концентрации которых закономерно снижаются с глубиной. Результаты изучения индивидуального состава ПАУ и их концентраций в водах показали, что общее содержание ПАУ варьирует в диапазоне от 0,4 до 2,5 мкг/л в подземных водах, от 0,3 до 1,1 мкг/л в речных водах и от 1974 до 19437 мкг/кг – в вытяжках донных отложений. Такое резко отличающееся в сравнении с подземными и речными водами суммарное содержание ПАУ в вытяжках донных отложений, вероятнее всего, связано с высокой гидрофобностью данных соединений, которая способствует осаждению их на дно со взвесью.

Как правило, в качестве главного индикаторного соединения изучаемой группы углеводородов выступает бенз(а)пирен, поскольку он регламентируется СанПиН. Однако в данной работе авторами был сделан акцент на более детальном изучении ненормируемых индивидуальных ПАУ, которые были объединены в суммы и нанесены на диаграмму смешения [2] (рис. 1), предназначенную для визуализации данных и возможной идентификации источников поступления поллютантов в изучаемые объекты. Авторы предложенного подхода [2] в своей работе подробно объясняют и обосновывают выбор наносимых на нее пар индивидуальных соединений. Тем не менее хотелось бы добавить, что индивидуальные соединения, объединенные в суммы и вынесенные на треугольную диаграмму, схожи по своим физическим свойствам, молярной массе, структурному строению, а также по токсическому воздействию и степени канцерогенности. Практически все из этих соединений встречаются в концентрационных профилях ПАУ промышленных выбросов различных предприятий [4] и, кроме того, являются наиболее широко используемыми при расчетах индикаторных соотношений для выявления природы источников поступления ПАУ.

Анализ диаграммы (рис. 1) показывает некоторую закономерность в расположении фигуративных точек состава изучаемых вод и водных вытяжек, сделанных из донных отложений. В случае с подземными водами видна тенденция смещения точек к центру диаграммы, что указывает на отсутствие среди трех пар резко преобладающей по доле вклада в их суммарную концентрацию. Точки состава речных вод расположены в основном в вершине диаграммы, что свидетельствует о преобладающей роли высокомолекулярных ПАУ – флуорантена и пирена. Из диаграммы видно, что в водных вытяжках наименьшую долю в суммарном содержании пар индивидуальных соединений составляет сумма бензантрацена и хризена, тогда как суммы фенантрен – хризен и



Рис. 1. Соотношение содержаний ПАУ в пресных подземных и речных водах и донных отложениях водотоков исследуемой территории

флуорантен – пирен оказались конкурирующими между собой. С точки зрения локации на диаграмме водные вытяжки вызвали наибольший интерес, поскольку в сравнении с остальными образцами оказались наиболее близки по соотношению суммарных содержаний индивидуальных ПАУ к составу нефти и источников выбросов различных предприятий.

Заключение

Таким образом, такой способ визуализации данных может быть достаточно эффективно применен для систематизации данных по индивидуальному составу ПАУ различных типов вод и сопоставления с составом ПАУ индивидуальных соединений выбросов различных производств. Также наряду с индикаторными соотношениями использован как инструмент для вероятностной идентификации происхождения ПАУ в объектах природной среды.

Исследование выполнено в рамках проекта фундаментальных научных исследования Российской академии наук №0266-2022-0016.

Литература

1. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций полициклических ароматических углеводородов в питьевых, природных и сточных водах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (издание 2012 г.). ПНД Ф 14.1:2:4.70-96. – М., 1999. – 27 с.
2. Семенов М.Ю., Снытко В.А., Маринайте И.И. Исследование происхождения полициклических ароматических углеводородов в воде озера Байкал // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 474, № 6. – С. 746–750.
3. Колубаева Ю.В., Иванова И.С., Широкова Л.С. Особенности химического состава природных вод и их влияние на здоровье населения севера Западной Сибири // Успехи современного естествознания. – 2023. – № 11. – С. 61–68.
4. Хатмуллина Р.М., Сафарова В.И., Сафаров А.М. Эмиссия полициклических ароматических углеводородов в окружающую среду // Безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 11. – С. 34–37.

УДК 504.4.054; 504.4.06

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ОМСКА

А.Н. Королев

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск, Россия
korolev66.66@mail.ru*

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE CONDITION OF SMALL WATER BODIES IN THE CITY OF OMSK

A.N. Korolev

*Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia
korolev66.66@mail.ru*

Abstract: Малые городские водоемы являются важным элементом городского ландшафта, и в то же время это одна из наиболее уязвимых частей урбоэкосистемы. Практически всегда малые городские водные объекты находятся под сильным антропогенным воздействием. В статье приведены результаты исследования экологического состояния малых городских водоемов г. Омска.

Введение

Под малым городским водоемом понимают любой водоем, расположенный на урбанизированной территории, размеры которого сопоставимы с основными элементами городской застройки (зданиями, сооружениями, транспортными магистралями) [1].

Водоемы занимают одно из главных мест отдыха жителей города. Они имеют как эстетическую, функциональную, так и санитарно-гигиеническую роль в городской среде, доводя до совершенства микроклиматические условия прибрежной полосы [3]. Однако, водоемы городских территорий находятся под воздействием разных антропогенных факторов, которые приводят к их химическому и тепловому загрязнению; нарушению экологического баланса и процессов саморегулирования. Но несмотря на изменение состояния в худшую сторону, водоемы продолжают формировать микроклимат, а также среду близлежащих районов, оказывают большое влияние на застройки [6].

На территории города Омска насчитывается более 50 водоемов как естественного происхождения (озера), так и искусственных (пруды). Изучению экологического состояния поверхностных вод на территории г. Омска и Омской области посвящены работы таких авторов, как О.П. Баженова в соавт., А.Н. Королев в соавт., О.О. Кренц в соавт., Н.М. Невенчанной. Однако сведений о гидрохимических показателях малых водоемов селитебных территорий и рекреационных зон г. Омска недостаточно.

Материалы и методы

Материалом для настоящей статьи послужили результаты многолетнего гидрохимического исследования водоемов (озер и прудов), расположенных на территории города Омска. Во время наблюдений сразу же на месте отбора проб при помощи мультиметра WTW MULTI 350I с комплектом электродов производилось определение нестойких показателей качества воды, таких как температура, минерализация и pH. Также отбирались пробы воды для определения содержания основных катионов и анионов, жесткости воды, в отдельных случаях исследовались донные осадки на содержание тяжелых металлов. Отбор проб воды производился по ГОСТ 17.1.5.05-85 [4], донных отложений – по ГОСТ 17.1.5.01-80 [5]. Определение физико-химических показателей воды было выполнено в Испытательной лаборатории (Центре) ООО «МИ-Транс» по общепринятым методикам. В качестве критериев для оценки качества вод, как наиболее жесткие, были взяты ПДК вредных веществ для водных объектов, имею-

щих рыбохозяйственное значение.

Результаты и их обсуждение

Омск сталкивается с теми же экологическими проблемами, что и многие города России. Все водные объекты города испытывают мощные техногенные и антропогенные нагрузки. Формирование химического состава воды в водоемах является сложным процессом и находится под воздействием многочисленных природных и антропогенных факторов.

В городе Омске практически не проводится очистка поверхностного стока, до 95 % которого сбрасывается в водные объекты напрямую. Источники загрязнения поверхностных вод города имеют различное происхождение. Прежде всего, это аккумулирующиеся в пределах городской территории, выбросы предприятий и транспорта, поступающие в водоемы при смыве ливневыми, талыми и поливочными водами. В 2018–2023 гг. все так же во все городские водоемы осуществлялся сброс ливневых вод. Берега сильно загрязнены бытовым мусором (в том числе крупногабаритным и тяжелым: строительный материал, туалетные раковины, холодильники, диваны, стулья, автомобильные покрышки, кухонные плиты) и ветками деревьев.

Оценивая объективные данные, можно сделать следующие выводы:

- все исследованные на территории г. Омска водоемы имеют смешанный характер питания;
- все водоемы имеют антропогенный характер загрязнения (бытовой мусор, строительный мусор);
- отдельные водоемы имеют рекреационное назначение, однако большая их часть какого-либо назначения не имеет, но могли бы выполнять рекреационную функцию.

Малые городские водоемы подвержены загрязнению широким спектром компонентов, концентрации которых значительно варьируют в достаточно большом диапазоне от водоема к водоему. При этом точечные источники загрязнения, как правило, трудно идентифицируемы, что указывает на наличие диффузного загрязнения.

Большинство исследуемых водоемов по степени минерализации пресные с нейтральной реакцией среды. Согласно классификации О.А. Алекина, по преобладающему аниону относятся к гидрокарбонатным, по преобладающему катиону – к натриевым. К преобладающим катионам относятся натрий, калий, кальций и магний, анионы – гидрокарбонаты, сульфаты и хлориды. Сравнивая результаты гидрохимических анализов с действующими нормативами [7], можно прийти к выводу, что большинство водоемов г. Омска являются сильно загрязненными. В большинстве из них отмечено превышение содержания катионов аммония (в некоторых водоемах на территории Кировского АО г. Омска превышение данного аниона составило 11 ПДК для водоемов культурно-бытового водопользования; табл. 1).

Таблица 1. Химический состав воды малых водоемов г. Омска

Наименование АО города	катионы, мг/дм ³					
	Na ⁺ +K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	NH ₄ ⁺
Ленинский АО (n=4)	87,9-6824,9	70,5-304	64-100	0-0,03	0-0,08	0-1,63
Советский АО (n=6)	8,97-283,8	46,2-80,3	44-132	0,01-0,02	0,01-0,07	0-7,42
Кировский АО (n=9)	0,16-3,68,4	26,8-277,3	44-316	0-0,09	0-0,04	0,02-16,85
Центральный АО (n=6)	50,2-291	60,8-148,4	24-208	0-0,04	0-0,02	0,36-2,18
ПДК _{ХПВ}	380	100	200	0,3		1,5
ПДК _{КБВ}				0,1		0,5
ПДК _{РХВ}	170					

Наименование АО города	анионы, мг/дм ³					
	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
Ленинский АО (n=4)	–	341,7-3636,8	150,2-8364,2	142-1517	0,9-2,1	0-1,36
Советский АО (n=6)	–	366,1-781,1	88,4-317,4	43-140	0,4-2,8	0,01-0,28
Кировский АО (n=9)	–	219,7-659	66,4-888,9	1,5-1134	0,3-11	0-0,07
Центральный АО (n=6)	–	205-380,8	77,8-269,5	123-935	5,8-16,6	0-0,01
ПДК _{ХПВ}	100	1000	350	500	45	3,3
ПДК _{КБВ}			300	100	9	0,2
ПДК _{РХВ}						

На дне скапливаются загрязненные донные отложения, вызывающие постоянное вторичное загрязнение (табл. 2). В воде содержится много органических веществ (показатель перманганатной окисляемости в некоторых водоемах составлял 38,4–185,6 мгО/дм³), летом наблюдается интенсивное цветение.

Таблица 2. Валовое содержание тяжелых металлов в донных отложениях водоемов на территории г. Омска

Наименование водоема	Тяжелые металлы, мг/кг		
	Cr ³⁺	Cu ²⁺	Pb ²⁺
Ленинский АО г. Омска			
оз. Соленое	24,4±1,37	17,4±0,98	11,4±0,98
оз. Круглое	31,1±2,84	13,7±1,27	13,4±0,92
оз. Чередовое	85,3±3,31	33,7±1,34	27,9±1,61
оз. Моховое	39,3±3,1	19,4±1,5	16,7±1,08
Среднее (n=4)	24,4–85,3* 45,03	13,7–33,7 21,1	11,4–27,9 20,2
Советский АО г. Омска			
ул. 6-я Крайняя	49,1±3,7	33,7±1,34	11,4±0,98
оз. Верхнее (у дендропарка им. Гензе)	31,1±2,84	13,7±1,27	13,4±0,92
оз. Сергеевское	24,4±1,37	11,4±0,9	8,4±0,68
оз. Дальние озерки	39,3±3,1	19,4±1,5	27,9±1,61
оз. Лебединое	85,3±3,31	17,4±0,98	16,7±1,08
оз. Большие озерки	20,1±1,65	9,3±0,69	21,4±1,9
Среднее (n=6)	20,1–85,3 41,6	11,4–33,7 17,5	8,4–27,9 16,5
Кировский АО г. Омска			
водоем (пос. Солнечный)	не опред.	49,1±10,1	48,1±12,1
водоем (б-р Космонавтов)	не опред.	57,0±11,0	21,0±5,0
водоем №1 (ПКиО им. 300-летия г. Омска)	не опред.	16,0±3,0	19,0±5,0
водоем №2 (ПКиО им. 300-летия г. Омска)	не опред.	19,0±4,0	28,0±7,0
Среднее (n=4)	–	16,0–57,0 35,3	19,0–48,1 29,03
Кларк в земной коре	300 ¹ /200 ²	100 ^{1,2}	16 ^{1,2}
Фоновое значение для почв региона (валовое содержание)	85,2 ³ /93,3 ⁴	20 ³ /44,3 ⁴	27,5 ³ /14,1 ⁴

Примечания: * – в числителе – min-max, в знаменателе – среднее значение;

¹Ферсман А. Е. Геохимия. – Природа и техника. ОНТИ, 1933, 1934, 1937 и 1939. – Т. I–IV;

²Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре (рус.) // Геохимия. – 1956. – Вып. 1. – С. 6–52;

³Трошина Е.Н. Экологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха и почв г. Омска тяжелыми металлами для обоснования мониторинга : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Омск, 2009. – 18 с.;

⁴Экологический паспорт территории Омской области. Раздел 8. Земельные ресурсы [Электронный ресурс]. – URL: http://oldmpr.omskportal.ru/ru/RegionalPublicAuthorities/executivelist/MPR/pravaya-kolonka/ecopasport/PageContent/0/body_files/file22.pdf.

Несмотря на неблагоприятное состояние, большинство городских водоемов могут формировать водно-архитектурные ансамбли и должны использоваться, прежде всего, в рекреационных целях, для чего необходимо провести соответствующие подготовительные работы [2].

Заключение

Водные объекты являются не только важной составной частью природно-экологического каркаса в городской среде, но и являются основой каркаса градостроительных природно-техногенных систем в целом. Водные объекты города, имеют не менее важную роль (как и зеленые насаждения) для экологической безопасности, так как выполняют целый ряд функций: сохранение экосистем, рекреация, создание качественной городской среды и многих других. Малые водоемы на урбанизированной территории являются индикаторами многофакторного антропогенного воздействия и должны учитываться при всесторонней оценке геоэкологического состояния городской территории. К высокому уровню загрязнения водоемов приводит отсутствие продуманных, научно обоснованных долгосрочных программ и должного финансирования комплексного рекреационного освоения водоемов.

Литература

1. Безносков В.Н., Горюнова С.В., Колесникова Е.Л. и др. Эволюция малых городских водных объектов и выбор историко-экологического прототипа для проектов их обустройства // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – 2006. – № 2 (14). – С. 36–42.
2. Берникова Т.А., Цупикова Н.А., Нагорнова Н.Н. Роль водных объектов в обеспечении устойчивого развития городской среды (на примере бассейна пруда Верхнего в г. Калининграде) // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 4. – С. 97–106.
3. Гигиеническое нормирование водных рекреационных объектов [Электронный ресурс]. – URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18080> (дата обращения: 20.04.2025).
4. ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008297> (дата обращения: 28.02.2025).
5. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012787> (дата обращения: 28.02.2025).
6. Приказ Минрегиона России от 27.12.2011 N 613 (ред. от 17.03.2014) Об утверждении Методических рекомендаций по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований. Приложение. Методические рекомендации по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований. [Электронный ресурс]. – URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-minregiona-rossii-ot-27122011-n-613/prilozhenie/razdel-2/2.6/vodnye-ustroistva> (дата обращения: 28.02.2025).
7. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Постановление Главного государственного санитарного врача России от 28.01.2021. [Электронный документ]. – URL: <https://www.law.ru/npd/doc/docid/486051/modid/97> (дата обращения: 07.02.2025).

УДК 556.114.7

О СОСТОЯНИИ ОЗЕР О. САМОЙЛОВСКИЙ В ДЕЛЬТЕ ЛЕНЫ

Король И.С., Чуйкина Д.И., Мухортина Н.А.

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН, Томский филиал,
Томск, Россия*

irinakorol@yandex.ru; dichuikina@mail.ru; volkovana@ipgg.sbras.ru

ABOUT THE STATE OF THE LAKES OF O. SAMOILOVSKY IN THE LENA RIVER DELTA

Korol I.S., Chuikina D.I., Mukhortina N.A.

*Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of RS, Tomsk Branch,
Tomsk, Russia*

irinakorol@yandex.ru; dichuikina@mail.ru; volkovana@ipgg.sbras.ru

Abstract: В работе представлены результаты геохимических показателей озер о. Самойловский, который расположен в дельте реки Лена. Исследованы пигменты и индивидуальные полиароматические углеводороды (ПАУ) в донных отложениях (ДО) наиболее крупных полигональных водоемов. Установлено, что суммарное содержание хлорофиллов изменяется от 13,0 до 30,1 мкг/г, содержание каротиноидов не превышает 5,3 мкг/г. Суммарное содержание ПАУ находится в диапазоне от 0,014 до 0,046 мкг/л. Среди низкомолекулярных полиароматических углеводородов (НМ ПАУ) преобладают фенантрен и нафталины, среди высокомолекулярных (ВМ) – флуорантен, хризен и дибензантрацен. Содержание бензпирена не превышает ПДК (10 мкг/л). Изучаемые озера относятся к мезотрофным и эфротрофным.

Введение

Исследования Арктического региона позволяют не только оценивать качественно и количественно степень загрязнения природных объектов данного региона, но и изучать эти уникальные территории с точки зрения геоэкологии [1]. Повышенное внимание уделяется содержанию полиароматических углеводородов в природной зоне Арктики, потому что они способны аккумулироваться в природных объектах, сохранять свойства и структуру в течение долгого периода, устойчивы к трансформации и представляют опасность для окружающей среды. Многие из их представителей проявляют канцерогенную и мутагенную активность, низкая растворимость в воде и высокая – в жирах способствует внедрению в богатые жирами полярные пищевые цепи и накоплению в биоте [2]. Сочетание суровых климатических условий с физико-химическими свойствами полиаренов может сделать полярные регионы зоной их наибольшей аккумуляции при увеличивающейся антропогенной нагрузке.

Озера районов криолитозоны о.Самойловский, расположенного недалеко от о. Столб – места разветвления основных протоков дельты Лены (72° 22' с.ш., 126° 28' в.д.) изучены недостаточно. Для этой территории характерно явление выделения метана, поток метана с наземных источников оценивается от 4 до 28 мг/(м²·сут), из р. Лены примерно в три раза выше. Одной из причин наземной эмиссии метана может быть то, что для почвы в этих условиях возможно интенсивное микробное окисление метана [3]. Для понимания процессов, происходящих в островных озерах, был проведен ряд исследований в водах полигональных водоемов острова.

Целью работы было определение геохимических особенностей состояния крупных озер о.Самойловский.

Материалы и методы

В полевых условиях в августе 2023 г. с помощью портативных датчиков фирмы Hanna были получены значения гидрохимических характеристик озер острова: водородного показателя pH, температуры воды °С, содержания растворенного кислорода O₂, мг/л, % насыщения

(% Sat). Для дальнейших лабораторных анализов пробы воды и донных отложений отбирались в стеклянные емкости и пластиковые контейнеры, замораживались и транспортировались в лабораторию. Методом капиллярного электрофореза изучался ионный состав и распределение макрокомпонентов в образцах донных отложений и вод озер о. Самойловский. Определение индивидуальных ПАУ, входящие в список приоритетных поллютантов для оценки и контроля состояния окружающей среды, проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе LC-20 (Shimadzu, Япония) в интервале 190–500 нм, для количественного определения сигнал регистрировался на длине волны 254 нм. Концентрации фотосинтетических пигментов в ДО определялись на спектрофотометре Cary 50 (Varian, США).

Результаты и их обсуждение

Дельта реки Лены занимает площадь 45 тыс. км², состоит из 800 протоков общей протяженностью 6500 км, 1,5 тыс. островов и более 60 тыс. озер. Она расположена в области с арктическим континентальным климатом, с непрерывной мерзлотой толщиной 500–600 м, толщина сезонно-талого слоя 30–50 см [1].

Полевые исследования зафиксировали в момент отбора проб следующее состояние озер: глубина измерения колебалась от 0,4 до 0,5 м; температура воды изменялась от 13,5 до 14,2°C; величина давления 1019 mb; значения pH от 7,74 до 8,26; среднее значение растворенного кислорода составило 40,4 %; показания DO (% Sat) составили – 93,1–96,7 %. Макрокомпонентный состав позволил рассчитать формулу ионно-солевого состава для вод и вытяжек из ДО: так для озер O1, O2 и O7 установлена формула HCO₃⁻/Ca-Mg; для озер O3, O4, O5, O11 – HCO₃⁻-Cl/Ca-Na-Mg. Величина общей жесткости изменяется от 0,45 до 0,76 мг-экв/л, а минерализации от 46,86 до 182,43 мг/л.

Изучение биохимического состава озер о. Самойловский позволяет оценить состояние водоемов и их устойчивость к антропогенным воздействиям (табл. 1). Содержание природных пигментов, таких как хлорофиллы и каротиноиды, отражает продуктивность экосистемы и может служить индикаторами экологических изменений, происходящих в исследуемых объектах [4].

Таблица 1. Содержание фитопигментов в ДО озер о. Самойловский, мкг/г

озера	Cx"а"	Cx"b"	Cx"с"	C"к"	ПО	% отн. хл. "а" от ∑ хлороф.
O1	5,89	4,45	5,53	2,53	2,33	37,10
O2	4,20	4,04	4,83	1,99	2,11	32,15
O3	8,70	6,69	7,53	4,23	2,06	37,96
O4	6,16	3,81	4,53	2,53	2,44	42,48
O5	7,29	6,02	7,05	3,09	2,36	35,80
O7	17,62	6,8155	5,65	5,29	3,33	58,56
O11	13,80	5,046	5,02	3,60	3,83	57,83

Примечание: Cx"а" – хлорофилл «А», Cx"b" – хлорофилл «В», Cx"с" хлорофилл «С», C"к"- каротиноиды, ПО – соотношение содержания хлорофилла "А" к каротиноидам.

Суммарное содержание хлорофиллов изменяется от 13,0 до 30,1 мкг/г, содержание каротиноидов не превышает 5,3 мкг/г. На основании полученных данных изучаемые озера O3 и O4 можно отнести к олиготрофным, к мезотрофным – O1, O2, O5 и эфротрофным – O7, O11, что может быть связано с хозяйственно-бытовой деятельностью научной станции. По содержанию изучаемых пигментов озера о. Самойловский похожи на состав пигментов Чудского озера.

Суммарное содержание ПАУ находится в диапазоне от 0,014 до 0,046 мкг/л. Распределение индивидуальных соединений приведено в % отн. на рисунке 1.

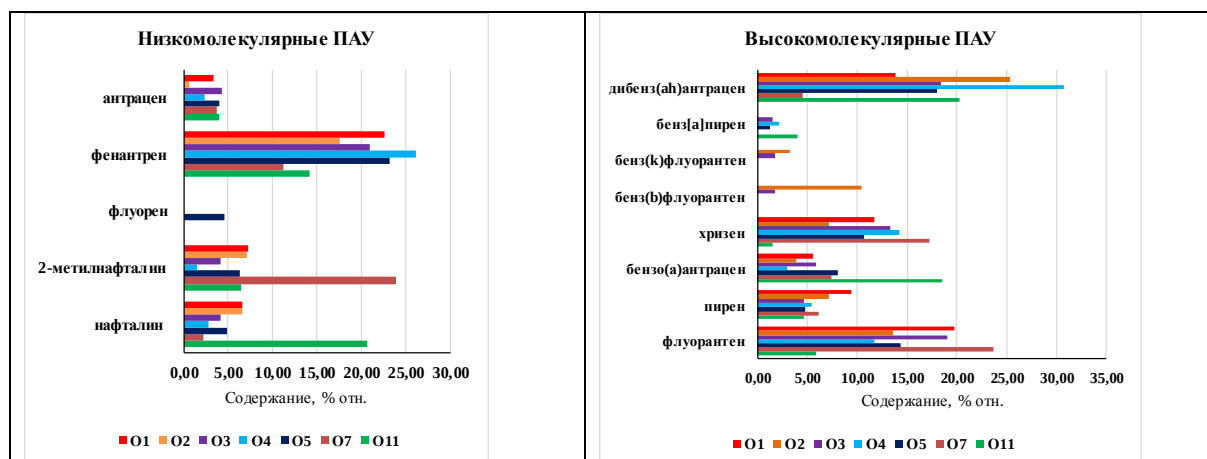


Рис. 1. Профиль ПАУ для озер о. Самойловский

Изучаемые полигональные озера о. Самойловский различаются по типу, так О1 относится пойменно-старичному; О2, О3, О4, к старичным; а О5, О7, О11 к термокарстовым [1]. Распределение ПАУ для всех озер идентичны. Среди НМ ПАУ преобладают фенантрен и нафталины, среди высокомолекулярных – флуорантен, хризен и дибензантрацен. Содержание бензпирена не превышает ПДК (10 мкг/л).

Заключение

О. Самойловский является частью «Усть-Ленского» заповедника и является уникальной территорией для научных исследований. В ходе проведенных работ показано, что влияние антропогенной нагрузки на состояние озер незначительное. Это позволяет использовать озера в качестве фоновых объектов для сравнения с другими арктическими территориями, где ведется промысловая деятельность.

*Исследование выполнено в рамках проекта фундаментальных научных исследования РАН
№ 0266-2022-0016.*

Литература

1. Четверова А.А., Федорова И.В., Потапова Т.М. Гидрологические и геохимические особенности современного состояния озер о. Самойловский в дельте р. Лены // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – № 1(95). – С. 97–110.
2. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклоароматических углеводородов. – Л. : Гидрометеиздат, 1988. – 233 с.
3. Репина И.А., Чечин Д.Г. Баланс парниковых газов в дельте Лены // Моря России: от теории к практике океанологических исследований : материалы Всероссийской научной конференции – Севастополь, 2023. – С. 45–46.
4. Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. – М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2012. – 217 с.

УДК 504.4.054; 504.4.06

СОДЕРЖАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА УМБОЗЕРО

Е.А. Красавцева^{1,2}, С.С. Сандимиров², Д.В. Макаров², И.Р. Елизарова²,
М.Б. Малышева², Н.И. Каганович²

¹Центр наноматериаловедения Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр
Российской академии наук», Апатиты, Россия
e.krasavtseva@ksc.ru

²Институт проблем промышленной экологии Севера Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия
s.sandimirov@ksc.ru

CONTENT OF RARE EARTH ELEMENTS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE NORTH- ERN PART OF LAKE UMBOZERO

E.A. Krasavtseva^{1,2}, S.S. Sandimirov², D.V. Makarov², I.R. Elizarova²,
M.B. Malysheva², N.I. Kaganovich²

¹Center for Nanomaterials Science, Federal Research Center “Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia, e.krasavtseva@ksc.ru

²Institute for Industrial Ecology Problems of the North, Federal Research Center “Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia, s.sandimirov@ksc.ru

Abstract. Проведено исследование химического состава донных отложений северной части озера Умбозеро, расположенного в непосредственной близости от закрытого редкометалльного рудника в Мурманской области. Образцы отобраны пробоотборником открытого гравитационного типа в двух участках озера в трех повторностях. С помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой определено содержание редкоземельных элементов. Установлены валовые содержания элементов как в поверхностных (верхних) слоях донных отложений, так и в глубинных (нижних), которые формировались в доиндустриальный период и, таким образом, характеризуют геохимический фон района исследования.

Введение

Разработка месторождений полезных ископаемых приводит к загрязнению компонентов окружающей среды широким спектром веществ, в частности, тяжелыми металлами и редкоземельными элементами (РЗЭ) [1–3]. Крупные горнодобывающие и перерабатывающие предприятия, сосредоточенные на территории Мурманской области, являются мощными источниками негативного воздействия на окружающую среду.

Мониторинг состояния компонентов окружающей среды в зоне влияния горнопромышленных предприятий в условиях субарктического климата и низкой способности экосистем к самовосстановлению представляет собой важную научно-практическую задачу.

Как известно, поверхностные водоемы являются коллекторами загрязнения различного генезиса, а донные отложения (ДО) – основной депонирующей средой, позволяющей определить продолжительность и интенсивность поступления элементов в биосферу.

Ранее нами были отобраны и изучены образцы ДО озер Ильма, Кривое и Ловозеро, в разной степени подверженных антропогенному загрязнению от действующего редкометалльного предприятия в Ловозерском районе Мурманской области [4].

Цель исследования – оценить уровни содержания РЗЭ в ДО северной части оз. Умбозеро, в зоне влияния закрытого редкометалльного рудника «Умбозеро».

Материалы и методы

Озеро Умбозеро – большое пресноводное озеро в Ловозерском районе Мурманской области,

в юго-западной части Кольского полуострова, относится к рыбохозяйственным водоемам высшей категории. Пробы ДО отбирались в двух точках – рядом с местом приема сточных вод предприятия и севернее, на значительном удалении от рудника (рисунок).



Рис. Схема расположения участков отбора проб ДО

Пробы ДО отбирали пробоотборником открытого гравитационного типа. Образцы разбирались на слои высотой 1 см, затем высушивались, растирались резиновым пестиком в ступке до порошкообразного состояния и передавались на анализ в Центр коллективного пользования Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. Образцы ДО подвергали открытому кислотному разложению, а в полученных растворах определяли концентрации РЗЭ с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ELAN 9000 (PerkinElmer, USA)). Контроль качества анализа обеспечивался одновременным разложением и анализом аттестованных стандартных образцов ДО озера Байкал БИЛ-1 (ГСО 7126-94). Погрешность измерений не превышала 0,5% при $p = 0,95$.

Результаты и их обсуждение

Результаты химического анализа отобранных проб представлены в таблице. Дополнительно приведены кларковые содержания РЗЭ в земной коре, пределы содержаний в ДО пресноводных экосистем и средние содержания в ДО озера Имандра, подверженных антропогенному загрязнению от предприятия, разрабатывающего месторождение апатит-нефелиновых руд, в состав которых входят и РЗЭ [4, 5].

Как видно, средние содержания РЗЭ в образцах ДО участка 1 северной части оз. Умбозеро значительно превышают кларки элементов в земной коре, пределы содержания в ДО пресноводных экосистем и среднее содержание в ДО оз. Имандра. Закономерно, высокие уровни РЗЭ обнаружены в верхних слоях отобранных колонок – рудник функционировал с 1984 года. Ранее сообщалось о том, что коллекторами сточных вод действующего предприятия являлись ручьи Азимут и Лопаритовый [6].

Таблица. Содержание РЗЭ в ДО северной части оз. Умбозеро

Эл-т	Участок 1		Участок 2		Кларковые содержания в Земной коре	Предельное содержание в ДО пресноводных экосистем	ДО оз. Имандра
	слои 0-4 см	слои >4 см	слои 0-4 см	слои >4 см			
La	205,36	48,09	54,87	40,89	30,00	19,5-100	103,00
Ce	377,87	82,76	88,44	63,77	50,00	43-100	172,00
Pr	36,82	9,03	9,51	7,42	5,00	8-8,3	21,00
Nd	118,82	35,59	36,69	29,38	23,00	19-44	79,00
Sm	11,71	5,54	5,25	4,62	6,50	3,3-30	12,00
Eu	2,59	1,59	1,31	1,17	1,00	0,07-12,2	3,10
Gd	8,66	4,88	4,44	3,99	6,50	5,0-6,0	12,00
Tb	1,17	0,67	0,60	0,54	0,90	0,3-1,1	1,20
Dy	5,19	3,60	3,15	2,93	4,50	1,8-4,5	6,70
Ho	0,87	0,64	0,55	0,52	1,00	0,9-1,0	1,10
Er	2,39	1,83	1,55	1,45	2,50	2,6-3,0	3,00
Tm	0,32	0,24	0,21	0,19	0,25	0,40	0,37
Yb	2,10	1,53	1,27	1,21	3,00	1,4-4,4	2,30
Lu	0,28	0,20	0,17	0,16	0,70	0,2-0,5	0,29

Заключение

Отобраны и изучены образцы ДО северной части озера Умбозеро, расположенного в непосредственной близости от закрытого редкометалльного рудника в Мурманской области. С помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой определено содержание РЗЭ. Повышенные валовые содержания элементов в поверхностных слоях ДО являются следствием антропогенного воздействия – пыление хвостохранилища, поступление взвешенных частиц с потоками сточных вод рудника.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20012 «Разработка научных основ комплексной переработки хвостов обогащения лопаритовых руд с одновременным снижением техногенной нагрузки на окружающую среду в Арктической зоне РФ», <https://rscf.ru/project/25-17-20012>.

Литература

1. Derome J., Lindroos A.J. Effects of heavy metal contamination on macronutrient availability and acidification parameters in forest soil in the vicinity of the Harjavalta Cu-Ni smelter, SW Finland // Environmental Pollution. – 1998. – Vol. 99. – P. 225–232. – doi: 10.1016/s0269-7491(97)00185-1.
2. Zhang X., Yang L., Li Y. et al. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China // Environmental Monitoring and Assessment. – 2011. – Vol. 184. – P. 2261–2273. – doi: 10.1007/s10661-011-2115-6.
3. Liang J., Feng C., Zeng G. et al. Spatial distribution and source identification of heavy metals in surface soils in a typical coal mine city, Lianyuan, China // Environ. Pollut. – 2017. – Vol. 225. – P. 681–690. – doi: 10.1016/j.envpol.2017.03.057.
4. Krasavtseva E., Sandimirov S., Elizarova I. et al. assessment of trace and rare earth elements pollution in water bodies in the area of rare metal enterprise influence: A Case Study Kola Subarctic // Water. – 2022. – Vol. 14. – P. 3406. – doi: 10.3390/w14213406.
5. Dauvalter V., Moiseenko T., Rodyushkin I. Geochemistry of rare earth elements in Imandra Lake, Murmansk area // Geochemistry International. – 1999. – Vol. 37. – P. 376–383.
6. Даувальтер В.А., Ящишина С.И. Халькофильные элементы в воде и донных отложениях озера Умбозеро // Вестник МГТУ. – 2008. – Т. 11(3). – С.415–422.

УДК 574.24:550.04:581.19

СПОСОБНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МАКРОФИТОВ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ К ПОГЛОЩЕНИЮ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.С. Куанова, Т.С. Ершова, Н.Г. Шабоянц

THE ABILITY OF SOME VOLGA DELTA MACROPHYTE SPECIES TO ABSORB CHEMICAL ELEMENTS FROM THE ENVIRONMENT

A.S. Kuanova, T.S. Ershova, N.G. Shaboyants

Аннотация. В данной работе рассматривается зависимость содержания металлов в высших водных растениях от их биологической роли и потребностей в микроэлементах. Подчеркивается, что тяжелые металлы, являясь результатом антропогенной деятельности, представляют собой серьезную экологическую проблему, поскольку они не разрушаются в природных водах, а перераспределяются, образуя токсичные комплексные соединения с биомолекулами. Это негативно сказывается на живых организмах, включая высшую водную растительность, которая играет ключевую роль в поддержании экологического баланса. Исследуются растения рода *Potamogeton*, способные поглощать химические элементы как из водной среды, так и из донных отложений.

Введение

Цель работы заключается в оценке способности различных видов *Potamogeton* накапливать металлы и выявлении видов-индикаторов с наибольшей способностью к аккумуляции.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись представители рода *Potamogeton*: рдест узловатый (*Potamogeton nodosus* L.), рдест блестящий (*Potamogeton lucens* L.), рдест курчавый (*Potamogeton crispus* L.), рдест злаковый (*Potamogeton gramineus* L.), рдест узколистый (*Potamogeton angustifolius* L.), рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.), рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus* L.).

Отбор проб растений осуществлялся в различных водотоках дельты Волги.

Работу проводили на базе кафедры «Гидробиология и общая экология» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».

При определении концентрации химических элементов в объектах исследования использовали метод атомно-абсорбционной спектроскопии согласно ГОСТ 30178-96. Результаты исследования обработаны статистически при помощи программного продукта Microsoft Excel 2010.

Коэффициент биологического поглощения (КБП) химических элементов из воды и донных отложений растений рода *Potamogeton* рассчитывали по формуле:

$$КБП = \frac{C_{орг}}{C_{грунт}} \quad (1)$$

где: $C_{орг}$ – концентрация элемента в организме, мг/кг сухого вещества; $C_{грунт}$ – концентрация элемента в среде обитания, мг/кг сухого вещества.

Результаты и их обсуждение

Результаты расчетов коэффициента биологического поглощения химических элементов некоторыми видами макрофитов представлены в таблице 1.

Анализируя данные, представленные в таблице, отмечено, что значения КБП химических элементов из воды значительно выше, чем из донных отложений. Данный факт может указывать на то, что высшие водные растения рода *Potamogeton* более эффективно поглощают хи-

мические элементы из воды, нежели из донных отложений. Исключение составляют марганец, кобальт и кадмий. Данные микроэлементы способны проникать в ткани растений как из воды, так и из донных отложений.

Таблица 1. Коэффициент биологического поглощения (КБП) химических элементов из воды и донных отложений растений рода *Potamogeton*

КБП	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Co	Cu	Pb	Cd
<i>Potamogeton nodosus</i>	1106/ 0,59	6428/ 1,68	1945/ 0,72	425/ 0,22	460/ 0,25	20/ 0,02	142/ 0,16	-/-	1000/ 1,45
<i>Potamogeton lucens</i>	1230/ 0,65	566/ 1,48	2567/ 0,47	345/ 0,17	570/ 0,32	92/ 0,1	262/ 0,56	116/ 0,03	1500/ 1,87
<i>Potamogeton crispus</i>	1057/ 0,56	3785/ 1,01	1294/ 0,24	361/ 0,18	325/ 0,18	10/ 0,03	245/ 0,26	383/ 0,08	416/ 0,52
<i>Potamogeton gramineus</i>	589/ 0,31	7023/ 1,83	946/ 0,17	325/ 0,16	470/ 0,26	37/ 0,04	500/ 0,52	327/ 0,07	-/-
<i>Potamogeton angustifolius</i>	1051/ 0,56	4833/ 1,27	1486/ 0,27	234/ 0,12	533/ 0,30	56/ 0,06	775/ 0,81	454/ 0,11	1333/ 1,66
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	1127/ 0,61	7619/ 1,99	2229/ 0,41	270/ 0,13	685/ 0,38	77/ 0,07	1172/ 1,28	486/ 0,11	708/ 0,87
<i>Potamogeton natans</i>	1130/ 0,61	4821/ 1,26	4162/ 0,77	245/ 0,12	595/ 0,33	125/ 0,13	654/ 0,71	333/ 0,07	-/-
<i>Potamogeton pectinatus</i>	994/ 0,53	5809/ 1,52	1418/ 0,26	555/ 0,28	640/ 0,36	130/ 0,14	1250/ 1,37	550/ 0,33	-/-

Сравнительный анализ аккумуляционной способности растений рода *Potamogeton* показал, что наибольшее значение коэффициента биологического поглощения Fe выявлено у *Potamogeton lucens* (1230), а наименьшее – у *Potamogeton gramineus* (589).

Ввиду того, что представители рода *Potamogeton* способны поглощать марганец не только из воды, но и из донных отложений, максимальные значения показателя относительно воды и донных отложений выявлены у *Potamogeton perfoliatus* (7619), а минимальные у *Potamogeton lucens* (566), несмотря на то, что он являлся лидером по коэффициенту биологического поглощения железа. *Potamogeton natans* способен больше всех остальных исследованных видов рода аккумулировать цинк (4162). Хром в большей мере способен поглощать *Potamogeton pectinatus* (555). Минимальный коэффициент поглощения хрома выявлен у *Potamogeton angustifolius* (234). *Potamogeton perfoliatus* демонстрирует низкий уровень накопления никеля (325).

Значения концентраций свинца (*Potamogeton nodosus*) и кадмия (*Potamogeton gramineus*, *Potamogeton natans* и *Potamogeton pectinatus*) выявлены ниже предела обнаружения используемым методом исследования, поэтому соответствующие коэффициенты биологического поглощения этих металлов отсутствуют.

Potamogeton natans имеет высокий коэффициент поглощения цинка, *Potamogeton lucens* – железа и кадмия, *Potamogeton perfoliatus* – марганца и никеля, а *Potamogeton pectinatus* – хрома, кобальта, меди и свинца.

Potamogeton nodosus отличался небольшими значениями коэффициента поглощения Cu, *Potamogeton angustifolius* – Cr, *Potamogeton gramineus* – Fe и Zn, а *Potamogeton crispus* Ni и Co.

Среди исследованных видов рода *Potamogeton* стоит выделить *Potamogeton nodosus*, который отличался небольшими коэффициентами биологического поглощения, при одинаковых условиях существования, возможно, именно этот вид рдестов способен регулировать поступление металлов в свой организм и, в связи с этим, обладает большей экологической устойчи-

востью.

Растения способны к концентрации определенных химических элементов в своих тканях, что показывает их коэффициент поглощения этих элементов, это может указывать на роль этих растений как биоиндикатора состояния экосистемы дельты Волги и его потенциал для фиторемедиации загрязненных водоемов.

У изученных видов рдестов выявлены видовые особенности в накоплении химических элементов. Так, концентраторами железа являются *Potamogeton lucens* и *Potamogeton natans*. При этом *Potamogeton lucens* также является аккумулятором кадмия, а *Potamogeton perfoliatus* – марганца.

Таким образом, *Potamogeton* поглощая химические элементы больше из воды, чем из донных отложений, это объясняется их адаптацией к водной среде, эффективными механизмами усвоения и высокой доступностью растворенных питательных веществ. Полученные данные могут быть использованы для дальнейших исследований и разработки методов управления экосистемами дельты Волги. Мониторинг микроэлементного состава донных отложений дельты Волги является важным для оценки состояния экосистемы и разработки стратегий по охране окружающей среды.

Литература

1. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния / пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 288 с.
2. Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К. и др. Эколого-гигиеническая оценка загрязнения поверхностных и подземных вод в Зауралье республики Башкортостан // Здоровье населения и среда обитания. – 2017. – № 7 (292). – С. 14–17.
3. Сафронова Л.А., Шаламанова А.А. Проблемы очистки сточных вод промышленных предприятий // Экологические проблемы промышленных городов / под ред. И.Е. Тихомирова. – Саратов : Саратовский гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А., 2013. – С. 89–92.
4. Гаджиева С.Р., Рустамова У.Н., Алиева Т.И. и др. Тяжелые металлы в водных экосистемах как индикатор антропогенного воздействия // Молодой ученый. – 2019. – № 9(247). – С. 115–118.
5. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Гидрботаника: прибрежно-водная растительность. – М. : Юрайт, 2022. – 254 с.
6. Батовская Е.К., Жилкин А.А., Халяпина И.В. Уровни содержания тяжелых металлов в Прикаспийской низменности // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 8. – С. 134–139.

УДК 550.47:550.462

БИОГЕОХИМИЯ ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЕНОГО ОЗЕРА УЧУМ

Г.А. Леонова, А.Е. Мальцев, С.К. Кривоногов

*Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия
leonova@igm.nsc.ru*

BIOGEOCHEMISTRY OF HOLOCENE DEPOSITS OF SALT LAKE UCHUM

G.A. Leonova, A.E. Maltsev, S.K. Krivonogov

*V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
leonova@igm.nsc.ru*

Abstract. Впервые проведены детальные биогеохимические исследования биообъектов и керны бурения донных отложений (1.7 м) минерального оз. Учум (Красноярский край). Установлено, что озерная вода имеет минерализацию (26.2 г/л) и относится к сульфатно-натриевому классу с преобладанием SO_4^{2-} , Na^+ и Cl^- . Для донных отложений характерны выдержанные по всему разрезу содержания большинства элементов (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb и др.). Для планктона характерны высокие концентрации $\text{C}_{\text{орг}}$ (48.85%), H (7.11%), N (9.73%), S (1.05%). Макрофиты содержат максимальные концентрации Ca (1.78%), Mg (1.18%), K (1.39%). В озерной взвеси и донных отложениях был установлен ряд минералов различного генезиса: пирит, барит, целестин, тенардит, кальцит и аморфный кремнезем.

Введение

Практическое использование минерального оз. Учум началось в глубокой древности. В это время люди начали использовать самосадную соль, установили целебные свойства минеральной воды и многие поколения народов, живших близко от озера, накопили опыт применения озерной воды и лечебной грязи. С течением времени оз. Учум прочно зарекомендовало себя как эффективный лечебный центр Красноярского края [3]. Современных научных данных по соленому оз. Учум чрезвычайно мало. Монография [3] содержит результаты по химическому составу минерализованных вод (рапы) озера, статья [2] посвящена оценке туристического потенциала озера, статья [5] – сезонной динамике вертикальной структуры фито- зоопланктона и серных пурпурных бактерий. Детальные геохимические исследования биоты и кернов бурения донных отложений оз. Учум никогда не проводились. Нами впервые исследована биогеохимия полного разреза (1.7 м) осадочной толщи оз. Учум.

Материалы и методы

Минеральное бессточное оз. Учум расположено в Красноярском крае, в одной из долин в северо-западной части Чебаково-Балахтинской котловины, являющейся частью Минусинской межгорной котловины. Площадь озера составляет 4.2 км², длина его – 4 км, ширина – 1.7 км, глубина в отдельных местах достигает 9–12 м. Дно пологое с грязевыми лечебными отложениями. Содержание солей в рапе непостоянное, за многолетний период оно изменялось от 20 до 35 г/л. Бурение донных отложений оз. Учум проведено в июле 2022 г. в центральной части озера (координаты 55°05' с. ш., 89°43' в. д.), поднят керн длиной 1.7 м. Определение содержания анионов проводили титриметрическим методом (HCO_3^-) и методом капиллярного электрофореза (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}). Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой в рапе и донных отложениях определены концентрации химических элементов в ЦКП МИИ СО РАН. Содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ определяли по методу Тюрина, элементный анализ органического вещества (H, N, S) выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе. Минеральный состав образцов изучен на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU в ЦКП МИИ СО РАН.

Результаты и их обсуждение

Согласно классификации [1] по составу главных ионов вода оз. Учум относится к сульфатному классу, группе натрия. По окислительно-восстановительным условиям – к типу окисленных вод $E_h = +226$ мВ (0 м) и типу восстановленных вод $E_h = -90$ мВ (8 м); по щелочно-кислотным условиям – к классу щелочных: $pH = 9,30$ (0 м) [4]. Самые высокие концентрации микроэлементов установлены для бора (5.73 мг/л) и стронция (0.67 мг/л), что характерно для соленых озер.

Вскрытый бурением разрез представлен минеральными отложениями: величины зольности (91.60–96.22%) и органического вещества (3.78–8.40%). Для донных отложений характерны, в целом, выдержанные по всему разрезу содержания Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, Mo, Ba, Pb и др. Отдельно выделяется интервал 75–81 см, который сложен полностью тенардитом и мирабилитом, для него характерны высокие содержания Na (27.5%) и валовой $S_{\text{общ}}$ (19.4%) на фоне резкого падения (на порядок) концентраций всех остальных элементов. Этот интервал характеризует резкие изменения внутриводоемных условий, которые могли быть следствием климатических факторов, например, засухи. Это могло привести к снижению уровня озерных вод и росту их солености.

По данным сканирующей электронной микроскопии в озерной взвеси, неконсолидированном осадке и донных отложениях был установлен ряд минералов различного генезиса: пирит, барит, галит, тенардит, кальцит и аморфный Si (рис.).

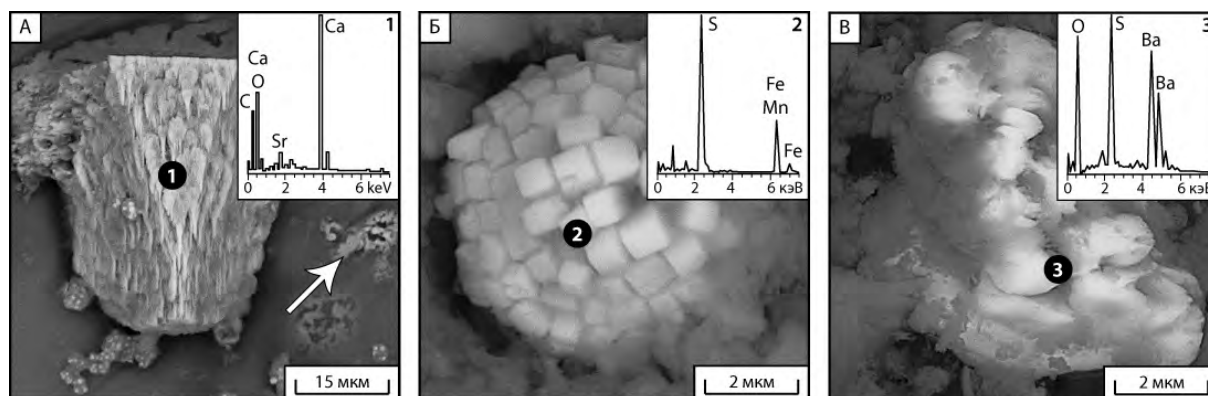


Рис. Электронно-микроскопические снимки минералов и их энергодисперсионные спектры. (А) кальцит (стрелкой показан аморфный кремнезем), придонная взвесь; (Б) – фрамбоидальный пирит, неконсолидированный осадок; (В) барит, 5–10 см.

В озерной микровзвеси в большом количестве обнаружены галит и тенардит, реже – кальцит и микрочастицы аморфного Si. Пирит встречается практически по всему разрезу, однако оформленные фрамбоиды чаще всего встречаются в неконсолидированном осадке. В донных отложениях пирит обычно представлен плохо оформленными фрамбоидами или крупными глобулами. Для верхних интервалов донных отложений характерно присутствие барита, тогда как для нижних – барита с примесью Sr. Тенардит, галит и кальцит имеют хемогенную природу, а пирит, аморфный Si, барит – диагенетическую (образуются в процессе раннего диагенеза). На диагенетическую природу микрочастиц аморфного Si и барита указывает их аморфная форма – они являются агрегатами хлопьевидных частиц, имеющих неплотную структуру, либо сгустками различной степени уплотнения, приуроченных к остаткам органического вещества.

Химический состав биообъектов (планктон, водоросли, макрофиты), которые являются продуцентами органического вещества отложений, представлен в таблице. Для планктона характерны максимальные содержания органического углерода (48.85%), водорода (7.11%), азота (9.73%), серы (1.05%). Для планктона установлены самые низкие значения отношения C/N (5), а для макрофитов – самые высокие (25.2).

Таблица. Химический состав продуцентов органического вещества: планктон (Пл.), водоросли (кладофора) (Вд.), макрофиты (Мк.)

Прод-ты	C, %	H, %	N, %	S, %	C/N	P, %	Al, %	Ca, %	Fe, %	K, %	Mg, %
Пл.	48.85	7.11	9.73	1.05	5.0	0.53	0.04	0.18	0.03	0.41	0.73
Вд.	37.21	5.76	2.03	0.86	18.3	0.08	0.70	0.29	0.93	0.93	0.96
Мк.	35.59	5.14	1.41	0.08	25.2	0.13	0.46	1.78	0.28	1.39	1.18
Прод-ты	Mn, г/т	B, г/т	Ba, г/т	Co, г/т	Cr, г/т	Cu, г/т	Zn, г/т	Mo, г/т	Ni, г/т	Pb, г/т	Sr, г/т
Пл.	8	279	5.43	0.21	0.46	1.62	28.03	0.58	1.58	3.65	50.7
Вд.	242	522	40.28	3.38	20.46	7.30	28.09	0.36	2.49	1.39	524.9
Мк.	111	1107	60.82	1.22	6.82	2.36	14.08	0.44	4.09	1.57	706.8

Макрофиты, в сравнении с планктоном и водорослями, содержат максимальные концентрации макроэлементов: Ca (1.78%), Mg (1.18%), K (1.39%). Более высокие содержания данных элементов – это проявление (помимо накопления в результате жизнедеятельности) процессов хемогенного осаждения химических элементов на поверхности макрофитов и их кальцификации, которые напрямую связаны с величиной минерализации и составом рапы. Для планктона характерны самые высокие концентрации Pb (3.65 г/т) и Zn (28.03 г/т). Водоросли выделяются повышенным содержанием алюминия (0.70%), железа (0.93%), хрома (20.46 г/т) и меди (7.30 г/т). Макрофиты содержат максимальные концентрации бора (1107.58 г/т), бария (60.82 г/т) и стронция (706.8 г/т).

Заключение

Выявленные закономерности распределения химических элементов и минералов по глубине разреза донных отложений оз. Учум подчеркивают роль гидрогеохимических факторов в эволюции водоема. Полученные результаты позволяют дополнить научные знания в области исследования условий формирования минеральных озер и могут служить основой для реконструкции палеоусловий голоцена юга Сибири.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 21-55-53037 ГФЕН_а, по государственному заданию Института геологии и минералогии СО РАН (проект № 122041400193-7) в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Литература

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л., Гидрометеиздат, 1953. – 296 с.
2. Краснов В.А., Артеменко Е.С. Оценка туристического потенциала поселка Озеро Учум Красноярского края // Инновации в науке. – 2017. – № 5(66). – С. 44–48.
3. Кусковский В.С., Кривошеев А.С. Минеральные озера Сибири (юг Красноярского края). – Новосибирск : Наука, 1989. – 200 с.
4. Перельман А.И. Геохимия природных вод. – М. : Наука, 1982. – 154 с.
5. Рогозин Д.Ю., Зыков В.В., Иванова Е.А. и др. Меромиктический режим и сезонная динамика вертикальной структуры озера Учум (Южная Сибирь) // Сибирский экологический журнал. – 2018. – № 2. – С. 225–238.

УДК 556.314

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО РОВ В МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЕ «ОМЕГА»

О.Е. Лепокурова^{1,2}, Н.А. Мухортина¹

¹Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Томск, Россия

LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

²Томский политехнический университет, Томск, Россия

SOME DATA ON DISSOLVED ORGANIC MATTER IN OMEGA MINERAL WATER

O.E. Lepokurova^{1,2}, Mukhortina N.A.¹

¹ Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, Tomsk, Russia
LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

² Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Abstract. Собраны и приведены данные по растворенному органическому веществу (РОВ) щелочной ультрапресной минеральной воды «Омега», в том числе впервые изучены полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Результаты еще раз подтвердили низкие показатели и концентрации РОВ в воде, при преобладании в составе фульвокислот. Среди ПАУ выделяются дибенз(ah)антрацен, 2-метилнафталин, нафталин. Источники поступления их природные, связанные с захороненным в осадочных породах органическим веществом и деятельностью микроорганизмов.

Введение

Минеральная вода из скважины Чулымской (1-Р), выпускающаяся под торговым названием «Омега», находится в с. Тегульдет Томской области и давно интересует исследователей в связи с необычными свойствами: высокая щелочность при малой минерализации, при этом в осадочных породах, а не магматических, характерных для таких вод. Достаточно детально вода изучена коллективом ТФ ИНГГ СО РАН на химический, изотопный, микробиологический составы, приведены гипотезы по ее формированию [4]. Из мало изученных остается вопрос по растворенным органическим веществам (РОВ). Дело в том, что Томским НИИ курортологии и физиотерапии в период 1968-1995 гг опробовалась вода скважины, и впоследствии дано заключение о качестве и бальнеологической ее ценности, в котором в том числе указываются высокие концентрации РОВ в количестве до 10 мг/л по Сорг (при кондиции 5 мг/л) и предлагается отнести их к группе вод с повышенным содержанием РОВ. Однако наши исследования в последствии не выявили повышенных количеств органических веществ. Более того, схема формирования состава вод строилась на тезисе о низких концентрациях РОВ, из-за чего показатель рН вод не подкисляется и остается высоким. Поэтому целью исследования было привести и детализировать имеющиеся данные по содержанию органического вещества в воде, в том числе впервые рассмотреть полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

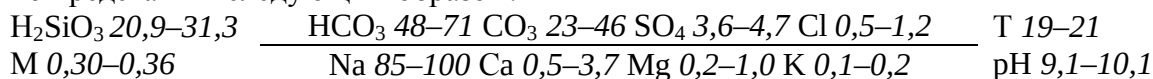
Материалы и методы

Химический состав воды в 2006–2013 гг. определялись стандартными методами в ПНИЛ гидрогеохимии ТПУ, там же некоторые показатели РОВ: органический углерод (Сорг) методом высокотемпературного каталитического окисления, перманганатная окисляемость (ПО), химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК₅) методами титрования, фульвокислоты и гуминовые кислоты проводилось методом титрования по учету бихромата, расходуемого на окисление углерода фульвогуминовых кислот. В 2023–2025 гг. состав воды определялся в лаборатории ТФ ИНГГ СО РАН; качественное и количественное определение ПАУ в образцах поверхностной воды методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), на хроматографе Shimadzu LC-20 (Shimadzu,

Япония) с диодно-матричным и флуоресцентным детектированием, на обращенно-фазовой колонке SupelcoSil LC-PAH с фазой C18.

Результаты и их обсуждение

Опробование вод проводилось в сентябре 2006, августе 2010, апреле 2011, июле 2013 и в ноябре 2023 годов. Общую формулу ионно-солевого состава по полученным результатам можно представить следующим образом:



Таким образом, вода слаботермальная, сильнощелочная, маломинерализованная гидрокарбонатная натриевая по составу с повышенными концентрациями метакремниевой кислоты. В газовом составе преобладает азот [4].

При описании РОВ чаще всего в качестве количественной характеристики используют Сорг, также показатели окисляемости ПО, ХПК, БПК₅. Для качественной характеристики состава определяют в основном нефтепродукты (НП); реже – гуминовые вещества: гуминовые кислоты (ГК) и, продукты их разложения, фульвокислоты (ФК).

Значения по этим показателям получены только по пробам 2010–2013 гг. и представлены в таблице 1. Как видно, концентрации органических веществ низкие почти по всем параметрам (кроме НП). Показатель Сорг не достигает кондиции в 5 мг/л для отнесения их к группе вод с повышенным РОВ, находится в пределах всего 1–2 мг/л, что в среднем в 3 раза ниже выше-залегающих вод, используемых для питьевых целей. Концентрации ФК примерно в 5–10 раз превышают ГК, что достаточно типично для подземных вод региона. Высокий показатель НП пока трудно объяснить, не исключена техническая ошибка при отборе пробы.

Таблица 1. Характеристика РОВ в минеральной воде «Омега», 2010–2013 гг.

Дата отбора	Сорг, мг/л	ПО, мгО/л	ХПК, мгО/л	БПК ₅ , мгО ₂ /л	ФК, мг/л	ГК, мг/л	НП, мг/л
11.08.2010	1,06	0,36	нпо	–	1,89	0,34	2,39
06.04.2011	1,92	0,68	нпо		3,96	0,34	–
10.07.2013	1,34	–	нпо	2,26	нпо	нпо	–
для сравнения неглубокие скважины в с.Тегульдэт							
11.08.2010	2,88	1,56	–	–	6,34	нпо	0,93
10.07.2013	3,85	–	5,74	2,62	6,25	0,33	–

Для детализации состава органических веществ, в том числе объяснения возможной причины высоких концентраций НП, нами впервые в данной воде изучены полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Несмотря на их низкие содержания, из-за их способности к сохранению в природных объектах в течение длительного времени они могут выступать индикаторами различных геохимических процессов. В основном ПАУ изучаются для поверхностных вод и донных осадков [1], и в экологических целях, поскольку являются очень токсичными.

Общая сумма концентрации ПАУ в воде получилась 224 нг/л (рис. 1), что соответствует минимальным значениям для речных вод [1], да и, по единичным данным, для подземных вод региона. В составе выделяются: среди высокомолекулярных ПАУ (ВМ ПАУ – от 5 и более колец) – дибенз(аh)антрацен (39%), бензо(а)антрацен (10%); среди низкомолекулярных ПАУ (НМ ПАУ с 2–3 кольцами) – 2-метилнафталин (18%), нафталин (11%) и фенантрен (8%). Пока трудно как-то интерпретировать полученные данные, не накоплена база данных для подземных вод для их сравнения и использования [5]. Уверенно можно говорить, что в данных условиях не может быть техногенного источника, это природные особенности накопления ПАУ в водоносном горизонте. Имеются исследования [3], подтверждающие достаточную распространенность ПАУ именно в осадочных породах в виде захороненной биоты. В воду

попадают при низкотемпературном преобразовании (в пласте ~40 °С) с участием микроорганизмов. Действительно, наши исследования [2] зафиксировали достаточно активную микробиологическую деятельность (200 тыс клеток в мл воды), несмотря на бедность питательной среды (низкие концентрации минеральных и органических веществ).

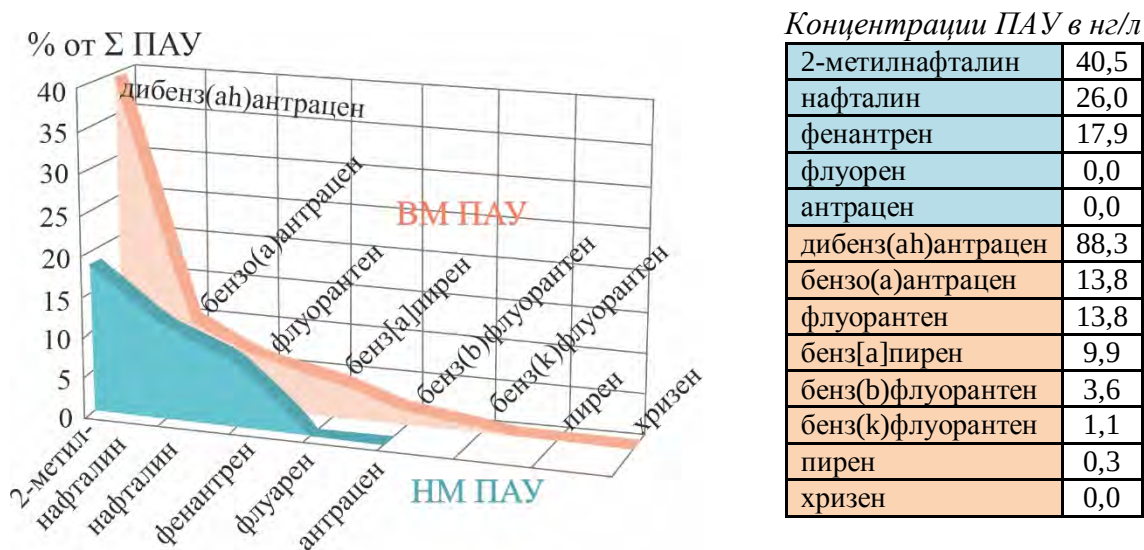


Рис. 1. Концентрации ПАУ в природной минеральной воде «Омега»

Заключение

Природная минеральная вода «Омега» характеризуется низкими концентрациями РОВ. Источник поступления – захороненная в осадочных породах биота, преобразованная в результате деятельности микроорганизмов и низких температур. Качественный состав ПАУ пока трудно интерпретировать из-за отсутствия каких-либо реперов для подземных вод, это накопительный этап. В будущем возможно их использования для детализации источников и условий накопления РОВ.

Исследование выполнено в рамках проектов фундаментальных научных исследования РАН №0266-2022-0016.

Литература

1. Волкова Н.А., Иванова И.С., Соколов Д.А. и др. Концентрации и источники полициклических ароматических углеводородов в воде и донных отложениях рек северных нефтегазодобывающих территорий Западной Сибири // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 4. – С. 135–148.
2. Лепокурова О.Е., Наливайко Н.Г., Иванова И.С. Микробиологический состав уникальных щелочных подземных вод в скважине Чулымской («Омега», Томская область) // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. – Якутск, 2015. – С. 298–302.
3. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклоароматических углеводородов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 233 с.
4. Шварцев С.Л., Лепокурова О.Е. Уникальные щелочные воды в Чулымском бассейне (Западная Сибирь) // ДАН. – 2014. – Т. 459, № 3. – С. 357–362.
5. Хаустов А.П., Редина М.М. Полициклические ароматические углеводороды как маркер процессов в подземной гидросфере // Всероссийское совещание по подземным водам Востока России. – Иркутск, 2021. – С. 439–443.

УДК 577.118

КОНЦЕНТРАЦИЯ ТОКСИЧНЫХ И ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В НЕКОТОРЫХ ВИДАХ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ ИЗ ОХОТСКОГО МОРЯ

А.В. Литвиненко^{1,2}, М.А. Беланов¹, К.Р. Масалева¹, И.В. Карпенко², М.М. Донец¹,
А.Д. Боровкова¹, В.Ю. Цыганков¹

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия
belanov.ma@gmail.com

²Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия
litvinenko.av@bk.ru

CONCENTRATION OF TOXIC AND ESSENTIAL ELEMENTS IN SOME COMMERCIAL FISH SPECIES FROM THE SEA OF OKHOTSK

A.V. Litvinenko^{1,2}, M.A. Belanov¹, K.R. Masaleva¹, I.V. Karpenko², M.M. Donets¹,
A.D. Borovkova¹, V.Y. Tsygankov¹

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
belanov.ma@gmail.com

²Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
litvinenko.av@bk.ru

Abstract. Проводили исследования уровней токсичных (As, Cd, Pb и Hg) и эссенциальных (Cu, Mn, Fe, Ni и Zn) элементов в мышечной массе, печени и гонадах минтая, сельди тихоокеанской и желтоперой камбалы Охотского моря. Выявлено, что на концентрации микроэлементов наибольшее воздействие оказывают видовые особенности рыб и региональная биогеохимическая специфика. В среднем, содержание Pb, Hg, As и Cd в мышечной массе всех исследованных нами видов не превышало допустимых значений, однако в мышцах некоторых образцов камбал содержание мышьяка превышало допустимые значения. В печени минтая средние значения содержания кадмия превышали допустимые уровни более чем в два раза.

Введение

Тресковые и сельдевые рыбы являются основой сырьевой базы рыбной промышленности России. Наиболее массовые виды из них – минтай (*Gadus chalcogrammus* Pallas, 1814) и тихоокеанская сельдь (*Clupea pallasii* Valenciennes, 1847). По итогам 2023 г. доля минтая в общенациональном вылове достигла почти 36%, таким образом минтай по-прежнему остается главным промысловым ресурсом страны. Сельдь тихоокеанская – стайная пелагическая рыба. Российские рыбаки ежегодно ловят около 370 тыс. т сельди. Желтоперая камбала (*Limanda aspera* Pallas, 1814) залива Анива Охотского моря – один из видов, представляющих многочисленное сообщество камбалообразных, населяющих шельфовую зону дальневосточных морей.

Цель – определить концентрации микроэлементов в органах минтая, сельди и камбал из Охотского моря и оценить безопасность пищевого рыбного сырья.

Материалы и методы

Пробы мышечной ткани, печени и гонады отбирали от рыб, выловленных в Амурском лимане в декабре 2023 г. (минтай), Охотском море в марте 2023 г. (сельдь) и в зал. Анива Охотского моря в мае 2024 г. (камбала).

Образцы проб биологического материала замораживали до –18 °С на месте сбора. Подготовку к анализу проводили методом кислотного разложения в микроволновой системе MARS 6. Минерализаты проб анализировали на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-7000. Концентрацию металлов выражали в мг/кг сырой массы как среднее значение ± стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение

Содержание Pb, Hg, As и Cd в мышечной массе минтая не превышало допустимых значений. Икра, молоки и печень минтая широко используются в виде сырья для консервного производства, поэтому важно знать уровни в них токсичных металлов. Если в икре и молоках минтая уровни Pb, Cd, As и Hg не превышали ДУ, то содержание токсичного Cd в печени минтая – метаболически активном органе, богатом ненасыщенными жирными кислотами и жирорастворимыми витаминами, составляло $1,68 \pm 1,32$ мг/кг, что превышало допустимые уровни (0,7 мг/кг) более чем в два раза [1, 2]. Содержание остальных нормируемых элементов в печени минтая не вызывает опасений (рис. 1).

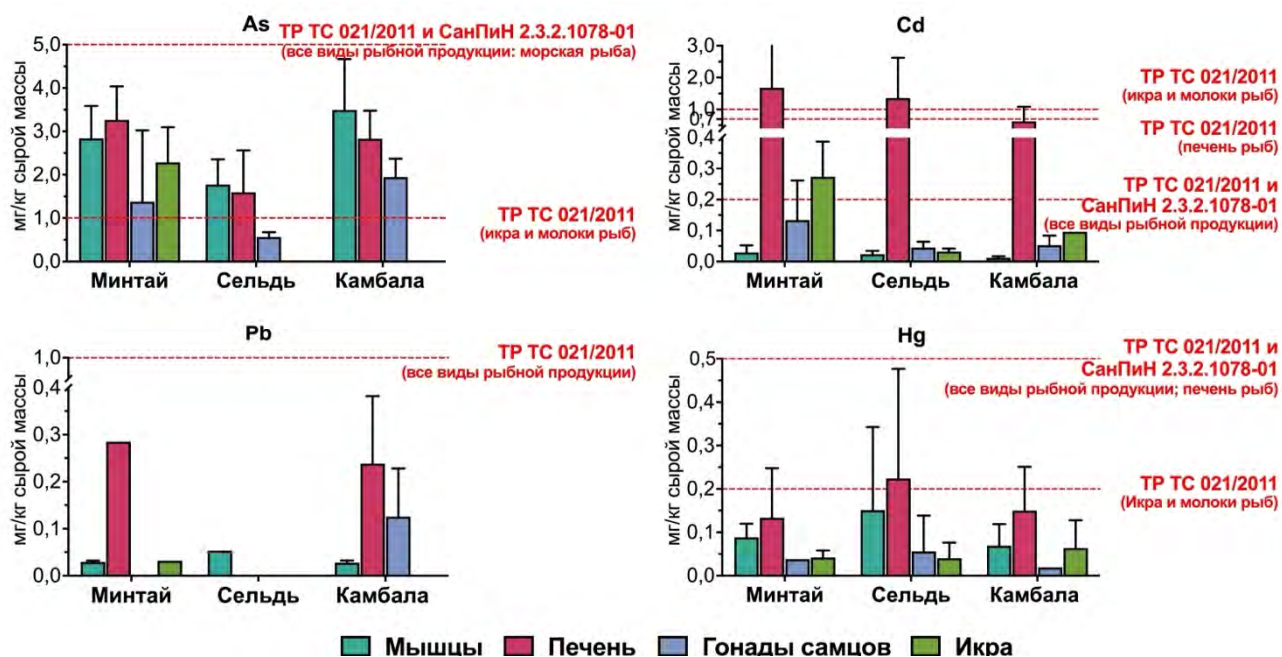


Рис. 1. Содержание As, Cd, Pb и Hg в органах промысловых рыб Охотского моря, мг/кг сырой массы

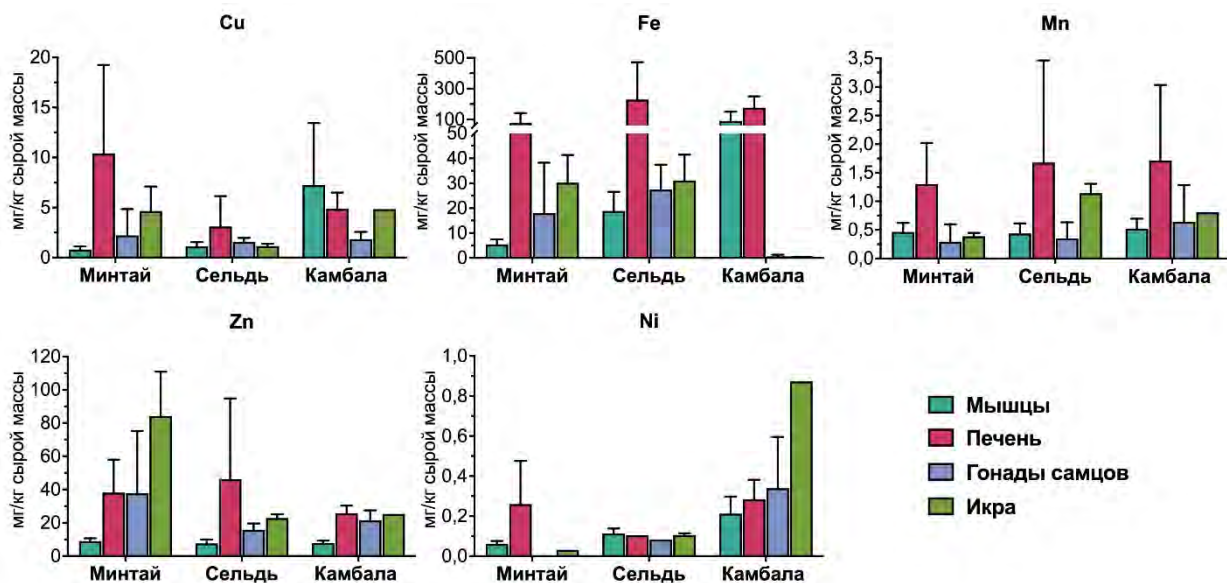


Рис. 2. Содержание Cu, Mn, Fe, Ni и Zn в органах промысловых рыб Охотского моря, мг/кг сырой массы

Содержание токсичных металлов во всех съедобных органах и тканях тихоокеанской сельди позволяет судить о полной безопасности тихоокеанской сельди, как пищевого объекта (рис. 1). Относительно нормативных требований, в печени сельди отмечали повышенные уровни кадмия ($1,36 \pm 1,26$ мг/кг), однако этот внутренний орган в пищу не употребляется.

Содержание Zn, Cu, Ni, Mn, Fe в органах и тканях минтая, сельди и желтоперой камбалы представлено на рисунке 2.

Если содержание Zn в мышцах и печени минтая и сельди вполне сопоставимо, то гонады самцов минтая содержат в 2, а икра – в 4 раза больше Zn, чем соответствующие органы сельди. Уровни Cu в мышечной массе минтая и сельди различаются незначительно, а в печени, икре и семенниках минтая превышают соответствующие значения у сельди более чем в три раза (рис. 2). Уровни никеля, свидетеля судоходства, в органах и тканях минтая, превышали соответствующие значения у сельди, также свидетельствуя об активном судоходстве в районе.

Mn распределен в органах и тканях сельди и минтая довольно ровно. Количество Fe в генеративных органах сельди и минтая практически соответствует друг другу, но его содержание в мышцах и печени сельди более чем в три раза выше, чем у минтая (рис. 2).

На микроэлементном составе желтоперой камбалы отразились ее биолого-экологические особенности. Если уровни содержания в органах и тканях камбал эссенциальных элементов (Zn, Cu и Mn) и Ni вполне соотносятся с соответствующими значениями пелагических рыб (минтая и сельди), то высокие уровни железа обусловлены обитанием в бентали прибрежной зоны зал. Анива и близостью впадения крупных рек Лютюга и Таранай (рис. 2). Уровни токсичных элементов во всех органах камбал не достигают ДУ, установленных нормирующими документами РФ (рис. 1). Однако, в некоторых наших образцах (мышцы), уровень As был превышен.

По литературным данным, в мышцах палтусовидной камбалы из Охотского моря отмечались меньшие уровни мышьяка ($0,93\text{--}4,0$ (в среднем $2,72$ мг/кг сырой массы)), по сравнению с нашими данными. Однако, авторы также отмечали у единичных камбал превышение содержания ДУ, что подтверждают наши данные. Предположительно, это вызвано длительным токсическим воздействием мышьяка, попадающего в организм камбал по пищевой цепи. По остальным нормируемым элементам, мышечная масса камбал не вызывает опасений.

Заключение

В мышечной массе минтая, сельди и желтоперой камбалы содержание Pb, Hg, As и Cd не превышает значений, допустимых СанПиН и ТР [1, 2], однако в печени минтая содержится более чем в два раза превышающие допустимые уровни ($0,7$ мг/кг) уровни Cd – $1,68 \pm 1,32$ мг/кг, что свидетельствует о необходимости регулярного мониторинга. Уровни содержания Zn, Cu и Mn и Ni в тканях трех видов рыб, в основном, зависят от специфики районов нагула и миграций и видовых экологических особенностей.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда
№ 23-74-10032.*

Литература

1. О безопасности пищевой продукции Технический Регламент таможенного союза (ТР ТС 021/2011) утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880.
2. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – М. : Госкомсанэпиднадзор РФ, 2002. – 156 с.

УДК 550.42:556.55 (571.56)

ТРОСТНИК В ГОРОДСКИХ ОЗЕРАХ КАК НАКОПИТЕЛЬ СВИНЦА

В.Н. Макаров

Института мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН
vnmakarov@mpi.ysn.ru

REED IN URBAN LAKES AS A LEAD ACCUMULATOR

V.N. Makarov

P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, E-mail: vnmakarov@mpi.ysn.ru

Аннотация. Представлены результаты изучения накопления свинца в тростнике обыкновенном городских озер. Корни и стебли тростника обладают высокой поглощающей способностью к растворенному в воде и накопившемуся в донных отложениях свинцу. Накопление свинца в корневой системе почти на порядок превышает его содержание в надземной фитомассе. Биологическая активность тростника, растущего в районе криолитозоны, снижается, но не прекращается в зимний период. Заросли тростника как естественный эколого-биогеохимический барьер можно использовать как эффективное средство очистки загрязненной свинцом воды и донных отложений городских водоемов.

Тростник обыкновенный (*Phragmites communis*, syn. *P. australis*) или камыш (народн.) – высокое многолетнее прибрежно-водное травянистое растение. Развивает мощные, толстые и длинные (до 2 м) подземные (редко надземные) очень ветвистые корневища. Стебли прямые (соломина) до 1 см толщины, полые, гладкие, гибкие, от ветра не ломаются. Камыш влаголюбивое растение, широко распространенное на почвах с близким стоянием грунтовых вод. Камыш обычен по болотам, зарастающим озерам, заливным лугам, берегам рек и озер на богатых, часто засоленных почвах [2].

В Якутске и его пригородах насчитывается несколько десятков озер, берега которых зарастают камышом. Наиболее крупные из них: Сайсары, Белое, Хомустах и другие. Параметры некоторых крупных озер приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры крупных озер г. Якутска

Параметры озер	Ед. изм.	Хомустах	Белое	Сайсары	Хатын-Юрях
Площадь зеркала воды	км ²	0,238	0,670	0,490	0,255
Объем воды	м ³	460 000	1 936 000	1 300 000	280 000
Площадь водосбора	км ²	0,75	1,23	5,66	1,03
Глубина максимальная	м	3,1	6,5	6,0	3,0
Глубина средняя	м	1,94	2,89	2,65	1,1
Длина озера	км	1,05	1,3	1,4	5,2
Длина береговой линии	км	3,1	6,7	5,4	10,7
Ширина максимальная	км	0,31	1,28	0,47	0,16

В черте Якутска – на побережье почти всех городских каналов и озер распространены густые заросли камыша часто выше человеческого роста. На озере Сайсары даже проводятся ежегодные общегородские соревнования по кошению камышей – "Куулэй".

Характерной особенностью камышей, растущих в г. Якутске, в криолитозоне, является то, что их биологическая активность продолжается и в зимний период при температурах воды в городских озерах от +0,6 до +1,9 °С. Зимой продолжается активность корневой системы, так как температура донных отложений озер не опускается ниже +2,1 °С и корневища камыша не отмирают (табл. 2).

Таблица 2. Температура придонной воды и донных отложений озер

Озеро	Вода, донные отложения	Глубина, м	t, °C	Источник
Бытк-Кюель	Вода	2,0	+1,9	по данным В.В.Куницкого,
	Ил (илистый суглинок) темно-серый, с горизонтальной и волнистой слоистостью за счет прослоев песка, озерный, талый	3,0	+3,2	
		4,0	+3,8	
Теплое	Вода	3,0	+1,6	И.В. Дорофеева, И.И. Сыромят-никова
	Суглинок (ил) черный, с тонкими (0,5–2,5 см) прослоями песка и сильным гнилостным запахом, талый	4,0	+2,1	
	Супесь темно-серая, тяжелая, с тонкими (0,3–3 см) прослоями мелкого песка, талая	5,0	+2,4	
Сергелях	Вода	2,0	+0,6	
	Суглинок коричневый, пластичный, талый	3,0	+2,5	
	Супесь темно-серая, легкая, слабо заиленная, с небольшими (до 8–10 см) прослоями коричневого суглинка, талая	4,0	+3,3	
Сайсар	Вода (ноябрь-март)	5,0	+2,2...+3,2	[10]

По сравнению с кларковыми содержаниями микроэлементов в растительности суши, камыши Якутска интенсивно накапливают халькофильный Pb, Среднее содержание которого в камышах г. Якутска на порядок выше, чем в растениях суши (табл. 3).

Таблица 3. Кларк Pb в растениях и среднее содержание в камышах Якутска, мг/кг

Растения суши [5, 11]	Кларк наземных растений [1, 3, 4]	Камыш в озерах Якутска
2,7	2,7	26,3

Аномальное содержание Pb в камыше можно объяснить техногенным обогащением донных отложений городских озер, в которых концентрация этого металла значительно превосходит кларк осадочных пород (КОП). Наблюдается существенная неравномерность распределения Pb в надземной и подземной фитомассе камыша (табл. 4).

Таблица 4. Содержание Pb в корнях и стеблях тростника, мг/кг

Корни (n=19)			Стебли (n=18)			Корни/ Стебли
Среднее	Миним.	Максим.	Среднее	Миним.	Максим.	
35	7	150	5,2	2	20	6,7

Накопление Pb в корневой системе почти в 7 раз превышает их содержание в надземной фитомассе. Максимальное накопление в корневой системе наблюдается также для Ga, Co, V и Cr среднее содержание которых в корнях в 4–9 раз превышает их значение в стеблях камыша. Для Pb и группы химических элементов, концентрирующихся в донных отложениях городских озер, характерна энергичная и сильная (P, Mn, Zn, B, Mo, Cu, Pb) и средняя (Ga, Sn, Cr, Ni) интенсивность биологического поглощения. Большинство перечисленных элементов являются приоритетными загрязнителями донных отложений.

Важно отметить, что биологическое концентрирование в корнях камышей элементов-загрязнителей озерных экосистем, способствует захоронению загрязняющих веществ в донных отложениях, предотвращая их вторичное поступление в воду.

Практически все городские озера по критериям оценки химического загрязнения поверхностных вод оцениваются как относительно удовлетворительные по концентрации химических веществ 1–2 классов опасности [6]. Некоторые озера по присутствию соединений 3–4 классов опасности в воде, соответствуют зонам чрезвычайной экологической ситуации и даже экологического бедствия [7].

Корневая и надземная системы камышей способны концентрировать большинство микроэлементов накапливающихся в озерных водах, при большей поглощающей способности корней.

Повышение концентрации микроэлементов (Pb, Mn, Cu, Zn, Co, Mo) в воде озер в 4–10 раз сопровождается увеличением содержания этих элементов в камыше: в корнях в 1,5–3 раза, в стеблях – для большей части компонентов в 1,5–2.

Максимальное синхронное повышение концентрации в воде озер и стеблях камыша наблюдается у свинца – в 6 раз. Возможно, что аномальная контрастность превышения концентрации этого элемента в стеблях над корнями камыша, обусловлена интенсивным поглощением Pb из газообразной фазы. В приземной атмосфере центральной части города концентрация аэрозолей свинца достигает 580 нг/м³, около 2 ПДК [8].

Важным является вопрос о максимальном количестве металлов, накапливаемых водными растениями в условиях сильного загрязнения сточных вод. Имеющиеся в литературе сведения противоречивы и существенно отличаются друг от друга. Наиболее надежные данные по максимальному количеству металлов, накапливаемых водными растениями, были получены J. Jackson с соавторами [12]. Приведенные этим исследователем сведения близки показателям большинства элементов в корневой системе камышей г. Якутска (табл. 5). Исключение кобальт и никель, концентрация которых в озерах города незначительна.

Таблица 5. Максимальные количества Pb, накапливаемых водными растениями за вегетационный период (мг/кг сухой массы)

Pb	Растения	Источник
580	Водные растения	[12]
150	Камыш, корни	Автор
20	Камыш, стебли	

Для обезвреживания сточных вод [9, 11] предлагается использовать болотные системы, как естественные эколого-геохимические барьерные зоны. В процессе использования биотехнологического способа очистки стоков важное значение имеет выбор растений, которые должны обладать высокой поглощающей способностью, устойчивостью к гидрохимическому и гидрологическому режиму, а также широкой распространенностью в ландшафте. Полученные данные о поглощающей способности камыша (*Phragmites com.*) свидетельствуют об эффективности растения как очистителя загрязненных озерных систем (вода-донные) от свинца.

Литература

1. Виноградов, А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
2. Губанов И. А., Кисилева К.В., Новиков В.С. и др. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (*P. communis* Trin.) – Тростник обыкновенный, или южный // Иллюстрированный определитель растений Средней России : в 3 т. – М. : Издательство КМК, Институт технологических исследований, 2002. – Т. 1. Папоротники, хвощи, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные). – С. 285.
3. Добровольский В.В. Некоторые аспекты загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Биологическая роль микроэлементов. – М. : Наука, 1983. – С. 44–54.
4. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов // Редкие элементы. – М. : Экология, 1996. – Кн. 3: Редкие р-элементы. – 352 с.
5. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М. : Наука, 1974. – 299 с.
6. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М. : Мин-во. охраны окруж. среды РФ, 1992. – 48 с.

7. Макаров В.Н. Эколого-геохимический мониторинг окружающей среды города Якутска // Наука и образование. – 2013. – № 3(70). – С. 95–100.
8. Макаров В.Н., Слепцов А.Н., Левченко Г.П. Экогеохимия озерных систем Якутска // Материалы Международной конференции «Озера холодных регионов». – Якутск : Изд-во Якутского ун-та, 2000. – Ч.3: Гидрогеохимические вопросы. – С.117–125.
9. Пестриков С.В., Исаева О.Ю., Мустафин А.Г. и др. Обоснование эффективности эколого-геохимического барьера с высшими водными растениями для доочистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // Инженерная экология. – 2007. – № 2. – С. 21–28.
10. Пестрякова Л.А. Диатомовые комплексы озер Якутии. – Якутск : Изд-во ЯГУ, 2008. – 197 с.
11. Bowen H.J.M. Trace elements in biochemistry. – New York : Academic Press, 1966. – 241 p.
12. Jackson J.J., Rasmussen J.B., Petters R.H. et al. Empirical composition on aquatic macrophytes and their underlying sediments // Biogeochemistry. – 1991. – Vol. 12. – P. 71–86.

УДК 504.4.054; 504.4.06

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ВОДЫ ПНД 14.1:2:4.135-98 В ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

А.Ю. Озерский^{1,2}

¹ АО «Красноярская горно-геологическая компания», Красноярск, Россия

² АО "МОНИТЭК", Красноярск, Россия
ozerski@krasgeo.ru

ON THE USE OF THE WATER TEST METHOD PND 14.1:2:4.135-98 IN HYDROCHEMICAL RESEARCH OF THE ENVIRONMENT

A.Y. Ozerskiy^{1,2}

¹ JSC "Krasnoyarskaya Mining Geological Company", Krasnoyarsk, Russia

² JSC "MONITECK" Krasnoyarsk, Russia
ozerski@krasgeo.ru

Abstract. Рассматривается методика анализа водных проб ПНД 14.1:2:4.135-98 «Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой». Неправильная подготовка проб к анализу приводит к необоснованно завышенным концентрациям катионов. Рекомендуется считать метод неприемлемым для изучения химического состава вод в экологических исследованиях.

Введение

Изучение химического состава природных и техногенных вод является обязательным практически во всех видах работ и исследований по изучению объектов окружающей среды, в том числе при мониторинге поверхностных и подземных вод, научно-исследовательских работах, инженерных изысканиях, поисках и разведке полезных ископаемых.

К сожалению, при экологическом контроле выполняемые анализы основываются на некотором небольшом и не всегда обоснованном наборе компонентов, а полный химический (ионный) состав вод изучается редко.

Представление об ионном составе природных и, в том числе, подземных, вод было сформировано на основе титриметрического химического анализа. Этот анализ основан на положениях химической теории и дает объективные и достоверные анализы о концентрациях ионов, содержащихся в природных водах. В результатах этого анализа находит подтверждение теория об электронейтральности водных растворов и балансе катионов и анионов. Наличие баланса (равенства сумм эквивалентных масс анионов и катионов) служит надежным доказательством выявления в воде всех растворенных веществ и правильности выполненных анализов [1].

Однако, с 1990-х годов титриметрический метод анализа стал постепенно уступать место современным методам, основанным не на химических, а на физических процессах. В итоге в последние годы в отчетных документах стали появляться лабораторные результаты природных вод, вызывающие серьезные сомнения в их достоверности.

Современные исследователи водных объектов, по-видимому, не имеют представлений ни о методе анализов, ни о проверке результата через баланс анионов и катионов. Они слепо доверяются коммерческим лабораториям, которые оформили себе аттестаты, сертификаты и прочие документальные основания своей деятельности. При этом специалисты лабораторий, выдавших пользователю недостоверные протоколы результатов анализов, уверены, что они работают строго по нормативам и их данные правильны.

Рассмотрение недостоверных результатов показывает, что они проявляются в основном в аналитическом определении концентраций катионов и возникают при применении «Методи-

ки выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой» ПНД 14.1:2:4.135-98 [2], которая ниже именуется «Методика».

Использованные материалы и их интерпретация

Рассмотрение результатов химических анализов природных и техногенных вод входит в обязанности автора по месту работы, а также при его экспертной деятельности в сфере недропользования. Кроме этого, с результатами анализов обращаются за консультацией природопользователи. За 2020–2024 гг. были рассмотрены свыше 120 химических анализов воды, пробы которых были отобраны в самых разнообразных условиях и проанализированы различными лабораториями.

Лаборатории представляют результаты главных компонентов химического состава воды в мг/дм³. При проверке результатов нами проводился пересчет результатов в мг-экв/дм³, путем деления концентрации в мг/дм³ на эквивалентную массу соответствующего иона. После этого вычислялись и сравнивались суммы и баланс катионов и анионов. Если анализы катионов были выполнены по Методике ПНД 14.1:2:4.135-98 [2], суммы катионов примерно в трети проб значительно (в 1,5–2 и более раз) превышали суммы анионов, что говорило о некачественном анализе и о недостоверных результатах анализов. Погрешности анализов водных проб по балансу анионов и катионов были вычислены согласно «Методам анализа природных вод» [1, с. 40]. Для вод малой минерализации допустимой считается погрешность от ± 5 до $\pm 10\%$, а для вод повышенной минерализации – от ± 2 до $\pm 5\%$ [1].

Выявление причин наблюдаемого явления также потребовало изучения опубликованной методики анализа [2] и других нормативных документов.

Обсуждение результатов

В вводной части Методики [2] записано, что этот документ «устанавливает методику выполнения измерений (МВИ) массовой концентрации» 33 химических элементов «в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭ)».

На титульном листе документа написано прописными буквами, что методика представляет «количественный химический анализ вод», хотя, строго говоря, к химическим анализам данный метод не относится.

Методика утверждена Государственным комитетом Российской Федерации по охране окружающей среды (Госкомэкологией РФ) и «допущена для целей Государственного экологического контроля». Иных целей использования, по-видимому, Методика не предусматривает.

Наиболее существенные претензии вызывает методика подготовки водных проб. Во всех предусматриваемых случаях, в пробу воды «не содержащей заметных глазом взвешенных частиц, добавляют концентрированную азотную кислоту из расчета 2,0 см³ азотной кислоты на 100 см³ воды, раствор тщательно перемешивают и выдерживают не менее 2 ч». Таким образом, если в водной пробе химические элементы также находятся в форме коллоидов или нерастворенных взвешенных твердых частиц, добавление концентрированной азотной кислоты растворяет все формы химических элементов. В спектрографе анализируется не природная вода, а азотнокислый 0,5-молярный раствор элементов, не все из которых ранее находились в воде в форме растворенных веществ (ионов). Поэтому рассматриваемый метод показывает **валовые максимальные концентрации химических элементов**, находившихся в водной пробе в формах ионов, коллоидов и взвешенных частиц. В итоге возникает существенное повышение концентраций катионов, не соответствующее истинному содержанию растворенных веществ и ионному балансу растворов.

В приведенных ниже примерах, взятых из трех совершенно различных водных систем и проанализированных тремя различными лабораториями, суммы катионов в 1,7–2,4 раза выше

сумм анионов (таблица). При этом в двух примерах не определялись такие широко распространенные ионы как натрий и магний, то есть реальные суммы катионов существенно выше показанных. Погрешность анализов говорит о полной недостоверности результатов анализов.

Приведенных данных, с нашей точки зрения, вполне достаточно, чтобы считать Методику ПНД 14.1:2:4.135-98 абсолютно неприемлемой для анализа растворенных веществ в водной среде.

Таблица. Примеры ионных балансов в различных водных объектах при анализах катионов по методике ПНД 14.1:2:4.135-98, выполненных тремя различными лабораториями

Компоненты	Грунтовые воды в частной застройке, Красноярск		Подземные воды под полигоном бытовых отходов, Красноярск		Речные воды, р. Удorongа, Енисейский край	
	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	мг/дм ³	мг-экв/дм ³
Cl ⁻	44,5	1,25	200	5,6	0,88	0,025
NO ₃ ⁻	20,8	0,34	0	0	0	0
SO ₄ ²⁻	99	2,06	72	1,50	2,37	0,049
HCO ₃ ⁻	220,2	3,61	616	10,10	56,4	0,925
Сумма анионов	—	7,3	—	17,23	—	1,00
NH ₄ ⁺	0	0,0	0,37	0,02		
Fe общ	15,7	0,84	6,2	0,33	1,22	0,065
Ca ²⁺	149	7,4	436	21,8	37,67	1,880
Mg ²⁺	48,4	4,0	79	6,50	Не определяли	
Na ⁺	119	5,2	Не определяли		6,23	0,271
Сумма катионов	—	17,4	—	28,61	—	2,22
Погрешность, %		-41,2		-24,8		-37,9

Методика [2] разработана и утверждена «для целей Государственного экологического контроля» тем самым ведомством, которое и осуществляет этот контроль (сейчас это Росприроднадзор). Фискальный характер работы этого ведомства общеизвестен и для того, чтобы штрафы для наполнения бюджета были побольше, концентрации элементов должны быть повыше, благодаря фильтру «синяя лента».

Использование Методики ПНД 14.1:2:4.135-98 является неприемлемым для изучения химического (ионного) состава природных и техногенных вод при экологическом изучении водных объектов, так как результаты анализа не достоверны и не отражают ионный состав воды и баланс анионов и катионов. Завышенные концентрации катионов приводят к неверным оценкам величины загрязнения воды и необоснованно высоким платежам.

Методика ПНД 14.1:2:4.135-98 позволяет показывать валовые концентрации химических элементов, содержащихся в воде во всех формах: растворенной коллоидной и взвешенной твердой, но не концентрации ионов, так как масс-спектрометрический метод принципиально не может анализировать ионы.

Даже при фильтрации водных проб через мембранный фильтр 0,45 мкм, можно выразить сомнение в том, что данный анализ определит именно растворенные формы (ионы), а не другие формы присутствия элементов в воде,

Для гидрохимических исследований рекомендуется применять классические лабораторные методы, дающие достоверные результаты: титриметрический, пламенную фотометрию и др.

Литература

1. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод : изд. 3-е, переработ. и доп. – М. : Недра, 1970. – 488 с.
2. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. ПНД 14.1:2:4.135-98. Утв. Госкомэкологией РФ 25.06.1998 г. – М. : Госкомэкология России, 1998. – 27 с.

УДК 536.7

**ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЩЕЛОЧНЫХ ГРАНИТОВ
ЗАПАДНО-КЕЙВСКОГО МАССИВА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
ПРИРОДНЫХ ВОД**

С.И. Мазухина¹, В.А. Маслобоев¹, С.В. Мудрук², С.В. Дрогобужская³, А.В. Сафонов¹

¹*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН», Апатиты, Россия
simazukhina@mail.ru*

²*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия
s.mudruk@ksc.ru*

³*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева
КНЦ РАН», г. Апатиты, Россия
s.drogobuzhskaia@ksc.ru*

**INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF ALKALINE GRANITES
OF THE WESTERN KEIVY MASSIF ON THE CHEMICAL COMPOSITION
OF NATURAL WATERS**

S.I. Mazukhina¹, V.A. Masloboev¹, S.V. Mudruk², S.V. Drogobuzhskaya³, A.V. Safonov¹

¹*Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Apatity, Russia, simazukhina@mail.ru*

²*Geological institute KSC RAS, Apatity, Russia, s.mudruk@ksc.ru*

³*Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Apatity, Russia
s.drogobuzhskaia@ksc.ru*

Abstract. Работа посвящена изучению формирования химического состава вод в рамках системы "вода – порода" с помощью физико-химического моделирования (ПК Селектор). Постановка задачи вызвана обнаружением в питьевых водах (с. Краснощелье, с. Каневка) РЗЭ и высоким уровнем заболеваемости жителей Ловозерского района. Результаты исследования показали влияние химического состава гранитов Кейв на формирование химического состава природных вод, которые используются в питьевых целях людьми и животными. Концентрации Li, Sr, Y, La, Ce выше, чем концентрации этих же элементов водозабора «Центральный» (г. Кировск). Присутствие в питьевых поверхностных и колодезных водах РЗЭ при их постоянном употреблении может стать причиной заболеваний нервной системы и других органов. Результаты исследований могут быть использованы в областях геохимии, гидрологии, экологии, медицины.

Введение

Представленная работа является логическим продолжением изучения химического состава вод Ловозерского района Мурманской области, в котором проживает коренное население. Указанный район в разрезе городов и районов области является территорией риска, где фиксируется значительное превышение среднероссийских показателей заболеваемости мочекаменной болезнью, болезнями системы кровообращения, злокачественными новообразованиями и болезнями желудочно-кишечного тракта (язвой желудка и 12-п. кишки, гастритами, дуоденитами) [3]. Химические анализы питьевых вод Ловозерского района (с. Краснощелье) показали наличие РЗЭ, нитратов, высокое содержание лития, железа, что поставило вопрос о необходимости исследовать взаимодействие вода-порода и оценить влияние химического состава щелочных гранитов на формирование химического состава природных вод. Озера Ельское и Верхнееельское, а также приток Поноя, река Ельйок, находятся в непосредственной близости от одного из мест опробования щелочных гранитов с высокой концентрацией РЗЭ. Само озеро Ельское находится в 15 км к СВ от с. Краснощелье, а его воды, как и воды р. Ельйок впадают в р. Поной выше по течению от с. Краснощелье [4]. Цель данной работы – оценить влияние химического состава гранитов Кейв на химический состав природных вод с помощью физико-химического моделирования (ПК Селектор).

Материалы и методы

Химический состав щелочных гранитов, %: SiO₂ 73,42; ZrO₂ 0,92; Al₂O₃ 7,87; FeO 8,37; MnO 0,11; MgO 0,05; CaO 0,29; SrO 0,03; Zn 0,07; Li₂O 0,01; Na₂O 2,81; K₂O 3,76; P₂O₅ 0,02; F⁻ 0,04; Cl⁻ 0,12; ppm ; La 644 : Ce 1423; Pr 155 : Nd 556: Y 586 [4].

Основной метод исследования – метод физико-химического моделирования (ПК Селектор), разработанный в Институте геохимии (г. Иркутск) [2]. Используемая модель представлена в [3]. Граничными условиями модели являются: количество воды (1000 кг), 100 кг атмосферы, температура 5 °C, 100 г породы щелочных гранитов.

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлены результаты моделирования взаимодействия вода-порода в зависимости от степени взаимодействия (ξ), что соответствует изменению содержания породы в системе от 0,1 до 100 г, и формы миграции некоторых элементов.

Таблица 1. Результаты моделирования форм миграции элементов ($T\ 5\ ^\circ\text{C}$, $P\ 1\ \text{бар}$)

ξ	La ³⁺	LaCO ₃ ⁺	LaF ²⁺	LaHCO ₃ ²⁺	LaOH ²⁺	LaSO ₄ ⁺
3,0	1,61E-06	1,56E-09	1,26E-11	5,22E-10	1,51E-10	1,20E-11
2,0	6,60E-06	1,21E-08	5,11E-10	2,95E-09	8,55E-10	4,87E-10
1,0	6,21E-05	2,94E-06	4,77E-08	1,40E-07	4,11E-08	4,48E-08
0,6	1,35E-04	3,73E-05	2,57E-07	7,22E-07	2,18E-07	2,39E-07
0,2	1,80E-04	3,19E-04	8,49E-07	2,35E-06	7,58E-07	7,77E-07
0	1,51E-04	6,99E-04	1,09E-06	3,08E-06	1,06E-06	1,01E-06
ξ	Ce ³⁺	CeCO ₃ ⁺	CeF ²⁺	CeHCO ₃ ²⁺	CeOH ²⁺	CeSO ₄ ⁺
3,0	2,31E-06	4,56E-09	4,69E-11	6,05E-10	3,65E-10	1,71E-11
2,0	1,43E-05	5,37E-08	2,87E-09	5,16E-09	3,12E-09	1,05E-09
1,0	1,33E-04	1,28E-05	2,63E-07	2,40E-07	1,47E-07	9,51E-08
0,6	2,54E-04	1,44E-04	1,26E-06	1,10E-06	6,89E-07	4,49E-07
0,2	2,52E-04	9,13E-04	3,08E-06	2,66E-06	1,78E-06	1,08E-06
0	1,86E-04	1,76E-03	3,48E-06	3,06E-06	2,19E-06	1,24E-06
ξ	Nd ³⁺	NdCO ₃ ⁺	NdF ²⁺	NdHCO ₃ ²⁺	NdOH ²⁺	NdSO ₄ ⁺
3,0	1,62E-06	6,47E-09	4,57E-11	3,46E-10	5,25E-10	1,13E-11
2,0	5,71E-06	4,34E-08	1,59E-09	1,68E-09	2,55E-09	3,98E-10
1,0	4,86E-05	9,51E-06	1,34E-07	7,18E-08	1,11E-07	3,30E-08
0,6	7,66E-05	8,77E-05	5,26E-07	2,70E-07	4,26E-07	1,28E-07
0,2	5,64E-05	4,14E-04	9,60E-07	4,86E-07	8,19E-07	2,30E-07
0	3,81E-05	7,30E-04	9,93E-07	5,12E-07	9,24E-07	2,41E-07
ξ	Pr ³⁺	PrCO ₃ ⁺	PrF ²⁺	PrHCO ₃ ²⁺	Li ⁺	Sr ²⁺
3,0	1,52E-06	4,28E-09	3,01E-11	7,45E-10	3,12E-06	2,31E-05
2,0	1,79E-06	9,55E-09	3,48E-10	1,20E-09	3,11E-05	2,28E-04
1,0	1,41E-05	1,94E-06	2,71E-08	4,76E-08	3,11E-04	2,28E-03
0,6	2,47E-05	1,99E-05	1,18E-07	1,99E-07	7,82E-04	5,73E-03
0,2	2,10E-05	1,08E-04	2,50E-07	4,15E-07	1,96E-03	1,44E-02
0	1,47E-05	1,99E-04	2,69E-07	4,54E-07	3,11E-03	2,28E-02
ξ	HZrO ₃ ⁻	ZrO ²⁺	ZrO ₂	Y ³⁺	YOH ²⁺	pH
3,0	8,96E-05	1,02E-06	8,40E-04	7,88E-07	8,92E-10	5,635
2,0	1,20E-03	5,19E-06	8,14E-03	5,88E-06	9,18E-09	5,776
1,0	4,20E-02	1,33E-06	5,51E-02	5,82E-05	4,63E-07	6,488
0,6	1,64E-01	3,48E-07	8,71E-02	1,45E-04	2,82E-06	6,880
0,2	5,38E-01	6,24E-08	1,08E-01	3,54E-04	1,80E-05	7,302
0	9,22E-01	2,25E-08	1,10E-01	5,46E-04	4,63E-05	7,529

Концентрации элементов, представленные в таблице, сопоставимы с результатами мониторинга (река Поной, с. Краснощелье) [3], мг/л: Li – 0,0032, Sr – 0,017, Zr – 0,00018, La – 0,00031, Ce 0,00042, Y – 0,00037, Nd – 0,00033, Pr – 0,00006. Кроме того они выше, чем концентрации этих же элементов водозабора «Центральный» (г. Кировск). Изменение состава новообразованных фаз, %: FeO(OH) от 98,72 до 87,72 ($3 < \xi < 2$) и FeO(OH) от 22,76 до 12,71 ($1 < \xi < 0$); SiO₂ от 71,77 до 84,17 ($1 < \xi < 0$); алюмосиликаты от 9,11 до 2,93 ($3 < \xi < 0$); MnO₂ от 1,27 до 0,17 ($3 < \xi < 0$). Аналогичные элементы в сопоставимых концентрациях обнаружены в водных пробах руч. Самаркин Сихотэ-Алинского государственного природного заповедника и с тем же перечнем новообразованных фаз в результате моделирования системы «вода – порода» [1]. Результаты моделирования демонстрируют большие миграционные способности элементов (лантаноиды), что приводит к возможности преодоления естественных биологических барьеров организма, в частности гематоэнцефалического. Об этом свидетельствуют результаты по изучению распределения химических элементов в составе органов и тканей живых организмов территории Сихотэ-Алиня [1].

Заключение

Результаты исследования позволили оценить влияние *химического* состава гранитов Кейв с повышенным содержанием РЗЭ на химический состав природных вод, которые используются в питьевых целях людьми и животными. Присутствие в питьевых поверхностных и колодезных водах редкоземельных элементов при их постоянном употреблении может стать причиной заболеваний нервной системы и других органов. Наличие РЗЭ в поверхностных природных и питьевых водах установлено в других поселениях Ловозерского района. Результаты исследований могут быть использованы в областях геохимии, гидрологии, экологии, медицины.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 24-17-00114
«Оценка химического состояния природных и питьевых вод
Мурманской области, форм миграции, влияние на элементный
статус жителей».*

Литература

1. Барановская Н.В., Мазухина С.И., Паничев А.М. и др. Особенности миграции химических элементов в природных водах и их отложения в виде минеральных новообразований в живых организмах (физико-химическое моделирование с верификацией на животных) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 2. – С. 187–201. – doi: 10.18799/24131830/2024/2/445.
2. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск : Гео, 2010. – 287 с
3. Mazukhina S., Drogobuzhskaya S., Masloboev V. et al. Forms of migration of elements in natural and drinking waters in village Krasnoshchelye (Lovozero district, the Kola Peninsula) and human health risk assessmen. – 2024. – doi: 10.20944/preprints202412.0876.v1.
4. Mikhailova J.A., Pakhomovsky Y.A., Ivanyuk G.Y. et al. REE mineralogy and geochemistry of the Western Keivy peralkaline granite massif, Kola Peninsula, Russia // Ore Geology Reviews. – 2017. – Vol. 82. – P. 181–197. – doi: 10.1016/j.oregeorev.2016.11.006.

УДК 678.5 : 504.064.45

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИММОБИЛИЗАЦИИ АКТИВНОГО ИЛА НА БИОРАЗЛАГАЕМОМ НОСИТЕЛЕ ИЗ ПЛАСТМАССЫ PLA

А.В. Перемотина¹, Л.В. Рудакова²

*1Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия
peremotina2016@yandex.ru*

*2Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия
larisa.rudakova.007@gmail.com*

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ACTIVATED SLUDGE IMMOBILIZATION ON A BIODEGRADABLE PLASTIC CARRIER

A.V. Peremotina¹, L.V. Rudakova²

*1Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
peremotina2016@yandex.ru*

*2Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
larisa.rudakova.007@gmail.com*

Abstract. Целью работы является изучение иммобилизационной способности новых биоразлагаемых материалов из пластмассы PLA на основе крахмала и полимолочной кислоты по отношению к биоценозу активного ила. Объектом исследования выбран модельный образец носителя из PLA-пластика для закрепления биомассы в технологии очистки сточных вод. Основные задачи исследования заключались в разработке формы для печати образца носителя, иммобилизации биомассы активного ила на носителе, в анализе эффективности прикрепления биомассы активного ила к носителю и обосновании инертности носителя для микроорганизмов активного ила. Образцы носителя за 72 часа иммобилизации показали прирост биомассы на 5–12%. Структуру биоценоза и состояние микроорганизмов АИ после фиксации оценивали методом микроскопирования.

Введение

В связи с растущим антропогенным воздействием увеличивается загрязнение природных объектов. Основные источники загрязнения водных компонентов биосферы – сбросы неочищенных производственных и бытовых сточных вод. [2–3]. Одним из самых распространенных способов удаления органических загрязнений из сточных вод является биохимическая очистка с помощью активного ила (АИ).

Традиционно при биологической очистке сточные воды обрабатывают суспензией АИ (свободноплавающим илом), что не всегда позволяет обеспечить требуемую эффективность очистки и требует утилизации большого количества избыточного АИ [4].

Для повышения эффективности биологической очистки сточных вод и снижения образующейся избыточной биомассы активного ила применяется иммобилизация микроорганизмов АИ. Однако материалы, используемые для производства носителей биомассы, имеют ряд недостатков: низкая адсорбционная способность, дороговизна, недолговечность, повышенные эксплуатационные требования, которые влекут за собой дополнительные эксплуатационные затраты [1].

Разработка и внедрение новых материалов для иммобилизации АИ является перспективным направлением в очистке сточных вод. В работе в качестве носителей микрофлоры предлагается использовать полилактид (полимер молочной кислоты, ПМК, PLA) – биоразлагаемый биополимер на основе крахмала и полимолочной кислоты, что позволит создать альтернативу полиэтилену и полипропилену, повысить концентрацию ила в аэротенках относительно свободноплавающего биоценоза, проводить воздушную регенерацию носителей.

Цель работы – иммобилизация микроорганизмов активного ила на биоразлагаемом носителе

в технологии очистки сточных вод, направленная на повышение эффективности очистки нефтесодержащих сточных вод.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись модели носителя из полилактида – алифатического полиэфира, который производится из натурального, дешевого, быстро возобновляемого материала [3–4] и подходит для изготовления одноразовой биоразлагаемой экипосуды, экиупаковки и экиологичных столовых приборов.

По результатам анализа литературных источников и аналогов загрузки, используемых в системах биологической очистки сточных вод, в качестве формы носителя выбран полый цилиндр с 8 перегородками, выходящими из центра [1, 3]. Такая форма при обрастании биопленкой хорошо пропускает сточные воды и хорошо их очищает за счет большой площади поверхности обрастания. Модель создана в программе САПР Компас-3D и напечатана на 3D принтере Flying Bear Ghost6 (рис. 1).

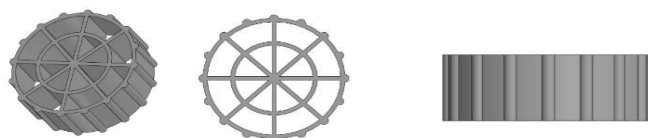


Рис. 1. 3D-модель носителя

Для исследования выбраны модели с диаметром $D = 1, 3$ и 4 см, так как по литературным данным они являются оптимальными для биоагрузки в аэротенке.

Таблица 1. Площадь поверхности модели образца в зависимости от диаметра

Диаметр модели (D), см	Площадь поверхности модели (S), мм ²
1	2676,5
3	11446,9
4	14248,6

Физические свойства изучаемых материалов определены в соответствии с утвержденными методиками. Плотность и механические свойства (показатель адгезии) материала биоагрузок определяли по ГОСТ 15139-69. Определение пористости проводили по стандартной методике расчета через массы образца в насыщенном водой и сухом состоянии.

В работе использовали АИ, имеющий иловый индекс $95 \text{ см}^3/1 \text{ г}$ ила и массовую концентрацию $5,2 \text{ г/дм}^3$. Гидрохимические показатели проб АИ определяли по «Методике определения массовой концентрации активного ила» ФР 1.31.2008.04397. Для определения иммобилизационной способности носителя была использована лабораторная модель аэротенка, представляющая собой емкость объемом 1 дм^3 , заполненную на 10% полезного объема суспензией активного ила и на 20% образцами плавающей загрузки. Иммобилизация проводилась в условиях аэрации в течение 72, 144, 216 и 288 ч. Оценку эффективности иммобилизации проводили путем высушивания образца с иммобилизованной биомассой до постоянного веса.

Для оценки видового разнообразия иммобилизованных микроорганизмов использовали метод микроскопирования образцов с использованием микроскопа Zeiss Axiolab (x600), определители «Рекомендации по проведению гидробиологического контроля на сооружениях биологической очистки» (2004), «Атлас Академии наук СССР «Фауна аэротенков» (1984). Прирост биомассы АИ определяли весовым методом с использованием аналитических весов.

Результаты и их обсуждение

Результаты оценки физических и механических свойств материала-носителя представлены в таблице 2.

Таблица 2. Морфологические характеристики материалов-носителей

Показатель	Модель-носитель
Пористость, %	60 ± 0,02
Адгезия	98 ± 0,02
Плотность, кг/мз	410 ± 0,03

Результаты гидробиологического контроля показали, что иммобилизованный АИ визуализируется как хорошо сформированный плотный хлопок бактериальной слизи. Биоценоз АИ представлен основными группами таких организмов, как прикрепленные инфузории, колдовратки, тихоходки, нематоды, раковинные амебы, нитчатые бактерии и др. Отмечено значительное количество живых подвижных микроорганизмов, отчетливо видна микробная слизь. Результаты гидробиологического контроля АИ согласуются с известными данными [3]. Микроорганизмы АИ с материала-носителя представлены на рисунке 2.

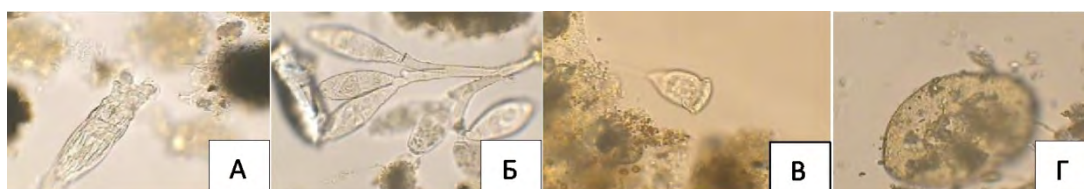


Рис. 2. Биоценоз иммобилизованного АИ (x600): А – *Rotifera* sp. (коловратка); Б – *Epistylis* sp. (сидячие инфузории); В – *Vorticella* sp. (сувойки); Г – раковинные амебы

Заключение

На основании анализа полученных результатов об эффективности иммобилизации биоценоза АИ можно утверждать, что материал безопасен и нетоксичен для микроорганизмов. Представляют интерес дальнейшие исследования по изучению биообрастания, разложения модели образца и родство материала-носителя с внеклеточным матриксом активного ила.

Литература

1. Chernysh Y., Plyatsuk L. The carrier development for biofilms on the basis of technogenic wastes for pollutants treatment in the environmental protection technologies // Ivanov V. et al. Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2019 : Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham : Springer, 2019. – P. 422–432.
2. Долженко Л.А. Иммобилизация активного ила на носителях биореактора в условиях нитрификации и денитрификации // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – № 4. – С. 150–157.
3. Маркевич Р.М., Гребенчикова И.А., Роденко А.В. и др. Особенности биоценоза активного ила, находящегося в свободном состоянии и иммобилизованного на полимерном носителе // Труды БГТУ. – 2013. – № 4. – С. 219–223.
4. Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Шелкунова М.В. и др. Модификация полиэтилена микроцеллюлозой для повышения его иммобилизационной способности // Вестник ВГУ. – 2018. – № 3. – С. 23–29.

УДК 556.551

СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМАХ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Р. Сибиркина¹, С.Ф. Лихачев¹, О.Н. Мулюкова¹, А.В. Савченков¹,
С.А. Колмакова², М.А. Фролова², М.А. Савченкова³

¹Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск, Россия
sibirkina_alfira@mail.ru

²Средняя образовательная школа г. Челябинска №32, Челябинск, Россия

³Средняя образовательная школа г. Челябинска №138, Челябинск, Россия

THE CONTENT OF HEAVY METAL IONS IN SOME RESERVOIRS OF THE CHELYABINSK REGION

A.R. Sibirkina¹, S.F. Likhachev¹, O.N. Mulyukova¹, A.V. Savchenkov¹,
S.A. Kolmakova², M.A. Frolova², M.A. Savchenkova³

¹Yuzhno-Uralsky State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia
sibirkina_alfira@mail.ru

²Secondary educational school of Chelyabinsk No. 32, Chelyabinsk, Russia

³Secondary educational school of Chelyabinsk No. 138, Chelyabinsk, Russia

Abstract: В работе представлен анализ содержания ионов тяжелых металлов в водоемах Челябинской области на примере озер Тургояк, Б. Еланчик и Аргазинского водохранилища. Представлена морфологическая характеристика водоемов и описано их географическое положение. Дана оценка качества воды водоемов по содержанию ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} и Pb^{2+} в 2024 г.

В Челябинской области более 3 тыс. озер и более 3,5 тыс. рек, тем не менее область является одной из наименее обеспеченных водными ресурсами областей РФ, так как до 80 % озер и 90 % рек области являются малыми [1]. Решением Исполнительного комитета Челябинского областного Совета народных депутатов № 29 «Об охране памятников природы в области» от 21.01.1969 г. [2–5], озера Тургояк и Б. Еланчик, Аргазинское водохранилище и др., для обеспечения стабильности условий окружающей среды и развитие экотуризма, получили статус гидрологических памятников природы.

Исследуемые водоемы используются в рекреации. Ценными источниками пресной воды являются Аргазинское водохранилище в каскаде с Шершневским и озеро Тургояк, из которого в засушливые 1935–1936 и 1973–1974 гг. перебрасывали воду в Аргазинское водохранилище [6], [7]. На состав воды оказывают влияние близко расположенные населенные пункты и промышленные центры: оз. Б. Еланчик находится в 10 км южнее Чебаркуля и в 90 км к запад от Челябинска; Аргазинское водохранилище – в 4 км от г. Карабаш [6]; оз. Тургояк – у северо-западной окраины г. Миасс и в 120 км от Челябинска [8], в 46 км с северо-восточной стороны от озера расположен г. Карабаш, с восточной стороны – пос. Тургояк, известный с 1761 г. как железный рудник Златоустовских заводов.

Контрольные точки отбора проб определяли в соответствии с ГОСТ 7.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. Исследованные водоемы являются ООПТ и относятся к IV категории контроля. Отбор проб воды производили в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020 (издание с изменением N 1) «Вода. Общие требования к отбору проб», пробы воды отбирали батометром с глубины 5 м в объеме 1 дм³. Пункты контроля на водоемах были установлены с учетом гидрометеорологических и морфометрических особенностей, и с учетом расположения источников возможного загрязнения. Отбор проб осуществляли в сентябре – в период летне-осенней межени. Гидрохимический анализ проводили в соответствии с «Федеральным перечнем методик выполнения измерений, допу-

щенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды» (РД 52.18.595-96). Измерение содержания металлов проводили в аккредитованном центре ООО «Уральская комплексная лаборатория промышленного и гражданского строительства». В работе применяли ПНД Ф 14.1:2:4.135-98, который устанавливает методику выполнения измерений массовой концентрации Cu, Zn, Pb и других элементов в пробах природных вод методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Методика позволяет проводить измерения содержания элемента в растворе анализируемой пробы без разбавления в следующих диапазонах: Cu – от 0,0010 до 50 мг/дм³, Zn – от 0,0050 до 50 мг/дм³, Pb – 0,0010 до 10 мг/дм³, а учитывая, что исследуемые водоемы относятся к IV категории контроля, анализ проводили в пробе без разбавления.

Особую опасность для водных экосистем представляют соединения тяжелых металлов (ТМ) [9]. Информация о содержании ионов Cu²⁺, Zn²⁺ и Pb²⁺ в исследуемых водоемах представлена в таблице 1.

Таблица 1. Содержание Cu²⁺, Zn²⁺ и Pb²⁺ в воде озера Б. Еланчик, озера Тургояк и Аргазинского водохранилища, сентябрь 2024 г., мг/дм³

Ионы	Б. Еланчик	Тургояк	Аргазинское вдхр.	ПДК _{рыб. хоз.}
Cu ²⁺	0,0086±0,0038 0,0052–0,0140	0,0068±0,0040 0,0080–0,0140	0,0124±0,0050 0,0110–0,0140	Не более 0,0010
Zn ²⁺	0,0273±0,0095 0,010–0,048	0,0159±0,0021 < 0,0050–0,0570	0,0225±0,0022 < 0,0050–0,0900	Не более 0,0100
Pb ²⁺	0,0029 ±0,0011 < 0,0010-0,0052	0,0108±0,0046 0,0049–0,0170	0,0033±0,0011 < 0,0010–0,0100	Не более 0,0060

Cu и Zn являются эссенциальными элементами, участвуют в процессах роста, развития и репродукции, но в концентрациях, превышающих ПДК, становятся биологически опасными [9]. Среднее содержание Cu²⁺ в воде составило: оз. Б. Еланчик – 0,0086 мг/дм³ (от 0,0052 до 0,0140 мг/дм³); оз. Тургояк – 0,0068 мг/дм³ (от 0,0080 до 0,0140 мг/дм³); Аргазинского водохранилища – 0,0124 мг/дм³ (от 0,0110 до 0,0140 мг/дм³). Во всех пробах трех водоемов обнаруженные концентрации Cu²⁺ превышают ПДК, но вписываются в границы, характерные для природных вод Урала, – от 0,0010 до 0,0900 мг/дм³. Cu – жизненно важный элемент для организма человека, его физиологическая активность связана с включением в состав активных центров окислительно-восстановительных ферментов. В то же время Cu относится к группе высокотоксичных металлов, способных вызывать острое отравление, высокая гепатотоксичность связана со способностью повышать проницаемость мембран митохондрий [10, 11]. Повышенные, но не летальные концентрации Cu способны стимулировать рост сине-зеленых водорослей в водоеме, тем самым вызывают «цветение» водоема.

Ионы Zn²⁺ в уральских озерах встречаются гораздо реже, чем Cu²⁺ [12]. Zn – активный микроэлемент, влияющий на рост и нормальное развитие организмов, мало токсичен для теплокровных, но при высоких концентрациях приводит к повреждениям жабр и удушью рыб, его токсичность усиливается при наличии в воде Cu²⁺, а также дефиците кислорода [13]. В исследованных водоемах кислородный режим благополучен – от 7,85 до 9,23 мг/дм³, pH воды в оз. Б. Еланчик – от 7,0 до 8,0; в оз. Тургояк – от 7,2, до 7,90, в Аргазинском водохранилище – от 8,07 до 8,39, а в нейтральной и щелочной воде Zn малотоксичен, так как находится в малорастворимой форме гидроксидов [11]. Среднее содержание Zn²⁺ в воде оз. Б. Еланчик – 0,0273 (0,010–0,048 мг/дм³); оз. Тургояк – 0,0159 (< 0,0050–0,0570 мг/дм³); Аргазинского водохранилища – 0,0225 (< 0,0050–0,0900 мг/дм³), в 90 % случаев во всех трех водоемах концентрации Zn²⁺ превышали ПДК. Уровень содержания ионов металлов в воде определяется природными факторами, например, колчеданными месторождениями уральского типа с медно-цинковыми рудами, и техногенным привносом из района г. Карабаша, который при-

знан зоной экологического бедствия (заключение Государственной экологической экспертизы от 11.06.1996 г.), в 2020 г. «Русская медная компания» разработала проекты рекультивации территории Карабаша. С 26 по 29 июля 2024 г. из-за очень сильных дождей, в реках области наблюдалась сложная гидрологическая обстановка, наблюдалось резкое поднятие уровня воды, отмеченный общий подъем уровней воды был в пределах от 0,7 до 3,0 м [14], произошел смыл с прилегающих территорий водосборной площади. Поверхностный сток перенес в водоемы загрязняющие вещества, что и привело к ухудшению качества воды, в том числе и ионами Pb^{2+} . Pb относится к I классу опасности, в типичных гидрокарбонатных водах содержание его изменяется от следов до 0,050 мг/дм³, содержание в воде оз. Б. Еланчик не превышало 0,0029 мг/дм³ при максимальном значении – 0,0052 мг/дм³, т.е. ниже ПДК; для оз. Тургояк средние концентрации ионов Pb^{2+} оказались выше значений ПДК, в 83% случаев обнаружены высокие концентрации ионов Pb^{2+} . Для Аргазинского водохранилища превышение ПДК зафиксировано только для максимальных значений показателя, превышение уровней ПДК зафиксировано в 20% проб.

Выводы

1. Содержание ионов Cu^{2+} и Pb^{2+} в воде исследованных водоемов находится в определенной зависимости от климатических условий: в дождливые периоды повышается уровень грунтовых и поверхностных вод, увеличивается поверхностный сток, происходит смыл загрязняющих веществ в воду.
2. Уровни содержания ионов металлов определяются, как геологическим строением подстилающих пород (для ионов Cu^{2+} , Zn^{2+}), так и трансграничным атмосферным переносом из района г. Карабаша (для ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} и Pb^{2+}).

Литература

1. Водные ресурсы Челябинской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://svyato.info/cheljabinskaja-oblast/1938-vodnye-resursy-cheljabinskoyj-oblasti.html> (дата обращения: 20.12.2024).
2. Областное государственное учреждение «Особо охраняемые природные территории Челябинской области». – Челябинск, 2008. [Электронный ресурс]. – URL: <http://oopt174.ru> (дата обращения: 20.12.2024).
3. О положениях о памятниках природы Челябинской области (оз. Аркуль, оз. Иткуль, оз. Подборное, оз. Большой Биляшкуль, Аргазинское водохранилище) [Электронный ресурс]. – URL: [http:// https://docs.cntd.ru/document/499505919](http://https://docs.cntd.ru/document/499505919) (дата обращения: 20.12.2024).
4. Озеро Большой Еланчик [электронный ресурс]. – URL: [http://https://oopt.gov74.ru/oopt/overview/oopt/overview/oopt/ozerobolshojelanchik.htm](http://https://oopt.gov74.ru/oopt/overview/oopt/ozerobolshojelanchik.htm) (дата обращения: 21.12.2024).
5. Озеро Тургояк [электронный ресурс]. – URL: [http://https://oopt.gov74.ru/oopt/overview/oopt/overview/oopt/ozeroturgoyak.htm](http://https://oopt.gov74.ru/oopt/overview/oopt/ozeroturgoyak.htm) (дата обращения: 21.12.2024).
6. Хакимов Р.Ш. Использование водных ресурсов озера Аргаз: прошлое, настоящее, будущее : монография. – Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2021. – 108 с.
7. Сибиркина А.Р., Ковальчук Л.С. Оценка качества воды Аргазинского водохранилища [Электронный ресурс] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – №3 (141). – URL: <https://research-journal.org/archive/3-141-2024-march/10.23670/IRJ.2024.141.24> (дата обращения: 18.03.2024).
8. Челябинская область. Атлас : изд. 5-е, перераб. и доп. / под ред. проф. В.В. Латышина. – Челябинск : Абрис, 2014. – 32 с.
9. Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С. и др. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах / под науч. ред. Е.С. Климова. – Ульяновск : УлГТУ, 2014 – 167 с.
10. Парахонский А.П. Роль меди в организме и значение ее дисбаланса [Электронный ресурс] // ЕГИ. – 2015. – №4 (10). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-medi-v-organizme-i->

- znachenie-ee-disbalansa (дата обращения: 09.05.2025).
11. Грушко Я.М. Ядовитые металлы и их неорганические соединения в промышленных сточных водах. – М. : Медицина, 1972. – 176 с.
 12. Гаврилкина С. В. Микроэлементный состав вод озера Тургояк // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. – 2003. – № 4. – С. 105–109.
 13. Цинк [Электронный ресурс]. – URL : https://studwood.net/1953041/matematika_himiya_fizika/tsink (дата обращения: 20.12.2024).
 14. Челябинский гидрометеоцентр. Обзор состояния водных объектов Челябинской области [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.chelpogoda.ru/pages/1605.php> (дата обращения: 26.12.2024).

УДК 502.51

**РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР
РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ: ВЕРОЯТНОСТЬ
ОРНИТОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Ю.Г. Тацкий

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия
yutatsy@mail.ru*

**RARE EARTH ELEMENTS IN THERMOKARST LAKES OF THE RUSSIAN ARCTIC:
PROBABILITY OF ORNITHOGENIC IMPACT**

Yu.G. Tatsiy

*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia
yutatsy@mail.ru*

Abstract. Донные отложения (ДО) трех мелких термокарстовых озер, расположенных в Малоземельской тундре на территории государственного заповедника «Ненецкий», исследованы для оценки возможного антропогенного влияния. Необычные содержания и распределения большинства элементов свидетельствуют о сильном биохимическом и техногенном воздействии. Район является важным для миграции и гнездования различных видов птиц и является местом их летнего массового гнездования. Полученные результаты показали необычно для олиготрофных арктических озер завышенное содержание фосфора и серы, а два из трех озер подвергаются сильному орнитогенному влиянию. Полученные результаты позволяют сделать предположение о возможном орнитогенном влиянии на распределение микроэлементов, в том числе редкоземельных элементов (РЗЭ).

Введение

Арктика – это не удаленная, нетронутая экологическая обстановка, а удаленный регион, который подвергается дальнему переносу загрязняющих веществ по воздуху. Атмосферный перенос загрязнителей на большие расстояния в сочетании с переносом загрязняющих веществ биологическими переносчиками – биовекторный перенос, например, перелетными морскими и пресноводными птицами, может приводить к повышению концентрации многих загрязнителей, как биогенных, так и техногенных [1, 3].

Настоящее исследование основано на результатах анализа колонок донных отложений из трех мелких термокарстовых озер Малоземельской тундры, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. Проведенные анализы выявили необычные содержания и распределения большинства элементов, не характерные для термокарстовых арктических озер, что свидетельствуют о сильном биохимическом и техногенном воздействии. Целью настоящей работы являлась оценка динамики осадконакопления редкоземельных элементов (РЗЭ) и выявление возможного техногенного или орнитогенного влияния.

Материалы и методы

Исследуемые озера расположены в северо-восточной части Малоземельской тундры в границах заповедника «Ненецкий» в зоне сплошной вечной мерзлоты относительно близко друг от друга, вдали от источников загрязнения, фактически в фоновом районе. Территория относится к подзоне арктической тундры. Основным источником питания тундровых озер являются атмосферные осадки и вода, образующаяся при сезонном оттаивании многолетнемерзлых пород.

Колонки (8–10 см) были отобраны из трех мелководных озер (максимальная глубина 0,6–1,1 м) с помощью 50-сантиметрового гравитационного бура HON-Kajak диаметром 70 мм. В полевых условиях колонки разрезали на слои толщиной 1 или 0,5 см и измеряли рН

т электропроводность воды (табл. 1).

Колонки послойно радиометрически датированы по активности изотопов ^{210}Pb и ^{137}Cs . Для каждого слоя определяли потери при прокаливании (п.п.п.), гранулометрический состав методом сухого ситования на три фракции (>0.1 , $0.1-0.04$ и <0.04 мм), а также элементный состав ДО (53 элемента): макрокомпоненты методом ИСП-АЭС, а микроэлементы – ИСП-МС. Для контроля правильности использовали стандартные образцы БИЛ-1 и БИЛ-2. Все анализы проводили в лабораториях ГЕОХИ РАН.

Таблица 1 – Основные характеристики исследуемых озер

Озеро	Широта	Долгота	Площадь озера, км ²	Макс. глубина, м	pH	Электропроводность, мкСм/см	Длина колонки, см
NARY 1-2	68.53787	53.71337	0,3	0.6	5.9	31	8
NARY 4-2	68.35489	53.96419	0.08	0.7	7.3	16	9
NARY 9-1	68.3535	53.9571	0.04	1.1	8.6	219	10

Результаты и обсуждение

Озера NARY 4-2 и 9-1 находятся рядом на острове Ловецкий примерно в 1 км от берега, а NARY 1-2 в 20 км севернее на второй морской террасе в 5 км от береговой линии. Фактически все озера находятся примерно в одинаковых условиях. Тем не менее, все озера разные, как по скорости осадконакопления, так и по концентрациям элементов и их распределению. Колонка из озера NARY 1-2 при средней скорости накопления 0.055 ± 0.016 см/год охватывает период с доиндустриальных времен (примерно 1870 г.), в то время как колонки NARY 4-2 и 9-1 при средних скоростях накопления 0.21 ± 0.06 и 0.2 ± 0.04 см/год характеризуют лишь последние 43 года и 50 лет, соответственно. Верхние слои ДО NARY 1-2 сильно обогащены S, P, Hg, а также рядом других элементов. Различия между озерами хорошо видны на распределении суммы РЗЭ в отложениях с глубиной по возрасту (рис. 1, 2).

Считается, что содержание РЗЭ в поверхностных слоях донных отложений озер отражает антропогенное воздействие на окружающую среду, а более глубокие слои являются маркерами геологических процессов и являются идеальной группой для выявления литогенной фракции осадочных отложений [2].

Коэффициенты обогащения РЗЭ в NARY 1-2 составляют 3–4, что относит их у умеренно обогащенным. Литогенные поступления РЗЭ (определенные нормированием к AL) в колонках NARY 4-2 и NARY 1-2 для одних и тех же элементов оказались практически одинаковыми. При этом в отложениях озера NARY 4-2 (близкого к фоновому) доля литогенной фракции составляла от 87 для легких РЗЭ до 98% для тяжелых, а в верхних слоях отложений NARY 1-2 процент литогенной фракции падает до 33–48%, что явно свидетельствует о внешнем поступлении.

Оценки химического состава ДО однозначно демонстрируют повышенные концентрации для многих элементов, включая РЗЭ, что не характерно для арктических термокарстовых озер. Но откуда в арктическом заповедном фоновом регионе такое обогащение? Отсутствие возможных источников загрязнения, а также резкое увеличение концентраций в, первую очередь фосфора и серы, в самых верхних слоях отложений независимо от их возраста позволяет предположить наличие биогеохимического фактора.

Единственным объяснением может служить орнитогенный фактор, когда биовектором, то есть переносчиком загрязняющих или питательных веществ, являются перелетные птицы. Ненецкий заповедник является местом массового гнездования, линьки и остановок мигрирующих водоплавающих и околоводных птиц, общее количество которых может достигать сотен тысяч. Скопления птиц на ограниченной площади оказывают сильнейшее воздействие практически на все природные компоненты и взаимосвязи между ними на локальных участках тундры. Птицы, размножающиеся в Арктике, содержат высокие уровни многих

антропогенных загрязняющих веществ, которые они откладывают через гуано в тундру около своих колоний и в воду во время линьки. Различия в видах птиц и их количестве, по-видимому, и определяют различия в составе донных отложений рассматриваемых озер.

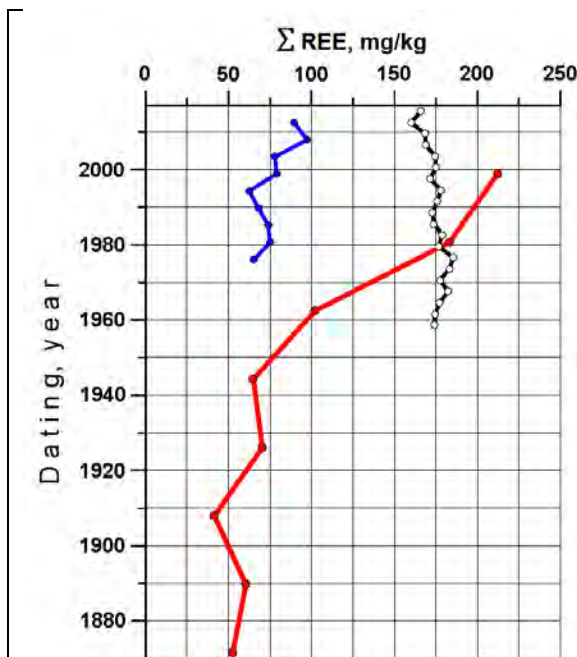


Рис. 1. Сумма ГЗЭ по слоям в озерах NARY 1-2 (красный), 4-4 (синий) и 9-1 (черный)

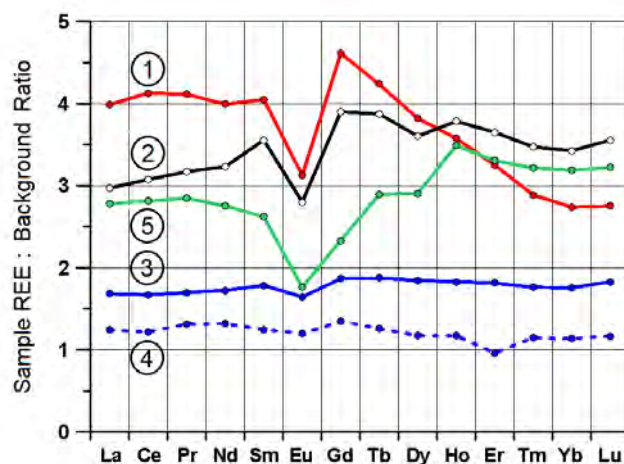


Рис. 2. Концентрации РЗЭ в донных отложениях арктических озер, нормированные по местному фону (слое NARY 1-2, относящемуся к доиндустриальному периоду). 1 – верх. слой NARY 1-2; 2 – NARY 9-1 (кривые для верхнего и нижнего слоев практически совпадают); 3 и 4 – верх. и ниж. слои NARY 4-2; 5 – UCC (среднее содержание в верхней земной коре)

Заключение

Поступления элементов в донные отложения могут быть связаны с различными источниками: геохимическими, антропогенными и влиянием орнитогенного фактора. Повышение содержания органических веществ в верхних слоях донных отложений совместно с концентрациями микроэлементов может указывать, в том числе, на вклад продуктов жизнедеятельности птиц.

Это относится и к РЗЭ. Высказанное предположение основано на различии распределения РЗЭ в донных отложениях озер в зависимости от особенностей озер и количества и видов гнездящихся и линяющих на них птиц.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

Литература

1. Blais J.M., Kimpe L.E., McMahon D. et al. Arctic seabirds are important vectors in the transport of marine-derived contaminants // Science. – 2005. – Vol. 309(Is. 5733). – Art. No. 445.
2. Piper D.Z., Bau M. Normalized rare earth elements in water, sediments, and wine: identifying sources and environmental redox conditions // American J. Anal. Chem. – 2013. – Vol. 4. – P. 69–83.
3. Schindler D.W., Smol J.P. Cumulative effects of climate warming and other human activities on freshwaters of arctic and subarctic North America // Ambio. – 2006. – Vol. 35(4). – P. 160–168.

УДК 504.4.054

**МИКРОПЛАСТИК И СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ
В ПРИБРЕЖНЫХ ОСАДКАХ ОБИ В ПРЕДЕЛАХ НОВОСИБИРСКОГО РАЙОНА**

**Ю.А. Франк¹, Ю.С. Сотникова², В.Ю. Цыганков³, А.Р. Редникин¹, М.М. Донец³,
Е.В. Карпова², М.А. Беланов³, С.Н. Рахматуллина¹, А.Д. Боровкова³,
Д.Н. Половяненко², Д.С. Воробьев¹**

¹*Томский государственный университет, Томск, Россия
yulia.a.frank@gmail.com*

²*Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск, Россия
sotnikova@nioch.nsc.ru*

³*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия
tsig_90@mail.ru*

**MICROPLASTICS AND PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS IN THE OB RIVER
BEACH SEDIMENTS WITHIN THE NOVOSIBIRSK AREA**

**Y.A. Frank¹, Y.S. Sotnikova², V.Yu. Tsygankov³, A.R. Rednikin¹, M.M. Donets³,
E.V. Karpova², M.A. Belanov³, S.N. Rakhmatullina¹, A.D. Borovkova³,
D.N. Polovyanenko², D.S. Vorobiev¹**

¹*Tomsk State University, Tomsk, Russia
yulia.a.frank@gmail.com*

²*N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
sotnikova@nioch.nsc.ru*

³*Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
tsig_90@mail.ru*

Abstract. Микропластик в природных средах адсорбирует гидрофобные вещества, включая стойкие органические загрязнители, что составляет важный аспект экотоксикологии. В настоящей работе оценено содержание микропластика размерами 1–5 мм в прибрежных осадках р. Обь в Новосибирском районе и определены концентрации хлорорганических пестицидов (ХОП) и полихлорированных бифенилов (ПХБ) на поверхности пластиковых частиц. Среднее содержание микропластика, представленного преимущественно вторичными формами, в исследованных осадках составило 0.67 ± 0.58 ед./кг или 8.22 ± 6.13 мкг/кг сухого веса. На поверхности микрочастиц пластика обнаружены обе группы органических загрязнителей (кроме точки Ob-U3, где найдены только ПХБ). Полученные данные подтвердили ассоциации микропластика со стойкими органическими загрязнителями в речной системе Оби.

Микропластик (твердые частицы искусственных полимеров размерами от 1 мкм до 5 мм по наибольшей оси) – загрязнитель гидросферы, имеющий глобальное распространение [1]. Пластиковые частицы разной формы и полимерного состава по большей части поступают с суши и выносятся с речным стоком в океан, однако значительная часть микроскопического пластика аккумулируется в реках и их поймах [2]. Донные и прибрежные осадки при этом рассматриваются как депо частиц.

Один из механизмов негативного действия микропластика на живые организмы в природных водных системах связывают с переносом частицами токсичных гидрофобных веществ из водной среды, включая полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), хлорорганические пестициды (ХОП) и тяжелые металлы [3]. Вследствие довольно большого соотношения площади поверхности к объему, изменения структуры поверхности в результате выветривания, а также гидрофобной природы, микропластик адсорбирует токсиканты и действует как вектор их транспорта, в том числе в живые системы [4]. Для рек России ранее не оценивалось присутствие и распространение стойких

органических загрязнителей в ассоциации с микропластиком. Целью нашего исследования была количественная оценка загрязнения прибрежных осадков р. Обь в верхнем течении (Новосибирский р-н ниже по течению г. Новосибирска) микропластиком и ассоциированными с ним ХОП и ПХБ.

В августе 2022 г. проводили отбор проб прибрежных осадков в трех точках в пределах Новосибирского района, расположенных по ходу течения р. Обь: (1) Ob-U3 на северной окраине Новосибирска (55°03'29.6"N, 82°48'13.4"E), (2) Ob-D2 в пос. Кудряшовский (55°09'19.1"N 82°49'00.2"E), (3) Ob-4 в пос. Мочище (55°11'08"N 82°53'00"E). В каждой станции грунт отбирали из четырех случайно расположенных участков площадью 625 см² каждый, на 5 см глубины и последовательно просеивали через металлические сита с диаметром пор 5 мм и 1 мм. Частицы микропластика собирали с сит пинцетом для лабораторного анализа. Количественный и качественный анализ микропластика проводили, визуализируя частицы с помощью световой микроскопии (Micromed MS-5-ZOOM с камерой TouPCam UA1000CA 10.0 MP) и определяя полимерный состав в ходе последующей ИК-Фурье спектроскопии (спектрометр Varian 640-IR, Palo Alto). Из объединенных образцов микропластика из каждой станции были экстрагированы ХОП (изомеры ГЦХГ, ДДТ и его метаболиты – ДДД, ДДЕ) и ПХБ (28, 52, 155, 101, 118, 143, 153, 138, 180, 207 ПХБ). Концентрации органических загрязнителей были определены с использованием газовой хромато-масс спектроскопии (Shimadzu GCMS-QP2010).

Из прибрежных осадков в трех станциях извлечен так называемый «крупный» микропластик (1–5 мм). Более мелкие частицы не учитывались из-за особенностей отбора проб. В пробах найден микропластик различного полимерного состава (рис. 1, А) с преобладанием полиэтилена (PE), полистирола (PS) и полипропилена (PP). По форме подавляющее большинство частиц были представлены фрагментами, тогда как пленки и волокна встречены в небольшой пропорции только в точке Ob-D2 в пос. Кудряшовском (рис. 1, Б). Фрагменты и пленки относят к вторичным формам, которые образуются при распаде более крупных пластиковых изделий (тары, упаковки и проч.) в окружающей среде. Волокна могут иметь текстильное происхождение (в том числе от геотекстиля), образовываться из некоторых видов упаковки, рыболовных снастей и других источников.

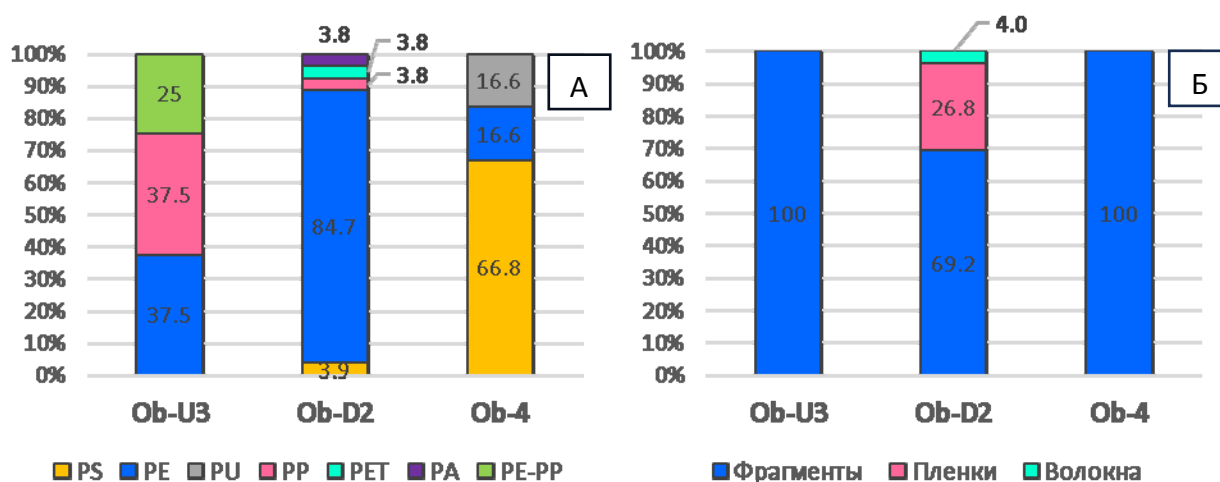


Рис. 1. Полимерный состав микропластика (А) и распределение частиц по форме (Б) в прибрежных осадках р. Обь по трем станциям отбора проб

Среднее содержание микропластика в пробах прибрежных осадков р. Обь в пределах Новосибирского р-на составило от 0.3 до 1.31 ед./кг сухого грунта или, в пересчете на массу – от 3.26 до 15.3 (табл. 1). Высокие значения стандартного отклонения, рассчитанного по четырем индивидуальным образцам, собранным на каждой из станций, свидетельствует о нерав-

номерном распределении частиц в прибрежных осадках. При этом содержание частиц как в ед./кг, так и в единицах массы на кг сухих осадков было максимальным в пробах со станции Ob-D2, отобранных ниже по течению от городских очистных сооружений.

На частицах микропластика идентифицированы 4,4-ДДТ, 4,4-ДДЕ в пробах из станций Ob-D2 и Ob-4, а также γ -ГХЦГ в образцах из Ob-D2. Суммарное содержание ХОП составило 2.53 и 3.44 мкг/г микропластика, соответственно (табл. 1). Содержание ПХБ варьировало от 1.37 до 5.50 мкг/г по трем станциям, среди них выявлен и диоксиноподобный ПХБ 118. Подробное описание количественного содержания и распределения каждого из индивидуальных ХОП и ПХБ приведено в недавно опубликованной нами работе [5]. Общее суммарное стойких органических загрязнителей на грамм микропластика из речных осадков достигало 8.94 мкг на станции Ob-4, а в пересчете на кг сухого грунта максимум в 0.06 нг отмечен в точке Ob-D2 (табл. 1).

Таблица 1. Количественное содержание микропластика и ассоциированных стойких органических загрязнителей в прибрежных осадках р. Обь

Загрязнитель	Ед. изм.	Содержание по станциям отбора проб		
		Ob-U3	Ob-D2	Ob-4
Микропластик 1-5 мм*	ед./кг осадков	0.41 $\pm$ 0.17	1.31 $\pm$ 0.58	0.3 $\pm$ 0.26
Микропластик 1-5 мм*	мкг/кг осадков	6.11 $\pm$ 1.31	15.3 $\pm$ 4.86	3.26 $\pm$ 2.57
ХОП**	мкг/г микропластика	н/о	2.530	3.440
ПХБ**	мкг/г микропластика	1.390	1.369	5.497
Все исследованные СОЗ	мкг/г микропластика	1.390	3.899	8.937
Все исследованные СОЗ	нг/кг осадков	0.008	0.060	0.029

Примечание: н/о – не обнаружено; * содержание показано как среднее арифметическое значение $\pm$ стандартное отклонение; **приведено суммарное содержание индивидуальных ХОП (ГХЦГ, ДДТ, ДДЕ) и ПХБ.

Полученные результаты свидетельствуют о загрязнении прибрежных осадков р. Обь в Новосибирском р-не микропластиком и стойкими органическими загрязнителями. Показано присутствие ХОП и ПХБ на поверхности микропластиковых частиц. Выявленные концентрации двух групп стойких загрязнителей, ассоциированных с микропластиком, сравнительно невысоки (не более 0.06 нг/кг грунта). Обнаружена тенденция к увеличению их удельного содержания на пластиковых частицах вниз по течению реки (до 8.937 мкг/г микропластика). Городская агломерация Новосибирска с населением более 1.5 млн., развитой промышленностью и сельским хозяйством может вносить вклад в загрязнение р. Обь. Необходим регулярный мониторинг микропластикового загрязнения и распространения стойких органических загрязнителей в речной системе Оби с использованием более масштабной сети наблюдательных станций.

Литература

1. Thompson R.C., Courtene-Jones W., Boucher J. et al. 2024. Twenty years of microplastic pollution research – what have we learned? // Science. – 2024. – Vol. 386 (6720).
2. van Emmerik T., Schwartz A. Plastic debris in rivers // WIREs Water. – 2020. – Vol. 7. – Art. No. e1398.
3. Campanale C., Massarelli C., Savino I. et al. 2020. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Vol. 17. – Art. No. 1212.
4. Liu S., Huang J.H., Zhang W. et al. 2022 Microplastics as a vehicle of heavy metals in aquatic environments: A review of adsorption factors, mechanisms, and biological effects. Journal of Environmental Management. – 2022. – Vol. 302, Pt. A. – Art. No. 113995.

5. Frank Y.A., Sotnikova Y.S., Tsygankov V.Y. et al. 2024. Pollution of beach sands of the Ob River (Western Siberia) with microplastics and persistent organic pollutants // Journal of Xenobiotics. – 2024. – Vol. 14. – P. 989–1002.

УДК 577.47:170.49

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМЕЙСТВА UNIONIDAE В ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ СИСТЕМ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Е.Н. Чернова¹, Л.А. Прогорова², В.В. Богатов²

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия
elena@tigdvo.ru

²Федеральный научный центр «Биоразнообразие» ДВО РАН, Владивосток, Россия
lprozorova@mail.ru, vibogatov@mail.ru

THE USE OF THE UNIONIDAE FAMILY IN THE ASSESSMENT OF POLLUTION OF WATER SYSTEMS BY HEAVY METALS

E.N. Chernova¹, L.A. Prozorova², V.V. Bogatov²

¹Pacific Geographical Institute FEB of RAS, Vladivostok, Russia
elena@tigdvo.ru

²Federal Scientific Center "Biodiversity" FEB of RAS, Vladivostok, Russia
lprozorova@mail.ru, vibogatov@mail.ru

Abstract. Изучены концентрации металлов в моллюсках семейства Unionidae из водных объектов России (Приморский край) и Вьетнама. Рассчитаны пороговые концентрации фоновых диапазонов (медиана+2МАО) в качестве критерия оценки степени загрязнения металлами водной среды. Показано, что фоновые концентрации металлов в представителях семейства из разных географических районов сопоставимы. Водоёмы и водотоки Приморского края, в которых обитают Unionidae слабо загрязнены металлами.

Введение

Для оценки загрязнения металлами природных систем и ее компонентов – воды, почвы, донных осадков – разработаны предельно допустимые концентрации (ПДК), превышение которых приводит к увеличению токсичности среды для живых организмов и появлению в них изменений, указывающих на ухудшение здоровья. Больше всего от избытка токсикантов страдают прикрепленные или малоподвижные бентосные организмы, многие из них являются полезным сырьем и пищей для человека (моллюски, водоросли, иглокожие). Поэтому для них также разработаны санитарно-гигиенические нормативы – ПДК содержания четырех элементов – Hg, Cd, Pb, As в продуктах питания. Эти нормативы не связаны с экологическим состоянием среды, откуда изъяты данные пищевые объекты, и они не отвечают на вопрос о благополучии экосистемы.

В отсутствии экологических нормативов для многих элементов в качестве критерия «чисто-загрязнено» используют фоновые концентрации. В качестве фоновой точки многие исследователи выбирают местообитание с условиями, сходными с контролируемым объектом, на удалении от источника загрязнения. При работе с речными системами фоновые районы располагаются выше источника загрязнения. Трудности возникают в прибрежной зоне морей, озер, так как направление течений, интенсивность переноса вод часто зависит от других природных факторов.

Массовые виды двусторчатых моллюсков давно и успешно используются как индикаторы загрязнения водной среды. Особенно часто – моллюски семейств Mytilidae, Ostreidae. В пресных водах распространены представители семейства Unionidae. В средних широтах это широко распространенные представители подсемейств беззубок Unioninae и жемчужниц Anodontinae. В начале 21 столетия с их использованием проведена оценка загрязнения рядом металлов р. Днепр [4].

В мониторинге загрязнения водной среды металлами с использованием водных организмов также применяют сравнение с фоновыми концентрациями. Представление о том, что фоновые концентрации – это диапазон оптимальных для вида (рода) концентраций, сформирова-

лось на основании экологического закона толерантности, представлений о соответствии биологических данных закону нормального распределения и из представлений В.В. Ковальского о норме [3]. Авторы и исполнители международной программы мониторинга с использованием моллюсков “Mussel Watch” включили в норму 85 % данных по содержанию металлов в выборке [6]. Выборки организмов-индикаторов редко бывают большими, данные часто не распределяются по нормальному закону, поэтому Рейнманн с коллегами [6] обосновали для определения нормы использование критерия «медиана + 2МАО» (медиана абсолютных отклонений), не зависящего от типа распределения данных. На основании этого метода расчета Д.В. Лукашев [4] определил пороговые величины фоновых концентраций (Спорог) меди, никеля, кадмия и хрома в беззубках и жемчужницах Днепра.

Целью нашей работы было рассчитать Спорог Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni в представителях семейства Unionidae, обитающих в водоемах России (Приморский край) и Вьетнама, оценить степень загрязнения металлами районов их обитания в Приморье.

Материалы и методы

Материалами послужили сборы моллюсков в 2018–2021 гг. в водных объектах Приморского и Хабаровского краев бассейнов зал. Петра Великого, Японского моря, р. Амур, в 2017–2018 гг. – южного и северного Вьетнама. В реках Вьетнама и Приморского края наблюдается широкое разнообразие видов и родов данного семейства. В частности, в Приморском крае были собраны представители шести родов Unionidae: *Buldowskia*, *Sinanodonta*, *Nodularia*, *Middendorffinaia*, *Beringiana*, *Lanceolaria*. В реках Вьетнама также отобраны представители 8 родов: *Ensidens*, *Hyriopsis*, *Pilsbryoconcha*, *Cristaria*, *Anemina*, *Lanceolaria*, *Scabies*, *Nodularia*. Такое биоразнообразие не позволяет получить выборки концентраций металлов для каждого рода. Поэтому зная общие черты накопления металлов представителями семейства – очень высокие концентрации железа и марганца, отмеченное еще в работе А.П. Виноградова [2], а потом нами [1], было решено рассчитать общие для семейства и региона фоновые концентрации металлов.

Из одного местообитания отбиралось от 3 до 10 особей, каждая анализировалась как отдельная проба. Концентрации металлов в мкг/г сухой массы определяли атомно-абсорбционным методом после минерализации навесок тканей азотной кислотой [1]. Рассчитывались средние значения концентраций и стандартное отклонение. Пороговые величины фоновых концентраций (Спорог) металлов рассчитывали из выборки средних значений как «медиана + 2МАО» (медиана абсолютных отклонений), исключая экстремально высокие концентрации, не вписывающиеся в нормальное или логнормальное распределение. Превышение величины Спорог свидетельствует о загрязнении данного местообитания.

Результаты и обсуждение

Медианные показатели содержания Cu, Ni и Cd в моллюсках сем. Unionidae из трех географических районов близки, но имеют региональные отличия (табл. 1). Близки также и медианы концентраций Fe, Mn, Zn у моллюсков Приморского края и Вьетнама (в р. Днепр они не определялись). Достоверно отличаются только концентрации Pb в моллюсках Вьетнама, по сравнению с приморскими. В них же наблюдаются более высокие медианы и Спорог содержания Cu и Ni, что, возможно, соответствует более высокой сельскохозяйственной, судоходной и коммунальной антропогенной нагрузке на водные объекты Вьетнама, но не исключается и региональный геохимический фон. Водные объекты Приморья не судоходны, испытывают меньшую нагрузку от сельскохозяйственной деятельности и коммунальных стоков небольшого количества населенных пунктов по берегам.

С учетом превышения Спорог, в Приморском крае из 32 станций избыток элементов особенно часто наблюдался для Fe и Zn – у моллюсков из 22 и 31 % местообитаний, соответственно. Избыток Fe в моллюсках составлял максимум 4 Спорог, в основном – на 10–20%

выше Спорог. Избыток Zn (1,1–1,4 Спорог) наблюдался мозаично, даже в озерах малонаселенного Тернейского района, в том числе, в пределах Сихотэ-Алиньского биосферного государственного природного заповедника. Максимум Zn наблюдался в кунашириях озера Васьковское, в границах Дальнегорского городского округа, где функционирует промышленный комплекс по добыче цинка и свинца (1,6 Спорог). На 9 % станций моллюски содержали повышенные концентрации Ni – до 1,8 Спорог (оз. Ханка).

Таблица 1. Медиана и верхний пороговый уровень фоновых концентраций металлов (Спорог)(мкг/г сух. массы) в моллюсках семейства Unionidae из Приморского края, Вьетнама и р. Днепр

Районы Металлы	Водные объекты Приморского края	Водные объекты Вьетнама	Р. Днепр Unio timidus [4]	Р. Днепр Anodonta anatine [4]
Cu	7,4 (10)	8,6 (12,4)	6,2 (7,7)	5,1 (6,3)
Ni	1,9 (3,1)	2,6 (4,2)	1,3 (2,1)	0,8 (1,4)
Cd	0,72 (1,14)	0,74 (1,06)	0,87 (1,75)	0,45 (0,90)
Fe	2870 (5512)	2632 (5207)	-	-
Mn	3820 (7003)	3821 (8900)	-	-
Zn	147 (206)	183 (343)	-	-
Pb	0,11 (0,23)	0,51 (1,26)*	-	-
N (n)	32 (8)	17 (8)	84 (1)	92 (1)

Примечания: N (n) – количество проб (количество родов). * – различия достоверны. Прочерк – нет данных.

Медью оказались загрязнены лишь моллюски из 6 % местообитаний (1,1 Спорог). Небольшое превышение содержания Pb (1,5 Спорог) наблюдалось в моллюсках на одной станции в южной части Приморья, однако более существенное превышение наблюдалось в озерах Тернейского района (4 Спорог), в оз. Васьковское (43 Спорог) Дальнегорского городского округа, что связано с геохимической специализацией данного района. Двухкратное превышение Cd наблюдалось в р. Амур, ниже г. Хабаровск.

В целом, большая часть местообитаний загрязнена металлами в невысокой степени, часто – только одним. Избыток Zn и Pb в Дальнегорском и Тернейском районах связаны с повышенными геохимическим фоном – наличием рудопроявлений и их разработкой.

Литература

1. Богатов В.В., Прозорова Л.А., Чернова Е.Н. Особенности биоаккумуляции тяжелых металлов у двусторчатых моллюсков (Bivalvia) в природных водоемах Восточной Азии // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2018. – № 4. – С. 79–87.
2. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря [Электронный ресурс]. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1935. – Ч. 1. – 218 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=476873> (дата обращения: 30.05.2025).
3. Ковальский В.В. Геохимическая экология: Очерки. – М. : Наука, 1974. – 299 с.
4. Лукашев Д.В. Метод расчета фоновых концентраций тяжелых металлов в мягких тканях двусторчатых моллюсков для оценки загрязнения р. Днепр // Биология внутренних вод. – 2007. – № 4. – С. 97–106.
5. Cantillo A.Y. Comparison of results of Mussel Watch Programs of the United States and France with Worldwide Mussel Watch Studies // Marine Pollution Bulletin. – 1998. – Vol. 36, is. 9. – P. 712–717.
6. Reinmann C., Filzmoser P., Garrett R.G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination // Science of the Total Environment. – 2005. – Vol. 346, is. 1-3. – P. 1–16.

УДК 544.435.4

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ – ЕСТЕСТВЕННЫЕ ФИЛЬТРЫ ВОДОЕМОВ

В.Н. Экзарьян¹, А.В. Слащева², А.Н. Гусейнов³

*Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
Москва, Россия*

¹vnekzar@rambler.ru, ²anna_slascheva@mail.ru, ³amirnurgus@mail.ru

GEOCHEMICAL BARRIERS ARE NATURAL FILTERS OF RESERVOIRS

V.N. Exaryan¹, A.V. Slashcheva², A.N. Guseynov³

Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI), Moscow, Russia

¹vnekzar@rambler.ru, ²anna_slascheva@mail.ru, ³amirnurgus@mail.ru

Abstract. В статье рассматривается эффективность природных почвенно-геохимических и ландшафтно-геохимических радиальных и латеральных барьеров как естественных фильтров на путях миграции техногенных загрязняющих веществ в городские рекреационные водоемы. Установлено наличие обратной зависимости между территориальной выраженностью (площадью) дерново-подзолистых почв с радиальным сорбционным барьером в виде мощного иллювиального горизонта и пойменных дерновых почв супер-аквальных ландшафтов с латеральным щелочным барьером в водосборных бассейнах и количеством депонированных нефтепродуктов (НП) и тяжелых металлов в донных отложениях этих водоемов.

Введение

Городские водоемы, представленные небольшими естественными озерами или, чаще всего, прудами в большинстве случаев становятся центрами, вокруг которых организовываются рекреационные зоны. Экологическое состояние рекреационных водоемов в этом случае становится предметом особого внимания и, соответственно, исследования, которого нельзя проводить в отрыве от экологического состояния водосборного бассейна этих водоемов. На экологическое состояние водоемов наиболее сильное влияние оказывают почвы и грунты водосборного бассейна, поскольку питающие водоемы поверхностные и грунтовые воды совершают длинный путь фильтрации через толщи радиальных и латеральных почвенно- и ландшафтно-геохимических барьеров. При этом часть загрязняющих веществ задерживается на геохимических барьерах, а часть, преодолевшая эти барьеры, поступает в водоемы и депонируется в донных отложениях.

В настоящей работе осуществлена попытка оценить эффективность природных почвенно- и ландшафтно-геохимических радиальных и латеральных барьеров на водосборных бассейнах городских рекреационных водоемов (пруды «Центральный» и «Малый») на Юго-Западе Москвы как естественных фильтров на путях миграции техногенных нефтяных загрязнителей и тяжелых металлов.

Иллювиальные горизонты доминирующих на исследуемой территории дерново-сильно- и среднеподзолистых почв рассматриваются как радиальные, главным образом, сорбционные геохимические барьеры. Дерновые почвы, приуроченные к поймам, питающих водоемы малой реки Очаковка и ее притоков, по сути, выполняют роль латеральных щелочных геохимических барьеров (рис. 1).

Эффективность как радиальных, так и латеральных геохимических барьеров оценивается сравнением степени концентрации техногенных загрязнителей, депонированных в донных отложениях рассматриваемых прудов – конечных пунктов механической и химической миграции загрязняющих веществ.

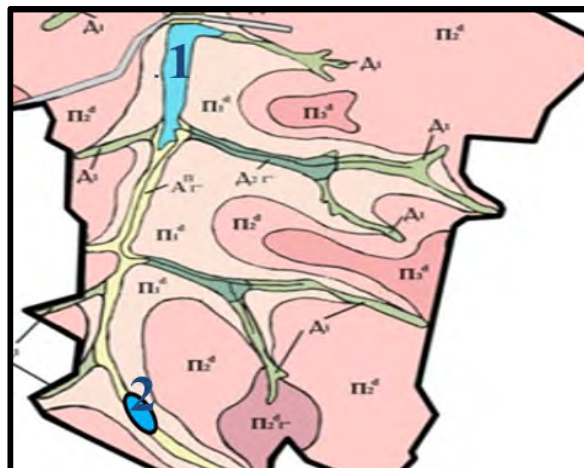


Рис. 1. Почвенная карта территории водосборного бассейна прудов «Центральный» (1) и «Малый» (2): $П^d$ – дерново-подзолистые почвы, A – пойменные дерновые почвы

Следует отметить прикидочный характер такой оценки, поскольку она основана не на прямых измерениях интенсивных показателей, как контрастность, градиент или емкость геохимического барьера, а на таком экстенсивном показателе, как площадь распространения барьера, который обладает свойством аддитивности [2, 3]. Предполагается, что при прочих равных условиях территориальная выраженность радиальных и латеральных геохимических барьеров определяет их функциональную эффективность.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования рассматриваются пруды «Центральный» и «Малый», сооруженные в долине реки Очаковка еще в XVIII веке и, в настоящее время, входящие в состав крупнейшей зоны отдыха «Тропарево» на Юго-Западе Москвы. Водосборная площадь «Центрального» пруда, как и площадь самого пруда (2,5 га) в десятки раз превышают соответствующие показатели «Малого» пруда.

В связи с поставленной целью были выполнены следующие работы:

- заложены почвенные разрезы, произведено морфологическое описание почвенных профилей с последующей их диагностикой;
- составлена крупномасштабная (1: 10 000) почвенная карта исследуемой территории [1] (фрагмент которой приводится на рис. 1);
- отобраны 14 проб почвы на территории водосборных бассейнов прудов, 4 пробы донных отложений из «Центрального» и 1 проба – из «Малого»;
- в Межфакультетской лаборатории МГУ им. М.В. Ломоносова в пробах определено содержание НП и кислоторастворимых форм Cu, Zn, Ni, Pb, и Cd.

Результаты и их обсуждение

Результаты лабораторных исследований, представленные в таблице 1 показывают, что поскольку почвы водосборных бассейнов рассматриваемых водоемов как часть московского мегаполиса находятся под постоянным антропогенным давлением, характеризуются в той или иной степени измененным химическим составом.

Содержание НП в почвах колеблется в широких пределах: от 3,2 до 227,5 мг/кг, а их среднее содержание, равное в 46,2 мг/кг, более чем в 20 раз ниже допустимого уровня (1000 мг/кг).

Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов, в почвах, как правило, за пределы ПДК не выходит. Случаи небольшого превышения ПДК отмечены для свинца в почвенных пробах, отобранных в супераквальных пойменных ландшафтах. Относительное накоп-

ление свинца в почвах пойменных ландшафтов может быть результатом повышения его мобильности в сильноокислых дерново-подзолистых почвах, выноса поверхностным и внутрипочвенным стоком и осаждения в слабощелочных пойменных дерновых почвах, в латеральном геохимическом барьере супераквальных ландшафтов.

Таблица 1. Содержание НП и тяжелых металлов в почвах, (мг/кг)

Ингредиенты	Номера проб													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
НП	28,5	49,9	10	3,2	148,3	31,6	10,6	22,2	13,1	11,3	31	43,8	16	227,5
Cu	9,7	7,11	36,1	6,3	15,5	8,7	7,1	6,1	8,3	5,7	9,9	6,7	9	14,2
Zn	47,6	44,9	56,9	35	69,9	42,2	30,9	44,3	33,4	28,3	35,7	49,8	37,5	63,9
Ni	9,3	9,3	16,2	13,5	9,3	11,8	12,9	9,2	10,9	9,2	13,9	8,7	9,7	9
Pb	14,1	13,2	17,6	15,6	22,2	15,5	15	14,5	13,8	10	14,4	14	16,9	20,5
Cd	0,5	0,5	0,5	0,57	0,86	0,46	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,76

Сравнение количества депонированных в донных отложениях прудов «Центральный» и «Малый» НП и тяжелых металлов (табл. 2) наглядно демонстрирует возможность оценки функциональной эффективности геохимических барьеров по их территориальной выраженности. Наиболее заметно это для НП и меди, свинца, цинка и никеля, концентрации которых в донных отложениях «Малого» пруда больше, чем в донных отложениях «Центрального» пруда, соответственно в 6; 2,5 и 1,5 раз.

Таблица 2. Содержание НП и тяжелых металлов в донных отложениях, (мг/кг)

Пруды	«Малый»	«Центральный»				
Номера проб	1	1	2	3	4	Среднее
НП	1411,3	518,5	36,1	79,5	325,0	239,8
Cu	29,1	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Zn	31,5	6,5	1,24	37,6	32,2	19,4
Ni	15,2	<7,5	14,1	<7,5	<7,5	9,2
Pb	27,8	<10,0	14,7	<10,0	<10,0	11,2
Cd	0,5	<0,3	< 0,5	<0,5	<0,5	0,4

Заключение

Таким образом, как радиальные, так и латеральные геохимические барьеры являются естественными фильтрами для внутрипочвенной миграции органических и неорганических поллютантов в водоемы. Функциональная эффективность геохимических барьеров зависит от их территориальной выраженности: чем больше площадь водосборного бассейна водоема, тем меньше загрязнителей поступают и депонируются в донных отложениях.

Литература

1. Ганжара Н.Ф., Зайдельман Ф.Р., Кауричев И.С. и др. Составление и использование почвенных карт : 2-е изд. – М. : Агропромиздат, 1987. – 273 с.
2. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза / под ред. Н.С. Касимова, А.Е. Воробьева. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2002. – 395 с.
3. Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А., Максимович Н.Г. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды. – Пермь : Изд-во Перм. гос. ун-та, 2011. – 248 с.

УДК: 551.4.012

**МОРФОМЕТРИЯ РЕЛЬЕФА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ЭКОСИСТЕМНОГО
МОНИТОРИНГА: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**

Е.Н. Юдина

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Россия
yudina10ekaterina@gmail.com*

**MORPHOMETRY OF RELIEF AS APPLIED TO THE PROBLEMS
OF ECOSYSTEM MONITORING: METHODOLOGICAL ASPECTS
AND PRACTICAL APPLICATIONS**

E.N. Yudina

*Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia
yudina10ekaterina@gmail.com*

Аннотация. В работе представлен один из методических подходов к оценке латеральной миграции химических элементов. Основной целью работы является получение сведений о количественных характеристиках расчлененности рельефа с использованием морфометрических методов. Модельным объектом послужил бассейн р. Кылымью, в пределах которого проанализированы усредненные высоты, амплитуда абсолютных высот и коэффициент развития рельефа. Установлено, что при восходящем типе развития рельефа радиальная миграция преобладает над латеральной миграцией, а при нисходящем – латеральная миграция выходит на первый план и приводит к выравниванию рельефа.

**Морфометрические признаки выделения наименьших картографических объектов
на эколого-динамических картах при геохимических исследованиях биогеоценозов**

Современный уровень науки предопределяет системный подход к изучению природных явлений. Природная система (биогеоценоз) имеет сложный баланс прихода и расхода вещества и энергии. Информация о связях компонентов и закономерностях функционирования биогеоценозов является основой составления экологических прогнозов в оценки последствий антропогенного влияния на окружающую среду. В этом плане очень информативным является анализ биогеоценозов с точки зрения системообразующих процессов. Данный подход позволяет проводить системный анализ большого количества переменных (геохимических, геофизических, биогеоценологических), которые контролируют водный баланс и миграцию химических элементов, регулируют обмен веществ и энергии как внутри биогеоценозов, так и между ними.

Одним из наиболее перспективных способов комплексного изучения биогеоценозов является метод малых водосборов. Малый водосбор может быть рассмотрен как наименьшая структурная единица ландшафта, в которой находят отражение общие закономерности обмена веществ и энергии конкретного региона. Зная площадь малого водосбора и общее количество поступающего вещества в составе атмосферных выпадений, можно определить интенсивность накопления или потери вещества в данной экосистеме путем измерения поверхностного и внутрипочвенного стоков растворенного и взвешенного вещества. Поэтому при проведении геоморфологического районирования территории стоит задача по выделению территориальных единиц, однородных состоянию эколого-геодинамических характеристик литосферы. В соответствии с этим на эколого-геодинамических картах должны обособляться территориальные единицы, являющиеся однородными по интенсивности проявления природных и техногенных геологических процессов.

При этом важно подчеркнуть, что, однако для крупномасштабных карт эколого-динамического районирования требуется оценка наличия геомеханических признаков геодинамической нестабильности геологических структур (проявление ползучести (крип), суффо-

зии, солифлюкции, эрозии). Получить такую информацию с традиционных карт (геологических, тектонических, топографических, почвенных, физико-географических) невозможно. Требуются иные методические подходы, один из которых связан с оценкой латеральной миграции химических элементов.

Латеральная миграция химических элементов относится к базовым понятиям геохимии ландшафтов. Она имеет существенное значение в перераспределении природных и техногенных потоков веществ в ландшафтах [2–4]. Латеральная миграция с разной активностью протекает под действием различных природных процессов: гравитационно-механических (осыпи, обвалы, оползни), солифлюкции, суффозии, мерзлотного крипа.

Природа латеральной миграции определяется типом рельефа и основными факторами дифференциации: криогенезом, гидроморфностью, галогенезом, а также литогенными особенностями почвообразующих пород. Латеральная миграция протекает как на поверхности почвы с микроручейковым, склоновым стоком, так и с подподстилочными, внутрипочвенным и грунтовым стоком, охватывая толщу до 0,5...1,5 м. надо заметить, что глубина просачивания гравитационной влаги определяется проницаемостью субстрата и наличием водоупора, например литологическим контролем в зоне контакта отложений, различающихся по своему гранулометрическому составу (песок-суглинок, суглинок-глина), а в криолитозоне – уровнем залегания мерзлотного водоупора.

Между тем, при проведении крупномасштабного геоморфологического районирования территории при решении задач экосистемного мониторинга учет всех факторов, влияющих в той или иной мере на условия латеральной миграции химических элементов — сложная задача. При этом процесс создания крупномасштабных эколого-динамических карт становится очень трудоемким.

Какие факторы следует выбрать для картографической интерпретации латеральной миграции? Поскольку рельеф определяет интенсивность водообмена между автономными и подчиненными позициями и контролирует направленность процессов, т.е. соотношение радиальной или латеральной миграции, которые в свою очередь, зависят от морфометрических параметров рельефа (длины и крутизны склона), то, очевидно, что интенсивность водообмена между автономными и подчиненными позициями должна оцениваться по показателю степени расчленения рельефа. Это определяет ландшафтные условия латеральной миграции. Это одинаково справедливо для крупно- и среднемасштабных карт.

В данной работе приводятся результаты, представляющие собой первый опыт крупномасштабного картографирования условий латеральной миграции, который может быть использован при организации наблюдений за динамикой латерального стока вещества в пределах малых водосборов, рассматриваемых нами как наименьшая структурная единица экосистемного мониторинга.

Методика морфометрического анализа рельефа в пределах малых водосборов

Определение потенциально активных зон латерального выноса вещества в пределах малых водосборов, осуществлялось на основе морфометрических исследований путем их выделения по степени расчлененности рельефа. Морфометрические исследования осуществлялись с помощью картометрии, предполагающей получение сведений о количественных характеристиках расчленения рельефа и составления крупномасштабной карты вертикальной расчлененности рельефа, позволяющей определить направленность и относительную интенсивность латерального стока.

В качестве модельного объекта выбрана р. Кылтымью, которая является левым притоком реки Сысола. Ее длина составляет 36 км, а площадь водосборного бассейна 362 км². Территория бассейна Кылтымью расположена в северо-западной краевой части Волго-Уральской антеклизы, в области Сысольского свода. В геологическом строении региона принимают участие породы палеозойской, мезозойской и четвертичной систем. Четвертичные осадки

представлены отложениями среднего-верхнего плейстоцена и голоцена [7].

Основной целью работы является получение сведений о количественных характеристиках расчленения рельефа и составления крупномасштабной карты вертикальной расчлененности рельефа с использованием морфометрических методов. Для достижения поставленной цели проанализированы усредненные высоты и вертикальная расчлененность рельефа, изучена форма склонов.

Морфометрический анализ проводился с использованием топографической карты масштаба 1:100 000. Поле карты было разделено на квадраты с длиной стороны 3 см площадью 9 см². В каждом квадрате определялись абсолютные отметки. В каждом квадрате определялись значения наибольшей и наименьшей абсолютных высотных отметок по 36 точкам. Снятие значений производилось с шагом 0,5 см и точностью ± 5 м. Амплитуда абсолютных высот вычислялась как разность между наибольшей и наименьшей абсолютными отметками в пределах квадрата. Значения амплитуд относились к центрам квадратов, между которыми методом интерполяции проводились изолинии. По результатам анализа были построены три карты.

Первая-карта усредненного рельефа, позволяет представить рельеф в обобщенном виде, делает очень наглядным иерархическое строение рельефа земной поверхности и облегчает выделение морфологически целостных форм на разных масштабных уровнях [1]. На ней изображение крупных форм сохраняет их важнейшие особенности в равной степени на всех гипсометрических уровнях, снимает мелкие скульптурные формы рельефа и сглаживает резкие перепады высот. В целом, в северной части бассейна р. Кылтымью, усредненные высоты рельефа уменьшаются в направлении с северо-запада на юго-восток, а в южной части – с запада на восток (рис. 1) [7].

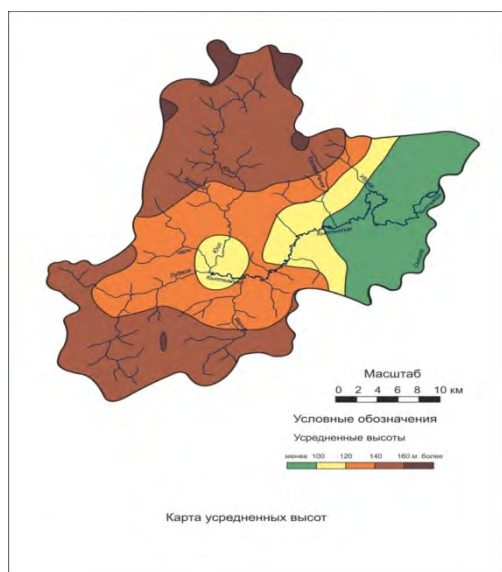


Рис. 1. Карта усредненных высот бассейна реки Кылтымью

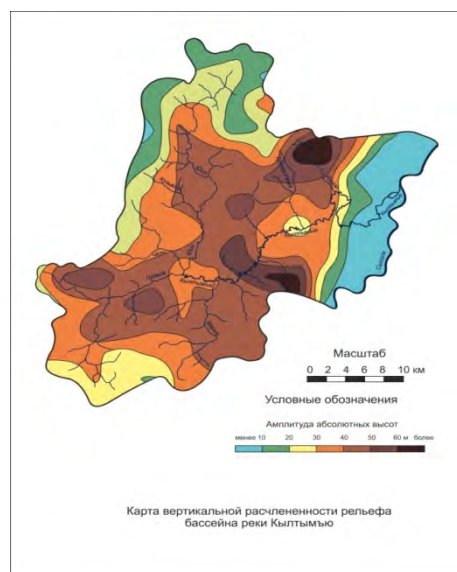


Рис.2. Карта вертикальной расчлененности рельефа бассейна реки Кылтымью

Вторая-карта вертикальной расчлененности рельефа (рис. 2), дает представление об относительной интенсивности неотектонических движений. По мнению В. Д. Голодовкина «карту расчлененности рельефа можно рассматривать как своеобразную карту относительных новейших движений» [5]. Теоретически считается, что полученная таким образом вершинная поверхность адекватно отражает поверхность неотектонического рельефа [6, 8, 9].

Третья-карта развития рельефа, характеризует относительную интенсивность и направленность позднечетвертичных тектонических движений. Сравнительный анализ карты верти-

кальной расчлененности рельефа и карты развития рельефа позволяет проследить изменения в направленности и интенсивности неотектонических движений.

При анализе карты (рис. 3) можно сделать вывод, что на территории бассейна р. Кылтымью преобладает восходящий тип развития рельефа (около 60 % площади), в частности, северная, северо-западная и южная части бассейна реки Кылтымью (рис. 3). Значения коэффициента развития рельефа в пределах исследуемой территории варьируют от 0,32 до 1,49. Минимальные значения коэффициента приурочены к пойме и долине Сысолы. Нисходящим типом развития рельефа в основном характеризуется восточная часть бассейна р. Кылтымью и территория, прилегающая к долине Кылтымью [7].

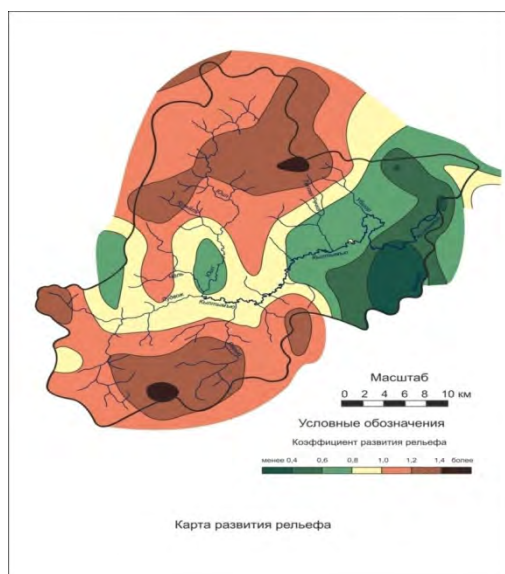


Рис. 3. Карта развития рельефа бассейна реки Кылтымью

Таким образом, если принять, что при восходящих движениях абсолютная высота водоразделов увеличивается, а реки энергично врезаются, то на 60% площади бассейна р. Кылтымью преобладает глубинная эрозия, склоны долин становятся более крутыми и в этих условиях радиальная миграция преобладает над латеральной. Поскольку восточная часть бассейна р. Кылтымью и территория, прилегающая к долине Кылтымью, характеризуется нисходящим типом развития рельефа, то для этой территории абсолютная высота водоразделов в пределах малых водотоков уменьшается, а глубинная эрозия заменяется боковой. При этом латеральная миграция становится преобладающей и сопровождается выполаживанием рельефа.

Литература

1. Бронгулиев В.В., Бронгулиев В.В. Карта усредненного рельефа Русской равнины // Геоморфология. – 1987. – № 1. – С. 22–29.
2. Геннадиев А.Н., Касимов Н.С. Латеральная миграция вещества в почвах и почвенно-геохимические катены // Почвоведение. – 2004. – № 12. – С. 1447–1461.
3. Глазовская М.А. Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и способности природных систем к самоочищению // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. – М., 1981. – С. 7–40.
4. Глазовская М.А., Касимов Н.С., Перельман А.И. Основные понятия геохимии ландшафтов, существенные для фонового мониторинга // Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. – М., 1989. – С. 8–25.
5. Голодовкин В.Д. Опыт применения карты расчлененности рельефа для прогноза тектонического строения южной части Куйбышевской области // Геоморфологические методы

- при нефтегазопроисловых работах. – М. : Наука, 1966. – С. 126–128.
6. Карта геоморфологического районирования СССР. Масштаб 1:8 000 000 / ред. А.И. Спиридонов. – М., 1985.
 7. Лысова В.Ф., Юдина Е.Н. Морфометрический анализ рельефа и речной сети бассейна реки Кылымью // География Республики Коми: прошлое, настоящее, будущее : материалы III Республиканской научно-практической конференции. – Сыктывкар : Коми РО РГО, 2016. – С. 78–82.
 8. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. – М. : Недра, 1975. – 175 с.
 9. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. – Саратов : Изд-во Саратовск. ун-та, 1975. – 230 с.

УДК 551.588.7

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА НИЖНИЙ КАБАН (Г. КАЗАНЬ, РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)

А.Р. Юсупова, Д.М. Кузина, Н.Г. Нурғалиева, Я.О. Бурылин

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

i@ajusupova.ru

RESEARCH ON THE GEO-ENVIRONMENTAL CONDITION OF LOWER KABAN LAKE (KAZAN, REPUBLIC OF TATARSTAN)

A.R. Yusupova, D.M. Kuzina, N.G. Nurgalieva, Ya.O. Burylin

Kazan Federal University, Kazan, Russia

i@ajusupova.ru

Abstract. Урбанизированные территории, как известно, представляют собой локальную зону, в которой сконцентрированы очаги различных техногенных загрязнений. Основные выбросы в городской среде, включая г. Казань, осуществляют промышленные предприятия, автомобильный и железнодорожный транспорт, стационарные объекты сжигания топлива и т. д. В качестве объекта исследования было выбрано оз. Нижний Кабан, поскольку этот водоем является одной из главных достопримечательностей г. Казани и расположен в зоне с высокой антропогенной нагрузкой. Осенью 2024 г. сотрудниками Института геологии и нефтегазовых технологий был отобран керн для оценки современного геоэкологического состояния оз. Нижний Кабан на основе ряда лабораторных исследований, включающих геохимические и магнитные измерения.

Введение

Тяжелые металлы антропогенного характера, как известно, являются опасными загрязнителями окружающей среды. Основной выброс тяжелых металлов осуществляют промышленность, а также автомобильный и железнодорожный транспорт.

Согласно отчетам ФГБУ «УГМС Республики Татарстан», в период с 2021–2023 гг. уровень загрязнения воздуха в г. Казань – высокий (3-й из 4 уровней). К району с неблагоприятной экологической обстановкой относится Вахитовский район, главной достопримечательностью которого является оз. Нижний Кабан.

Цель настоящего исследования – изучение петромагнитных, минералогических и геохимических данных, в первую очередь содержания тяжелых металлов в донных отложениях оз. Нижний Кабан, подвергающегося антропогенному воздействию.

Материалы и методы

Керн донных отложений озера Нижний Кабан (55°46'25" с. ш., 49°07'33" в. д.) (рис.1.) по данным первичного литологического описания представлен коричневым плотным илом. Длина колонки составила 19 см. Шаг отбора образцов – 1 см. Для всех отобранных образцов измерена магнитная восприимчивость (МВ), определены основные гистерезисные параметры, а также определены вклады пара-, ферро- и суперпарамагнитных компонент в МВ. Минеральный состав изучен при помощи дифференциально-терромагнитного анализа (ДТМА), рентгеновского дифракционного анализа и сканирующей электронной микроскопии. Химический состав изучен методами рентгенофлуоресцентного анализа и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС).

Результаты и их обсуждение

Установлено, что значения МВ изменяются в диапазоне (1.065–2.075) 10^{-7} м³/кг. По диаграмме Дея–Данлопа выявлено, что образцы относятся к псевдооднодоменным частицам. Наибольший вклад в МВ вносит ферромагнитная компонента. Согласно результатам ДТМА, в

образце с глубины 4 см содержится магнетит и фиксируется наличие техногенного железа, что подтверждается результатами сканирующей электронной микроскопии. На основе рентгеновского дифракционного анализа и сканирующей электронной микроскопии выявлено, что в осадках преобладает содержание аллотигенных минералов – до 91%.



Рис. 1. Расположение места отбора керновой колонки (красный кружок) оз. Нижний Кабан и расположение объектов (синий кружок), по которым проведено сравнение средних значений концентраций тяжелых элементов по (Иванов, 2016; Валиев и др., 2016)

Установлено, что в осадках оз. Нижний Кабан содержится повышенное содержание Са и S, что коррелирует с находками кальцита и пирита в изучаемых отложениях. Содержания тяжелых металлов (Cu, Pb, Zn) положительно коррелируют между собой (таблица 1). В то же время эти содержания положительно коррелируют и со значениями параметра MB (преимущественно ферромагнетики) (таблица 1), выступающим прокси техногенного загрязнения (Yang et al., 2007).

Таблица 1. Ранговые корреляции Спирмена. Корреляции значимы на уровне $p < ,05$

	MB	Zn	Cu	Pb
MB	1,00			
Zn	0,94	1,00		
Cu	0,71	0,77	1,00	
Pb	0,83	0,94	0,89	1,00

Источниками тяжелых элементов Cu, Pb и Zn, вероятно, являются сточные воды, воздушная пыль промышленного происхождения, автотранспорт и стационарные объекты сжигания топлива (Даульвальтер, 2012; Горшкова и др., 2023).

Сравнение средних значений концентраций тяжелых элементов, полученных нами по оз. Нижний Кабан с данными предыдущих исследований за 2015 г. по [Иванов, 2016], позволило выявить увеличение концентраций Co, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn и существенное увеличение содержания Fe. Также отмечается небольшое снижение содержания Pb в осадках оз. Нижний Кабан. Также нами установлено, что для нынешнего состояния оз. Нижний Кабан отмечается небольшое увеличение содержания Co, Cu, Zn, Cr, по сравнению с данными за 2016 г. по (Валиев и др., 2016).

Помимо этого мы сравнили полученные данные по средним содержаниям тяжелых элементов с данными по Малому Голубому озеру (рис.1), расположенному в пригороде г. Казани. Как и следовало ожидать, на фоне пригородных озер, осадки оз. Нижний Кабан наиболее загрязнены тяжелыми металлами (Co, Cu, Na, Zn, Cr, Mn, Fe).

Заключение

В ходе проведения предварительных геоэкологических исследований осадков озера Нижний Кабан, расположенного в центре г. Казань, установлено увеличение концентраций тяжелых металлов за последние 10 лет. Для более детальных исследований необходим отбор дополнительных керновых колонок в разных частях акватории озера, что позволит дать наиболее точную оценку современного состояния водоема.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания проект No FZSM-2023–0023 в сфере научной деятельности.

Литература

1. Иванов Д.В., Зиганшин И.И., Маланин В.В. и др. Характеристика донных отложений голубых озер г. Казани // Российский журнал прикладной экологии. – 2016. – № 3(7). – С. 19–22.
2. Валиев В.С., Иванов Д.В., Зиганшин И.И. и др. Анализ распределения форм металлов в донных отложениях озер природных и урбанизированных территорий Республики, Татарстан // Труды Карельского научного центра РАН. – 2016. – № 9. – С. 57–67.
3. Горшкова П.П., Лавренникова О.А. Загрязнение почв тяжелыми металлами // Символ науки. – 2023. – № 2-1. – С. 19–20.
4. Yang T., Liu Q., Chan L. et al. Magnetic investigation of heavy metals contamination in urban topsoils around the East Lake, Wuhan, China // Geophys. J. Int. – 2007. – Vol. 171. – P. 603–612.
5. Иванов Д.В., Зиганшин И.И., Валиев В.С. и др. Оценка уровня загрязненности донных отложений озера Нижний Кабан Г. Казани в районе расположения фитоочистных сооружений // Химия и инженерная экология – XVIII : сборник трудов международной научной конференции. – Казань, 2018. – С. 284–288.
6. Даульвальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. – Мурманск : Изд-во Мурманского гос. техн. ун-та, 2012.

Секция 5

**БИОГЕОХИМИЯ ПОЧВ:
ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА, НОРМИРОВАНИЯ,
МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ,
ИХ СОЕДИНЕНИЙ, ИЗОТОПОВ**

УДК 631.4(075)

**ПЕДОГЕОХИМИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ
И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ**

М. Актамов, Г. Юлдашев, М. Исагалиев

Ферганский государственный университет, Узбекистан

murodjon-isa@mail.ru

**PEDOGEOCHEMISTRY OF IRRIGATED SALINE LANDS
AND METHODS OF THEIR RESEARCH**

Aktamov M., Yuldashev G., Isagaliyev M.

Fergana State University, Uzbekistan

murodjon-isa@mail.ru

Аннотация. В статье определено, что в орошаемых засоленных почвах образуются слабая геохимическая провинция по валовому содержанию биомикроэлементов: В, Мо и Zn. С увеличением степени засоленности концентрация микроэлементов возрастает. Доказано, что по коэффициенту биологического поглощения хлопчатника элементы В, Cu, Zn и Мо относятся к группе биологического накопления ($A_x > 1$), а Mn к группе биологического захвата ($A_x < 1$).

Введение

Под влиянием техногенеза и других факторов ежегодно в мире теряется 70 тыс. км² земель, причем эти потери приходятся в основном на наиболее густонаселенные территории и плодородные почвы. Наибольшим физическим и химическим деформациям подвергаются верхние пахотные горизонты орошаемых почв. В этом плане исследование изменения засоления, а также миграции отдельных элементов и их соединений вызванное техногенезом, являются актуальными проблемами геохимии почв [2, 3]. В аридных регионах, таких как Центральная Фергана (Республика Узбекистан) 0–30 см слой или пахотные горизонты почвы служат надежным индикатором загрязнения и других свойств почв.

Известно, что академик Б.Б. Полюнов разработал специфический метод исследований – сопряженный ландшафтно-геохимический анализ, который заключается в сопряженном изучении почвообразующих пород–почв–растений, позволяющий установить интенсивность миграции химических элементов в блоках элементарных и геохимических ландшафтов [4]. В этом плане большая роль принадлежит документации почвенных разрезов и обработке полученных материалов.

Методы исследования

Полевой период начинается с выделения генетических горизонтов почв, где наряду с обычными общепринятыми приемами отмечается характер выщелачивания солей, образование геохимических барьеров и др. В специальной колонке разреза отмечается предполагаемый вид аномалии, направление движение поливных и грунтовых вод в сторону барьера/от барьера. Образцы почв и почвообразующих пород следует отобрать не только из средней части генетического горизонта, но также с участков предполагаемых геохимических барьеров, из контактных зон материнских пород и грунтовых вод. Кроме того, берутся солевые, гипсовые, карбонатные и другие новообразования. Точно также как в почвоведение непосредственно в полевых условиях все горизонты, включая геохимические барьеры, проверяются соляной кислотой на присутствие почвенных карбонатов. Отмечаются засоленные легкорастворимыми солями пятна. Указанные разрезы с учетом поставленной задачи закладываются на элементарных сопряженных ландшафтах, которые нами рассмотрены ниже.

После определения места разрезов на элементарных и геохимических ландшафтах и отбора проб почв, растений и почвообразующих пород, проводятся химические и физико-

химические и др. виды анализа, для определения химического состава элементов ландшафта. После проводятся расчеты: кларк концентрации (КК), рассеяния, а также коэффициенты биологического поглощения (КБП), местной миграции, биогеохимическая активность и другие показатели по методике [3, 5]. Затем определяются педогеохимические барьеры, галогенетические изменения и наконец, можно произвести геохимическое районирование территории с учетом геохимических провинций.

Результаты и обсуждения

В блоках геохимических элементарных ландшафтов происходит мобилизация, транслокация, аккумуляция химических элементов. На начальных этапах движения в цепи происходит мобилизация относительно малоподвижных простых и сложных веществ, где образуются солеобразующие ионы, и начинается миграция первого этапа. На втором этапе происходит их транслокация, где может произойти изменение не только в составе, но и в количестве химических соединений. На третьем этапе происходит аккумуляция солей и элементов в зависимости от ряда геохимических свойств ионов, таких как атомная масса, радиус иона, Картледж потенциала и др., а также физико-химических, биологических и биогеохимических условий почв. При этом в процессе аккумуляции на педогеохимических барьерах могут образоваться совершенно другие химические соединения, новые соли, например сода и др. соли. Нами установлены образовавшиеся химические вещества, которые могут влиять на рост и развитие растений. Для растений нет токсичных или нетоксичных элементов, а есть токсичные концентрации. Влияние микроэлементов на свойства почвы и растения, наряду с другими причинами зависит от миграционных способностей, т.е. от кларков концентрации и кларков рассеяния химических элементов. В целом сходные особенности распределения микроэлементов-биофилов характерны для разных по типу и степени засоления изученных нами почв, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. Кларк концентрации микроэлементов в почвах (пахотный горизонт)

Орошаемые почвы	КК
Серо-бурые, слабозасоленные	*B(6,43)>Mo(2,74)>Zn(1,50)>Mn(0,83)>Cu(0,69) **Mo(0,86)>B=Mn(0,10)>Cu=Zn(0,01-0,02)
Накальмотированные, слабозасоленные	B(6,78)>Mo(2,86)>Zn(1,57)>Mn(0,86)>Cu(0,67) Mo(0,94)>B=Mn(0,10)>Cu=Zn(0,01-0,02)
Староорошаемые луговые сазовые, среднезасоленные	B(7,62)>Mo(3,85)>Zn(1,74)>Mn(0,98)>Cu(0,88) Mo(1,41)>B=Mn(0,12)>Cu=Zn(0,01-0,03)
Новоорошаемые луговые сазовые, слабозасоленные	B(7,26)>Mo(3,03)>Zn(1,62)>Mn(0,93)>Cu(0,73) Mo(0,92)>B=Mn(0,11)>Zn(0,03)>Cu(0,01)

Примечания: * – валовые; ** – подвижные.

Из приведенных данных видно, что КК валового В в пахотных горизонтах изученных почв варьирует в пределах 6,43–7,62. Причем, более высокие концентрации характерны для засоленных луговых сазовых почв, что очевидно связано с сазовым режимом грунтовых вод и генетическими особенностями луговых сазовых и серо-бурых почв. Нами отмечено, что в серо-бурых почвах В довольно много, КК которого составляет 6,43 и 6,78.

После В вторые места занимает Мо, что связано с большей его растворимостью в условиях засоления и окислительно-восстановительными условиями в связи с изменением валентности Мо от 2 до 6. Подвижность Мо в условиях засоления более высокая, о чем свидетельствуют данные его КК, который варьирует в пределах 0,86-1,41, причем с ростом засоления почв наблюдается рост КК Мо. Из приведенных данных и литературных источников [5, 6] видно, что изученные элементы по значению КК занимают первое место в геохимических рядах. В занимает ведущее место, вторым идет Мо, далее Zn, Mn, Cu, что связано геохимическими свойствами: порядковым номером, атомной массой, металл/не металл, Картледж по-

тенциал, ионный радиус и т.д. К примеру, В в таблице Менделеева находится на 5 месте II ряда, атомная масса составляет 10,8 с двумя орбитами электронов, не металл, в основном трехвалентный элемент. Также на его КК влияют почвенные факторы, с учетом которых его КК выше остальных изученных элементов. Металлоиды в условиях засоленных почв лучше мигрируют, чем металлы. Металлы располагаются, таким образом, что чем меньше металла, тем больше коэффициент его биологического поглощения. Как пример, КБП Мо в изученных почвах составляет 0,31–0,44, его КК – $3,10^{-4}\%$ [1] (табл. 2), затем идут Zn, Cu, Mn содержание, которых на порядок выше, чем кларк Мо.

Таблица 2. Коэффициенты биологического поглощения (пахотные горизонты)

Орошаемые почвы	Состояние элементов	КБП
Хлопчатник		
Серо-бурые, слабозасоленные	валовые подвижные	Mo(0,44)>B(0,26)>Cu(0,24)>Zn(0,18)>Mn(0,075) B(15,83)>Cu(13,95)>Zn(11,23)>Mo(1,38)>Mn(0,61)
Накальмотированные, слабозасоленные	валовые подвижные	Mo(0,42)> Cu=B(0,25)>Zn(0,17)>Mn(0,073) B(15,34)>Cu(13,03)>Zn(10,90)>Mo(1,27)>Mn(0,59)
Староорошаемые луговые сазовые средnezасоленные	валовые подвижные	Mo(0,39)>Cu=B(0,23)>Zn(0,16)>Mn(0,067) B(15,34)>Cu(12,42)>Zn(9,95)>Mo(1,30)>Mn(0,59)
Новоорошаемые луговые сазовые слабозасоленные	валовые подвижные	Mo(0,39)>B(0,22)>Cu(0,19)>Zn(0,15)>Mn(0,03) B(14,26)>Cu(12,23)>Zn(9,48)>Mo(0,85)>Mn(0,55)

Согласно методике Перельмана КБП [3] $A_x > 1$ – элемент/элементы накапливаются в растениях, $A_x < 1$ – только захватываются. Согласно приведенных данных все изученные элементы аккумулируются в растениях. Здесь требуется разделение категорий на слабо/средне/сильно захватывающихся и накапливающихся элементов, которые разрабатываются нами. Согласно данным [7] и др. авторов, которые разработали достаточность/избыток элемента для растений, содержание Cu и Zn, B достаточны для роста и нормального развития растений, в данном случае хлопчатника. Содержание Mn и Mo избыточные и токсичные: 827,1–980,1 и 3,1–4,23 мг/кг, соответственно. Интервалы концентраций микроэлементов, влияющие на рост, развитие и урожайность растений положительно или отрицательно, зависят от многочисленных природных и антропогенных факторов, таких как фаза роста растений, сорт, почвенно-климатические условия, почвенная среда и др.

В пустынных почвах имеет место педогеохимическая провинция В и Мо, где кларк концентрации в почвах и почвообразующих породах колеблется в пределах 6,43–7,62 и 2,74–3,15, соответственно. В соответствии с указанными провинциями наблюдается рост коэффициентов биологического поглощения растениями этих элементов, где КБП по В от 0,26 до 15,34, а по Мо от 0,39 до 0,44.

Литература

1. Вернадский В.И. Очерки геохимии. – М. : Наука, 1963. – 415 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М., 1957. – 238 с.
3. Перельман А.И., Касымов Н.С. Геохимия ландшафта. – М. : МГУ, 1999. – 719 с.
4. Польшов Б.Б. Учение о ландшафтах. – Л., 1985. – Т. 13. – С. 493–511.
5. Юлдашев Г., Исагалиев М. Геохимия почв конусов выноса. – Ташкент : Фан, 2012. – 160 с.
6. Турдалиев А.Т., Юлдашев Г. Геохимия педолитных почв. – Ташкент : Фан, 2015. – 200 с.
7. Miller W.P., Martons D.C., Zolazryl L.W. Effect of sequence in extraction of trace metals from soils // Soil Science Society of America Journal. – 1986. – Vol. 50 – P. 598–601. – doi: 10.2136/sssaj1986.03615995005000030011x.

УДК 504.4.054; 504.4.06

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ
БАССЕЙНА РЕКИ САРЫ-ДЖАЗ**

Т.К. Арбаев¹, Б.К. Калдыбаев¹, А.П. Верещагин²

¹*Иссык-Кульский государственный университет, Каракол, Кыргызстан
arbaevtologon@mail.ru*

³*Государственный природный парк «Хан-Тенири», Каракол, Кыргызстан
sarychat_e@mail.ru*

**MICROELEMENTS IN THE SOIL AND VEGETATION COVER
OF THE SARY-DZHAZ RIVER BASIN**

T.K. Arbaev¹, B.K. Kaldybaev¹, A.P. Vereshchagin²

¹*Issyk-Kul State University, Karakol, Kyrgyzstan
arbaevtologon@mail.ru*

³*State Nature Park "Khan-Teniri", Karakol, Kyrgyzstan
sarychat_e@mail.ru*

Abstract. Статья посвящена изучению уровней накопления олова и других микроэлементов в почвенно-растительном покрове природно-техногенных экосистем бассейна реки Сары-Джаз, расположенного в высокогорной зоне восточной части Иссык-Кульской области. Для исследования проведен анализ 36 почвенных и 24 растительных проб, содержание микроэлементов определялось методом эмиссионного спектрального анализа. Результаты исследований показали, что содержание микроэлементов в почвах варьирует в пределах кларковых значений, незначительное увеличение концентраций характерно на отдельных участках района олововольфрамовых месторождений и рудопроявлений. Установлена положительная корреляционная связь между содержанием олова и свинца в почвах, по другим микроэлементам она менее ярко выражена. Уровни накопления микроэлементов в растениях соответствуют установленным биогеохимическим критериям, большинство из них больше обнаруживаются в корневой системе растений, относительно их наземной части.

Введение

Тяжелые металлы являются приоритетными загрязнителями, несмотря на то что многие из них необходимы для жизнедеятельности организмов как микроэлементы, их накопление в объектах окружающей природной среды приводит к негативным последствиям [1]. Среди них особый интерес олово представляет, его широкое использование в промышленности приводит к постоянному увеличению объемов добычи и вместе с тем к загрязнению в окружающей среды [2]. Сведения о распределении олова в земной коре показывают его высокие концентрации в глинистых отложениях (6–10 мг/кг) и низкие – в ультраосновных и известковых породах (0,35–0,50 мг/кг). Олово образует лишь ограниченное количество собственных минералов, основным из которых является касситерит, обладающий высокой устойчивостью к процессам выветривания. Хотя главным источником олова в почвах считаются материнские породы, его концентрация в верхних слоях почвы практически не отличается. В стандартных почвенных образцах уровень олова составляет около 4,5 мг/кг, в то время как, согласно данным Виноградова А.П. (1957), кларк олова оценивается в 10 мг/кг [3]. Целью нашего исследования явилось изучение уровней накопления олова и других микроэлементов в почвенно-растительном покрове природно-техногенных экосистем бассейна реки Сары-Джаз.

Материалы и методы

Для исследования содержания микроэлементов были отобраны образцы почвы и раститель-

ности высокогорных экосистем бассейна реки Сары-Джаз. Отбор почвенных проб проводился в соответствии с нормативами ГОСТ 17.4.4.02-84 [4]. Растительные образцы были взяты с тех же участков, что и почвенные. Всего было проанализировано 36 почвенных и 24 растительных проб. Содержания микроэлементов в почвах и растениях определялись методом эмиссионного спектрального анализа в центральной лаборатории Министерства природных ресурсов, экологии и технического надзора Кыргызской Республики. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы StataMP-64.

Результаты и их обсуждение

С давних времен высокогорный регион бассейна реки Сары-Джаз являлся перспективным центром горнорудной деятельности, где находится ряд месторождений олова, вольфрама, полиметаллов, а также редких и рассеянных элементов. Вулканогенно-терригенно-карбонатные породы прорваны массивами гранитов, вмещающих 23 рудные зоны, включающие 191 жильное рудное тело. Здесь преобладают рудные тела кварц-турмалинового состава, главными рудными минералами являются касситерит, шеелит, вольфрамит. Содержание олова колеблется от 0,1 до 1,0%, триоксида вольфрама – 0,1–0,76%, флюорита – до 12,7% [5].

Результаты исследований показали, что содержание олова в верхнем слое почвы (0–10 см) на территории олововольфрамового месторождения колеблется в пределах 4–13 мг/кг, в растительных образцах в наземной части: 3–8 мг/кг, в корневой системе: 5–20 мг/кг (табл. 1).

Таблица 1. Статистические характеристики содержания олова в почвах и растениях в районе олововольфрамовых месторождений

Вид образца	$\bar{x} \pm m$ (мг/кг)	D	σ	V, %	Предел колебаний (мг/кг)
Почва	7,6±4,6	1,4	3,7	4,8	4-13
Растения (укоп)	4,6±2,8	5,3	2,3	5,0	3-8
Растения (корневая система)	10,8±8,8	5,1	7,1	6,5	5-20

Примечание: $\bar{x} \pm m$ – среднее значение с погрешностью; D – дисперсия выборки; σ – среднее квадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

При закладке почвенного разреза содержание олова в верхнем горизонте почв А (0–10 см) составило 13 мг/кг, в горизонте В (10–30 см) – 25 мг/кг, в горизонте ВС (30–40 см) – 33 мг/кг, в горизонте С (40–55 см) – 18 мг/кг, что соответственно в 2,5, 3,3 и 1,8 раз выше кларка в почвах. Содержание других микроэлементов в почве варьирует в пределах фоновых показателей, незначительное накопление относительно кларковых значений характерно для свинца, меди и кобальта. Наблюдается положительная корреляционная зависимость между содержанием олова и свинца в почве ($r=0,96$; $p < 0,05$). Согласно литературным данным, почвы в районах с оловянной рудой минерализации могут содержать микроэлемент на порядок больше фоновых значений. Так, содержание олова в почве в местах складирования горных пород на территории месторождения достигает 2000 мг/кг, вольфрама 500 мг/кг. Возможно, что в результате эрозионных процессов происходит частичное перемещение мелкообломочного материала горных пород с территории месторождения на более низкие участки рельефа. Так, например, в одной из точек отбора расположенной ниже оловорудного месторождения, вниз по рельефу местности установлены повышенные содержания в почве олова – 50 мг/кг, меди – 300 мг/кг, кобальта – 30 мг/кг, никеля – 70 мг/кг.

По данным исследований Дженбаева Б.М. (2019), докембрийские углистые сланцы в бассейне реки Сары-Джаз имеют высокую концентрацию селена (10–30 мг/кг), в отдельных случаях в почвах также фиксируются повышенные концентрации мышьяка, свинца и никеля. Для сланцев и лиддитов характерно обогащение селеном, медью и молибденом. Однако, несмот-

ря на высокое содержание данных микроэлементов в сланцах их участие в биогеохимическом цикле ограничено, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты накопления микроэлементов растениями [6]. По результатам нейтронно-активационного анализа почвы данного региона обогащены цирконием, сурьмой, ураном, лантаном, неодимом и рядом других редких и рассеянных элементов [7]. С экологической точки зрения данный высокогорный регион представляет интерес в связи с уникальной ассоциацией редких химических элементов в объектах окружающей природной среды.

Заключение

Результаты исследований показали, что содержание олова и других микроэлементов в почвах бассейна реки Сары-Джаз варьирует в пределах кларковых значений, повышенные концентрации характерны на отдельных участках олововольфрамовых месторождений и рудопроявлений. В растительных образцах присутствуют такие микроэлементы, как Be, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Pb. Уровни их накопления в растениях соответствуют установленным биогеохимическим критериям. Большинство из них содержатся в основном в корневой системе растений, относительно их надземной части.

Литература

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
2. Ивашов П. В. Биогеохимическая провинция олова в южной части Дальнего Востока России // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2021. – № 2(216). – С. 55–62.
3. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М. : АН СССР, 1957. – 219 с.
4. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа : ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы». – 2018.
5. Никаноров В.В. Рудные месторождения Кыргызстана. – Бишкек, 2009. – 482 с.
6. Дженбаев Б.М., Ермаков В.В., Дыйканов К. и др. Биогеохимические особенности селена в природно-техногенных ландшафтах (Кыргызстан) // Доклады Национальной академии наук Кыргызской Республики. – 2019. – № 1. – С. 45–49.
7. Дженбаев Б.М. Биогеохимия горных экосистем Кыргызстана // Современные тенденции развития биогеохимии (труды Биогеохимической лаборатории, Т. 25). – М. : ГЕОХИ РАН, 2016. – С. 237–250.

УДК 622.7.004.3/4; 622.7:621.796; 622.795.2

ОБ ИММОБИЛИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ В ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ СИБИРИ

В.С. Артамонова¹, С.Б. Бортникова², А.Ш. Шавекина^{2,3}

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
artamonovavs@yandex.ru; artamonova@issa-siberia.ru

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука, Новосибирск, Россия
Bortnikovasb@igpp.sbras.ru

³Институт геологии и минералогии СО РАН им. В.С. Соболева, Новосибирск, Россия
khusainova@igm.nsc.ru

ON THE IMMOBILIZATION OF CHEMICAL ELEMENTS BY SOIL MICROORGANISMS IN SIBERIAN TAILINGS PONDS

V.S. Artamonova¹, S.B. Bortnikova², A.Sh. Shavekina^{2,3}

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia, artamonovavs@yandex.ru; artamonova@issa-siberia.ru

²Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia,
Bortnikovasb@igpp.sbras.ru

³Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
khusainovas@igm.nsc.ru

Аннотация. Проведены почвенно-микробиологические исследования многолетних хранилищ отходов обогащения Au-содержащих колчеданных и полиметаллических руд Сибири. С использованием сканирующей электронной микроскопии идентифицированы жизнедеятельные цианобактерии и диатомеи. Выявлены металлы и металлоиды в экзометаболитах и цитоплазме микроорганизмов. Установлена избирательность в отношении аккумуляции Ba, As, S *in situ*. Барий иммобилизуется диатомеями в кислой среде внутри клеток, цианобактериями – внеклеточно, S – в слизи диатомей, в слизи и внутри клеток цианобактерий. Накопление As зарегистрировано исключительно цианобактериями, как в слизи, так и в цитоплазме, в щелочной среде. Предполагается, что цианобактерии используют As для аноксигенного фотосинтеза, предварительно хелатируя металлоид экзополисахаридами. Присутствие S внутри клеток цианобактерий, возможно, связано сульфидному фотосинтезу. Иммобилизации Ba диатомеями могут способствовать металлосвязывающие белки.

Введение

Многолетние открытые хвостохранилища визуально представляют собой необитаемые ландшафты. Отсутствие на их поверхности вновь сформированного почвенно-растительного покрова обусловлено слабой закрепленностью минерального субстрата и его биотоксичностью, что не способствует выживанию фитопоселенцев, проявлению активных процессов детоксикации и самоочищения хранилищ, сохранению исходного качества природной среды за пределами складированных отходов. С целью снижения их негативного воздействия на экологическое состояние окружающей среды за рубежом (США, Канаде, Испании, Мексике, Аргентине, Чили, Австралии, Китае и других странах) активно реализуются технологии биоремедиации, в том числе фитомелиорации и фитостабилизации [8, 9]. Особое внимание уделяется биоремедиации тяжелых металлов с помощью микроорганизмов, в частности цианобактерий [7]. Выход Указа Президента России в 2023 году «О разработке почвоподобных технологий в РФ» [3], в применении которых нуждаются объекты консервации складированных отходов обогащения руд, актуализировал поиск аборигенных микроорганизмов, участвующих в биодетоксикации химических элементов. Ранее нами было установлено, что цианобактерии и диатомеи присутствуют в метаболически активном состоянии в поверхностном слое хвостохранилищ Сибири [1], участвуют в первичном почвообразовании. Это послужило

основанием для исследования химического состава микроорганизмов. Цель данной работы – идентифицировать *in situ* жизнедеятельные цианобактерии и диатомеи, выявить особенности иммобилизации ими химических элементов в экзометаболитах и в цитоплазме (с применением СЭМ).

Материалы и методы

Объектами исследований были складированные отходы обогащения руд (хвосты), называемые в почвоведении – техногенные грунты (ТГ) [2], которые были сформированы при получении Au-, Ag-, Co-, Ni, Cu- коллективного концентрата из Au-содержащих колчеданных и полиметаллических руд. Они складированы в прошлом веке на территории рудных полей Сибири (в Кемеровской обл. и Республике Тыва) в окружении природных экосистем, поэтому активно вовлекаются в первичное почвообразование с участием микроорганизмов-мигрантов. Пробы отобраны с поверхности ТГ в летний период. Визуализация жизнедеятельных цианобактерий и диатомей осуществлялась с применением сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) фирмы TESCAN MIRA 3LMU (Tescan, Чехия) с энергетическим спектрометром фирмы OXFORD (Oxford Instruments, Великобритания). Их технические характеристики представлены ранее, как и подробное изложение подготовки проб для анализа [4]. Состав и содержание химических элементов в жизнедеятельных микроорганизмах определяли на установке OXA-8230 (Jeol Ltd., Япония).

Результаты и их обсуждение

Биогеохимические исследования показали, что поверхностная толща ТГ – хвостохранилищ Сибири обнаруживает признаки формирования запаса Сорг., который составляет (без перерасчета на 1,724) в гумидной зоне 0.5–1.4%, в аридной зоне – около 0.3 %. В синтезе первичного органического вещества принимают участие метаболически активные микроорганизмы: цианобактерии и диатомовые водоросли. Цианобактерии представлены одноклеточными, колониальными и нитевидными формами, диатомеи – одноклеточными и колониальными. Видовое разнообразие доминантов слагают представители цианопрокариот – родов *Microcoleus*, *Schizothrix*, *Leptolyngbya*, *Tolypothrix*, *Gloeocapsa*, *Nostoc*, которым свойственно продуцирование слизистых экзометаболитов. Состав жизнедеятельных диатомей представлен видами р. *Synedra*, *Eunotia*, *Nitzschia*, *Suriella*, *Pleurosigma*, *Stauroneis* и др. Им присуща способность к слизиобразованию и движению. Анализ химического состава микроорганизмов показал, что цианобактерии аккумулируют Al, Si, S, Ca, Fe, Ba, P, Mg, As, Mn, Co, Ni, Cu, Pb, диатомовые водоросли – тот же набор элементов, за исключением As, но накапливают еще Cr, Zn, Ti. Для многих цианобактерий выявлена преимущественная иммобилизация элементов в слизистых экзометаболитах, превышающая таковую в цитозоле в 2–3 раза. Показано, что подкисление среды обитания способствует преимущественному накоплению S внутри клеток цианобактерий, подщелачивание – As, что не исключает проявление прокариотами древних механизмов аноксигенного фотосинтеза: сульфидного и мышьяковистого. В первом случае окисление соединений серы способствует накоплению молекулярной S, а образовавшейся энергии – синтезу органического вещества из углекислого газа (CO₂). Мышьяковистый фотосинтез обеспечивает в условиях избытка ультрафиолета и подавления хлорофилла пополнение запаса АТФ, необходимого для энергозатратного продуцирования экзометаболитов. Не исключено, что часть неорганического As частично подвержена хелатированию, частично метилированию с образованием органических соединений As, что обеспечивает его присутствие в нетоксичной для биоты форме [5]. Диатомеи не обнаруживают аккумуляцию металлоида вследствие биохимических механизмов защиты [6]. В то же время в цитозоле диатомей р. *Synedra* и *Suriella*, обитающих в хвостохранилищах гумидной и аридной зоны, присутствуют ионы Ba, которые не выявлены в слизи. Следует сказать, что соотношение содержания некоторых тяжелых металлов в слизи и цитозоле диатомей, например, видов

р. *Pleurosigma* и р. *Synedra*, присутствующих в одних и тех же геохимических условиях, различается.

Заключение

Выявленные *in situ* почвенные цианобактерии и диатомеи сохраняют жизнедеятельность на поверхности ТГ в широком диапазоне кислотности в горнорудных районах Западной и Средней Сибири. В экзометаболитах и цитозоле микроорганизмов обнаружены иммобилизованные тяжелые металлы и мышьяк. Метаболическая активность цианобактерий и диатомей сохраняется благодаря механизмам детоксикации элементов – биотоксикантов, вероятно, путем хелатирования экзополисахаридами и закрепления металлов связывающими белками цитоплазмы. Синтез биомассы и энергии у цианопрокариот обеспечивается на фоне избытка сульфидов и мышьяка, по-видимому, благодаря кислородному и древним анакислородным механизмам фотосинтеза. Полученная информация расширяет знания о развитии аборигенных микроорганизмов хвостохранилищ разных природных зон Сибири, может быть учтена в технологиях биоремедиации для снижения токсичности поверхности ТГ *in situ*.

Источники финансирования: работа выполнена в рамках государственных заданий, номер гос. регистрации задания: ИПА СО РАН № 21031700316-9; ИНГГ № 0266-2022-0028; ИГМ СО РАН № 122041400237-8.

Литература

1. Артамонова В.С., Бортникова С.Б., Хусаинова А.Ш. Бактерии и водоросли – участники первичного почвообразования на отходах полиметаллических руд // Экологическая и геохимическая деятельность микроорганизмов экстремальных местообитаний: материалы III Всероссийской конференции с междунар. участием. – Новосибирск : СО РАН, 2023. – С. 10–11.
2. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. – Смоленск : Ойкумена, 2003. – 268 с.
3. Указ Президента РФ «О развитии природоподобных технологий в РФ» [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311020021?ysclid=m8770yxe2a839676631> (дата обращения: 13.03.2025).
4. Юркевич Н.В., Шавекина А.Ш., Гаськова О.Л. и др. Аутогенный барит в техногенных отвалах: минералого-Геохимические данные и результаты геохимического моделирования // Гео-ресурсы. – 2024. – № 26(1). – С. 38–51.
5. Bentley R., Chasteen T.G. Microbial methylation of metalloids: arsenic, antimony, and bismuth // Microbiol. Mol. Biol. Rev. – 2002. – Vol. 66(2). – P. 250–271.
6. Xu D., Shaum S.E., Li B. et al. Acclimatization and adaptation to elevated pCO increase arsenic resistance in marine diatoms // ISME J. – 2021. – Vol. 15(6). – P. 1599–1613.
7. Lourembam J., Haobam B., Singh K.B. et al. The molecular insights of cyanobacterial bioremediations of heavy metals: the current and the future challenges // Front. Microbiol. – 2024. – Vol. 15. – Art. No. 1450992. – doi: 10.3389/fmicb.2024.1450992.
8. Mendez M.A., Maier R.M. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments an emerging remediation technology // Environmental Health Perspectives. – 2008. – Vol. 116(3). – P. 278–283.
9. Zuniga-Barra H., Toledo-Alarcon J., Torres-Aravena A. et al. Improving the sustainable management of mining tailings through microbially induced calcite precipitation: a review // Minerals Engineering. – 2022. – Vol. 189(1). – Art. No. 107855. – doi: 10.1016/j.mineng.2022.107855.

УДК 631.10

БИОДОСТУПНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РИЗОСФЕРЕ ДИКОРАСТУЩИХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ НА ПОЧВАХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А.В. Барахов, Т.В. Бауэр, С.С. Манджиева, Т.М. Минкина,
Е.С. Богомаз, Н.П. Черникова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
tolik.barakhov@mail.ru, bauertatyana@mail.ru, msaglara@mail.ru, tminkina@mail.ru

BIOAVAILABILITY OF HEAVY METALS IN THE RHIZOSPHERE OF SOILS OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS

A.V. Barakhov, T.V. Bauer, S.S. Mandzhieva, T.M. Minkina, E.S. Bogomaz, N.P. Chernikova
Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

tolik.barakhov@mail.ru, bauertatyana@mail.ru, msaglara@mail.ru, tminkina@mail.ru

Abstract. Проведена оценка биодоступности тяжелых металлов (Cu, Zn) в ризосфере дикорастущих (пырей ползучий) и сельскохозяйственных (пшеница мягкая) растений на почвах территории ООПТ и прилегающих сельскохозяйственных угодий. Установлено, что валовые концентрации Cu (30,0–37,8 мг/кг) и Zn (68,1–78,2 мг/кг) не превышают ОДК, что свидетельствует об их естественном происхождении. Во всех случаях наибольшей подвижностью отличается Zn, преобладавая в обменных и специфически сорбированных формах. В ризосфере пырея ползучего отмечено снижение валового содержания металлов и увеличением их подвижности по сравнению с почвой внеризосферного пространства. В ризосфере пшеницы доля подвижных форм Cu и Zn выше, чем в ризосфере дикорастущих видов.

Введение

Антропогенное воздействие, включая промышленные выбросы, приводит к накоплению тяжелых металлов (ТМ), таких как Cu и Zn, даже на особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Несмотря на заповедный статус, загрязнение может происходить за счет атмосферного переноса, водного стока или исторического накопления ТМ. Особую опасность представляет их высокая биодоступность в ризосфере – зоне активного взаимодействия почвы, микроорганизмов и растений. Cu и Zn, обладая высокой миграционной способностью, могут включаться в пищевые цепи, угрожая биоразнообразию и устойчивости экосистем. Степная зона России испытывает значительную антропогенную нагрузку, где почти не осталось эталонных участков для сравнения. Персиановская заповедная степь (66 га) – один из немногих сохранившихся целинных участков в центре агроландшафта. ООПТ расположена в Ростовской области, вблизи автостреды и г. Новочеркасска. С 1990 г. имеет статус памятника природы с абсолютным режимом охраны.

Цель работы: изучение актуальной и потенциальной биодоступности тяжелых металлов в ризосфере дикорастущих и сельскохозяйственных растений на почвах особо охраняемых природных территориях.

Методы

Для оценки биодоступности ТМ были отобраны пробы почвы и ризосферы пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*) и пырея ползучего (*Elytrigia repens*) на территории ООПТ Персиановская заповедная степь (Октябрьский район, Ростовская область) и прилегающих сельхозугодиях. ООПТ представлена черноземом обыкновенным карбонатным мощным легкоглинистым на лессовидных тяжелых суглинках (табл. 1). Ризосферную почву отделяли от внеризосферной путем механического встряхивания корней в течение 5 минут. Все образцы упаковывали в

стерильные материалы для предотвращения высыхания.

Таблица 1. Характеристика физических и химических свойств внеризосферного пространства и ризосферного пшеницы и пырея почвы ООПТ Персиановская заповедная степь

Почва	рН (H ₂ O)	Физическая глина	Ил	C _{орг}	CaCO ₃	Обменный Ca ²⁺	Обменный Mg ²⁺
		%				см(+)-кг ⁻¹	
Вне ризосферы	6,9-7,3	34-48	54-63	2,0-3,8	0,001-0,004	33,0-39,1	3,5-4,7
Ризосфера пшеницы	7,1-7,6	31-49	53-63	2,1-2,6	0,003-0,014	29,0-36,5	4,5-6,4
Ризосфера пырея	6,9-7,5	34-47	54-59	2,4-2,7	0,002-0,024	27,6-35,5	3,5-6,0

В отобранных образцах ризосферного и внеризосферного пространства исследуемых объектов методом РФА определено валовое содержание ТМ. Проведено сравнение валового содержания металлов с кларками и с ОДК [2]. В качестве кларков выбраны средние значения в почвах мира, предложенные А.П. Виноградовым (1957) [1]. Для определения биодоступных форм ТМ в образцах ризосферы и внеризосферного пространства использованы 3 параллельные вытяжки:

- 1) 1 н. NH₄Ac (рН 4.8), извлекающий обменные формы металлов;
- 2) 1% ЭДТА в NH₄Ac, рН 4,8, извлекающий одновременно обменные и комплексные с органическим веществом соединения металлов. По разнице между содержанием металла в 1% ЭДТА в NH₄Ac и NH₄Ac определялось количество комплексных форм;
- 3) 1 н. HCl, извлекающий кислоторастворимые формы металлов. Количество специфически сорбированных форм находили по разнице HCl–NH₄Ac.

Данные соединения металла рассматриваются как переходные к прочно связанным соединения [3]. Концентрация металлов в экстрактах определялась методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Повторность анализов 3-кратная. Суммарное содержание обменных, комплексных и специфически сорбированных форм металла составляет группу непрочно связанных соединений. Поскольку специфически сорбированные соединения наиболее прочно удерживаются почвой, предложено выделять потенциальную биодоступность, представленную их долей от валового содержания металла, и актуальную биодоступность, как суммарную долю обменных и комплексных соединений, отражающую участие химических элементов в биологическом круговороте.

Результаты

Проведенные исследования показали, что валовые концентрации Cu в почве внеризосферного и ризосферного пространства (*Triticum aestivum*) и пырея ползучего (*Elytrigia repens*) ООПТ Персиановская заповедная степь варьируются от 30,0 до 37,8 мг/кг, Zn – от 68,1 до 78,2 мг/кг. Медианные значения образуют убывающий ряд: Zn (72,7 мг/кг) > Cu (35,5 мг/кг). Полученные значения не превышают установленные нормативы ОДК [2], что свидетельствует об отсутствии значимого антропогенного загрязнения (рис. 1 А). При изучении биодоступных соединений металлов (рис.1 В, С) установлено, что обменные формы (наиболее подвижные) распределяются в ряду: Zn (1,4 мг/кг) > Cu (0,1 мг/кг). Комплексные формы представлены в несколько больших количествах, тогда как доминирующее положение занимают специфически сорбированные формы: Zn (10,1 мг/кг) > Cu (3,2 мг/кг). Особый интерес представляют процессы, происходящие в ризосферной зоне. В случае пырея ползучего наблюдается снижение валовых форм металлов (Zn – 72,4 мг/кг, Cu – 39 мг/кг) по сравнению с окружающей почвой, что связано с их активным поглощением растением.

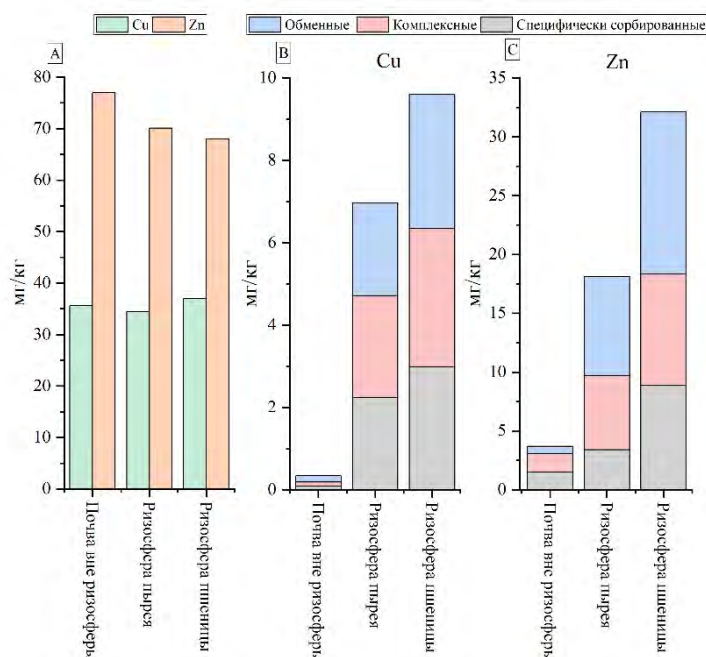


Рис. 1. Валовое содержание (А) и содержание биодоступных соединений Cu (В) и Zn (С) в почвах вне ризосферы и в ризосфере пырея ползучего и пшеницы мягкой, мг/кг

При этом суммарное содержание обменных, комплексных и специфически сорбированных форм, входящих в состав непрочно связанных соединений ТМ в ризосфере возрастает: Zn (49,12 мг/кг) > Cu (17,52 мг/кг) (рис. 1 В, С). Сравнительный анализ ризосферы пырея ползучего и пшеницы мягкой выявил существенные различия. Содержание металлов оказалось выше в ризосфере культурного растения, при этом особенно заметно увеличилась доля подвижных форм: для Zn – 34,76 мг/кг против 22,77 мг/кг у пырея; для Cu – 5,6-мг/кг против 11,8 мг/кг (рис. 1 В, С). Данные различия объясняются особенностями гранулометрического состава и содержания органического вещества в ризосфере разных видов растений. Полученные результаты согласуются с данными других исследований, отмечающих повышение биодоступности металлов в ризосфере культурных растений.

Заключение

Исследование показало, что почвы ООПТ не загрязнены Cu и Zn – их валовые содержания не превышают ОДК. Zn демонстрирует более высокую подвижность по сравнению с Cu, причем преобладают специфически сорбированные формы, определяющие потенциальную биодоступность. В ризосфере, особенно у культурных растений (пшеницы), доля биодоступных форм металлов возрастает, что связано с корневой экссудацией.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 21-77-20089-П) в Южном федеральном университете.

Литература

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М. : АН СССР. – 1957. – 237 с.
2. СанПиН 1.2.3685-21 СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: www.pravo.gov.ru (дата обращения 26.04.2022).
3. Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G. et al. Forms of heavy metal compounds in soils of the steppe zone // Soil Science. – 2008. – Vol. 7. – P. 810–818.

УДК 631.4

ДЕФИЦИТ ЙОДА И СЕЛЕНА В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ПАСТБИЩ НЕКОТОРЫХ ОБЛАСТЕЙ ЦФО РФ

**В.Ю. Березкин, В.С. Баранчуков, В.Н. Данилова, Л.И. Колмыкова,
А.С. Костин, М.Л. Головин**

*Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия
victor76@list.ru*

IODINE AND SELENIUM DEFICIENCY IN THE SOIL COVER OF PASTURES IN SOME REGIONS OF THE CENTRAL FEDERAL DISTRICT OF THE RUSSIAN FEDERATION

**V.Y. Berezkin, V.S. Baranchukov, V.N. Danilova, L.I. Kolmykova,
A.S. Kostin, M.L. Golovin**

*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, Moscow, Russia
victor76@list.ru*

Аннотация. Исследовано распределение I, Se, $C_{\text{орг}}$ и pH-водного почв в верхнем горизонте (0–20 см) различных типов почв пастбищ сельскохозяйственного назначения Брянской, Орловской, Калужской и Тульской областей. Показано, что специфика пространственного распределения элементов в почвах пастбищ заключается в росте содержания I и $C_{\text{орг}}$, и снижении содержания Se с северо-запада на юго-восток и, что в целом отвечает зональной структуре почвенного покрова. Основным фактором, влияющим на фиксацию I, по-видимому является органическое вещество почв, а поведение Se, по-видимому, более зависит от условий миграции. Для большей части исследуемой территории характерен дефицит, как йода (<5 мг/кг), так и селена ($<0,18$ мг/кг).

Введение

Недостаток йода (I) в нижних звеньях трофической цепи провоцирует возникновение йод-дефицитных заболеваний у как минимум 1,5 миллиардов человек на Земле и сельскохозяйственных животных, приводит к умственной и физической утомляемости, снижению иммунитета, развитию эндемичного зоба, а также может провоцировать и ряд других болезней [1, 4, 5]. При этом, эндемичный зоб может проявляться даже при достаточном содержании I, на фоне дефицита селена и других микроэлементов [10]. Очевидно, что большинство эндемических заболеваний будет отражать совместное воздействие дефицита и избытка различных микроэлементов, оказывающих суммарный, но не равноценный вклад в проявление данного нарушения жизненных функций. Поэтому области проявления эндемичного зоба и других болезней щитовидной железы могут не совпадать с областями йододефицита в почвах сельскохозяйственного назначения и природных водах питьевого назначения, что требует более углубленного изучения всех причин данного микроэлемента.

Основными источниками поступления I в организм человека являются продукты питания, а также питьевые воды и атмосферный воздух. Глобальным источником I на суше является океан (через осадки и другие атмосферные выпадения). Имея значительное сродство с органическим веществом, этот химический элемент фиксируется и накапливается в верхних генетических горизонтах почв [4]. Таким образом, почвы можно рассматривать как ключевой фактор, определяющий уровень поступления I в организм человека по местной трофической цепи. Помимо удаленности местности от океанов, содержание I в почвах зависит от климата, положения в рельефе, физико-химических свойств почв и почвообразующих пород.

Целью исследований является оценка специфики распределения йода, селена (Se), органического углерода ($C_{\text{орг}}$) и величины pH-водного в верхнем горизонте (0–20 см) различных ти-

пов почв пастбищ четырех областей Центрального Федерального округа (ЦФО). В основу работы положены полевые исследования 2007–2024 гг. в Брянской, Орловской, Калужской и Тульской областях. Для них характерен разнообразный почвенный покров, что приводит к разной природной обеспеченности нижних звеньев трофической цепи микроэлементами, в том числе Se и I. Кроме того, эти области РФ подверглись наибольшему загрязнению при аварии ЧАЭС (1986) [2], в том числе относительно кратковременному загрязнению почв радионуклидами I. Поведение радиойода следовало его стабильному аналогу: фиксация в почвенно-растительном покрове и переход в молоко выпасаемых животных с кормовыми травами, что составляло дополнительную угрозу жизни и здоровья местного населения [6].

Методы

Полевые исследования проводили в летний период. В Брянской области отбор проб осуществлялся вблизи населенных пунктов (НП), по которым имелись сведения о ренальной экскреции I и заболеваемости ЩЖ среди местного населения ([3] и информация Брянского клинико-диагностического центра). В остальных областях выбор НП осуществлялся с учетом структуры почвенного покрова, радионуклидного загрязнения и опубликованных медицинских данных по заболеваемости населения в отдельных районах.

На каждом пастбище выбирались тестовые площадки, характеризующие элементарные ландшафты: автономные (суходолы) и сопряженные с ними подчиненные (мезогидрофитные и гидрофитные луга пониженных элементов рельефа). Отбор образцов почв проводился ручным тростьевым буром из верхнего слоя мощностью 20 см послойно в следующем интервале глубин: 0–5, 5–10 и 10–20 см.

Все измерения проводились в лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН (Москва). I определялся кинетическим роданидно-нитритным методом [8], на фотометре КФК 3-01 ЗОМЗ. Содержание $C_{орг.}$ определено по бихроматному методу Тюрина [7]. Кислотность почвы (рН водный) измерялась стандартным методом ФАО [9] с использованием рН-метра pH54 Waterproof pH Pen (Milwaukee). Пробоподготовка почв осуществлялась стандартными методами (без модификаций).

Статистическую обработку результатов проводили по классическим методикам в программе MS Excel. Всего было обследована 251 индивидуальная точка отбора почв, характеризующих различные типы почв (дерново-подзолистые, серые-лесные, черноземы и др.). Все полученные результаты заносились в базу данных, интегрированную в геоинформационную среду «Брянск-йод», созданную на базе ArcGIS 10.8.1.

Результаты исследования

Содержание $C_{орг.}$ оказалось закономерно более высоким в черноземах (медиана (Me)=5,14% в верхнем 5-сантиметровом слое, при варьировании от 2,57 до 4,89%), а наименьшее в подзолистых почвах (Me=1,83% в верхнем 5-см слое, при варьировании от 1,33 до 10,9%) (табл. 1). Довольно высокие значения концентрации $C_{орг.}$ для всех перечисленных типов почв, объясняются, по-видимому, тем, что пробы были отобраны на пастбищах, дополнительно удобряемых органическим веществом за счет выпаса крупного рогатого скота, что способствует их гумификации.

Наиболее высокое содержание I, как и ожидалось, было характерно для черноземов, в слое 0–10 см (5,71 мг/кг), при значительном его варьировании (в верхнем 0–5 см слое: 0,41–5,71; в слое 5–10 см: 0,48–4,21; в слое 10–20 см: 1,14–4,17 мг/кг). Содержание I в более бедных органическим веществом почвах отличалось не только меньшим разбросом значений, но и низкими медианными значениями (табл. 1).

Предполагается, что большой разброс значений содержания I, наблюдавшийся во всех типах почв (крайние точки и выбросы), может быть объяснен влиянием неучтенных в данной груп-

пировке факторов, например, вариабельностью гранулометрического состава, а также спецификой использования угодий и предшествующей хозяйственной деятельностью.

Максимальное содержание Se было выявлено в подзолистых почвах и показало обратную тенденцию распределения по сравнению с данными по I (табл. 1), закономерное убывание в ряду подзолистые>дерново-подзолистые>аллювиальные>серые и темно-серые>черноземы.

Таблица 1. Медиана содержания I, Se и $C_{орг.}$ в зональных типах пастбищных почв Брянской, Орловской, Калужской и Тульской областей

Типы почв Глубина отбора (см):	n	Медиана I			Медиана Se			Медиана $C_{орг.}$		
		0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Подзолистые	36	0,62	0,61	0,60	0,30	0,33	0,26	1,83	1,41	1,08
Дерново-подзолистые	79	0,66	0,50	0,43	0,28	0,18	0,22	2,79	1,50	1,08
Аллювиально-луговые	36	1,12	1,06	1,01	0,22	0,22	0,21	3,66	2,45	1,94
Серые	73	1,46	1,49	1,45	0,18	0,16	0,15	3,48	2,40	1,44
Темно-серые	6	1,64	1,58	1,49	0,17	0,13	0,15	3,29	2,86	1,99
Черноземы выщелоченные	20	2,44	2,73	2,73	0,11	0,13	0,13	5,14	4,11	3,58
Черноземы оподзоленные	15	2,72	2,63	2,52	0,11	0,13	0,17	4,44	3,45	3,12

Заключение

Проведенные исследования подтвердили зависимость содержания йода в верхнем горизонте пастбищных почв от содержания органического углерода, обусловленного, прежде всего, зонально-климатическими факторами (закономерной сменой зональных почв). Распределение селена, в исследуемых почвах, не связано с биогеохимическим барьером и по-видимому контролируется рН-среды: наиболее высокие значения Se выявлены в почвах и горизонтах с низким значением рН-водного. При этом максимальный размах варьирования содержания как йода, так и селена, характерен в значительной степени для кислых почв бедных органическим веществом, что может быть объяснено влиянием не учтенных в данной работе факторов.

Литература

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. и др.. Микроэлементозы человека. – М.: Медицина, 1993. – 496 с.
2. Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240 / под ред. Вакуловского С.М. – Обнинск : НПО "Тайфун", 2020. – 224 с.
3. Дорошенко В.Н., Прошин А.Д., Пилукова Р.И. Сравнительная характеристика заболеваемости раком щитовидной железы в регионах с различной йодной обеспеченностью на территории Брянской области // Социально-медицинские аспекты состояния здоровья и среды обитания населения, проживающего в йод-дефицитных регионах России и стран СНГ : матер. Междунар. конф. – Тверь : Триада, 2004. – С. 385–386.
4. Кашин В.К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. – Л. : Наука, 1987. – 261 с.
5. Ковальский В.В. Микроэлементы в почвах СССР. – М. : Наука, 1970. – 179 с.
6. Коробова Е.М., Кувылин А.И. Природные биогеохимические провинции с низким содержанием йода как районы дополнительного экологического риска в зонах воздействия аварии на Чернобыльской АЭС // Материалы V биогеохимических чтений «Биогеохимическая индикация аномалий». – М. : Наука, 2004. – С. 156–167.
7. Никитин Б.А. Уточнение к методике определения гумуса в почве // Агрохимия. – 1983. – № 8. – С. 18–26.
8. Проскурякова Г.Ф., Никитина О.Н. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // Агрохи-

- мия. – 1976. – № 7. – С. 140–143.
9. Стандартная рабочая методика для измерения pH почвы. – Рим : ФАО, 2021.
10. Усонкулова Г.Б., Дженбаев Б.М., Ермаков В.В. и др. Количественные взаимоотношения между селеном и йодом в биогеохимических пищевых цепях некоторых регионов Кыргызстана // Здравоохранения Кыргызстана. – 1999. – № 2. – С. 10–13.

УДК 504.53.054

**ОСНОВНЫЕ АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВ ТЕРРИТОРИИ
РАСПОЛОЖЕНИЯ ТЮМЕНСКОГО НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО
ЗАВОДА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ**

Боев В.В.

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

v.v.boev@utmn.ru

**MAIN AGROCHEMICAL INDICATORS OF SOILS IN THE AREA
OF THE TYUMEN OIL REFINERY AND THEIR INFLUENCE
ON THE ELEMENTAL COMPOSITION**

Boev V.V.

Tyumen State University, Tyumen, Russia

v.v.boev@utmn.ru

Аннотация. Для почв территории расположения Тюменского НПЗ установлено, что pH повышен в сторону нейтрального и слабощелочного для урбаноземов и естественных почв на участках интенсивной техногенной нагрузки. Антропогенно-трансформированные почвы обеднены гумусом. Наибольшие значения отмечены в точках сосредоточения листовенной древесной и травянистой растительности. Полученные результаты согласуются с природно-техногенной спецификой территории и литературными данными. Отмечены корреляции рассматриваемых агрохимических показателей с пространственным распределением ряда химических элементов, часть которых также подтверждается литературными источниками.

Введение

Величина pH и содержание гумуса относятся к основным агрохимическим показателям почв. pH определяет поведение химических элементов и возможность закрепления органического вещества [1]. Гумус определяет почвенное плодородие. К тому же органические вещества взаимодействуют с минеральной частью почвы, включая отдельные химические элементы [1].

Помимо естественных факторов, на данные агрохимические показатели влияет антропогенная деятельность. Так, они значительно меняются в условиях городов [2]. Причем каждый ландшафт, находящийся под антропогенным воздействием, характеризуется индивидуальной геохимической спецификой, обусловленной сочетанием естественных и техногенных факторов [1]. В городах химические свойства почв особо многообразны [2].

Цель данного исследования состояла в оценке основных агрохимических показателей почв территории расположения Тюменского НПЗ и определении их влияния на элементный состав. Объектом стали почвы территории расположения Тюменского НПЗ, предметом – их основные агрохимические показатели и их влияние на элементный состав.

Объекты и методы

На изученной территории встречается 4 типа почв в соответствии с ландшафтной и техногенной дифференциацией: дерново-подзолистые (в южном направлении), серые лесные (в восточном и западном направлениях), аллювиальные (дальняя точка северного направления) и урбаноземы (на техногенно трансформированных участках в северном, западном и восточном направлениях).

Пробы были отобраны на территории расположения Тюменского НПЗ на расстоянии в 420-2170 м от центра производственной площадки согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017. Определение изучаемых показателей было проведено в учебно-научной лаборатории экологического мониторинга ШЕН ТюмГУ. Анализ pH осуществлен по ГОСТ 26483-85 с использованием пор-

тативных рН-метров Checker 1 HI 98103, гумуса – фотометрическим методом согласно ГОСТ 26213-2021 с использованием спектрофотометра КФК-ЗКМ. Результаты были проанализированы с ранее полученными данными по элементному составу почв [3].

Результаты

рН почв имеет от кислых до нейтральных значений, составляя от 4,65 до 7,43. Наименьшее значение отмечено в дальней южной точке, наибольшее – в дальней северной (рис. 1). В среднем по территории показатель равен 6,13. В южном направлении рН составляет от 4,65 в дальней точке до 6,36 в ближней. В целом наблюдается снижение показателя с удалением, за исключением точки 4, где он равен 5,85. В восточном направлении зафиксировано последовательное снижение значений с удалением от НПЗ от 7,08 до 5,82. На западе рН в основном характеризуется кислыми и слабокислыми значениями (5,15–6,13), за исключением точки 2, где он равен 7,03. В северном направлении, где расположена наиболее измененная урбанизированная территория, зафиксированы наивысшие значения рН, составляющие более 6,2. Самые большие отмечены в ближней точке и 2 дальних. Наивысшее значение, равное 7,43, зафиксировано в точке 5 (рис. 1).

В южном направлении расположен преимущественно сосновый лес с дерново-подзолистой почвой, для которой характерными значениями рН, согласно литературным данным [4], являются от 3,7 до 4,8. Фактические значения составляют от 4,65 до 6,36, среднее 5,53. Для серых лесных почв, по литературным данным [5], характерен рН 4,8–6. Полученные значения на участках преимущественно березового леса в основном соответствуют данному диапазону и составляют от 5,15 до 6,13 со средним 5,71. Для аллювиальных почв рН колеблется в широких пределах (5–7,5) [4], в то время как на дальней северной точке он равен 7,43. Для урбаноземов рН составляет от 5,69 до 7,08 со средним 6,56, что немного выше значений естественных почв данной территории. Таким образом, для серой лесной и аллювиальной почв изученной территории рН в основном не превышает характерных для данных типов показателей. Для дерново-подзолистой почвы значения в основном повышены.

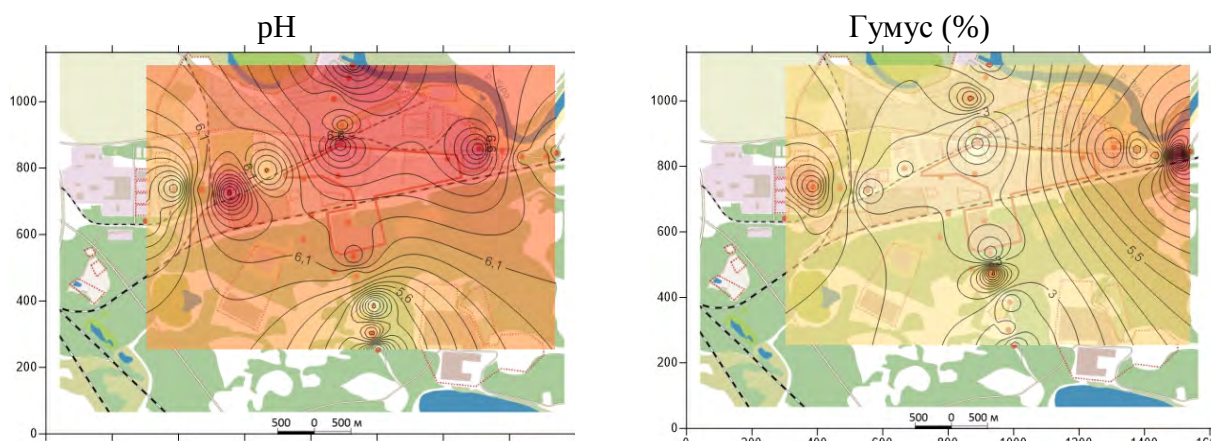


Рис. 1. Пространственное распределение рН и гумуса по изученной территории

Нейтральные и близкие к ним значения рН наблюдаются на участках с высокой техногенной нагрузкой. Так, южные точки 1 и 2 находятся у факелов НПЗ. В точке 4 отмечены следы пожара [6]. Ближние восточные точки расположены вдоль трассы с промышленными предприятиями. Северная точка 1 находится вдобавок вблизи перекрестка с железной дорогой, а точка 5 – на пойме, под сточной трубой. На севере расположен поселок от точки 2 до реки. Западная точка 2 находится у железной дороги и промышленных предприятий. Что касается западной точки 1, приуроченной к аналогичным условиям, но отличающейся более низким значением, то здесь отмечены следы механической трансформации поверхности, связанные,

возможно, с изменением исходной почвы. Северная точка 2 также находится на механически трансформированном пустыре. Повышенные показатели pH до нейтральных или слабощелочных свойственны городским почвам и обусловлены поступлением солей противогололедных реагентов и высвобождением кальция из различных отходов под действием кислотных осадков [2]. На изученной территории возможно влияние обоих факторов (засоления и закисления) под действием кислотных осадков и поверхностного стока, что согласуется с планировкой, учитывая преобладающее юго-западное направление ветра, и рельефом с понижением на север и юг от производственной площадки.

Содержание гумуса в изученных почвах составляет от 0,71 до 15,05%. Наименьшее значение отмечено в ближней северной точке, наибольшее – в 4 восточной. Среднее значение по территории равно 4,56%. В южном направлении содержание гумуса составляет 0,82–7,84%. Наименьшее значение отмечено в точке 5, наибольшее – в точке 2. На востоке показатели изменяются от 5,3 в точке 2 до 15,05% в точке 4. На западе минимальное содержание гумуса составляет 1,83% в точке 2, максимальное – 7,84 в точке 4. В северном направлении наименьшее значение в 0,71% зафиксировано в ближней точке, наибольшее в 5,66 – в точке 3 (рис. 1).

Для дерново-подзолистой почвы характерно содержание гумуса 0,5–5% [4]. Фактические значения составляют 0,82–7,84%. Среднее равно 2,83%. Для серой лесной почвы получены значения от 4,02 до 15,05% со средним 8,04 при литературных данных 1,6–12% [4, 5]. Для аллювиальных почв характерно содержание гумуса 4–12% [4], фактическое значение ниже и равно 1,86. Для урбаноземов получены показатели от 0,71 до 7,99%, среднее – 3,88.

В пространственном распределении гумуса прослеживается закономерность приуроченности наибольших значений к участкам естественных ландшафтов со сосредоточением лиственных деревьев и травостоя, что обусловлено значительно большим приносом в почву органики с опадом в таких растительных сообществах в сравнении с хвойными. Это относится к южной точке 2, где встречаются лиственные деревья (в основном осины) среди соснового леса, и дальним восточным и западным точкам, где произрастает березовый лес. В случае с северной точкой 3 она также находится на участке сосредоточения растительности (газон и кусты). Повышенное значение в южной точке 4 относительно соседних, возможно, объясняется влиянием пожара [6]. Низкие показатели могут обусловлены высокой степенью техногенной трансформации, как для северных точек 1, 2, 5, западных 1, 2, и естественной спецификой, как для южных точек 1, 3, 5.

Путем анализа пространственного распределения рассмотренных агрохимических показателей в совокупности с данными по химическим элементам выявлен ряд закономерностей. Так, для Na проявляется обратная закономерность распределения относительно pH. Для Ba, As, Sb, Fe, Sc зафиксирована прямая корреляция с данным показателем. U демонстрирует прямую связь с pH и обратную с гумусом, Th – также обратную с гумусом. Прямую зависимость от содержания гумуса проявляет Hg.

Корреляционный анализ подтвердил достоверную зависимость только для содержания Fe от pH (коэффициент корреляции – 0,7). Однако для многих химических элементов отмечены значимые корреляции с pH, близкие к достоверным: Na (обратная), Ca, Sb (0,6); некоторых РЗЭ (0,5–0,6); As, Ba, Th (0,5). Литературные источники [7] указывают на выявленные зависимости только для Fe, Hg, Th, U и РЗЭ. Таким образом, прочие отмеченные закономерности могут объясняться и другими факторами [3], например, биогенным накоплением для Na [7]. С другой стороны, в данном случае не были выявлены отмеченные в литературе [7] корреляции Cs, Sr и Zn с гумусом. Это может быть связано с измененными корреляциями между химическими элементами на данной территории относительно условного фона [3].

Литература

1. Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Л.А. и др. Почвоведение : учеб. для ун-тов : в 2 ч. / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – М. : Высш. шк., 1988. – Ч. 1. Почва и почвообразование – 400 с.
2. Тригуб В.И. Городские почвы как особый вид почв [Электронный ресурс] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – 2011. – № 2-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gorodskie-pochvy-kak-osobyuy-vid-pochv> (дата обращения: 25.05.2025).
3. Боев В.В. Геоэкологическая оценка территории влияния Антипинского нефтеперерабатывающего завода с применением условного фона (Тюменский федеральный заказник) : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2020. – 218 с.
4. Национальный атлас почв Российской Федерации / под ред. Шоба С.А. – М. : Астель, 2011. – 632 с.
5. Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрохимия : 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1984. – 304 с.
6. Дымов А.А., Абакумов Е.В., Безкоровайная И.Н. и др. Влияние лесных пожаров на свойства почв (обзор литературы) // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 4. – С. 66–70.
7. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов : справочник : в 6 кн. / под ред. Э.К. Буренкова. – М. : Недра, 1994.

УДК 504.53

СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА И ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПОЧВ ЛЕСОПАРКОВ ГОРОДА ТЮМЕНИ

В.А. Боев¹, Д.А. Гаммер¹, Е.И. Воробьева²

Тюменский государственный университет г. Тюмень, Россия

v.a.boev@utmn.ru, d-gammer@mail.ru

Тюменский Индустриальный Университет, г. Тюмень, Россия

lisa_vorobeva_890@mail.ru

HUMUS CONTENT AND SOIL HYDROGEN INDEX OF TYUMEN CITY FOREST PARKS

V.A. Boev¹, D.A. Gammer¹, E.I. Vorobyova²

Tyumen State University, Tyumen, Russia

v.a.boev@utmn.ru, d-gammer@mail.ru

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

lisa_vorobeva_890@mail.ru

Аннотация. Городские парки и лесопарки выполняют в городах целый ряд имеющих важное значение рекреационных и защитных функций. Однако они подвергаются значительному антропогенному воздействию, что способствует снижению способности выполнения лесопарками их функций. Почвы городских лесопарков формируются под влиянием как зональных, так и антропогенных факторов. Эти факторы отражаются на основных агрохимических показателях почв городских лесопарков, к числу которых относятся содержание гумуса и водородный показатель почвенного раствора. Целью представленного исследования является изучение изменения кислотности и содержания гумуса в почвах городских лесопарков г. Тюмени: «Затюменский» и «им. Ю.А. Гагарина» под влиянием зональных и антропогенных факторов. В ходе исследований было установлено, что содержания гумуса и кислотность почв лесопарков г. Тюмени претерпели значительные изменения относительно зональных почв юга Тюменской области.

Введение

Почвы городских парков формируются под действием таких зональных факторов как химический состав зональных почв и подстилающих пород, факторы природной среды и растительность [5]. На формирование почв городских парков оказывают также значительное влияние антропогенные факторы: выбросы автомобильного транспорта и промышленных предприятий, строительный и другой мусор, а также местные почвы, извлеченные в ходе строительства, органические удобрения в виде навоза, торфа и компоста и т.п., которые часто применяют для улучшения агрохимических показателей почв парков [1]. В связи с различными формами землепользования для почв городских лесопарков характерна мозаичность [6].

Физико-химические характеристики почв городских парков и в частности рН почвенного раствора и содержание органического углерода, также претерпевают изменения вследствие антропогенного воздействия. Изменение физико-химических свойств почв связано главным образом с увеличением рН почвенного раствора согласно данным, приведенным в работе.

Объекты и методы

Исследования были проведены на территории лесопарка им. Ю.А. Гагарина и лесопарка «Затюменский» г. Тюмени. Лесопарк расположен в черте г. Тюмени на левом коренном берегу р. Туры. Площадь парка составляет 104,8 га. На 40% общей лесопокрытой площади произрастает сосна, на 60% – береза повислая. Лесные биогеоценозы представлены чистыми березняками и хвойным лесом. Средний возраст деревьев составляет 70 лет. По опушке леса вдоль

поймы попадают и 100–120-летние деревья, что подтверждает принадлежность данного лесного массива к лесам коренного типа.

Лесопарк «Затюменский» расположен в черте г. Тюмени в Калининском Административном округе. Общая площадь составляет 77,193 га. Лесопарк включает бывший лесопитомник. Насаждения имеют смешанное (естественное и искусственное) происхождение. В верхнем ярусе преобладает сосна и береза, встречаются дубы. Лесопарк является единственным в Тюменской области местом возобновления дубов. Для второго яруса характерны культуры сосны, клена, тополя, встречаются также ели. Подрост представлен осинником и березой. В подлеске встречаются шиповник, боярышник, малина, ивняк, черемуха. Травяной покров представлен разнотравьем. Лесопарк – один из немногих участков городских лесов в зоне жилой застройки [4].

Исследования проводились в летний период 2022–2024 гг. без учета сезонной динамики. Территория каждого из лесопарков была условно разделена на 10 частей, в каждой из которых были выделены участки с типичными почвами и растительностью для данной территории, на которых проводился анализ почв и закладывались временные пробные площади.

Почвенные пробы отбирались методом конверта с поверхности горизонта (0–20 см) в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83, общий вес каждой пробы составлял 1–1,5 кг.

В почвах определяли показатели pH водных почвенных суспензий; содержание гумуса по фотометрическому методу Тюрина в модификации ЦИНАО согласно ГОСТ 26213-2021 с помощью фотоэлектроколориметра КФК-ЗКМ.

Результаты

В ходе исследований нами были определены актуальная pH почвенного раствора и содержание органического вещества (гумуса) в почвах лесопарков (табл. 1).

Таблица 1. Содержание гумуса и актуальная pH почвенного раствора в почвах лесопарка «Затюменский» города Тюмени

Номер площадки опробования	Значение pH водной вытяжки, ед. pH	Содержание гумуса, %
1	6,7	3,2
2	6,3	4,1
3	5,0	4,1
4	6,5	5,1
5	6,7	5,1
9	6,5	3,2
11	6,4	3,0
13	6,1	3,2
14	6,1	3,6
24	6,9	2,6
25	6,4	4,0
Среднее	6,31	4,12

Содержание гумуса колеблется в пределах 3,0–6,83%, что указывает на мозаичность почв лесопарка. Увеличение содержания гумуса, вследствие прежде всего его внесения с торфом. pH почвенных вод, колеблется в пределах 4,9–6,7, но в основном имеет слабокислый характер (среднее значение 6,2). Влияние на этот показатель оказывают такие факторы как кислотные атмосферные выпадения, внесение торфа в качестве удобрения и наличие в почвах строительного мусора [2].

Содержание гумуса и актуальная pH почвенного раствора в почвах лесопарка им. Ю.А. Гагарина г. Тюмени представлены в таблице 2.

По данным таблицы 2 наибольшее содержание гумуса наблюдается в точке 10,0–13,8%. Со-

держание гумуса в почвах лесопарка колеблется в пределах от 4,5 до 13,8%, среднее значение составляет 9,0%.

Таблица 2. Содержание гумуса и актуальная рН почвенного раствора в почвах лесопарка им. Ю.А.Гагарина г. Тюмени

Номер площадки опробования	Значение рН водной вытяжки	Содержание гумуса, %
1	6,1	10,7
2	6,8	5,9
3	6,2	9,4
4	5,5	7,4
5	6,3	7,9
6	6,4	4,5
7	7,2	10,9
8	6,5	8,5
9	7,1	10,6
10	6,2	13,8
Средняя	6,4	8,4

Высокое содержание гумуса в почвах лесопарка им. Ю.А. Гагарина может быть связано с тем, что ранее на его территории располагались луговые растительные сообщества с развитой травяной растительностью, которая и могла служить причиной образования большого количества органического вещества [3].

Наши исследования показали, что почвы лесопарка им. Ю.А. Гагарина отличаются значительно более высокими значениями рН, от природных дерново-подзолистых почв характерных для юга Тюменской области, рН которых находится в диапазоне от 3,0 до 4,3. Увеличение показателя рН почвенного раствора почв лесопарка относительно фоновых почв может быть связано с выпадением на поверхность почв пылевых частиц с расположенных вблизи парка строительных площадок, т.к. многие строительные материалы имеют щелочную реакцию [3].

Таким образом, значительное отклонение значений рН водного раствора почв в обоих лесопарках связано с антропогенными факторами, а гумуса – в почвах лесопарка «Затюменский» связано с антропогенными факторами, а в почвах лесопарка им. Ю.А. Гагарина – с историей формирования почв лесопарка.

Литература

1. Бахматова К.А., Матинян П.Н., Шешукова А.А. Антропогенные почвы городских парков (обзор) // Почвоведение. – 2022. – № 1. – С. 77–95.
2. Боев В.А., Нагибин М.Е., Горских А. Подвижные формы свинца и меди в почвах лесопарка города Тюмени // Почвы и окружающая среда : сб. трудов Всероссийской науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (2–6 октября 2023 г., г. Новосибирск). – Новосибирск : ИПА СО РАН, 2023. – 838 с.
3. Боев В.А., Иеронова В.В., Петухов А.С. Экологическое состояние почвенного и растительного покрова лесопарка им. Ю.А. Гагарина г. Тюмени // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 188–205.
4. Кадастровое дело №006. Памятник природы регионального значения «Лесопарк Затюменский» [Электронный ресурс] // Департамент недропользования и экологии Тюменской области. – URL: <https://dnec.admttyumen.ru> (дата обращения 07.05.2025).
5. Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В. и др. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий // Почвоведение. – 2006. – № 5. – С. 603–615.

6. Lehmann A., Stahr K. Nature and significance of anthropogenic urban soils // J. Soils and Sediments. – 2007. – Vol. 7(4). – P. 247–260.
7. Pickett S.T.A., Cadenasso M.L. Altered resources, disturbance, and heterogeneity: A framework for comparing urban and non-urban soils // Urban Ecosystems. – 2009. – Vol. 12. – P. 23–44.

УДК 57.049

**РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЙ ПРОТОКОЛ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРОПЛАСТИКА НА ЭМИССИЮ CO₂
И/ИЛИ CH₄ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВАХ**

А.С. Вайнберг^{1,2}, И.Д. Кушнов^{1,2}, Е.В. Абакумов^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия
a.s.vainberg@gmail.com, kushnovi33@yandex.com, e_abakumov@mail.ru

**RECOMMENDED STANDARDIZED PROTOCOL FOR DETERMINATION
OF MICROPLASTICS INFLUENCE ON THE CARBON CYCLE
IN AGRICULTURAL SOILS**

A.S. Vainberg^{1,2}, I.D. Kushnov^{1,2}, E.V. Abakumov^{1,2}

¹A Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia;

²Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia
a.s.vainberg@gmail.com kushnovi33@yandex.com e_abakumov@mail.ru

Abstract: загрязнение почв микрочастицами пластика (МП) – глобальная проблема, усугубляемая ростом производства пластика и низким уровнем переработки. Сельскохозяйственные почвы являются одними из основных резервуаров МП. Их накопление влияет на физико-химические свойства и микробиом почв, что может изменять биогеохимические процессы, в частности углеродный цикл. Учитывая значительную площадь сельхозугодий, изучение влияния МП на углеродный цикл в таких экосистемах крайне важно для понимания глобального баланса углерода. Однако отсутствие единой методики затрудняет сопоставление данных и воспроизводимость исследований. Цель данной работы – Разработан стандартизированный подход к оценке воздействия МП на эмиссию CO₂ и/или CH₄ в сельскохозяйственных почвах.

Введение

МП (частицы пластика размером менее 5 мм) широко распространены в различных экосистемах, включая почвы, водоемы, атмосферу и живые организмы. Особенно высокая концентрация МП наблюдается в сельскохозяйственных почвах: содержание варьируется от 0,03 до 6,70% [1,2].

Накопление МП изменяет физико-химические свойства почв и влияет на микробные сообщества, что нарушает ключевые биогеохимические процессы, в частности углеродный цикл. Сельскохозяйственные земли занимают 37,7% суши (4,9 млрд га), что делает их важным объектом изучения в контексте влияния МП на углеродный цикл. Несмотря на растущее число исследований, результаты остаются противоречивыми: в одних работах отмечается стимуляция эмиссии CO₂ и CH₄ под действием МП, в других – ингибирующий или нейтральный эффект. Различия могут быть связаны с разнообразием типов МП (размер, форма, тип полимера) и различиями в методиках экспериментов [3].

Цель данной работы – разработка стандартизированного протокола для оценки влияния МП на эмиссию CO₂ и CH₄ в сельскохозяйственных почвах, учитывающего разнообразие полимеров и обеспечивающего воспроизводимость исследований.

Результаты и их обсуждение

МП попадает в сельскохозяйственные почвы различными путями, в качестве основных можно выделить [3,4] :

- 1) применение осадка сточных вод – преобладает полиэтилен (ПЕ);
- 2) использование компоста – преобладают полиэтилен (ПЕ) и полипропилен (ПП);

- 3) использование удобрений с контролируемым высвобождением элементов питания (controlled-release fertilisers – CRF) и средств защиты растений с использованием капсульной суспензии (plant protection products using capsule suspension – CSPs) и с пленочным покрытием семян – основными полимерами для производства покрытий являются: для CSPs: полиуретан (ПУ), полилактид (ПЛА), этиленцеллюлоза (ЕС); для CRF: полиэтилен (ПЕ), полипропилен (ПП), этиленвинилацетат (ЭВА), серосодержащие полимеры (S-полимеры), поликапролактон (ПКЛ), полилактид (ПЛА), гидрогели на основе полиакриламида (ПАА).
- 4) применение мульчирующей пленки – для производства обычных плёнок используются в основном ПЕ, поливинилхлорид (ПВХ), ЭВА, сополимеры этилена и бутилакрилата (ЭБА); для производства биоразлагаемых плёнок применяют поли(бутиленадипат-ко-терефталат) (ПБАТ), ПЛА, поликапролактон (ПКЛ), поли(пропиленкарбонат) (ППК), поливиниловый спирт (ПВС), поли(бутиленсукцинат) (ПБС).

Концентрации МП демонстрируют значительную изменчивость: от нескольких частиц/кг в регионах с низким уровнем поступления до более 80 000 частиц/кг в районах с длительной практикой мульчирования. Экспериментальные концентрации, применяемые во многих исследованиях от 0,01% до 7% (м/м) значительно выше типичных уровней в окружающей среде, которые обычно варьируются от нескольких сотен до нескольких тысяч частиц на килограмм, что соответствует гораздо более низким массовым концентрациям, часто ниже 0,1% (м/м). Хотя в регионах, где используется пластиковое мульчирование концентрации могут достигать и 1% или выше [5].

Мы проанализировали данные имеющихся в настоящее время экспериментальных исследований по теме и, выделив наиболее удачные практики, с учётом доступности, воспроизводимости в условиях различных лабораторий и точности методов, а также максимально возможного воссоздания в экспериментах естественных условий, характерных для почв сельскохозяйственного назначения (в том числе, температуры, увлажнённости, типов и концентраций МП), предлагаем следующие рекомендации:

1. *Отбор проб.* Соблюдать методы контроля внешнего загрязнения МП: использовать неметаллические материалы для отбора и транспортировки проб (металлический совок, стеклянные/металлические контейнеры или, для уменьшения веса и компактности, хлопковые мешки); промывать оборудование дистиллированной водой.
2. *Подготовка проб.* Соблюдать методы контроля внешнего загрязнения (по возможности использовать лабораторное оборудование из неметаллических материалов, хлопковые лабораторные халаты, увлажнять почвы дистиллированной водой).
3. *Анализ проб.* Использовать специфические для сельскохозяйственных почв типы МП: обычных – ПЕ, ПП, ПВХ, ЭБА, ЭВА; биоразлагаемых: ПБАТ, ПЛА, ПКЛ, ПБС.
4. Если у исследователей нет возможности использовать специально произведенный для лабораторных экспериментов МП перечисленных типов, допустимо получить нужные МП, измельчая мульчирующую плёнку из соответствующего полимера.
5. Придерживаться актуальных и/или прогнозируемых концентраций, реалистичных для сельскохозяйственных почв, рекомендуемые концентрации разделены на три группы в зависимости от цели эксперимента: 0,01–0,1% – воссоздание существующего загрязнения на большинстве сельхозугодий в настоящее время (0,5–1% – на полях с длительным использованием мульчирующих пленок), 1–2% – в будущем с учетом роста загрязнения окружающей среды МП.
6. Использовать температуру инкубации образцов 25 °С, которая легко достижима, поддерживаема и распространена в сельскохозяйственных регионах.

7. Соблюдать единую продолжительность эксперимента (30 дней для краткосрочного измерения эмиссии и 6 месяцев для оценки кумулятивного эффекта). Выбрать метод газовой хроматографии для определения результатов.

Заключение

Различия в протоколах исследований эмиссии парниковых газов почвами, загрязнёнными МП затрудняют сравнение результатов и не оставляют возможности сделать выводы о реалистичной ситуации в данной сфере. Использование предлагаемого стандартизированного протокола поможет улучшить сопоставимость, воспроизводимость и прозрачность исследований.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственный контракт № 075-15-2024-629, мегагрант).

Литература

1. De Souza Machado A.A. et al. Impacts of microplastics on the soil biophysical environment // Environmental Science & Technology. – 2018. – Vol. 52.
2. Barnes D.K. A. et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. – 2009. – Vol. 364(1526). – P.1985–1998.
3. Rillig M.C. et al. Microplastic effects on carbon cycling processes in soils // PLoS. Biol. – 2021. – Vol.19 (3).
4. Носова А.О., Успенская М.В. Микропластик в почве: влияние на экосистемы, потенциальные источники и методы аналитических исследований (обзор) // Южно-Сиб. науч. вестн. – 2022. – № 4. – С. 19–37.
5. Buk F., Kaupenjohann M. Global concentrations of microplastics in soils – A review // Soil. – 2020. – Vol. 6(2). – P.649–662.

УДК 504.05; 504.06

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ Г. УЛАН-УДЭ

Б.В. Дампилова, С.В. Бартанова

*Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ
bdampilova@mail.ru, bartanova@list.ru*

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF COAL COMBUSTION PRODUCTS ON THE ENVIRONMENTAL CONDITION SOILS OF ULAN-UDE

B.V. Dampilova, S.V. Bartanova

*Dobretsov Geological Institute of Siberian Branch of RAS, Ulan-Ude
bdampilova@mail.ru, bartanova@list.ru*

Аннотация. Проведено исследование почвенного покрова городской территории вблизи теплоэлектроцентралей. Выявлено значительное превышение ПДК и региональных фоновых значений по As, Zn (1-й класс опасности) и Sr (3-й класс опасности). В меньшей степени загрязняют среду Mo, Pb, W. Наиболее загрязненные тяжелыми металлами почвы находятся в районах предприятий ТЭЦ города, которые являются основными источниками загрязнения.

Атмосферные выбросы продуктов сгорания угля из дымовых труб городских теплоэлектроцентралей, несмотря на применение различных фильтров, оказывают негативное воздействие на близлежащую территорию. Тяжелые и крупные частицы золы осаждаются из атмосферы под действием сил тяжести в радиусе до 30 м от трубы. Более легкие частицы разносятся ветром на более дальние расстояния. В зимнее время по цвету снежного покрова и слоистости слежавшегося и свежевыпавшего снега можно наблюдать рассеивание различных фракций продуктов сгорания угля на городской территории. После таяния снега все осажденные частицы попадают в почву и грунтовые воды. Выбросы ТЭЦ содержат частицы сажи, диоксиды серы и углерода, соединения тяжелых металлов и прочие вредные вещества. Корляковым И.Д. [3] было проведено исследование загрязнения почвенного покрова г. Улан-Удэ. Выявлены незначительные превышения (1,5–2 раза) фоновых уровней и ПДК на всей территории города для Sb, Pb, Cd, Sn и Zn. Вблизи «Улан-Удэстальмост», стеклозавода, автомагистрали к северо-востоку от ТЭЦ-1, в многоэтажной застройке центральной части города и частной застройке с печным отоплением загрязнение достигает опасного и очень опасного уровней. Локальные превышения ПДК для Pb, Zn, As, Cu, Sb составляют 2–23 раза. При этом антропогенное загрязнение почв тяжелых металлов (ТМ0 носит полиметалльный характер и несет вред растительным организмам.

В связи с расположением города в горно-котловинной местности рассеивающая способность воздушного бассейна слабая, ветер преимущественно западный. Вклад в экологическое состояние воздушного пространства и почвенного покрова города помимо теплоэлектроцентралей, также вносит частные котельные и печное отопление населения, проживающих в частных домах. Целью данной работы было определить содержание токсичных веществ в почвах и оценить влияние продуктов сжигания углей на экологическое состояние почвенного покрова на участках, прилегающих к ТЭЦ г. Улан-Удэ. Для исследования были выбраны следующие крупные предприятия: ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, Юго-западная ТЭЦ и ТЭЦ в п. Загорск. Определение валового содержания химических элементов в почвах осуществлялось рентгенофлуоресцентным методом (ГИН СО РАН). Масса навески для определения валового содержания химических элементов составляла 0,25 г, их подвижных форм – 0,5 г. Образцы проб предварительно перетирались в агатовой ступке для гомогенизации и высушивались при 105 °С.

В таблице приведены средние валовые содержания некоторых элементов по 14 пробам снежного покрова и 35 пробам почв, отобранных на территории города. При проведении количественного анализа исследуемых образцов почв на наличие тяжелых металлов установлено, что во всех образцах помимо Cu и Zn содержатся: Mn, Fe, As, Cr, Ni, Pb, Co, Ti, V, Sr. Результаты анализа выявили высокие содержания тяжелых металлов как в образцах почв, так и в снеге. Валовые содержания мышьяка, свинца, цинка, никеля, меди превышают их нормативные концентрации в пробах почв. Обнаруженное количество As в почве выше его ПДК в 2,4; Pb – 1,2; Zn – 2,1; Cu – 2 раза. Сравнение содержания Zn, Cu, Pb в почвенном покрове города с ПДК показало превышения их концентраций вблизи промышленных объектов, в частности ТЭЦ города.

Таблица. 1. Среднее валовое содержание элементов в снежном покрове и почвах, мг/кг

	I класс опасности			II класс опасности			III класс опасности			
	As	Pb	Zn	Ni	Cu	Mo	W	Sr	Fe	Mn
Снег, г. Улан-Удэ, n=14	9.0	35	116	38	46	8.0	51.3	1025	35407	59.4
Почвы, г. Улан-Удэ, n=35	4.8	37	115	21	26	3.1	6.0	439	23535	593
Региональное среднее для почв Бурятии [1]	< 2	11	70	28	39	1.0	–	172	33592	688
Кларк элементов в почвах [2, 3, 4]	5.0	10	50	40	20	1.1	1.5	200	38000	850
ПДК/ОДК [5]	2.0	30	55	20	23	н.у.	н.у.	н.у.	40000	1500

Примечание: н.у. – не установлено.

ПДК валового мышьяка в почвах России равен 2 мг/кг; вероятно, оценка занижена, поскольку она ниже кларка As в почвах (5 мг/кг) по А.П. Виноградову. Мышьяк обнаружен в 9 из 35 исследованных образцов. По результатам проведенных исследований выявлено, что мышьяк в почвах содержится в пределах от 3,6 до 20 мг/кг. Максимальное значение получено при анализе почв на территории, прилегающей к ТЭЦ-1. Сравнение полученных результатов по цинку с региональным фоновым уровнем и ПДК приводит к выводу, что содержание цинка вблизи промышленных предприятий и автодорог превышает региональный фоновый уровень и выше ПДК практически на всех исследованных участках города. Кларк свинца в почвах составляет 10 мг/кг, ПДК – 30 мг/кг. Региональный фоновый уровень – 13,2 мг/кг. Свинец на исследуемых участках накапливается в количестве 10–135 мг/кг. Максимальные количества выявлены вблизи ТЭЦ. По результатам проведенных исследований выявлено, что никель в почвах содержится в пределах 7–46 мг/кг. Наибольшие количества никеля выявлены также вблизи ТЭЦ. Среднее содержание стронция в почвах исследуемых участков составляет 439 мг/кг и находится в пределах от 208 мг/кг до 713 мг/кг. Наблюдается равномерное превышение концентрации стронция на всех изученных участках. Стронций накапливается в почвах за счет органических соединений, выделяемыми растениями. Стабильный стронций способен активно мигрировать и повышенное содержание его обменных форм может увеличиваться в течение десятков лет. Полученные данные выявили повышенные содержания молибдена и вольфрама. Их количества превышают кларки и региональный фоновый уровень, в частности по молибдену. Молибден обнаружен в 19 из 35 образцов и содержится в пределах 1,5–5,1 мг/кг. В зависимости от степени и длительности воздействия отравление вольфрамом может проявляться различными симптомами (астма, дисфункция ЖКТ); молибденом – снижение роста костей и уменьшению минеральной плотности костей. Определенные количества молибдена играют важную роль в организме человека.

Таким образом, по полученным экспериментальным данным наблюдается значительное превышение ПДК и фоновых значений по As, Zn (1-й класс опасности) и Ni, Cu (2-й класс опасности). В меньшей степени загрязняют среду Pb, Mo, W. Наиболее загрязненные тяжелыми металлами почвы находятся в районах теплоэлектростанций города.

Литература

1. Белоголовов В.Ф. Геохимический атлас Улан-Удэ. – Улан-Удэ : Бурят. кн. изд-во, 1989 – 52 с.
2. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
3. Корляков И.Д., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Тяжелые металлы и металлоиды в почвенном покрове города Улан-Удэ. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета // Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 3. – С. 120–137.
4. Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза // Самарский научный вестник. – 2016. – № 1(14). – С. 34–37.
5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". п. IV. Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. – М. : ЦЕНТРМАГ, 2022. – 736 с.

УДК 504.05; 504.06

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ» В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД
КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

А.С. Денисова, Д.Б. Петренко, А.В. Горбунов, Ю.А. Максимова
Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия
CheprasovaAS@yandex.ru

**DISTRIBUTION OF RARE EARTH ELEMENTS IN THE "SOIL – PLANT" SYSTEM
IN THE ZONE OF INFLUENCE OF APATITE-NEPHELINE ORE MINING
AND PROCESSING ENTERPRISES IN THE KOLA PENINSULA**

A.S. Denisova, D.B. Petrenko, A.V. Gorbunov, Y.A. Maksimova
Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
CheprasovaAS@yandex.ru

Аннотация. В настоящей работе изучено геохимическое поведение лантаноидов в системе «почва – растение» на примере территории городов Апатиты и Кировск Мурманской области, где действует предприятие АО «Апатит», занимающееся добычей и переработкой апатит-нефелиновых руд. Выявлено наличие положительной европиевой аномалии в почвах, мхах, лишайниках и листьях березы. Установлено, что величина Eu-аномалии в почвах, мхах и лишайниках сопоставима и варьирует от 1,11 до 1,57. Аномалия в листьях березы оказалась существенно выше и достигает 10,32, что может свидетельствовать об особых биохимических механизмах замещения кальция на европий в биогенных соединениях, составляющих ткани растения.

Введение

Одним из самых промышленно развитых регионов Российской Федерации является Мурманская область. Кольский полуостров, в частности, его центральная часть, – это наиболее освоенный район Российской Арктики, исследование которого связано с открытием и разработкой крупных месторождений полезных ископаемых: железных, медно-никелевых, лопаритовых, апатитнефелиновых руд, слюды, керамического сырья, облицовочного камня и т. д. [3; 5]. Такие крупные промышленные предприятия, как АО «Апатит», Кольская ГМК, ООО «Ловозерский ГОК» и другие, работают на базе месторождений и на привозном сырье. Множество промышленных объектов создает высокую нагрузку на экосистемы, что влечет за собой деградацию ландшафтов. Вблизи г. Кировск и г. Апатиты находятся шесть Хибинских месторождений фосфатного сырья, действующие и закрытые хвостохранилища, апатит-нефелиновые обогатительные фабрики, загрязняющие природные объекты данного региона. Апатит-нефелиновые руды и продукты их переработки содержат значительное количество редкоземельных элементов (РЗЭ). Суммарный показатель загрязнения (Z_c) изучаемых территорий колеблется от 5 до 10, при этом коэффициент накопления (K_c) (отношение концентрации элемента в пробе к фоновой концентрации) РЗЭ варьирует от 4 до 10 [7]. В связи с большим содержанием РЗЭ в природных объектах исследуемого региона целью настоящей работы явилось выявление биогеохимических особенностей распределения редкоземельных элементов в системе «почва – растение» в зоне воздействия рудников и апатитнефелиновых обогатительных фабрик в районе городов Апатиты и Кировск Мурманской области.

Материалы и методы

Отбор образцов. Отбор образцов почв и растительных объектов проводили в августе 2023 года на территории г. Апатиты (6 точек) и г. Кировск (14 точек). Почвы были представлены подзолистыми, существенно различающимися по содержанию гумуса, и болотными. По ме-

ханическому составу на рассматриваемой территории преобладают песчаные и супесчаные почвы, в значительной степени завалуненные [4]. Образцы почвы отбирали с глубины 0–5 см в соответствии с существующими нормативами ГОСТ Р 58595–2019 [1]. Отбор проб растений проводили в соответствии с методикой, приведенной в [2]. У древесных растений отбирали образцы листьев на высоте 1,5–2,0 м по периметру кроны, лишайники и мхи отбирались полным растением. Отобранные растения упаковывали в бумажные пакеты для транспортировки в лабораторию, где пробы растительного материала высушивали до воздушно-сухого состояния, а затем до постоянной массы при 105 °С и истирали до 200 меш. Всего было отобрано 44 пробы лишайников, мхов и древесных растений 3 видов: береза субарктическая (*Betula subarctica*), мох сфагнум (*Sphagnum L.*) и лишайник (*Cladonia rangiferina*).

Анализ образцов осуществляли в лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН (г. Москва). Образцы почв и растений подвергали кислотному разложению в Savilex с использованием смеси кислот (HF и HNO₃) и дальнейшему упариванию с HClO₄, HNO₃ и H₃BO₃. РЗЭ в растениях и почвах определяли на квадрупольном масс-спектрометре с цифровым детектором Analytikjena PlasmaQuant MS Elite (Analytik Jena, Германия), оснащенный: столкновительной ячейкой (газ He); распылителем Бабингтона и распылительной камерой Скотта, охлаждаемой элементом Пельтье (до 3 °С). Коррекцию изобарных наложений (¹⁵²Sm от ¹⁵²Gd и др.) выполнялась автоматически с помощью программного обеспечения спектрометра ASpect MS (версия 4.3.2). Определение проводили по следующим изотопам: ¹¹⁵In в качестве внутреннего стандарта, ¹³⁹La, ¹⁴⁰Ce, ¹⁵²Sm, ¹⁵¹Eu, ¹⁵³Eu, ¹⁵⁷Gd, ¹⁶⁰Gd, ¹⁵⁹Tb, ¹⁶¹Dy, ¹⁶³Dy, ¹⁶⁵Ho, ¹⁶⁶Er, ¹⁶⁷Er, ¹⁶⁹Tm, ¹⁷¹Yb, ¹⁷²Yb, ¹⁷⁵Lu. Для коррекции полиатомных наложений ¹³⁹La и ¹⁴⁰Ce дополнительно были измерены с использованием столкновительной ячейки. Для достоверного представления результатов анализа по европию была применена коррекция бариевого (Ba) фона.

Результаты и обсуждение

Определена концентрация РЗЭ в почвах и растительных объектах. На рисунке 1 представлены нормализованные кривые распределения РЗЭ в почвах и листьях березы.

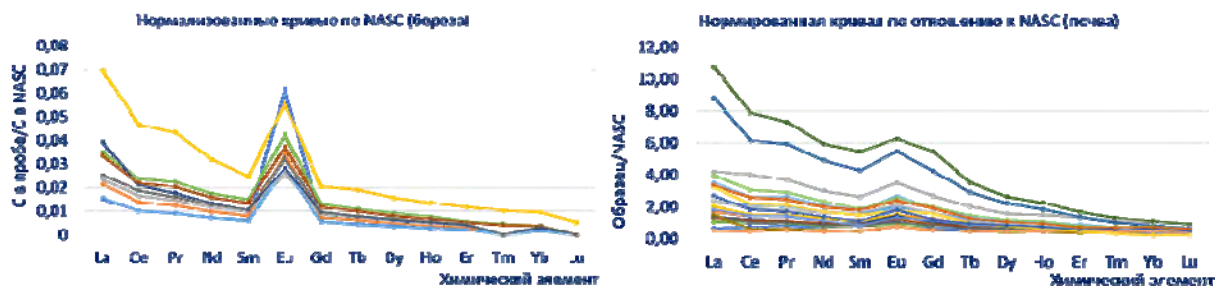


Рис. 1. Кривые распределения редкоземельных элементов, нормализованных на NASC

Установлено, что исследуемые почвенные и растительные образцы характеризуются положительной европиевой аномалией.

Европиевая аномалия в исследуемых объектах рассчитывалась по следующей формуле:

$$Eu^* = \frac{Eu_N}{\sqrt{Sm_N + Gd_N}},$$

где Eu^* – величина европиевой аномалии, Sm_N , Gd_N , Eu_N – нормализованная на NASC концентрация самария, гадолиния и европия в образце соответственно.

Результаты расчета европиевой аномалии в почвах, листьях березы, мхах и лишайниках представлены в таблице 1.

Из данных таблицы видно, что величины европиевых аномалий в почве, мхах и лишайнике

практически идентичны, в отличие от величины аномалии в почве и листьях березы, что представляется интересным. Согласно литературным данным [6], одна из причин такой картины может быть вызвана осаждением частиц фосфатов, обогащенных Eu, в органах растений. Этот процесс сопутствует фракционированию РЗЭ на границе «почва – растение» и может изменять особенности нормализованных РЗЭ в растениях. Исследования показали, что Eu может замещать Ca в растениях в местах связывания катионов из-за схожего ионного радиуса, в частности, в почвах с повышенным соотношением Eu/Ca, что характерно для исследуемого региона. Более того, положительные аномалии Eu в побегах растений свидетельствуют о том, что Eu^{3+} может образовывать стабильные органические комплексы, тем самым заменяя Ca^{2+} в некоторых биологических процессах, например, в жидкости ксилемы при нормальном потоке питательных веществ. Данный вопрос требует дальнейших комплексных исследований.

Таблица 1. Величина европиевой аномалии в образцах почвы и растительных объектах

№ образца п/п	Eu аномалия в почве	Eu аномалия во мхе	Eu аномалия в лишайнике	Eu аномалия в листе березы
1	1,40	1,38	.*	1,62
2	1,24	1,25	-	1,89
3	1,32	1,23	1,43	2,04
4	1,36	1,44	-	1,50
5	1,11	1,30	-	1,73
6	1,32	1,38	1,41	2,47
7	1,24	1,23	-	-
8	1,50	1,14	1,23	2,55
9	1,28	1,27	-	2,31
10	1,14	1,31	1,35	2,83
11	1,33	1,47	-	4,45
12	1,53	1,40	-	2,87
13	1,31	1,36	-	2,63
14	1,16	1,69	1,27	10,32
15	1,48	1,47	-	2,95
16	1,33	1,57	-	2,48
17	1,57	1,41	-	4,93
18	1,30	1,52	-	3,23

Примечание: * – образцы отсутствуют.

Литература

- ГОСТ Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб. – М. : Стандартинформ, 2019. – 5 с.
- МУ 1.2.2742-10. 1.2. Гигиена, токсикология, санитария. Порядок отбора проб для выявления и идентификации наноматериалов в растениях.
- Природа и природные ресурсы Мурманской области. – Апатиты : ЦОДП, 2007. – 280 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. Ю.А. Елкшина, В.В. Куприянова. – Л. : Гидрометеиздат, 1970. – Т. 1: Кольский полуостров.
- Седова Н.Б., Кочемасова Е.Ю. Экологические проблемы Арктики и их социально-экономические последствия // ЭКО. – 2017. – № 5. – С. 160–171.
- Pourret O., van der Ent A., Hursthouse A. et al. (2022). The "europium anomaly" in plants: facts and fiction // Plant and Soil. – 2022. – Vol. 476. – P. 721–728. – doi: 10.1007/s11104-021-05210-6.
- Volokh A.A., Gorbunov A.V., Gundorina S.F. et al. Phosphorus fertilizer production as a source of rare-earth elements pollution of the environment // Sci. Total Environ. – 1990. – Vol. 95. – P. 141–148.

УДК 502.55:665.6 + 631.4:504.054 + 504.75(470.53)

**РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМОГО ОСТАТОЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ
НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ ПЕРМСКОГО КРАЯ КАК ИНСТРУМЕНТ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Е.А. Дзюба

Пермский государственный университет, Пермь Россия

aea_eco@mail.ru

**DEVELOPMENT OF STANDARDS FOR PERMISSIBLE RESIDUAL CONTENT
OF PETROLEUM PRODUCTS IN SOILS OF THE PERM REGION
AS A TOOL FOR ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY**

E.A. Dziuba

Perm State University, Perm, Russia

aea_eco@mail.ru

Abstract. В статье представлены результаты по установлению нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Пермского края. Представлены результаты по установлению нормативов для 12 типов почв и двух категорий земель. Установленные нормативы в Пермском крае находятся в диапазоне от 1,0 до 3,0 г/кг нефти. Сделаны выводы о необходимости установления нормативов для обеспечения экологической безопасности при добыче нефти.

Загрязнение почв нефтью и продуктами ее трансформации остается актуальной проблемой в аспекте обеспечения экологической безопасности на территории объектов нефтедобычи, а так же примыкающих к ним. Загрязнение может происходить и на природных территориях, причем не всегда из-за технологических неполадок. Но вне зависимости от причин всегда встает вопрос о необходимости рекультивации земель. Согласно Постановлению Правительства РФ №800 [4], под рекультивацией земель понимаются *«мероприятия по предотвращению деградации земель и (или) восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, в том числе путем устранения последствий загрязнения почв, восстановления плодородного слоя почвы и создания защитных лесных насаждений»*. Часто в процессе рекультивации полностью снимается плодородный слой почвы, что ведет к последующему длительному восстановлению. При этом почва обладает свойствами, позволяющими самостоятельно восстанавливаться, при этом быстрее и без дополнительных финансовых вложений. В данном случае важным фактором является уровень загрязнения, при котором восстановительная функция почв возможна. Абсолютно очистить почву от нефти и продуктов ее трансформации невозможно, так как в разном объеме в почвах содержатся битумоиды, и удаляя их мы лишаем почву плодородия. Но для того, чтобы принимать решение о необходимости рекультивации, нужны нормативы. В российской Федерации нормативных значений для почв нет, но каждый регион [2] может устанавливать нормативы допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после рекультивации (далее, нормативы ДОСНП).

В Пермском крае эти нормативы впервые были установлены в 2018 году [5], и на данный момент нормативы утверждены для 12 типов почв земель лесного фонда и сельскохозяйственного назначения. Нормативы установлены согласно Национальному Атласу почв РФ [3], без учета разных почвенных горизонтов, гранулометрических и физико-химических свойств. В таблице 1 представлены утвержденные нормативы для Пермского края. Естественное содержание битумоидов в почвах варьируется в пределах от 0,26 до 0,90 г/кг нефти [1].

Таблица 1. Нормативы ДОСНП, установленные для почв в Пермском крае [5]

№	Тип (подтип) почвы	Нормативное значение, г/кг	
		земли сельскохозяйственного назначения	земли лесного фонда
1	Дерново-подзолистые, преимущественно глубокоподзолистые	2,4	1,5
2	Подзолы иллювиально-железистые (подзолы иллювиально-мало гумусовые)	1,0	1,4
3	Торфяные болотные верховые	5,3	2,8
4	Дерново-подзолистые преимущественно неглубокоподзолистые	2,3	2,1
5	Дерново-карбонатные (включая выщелоченные и оподзоленные)	2,5	2,4
6	Светло-серые лесные	2,4	2,2
7	Темно-серые лесные	2,6	1,9
8	Пойменные	2,8	2,1
9	Черноземы оподзоленные	2,3	3,0
10	Дерново-подзолистые преимущественно мелко- и неглубокоподзолистые	1,6	1,5
11	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	3,0	2,1
12	Подзолистые преимущественно неглубокоподзолистые	1,5	1,1

Установление нормативов для указанных типов (подтипов) почв позволило покрыть 69,2% территории Пермского края, и приблизиться практически к абсолютному покрытию территорий, занятых нефтедобывающей инфраструктурой. Минимальный норматив установлен для иллювиально-железистых почв (1 г/кг), а максимальный для чернозема оподзоленного (3 г/кг). Причем, по прогнозной оценке экологического риска от воздействия загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами для человека было получено максимально возможное значение норматива ДОСНП на уровне 3 г/кг [6]. В среднем для Пермского края норматив ДОСНП установлен на уровне 2,5 г/кг для сельскохозяйственных земель, и 2,0 г/кг – для земель лесного фонда. С одной стороны это достаточно строгие нормативы, которые должны соблюдаться компаниями, проводящими ликвидацию последствий загрязнения почв; с другой стороны достижение этих значений не нарушает естественную структуру почвы, и позволяет осуществляться естественному самовосстановлению. В результате этого можно сделать вывод о том, что установление нормативов ДОСНП позволяет предприятия наиболее эффективно вести деятельность по обеспечению экологической безопасности при возникновении аварийного загрязнения почв, или при других обстоятельствах, в результате которых произошло загрязнение.

Стоит отметить, что установление нормативов ДОСНП в отдельных регионах не решает полностью приведенную проблему. Важно, чтобы на региональных уровнях были установлены нормативы по содержанию в почвах нефти и продуктов ее трансформации. Причем успешным в данном случае остается именно региональный подход, который позволяет устанавливать нормативы в зависимости от типов почв, учитывая региональный геохимический фон.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Пермского края
№ 24-17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025>.*

Литература

1. Бузмаков С.А., Дзюба Е.А. Определение допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах для обеспечения экологической безопасности и рекультивации земель при добычи нефти в Пермском крае // Экология и промышленности России. –

2025. – Т. 29, № 3. – С. 42–47.
2. Временные рекомендации по разработке и введению в действие нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ // Экологический консалтинг. – 2004. – № 4(16). – С. 47–53.
 3. Национальный атлас почв Российской Федерации [Электронный ресурс] // Почвенный институт им. В.В. Докучаева. – URL: <https://soil-db.ru/nauchnaya-deyatelnost/nacionalnyy-atlas-pochv-rf> (дата обращения: 03.06.2025).
 4. О проведении рекультивации и консервации земель [Электронный ресурс] : постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 (ред. от 07.03.2019) // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_302235/90e01d185047971fe921b2bb4ea2abe4389a57d5 (дата обращения: 03.06.2025).
 5. Об утверждении региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Пермского края и Порядка их применения [Электронный ресурс] : постановление Правительства Пермского края от 20 декабря 2018 г. № 813-п (в ред. от 26 декабря 2024 г.) // СПС «Техэксперт». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550296138> (дата обращения: 03.06.2025).
 6. Buzmakov S.A., Andreev D.N., Nazarov A.V. et al. Responses of different test objects to experimental soil contamination with crude oil // Russian Journal of Ecology. – 2021. – Vol. 52(4). – P. 267–274. – doi: 10.1134/S1067413621040056.

УДК 504.05; 504.06

ТЕХНОГЕННЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДОВ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.С. Душевина^{1,2}, А.А. Селезнев^{1,2}

¹Уральский федеральный университет им. Первого президента Б.Н.Ельцина, Екатеринбург, Россия

²Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

elizaveta19-20@mail.ru, sandrian@rambler.ru

ANTHROPOGENIC CONTAMINANTS IN SURFACE SEDIMENTS OF SMALL AND MEDIUM-SIZED CITIES OF THE SVERDLOVSK REGION

E.S. Dushevina^{1,2}, A.A. Seleznev^{1,2}

¹ Ural Federal University named after First President B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

² Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

elizaveta19-20@mail.ru, sandrian@rambler.ru

Abstract. Исследование направлено на классификацию техногенных частиц по морфологическим признакам содержащихся в пробах снеготрясовой пульпы и поверхностного осадка и определение потенциальных источников поступления этого материала в городскую среду Свердловской области. В данном исследовании были использованы: гранулометрический, шлиховой анализ. Морфология частиц была определена с помощью визуальной диагностики с использованием оптического микроскопа.

Введение

Городская среда с высокой антропогенной нагрузкой служит уникальной лабораторией, где взаимодействуют факторы, влияющие на качество окружающей среды. Техногенные частицы (выхлопные газы, продукты износа транспорта и стройматериалов) отражают воздействие урбанизации и могут угрожать здоровью человека и экосистемам [1, 3, 4]. Эти частицы концентрируют загрязняющие вещества, включая полимеры, тяжелые металлы и радиоактивные элементы, повышая токсичность среды. Они также способствуют бактериологическому загрязнению, перенося вирусы и бактерии (например, остатки пищи или отходы) [2–5].

Материалы и методы

Район исследования. Работа проводилась в четырех малых и средних городах Свердловской области: Алапаевск, Качканар, Серов, Верхняя Пышма. Города были выбраны как репрезентативные примеры с различной промышленной специализацией и степенью урбанизации.

Отбор проб. Пробы отбирались в два сезона: зимний период (февраль-март 2024 г.) – по 10 в каждом городе (5 в многоэтажной застройке, 5 в частном секторе) и летний период – по 40 в каждом городе (20 в многоэтажной застройке, 20 в частном секторе). Зимние пробы объемом 5 литров герметично упаковывались и транспортировались в лабораторию для консервации при –20 °С. Масса каждой летней пробы составляла 1.5 кг, материал помещался в целлофановые пакеты и доставлялся в лабораторию.

Методы анализа. Подготовка проб к анализу (твердый остаток отделялся, высушивался и просеивался через сита для получения необходимых фракций), гранулометрический анализ (твердый остаток отделялся, высушивался и просеивался через сита для получения фракций: <0.1 мм, 0.1–1 мм и 1–3 мм и >3 мм), шлиховой анализ (с помощью ручного магнита для разделения на магнитную и немагнитную фракцию, из каждой фракции отбиралось 1000 частиц для подсчета под бинокулярным микроскопом МБС-10), визуальная диагностика (частицы классифицировались по форме, структуре поверхности, цвета и блеска, предполагаемого источника происхождения) и статистическая обработка (доля техногенных частиц в каждой пробе, сравнение между городами и типами застройки.).

Результаты и их обсуждение

Количественное содержание техногенных частиц. Анализ проб показал, что доля техногенных частиц в поверхностных осадках варьируется в зависимости от сезона и типа городской среды: в зимних пробах (8%) и в летних (11%).

Наибольшая концентрация техногенных частиц зафиксирована в г. Серове и Верхней Пышме, что обусловлено наличием металлургических предприятий и высокой транспортной нагрузкой. Наименьшие значения отмечены в г. Алапаевске и Качканаре, где промышленная активность ниже, а доля частного сектора выше.

Классификация и источники техногенных частиц. В ходе визуальной диагностики выделено 18 типов частиц, а преобладающими источником поступления техногенных частиц являются строительные материалы и металлургическая промышленность.

Влияние городской инфраструктуры и сезонности. В зимний период накопление частиц связано с использованием противогололедных реагентов, которые ускоряют коррозию металлов и разрушение дорожного покрытия. В частном секторе фиксируется больше техногенных частиц из-за слабой уборки и применения шлаков для отсыпки дорог. В летний период усиливается выветривание строительных материалов под действием осадков и УФ-излучения. Повышается концентрация битума (особенно в г. Верхней Пышме) из-за нагрева и разрушения асфальта.

Заключение

Исследование подтвердило значительное присутствие техногенных частиц в поверхностных осадках малых и средних городов Свердловской области. Их состав и распределение зависят от:

1. Промышленной специализации города (металлургия, строительство).
2. Сезонных факторов (летнее выветривание, зимнее применение реагентов).
3. Типа застройки (в частном секторе выше доля угля и шлаков, в многоквартирном – битума и стройматериалов).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №24-17-20036) и Правительства Свердловской области (проект № №24-17-20036).

Литература

1. Bucko M. S. et al. Distribution of magnetic particulates in a roadside snowpack based on magnetic, microstructural and mineralogical analyses // Geophysical Journal International. – 2013. – Vol. 195(1). – P. 159–175.
2. Magiera T. et al. Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts // Atmospheric Environment. – 2011. – Vol. 45(25). – P. 4281–4290.
3. Seleznev A. et al. Coarse technogenic material in urban surface deposited sediments (USDS) // Atmosphere. – 2021. – Vol. 12(6). – P. 754.
4. Wawer M. Identification of technogenic magnetic particles and forms of occurrence of potentially toxic elements present in fly ashes and soil // Minerals. – 2020. – Vol. 10(12). – Art. No. 1066.
5. Werbowski L.M. et al. Urban stormwater runoff: a major pathway for anthropogenic particles, black rubbery fragments, and other types of microplastics to urban receiving waters // ACS ES&T Water. – 2021. – Vol. 1(6). – P. 1420–1428.

УДК 504.054; 504.064

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ ТЕРРИТОРИИ ПРИБАЙКАЛЬЯ

Е.Ю. Елсукова, А. Кравец

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
e.elsukova@spbu.ru*

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF SOILS IN THE BAIKAL REGION

E. Elsukova, A. Kraves

*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia
e.elsukova@spbu.ru*

Аннотация. В 2021–2024 гг. в Прибайкалье проводилось изучение почвенного покрова Тункинского национального парка, окрестностей Байкальска и поселка Солзан. Заложены почвенные разрезы, изучены физико-химические характеристики почв: механический состав, кислотность, содержание углерода, валовое содержание (Cd, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) и подвижные формы (Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, V) тяжелых металлов (ТМ). Валовое содержание ТМ в органогенных горизонтах достигает для Cd – 0,25; Cu – 34; Hg – 0,16; Mn – 2453; Ni – 65; Pb – 26; Zn – 83 мг/кг. Концентрации подвижных форм с 2021 г. выросли в 2–5 раз. Полученные данные можно использовать для экологического мониторинга и оценки антропогенного воздействия на экосистемы.

Были изучены почвы Тункинского национального парка, территория которого располагается в центральной и буферной экологических зонах Байкальской природной территории, а также исследованы почвы в окрестностях г. Байкальск и п. Солзан.

Разнообразие условий почвообразования определяет структуру почвенного покрова. Широко распространены серые лесные почвы. Встречаются дерново-подзолистые, серые метаморфические почвы. В долинах преобладают болотно-подзолистые мерзлотные почвы. Почвами высокогорья являются петроземы и литоземы. В горно-таежной зоне формируются подбуры грубогумусированные. На пониженных элементах рельефа преобладают торфяные почвы. Существенным фактором дифференциации почвенного покрова Тункинской котловины является близкое к поверхности залегание мерзлоты (40–50 см), что создает условия для формирования криогенно-деформированных пятнистостей и комплексов.

К источникам загрязнения относятся автомобильные дороги, в том числе федеральная трасса М-55 «Байкал», трасса А-333 (Тункинский тракт), дополнительным фактором загрязнения является железнодорожный транспорт, в частности угольная пыль от грузовых составов на участке Транссибирской магистрали. Часто случаются лесные пожары. Возможным источником воздействия на исследованную территорию являются предприятия Иркутско-Черемховского промышленного узла. Котельные, работают на угле и интенсивно выбрасывают в атмосферу продукты сжигания. В г. Байкальск эксплуатируется построенная в 1965 г. угольная ТЭЦ, которая была спроектирована для Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) (закрит в 2013 г.) и самого города. В загрязнение атмосферы вносит вклад отопление частных домов углем и дровами.

В рамках полевых исследований на территории с 2021 по 2024 гг. осуществлено описание растительности и почв, отбор проб почв и коры сосны обыкновенной. В лаборатории определены кислотность почв, содержание органического углерода, гранулометрический состав почв. Определение валового содержания тяжелых металлов (ТМ) проводилось методом атомной абсорбции с пламенной атомизацией. Анализ подвижного содержания ТМ проводился на оптическом эмиссионном спектрометре, в качестве вытяжки использован аммонийно-ацетатный буфер (рН 4,8).

Значение рН в органогенных и иллювиальных горизонтах варьирует от слабокислых до сла-

бощелочных (табл. 1). Наибольшая кислотность отмечена в торфяных почвах, где среднее значение pH составило 5,32. По гранулометрическому составу изученные почвы являются легкими и средними суглинками.

В почвах исследованной территории низким варьированием (коэффициент вариации меньше 30%) характеризуется Zn; средним (коэффициент вариации 30–60%) – Ni, Cu, Pb; высоким (коэффициент вариации 60–100%) – Hg, Mn, Cd.

Таблица 1. Валовое содержание химических элементов в почвах, мг/кг (n=43)

Показатель	pH	Hg	Mn	Ni	Cd	Cu	Pb	Zn	Zc
Аккумулятивные (органогенные) горизонты									
Мин.знач.	4,88	0,018	201	13,7	0,02	12	5,0	33	15
Ср.знач.	5,99	0,066	1046	24,2	0,12	20	12,4	52	26
Макс.знач.	7,47	0,162	2453	64,8	0,25	34	26,1	83	49
Медиана	6,21	0,040	715	19,9	0,12	19	12,4	49	–
V	16	74	73	59	62	37	48	32	–
Иллювиальные (минеральные) горизонты									
Мин.знач.	4,87	0,005	235	15,6	0,01	14	3,9	32	10
Ср.знач.	6,28	0,020	591	32,9	0,03	23	7,7	54	24
Макс.знач.	7,83	0,049	1284	80,6	0,10	35	12,9	81	52
Медиана	7,72	0,024	648	69,4	0,01	28	12,5	52	н/д
V	17	68	50	63	84	33	43	28	н/д
Торфяные горизонты									
Мин.знач.	4,98	0,007	267	25,3	0,01	15,36	6,5	51	16
Ср.знач.	5,32	0,044	712	37,9	0,07	20,55	12,0	55	28
Макс.знач.	5,52	0,101	1580	54,6	0,11	24,96	15,5	57	40
Медиана	5,39	0,022	288	33,9	0,10	21,32	13,9	56	–
V	4	97	106	40	72	24	40	6	–
Фон.знач. Иркутская об- ласть г. Слюдянка – п. Култук [1]	н/д	0,087	274	1,65	0,02	11,5	3,83	94,6	–
Фон.знач. [2]	н/д	0,02	1123	42	н/д	48,5	10	87	–
ПДК/ОДК [3]	н/д	2,1	1500	80	2,0	132	130	220	–

Примечание: «н/д» – нет данных; «–» – расчет не проводился.

По суммарному показателю загрязнения (Zc), при расчете которого в качестве регионального фона использовались значения, опубликованные НПО «Тайфун» [1], категории загрязнения почв изменяются от «допустимой» до «опасной». Минимальный уровень коэффициент (Zc=10) отмечен в почвенном разрезе, заложенном в п. Солзан (вблизи железнодорожной станции и отстойников бывшего БЦБК), что соответствует категории «допустимая». При этом максимальные значения суммарного загрязнения (Zc=52), классифицируемые как «опасные», были обнаружены в иллювиальном горизонте на территории потухшего вулкана Черского. Интересно отметить, что превышения фоновых показателей зарегистрированы в почвах Тункинской долины. Такие закономерности объясняются природными геохимическими особенностями. Наибольший вклад в индекс Zc вносят Ni, Cu, Mn. Расчет критерия Фишера показал, что различия в разности содержания химических элементов в почвах Тункинской долины и п. Солзан статистически незначимы.

При расчете кларков концентрации (Кк) большинство полученных значений оказались ниже 1, что типично для изучаемого региона и свидетельствует об отсутствии значимого загрязнения. Наблюдается слабовыраженная тенденция к увеличению значений Кк в органогенных горизонтах по сравнению с иллювиальными и торфяными.

Hg проявляет выраженную тенденцию к аккумуляции в органогенных горизонтах почв. Максимальная концентрация была обнаружена в почвах, расположенных в непосредственной близости от отстойников БЦБК. Mn накапливается в органогенных горизонтах почв, для района исследования свойственны богатые марганцем почвообразующие породы. Аккумуляция Pb в верхних почвенных и торфяных горизонтах преимущественно обусловлена антропогенными факторами, максимальное значение Pb (26 мг/кг) обнаружено в почвенном профиле недалеко от дороги в Байкальске. Повышенные содержания Pb наблюдаются в г. Байкальск и п. Солзан. Накопление Ni и Zn проявляется преимущественно в иллювиальных горизонтах при одновременном наличии заметных количеств в торфяных горизонтах. Содержание Cu в почвах показывает относительную однородность по всему почвенному профилю. Максимальные концентрации Cu (35 мг/кг) были обнаружены в минеральном горизонте почвенного профиля, заложенного вблизи железной дороги г. Байкальск.

Таблица 2. Динамика изменения среднего содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах Тункинской долины, мг/кг

Год, кол-во	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	V
2024, 43	78	0,02	0,92	10,5	229	92	1,4	1,1	14,2	0,15
2023, 28	67	0,30	0,61	3,7	164	104	1,0	0,8	5,2	0,16
2022, 54	н/д	<0,02	н/д	0,1	73	54	0,2	0,4	1,7	н/д
2021, 30	36	<0,02	0,15	1,9	41	68	0,2	0,1	1,3	0,03
ПДК [3]	–	–	–	3,0	–	100	4,0	6,0	23,0	–

Примечание: «–» – норматив отсутствует.

Изучена динамика содержания подвижных форм химических элементов в почвах. Содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах с 2021 по 2024 гг. выросли в 2–5 раз (табл. 2). За весь период наблюдений средние значения содержания химических элементов оставались в пределах установленных нормативных показателей, за исключением Cu и Mn.

Малоподвижные (количество подвижных форм от валового содержания до 1%) элементы отсутствуют, средняя подвижность (1–10%) характерна для Ni, повышенная (10–20%) – для Cd, Mn, Pb, высокой подвижностью (более 20%) отличаются Cu, Cd, Zn.

Согласно результатам факторного анализа, выявлено три основных фактора формирования химического состава почв: литогенный (34%), влияние автотранспорта (22%) и антропогенный атмосферный (19%).

Рекомендуется регулярно проводить экологические мониторинговые исследования с целью получения сведений об изменении состояния окружающей среды территории Западного Прибайкалья.

Литература

1. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2023 году. – Обнинск : Тайфун,. 2024. – 121 с.
2. Китаев Н.А., Гребенщикова В.И. Редкие и рудные элементы в окружающей среде Прибайкалья (коренные породы, донные отложения, почвы): монография . – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. – 123 с.
3. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

УДК 550.47

**БИОГЕОХИМИЯ БИОГЕННЫХ И ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПОЧВАХ БАССЕЙНА Р. МАЙМА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)**
**О.А. Ельчининова¹, А.В. Пузанов¹, О.В. Кузнецова^{1,2}, С.Я. Двуреченская¹,
О.К. Дементьева¹, Т.А. Рождественская¹**

¹*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия
eoa59@mail.ru*

²*Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск, Россия
kuznecova04ru@mail.ru*

**BIOGEOCHEMISTRY OF BIOGENIC AND TOXIC ELEMENTS IN THE SOILS
OF THE MAIMA RIVER BASIN (GORNYY ALTAI)**

**O.A. Elchininova¹, A.V. Puzanov¹, O.V. Kuznecova^{1,2}, S.Ya. Dvurechenskaya¹,
O.K. Dementieva¹, T.A. Rozhdenstvenskaya¹**

¹*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia
eoa59@mail.ru*

²*Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, Russia
kuznecova04ru@mail.ru*

Аннотация. Исследован почвенный покров бассейна р. Майма, представленный почвами горно-лесного, лесостепного поясов, долин и пойм рек. Установлено, что процессы миграции и аккумуляции биогенных и токсичных соединений в системе почва-растение обуславливаются направленностью почвообразовательных процессов, рядом почвенных характеристик (реакция среды, количество органического вещества, гранулометрический состав, емкость катионного обмена, содержание карбонатов), степенью подвижности элементов, содержанием элементов в растениях, величиной биологической массы и ее компонентов.

Введение

Химический состав компонентов ландшафтов определяет качество среды обитания организмов и их биологическое разнообразие. Целью работы являлось изучение процессов миграции и аккумуляции биогенных и токсичных элементов в системе почва-растение в бассейне р. Майма.

Река Майма относится к бассейну Верхней Оби (является притоком 2-го порядка). Верхнюю часть бассейна занимает среднегорный, а нижнюю – низкогорный районы [4]. Бассейн р. Майма характеризуется относительным единством условий формирования стока с точки зрения геоморфологической и высотно-поясной организации, здесь господствуют низкогорные ландшафты и низкогорный ярус рельефа, лесной высотный пояс [2].

Материалы и методы

Исследован почвенный покров бассейна р. Майма в целом и 10 основных притоков, представленный почвами горно-лесного пояса: горно-лесной дерново-подзолистой, горно-лесной серой, горно-лесной темно-серой, горно-лесной черноземовидной, горно-лесной бурой, дерново-перегнойной; лесостепного пояса: черноземом оподзоленным, черноземом выщелоченным, лугово-черноземной; почвами долин и пойм рек: лугово-аллювиальной, лугово-болотной, луговой.

Почвенные образцы отбирали по генетическим горизонтам в полнопрофильных разрезах, растительные – в сопряженных с разрезом местах с площади 0,25 м² в 3-кратной повторности. В растительных образцах выделяли живую надземную массу, корни и опад. Валовое содержание биогенных и токсичных элементов в почве определяли методом РФА СИ (рентгено-флуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения) в Институте ядер-

ной физики СО РАН [5]. Для экстракции подвижных форм элементов был использован ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4,8.

Результаты и их обсуждение

Процессы миграции и аккумуляции биогенных и токсичных соединений в системе почва-растение в бассейне р. Майма обуславливаются направленностью почвообразовательных процессов: биогенно-аккумулятивных (дерновый, гумусообразование, подстилкообразование), иллювиально-аккумулятивных (гумусово-иллювиальный), элювиальных (выщелачивание, оподзоливание, элювиально-гумусовый).

Элементный химический состав растений определяется содержанием химических элементов в почве, в большей степени, их подвижных форм. Связь между аккумуляцией элементов растениями и содержанием их подвижных форм в почве была более тесной, чем с валовым содержанием элементов и характеризовалась как высокая и очень высокая. Величины коэффициента корреляции между количеством элементов в растениях и валовым содержанием элементов в почве, в основном оценивались как низкие.

Максимальное содержание железа обнаружено в лугово-болотных, лугово-черноземных и лугово-аллювиальных почвах. Распределение по профилю характеризуется наличием максимума в глеевых и гумусовых горизонтах. Почвы горно-лесного пояса содержат больше элемента, чем почвы лесостепного пояса, так как по мере повышения значений pH солевой вытяжки количество подвижных его форм снижается. Железо в черноземных почвах является малоподвижным, достаточно инертным и устойчивым элементом. Концентрация подвижных форм марганца в почвах горно-лесного пояса и почвах поймы превышает ПДК, что связано с повышением подвижности элемента в условиях кислой среды. В почвах лесостепного пояса (черноземе выщелоченном и оподзоленном, лугово-черноземной почве), легких почвах поймы количество подвижного марганца не превышает норм. Содержание подвижных форм токсичных элементов (хрома и свинца) не превышает ПДК. Для них характерно равномерное распределение по профилю. Подвижность свинца и кадмия в почве в значительной степени обусловлена реакцией почвенного раствора. Этим объясняется более высокое содержание свинца и кадмия в почвах горно-лесного пояса по сравнению с почвами лесостепного пояса.

Для всех типов почв установлены следующие ряды подвижности элементов по степени убывания: для биогенных элементов – $Mn > Cu > Fe$; для токсичных элементов – $Cd > Pb > Cr$. Среди исследованных элементов наибольшей подвижностью отличается кадмий (доля подвижных форм в валовом содержании от 5,5 до 50,8%), наименьшей – железо (от 0,07 до 1,9%). В большинстве исследованных почв горно-лесного, лесостепного поясов и почвах долины и поймы в гумусово-аккумулятивных горизонтах степень подвижности элементов выше, чем в нижележащих горизонтах, за исключением оглеенных горизонтов лугово-болотной почвы. Корреляционный анализ полученных результатов выявил высокую степень связи валового содержания и подвижных форм химических элементов в почве: высокую положительную (марганец – в черноземе оподзоленном, лугово-болотной, горно-лесной серой почвах; железо – в дерново-перегнойной почве, черноземе оподзоленном; кадмий – в лугово-аллювиальной, лугово-болотной, луговой почвах) и очень высокую положительную (железо, медь, свинец и хром – в дерново-перегнойной почве). Высокая отрицательная степень связи ($-0,8$) установлена между концентрациями подвижной и валовой меди в лугово-болотной почве.

На подвижность химических элементов в почвах большое влияние оказывает ряд почвенных характеристик, которые ранжированы в следующий убывающий ряд: реакция среды > количество органического вещества > гранулометрический состав > емкость катионного обмена > содержание карбонатов.

Растения – ведущий фактор биогеохимических процессов трансформации и миграции веществ в биосфере. Поглощая химические элементы из почвы, растения выступают как активное начало биогенной миграции химических элементов в природе [1].

Количественной мерой интенсивности накопления химических элементов растениями из почвы является коэффициент накопления (K_n) – отношение содержания элемента в органах растений к содержанию его подвижных форм в почве, отражающий степень биофильности элементов, а также интенсивность их вовлечения в биологический круговорот. Связь между аккумуляцией элементов растениями и содержанием их подвижных форм в почве была более тесной, чем с общим содержанием элементов и характеризовалась как высокая и очень высокая. При этом, величины коэффициента корреляции, связанные с общим содержанием элементов в почве, в основном оценивались как слабые, что подтверждается другими исследователями [3].

Одним из показателей накопления элементов растениями является величина биологического выноса элементов с урожаем растений. Биологический вынос определяется величиной биологической массы, содержанием элементов в растениях, а также биологическими особенностями растений. В зависимости от содержания в почве подвижных форм элементов и роли в растительном организме происходит распределение их запасов в разных частях растений. По распределению запасов исследованных химических элементов в растительных ассоциациях построен следующий возрастающий ряд: наземная масса < опад < корни. Так, в горно-лесном поясе в корневой массе сосредоточено кальция от 58 до 87%, железа – от 78 до 93%, марганца от 69 до 87%, цинка – от 60 до 82%, меди – от 62 до 90%, молибдена – от 68 до 90%. Аналогичная картина складывается и по токсичным элементам. Еще большие запасы элементов, сконцентрированные в корневой массе, обнаружены в лесостепном поясе и пойме рек. В опаде сосредоточено от 2 до 25% запасов элементов. И меньше всего запасов элементов определено в наземной массе.

Заключение

Процессы миграции и аккумуляции биогенных и токсичных соединений в системе почва-растение в бассейне р. Майма обуславливаются направленностью почвообразовательных процессов, рядом почвенных характеристик (реакция среды, количество органического вещества, гранулометрический состав, емкость катионного обмена, содержание карбонатов), степенью подвижности элементов, содержанием элементов в растениях, величиной биологической массы и ее компонентов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН
(номер гос. регистрации 121031200177-1, FUFZ-2021-0003).*

Литература

1. Виноградов А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М. : Изд-во АН СССР, 1952. – С. 7–20.
2. Золотов Д.В., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Ландшафтные факторы формирования стока в бассейне реки Майма (Северный и Северо-Восточный Алтай) // Мир науки, культуры, образования. – 2012. – № 2(33). – С. 360–369.
3. Минкина Т.М., Бурачевская М.В., Чаплыгин В.А. и др. Накопление тяжелых металлов в системе почва – растение в условиях загрязнения [Электронный ресурс] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2011. – № 4(04). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nakoplenie-tyazhelyh-metallor-v-sisteme-pochva-rastenie-v-usloviyah-zagryazneniya>
4. Природные комплексы Майминского района Республики Алтай : коллективная монография. – Горно-Алтайск : Изд-во ГАГУ, 2006. – 186 с.
5. Piminov P.A., Bogomyakov A.V., Baranov G.N. Synchrotron radiation research and application at VEPP-4 // Physics Procedia. – 2016. – Vol. 84. – P.19–26. – doi: 10.1016/j.phpro.2016.11.005.

УДК 551.510.42:504.064

**МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ МАЛЫХ И СРЕДНИХ
ГОРОДОВ РОССИИ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА:
НА ПРИМЕРЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Н.В. Иванчукова, А.А. Селезнев, А.С. Шевченко, В.С. Глухов

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия*

*Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
ivanchukova.natali@gmail.com, sandrian@rambler.ru, av.shev98@gmail.com,
glukhov.v.s.work@gmail.com*

**ENVIRONMENTAL MONITORING OF SOILS IN SMALL AND MEDIUM SIZED
CITIES OF RUSSIA IN THE COLD PERIOD OF THE YEAR:
EXAMPLE OF THE SVERDLOVSK REGION**

N.V. Ivanchukova¹, A.A. Seleznev², A.V. Shevchenko³, V.S. Glukhov⁴

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, Ekaterinburg, Russia
Institute of Industrial Ecology UB RAS, Ekaterinburg, Russia*

*ivanchukova.natali@gmail.com, sandrian@rambler.ru, av.shev98@gmail.com,
glukhov.v.s.work@gmail.com*

Аннотация. Исследование направлено на разработку подхода в наблюдениях за экологическим состоянием городской территории, используя снегогрязевую пульпу как индикатор состояния окружающей среды. Исследование проведено в малых и средних городах Свердловской области: Алапаевск, Качканар и Серов, с акцентом на типичные поллютанты (Pb, Mn, Ni, Cu, Zn, Co, Cr, Fe). Оценивался уровень загрязнения в снеге и пульпе, оценка проводилась с помощью суммарного индекса загрязнения (Zc), а так же с разными показателями в качестве условного фона. Метод, основанный на снежных пробах, позволяет лучше понять миграцию и накопление загрязняющих веществ, что делает снегогрязевую пульпу важным индикатором для оценки экологического состояния городской среды.

Согласно данным государственной статистики, в малых и средних городах России проживает треть населения страны, а также сосредоточены основные производства. Загрязнение этих территорий часто связано с деятельностью градообразующих предприятий и развитой сетью автодорог [1]. Полноценный экологический мониторинг в таких городах не осуществляется, так как регулярные исследования требуют значительных временных и кадровых ресурсов. Информация об экологии крупных городов более полная и надежная, тогда как малые и средние города остаются вне общественного контроля.

Для решения проблемы получения достоверной информации о состоянии экологии в малых городах можно использовать новые методы, основанные на исследовании депонирующих сред, таких как снег и дорожная пыль [3, 5]. Эти методы позволяют интегрировать данные о загрязнении за определенный период. Снег, как наиболее изученный объект, позволяет эффективно отслеживать загрязняющие вещества, которые весной переходят в почву [2]. Снегогрязевая пульпа (СГП), образующаяся на дорогах и тротуарах, является новым объектом для наблюдений за экологическим состоянием городской среды [3, 4].

Целью исследования является разработка и тестирование подхода в наблюдениях за экологическим состоянием жилой территории города, в котором состав СГП используется в качестве индикатора экологического состояния среды. Рассматриваются типичные поллютанты городской среды в водорастворимой форме. *Задачи исследования:* 1. Отбор снега и СГП на жилой территории города; 2. Определение физико-химических свойств снега и СГП, определение содержания поллютантов; 3. Выбор способа оценки экологического состояния жилой

зоны города на основе данных о составе СГП.

Исследование проведено на селитебных территориях малых и средних по численности городов Свердловской области: Алапаевск, Качканар и Серов. Алапаевск и Качканар относятся к малым городам, Серов – к среднему. Города располагаются в зоне умеренного континентального климата на восточном склоне Уральских г. Алапаевск и Качканар расположены на территории Среднего Урала, г. Серов – в южной части Северного Урала. Природные условия городов схожи. Города различаются промышленной специализацией.

Селитебные территории городов состоят из микрорайонов с многоэтажными многоквартирными домами (МКД) разной этажности и малоэтажной застройки, которая представлена частными домовладениями с приусадебными участками. Площади территорий с многоквартирными домами и малоэтажной застройкой примерно одинаковы в городах.

На каждой площадке отбиралось по две пробы: одна проба снега и одна СГП. Отбор проб снега и СГП проводился в период максимального снегонакопления в марте 2024 г. Всего на жилых территориях обследованных городов было отобрано 60 проб снега и СГП, по 10 проб снега и СГП в каждом городе. Сеть опробования охватывает всю территорию жилой зоны города.

В исследовании главным объектом является СГП, которая консервирует загрязнение территории города, сформированное в теплый период года за холодный период года. Отбор СГП в период максимального снегонакопления может характеризовать суммарное загрязнение, сформировавшееся в теплый и холодный периоды года. В отобранных пробах снега и СГП определены концентрации основных поллютантов: Pb, Mn, Ni, Cu, Zn, Co, Cr, Fe. На рисунках 1 и 2 показано среднее значение концентраций исследуемых металлов.

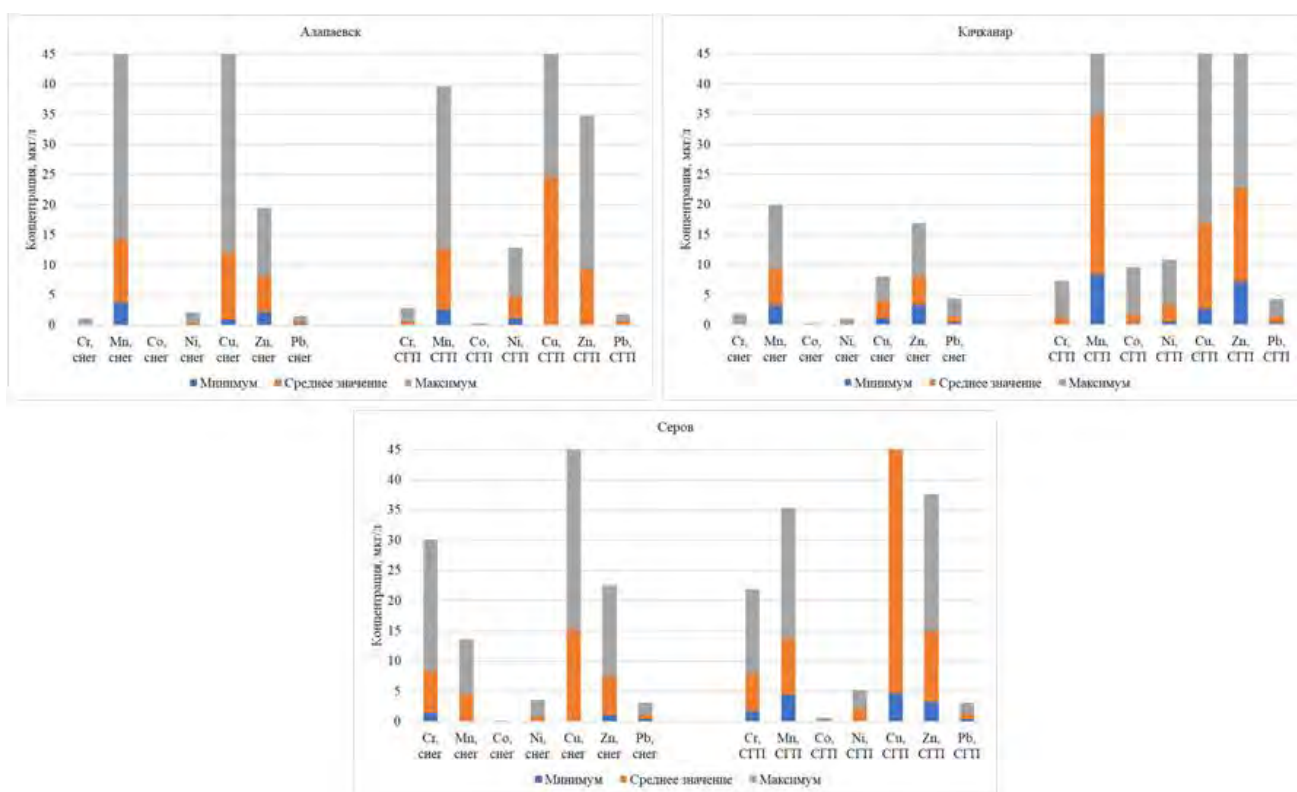


Рис. 1. Концентрации металлов в пробах исследуемых городов (среднее значение – оранжевый цвет, минимум – синий цвет, максимум – серый цвет)

В СГП фиксируется более высокое содержание металлов по сравнению с ненарушенным снежным покровом, что объясняется накоплением поллютантов из атмосферных выпадений

и поверхностных пылегрязевых осадков. В городах выявлено локальное увеличение концентраций Fe и Cu, связанное с выбросами металлургических предприятий (г. Серов) и горнодобывающим производством (г. Качканар).

Для оценки экологического состояния городов проведен расчет суммарного показателя загрязнения Z_c . В качестве условного фона для расчетов использовались следующие показатели: минимальная концентрация в снеге/СГП в городе, ПДК природных вод, концентрация элемента в снеге в каждой точке пробоотбора. Так как ПДК значительно выше фона, то способ оценки загрязнения территории с данным условным фоном позволяет получить допустимую категорию загрязнения для снега и СГП в исследуемых городах. Минимальная концентрация поллютанта в выборке снега и СГП для города позволяет получить оценки степени загрязнения городской территории отличные от предыдущего способа оценки, но при этом данные приближенные к «реальным» условиям.

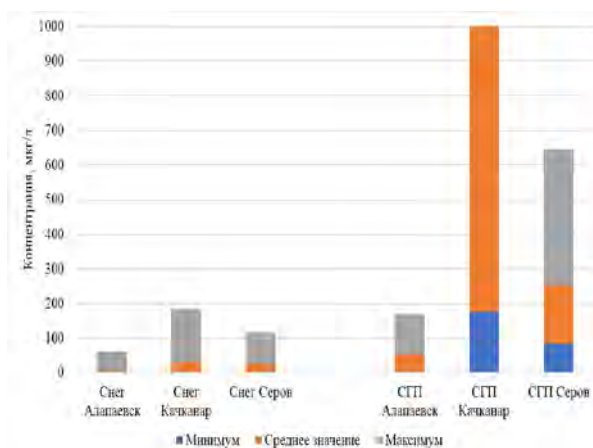


Рис. 2. Концентрация Fe в пробах (среднее значение – оранжевый цвет, минимум – синий цвет, максимум – серый цвет)

При выборе снега в качестве фона для СГП в точке и минимума снега из выборки по городу для СГП, большая доля проб оказывается в умеренно опасной и опасной категориях. Такие способы оценки позволяют учесть локальные выбросы и неточечные источники загрязнения в городе. Наиболее удобным и связанным с локальными процессами миграции и накопления загрязнения природно-антропогенного характера, происходящими на исследуемой территории, является способ, основанный на использовании снега в точке пробоотбора в качестве условного фона для СГП в этой же точке отбора.

Исследование продемонстрировало, что СГП может служить отдельным независимым элементом для оценки экологического состояния городской среды, выступая в роли геоиндикатора. Тем не менее, оценка, основанная на СГП, должна учитывать характеристики нетронутого снежного покрова. Полученные результаты значительно обогащают и уточняют понимание миграции и накопления загрязняющих веществ в урбанизированных территориях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-17-20036 и правительства Свердловской области проект № 24-17-20036.

Литература

1. Новикова Н.В., Черей А.В. Стратегические направления экономического развития моногородов региона (на примере Свердловской области) // Journal of New Economy. – 2014. – № 5(55). – С. 95–103.
2. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды : 1-е изд. – М. : Недра,

1990. – 335 с.
3. Seleznev A., Yarmoshenko I., Malinovsky G. et al. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment // *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9(1). – C. 17241. – doi: 10.1038/s41598-019-53793-z.
 4. Seleznev A., Shevchenko A., Malinovsky G. et al. Assessment of the total amount of surface deposited sediments in small towns // *Urban Science*. – 2024. – Vol. 8(4). – P. 178. – doi: 10.3390/urbansci8040178.
 5. Vlasov D., Vasilchuk J., Kosheleva N. Contamination levels and source apportionment of potentially toxic elements in size-fractionated road dust of Moscow // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2023. – Vol. 30(13). – P. 38099–38120. –doi: 10.1007/s11356-022-24934-1.

УДК 504.73/.74.054

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ pH ПОЧВЫ НА АККУМУЛЯЦИЮ СЕЛЕНА ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ И ПЛОДАМИ ГРЕЦКОГО ОРЕХА В МОЛДАВИИ

М.В. Капитальчук

*Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, Тирасполь, Приднестровье
marinakapitalchuk@yandex.ru*

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF SOIL pH ON SELENIUM ACCUMULATION IN CEREAL CROPS AND WALNUT FRUITS IN MOLDOVA

M.V. Kapitalchuk

*Shevchenko State University of Pridnestrovie, Tiraspol, Pridnestrovie, Moldova
marinakapitalchuk@yandex.ru*

Аннотация: Проведена оценка влияния pH почвы на аккумуляцию Se зерном пшеницы, ячменя и ядром грецкого ореха на территории Молдавии. Количество Se в: почве 100–668 мкг/кг, среднее 246 ± 73 мкг/кг; зерне 37–377 мкг/кг, среднее 131 ± 65 мкг/кг; орехах 123–397 мкг/кг, среднее 259 ± 66 мкг/кг. Коэффициент биологического накопления Se: зерно 0,15–1,58, среднее $0,60 \pm 0,32$; орехи 0,39–2,15, среднее $1,18 \pm 0,39$. Показатель pH почвы 6,50–9,01, среднее 7,62. Орехи накапливают Se в 2 раза интенсивнее, чем зерновые культуры. Влияние pH почвы на аккумуляцию Se в зерне и орехах не проявилось на статистически значимом уровне.

Введение

Системное изучение важного для человека и животных эссенциального элемента селена (Se) в Молдавии началось в начале 2000-х гг. В течение двух десятилетий были получены разносторонние сведения о распределении Se в компонентах экосистем в бассейнах рек Днестр и Прут [1, 2, 4–7, 10]. Накопление Se живыми организмами зависит от наличия элементов антагонистов [9]. Многие элементы-антагонисты Se накапливаются в малых количествах в живых организмах Молдавии [8, 11], что может быть причиной высокого накопления Se биотой. Вместе с тем, особенности миграции Se в системе «почва–растение» изучены недостаточно полно. В частности, представляет интерес оценка роли различных факторов, влияющих на усвоение Se растениями, для которых он является условно необходимым микроэлементом. Цель данной работы – оценить влияние pH почвы на аккумуляцию Se зерновыми сельскохозяйственными культурами и грецким орехом.

Материалы и методы

Материалами для анализа послужили образцы почв, пшеницы и ячменя (зерно), а также ядра грецкого ореха, отобранные в крупных ареалах почв Днестровско-Прутского междуречья. Почвенные образцы отбирались в слое 0–20 см. Измерение pH почвы проводилось в соответствии с [3]. Содержание Se в почвенных и растительных образцах определялось с помощью микрофлуорометрического метода. Из различных почвенных ареалов отобрано 89 образцов зерна пшеницы и ячменя, а также 66 образцов грецкого ореха. Статистическая обработка данных осуществлялась с применением статистических приложений программы Excel.

Результаты и их обсуждение

В верхнем слое почв Молдавии в среднем содержится оптимальное количество валового Se (246 ± 73 мкг/кг) с колебаниями концентрации от 100 до 668. Показатель pH почвы изменялся от 6,50 до 9,01 при среднем значении 7,62. В зерне пшеницы и ячменя Молдавии концентрация Se варьирует в диапазоне 37–377, при среднем значении 131 ± 65 мкг/кг.

Широко известно, что от степени кислотности почв зависит подвижность многих микроэле-

ментов и их доступность для усвоения растениями. Исходя из довольно широкого диапазона pH в почвах Молдавии, была выполнена оценка влияния кислотности почв на аккумуляцию Se зерном пшеницы и ячменя (рис.1).

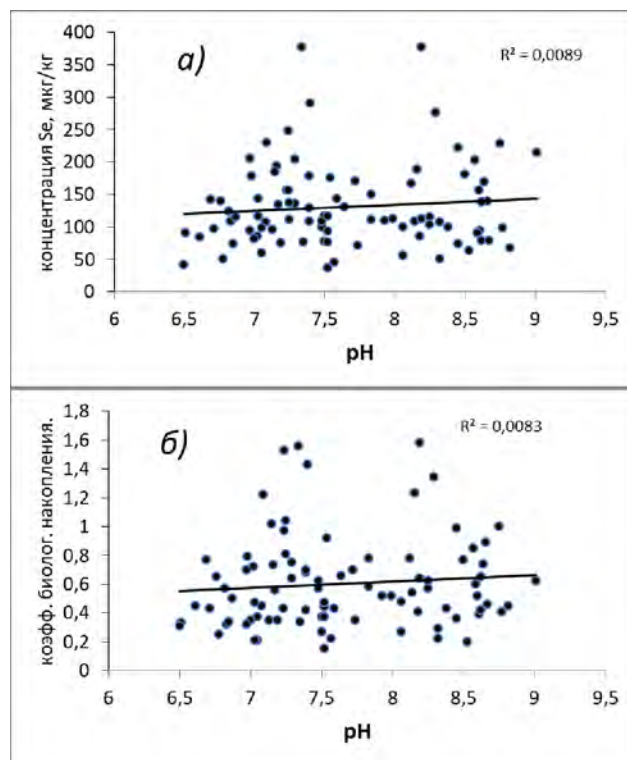


Рис.1. Концентрация (а) и коэффициент биологического накопления (б) Se в зерне пшеницы в зависимости от pH почвы

Коэффициент биологического поглощения (КБН) представляет собой отношение концентрации Se в воздушно-сухой массе растения к содержанию микроэлемента в почве. В исследованных образцах зерна КБН Se изменяется в широких пределах от 0,15 до 1,58, а среднее значение составляет $0,60 \pm 0,32$, что для условно необходимого микроэлемента величина достаточно высокая. Из рисунка 1 следует, что корреляционная зависимость от pH почвы отсутствует как по отношению к концентрации Se в зерне, так и по отношению КБН.

Обратим внимание, что в ряде случаев $\text{КБН} > 1$, когда концентрация Se в зерне превышает его концентрацию в почве (рис.1б). Такие высокие значения КБН, как правило, фиксировались в образцах растений, произрастающих на пойменных почвах, для которых характерно повышенное содержание как валовых, так и подвижных форм многих микроэлементов, поступающих в поймы с водоразделов, террас и прилегающих склонов в процессе водной и механической миграции.

Важным компонентом в диете жителей Молдавии являются грецкие орехи [1 4]. В исследованных образцах орехов содержание Se зафиксировано от 123 до 397, при среднем значении 259 ± 66 мкг/кг, что свидетельствует о значимости этого продукта в обеспечении потребности населения в этом жизненно необходимом микроэlemente.

Плоды грецкого ореха более активно аккумулируют Se по сравнению с зерновыми культурами. В среднем в ядре грецкого ореха содержание Se в два раза больше, чем в зерне пшеницы и ячменя. Об интенсивном поглощении Se грецким орехом свидетельствуют и высокие значения КБН, которые варьируют в диапазоне 0,39–2,15, а в среднем составляют $1,18 \pm 0,39$, что также значительно выше по сравнению с зерном пшеницы и ячменя. Значения $\text{КБН} > 1$ означают, что в большинстве случаев концентрация Se в орехах превышает концентрацию

его валовых форм в почве.

Поскольку сбор орехов осуществлялся в тех же почвенных ареалах, где отбирались образцы зерна пшеницы и ячменя, показатели pH почв аналогичны тем, что рассмотрены выше. На рисунке 2 представлены корреляционные зависимости содержания Se и КБН в грецких орехах от величины pH почвы. Также, как и для зерновых культур, вследствие большой дисперсии значений, статистически значимого влияния pH почв на концентрацию Se и КБН в грецких орехах не проявляется. Не исключено, что данная взаимосвязь может проявиться при расширении диапазона pH в сторону кислых почв.

Ранее были установлены статистически значимые различия средних значений концентрации Se в орехах, произрастающих в лесных экосистемах ($231 \pm 42,2$ мкг/кг) и поймах рек ($293 \pm 68,1$ мкг/кг). В то же время, расхождения средних значений КБН на статистически значимом уровне проявились для орехов, собранных в почвенных ареалах луговой степи ($1,04 \pm 0,25$) и поймах ($1,35 \pm 0,41$) [4].

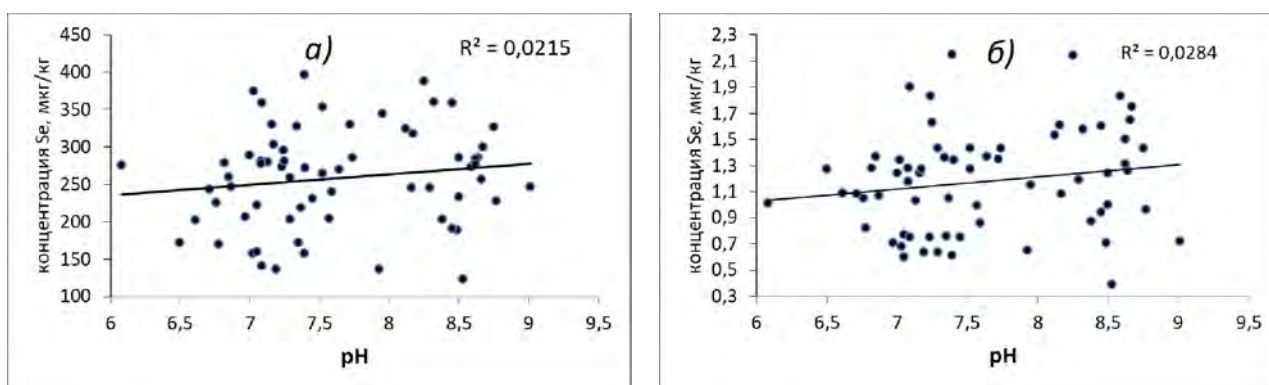


Рис.2. Содержание (а) и коэффициент биологического накопления (б) Se в плодах грецкого ореха в зависимости от pH почвы

Заключение

Слабокислые, нейтральные и щелочные почвы Молдавии являются благоприятными для аккумуляции Se зерновыми культурами и грецкими орехами. Влияние pH почвы на усвоение Se зерновыми культурами и грецкими орехами не проявилось на статистически значимом уровне.

Литература

1. Голубкина Н.А., Капитальчук М.В., Капитальчук И.П. Грецкие орехи как источник эссенциального микроэлемента селена // Вопросы питания. – 2009. – Т. 78, № 6. – С. 73–77.
2. Голубкина Н.А., Капитальчук И.П., Капитальчук М.В. Селен в почвах на разных высотных уровнях рельефа Днестровско-Прутского междуречья // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2012. – №1. – С. 98–101.
3. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотности остатка водной вытяжки. – М.: Стандартинформ. – 2011. – 6с.
4. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Аккумуляция селена грецкими орехами в экосистемах Днестровско-Прутского междуречья // Проблемы региональной экологии. – 2012. – № 1. – С. 71–74.
5. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А. Биоаккумуляция селена растениями на различных типах почв Молдовы // Агро XXI. – 2008. – № 4-6. – С. 47–48.
6. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Накопление Fe, Mn, Zn, Cu, Se растениями в условиях долины Днестра // Актуальные проблемы биоэкологии: сб. материалов II Межд. конф. (Москва, 26–28 октября, 2010 г.). – М.: Изд-во МГОУ, 2010. – С. 163–167.

7. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Шешнищан С.С. и др. Особенности аккумуляции селена растениями водных экосистем Молдавии // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2013. – № 3. – С. 104–109.
8. Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Продукты питания как индикатор обеспеченности ландшафтов Молдавии селеном // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 4. – С. – 90–93.
9. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Селен и его антагонисты в биогеохимической цепи «почва-растение» в условиях Приднестровья // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 2. – С. 137–141.
10. Тома С., Капитальчук М., Капитальчук И. Содержание селена в некоторых типах почв левобережных районов Днестра // Stiinta Agricola. – 2006. – № 1. – С. 11–16.
11. Шешнищан Т.Л., Шешнищан С.С., Капитальчук М.В. Содержание марганца, цинка, меди и молибдена в волосяном покрове сельскохозяйственных животных долины нижнего Днестра // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т. 13, № 4. – С. 166–173.

УДК 504.53.054

БИОГЕОХИМИЯ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВАХ И КУЛЬТУРНЫХ СЛОЯХ ПОСЕЛЕНИЙ ИСТОРИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

Н.О. Ковалева

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
natalia_kovaleva@mail.ru*

BIOGEOCHEMISTRY OF STABLE CARBON ISOTOPES IN BURIED SOILS AND CULTURAL LAYERS OF HISTORICAL TIME SETTLEMENTS

N.O. Kovaleva

*Moscow State University, Moscow, Russia
natalia_kovaleva@mail.ru*

Abstract. Целью данного исследования стало изучение состава изотопов углерода в разновозрастных почвах, погребенных под геоархеологическими памятниками, в их конструкциях и сопутствующей системе селищ, некрополей, рвов и других сооружений. В качестве объектов исследования выбраны оборонительные валы Белгородской оборонительной черты. Показано, что изотопные отношения облегчаются в органическом веществе гумусовых горизонтов почв и культурных слоев, определяя минимумы величин $\delta^{13}\text{C}$, и утяжеляются в слоях подсыпки, фиксируя максимумы последних. Несмотря на преимущественное распространение травяной растительности на поверхности памятников, изотопная подпись погребенных почв отражает тип господствующей зональной растительности и через особенности типа фотосинтеза позволяет реконструировать климат региона различных хронологических срезов памятника.

Введение

Использование методологии изотопной геохимии является все более востребованным методом в изучении культурных слоев поселений человека в разные отрезки исторического времени, так как позволяет анализировать диеты культур, особенности земледелия и бытования [1]. В XVI в. образование единого Российского государства потребовало решения двух новых задач: защиты южных рубежей от нападения различных кочевых сообществ и расширения хозяйственной базы за счет освоения новых земель [2]. Обе задачи были взаимосвязаны и требовали энергичного наступления на черноземные степи и лесостепи, простиравшиеся за Окой. Военная, экономическая, социальная и политическая история продвижения России в лесостепной и степной зонах сопровождалась процессом освоения высокогумусированных черноземных почв. Поэтому к данной территории приурочены и фортификационные сооружения Белгородской оборонительной черты, которая протянулась от Белгорода до Ульяновска более чем на 1000 км, погребая под собой гумусовые горизонты черноземов, накапливая органическое вещество в многоярусных сооружениях рвов перед и за валами, а также в слоистых конструкциях самих памятников. Целью данного исследования стало изучение состава изотопов углерода в разновозрастных почвах, погребенных под геоархеологическими памятниками, в их конструкциях и сопутствующей системе селищ, некрополей, рвов и других сооружений.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны хронокатены почв Козловского, Урляпова, Тамбовского валов Белгородской оборонительной черты. Хронокатена почв, заложенная в 30 км к югу от г. Тамбов на территории Тамбовского участка Белгородской засечной полосы неподалеку от д. Кузьмина Гать, включала чернозем обыкновенный окультуренный на пашне (его распашка не прерывалась более 400 лет), чернозем обыкновенный 400-летнего возраста – на Тамбовском валу, лугово-черноземную почву в днище рва у Тамбовского вала,

чернозем выщелоченный, погребенный под Тамбовским валом. Хронология почв на Козловском и Урляповом валах состоит из чернозема оподзоленного на валах 1638–1642 гг. возведения, чернозема выщелоченного под валом и фонового разреза на пашне в 15 м от раскопа – агрочернозема выщелоченного, а также лугово-черноземной почвы в днище рвов.

Методы исследования включали морфологический анализ почв, определение актуальной почвенной кислотности потенциометрически стеклянным электродом. Определение углерода и азота выполнено на элементном CNS-анализаторе (VARIO EL, Elementar GmbH, Напау). Определение содержания карбонатов проводилось волюметрическим методом, удельная магнитная восприимчивость измерена полевым каппаметром КТ-5. Все определения выполнены в трехкратной повторности. Определение изотопного состава углерода органического вещества почв выполняли после удаления корней, детритовых включений и карбонатов. Карбонаты разрушали многократной обработкой образцов 1 М HCl, после чего образцы отмывали от кислоты дистиллированной водой с использованием центрифуги. Измерения проводили в Институте экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН с помощью масс-спектрометра Termo-Finnigan Delta V Plus. Полученные результаты выражены в промилле (‰) по отношению к стандарту VPDB. Радиоуглеродное датирование выполнялось в НИИ имени А.П. Карпинского».

Результаты и их обсуждение

Содержание и запасы углерода в почвах исследованных валов достигают максимальных значений в культурных слоях и погребенных под валами горизонтах. Кривая распределения углерода по профилю имеет бимодальный характер: в верхних горизонтах на валу содержание углерода достигает 4–5%, и такая же величина около 4% регистрируется на глубине около 110 см. В фоновом разрезе содержание и запасы углерода в 2 раза меньше и постепенно снижаются вниз по профилю. В днище рва содержание органического углерода в верхних горизонтах достигает 3%. Таким образом, величины содержания и запасов органического углерода подтверждают результаты морфологического анализа изученных раскопов и позволяют диагностировать слои подсыпки валов, гумусовые горизонты погребенных почв и конструктивные особенности земляных сооружений (земляные кирпичи, послойно-ленточное строение, натоptyши). Содержание и запасы гумуса в погребенных под валами почвах идентичны его количеству в дневных черноземах на валу и соответствует черноземному типу гумусонакопления. Содержание углерода в пахотных горизонтах фоновых почв уменьшилось по сравнению с почвами, погребенными под валами, вероятно, в результате процессов агрогенной дегумификации. Как правило, гранулометрический состав культурных слоев тяжелее вмещающих горизонтов. Культурные слои отличает также обилие артефактов, углей, более темная окраска, наличие остатков карбонатных пород.

Данные по радиоуглеродному датированию и изотопному анализу углерода ($\delta^{13}\text{C}$) показали, что процессы естественной эволюции почв преобладали над антропогенными и подчинялись изменениям климата. Величины изотопных отношений углерода органического вещества верхних горизонтов всех исследованных конструктоземов наследуют изотопный состав господствующей растительности с доминированием C3 типа фотосинтеза. При этом эпоха начала исторического времени (железный век) характеризуется значениями $\delta^{13}\text{C}$ в пределах –25,84––25,15‰ для погребенных горизонтов черноземов Тамбовщины, то есть остается умеренно-влажной. Однако уже в погребенных пахотных горизонтах средневекового возраста изотопные отношения составляют –25,6 и –25,4‰, то есть характеризуют самые сухие климатические эпизоды в рассматриваемом ряду почв. Это малый климатический оптимум исторического времени и начало активного преобразования человеком окружающих ландшафтов, сопровождавшегося вырубкой деревьев в пределах речных пойм и распашкой территории. Практически во всех фоновых разрезах по ровной нижней границе гумусового горизонта фиксируются признаки распашки и следы пожаров в виде прослоев угля. Надо отметить,

что антропогенное обезлесивание ландшафтов лесостепи не затронуло лишь заболоченные понижения «осиновых кустов», не пригодных к распашке из-за высокого уровня гидрокарбонатно-натриевых грунтовых вод. В этапы аридизации уменьшалась мощность гумусовых профилей, нарастала засоленность почв в депрессиях (кустах), чаще возникали пожары, леса хуже возобновлялись, что и отражают типичные для трав величины $\delta^{13}\text{C}$.

Изменения изотопных отношений в сторону увеличения увлажненности климата (25,6%) характерны для дневных горизонтов почвы и отражают тенденцию усиления увлажненности климата в малый ледниковый период (XVII–XIX вв., 330±80, 101±1,5 лет), что привело к развитию лугово-черноземных почв в почвенном покрове и к увеличению содержания гумуса в них. Таким образом, ритмы увлажнения-иссушения климата чередовались во времени, сопровождаясь повышением-понижением уровня грунтовой воды. Вероятно, что в эпохи повышенного увлажнения и подъема уровня воды в реках, жизнь городищ становилась невозможной вплоть до полного уничтожения детинцев, и культуры сменяли друг друга. Полученные результаты подтверждаются и синхронностью изотопных кривых с величинами магнитной восприимчивости почв

Вариации изотопных отношений находятся в пределах от –27 до –10‰. Некоторым культурным слоям свойственно утяжеление значений изотопного отношения вплоть до величин –11,02...–15,38‰. Возможным объяснением данного факта может быть наличие органики не-растительного происхождения, например, костей или продуктов жизнедеятельности домашних животных, изотопные отношения для которых лежат в указанных пределах: собака – –17...–21 ‰; овцы – –18...–21‰; крупный рогатый скот – –19...–20‰. Утяжеление значений в коллагене костей домашних животных связано со специфической диетой последних, если их кормят биомассой C4 растений, например, просом. Другим вероятным объяснением утяжеления значений $\delta^{13}\text{C}$ в горизонтах, содержащих золу и сажу, может быть фракционирование изотопов в ходе образования железоорганических соединений (карбида железа, феррита, перлита, аустенита) антропогенного происхождения, или, возможно, высоких температур во время пожаров. Данная гипотеза основана на понижении значений магнитной восприимчивости в соответствующих горизонтах, что типично для перечисленных слабомагнитных минералов.

Заключение

В целом, характер изотопных кривых – зигзагообразный. Чередование максимумов и минимумов на изотопных кривых позволяет судить об особенностях конструкции насыпей археологических памятников.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 24-68-00011, <https://rscf.ru/project/24-68-00011>.*

Литература

1. Kovaleva N.O., Reshetnikova R.A., Kovalev I.V. et al. Variability of the carbon-isotope composition ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) of soils and cultural layers of geoarchaeological monuments on the Russian Plain // Moscow University Soil Science Bulletin. – 2023. – № 78(1). – С. 42–55.
2. Ляпин Д.А. В изобретении мира: формы развития сельского хозяйства в XVII веке // Новоградия. – 2019. – № 1. – С. 217–232.

УДК 614.7:628.4.038

ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

М.А. Ковальчук¹, Л.А. Михайлова²

¹Центр гигиены и эпидемиологии в Забайкальском крае, Чита, Россия
marina.kovalchuk.61@list.ru

²Читинская государственная медицинская академия, Чита, Россия
mihailova-la@mail.ru

ASSESSMENT OF THE RISK TO THE HEALTH OF THE POPULATION LIVING IN THE ZONE OF INFLUENCE OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE

M.A. Kovalchuk¹, L.A. Mikhailova²

¹Center for Hygiene and Epidemiology in the Trans-Baikal Territory, Chita, Russia
marina.kovalchuk.61@list.ru

²Chita State Medical Academy, Chita, Russia
mihailova-la@mail.ru

Abstract. Объекты накопленного вреда окружающей среде являются причиной загрязнения атмосферного воздуха, почвы, питьевой воды, воды поверхностных водоемов, растениеводческой продукции и формирования риска для здоровья населения. По совокупности воздействия факторов исследуемые объекты НВОС относятся к категории умеренного риска (2 категория) для здоровья и продолжительности жизни, поэтому они не являются приоритетными для ликвидации по рассматриваемым критериям.

Введение

Забайкальский край занимает лидирующие позиции среди горнорудных регионов России по объему разведанных запасов полезных ископаемых. На долю региона приходится значительная часть общероссийских запасов различных минералов (%): лития – 80, плавикового шпата – 38, молибдена – 27, меди – 21, тантала – 18, ниобия – 16, свинца – 9, золота – 7, титана – 18, цинка – 2,8, вольфрама – 4,6, угля – 1,6, цеолитов – 75. В государственном балансе учтены крупные запасы урана, железа, ванадия, серебра, висмута, мышьяка, германия, криолита, редких земель, циркония, апатитов, драгоценных и полудрагоценных камней, магнетитов и других полезных ископаемых. Кроме того, в регионе есть потенциал для создания сырьевой базы хрома, марганца, сурьмы, графита и талька [1].

Минерально-сырьевую базу плавикоспатовой промышленности России составляют месторождения: Калангуйское, Абагайтуйское, Усуглинское и Солонечное. Флюорит, или плавиковый шпат – это природный минерал, который добывают для нужд химической, черной металлургии, алюминиевой и атомной энергетики. Флюорит применяют в производстве керамики, стекла, сварочных электродов, цемента и других материалов. Минерал является основным источником фтора, который является одним из самых активных природных окислителей, превосходящий по активности кислород. Он образует плавиковую кислоту HF, которая способна растворять как металлы, так и стекло, силикаты и алюмосиликаты. Помимо этого, фтор обладает и другими полезными свойствами. Например, он снижает температуру плавления металлов и рудной шихты, а также способствует спеканию керамических смесей, если в них добавлены фтористые продукты.

Интенсивная добыча и переработка полезных ископаемых на территории края привела к накоплению значительного количества отходов, образующихся на предприятиях горнопромышленного комплекса (отвалов бедных и некондиционных руд, вскрышных пород, хвостов флотационного и гравитационного обогащения). В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» в рамках национального проекта

«Экология» был разработан федеральный проект «Генеральная уборка». Его цель – эффективное обращение с отходами производства и потребления, в рамках данного проекта проводится оценка рисков для здоровья населения, связанных с объектами накопленного вреда окружающей среде.

Для оценки риска для здоровья населения и решения вопроса о первоочередности ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде (ОНВОС) разработаны методические рекомендации МР 2.1.10.0273-22 «Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания. Оценка воздействия объектов накопленного вреда на здоровье граждан и продолжительность их жизни, в том числе с возможностью экспресс-оценки». По результатам оценки ОНВОС подразделяют на пять категорий риска: низкий, умеренный, средний, высокий и очень высокий. Объекты 4 и 5 категорий должны быть ликвидированы в первую очередь в краткосрочной перспективе, объекты 3 категории – в среднесрочной перспективе, объекты 2 и 1 категории не являются приоритетными для ликвидации.

Для расчета суммарного риска используется «Программный модуль для оценки риска здоровью граждан от воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде» (Регистрационный номер в Федеральной службе по интеллектуальной собственности RU2022667410 от 20.09.2022), разработанный ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». Объекты оцениваются по следующим группам показателей: общая характеристика, климатические и пространственные характеристики территории размещения объектов относительно мест пользования населением, геологические и гидрологические показатели территории, показатели качества объектов среды обитания, наличие жалоб населения на качество объектов среды обитания [2].

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны хвостохранилища 3 обогатительных фабрик по переработке руды, содержащей плакированный шпат. Объект № 1 расположен в селитебной зоне поселка с численностью населения около 200 человек, представлен отходами гравитационного процесса обогащения. Площадь хвостохранилища составляет 3 га, объем накопленного материала 47,2 и 85 тыс. т с содержанием CaF_2 – 12,8%, отвалов бедных руд – 1,1 га объемом 62 и 137 тысяч т, с содержанием CaF_2 – 20%, отвалов пород после ручной сортировки – 0,5 га объемом 50,9 и 130, 8 тыс. т, с содержанием CaF_2 – 7%. Запасы полезных компонентов CaF_2 составляют 10,9 тыс. т.

Объект № 2 общей площадью 27,3 га, где складировано 3,6 млн т отходов флотационного производства, находится на расстоянии 1 км от поселка с численностью населения более 400 чел.. Площадь хвостохранилища 27,3 га, объем отходов 874 и 1573 тыс. т, с содержанием CaF_2 – 10 – 11,2%, пирита – 3%. Запасы полезных компонентов составляют 166,7 тыс. т флюорита. Объект № 3 находится вблизи населенного пункта с численностью населения более 2 тыс. чел. Площадь хвостохранилища составляет 18 га, объем отходов – 345,0 и 620,0 т с содержанием CaF_2 10,3%, площадь отвалов после ручной сортировки руды – 0,5 га, объем отходов – 15,5 и 34,2 т с содержанием CaF_2 6,2%, площадь отвалов бедных руд 0,1 га, объем отходов – 16,7 т с содержанием CaF_2 6,0%.

В ходе исследования были отобраны и проанализированы пробы атмосферного воздуха, воды поверхностных и подземных водоисточников, почв. Пробы воздуха и почв отбирались на территории жилой застройки и в зоне ОНВОС, пробы питьевой воды – из децентрализованной системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Рассчитывался показатель вредного воздействия (находится в интервале от 0 до 1, безразмерная величина), определялся вклад групп факторов в показатель риска (%) и показатель вероятного снижения ожидаемой продолжительности жизни (в днях). По совокупности показателей проводилось отнесение объекта к одной из пяти категорий риска (1 – от «низкого риска», до 5 – «чрезвычайно высокого

риска»).

Результаты и их обсуждение

При анализе уровня загрязнения почвы установлено, что концентрация мышьяка существенно превышает нормативные значения, как в зоне объекта, так и ближайшей жилой застройки. В исследуемых населенных пунктах в качестве источника водоснабжения используются подземные воды. При оценке качества питьевой воды по санитарно-химическим показателям выявлено превышение допустимого содержания фторидов. В атмосферном воздухе уровень загрязняющих веществ соответствует гигиеническим требованиям.

Объект № 1 исходя из совокупности неблагоприятного воздействия на состояние компонентов окружающей среды (загрязнение почвы, питьевой воды) относится к умеренной категории риска для здоровья и продолжительности жизни человека, собственно величина риска для здоровья составила 0,33. Основные факторы, формирующие риск: характеристика объектов среды обитания – 19%; общие параметры – 22%; климатические характеристики – 19%; пространственные характеристики – 39%; геолого-технологические характеристики – 1%. Вероятностное снижение ожидаемой продолжительности жизни составило 193 дня.

Объект № 2 относится к умеренной категории риска для здоровья и продолжительности жизни человека, собственно величина риска для здоровья составила 0,32. Основные факторы, формирующие риск: характеристика объектов среды обитания – 18%; общие параметры – 25%; климатические характеристики – 19%; пространственные характеристики – 35%; геолого-технологические характеристики – 3%. Вероятностное снижение ожидаемой продолжительности жизни составило 187 дней. Кратность превышения заболеваемости населения в ближайшей жилой застройке (муниципальном образовании) относительно среднерегионального/среднетерриториального уровня составило 1,8 раза.

Объект № 3 относится к умеренной категории риска для здоровья и продолжительности жизни человека, собственно величина риска для здоровья составила 0,38. Основные факторы, формирующие риск: характеристика объектов среды обитания – 14%; общие параметры – 12%; климатические характеристики – 20%; пространственные характеристики – 51%; геолого-технологические характеристики – 3%. Вероятностное снижение ожидаемой продолжительности жизни составило 228 дней. Кратность превышения заболеваемости населения в ближайшей жилой застройке (муниципальном образовании) относительно среднерегионального/среднетерриториального уровня составило 1,8 раза.

Хвостохранилища подвержены процессам эрозирования, происходит вымывание отходов производства на прилегающий рельеф, под телом объектов отсутствует гидроизоляционный экран, поэтому возможно попадание опасных химических веществ в почву и подземные воды. Отходы содержат вещества 4 и 5 класса опасности, а также вещества, обладающие канцерогенным эффектом.

Заключение

Таким образом, исследованные объекты относятся к категории умеренного риска для здоровья и продолжительности жизни человека, поэтому они не являются приоритетными для ликвидации по рассматриваемым критериям.

Литература

1. Юргенсон Г.А., Асосков В.М., Чабан Н.Н. и др. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел. – Новосибирск : Наука, 1999. – 579 с.
2. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В. и др. К задаче оценки воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на здоровье граждан и продолжительность их жизни // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 1. – С. 4–16. – doi: 10.21668/health.risk/2022.1.01.

УДК 504.53.054

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ
ГЛИНИСТОГО ГРУНТА ПРИ КОНТАКТЕ С ПОГРЕБЕННЫМИ БЫТОВЫМИ
ОТХОДАМИ В АНАЭРОБНОЙ СРЕДЕ**

Е.С. Колесникова

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
yevgeniya.kolesnikova.2001@mail.ru*

**EXPERIMENTAL MODELING OF CHANGES IN CLAY SOIL PROPERTIES
IN CONTACT WITH BURIED MUNICIPAL SOLID WASTE
IN AN ANAEROBIC ENVIRONMENT**

E.S. Kolesnikova

*Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia
yevgeniya.kolesnikova.2001@mail.ru*

Аннотация. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования изменения свойств глинистого грунта при контакте с моделью бытовых отходов в анаэробных условиях. Целью работы являлось определение влияния цеолита, обогащенного мочевиной, на физико-химические свойства ряда глин. В ходе экспериментов были определены изменения пределов пластичности, агрегации частиц и содержания органических веществ. Установлено, что добавление цеолита оказывает влияние на агрегацию глинистых частиц и изменяет пластичность грунта. Полученные результаты могут быть использованы для разработки технологий по улучшению свойств глинистых грунтов.

Глинистые грунты, широко распространенные в природе, используются в различных инженерно-геологических целях от строительства до захоронения отходов. Их физико-механические свойства, такие как прочность, деформируемость и водопроницаемость, играют решающую роль в обеспечении устойчивости сооружений и безопасности окружающей среды. Структура глинистых грунтов, определяющая их свойства, сложна и зависит от минералогического состава, типа контактов между частицами и геологической истории [1]. Однако под воздействием различных факторов, таких как реологические, геохимические, биохимические, изменение напряженного состояния, свойства глинистых грунтов могут варьировать [2]. В частности, из-за растворения и вымывания одних компонентов и образования других, происходит изменение структуры и прочностных характеристик глин. С целью изучения этих процессов в лабораторном масштабе применяется метод экспериментального моделирования, позволяющий контролировать параметры и упрощенно имитировать природные явления в лабораторных условиях.

Таблица 1. Краткое описание образцов

№	Описание	Глубина залегания (м)
8	Глина черно-серая, полутвердая	20
9	Глина черно-серая, полутвердая	20
10	Глина черно-серая, полутвердая	20
11	Глина черно-серая, полутвердая	12
12	Глина черно-серая, полутвердая	9
13	Глина черно-серая, полутвердая	10

В данном исследовании проведено экспериментальное моделирование изменения свойств глинистого грунта при контакте с отработанным погребенным цеолитным наполнителем для животных в анаэробных условиях. Целью исследования является определение влияния ве-

ществ, иммобилизованных в цеолитном наполнителе, на ряд свойств глинистого грунта. В качестве объектов исследования использовались типичные образцы глинистых грунтов, контрастные по окраске, изъятые с глубины 9–20 м на водоразделе рек (табл. 1).

Собрана экспериментальная установка – реактор с генерацией углекислого газа. В установке размещали чашки Петри с глинами, чашку с отработанным цеолитным наполнителем и организовывали замкнутую циркуляцию воды для перемещения раствора вдоль колонны чашек (рис. 1). Вторая такая же установка содержала не отработанный цеолитный наполнитель и служила контролем происходящих изменений глин.

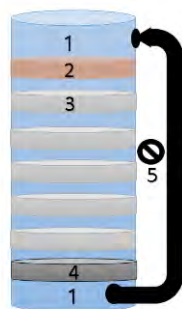


Рис. 1. Схема экспериментальной установки, где 1 – вода, 2 – чашка Петри с газогенераторным пакетом, 3 – чашки Петри с исследуемым грунтом, 4 – чашка Петри с цеолитным наполнителем, 5 – насос

До и после эксперимента глины были проанализированы на содержание органического вещества [3] и карбонатов в грунте титриметрическим методом [4]; pH раствора с использованием ионометрического свинцового индикатора; емкость катионного обмена (метод Л.И. Кульчицкого) [5]; влажность на границах текучести (балансирным конусом) и раскатывания (методом прессования) [6]; гранулометрический и микроагрегатный состав (методом лазерной дифракции) [7].

Результаты

Экспериментальные образцы грунта с отработанным цеолитным наполнителем показали изменение пределов пластичности по сравнению с контрольными образцами и исходным грунтом (табл. 2). Верхний предел пластичности увеличился во всех экспериментальных вариантах по сравнению с исходными глинами, кроме контроля № 10. В образцах глины № 10 и 12 на контакте с отработанным цеолитным наполнителем верхний предел пластичности увеличился по сравнению с контролем. В остальных случаях верхний предел пластичности снизился на контакте с отработанным цеолитным наполнителем по сравнению с контролем, особенно в образце № 11. Нижний предел пластичности увеличился в контрольных вариантах образцов № 9, 11, 13 по сравнению с исходными глинами, а в контрольных вариантах образцов № 8, 10 снизился. В образцах глин на контакте с отработанным цеолитным наполнителем № 8, 9, 11, 13 нижний предел пластичности снизился относительно контроля (особенно в образце № 11), а в образцах глин № 10 и 12 не изменился. Влияние отработанного цеолитного наполнителя на агрегацию глинистых частиц проявилось в образцах № 8, 9, 11. В образцах № 10 и 12 наблюдалось разрушение частиц на контакте с отработанным цеолитным наполнителем. Карбонатность экспериментальных вариантов возросла по сравнению с исходными глинами, независимо от контакта с отработанным цеолитным наполнителем. В экспериментальных вариантах минерализация омывающего раствора уменьшилась, что позволяет выдвинуть гипотезу о том, что источник катионов для осаждения карбонатов находился в обменном комплексе цеолита. В разных образцах глин отработанный наполнитель неоднозначно повлиял на емкость катионного обмена и содержание органики.

Таблица 2. Нижний и верхний предел пластичности для исходных, экспериментальных и контрольных образцов

Наименование грунта	До опыта	Контроль	Эксперимент
W_p			
8	29.70	27.96	25.40
9	22.98	26.64	20.12
10	31.98	25.15	25.68
11	28.93	31.97	21.68
12	27.46	27.30	26.46
13	23.19	25.93	20.36
W_l			
8	42.33	45.75	44.70
9	29.62	38.49	35.63
10	41.15	36.09	44.99
11	36.09	47.29	40.71
12	36.86	37.62	45.80
13	31.96	39.47	37.89

В отношении определения верхнего и нижнего предела пластичности, эксперимент выявил изменение пластичности глин в разных средах. Отраженные данные в таблице показывают, что:

- В образце №8 – нижний предел пластичности выше при замачивании с водой на 0,26 %, чем с цеолитом, разница с исходным образцом составляет 0.18 %; верхний предел пластичности выше при замачивании с водой, чем с цеолитом на 0,1 %.
- В образце № 9 – нижний предел пластичности выше при замачивании с водой на 0,65 %, чем с цеолитом; верхний предел пластичности в воде выше на 0,26, чем с цеолитом.
- В образце № 10 – нижний предел с водой и цеолитом примерно одинаково, с цеолитом выше на доли процента, значения примерно в одном диапазоне; верхний предел выше с цеолитом на 0.90 % чем с водой.
- В образце № 11 – нижний предел выше с водой на 1 %, чем с цеолитом; верхний предел тоже выше с водой на 0.60 %, чем с цеолитом.
- В образце № 12 – нижний предел выше с водой на 0.08 %, чем с цеолитом; а вот верхний предел пластичности выше с цеолитом на 0,81 %, чем с водой.
- В образце № 13 – нижний предел выше с водой на 0,50 %, чем с цеолитом; верхний предел также выше с водой на 0,10 %, чем с цеолитом.

Таким образом, образцы, находившиеся в контакте с отработанным цеолитным наполнителем, отличались от контрольных в аспектах: более интенсивная фиксация CO₂ в органическом веществе и понижение влажности предела на границе раскатывания. Однако остальные изменения были индивидуальны для каждой глины, что определяет перспективу дальнейших исследований. Несмотря на то, что для укрепления грунтов все чаще рекомендуется биоцементация, инициированная гидролизом мочевины, можно заключить, что результат этого процесса не гарантирован. Поэтому необходимо проведение лабораторных исследований взаимодействия улучшителей свойств с каждой разновидностью глин. Тем не менее, в ряде случаев есть возможность использования отработанного наполнителя для домашних животных на основе цеолита в качестве средства для улучшения инженерных свойств глин, что открывает путь для разработки безотходной технологии ценного сырья.

Литература

1. Голубева О.Ю. Пористые алюмосиликаты со слоистой и каркасной структурой: синтез, свойства и разработка композиционных материалов на их основе для решения задач медицины, экологии и катализа : дис. ... докт. физ.-мат. наук. – Санкт-Петербург, 2016. – 438 с.
2. Иванов В., Стабников В., Цзянь Чу. Строительная биотехнология. Биогеохимия, микробиология и биотехнология строительных материалов и процессов. – Springer, 2017. – С. 1305–1306.
3. ГОСТ 26213-91 Почвы. Метод определения органического вещества: дата введения 01.07.93. – М. : Комитет стандартизации, 1991. – 8 с.
4. ГОСТ 34467-2018 Грунты. Метод лабораторного определения содержания карбонатов: дата введения 01.09.2019. – М. : Стандартиформ, 2019. – 12 с.
5. Королев В.А., Андреева Т.В., Самарин Е.Н. и др. Лабораторные работы по грунтоведению // Высшая школа. – 2008. – С. 235–237.
6. ГОСТ 30416-12 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения: дата введения 2013.07.01. – М. : Стандартиформ, 2013. – 15 с.
7. ГОСТ 12536-14 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Общие положения: дата введения 2014.12.05. – М. : Стандартиформ, 2015. – 3 с.

УДК 550.47

**ОЦЕНКА ФИТОРЕМЕДИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА
АМАРАНТА МЕТЕЛЬЧАТОГО (*AMARANTHUS PANICULATUS*)
В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПИРИТНЫМИ ОГАРКАМИ**

А.А. Колкова, Д.Б. Петренко, Ю.А. Максимова

Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

kolkova_angelina01@mail.ru

**EVALUATION OF PHYTOREMEDIATION POTENTIAL
OF AMARANTH PANICULATUS (*AMARANTHUS PANICULATUS*)
IN CONDITIONS OF SOIL CONTAMINATION WITH PYRITE CINDERS**

A.A. Kolkova, D.B. Petrenko, Yu.A. Maksimova

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

kolkova_angelina01@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе изучено накопление As, Cu, Pb и Zn растениями амаранта метельчатого (*Amaranthus paniculatus*) при внесении в почву пиритных огарков, отобранных на объектах размещения отходов двух различных недействующих химических производств, расположенных на территории Московской области (г. Воскресенск и г. Рошаль). Показано, что концентрации Zn и Cu в условиях загрязнения несущественно превышают контрольные значения, не зависят от дозы внесенных в почву огарков. При внесении в почву 5% по массе пиритных огарков существенно (до 350 раз) возрастают концентрации As и Pb в растении и при повышении дозы внесенных огарков до 25% остаются практически постоянными, что является перспективным для разработки ремедиационных технологий.

Введение

Существенным источником поступления тяжелых и токсичных элементов в окружающую среду являлось производство серной кислоты из колчеданных руд. Обжиг сульфидов для получения серной кислоты широко использовался с середины XIX века до 1980-х гг. В настоящее время серная кислота практически не производится из сульфидных руд, однако в ходе производства накоплены миллионы тонн продукта их обжига – пиритного огарка, содержащего чрезвычайно высокие и варьирующие в широком диапазоне концентрации As, Cu, Pb и Zn.

Для оценки воздействия отвалов продуктов обжига сульфидных руд на окружающую среду, а также разработки мер их рекультивации необходимы количественные данные о возможности накопления тяжелых и токсичных элементов растениями на субстратах, содержащих пиритные огарки. В настоящее время таких данных крайне недостаточно. Показано, что накопление As, Co, Cu и Pb тополем и ивой в районе Торвискоза (Италия) происходит преимущественно корнями деревьев, что определяет низкий риск поступления этих элементов в пищевые цепи. Цинк накапливается преимущественно в листьях [5]. Изучено накопление As, Cd, Cu, Pb и Zn растениями сои, кукурузы, сорго и подсолнечника на субстратах, содержащих различные концентрации пиритных огарков [1]. Показано, что изученные растения не являются гипераккумуляторами при поглощении As и тяжелых металлов, однако способны накапливать их в значимых концентрациях.

Перспективными для целей фиторемедиации являются представители рода *Amaranthus* L., которые имеют широкий ареал произрастания, часто приурочены к рудеральным местообитаниям, способны образовывать существенную биомассу на фоне засушливых условий, засоления и подкисления почвы. Показаны возможности применения амаранта для фитоэкстракции тяжелых металлов из почв, испытывающих полиэлементное загрязнение в зоне воздействия металлургического завода [4] и сточных вод пивоваренного производства [3].

Вместе с тем практически не исследованы возможности использования амаранта для ремедиации почв вблизи зон размещения отвалов пиритных огарков. Целью настоящей работы явилось изучение фиторемедиационного потенциала амаранта для извлечения токсичных элементов из почв, загрязненных пиритными огарками в условиях модельного эксперимента.

Материалы и методы

Постановка эксперимента. Эксперимент заключался в изучении уровней накопления As, Cu, Pb и Zn в надземной части амаранта при внесении пиритных огарков веществ в почву. Посев семян амаранта метельчатого (*Amaranthus paniculatus*) проводили в почву, полученную смешиванием образца дерново-подзолистой почвы, не содержащих значимых концентраций токсикантов с пиритными огарками. В эксперименте использованы образцы пиритных огарков, отобранные на объектах размещения отходов двух различных недействующих химических производств, расположенных на территории Московской области (г. Воскресенск и г. Рошаль). В пластиковые емкости помещали смесь мышьяксодержащего субстрата и незагрязненной почвы, содержащую 5, 10, 25% пиритных огарков по массе. Каждый эксперимент проводился в трех повторностях. Растения были собраны на 60-й день после посадки. Надземную часть растений срезали, взвешивали и сушили при комнатной температуре в течение 24 часов, затем при 70 °С в течение 72 ч. После этого образцы измельчали на лабораторной мельнице Stegler LM-250 (Стиглер, Китай).

Анализ образцов осуществляли в лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН (г. Москва). Для подготовки проб растений к анализу их подвергали кислотному разложению обработкой смесью азотной кислоты и пероксида водорода в условиях микроволнового нагрева в микроволновой системе резонаторного типа Mars-5 в сосудах из фторполимерного материала емкостью XP-1500. Концентрации As, Cu, Pb и Zn в образцах определяли на квадрупольном масс-спектрометре с цифровым детектором Analytikjena PlasmaQuant MS Elite (Analytik Jena, Германия), оснащенным: столкновительной ячейкой (газ – He); распылителем Бабингтона и распылительной камерой Скотта, охлаждаемой элементом Пельтье (до 3 °С). Анализ образцов почвы и пиритных огарков выполняли на последовательном волнодисперсионном спектрометре S4 PIONEER (Bruker, Германия).

Результаты и обсуждение

Содержания токсичных элементов в пиритных огарках и почвах, использованных при проведении эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание токсичных элементов в пиритных огарках и почвах, мг/кг

Элемент	Незагрязненная почва	ПДК для почвы по СанПиН 1.2.3685-21	Среднее содержание в почвах мира [2]	Огарки 1	Огарки 2
Cu	20	66	38,9	809	1166
As	5	5,0	6,83	1281	623
Pb	10	65	27	3123	1659
Zn	23	110	70	2229	2366

Содержания приведенных в таблице элементов в почве ниже как кларковых значений, так и ПДК, что позволяет отнести ее к фоновым. Концентрации элементов в обоих образцах пиритных огарков оказались на несколько порядков выше и соответствуют диапазону известному из литературы для объектов подобного типа [6]. Образец 1 характеризуется примерно в два раза более высокими концентрациями As и Pb, чем образец 1. По содержаниям Cu и Zn образцы оказались сопоставимы.

Результаты анализа образцов растений представлены в таблице 2.

Таблица 2. Содержание токсичных элементов в образцах надземной части растений амаранта, мг/кг

Образец	Фон	Огарок 1			Огарок 2		
Массовая доля внесенного в почву огарка	0	5%	10%	25%	5%	10%	25%
Cu	16	21	22	21	16	21	26
As	0,88	5,5	5,5	5,4	0,7	2,1	2,1
Pb	0,09	35	32	26	0,65	33	33
Zn	133	132	114	130	106	213	167

Концентрации меди и цинка в зеленой массе амаранта в условиях загрязнения не превышают фоновых значений более чем в 1,6 раза и практически не зависят от дозы внесенных в почву огарков. Для мышьяка и свинца наблюдается совершенно иная картина, при внесении 5% огарков в почву резко (до 350 раз) возрастают концентрации этих элементов в растении и при повышении дозы внесенных огарков до 25% остаются практически постоянными. Таким образом, выявлено, что амарант метельчатый (*Amaranthus paniculatus*) способен накапливать значительные концентрации мышьяка и свинца из пиритных огарков и его применение представляется перспективным в ремедиационных технологиях. Вместе с тем, амарант не склонен к накоплению меди и цинка, в связи с чем его применение целесообразно в сочетании с другими растениями, склонными к накоплению этих элементов.

Литература

1. Guido F., Marchiol L., Perosa D. et al. The application of phytoremediation technology in a soil contaminated by pyrite cinders // Ecological Engineering. – 2007. – Vol. 31. – P. 207–214.
2. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. – Boca Raton : CRC Press, 2010. – 548 p.
3. Odiyi B., Ologundudu F.A., Adegbite T. Phytoremediation potential of *Amaranthus hybridus* L. (Caryophyllales: Amaranthaceae) on soil amended with brewery effluent // Braz. J. Biol. Sci. – 2019. – Vol. 6(13). – P. 401–411.
4. Gorelova S.V., Gins M.S., Frontasyeva M.V. Phytoextraction of toxic elements by *Amaranthus tricolor* grown on technogenically polluted soils in open ground conditions // Chimica Techno Acta. – 2022. – Vol. 9(2S). – Art. No. 202292S8.
5. Vamerali T., Bandiera M., Coletto L. et al. Phytoremediation trials on metal- and arsenic-contaminated pyrite wastes (Torviscosa, Italy) // Environ. Pollut. – 2009. – Vol. 157. – P. 887–894.
6. Макаров А.Б., Гуман О.М., Антонов И.А. и др. Техногенно-минеральные месторождения пиритных огарков и их влияние на природную окружающую среду. // Известия Уральского государственного горного университета. – 2012. – № 27-28. – С. 38–45.

УДК 631.41:581.1

РОЛЬ КОРНЕВОГО ОБМЕННОГО КОМПЛЕКСА В ПОГЛОЩЕНИИ ^{137}Cs РАСТЕНИЯМИ

И.В. Коноплева

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия
konopleva@geokhi.ru

ROLE OF THE ROOT EXCHANGE COMPLEX IN THE ABSORPTION OF ^{137}Cs BY PLANTS

I.V. Konopleva

V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia
konopleva@geokhi.ru

Аннотация. Для растений, произрастающих на лесных кислых подзолистых почвах, показано, что емкость катионного обмена корня является одной из биологических характеристик, которая влияет на поступление ^{137}Cs в растение. Выявлена положительная корреляция между величиной емкости катионного обмена корней папоротника и черники и коэффициентами накопления ^{137}Cs в растениях.

Введение

Переход ^{137}Cs из почвы в растение зависит как от почвенно-химических процессов, так и от биологических, связанных с поглощением радионуклида корневой системой растения.

На первом этапе поглощения радионуклида растением, до трансмембранного переноса, транспорт ионов осуществляется путем свободной диффузии в объеме клеточной стенки, расположенном снаружи от плазмалеммы и определяемом как *кажущееся свободное пространство*. Свободные карбоксильные группы пектинов и белков обеспечивают большое число отрицательных фиксированных зарядов в клеточных стенках. Для заряженных частиц *кажущееся свободное пространство* включает две составляющие: *водное свободное пространство* и *доннановское свободное пространство*. Состав водного свободного пространства идентичен внешнему почвенному раствору, а доннановское свободное пространство, представляющее собой совокупность заряженных центров, расположенных в стенке растительной клетки и на внешней стороне плазмалеммы, можно определить, как *корневой обменный комплекс* (КОК), характеризующийся емкостью катионного и анионного обмена.

Как показали исследования [5], поступление ^{137}Cs в растение определяется в значительной степени содержанием двухвалентных катионов ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) в почвенном растворе, а концентрация ^{137}Cs в растении линейно связано с размером “калийного окна” – долей, которую занимают однозарядные ионы в КОК. Полученные результаты говорят о том, что определяющую роль в формировании минерального состава растения имеет КОК клеточной стенки, где происходит первичное концентрирование катионов.

Можно предположить, что биологическая доступность ^{137}Cs определяется эффективностью переноса ^{137}Cs с поверхности корня в растение и коэффициентом селективности для пары $\text{Ca}^{2+} - \text{K}^{+}$ в корневом обменном комплексе $K_c(\text{Ca}^{2+}/\text{K}^{+})$. Согласно данным [6], величина $K_c(\text{Ca}^{2+}/\text{K}^{+})$ определяется в значительной степени величиной емкостью катионного обмена (ЕКО) корня: селективность двухвалентных катионов повышается с увеличением ЕКО.

Способность различных растений накапливать ^{137}Cs сильно дифференцирована. Имеется достаточно данных, свидетельствующих о том, что бобовые (двудольные) культуры накапливают ^{137}Cs больше по сравнению со злаковыми (однодольными). Известно, что однодольные, двудольные, голосеменные и папоротникообразные растения различаются структурой корня, а от вида растения зависит ЕКО корня. Эта характеристика находится под контролем генотипа и является величиной хорошо воспроизводимой [4].

На основании вышеизложенного можно предположить, что одной из биологических характеристик, которая могла бы влиять на поступление ^{137}Cs в растение, является ЕКО корня. Для проверки этой гипотезы были определены величины ЕКО корней лесных растений, собранных в лесных зонах, подвергнутых радиоактивному загрязнению после аварии на ЧАЭС, и определялась их связь с коэффициентами накопления (K_n) ^{137}Cs в растениях.

Материалы и методы

Растения отбирались в лесных районах юга Германии, Швеции (р-он Упсалы) и России (Брянская обл.), принадлежащих одной почвенно-геохимической формации с близким минеральным и органическим составом почв. Тип почвы: подзолистый, тип леса: еловый, сосново-еловый, сосново-березовый, растительность: олиготрофы и мезотрофы. Для оценки поступления радионуклидов из почвы в растения использовался коэффициент накопления (K_n), определяемый как отношение содержания радионуклида в единице массы растений к его содержанию в единице массы корнеобитаемого слоя почвы. Активность ^{137}Cs в образцах почв и растениях измерялась методом γ -спектрометрии. ЕКО корней определяли методом титрования по методике Крука [3] в модификации Бламея [2]. Величина ЕКО корня для растения с одного участка является средней трех измерений.

Результаты и их обсуждение

Результаты измерений коэффициентов накопления ^{137}Cs в растениях приведены в таблице 1. Измеренные величины ЕКО корней приведены в таблице 2. Результаты анализа не выявили статистически достоверные межродовые различия в ЕКО корней папоротников (*Dryopteris filix-mas* и *Pteridium aquilinum*). В целом, емкость катионного обмена корней папоротников, принадлежащих классу папоротникообразных, примерно вдвое превышает ЕКО корней черники, принадлежащей классу двудольных.

Таблица 1. Места отбора и коэффициенты накопления ^{137}Cs лесными растениями в расчете на корнеобитаемый слой

Место отбора		Код	$K_n, \text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1} / \text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$		
			Папоротник		Черника
			<i>Pteridium aquilinum</i>	<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i>
Германия	Эгвальд	Eg1	-	2.89	1.96
	Эгвальд	Eg2	-	2.83	0.76
	Эгвальд	Eg3	-	0.21	0.04
	Констанц	Kon	-	0.59	-
	Вольфах	Wol	-	1.77	1.18
	Ридлинген	Rie	-	1.58	-
	Исны	Is	-	3.71	1.28
Россия	Токовище	Tok	-	2.84	0.82
	Ст.Бобовичи	StB	9.40	-	1.80
	Ст.Бобовичи	PB	-	-	6.29
Швеция	Упсала	Up3	5.78	-	1.09
	Упсала	Up11	3.31	-	3.13
	Упсала	Up13	-	-	1.10
	Упсала	Up14	3.85	-	1.41

Примечание: данные таблицы взяты из работы [1].

Таблица 2. ЕКО корней лесных растений и $K_n^{137}\text{Cs}$ лесными растениями

Место отбора	ЕКО корней, мг-экв/100 г		K_n , $B_k \cdot kg^{-1} / B_k \cdot kg^{-1}$
		среднее	
Dryopteris filix-mas (Папоротник щитовник мужской)			3.23±2.36
PВ	47.7	47.8±6.7	
Tok	49.8		
StB1	57.0		
StB2	51.9		
Pteridium aquilinum (Папоротник орляк)			
Up3	44.9		
Up11	35.3		
Vaccinium myrtillus (Черника)			
Tok	27.3	25.3±2.9	1.74±1.55
Up3	23.2		

Полученные результаты демонстрируют связь между $K_n^{137}\text{Cs}$ в лесные растения и величиной ЕКО корней: примерно 2-кратное различие в значениях ЕКО корней папоротника и черники соответствует ~ 2-кратному различию в $K_n^{137}\text{Cs}$ в растениях. Несмотря на то, что высокая ЕКО корней благоприятствует адсорбции двух-валентных катионов по сравнению с одновалентными, что снижает размер "калийного окна", величина ЕКО корней демонстрирует определяющую роль в поглощении ^{137}Cs .

Заключение

Определяющую роль в формировании минерального состава растения имеет *доннановское свободное пространство*, или *корневой обменный комплекс*. Поступление ^{137}Cs в растение определяется содержанием катионов в почвенном растворе, конкурирующих за места на *корневом обменном комплексе*. Для лесных растений: папоротника и черники выявлена положительная корреляция между коэффициентами накопления ^{137}Cs в растениях и емкостью катионного обмена корней.

*Автор благодарит коллег из Шведского университета сельскохозяйственных наук,
Университета прикладных наук, г. Вайнгартен, Германия;
ВНИИСХРАЭ, НПО "Тайфун" г. Обнинска
за совместно проведенный отбор почв
и возможность проведения исследования.*

Литература

1. Коноплева И.В. Исследование биологической доступности ^{137}Cs в почвах лесных экосистем : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Обнинск, 1999. – 26 с.
2. Blamey F.P.C., Edmeades D.C., Wheeler D.M. Role of root cation- exchange capacity in differential aluminium tolerance of *Lotus* species // Journal of Plant Nutrition. – 1990. – Vol. 13. – P. 729–744.
3. Crooke W.M. The measurement of the cation-exchange capacity of plant roots // Plant Soil. –1964. – Vol. 21. – P. 43–49.
4. Haynes R.J. Ion exchange properties of roots and ionic interactions within the root apoplasm: their role in ion accumulation by plants // Botanical Review. – 1980. –Vol. 46. – P. 75–99.
5. Smolders E., Sweeck L., Merckh R. et al. Cationic interactions in radiocaesium uptake from solution by spinach // Journal of Environmental Radioactivity – 1997. – Vol. 34. – P. 161–170.
6. Wacquant J.P. Physico-chemical selectivity for cations and CEC of grass roots // Plant Soil. – 1977. – Vol. 47. – P. 257–261.

УДК 550.424.4:546.791

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОСФАТНОГО ГЕОХИМИЧЕСКОГО БАРЬЕРА
ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ
ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

М.С. Круглова^{1,2}, С.М. Софронова¹

¹ *Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия*

² *Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия*
mash.cruglova2015@yandex.ru , sonya.sofronova.99@gmail.com

**MODELING OF A PHOSPHATE GEOCHEMICAL BARRIER
TO PREVENT THE SPREAD OF NUCLEAR FUEL CYCLE CONTAMINATION**

M.S. Kruglova^{1,2}, S.M. Sofronova¹

¹ *V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,*

² *Novosibirsk State Technical University*
mash.cruglova2015@yandex.ru , sonya.sofronova.99@gmail.com

Abstract. В работе были проведены исследования процесса осаждения фосфатов кальция из водных растворов различных концентраций (10–10000 мг/л) ортофосфата и гидрофосфата калия, гидрофосфата натрия при добавлении нитрата кальция. Были установлены оптимальные условия эффективного осаждения фосфатов и гидрофосфатов кальция, что необходимо для дальнейшего процесса моделирования фосфатного геохимического барьера, который может быть использован для предотвращения распространения загрязнений на объектах ядерно-топливного цикла. По результатам методов атомно эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой ИСП-АЭ (IRIS Advantage) и рН-метрии наиболее интенсивно образование осадка происходит при концентрациях 100–1000 мг/л ионов PO_4 и 1000–10000 мг/л ионов Ca . При этом наблюдается подкисление до $\text{pH} = 4\text{--}5$, что также влияет на эффективность процесса.

Введение

Процесс ядерного топливного цикла (ЯТЦ) включает в себя добычу и обогащение урана, а также производство топлива и переработку отработанного ядерного топлива [1]. Предприятия ЯТЦ в ходе переработки отработанного топлива образуют жидкие радиоактивные отходы, содержащие нитраткальцевые и сульфаткальцевые растворы с минерализацией 20 г/л, которые и отрицательно влияют на экологическую обстановку, загрязняя почву и грунтовые воды [2–3].

Одним из путей предотвращения распространения урана и других тяжелых металлов является соосаждения с фосфатами. Наиболее распространенными в зоне гипергенеза фосфатами, способными накапливать тяжелые металлы, в том числе уран, фосфаты кальция – апатит и гидроапатит [4]. Также уран может образовывать собственные фосфатные фазы имеющие низкую растворимость, в частности отенит $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ [5,6].

Для моделирования процесса осаждения урана при образовании апатитов необходимо установить закономерности осаждения фосфатов концентраций кальция характерных для техно-природных систем, сформировавшихся в зоне воздействия отстойников предприятия ядерно-топливного цикла.

Материалы и методы

Для экспериментов по осаждению были приготовлены растворы фосфатов щелочных металлов и $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ с концентрациями 20000, 2000, 200 и 20 мг/л. Полученные растворы смешивали в объеме по 50 мл в 16 стаканчиках. Эксперимент проводили при комнатной температуре в течение 5 суток, за это время успевает произойти выпадение апатита и гидроапатита [4, 6].

Анализ растворов включал атомно эмиссионную спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой ИСП-АЭ (IRIS Advantage), погрешность методов не превышает 5%. Для фиксирования pH полученных растворов использовался прибор «АНИОН-4100».

Результаты и их обсуждение

В процессе данного исследования были изучены растворы, полученные из фосфата калия и гидрофосфатов калия и натрия. В результате сравнения кислотности растворов, полученных из двузамещенных фосфатов щелочных металлов изменения в значениях pH не наблюдалось. Однако использование растворов, полученных из гидрофосфатов калия более предпочтительно, так как его растворимость (267,5 г/100 мл) превышает растворимость гидрофосфатов натрия (102,4 г/100 мл), что позволяет получать более концентрированные растворы. Также использование фосфатов калия является целесообразно с экономической точки зрения. Для растворов, полученных из K_3PO_4 , происходит защелачивание (pH = 7–11 при $C(PO_4) = 10000$ мг/л) в сравнении со значениями для растворов, полученных из K_2HPO_4 , при аналогичных условиях pH = 4–8 (рис. 1).

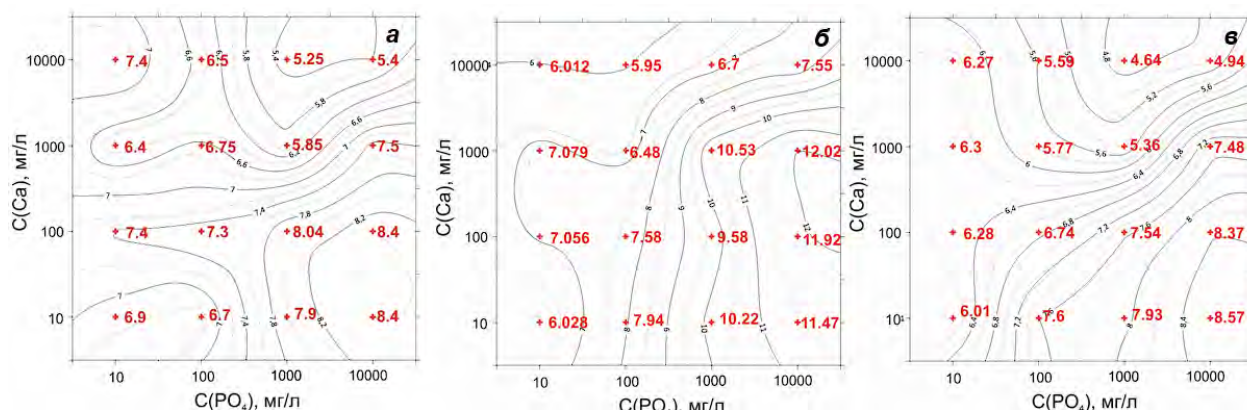


Рис. 1. Результаты измерения pH полученных растворов фосфатов из Na_2HPO_4 (а), K_3PO_4 (б), K_2HPO_4 (в)

По результатам анализа атомно эмиссионной спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой ИСП-АЭ (рис. 2) эффективное осаждение происходит при концентрации ионов кальция 100–1000 мг/л. При избытке ионов кальция осаждение фосфата не происходит из-за недостаточного количества фосфата для формирования осадка.

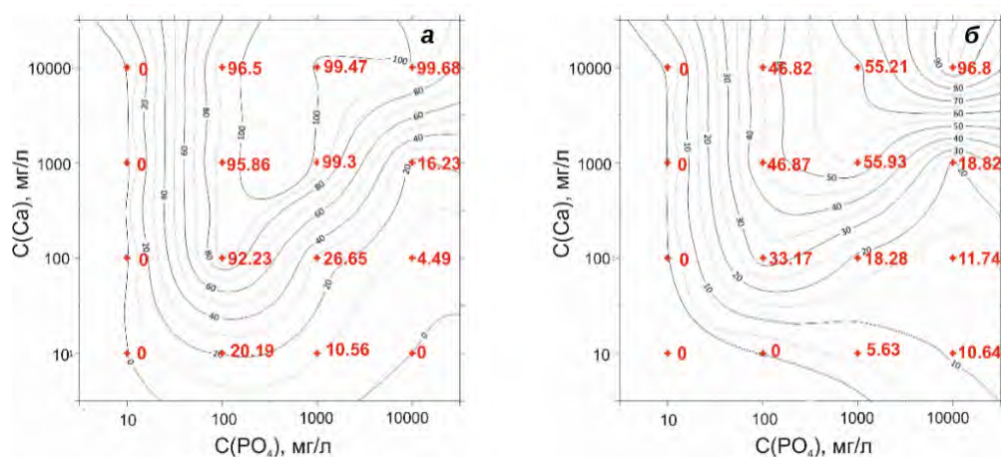


Рис 2. Степень осаждения фосфора (%) в зависимости от концентраций ионов кальция и

фосфата для растворов, полученных из полученных из K_3PO_4 (а), K_2HPO_4 (б)

Заключение

В результате проделанной работы были построены зависимости осаждения фосфора и кальция, а также изменения pH растворов в зависимости от концентраций ионов фосфата и кальция.

Оптимальными растворами для осаждения являются фосфат и гидрофосфат калия. Концентрациями, при которых происходит наибольшее выделение осадка 100–1000 мг/л для ионов PO_4 и 1000–10000 мг/л для ионов Са. При осаждении фосфатов отмечается наблюдается подкисление раствора до pH 4–5.

Дальнейшее изучение образование фосфатного геохимического барьера для последующего удаления урана будет происходить на специальной установке, представляющей собой реактор (камера из органического стекла размером 250×50×50 мм), заполненного песком, взятым из изучаемого участка грунта (рис. 3).

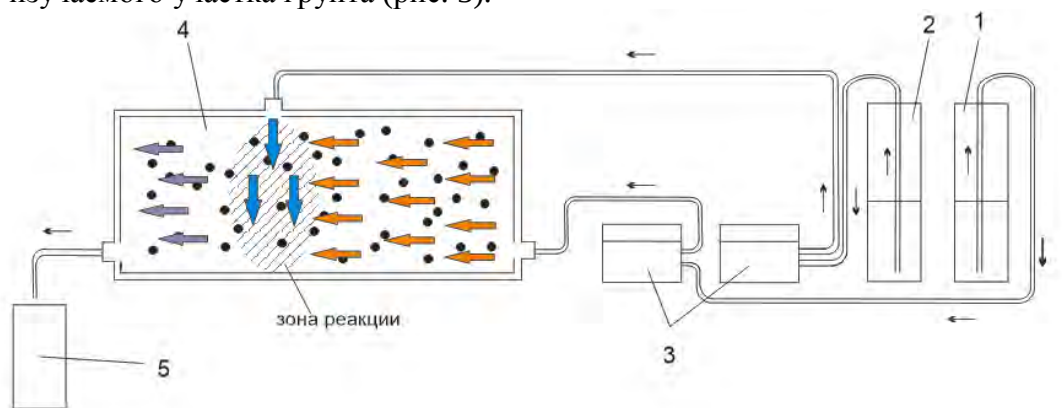


Рис. 3 Установка для изучения процессов распространения загрязнений грунта:
1 – раствор $NaHPO_4$, 2 – раствор $Ca(NO_3)_2$, 3 – насосы BW-100
4 – реактор с песком, 5 – емкость приема.

Реактор позволит смоделировать движение грунтовых вод и наблюдать образование фосфатов кальция в динамике. В реактор постепенно подаются растворы нитрата кальция $Ca(NO_3)_2$ и гидрофосфата K_2HPO_4 с концентрациями 1500 мг/л. Концентрации, измеренные в пробе, полученной через сутки, уменьшились на 23% для ионов кальция и 17,5% для ионов фосфата.

Работа выполнена на основе гранта РНФ 24-27-00319.

Литература

1. Кузнецов В.М., Кузнецова Е.Э. Сравнительная потенциальная опасность предприятий ядерного топливного цикла // Теоретическая и прикладная экология. – 2007. – №. 1. – С. 30.
2. Содиков М.Н., Содиков Н.О. Некоторые экологические проблемы ядерной энергетики // Scholar. – 2024. – Т. 2, №. 4. – С. 187–191.
3. Софронова С.М., Богуславский А.Е. Очистка урансодержащих сточных вод // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2022. – № 3(66). – С. 66–77.
4. Дойникова О.А. Месторождения урана с новым типом черновой минерализации: фосфатным // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49, №. 1. – С. 89–96.
5. Conca J.L., Wright J. An Apatite II permeable reactive barrier to remediate groundwater containing Zn, Pb and Cd // Applied Geochemistry. – 2006. – Vol. 21(8). – P. 1288–1300.
6. Дойникова О.А., Тарасов Н.Н., Мохов А.В. Новый фосфатный тип урановых руд в России // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 457, № 4. – С. 434–434.

UDC 663.18: 665.6.033.25

**ПРИРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ ДЛЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ,
ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

**Т.К. Крупская¹, С.Н. Анучин¹, С.С. Ануфрик¹, О.Я. Мезенова²,
О.А. Жарнова¹, И.В. Сорокина¹**

¹*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь
fxmioos@mail.ru*

²*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия
mezenova@klgtu.ru*

**NATURAL SORBENTS FOR BIOREMEDIATION OF SOIL
CONTAMINATED WITH HEAVY METALS**

**T.K. Krupskaya¹, S.N. Anuchin¹, S.S. Anufriuk¹, O.Ya. Mezenova²,
O.A. Zharnova¹, I.V. Sorokina¹**

¹*Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus
fxmioos@mail.ru*

²*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
mezenova@klgtu.ru*

Abstract. The advantage of soil phytoremediation is associated with the ability of concentrator plants and natural sorbents on the basis of beet sugar defecate to metabolize heavy metal compounds without leading to significant changes in soil parameters. The elemental composition of soil and organs of peas, annual sunflowers and rye, obtained during an experiment, was analysed using the X-ray fluorescence method. The coefficients of biological accumulation and translocation coefficients in the “soil-modified sorbent-plant” system were calculated.

Introduction

Today there is a rapid development of biological technologies in the world. Increasingly, biotechnological processes are used in the field of environmental protection [1–8]. One of the most widespread soil pollutants, especially in urban areas and adjacent to industrial enterprises, are heavy metals. Bioremediation is a set of soil and water purification methods based on the use of the biochemical potential of microorganisms (bacteria, fungi), algae, and higher plants. The most important advantage of these technologies is their safety for the environment: they are based on the processes of self-purification of living nature, and there is no secondary waste generated by other remediation methods [1, 6]. One of the methods of bioremediation is phytoextraction which is the absorption, translocation and accumulation of a pollutant in plants. The process underlies the purification of soils from heavy metals and radionuclides.

The purpose of the work is to develop effective sorbents of heavy metals based on thermolyzed defecate modified with plant components for soil bioremediation.

Materials and methods

Using thermally treated defecate, variants of sorbents were created for the bioremediation of soils contaminated with heavy metals with the possibility of growing peas, annual sunflowers and rye. To modify the beet sugar defecate, plant components were used that were crushed using the whirlpool crushing method.

Defecate, thermally treated at 105 °C (TTD 105), 260 °C (TTD 260) + duckweed (0.5–1%) of the mass of the defecate + fucus algae in 0.5-1% of the mass of the defecate.

To conduct further experiments on soil phytoremediation using sorbents of the developed composition, based on the results of the model experiment, a decision was made to plant pea, sunflower, and rye plants in soil contaminated with lead and cadmium with 3 MPC. By X-ray fluorescence method, an analysis of the elemental composition of the used soils, the resulting compositions and plant or-

gans was performed.

The intensity of biological absorption of elements, their potential availability, is assessed using the biological accumulation coefficient (BAC). To assess the processes of migration of a chemical substance from the soil into a cultivated plant and its accumulation in the phytomass of the commercial part of the plant used as food, the translocation coefficient (TC) was used. The threshold concentration for this indicator of harmfulness is understood as the amount of a chemical substance in the soil at which the accumulation of this substance by the phytomass of commercial parts by the time of harvest does not exceed the permissible concentration established for food products (MPC). TC is the ratio of the element content in the aboveground part to the content in the roots.

Results and discussion

In clean soil the following metals are vigorously accumulated by all plants: zinc (BAC 17.78, 29.77 and 12.33, respectively for peas, sunflower and rye) and potassium (BAC 10.70 in rye). Highly accumulated minerals include molybdenum, copper and potassium. Other elements belong to the groups of medium, weak and very weak accumulation.

The addition of a mixture containing 3 MPCs of Cd+Pb to the model composition leads to inhibition of plant growth and a strong decrease in the intensity of accumulation of all elements (the accumulation of zinc is reduced by 10 times, potassium by 25–40%). There is a sharp increase in the accumulation of selenium in rye (more than 2 times), which may be associated with the protective functions of the plant.

Addition of developed sorbents leads to multidirectional results. For example, there is a further decrease in the accumulation of potassium (a slight increase when using a sorbent based on defecate thermolyzed at 260 °C in sunflower), zinc and others, as well as an increase in the accumulation of individual elements (copper and molybdenum in peas on TTD 105; vigorous accumulation of lead and strong accumulation of arsenic, copper, zinc and zirconium in sunflower on TTD 105; strong accumulation of lead and zirconium on both versions of rye sorbents).

Based on the data obtained, the translocation coefficients of chemical elements were calculated for peas, sunflowers and rye grown on soils with varying degrees of contamination.

Bromine, cadmium, chlorine, potassium, rubidium, sulfur, antimony and zinc are most actively tolerated by pea plants on clean soil. The introduction of pollutants into the soil (3 MPC Cd + Pb) sharply reduces the transfer of elements, increasing the accumulation of antimony and tin in the aboveground part of the plant. The introduction of sorbents based on thermolyzed defecate into contaminated soil leads to a partial restoration of transfer rates and a sharp increase in the accumulation of some elements (molybdenum, nickel) in relatively clean soil. Bromine, copper, molybdenum, lead, sulfur, tin and zinc are most actively transported by annual sunflower on clean soil. The addition of pollutants does not lead to a significant deterioration in translocation parameters; there is a slight increase in the transfer of potassium, selenium and tin, with a slight decrease in the transfer of bromine and copper. The addition of sorbents (especially based on defecate thermolyzed at 105 °C) increases the translocation coefficient of calcium, chlorine, chromium, copper, iron, potassium, rubidium, sulfur, antimony, tin, strontium, zinc, and, significantly, selenium. Sunflowers grown on a composition based on defecate heat-treated at 260 °C showed, in general, lower TC values (including cadmium and lead) than on pure soil.

Cadmium, chlorine, potassium, rubidium, sulfur and antimony (significantly) are most actively transferred by rye on clean soil. The addition of pollutants, on the contrary, leads to stimulation of the transfer processes of a larger list of elements (Br, Cl, Cr, K, Mo, Rb, S, Sb, Se, Sn, Zn). The addition of sorbents to soil compositions for rye, in general, reduces the overall transfer rates of all elements to the level of “weak accumulation” and slightly increases for a number of elements (chlorine, copper, nickel, titanium).

Conclusions

The addition of developed sorbents based on plant components to soil contaminated with heavy metals leads to a decrease in the accumulation of potassium, zinc and other elements in plant organs.

An increase in the accumulation of copper and molybdenum in pea phytomass (TTD105 sorbent) is observed.

Lead is vigorously accumulated, arsenic, copper, zinc and zirconium are strongly accumulated by sunflower phytomass (sorbent TTD105).

A strong accumulation of lead and zirconium was revealed on both variants of rye sorbents.

An increase in the accumulation of potassium in the above-ground organs of sunflower was noted when using a sorbent based on defecate thermolyzed at 260 °C.

Application of sorbents (TTD 105 + small duckweed 1% of the defecate weight + fucus algae 1% of the defecate weight; TTD 260 + small duckweed 1% of the defecate weight + fucus algae 1% of the defecate weight) into contaminated soil compositions when growing various agricultural crops leads to a partial restoration of the transfer of elements in relatively clean soil, while reducing the absorption and movement of the main pollutants – cadmium and lead.

The work was carried out with the financial support of the BRFFR within the framework of grant B23MS-004.

References

1. Вельков В.В. Биоремедиация: принципы, проблемы, подходы // Биотехнология. – 1995. – № 3. – С. 20–27.
2. Premnath N. et al. A crucial review on polycyclic aromatic hydrocarbons – environmental occurrence and strategies for microbial degradation // Chemosphere. – 2021. – Vol. 280. – P. 130.
3. Dlouha S., E. Petrovsky, Kapicka A. et al. Investigation of polluted alluvial soils by magnetic susceptibility methods: a case study of the Litavka River // Soil & Water Res. – 2013. – Vol. 4(8). – P. 151–157.
4. Sun S., Su Y., Chen Sh. et al. Bioremediation of oil-contaminated soil: Exploring the potential of endogenous hydrocarbon degrader *Enterobacter* sp. SAVR S-1 // Applied Soil Ecology. – 2022. – Vol. 173. – Art. No. 104387.
5. Pandey N.S., Shukla D.S., Tewari D.D. Application of *Lemna* and *Pistia* for removal of pollutant from sewage water of Balrampur, India // Aslan Journal of Environmental Science. – 2008. – Vol. 1(3). – P. 72–74.
6. Mehariya S. et al. Biorefinery for Agro-Industrial Waste into Value-Added Biopolymers: Production and Applications. – Singapore : Springer, 2020. – P. 1–19.
7. Rahman A. Remediation technology for the restoration of polluted soil // Science Insights. – 2022. – Vol. 2(41). – P. 593–597.

УДК 550.47

**НАКОПЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В СИСТЕМЕ «ЛЕДНИК – ПОЧВА» НА ПРИМЕРЕ ДВУХ ГОРНЫХ УЩЕЛИЙ
С РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ**

И.Д. Кушнов¹, Р.Х. Темботов^{1,2}, И.О. Нехаев^{1,3}, Е.В. Абакумов¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
st084838@student.spbu.ru

²Институт экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН, Нальчик, Россия
tembotov.rustam@mail.ru

³Институт зоологии Республики Казахстан, Алматы, Казахстан
ivan.nekhaev@zool.kz

**ACCUMULATION AND MIGRATION OF TRACE ELEMENTS
IN THE "GLACIER – SOIL" SYSTEM ON THE EXAMPLE OF TWO MOUNTAIN
GORGES WITH DIFFERENT ANTHROPOGENIC LOADS**

I.D. Kushnov¹, R.Kh. Tembotov^{1,2}, I.O. Nekhaev^{1,3}, E.V. Abakumov¹

¹Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia
st084838@student.spbu.ru

²Institute of Ecology of Mountain Territories, Nalchik, Russia
tembotov.rustam@mail.ru

³Institute of Zoology of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan
ivan.nekhaev@zool.kz

Abstract. Исследование посвящено оценке накопления и миграции тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) в гляциальных и перигляциальных зонах Северного Тянь-Шаня с разной антропогенной нагрузкой. Пробы криоконитов и почв отбирались в Большом Алма-тинском ущелье (БАУ, природный парк) и Левом Талгарском ущелье (ЛТУ, зона туризма). Установлено, что в ЛТУ концентрации металлов (особенно Zn, до 118.9 мг/кг) значи-мо выше, что связано с деятельностью курорта и транспорта. В БАУ максимальное за-грязнение обнаружено в литоземах у ледника, что указывает на ведущую роль леднико-вых отложений в аккумуляции и перераспределении тяжелых металлов в высокогорных территориях, не подверженных активной антропогенной деятельности.

Введение

Стремительно отступающие ледники Тянь-Шаня являются важным источником пресной во-ды и экосистемных услуг для миллионов жителей засушливых регионов Центральной Азии. Криокониты – темные органоминеральные отложения на поверхности ледников – способст-вуют ускорению таяния за счет снижения альбедо и аккумулируют различные элементы, включая тяжелые металлы антропогенного происхождения. Однако данные о ледниковых отложениях и горных почвах Северного Тянь-Шаня ограничены, несмотря на активное ис-пользование местных почв в качестве пастбищ, близость г. Алматы и развитие туризма в этом регионе. Дополнительное поступление поллютантов с ледников в почвы и водные объ-екты может нести риски для горных экосистем и хозяйственной деятельности, что требует понимания особенностей геохимической миграции токсичных элементов в экстремальных условиях высокогорий.

Таким образом, целью исследования является определение особенностей накопления тяже-лых металлов в ледниковых отложениях (криоконитах) и горных почвах Северного Тянь-Шаня, особенностей их миграции в указанном высокогорном ландшафте, а также роли ан-тропогенной деятельности в данных процессах.

Материалы и методы

В ходе исследования сравнивались основные физико-химические характеристики и загрязнение тяжелыми металлами криоконитов и горных почв двух ущелий Северного Тянь-Шаня: Большое Алматинское ущелье (БАУ) с ледником Моренный, (территория Иле-Алатауского природного парка) и Левое Талгарское ущелье (ЛТУ) с ледником Богдановича, вблизи курорта «Шымбулак». Отбор проб включал ледниковые отложения (криокониты, сель) и почвы (литозем, органо-аккумулятивная серогумусовая аллювиальная почва, органо-аккумулятивная почва [1]) на разных высотах.

В ходе лабораторных анализов определялись значения pH, содержание углерода органических соединений, базальное дыхание и гранулометрический состав стандартными методами, а также содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии. Для статистического анализа использовались U-тест Манна-Уитни и непараметрическая корреляция Спирмена.

Результаты и их обсуждение

В подавляющем большинстве образцов наблюдалась слабокислая реакция среды и доминирование фракции физического песка в гранулометрическом составе, только почвы ЛТУ характеризовались как пылеватый суглинок. Содержание тяжелых металлов в почвах и ледниковых отложениях БАУ и ЛТУ представлено в таблице 1. Отмечается, что в БАУ наибольшее содержание углерода (1.53 %), а также большинства тяжелых металлов, были выявлены в литоземах, расположенных в непосредственной близости от ледника, что может быть связано со сносом материала криоконитов, где также наблюдались значения, превышающие ПДК. Наименьшие значения тяжелых металлов были выявлены в аллювиальных почвах, вероятно, из-за латерального стока, который обуславливает постоянный вынос веществ из данной почвы.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в исследуемых образцах

Ущелье	Материал	Глубина, см	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
БАУ	Криоконит	0-5	3.57 (± 0.82)	47.30 (± 0.99)	11.15 (± 0.49)	5.23 (± 0.74)	0.83 (± 0.03)
	Криоконит	0-5	2.67 (± 0.79)	42.35 (± 1.20)	10.75 (± 0.07)	3.42 (± 1.07)	0.78 (± 0.01)
	Литозем	0-4	7.40 (± 1.00)	50.30 (± 2.55)	15.30 (± 0.14)	9.93 (± 1.23)	0.70 (± 0.01)
		4-8	7.30 (± 0.68)	55.40 (± 1.27)	16.35 (± 0.07)	10.33 (± 1.09)	0.77 (± 0.05)
	Сель	0-5	8.96 (± 3.73)	33.70 (± 1.84)	4.43 (± 0.02)	16.25 (± 7.99)	0.42 (± 0.03)
	Аллюви- альная	0-4	2.82 (± 1.07)	20.70 (± 0.99)	4.57 (± 0.26)	4.94 (± 0.25)	0.32 (± 0.01)
		4-14	3.68 (± 0.24)	21.15 (± 2.47)	4.90 (± 0.88)	4.23 (± 0.02)	0.32 (± 0.06)
		14-24	5.87 (± 0.22)	26.70 (± 2.69)	7.55 (± 0.59)	6.05 (± 0.03)	0.40 (± 0.01)
	Органо- аккумуля.	3-12	17.75 (± 1.06)	118.90 (± 0.85)	28.90 (± 0.14)	22.80 (± 1.13)	0.88 (± 0.01)
ЛТУ	Криоконит	0-5	5.70 (± 0.73)	98.35 (± 1.63)	6.19 (± 0.52)	8.87 (± 1.36)	0.46 (± 0.04)
	Криоконит	0-5	2.57 (± 0.34)	111.55 (± 3.18)	6.97 (± 0.17)	4.65 (± 0.82)	0.50 (± 0.03)
	Органо- аккумуля.	3-12	17.75 (± 1.06)	118.90 (± 0.85)	28.90 (± 0.14)	22.80 (± 1.13)	0.88 (± 0.01)

		12-21	23.45 (± 1.48)	113.75 (± 4.03)	33.75 (± 0.92)	21.55 (± 1.91)	0.97 (± 0.01)
		21-30	26.65 (± 0.07)	87.80 (± 5.94)	39.75 (± 0.92)	19.75 (± 0.64)	1.01 (± 0.08)

В ЛТУ значительно большее накопление тяжелых металлов и углерода органических соединений (до 8.88%) наблюдалось в почвах, чем в криоконитах, особенно в верхних горизонтах, что связано как с их более высокой сорбционной способностью, так и с миграцией элементов с поступающими флювиогляциальными потоками. При этом, именно перенос углерода в почвы значимо увеличил микробиологическую активность в последних. Интересным является тот факт, что базальное дыхание (макс. 15.30 мг CO₂/100 г в сутки), а значит и микробиологическая активность положительно коррелируют с содержанием тяжелых металлов, что указывает на возможную устойчивость микроорганизмов к экотоксикантам.

Достоверно большее среднее содержание Си кислая реакция среды были выявлены в ЛТУ. Кроме того, содержание всех тяжелых металлов было статистически значимо выше в образцах ЛТУ, чем в БАУ. Это указывает на вклад антропогенной туристической деятельности в поступление поллютантов в почвы и отложения, а также их накопление благодаря сорбции органическим веществом почв и более тяжелому гранулометрическому составу. Наибольшая разница в концентрациях была обнаружена для Zn, макс. 55.40 мг/кг в БАУ и макс. 118.90 мг/кг в ЛТУ, что может быть связано с выбросами автотранспорта, работой канатной дороги и прочей туристической инфраструктуры. При этом, большую роль в поступлении тяжелых металлов в обоих исследуемых зонах играет их перенос из г. Алматы и прилегающих промышленных районов, где были отмечены «экстремальные» уровни загрязнения почв [2], с горно-долинными ветрами в ледниковую зону с последующим осаждением. На это указывают как высокие концентрации тяжелых металлов на Моренном леднике и прилегающих почвах, находящихся на территории природного парка, так и высокая положительная корреляция между некоторыми элементами, например, Ni и Cd, что указывает на их общий источник.

Заключение

Результаты демонстрируют существенное влияние антропогенных факторов на накопление тяжелых металлов в высокогорных экосистемах. Локальная антропогенная нагрузка вносит наиболее существенный вклад в загрязнение почв и криоконитов тяжелыми металлами, однако в ее отсутствии ледниковые отложения выступают основным источником поллютантов, миграция и перераспределение которых в горные почвы происходит путем флювиогляциального переноса. Работа вносит вклад в понимание геохимических процессов в криосфере и оценку экологических рисков для горных регионов.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 24-44-00006 «Сравнительное метагеномное исследование микробиома углеродного цикла в регионах вечной мерзлоты на полуострове Ямал и Цинхай-Тибетском нагорье».

Литература

1. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. и др. Классификация и диагностика почв России. – М. : Ойкумена, 2004. – 342 с.
2. Baubekova A. et al. Evaluation of environmental contamination by toxic trace elements in Kazakhstan based on reviews of available scientific data // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – Vol. 28(32). – P. 43315–43328.

УДК 550.4:631.4

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ НА СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(НА ПРИМЕРЕ КЕРБИНСКОГО ЗОЛОТОРОССЫПНОГО РАЙОНА
ХАБАРОВСКОГО КРАЯ)**

А.В. Леоненко

*Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия
334212@mail.ru*

**GEOECOLOGICAL ASPECTS OF IMPACT ASSESSMENT OF MINING ENGINEERING
SYSTEM ON THE STATE OF ENVIRONMENTAL OBJECTS
(USING THE EXAMPLE OF THE KERBINSKY ZOLOTOROSSYPNY DISTRICT
OF THE Khabarovsk Territory)**

A.V. Leonenko

*Mining Institute, Khabarovsk SB RAS, Russia
334212@mail.ru*

Abstract. Представлены результаты геоэкологического мониторинга загрязнения экосистем соединениями тяжелых металлов в том числе и Hg в границах влияния техногенных золотороссыпных месторождений Севера Хабаровского края на примере ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск». Показано, что большую экологическую опасность для среды обитания и здоровья человека представляют загрязненные ртутью отходы переработки на территории шлихообогатительной установки. Тенденции к многократной переработке техногенных россыпей будет способствовать масштабной активизации загрязнения экосферы. Предложены перспективные направления по данному виду исследований.

Введение

Основа развития современной цивилизации – ресурсы, минеральное сырье, получаемое из литосферы. Из биологического цикла изымаются продуктивные земли, изменяется и ухудшается состояние атмо-, лито-, гидро- и биосферы, а интенсивное загрязнение приводит к загрязнению и нарушению биоразнообразия [1]. Вовлечение в химически активную деятельность большого объема горной массы и воды, приводит к изменению физических и химических свойств как поверхностных, подземных вод, так и почв, и экосистем в целом [2].

Кустарное и мелкое золотодобывающее производство является основным источником выбросов ртути во всем мире, применяя метод амальгамации. Интенсивное освоение в прошлом столетии золотороссыпных месторождений в Хабаровском крае привело к накоплению огромного объема отходов их переработки [3].

Кроме Hg при россыпной золотодобыче в россыпях ассоциируют следующие минералы: магнетит, ильменит, гематит, пирит, гранат, циркон, иногда киноварь. При трансформации в процессе окисления высвобождаются входящие в их состав тяжелые металлы (ТМ), образуются концентрированные растворы. Происходит миграция по основным миграционным путям: воздушный бассейн – снежный покров – почвогрунты – растительность – донные осадки – человек.

В Китае в провинции Хэйлунцзян запрещена добыча россыпного золота, а в Монголии принят закон, который ограничивает горную добычу в водоохранных зонах и истоках рек [4].

Материалы и методы

Изучение состава потоков рассеяния загрязняющих веществ в объектах окружающей среды проводили с учетом распределения химических элементов в отходах горного производства. Для оценки техногенных почв и растительности рассчитывался ряд показателей: коэффици-

ент концентрации (Kc), суммарный показатель загрязнения (Zc), коэффициент значимости элементов-загрязнителей (Sз) [5]. Изучение процессов почвообразования в техногенных ландшафтах проводилось общепринятыми методами. Проводилось морфологическое описание и изучение химического состав почв и техногенных почвогрунтов с разных глубин (0–10 и 10–20 см) с учетом методик ГОСТ. Пробы анализировались в сертифицированных лабораториях ЦКП ИТиГ ДВО РАН и ДВГТУ. Образцы растительности, почвогрунтов анализировались методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на AAs-30 и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ISP-MS ELASN DRC II Perkin Elmer.

Результаты и их обсуждение

Рассматривая механизм техногенного загрязнения природных систем, можно выделить три основных экологических блока: 1) источники загрязнения – элементы техносферы, в которых возникают техногенные вещества, поступающие в объекты природной среды; 2) транзитные среды – в которых происходит прием, транспортировка и частичная трансформация техногенных веществ; 3) депонирующие среды – элементы биоты, в которых загрязняющие вещества накапливаются и преобразуются.

На содержание в почвах ТМ оказывает влияние ряд природных факторов: состав почвообразующих пород, рельеф местности, климат, растительность и др. Почвенный покров является депонирующей средой и фиксирует стабильное многолетнее загрязнение. На начальном этапе эксперимента выявлено, что валовые содержания в почвах Hg, Pb, Zn, Cu, As, W, Zr, Sn превышают их фоновые значения, а концентрации Hg, Pb, Zn, As выше ПДК, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Валовое содержание тяжелых металлов в почвогрунтах на территории шлихообогатительных установок (ШОУ), мг/кг

Место отбора пробы	Hg	Pb	Zn	Cu	As	W	Zr	Sn
Центр ШОУ	84,8/65,2	97/30	87,7/70,7	43,7/36	629/411	545/312	35,4/22,9	6,3/3,8
Восток 100 м	1,41/1,13	19,6/22	89,7/90,5	18,4/22,4	37,9/36,1	4/3,2	25,4/39,5	3,6/3,6
Восток 300 м	0,33/0,21	20,4/22,2	95,8/89,3	23,4/20,6	35,3/36,6	2,7/2,1	30,7/22,4	3,1/2,4
Юг 100 м	0,81/0,30	20,9/19,3	95,4/83	22,8/18,3	36,1/35,3	2,6/1,8	28,2/28,5	3,3/3,7
Юг 300 м	0,44/0,11	15,8/17,7	87,7/83,5	15,6/16,7	26,9/32,8	1,8/1,4	33,4/29,2	3,7/4
Север 100 м	0,19/0,28	54,8/58,1	99,9/120	29,4/30,5	17,7/21,1	2,2/2,1	34,1/28,7	3,9/3,4
Север 300 м	0,36/0,41	42,8/21,7	79,3/73,5	21,5/17,3	18,5/21,9	2,4/3,7	38,5/34,7	3,2/2,1
Запад 100 м	0,37/0,18	19,9/21,4	76/84	12,2/14,8	36,9/36,3	3/2,1	33,4/33,7	3,5/3,8
Запад 300 м	1,10/0,27	22,2/21,1	105/111	27/18,9	39,9/42,3	3,9/3,3	36/35,9	7,4/6,2
ПДК	2,1	30	100	55	2	н/у	6,0	н/у
Фон	0,10	10,97	47,08	7,50	11,89	1,10	19,61	2,02

Примечание: в числителе – концентрация металлов в почвогрунтах, отобранных на глубине 0–10 см, в знаменателе – 10–20 см; н/у – не установлена.

Обнаружено, что в хвостах шлихообогатительной установки (ШОУ) содержится до 15% примесей минералов: киноварь, сульфиды, циркон, арсенопирит, ильменит, рутил, касситерит, топаз, галенит, пирит и минерал платиновой группы – поликсен. Это говорит о необходимости классификации и дополнительной дезинтеграции поступающих на переработку хвостов [6]. Для шлихов Кербинского золотоносного района характерно высокое содержание Sn, W, редких и редкоземельных элементов. В отдельных фракциях шлихов содержится до 71% Sn и до 34% WO₃ тяжелые фракции богаты ильменитом, цирконом. Некоторые фракции шлихов содержат до 0,1% La и Ce, около 400 г/т Y и 20 г/т Sc. Для территории ШОУ Кербинского прииска характерно присутствие Fe, Cu и Hg, в отдельных случаях обнаруживается

Pb, Zn и Bi. Характер вертикального распределения соединений тяжелых металлов в естественных и техногенных ландшафтах существенно различается. Для техногенных территорий независимо от типа почвы характерен регрессивно-аккумулятивный тип распределения, проявляющийся в накоплении металлов в верхнем гумусовом горизонте почвы и резком понижении с глубиной. Наши исследования показывают, что основная масса тяжелых металлов находится в горизонте A: Hg, Zn, Pb, Zr, Cu, Sn, W.

Заключение

Исследования техногенных почв, в границах рассматриваемого ликвидированного горного предприятия, свидетельствуют не только о механических нарушениях, но и об интенсивном техногенном загрязнении соединениями токсичных ТМ. Выявлена тенденция к миграции подвижных форм в нижеследующие горизонты в условиях аэрируемых кислых суглинистых почв, с органическим веществом фульватного типа в суровой почвенно-гидрологической обстановке при наличии длительной сезонной мерзлоты. В результате водной и ветровой эрозии в почве происходит значительная потеря токсичных химических элементов.

При эксплуатации месторождений возникают разные зоны с разной степенью химического загрязнения. Территорию Кербинского золотороссыпного района по результатам геоэкологического исследования можно ранжировать на зоны: критического воздействия на расстоянии до 9–11 км, неудовлетворительное – до 18 км и частично удовлетворительное – до 23 км. Перспективными направлениями являются: 1) проведение рекультивации поверхности дражных полигонов с использованием потенциала биологических систем [7]; 2) разработка принципов организации геоэкологического мониторинга изменения объектов окружающей среды под влиянием отходов переработки золотороссыпных месторождений; 3) использование современных технологий утилизации или переработки горнопромышленных отходов для извлечения экономически выгодного минерального сырья, полезных компонентов.

Литература

1. Филатова М.Ю., Крупская Л.Т., Бубнова М.Б. и др. Оценка экологической ситуации в границах влияния золотодобычи (для обоснования создания лесных плантаций) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 8. – С. 27–44.
2. Крупская Л.Т., Леоненко А.В., Филатова М.Ю. Проблемы ртутного загрязнения в границах влияния ликвидированного горного предприятия россыпной золотодобычи в Приамурье как ключевой фактор устойчивого развития района // Интеллектуальная собственность в инновационном развитии региона : материалы VII региональной научно практической конференции. – Хабаровск, 2024. – С. 65–73.
3. Дзапаров В.Х., Дзедоева Ф.М., Засеева Л.А. и др. Загрязнение почвенного горизонта тяжелыми металлами в зоне деятельности хвостохранилищ // Сборник докладов I Международной научно практической конференции. – Владикавказ, 2023. – С. 182–186.
4. Симонова Е.А. Золотые реки. – Владивосток : Апельсин, 2012. – Вып. 1: Амурский бассейн. – 120 с.
5. Черных Н.А., Сидоренко С.Н. Экологический мониторинг в биосфере. – М. : Изд-во РУДН, 2003. – 430 с.
6. Банщикова Т.С., Леоненко Н.А. Технологические подходы извлечения тонкодисперсного золота из илово-глинистых отложений техногенных россыпей Приамурья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 24. – С. 109–120.
7. Крупская Л.Т., Леоненко Н.А., Леоненко А.В. Состав для рекультивации поверхности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки минерального сырья: пат. 2021129031 Рос. Федерация; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования ТОГУ, ФБУ ДальНИИЛХ № 2783893 заявл. 04.10.2021; опубл. 21.11.2022.

УДК 550.4:546.49

ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СОПОДЧЕНЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.Е. Ляпина

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
eeldv@mail.ru*

TOXIC ELEMENTS IN THE SUBSTITUTE LANDSCAPES OF BORDEN ECOSYSTEMS OF THE TOMSK REGION

E.E. Lyapina

*Institute for Monitoring Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of RAS, Tomsk
eeldv@mail.ru*

Аннотация. В статье приводятся оригинальные данные по содержанию токсичных элементов (As, Cr, Fe, Co, Zn, Sb, Br, Hg) в соподчиненных ландшафтах болотных экосистем Томской области. Исследованные химические элементы группируются в ассоциацию Fe, Co, Zn, Sb по данным статистических расчетов. На накопление и перераспределение в торфяной колонке влияние оказывают ботанический состав, pH, зольность, степень разложения, влажность, а также количество органического вещества торфа. Ботанический состав влияет на содержание Co, Br в верхом; As, Br – в переходном; As, Br – в низинном типе торфа. Максимальные концентрации Hg характерны для верхового торфа. С увеличением доли минеральной составляющей содержание химических элементов повышается во всех видах торфа.

Введение

Болотные экосистемы являются природными фильтрами-накопителями химических элементов (ХЭ), поступающих как с атмосферным переносом (антропогенное поступление), так и грунтовыми и поверхностными водами (геохимическая специфика). Содержание различных элементов по профилю торфяных залежей отражает экологическую ситуацию окружающих ландшафтов в разные временные интервалы развития болот.

Материалы и методы

Отбор проб торфа на территории Томской области выполнен в 2020 г., при помощи торфяного бура с шагом опробования 10 см на полную глубину торфяной залежи. Пробы торфа и минерального грунта высушивались воздушно сухим путем при комнатной температуре до постоянной массы и просеивались через сито размером 1 мм. Подготовка проб для анализа проводилась в соответствии с [4].

Изучение проб осуществляли в учебно-научной лаборатории Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ. Определение концентраций As, Cr, Fe, Co, Zn, Sb, Br проводилось инструментальным нейтронно-активационным анализом в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории на исследовательском ядерном реакторе в НИ ТПУ (аналитики: с.н.с А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская); концентраций Hg – на анализаторе ртути РА-915+ методом атомной абсорбции с помощью приставки ПИРО-915 (метод пиролиза; предел обнаружения – 5 нг/г) [3].

Результаты и их обсуждение

Концентрации ХЭ в исследованных колонках торфа изменяются в широких интервалах, в зависимости от участка и типа торфяной залежи. Содержание Zn в торфах находится в аналогичных пределах по сравнению с другими регионами Новосибирская: 8,6–45,8 [6], Тюменская области: 1,2–100 [7]. Однако ниже по сравнению с данными для торфов таежной зоны Западно-Сибирской равнины: 68–103 мг/кг [8]. Среднее содержание остальных исследован-

ных элементов, ниже данных для верховых и низинных торфов и по сравнению с усредненными значениями для торфов Сибирского региона, за исключением As [1]. Содержание Hg до 7 раз ниже по сравнению с данными для районов расположения месторождений нефти и газа (200 нг/г) [5].

При этом распределение ХЭ по глубине торфяной колонки неравномерно, за исключением Cr, Zn, Sb и Hg на участке высокий рям (ВР) ландшафтного профиля; Hg на участке низкий рям (НР), что подтверждается данными расчета коэффициента вариации (табл. 1).

Таблица 1. Средние концентрации ХЭ в зависимости от вида торфа (мг/кг; Fe, %; Hg, нг/г)

Пункт	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Sb	Hg
Верховой	5,08	0,13	1,15	12,29	0,57	8,0	0,08	45,78
Переходный	0,76	3,77	0,8	2,0	0,32	8,41	0,03	36,24
Низинный	3,13	3,56	2,24	17,59	13,78	24,93	0,13	38,96

В точках ландшафтного профиля общий характер распределения по глубине торфяной залежи отмечается для Cr, Zn и Co и характеризуется увеличением содержания в придонной части. Противоположная картина характерна для Hg, Fe, Zn. Что характерно для верхового типа торфа [2].

Средние содержания ХЭ в зависимости от типа торфа увеличиваются от верхового к низинному, за исключением Cr и Hg, максимум концентрации которых отмечается в верховом типе торфа.

Результаты корреляционного анализа указывают на связь ХЭ с ботаническим составом, зольностью, содержания ГК в зависимости от вида торфа. В верховом типе торфа ботанический состав оказывает влияние на накопление залежью Co и Br, в переходном – As и Br, в низинном – все 3 элемента ($r > 0,5$ $P = 0,05$).

Величина pH влияет на уровень накопления верховым типом торфа Co, Br и Hg. В переходном типе к перечисленным элементам добавляется As. Окислительно-восстановительные условия низинного типа торфа влияют на накопление Fe и Sb. От количества гуминовых кислот (ГК) в торфах переходного типа зависит наибольшее количество исследованных элементов. В низинном типе – только Hg.

Взаимосвязь между ХЭ по результатам расчета парных корреляций значительно меняется в зависимости от типа торфа. Общими для всех типов торфов являются Fe, Zn, Br и Co. В переходном типе появляется связь с Cr. В низинном торфе набор ХЭ идентичен верховому типу, однако взаимосвязи существенно меняются. Ассоциации ХЭ во всех исследованных типах торфа характеризуются как положительным, так и отрицательным знаком.

На распределение исследованных ХЭ влияние оказывает 3 фактора, суммарное воздействие которых составляет 74,3%. Наиболее значимым является «Фактор» 1 (37,34%), включающий действие любых процессов, которые способствуют снижению концентрации Co, Zn, As, Br. «Фактор» 2 (20%) оказывает влияние на накопление Fe и Sb (знак «-»). С увеличением действия третьего фактора (16,96%) содержание Hg уменьшается. Геохимический ряд Co, Fe, Cr в торфах т.м. Томской области определен в ряде работ [4].

В верховом типе торфа: их 2, которые группируют ХЭ следующим образом: F-C-As-Br и Sb. Коэффициенты факторных нагрузок также характеризуются положительным знаком, за исключением Co, Br. Для переходного типа торфа выявили влияние 1 фактора (60,69%), который объединил в группу Cr, Fe, Co, Zn, Br (знак «-»), за исключением Fe. В низинном типе торфа, так же, как и в среднем для торфов Томской области выявлено влияние 3-х факторов, которые объединили следующие ассоциации ХЭ: Co-Br (знак «-»); Cr-Zn-Hg (знак «+»). С увеличением действия третьего фактора (21,12%) содержание Fe, Sb уменьшается.

Дендрограмма корреляционной матрицы в сухом веществе торфа по геохимическому спектру элементов объединила ХЭ в 2 группы: Co-Br-Zn-As и Sb-Fe, подтвердив результаты рас-

четов парных корреляций и факторного анализа.

Рассчитанный коэффициент концентрации исследуемых ХЭ относительно средних для торфов Западной Сибири показывает превышение до 60,2 раза для As; до 12,1 раза для Fe. По рассчитанному коэффициенту составлен геохимический ряд ХЭ, свидетельствующий об обогащении верхней части торфяной колонки (0–10 см): $As_{60,2}-Fe_{12,1}-Zn_{3,0}-Hg=Sb_{1,5}-Cr_{1,3}-Co_{1,2}$. Во всей торфяной толще меняется и характер геохимического ряда, и величины коэффициентов: $As_{61,5}-Co_{1,4}-Zn_{1,3}$. Также верхние 0–10 см торфа исследованного болотного массива обогащены по сравнению с Кларком в земной коре: $Fe_{2,8}-As_{2,2}-Zn_{2,2}-Br_{2,0}-Hg_{1,6}$. Во всей толще неизменным остается присутствие As и Br: $Br_{2,3}-As_{2,2}$.

Результаты расчета основных геоэкологических показателей накопления ХЭ в толще торфяной залежи также подтверждают обогащение торфа по всем исследованным ХЭ, однако в тройку лидеров с максимальными значениями входят: As, Br, Fe.

Данные расчета суммарного показателя загрязнения свидетельствует о высоком уровне загрязнения (опасном), согласно существующей градации $Z=58,9$. При проведении расчета суммарного показателя загрязнения с учетом уровня токсичности уровень остается опасным, $Z_{ст}=92,3$.

Заключение

Исследованные ХЭ во всех торфяных залежах группируются в ассоциацию Fe, Co, Zn, Sb по данным статистических расчетов: парные корреляции, факторный и кластерный анализ. Кроме того, на накопление и перераспределение в торфяной колонке влияние оказывают ботанический состав, pH, зольность, степень разложения, влажность, а также количество органического вещества торфа. Так, ботанический состав влияет на содержание Co, Br в верхом торфе; As, Br – в переходном; As, Br – в низинном типе торфа. Кроме того, максимальные концентрации Hg характерны для верхового торфа, содержание остальных ХЭ увеличивается от верхового к низинному типу. Величина окислительно-восстановительного потенциала также важна при сорбции ХЭ торфами, так же как и количество ГК. С увеличением доли минеральной составляющей в торфе содержание ХЭ также повышается, что характерно для всех видов торфа.

Литература

1. Арбузов С.И., Архипов В.С., Бернатонис В.К. и др. Средние содержания некоторых элементов-примесей в торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315, № 1. – С. 44–48.
2. Архипов В.С., Маслов С.Г., Арбузов С.И. и др. Геохимия торфяных болот таежной зоны Западной Сибири. Министерство науки и высшего образования РФ, Ни ТПУ, – Новосибирск : СО РАН, 2022. – С. 210.
3. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Кошечева И.Я. Геохимическая роль гуминовых кислот в миграции элементов // Гуминовые вещества в биосфере. – М. : Наука, 1993. – С. 97–117.
4. ГОСТ 17.4.02-84. "Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа", а также "Временными методическими рекомендациями по контролю загрязнения почв". – М. : Гидрометеиздат, 1983.
5. Дорожукова С.Л., Янин Е.П., Волох А.А. Природные уровни ртути в некоторых типах почв нефтегазоносных районов Тюменской области // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2000. – №1. – С. 157–161.
6. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. – С. 229.
7. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природные ресурсы. – 2006. – №1. – С. 63–70.
8. Цыбукова Т.Н., Инишева Л.И., Тихонова О.К. и др. Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота // Химия растительного сырья. – 2000. – № 4. – С. 29–

УДК [546.65+546.79]:550.47:582.639(571.17)

**РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ И РАДИОАКТИВНЫЕ (Th, U) ЭЛЕМЕНТЫ
В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – ЛАБАЗНИК ВЯЗОЛИСТНЫЙ (*FILIPENDULA ULMARIA* (L)
MAXIM)» НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ОСИННИКИ
(КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

К.С. Масленникова, Е.В. Агеева

Томский политехнический университет, Томск, Россия
ksm12@tpu.ru, evk26@tpu.ru

**SOME RARE EARTH AND RADIOACTIVE ELEMENTS IN THE SYSTEM
«SOIL-MEADOW (*FILIPENDULA ULMARIA* (L) *MAXIM*)» IN THE TERRITORY
OF OSINNIKI, (KEMEROVO REGION)**

K.S. Maslennikova, E.V. Ageeva

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
ksm12@tpu.ru, evk26@tpu.ru

Аннотация. Работа посвящена анализу элементного состава системы «почва-растение» на территории г. Осинники, Кемеровская область. Наиболее подробно изучена специфика накопления и распределения редкоземельных и радиоактивных (Th, U) элементов в почве и лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) *Maxim*), обусловленная особенностями эколого-геологической обстановки г. Осинники.

Введение

Некоторыми учеными лекарственные растения применяются как индикаторы состояния окружающей среды. Одним из ярких представителей таких растений является лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) *Maxim*), использующийся в терапии многих заболеваний как в народной, так и в официальной медицине [6,7]. От других видов растений он отличается способностью к накоплению большего комплекса химических элементов. Климатические условия Кемеровской области оптимальны для повсеместного распространения лабазника, наибольшее его скопление наблюдается в поймах рек и ручьев [4].

Кемеровская область известна как горнопромышленный регион с разнообразной природной средой и богатством природных ресурсов. Уникальность геохимических условий, влияющих на химический состав почв и растительности обусловлена наличием разнообразных геологических формаций, полезных ископаемых и специфическими климатическими условиями. Значительная часть территории области подвержена техногенным процессам, связанным с разработкой месторождений угля [3]. При этом угли Кузбасса характеризуются высокими содержаниями РЗЭ, Th и U [1].

Город Осинники, располагающийся на юге Кемеровской области в 25 км к юго-востоку от Новокузнецка, является ярким представителем такой территории: в его черте разрабатывается Осинновское каменноугольное месторождение углей марок Ж и КЖ, действуют ремонтно-механический завод и автобаза ОАО УК «Южкузбассуголь», Осинниковское пассажирское автотранспортное предприятие, предприятия пищевой промышленности [2]. Территория города имеет разнообразное геологическое строение, сфомированное в нижней и средней юре, верхней перми. На большей части города располагаются угольные пласты, имеется линия тектонического контакта [5]. Изучение геохимических особенностей города позволяет не только выявить закономерности распределения химических элементов, но и оценить состояние экосистем, что особенно актуально в условиях активной промышленной эксплуатации региона.

Материалы и методы

Материалом для исследования была выбрана надземная часть лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim) и верхний плодородный слой почвы.

Пробы лабазника и почвы отбирались летом 2023 и 2024 гг. в соответствии с [6, 7]. Количественное содержание химических элементов определялось с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА).

Результаты и их обсуждение

При анализе влияния техногенных объектов большую индикаторную роль играют соотношения редкоземельных элементов. В лабазнике по отношению La/Ce, La/Yb и Th/U выделяются участки, подверженные влиянию технологических дорог и террикона шахты Осинниковской. Истоки р. Семенова и притока р. Кандалеп берут свои истоки у 39 и 38 точек соответственно, находящихся рядом с технологической дорогой, поэтому в их водах могут содержаться осаждающиеся частицы дорожной пыли (рис. 1). Все выделяющиеся точки характеризуются высокими коэффициентами концентраций (рис. 2).

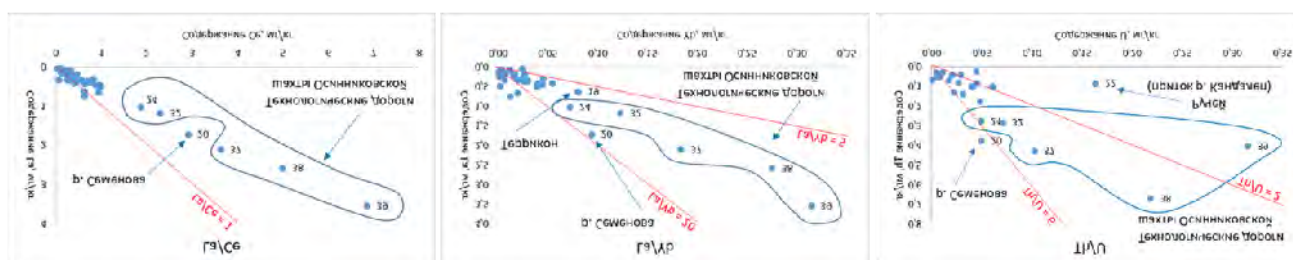


Рис.1. Распределение участков по отношениям P3Э, Th и U в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim)

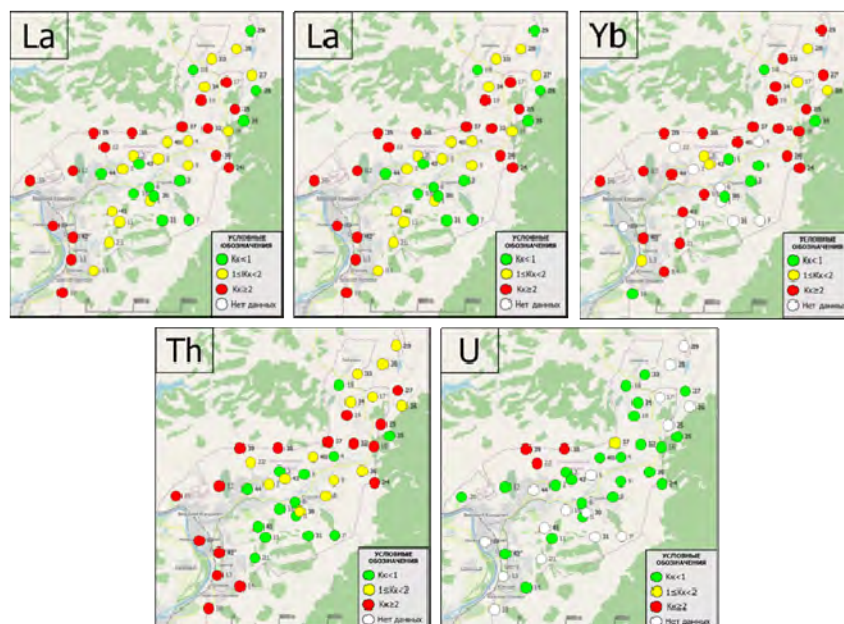


Рис. 2. Схемы распределения P3Э, Th и U в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim) (относительно среднего по Кемеровской области)

В почве по отношению La/Ce и La/Yb выделяются участки как с низким содержанием этих элементов, расположенные в почвах рядом с водоемами, котельной, так и с высоким – в зоне тектонического контакта. По соотношению Th/U в почве выделяются участки, находящиеся

на линии тектонического контакта (рис. 3). Содержание La, Ce, Yb, Th и U на территории г. Осинники в основном находится на уровне, соответствующем среднему по Кемеровской области (рис. 4).

Заключение

В ходе проведенных исследований установлены соотношения некоторых редкоземельных и радиоактивных элементов в системе «почва – лабазник вязолистный» и выявлены основные участки их концентрирования. Предположительно, особенности распределения элементов обусловлены как природными, так и техногенными факторами. Так, содержание элементов в лабазнике отражает воздействие технологических дорог и отвалов шахты Осинниковской, а содержание в почве – особенности геологического строения территории.

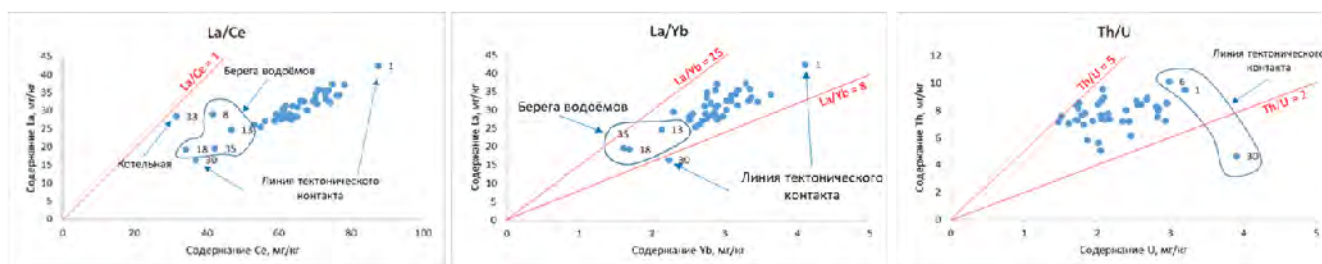


Рис. 3. Распределение участков по отношениям РЗЭ, Th и U в почве

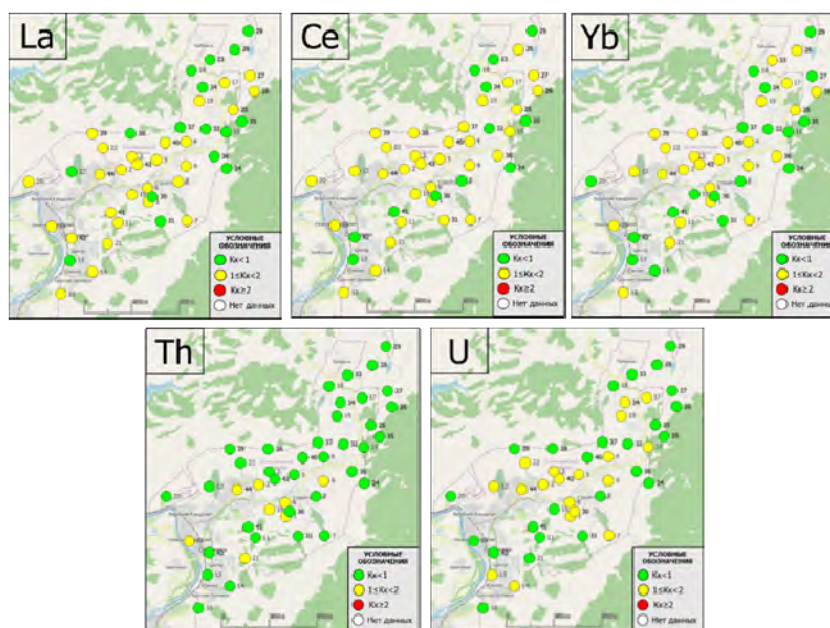


Рис. 4. Схемы распределения РЗЭ, Th и U в почве (относительно среднего по Кемеровской области)

Литература

1. Арбузов С.И. Металлоносность углей Сибири // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, № 1. – С. 77–83.
2. Бабичева Е.В. Муниципальный архив г. Осинники // Отечественные архивы. – 2007. – № 4. – С. 24–32.
3. Богоявленский В.И. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли // Горная промышленность. – 2020. – № 1. – С. 97–118.
4. Бускунова Г.Г. Особенности содержания тяжелых металлов в дикорастущих видах растений

- на фоновых территориях республики Башкортостан // Экология родного края: проблемы и пути их решения. – Киров, 2022. – С. 313–317.
5. Геологическая карта: N-45-XXII. Геологическая карта СССР. Серия Кузбасская, масштаб: 1:200000, серия: Кузбасская / ред. Васючихев П.Н. – Западно-Сибирское геологическое управление – 1960.
 6. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М. : Стандартиформ, 2018. – 12 с.
 7. ГОСТ 24027.0-80 Сырье лекарственное растительное. Правила приемки и методы отбора проб. – М. : Издательство стандартов, 1980. – 5 с.
 8. Черненькая Е. В. Динамика изменения элементного состава природной среды по данным изучения гербарных и современных сборов растений юга Сибири : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2016. – 262 с.
 9. Agrawal M., Agrawal S.B. Effects of air pollution on plant diversity // Environmental Pollution and Plant Responses. – 2023. – P. 137–152.

УДК 504.53.054

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ,
ИЗ ОРЕОЛА ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)**

И.Н. Мягкая, Е.В. Лазарева, М.А. Густайтис, Б.Ю. Сарыг-оол

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия

i_myagkaya@igm.nsc.ru

**ASSESSMENT OF POTENTIAL HUMAN HEALTH RISKS FROM SOILS
CONTAMINATED WITH POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS
IN THE GOLD MINERALIZATION ZONE (REPUBLIC OF KHAKASSIA)**

I.N. Myagkaya, E.V. Lazareva, M.A. Gustaitis, B.Yu. Saryg-ool

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

i_myagkaya@igm.nsc.ru

Аннотация. Определены содержания Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Pb и Hg в почвах поселков и окружающих территорий, подверженных нагрузке горнодобывающей деятельности в Саралинском золоторудном узле. Установлены повсеместные превышения ПДК/ОДК по Cr, As; точечные – по остальным элементам. Индекс риска заболеваний неканцерогенного характера (НИ) показал отсутствие рисков для взрослых в связи с пероральным попаданием почв вне зависимости от участка мониторинга, в отличие от детей, для которых установлена возможность пагубного влияния повышенных содержаний Fe и As (влияние проглатывания). Существует высокая вероятность канцерогенного риска заболеваний для взрослых и детей, вызванная пероральным попаданием почв, обогащенных As в зоне рудной минерализации и ореоле действия хвостохранилища, исходя из индекса TCR.

Введение

Почвы являются важным компонентом окружающей среды, качество которых определяет безопасность пищи для людей. Однако, загрязнение почв разными поллютантами является глобальной проблемой [4]. Основным фактором, приводящим к загрязнению почв, является антропогенное влияние человека (туризм, агрикультура, урбанизация и индустриализация). Горнодобывающая деятельность (ГДП) наносит особый вклад в загрязнение почв. Экстенсивный период развития ГДП привел к возникновению большого количества территорий с неблагоприятной обстановкой (в частности, в Сибири), населенные жителями или посещаемые туристами. Территория Саралинского рудного узла (Орджоникидзевский район, Республика Хакасия, окрестности поселков Приисковый и Орджоникидзевский) представляет собой именно такой объект. Население поселков ~ 700 человек [6]. Негативное воздействие *потенциально токсичных элементов (ПТЭ)* на живые организмы происходит при превышении определенной концентрации [3]. Для оценки возможных рисков для здоровья людей в мировой практике применяются индексы, позволяющие оценить влияние компонент природной среды на организм при проглатывании (пероральное попадание), вдыхании, испарении с поверхности почв и контакте с кожей. Известны индексы *неканцерогенной (НИ)* и *канцерогенной (TCR) опасности* [1, 2, 5, 7]. Цель исследования – оценить риски для здоровья человека за счет почв, подвергшихся воздействию рудной минерализации участка Саралинского золоторудного узла (СЗУ) и хвостохранилища.

Материалы и методы

Объект расположен в пределах Алтае-Саянской складчатой области; добыча Au осуществлялась с 1834 г. Рудоносные породы, представленные терригенно-вулканогенными толщами, гидротермально изменены, пронизаны кварцевыми жилами. Руда – малосульфидная Au-кварцевая типа, состоит из сульфидов (Fe, Cu, As, Mo, Pb, Zn, Sb, Ni), включая сфалерит,

пирротин, арсенопирит, галенита, плюс кварц, карбонаты, Ag^0 . В пос. Приисковый расположено хвостохранилище. Обогащение руд осуществлялось на фабрике с помощью гравитационной и флотационной технологий; использовались амальгамация и цианирование. В отходах присутствуют пирит, магнетит, галенит, гидроксиды Fe, гематит, Hg^0 . В районе исследования расположены более мелкие рудники, в том числе в пос. Орджоникидзевский, севернее которого находится Au-оруденение кварцево-жильного типа и Карасукское Mo-рудное поле. Почвы поселков – аллювиальные отложения.

Опробование почв проведено на 4 участках (79 проб): S-1 = локальный фоновый, расположен в пос. Орджоникидзевский, удален от разработанного месторождения в пос. Приисковый, не входит в контур пирит-сфалерит-галенитовой зоны минерализации; S-2 = хвостохранилище у п. Приисковый и некоторые техногенные объекты в виде сливов в самом поселке; S-3 = территория пос. Приисковый; S-4 = территория вокруг пос. Приисковый.

Содержания Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Pb определены РФА-СИ (спектрометр ВЭПП-3); Hg – ААС методом (анализатор «РА-915М» с пироприставкой «РП-91С»). Для детей и взрослых оценены возможные риски для их здоровья, вызванные неканцерогенным и канцерогенным влиянием ПТЭ из почв, согласно *HI* и *TCR*. Формулы, пороговые значения индексов и эталонные параметры, используемые в расчетах, приведены в [6]. Данные индексы ограничены набором элементов, для которых существуют значения *эталонной дозы ПТЭ (RfD)* и *фактора кривой канцерогенности ПТЭ (SF)*, используемых в формулах отдельно для каждого из случаев – проглатывания, вдыхания, испарения (только Hg) и контакта с кожей. Для *HI* существуют данные для учета: перорального поступления и контакта с кожей – Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Hg и Pb; вдыхания – Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Hg и Pb. Для *TCR* возможно учесть: пероральное поступление – Cr, As; вдыхание – Cr, Ni, As и Pb; контакт с кожей – As.

Результаты и их обсуждение

Содержания ПТЭ приведены в таблице 1. В почвах фоновой территории (S-1) зафиксированы превышения ПДК для Cr во всех пробах участка; среднее содержание Cr в 1000 раз выше ПДК. По остальным ПТЭ выявлены точечные превышения ПДК: Zn (до 1.5 раз) и As (до 1.8 раз). Для отложений хвостохранилища (S-2) средние содержания Cr, Zn, As превышают ПДК/ОДК в 1500, 2.3 и 70 раз, а доля проб, не соответствующих нормативу, составляет 100, 77.4 и 100 % от выборки участка, соответственно. Точечные отклонения от ПДК/ОДК наблюдаются по Cu (до 1.9 раз), Pb (до 3 раз), Hg (до 6.6 раз). Доля почв п. Приисковый (S-3), не соответствующих ПДК/ОДК, составляет Cr 100, As 93, Pb 25 % от выборки с максимальными превышениями нормативов в 1500, 7 и 1.4 раз (по средним содержаниям), соответственно. Точечные превышения ПДК/ОДК установлены для Ni (до 2 раз), Cu (в 1.1 раз), Zn (до 3.5 раз), Hg (до 1.7 раз). Для почв за пределами п. Приисковый (S-4) зафиксированы превышения ПДК/ОДК средних содержаний Cr и As в 1600 и 7.7 раз с долей 100 и 95 % от выборки участка. Точечно превышения ПДК/ОДК наблюдаются по Cu (до 6.6 раз), Zn (до 7 раз), Hg (до 2 раз). Участки S-3 и S-4 территориально расположены в зоне пирит-сфалерит-галенитовой минерализации СЗУ, что объясняет повышенные содержания элементов в почвах. Повсеместные существенные превышения ПДК по Cr связаны с его очень низким ПДК по валовой форме (Cr^{6+} 0.05 г/т). Наличие экологических рисков загрязнения изучаемой территории Zn, Pb, Hg, As выше среднего уровня подтверждается расчетами экогеохимических индексов (I_{geo} , CF, PERI); Cr оказывает негативное воздействие на почвы, основываясь на *PI* [6].

Значения индекса опасности (HI) указывают на то, что риск неканцерогенного влияния на здоровье детей выше, чем у взрослых (рис. 1). Для взрослых отсутствуют риски неканцерогенного влияния на всех участках. Для детей выявлены риски неканцерогенного влияния на здоровье, связанные с Fe (на всех участках) и, особенно, As (участки 2–4). Вне зависимости от территории мониторинга основной вклад в HI для большей части элементов оказывают:

проглатывание (82.3–99.05 % рисков), вдыхание (1–5.3%) и контакт с кожей (1–16.4 %). Исключение Hg, поскольку 91.4–95.5 % риска связано с испарением элемента с поверхности почв, оставшаяся доля – с проглатыванием вещества. Общий канцерогенный риск (TCR) для здоровья детей выше, чем для взрослых, как и в случае с HI. На всех участках значение индекса TCR для As, особенно на хвостохранилище (S-2), выше допустимого значения – существуют высокие риска онкологических заболеваний, связанный преимущественно с проглатыванием (рис. 1).

Таблица 1. Средние / минимальные-максимальные содержания ПТЭ в почвах (г/т)

Участок (выборка)	Cr	Fe мас. %	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Pb	Hg
S-1 (N=13)	54.4 17.4-24	4.1 1.62-6.13	34.9 19.4-76	30.6 17.7-54.6	143.3 61-306	8.4 2.4-17.8	1.4 0.5-1.9	20.1 6.1-37.8	0.08 0.01-0.34
S-2 (N=31)	77.76 41.2-115	4 2-8	38.1 9.6-71	70.8 25.3-251	503.6 77-1562	701.5 13.1-1882	4.03 1.1-9.2	70.3 10.9-436	1.3 0.01-13.8
S-3 (N=16)	76.6 32.2-199	5.14 3.14-6.9	56.2 23-177	74.8 38.7-141	215.8 73-764	72.8 5.8-260	2.7 1.0-6.1	183.5 14.2-1907	0.5 0.01-3.6
S-4 (N=19)	81 48.2-132	5.9 3.73-8.6	41 24.2-80	112 38.7-874	197.4 68-1566	76.4 2.7-285	2.5 0.8-5.5	41 15.8-117	0.7 0.02-4.4
Литературные данные									
ПДК/ОДК (валовая форма; pH > 5.5)	0.05 (Cr ⁶⁺) ^[1, 2]	-	80 ^[1]	132 ^[1]	220 ^[1]	10 ^[1]	-	130 ^[1]	2.1 ^[1]

Примечание: жирным выделены превышения ПДК/ОДК; [1] – СанПиН 1.2.3685-21; [2] – ГН 2.1.7.2041-6.

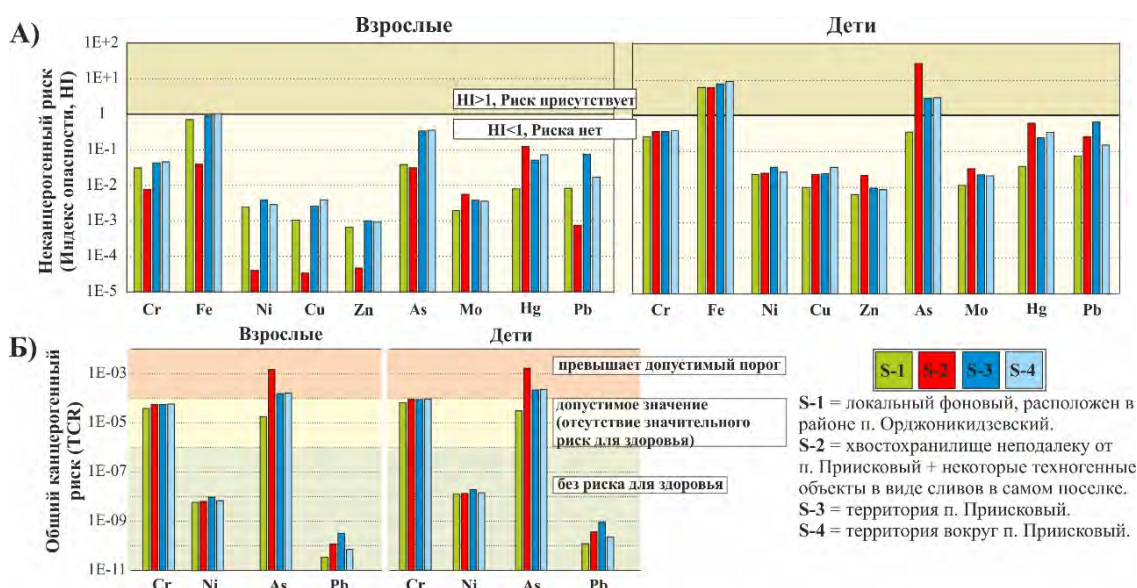


Рис. 1. Риск неканцерогенного влияния (индекс опасности HI, (А)), общий канцерогенный риск TCR (Б) для взрослых и детей, вызванный ПТЭ, содержащимися в почвах Саралинского рудного узла

Заключение

На основании индексов неканцерогенного (HI) и канцерогенного (TCR) риска заболеваний установлено, что для взрослых отсутствуют неканцерогенные риски в связи с пероральным попаданием почв вне зависимости от участка мониторинга, в отличие от детей, для которых установлена возможность пагубного эффекта на здоровье за счет Fe и As. Существует высокая вероятность канцерогенного риска заболеваний для взрослых и детей, вызванная пероральным попаданием почв, обогащенных As в зоне рудной минерализации и ореоле действия хвостохранилища.

Работа выполнена в рамках гос.задания ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7) и финансируется Министерством науки и высшего образования РФ. Анализы выполнены в АЦ Многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН. Благодарим Ю.П.Колмогорова за определение содержания элементов с помощью оборудования ЦКП «СЦСТИ» на базе УНУ "Новосибирский ЛСЭ" в ИЯФ СО РАН.

Литература

1. Adimalla N., Qian H., Nandan M.J. et al. Potentially toxic elements (PTEs) pollution in surface soils in a typical urban region of south India: An application of health risk assessment and distribution pattern // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2020. – 203. – Art. No. 111055.
2. Gyamfi O., Sorensen P.B., Darko G. et al. Contamination, exposure and risk assessment of mercury in the soils of an artisanal gold mining community in Ghana // *Chemosphere*. – 2021. – Vol. 267. – Art. No. 128910.
3. Han R., Zhou B., Huang Y. et al. Bibliometric overview of research trends on heavy metal health risks and impacts in 1989–2018 // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 276. – Art. No. 123249
4. Khan S., Naushad M., Lima E.C. et al. Global soil pollution by toxic elements: Current status and future perspectives on the risk assessment and remediation strategies – A review // *Journal of Hazardous Materials*. – 2021. – Vol. 417. – Art. No. 126039.
5. Kusin F.M., Awang N.H.C., Hasan S.N.M.S. et al. Geo-ecological evaluation of mineral, major and trace elemental composition in waste rocks, soils and sediments of a gold mining area and potential associated risks // *Catena*. – 2019. – Vol. 183. – Art. No. 104229.
6. Myagkaya I.N., Saryg-ool B.Yu., Kirichenko I.S. Environmental and human health risk assessment of soils in areas of ore mineralization and past gold-mining activity // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2024. – Vol. 31. – P. 47923–47945.
7. Quintanilla-Villanueva G.E., Villanueva-Rodriguez M., Guzman-Mar J.L. et al. Mobility and speciation of mercury in soils from a mining zone in Villa Hidalgo, SLP, Mexico: A preliminary risk assessment // *Applied Geochemistry*. – 2020. – Vol. 122. – Art. No. 104746.

УДК 504.1(571.55)

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ ПОСЕЛКА САГАН-НУР
МУХОРШИБИНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ МЕТОДАМИ
НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА И ИК-СПЕКТРОСКОПИИ**

Н.А. Осипова, В.П. Иванов, Д.С. Ливента

Томский политехнический университет, Томск, Россия

osipova@tpu.ru, vpi@tpu.ru, dsl18@tpu.ru

**ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF SOILS
IN THE VILLAGE OF SAGAN-NUR IN THE MUKHORSHIBINSKY DISTRICT
OF THE REPUBLIC OF BURYATIA USING NEUTRON-ACTIVATION ANALYSIS
AND IR SPECTROSCOPY**

N.A. Osipova, V.P. Ivanov, D.S. Liventa

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

osipova@tpu.ru, vpi@tpu.ru, dsl18@tpu.ru

Введение

Наличие высоких концентраций металлов в почве по-прежнему представляет потенциальную опасность для здоровья человека и окружающей среды из-за их токсичности, биоаккумуляции и длительного пребывания в компонентах ландшафта [1]. Добыча и транспортировка угля, работа тепловых электростанций, работающих на угле, начиная с момента получения угля и заканчивая окончательной утилизацией отходов от сжигания угля, приводит к значительному загрязнению окружающей среды, образованию значительных объемов пылевых выбросов [2].

Ранее было установлено, что в бассейне р. Тугнуй, где находится п. Саган-Нур, распространены породы с повышенным содержанием Sr, а также Cu, Ni, Co, Pb; для фоновых почв также свойственно слабое обогащение Mo и Zn. Состав техногенных потоков загрязняющих веществ, образующихся при производственной и бытовой деятельности городского населения, чрезвычайно многообразен. Это приводит к изменению содержания As, Mo, Sb и W в поверхностных горизонтах городских почв, при этом в каждой функциональной зоне п. Саган-Нур лидируют свои приоритетные элементы-загрязнители. Используемый на ТЭЦ каменный уголь из Тугнуйского разреза в 1,1–18,8 раз обогащен Sr-Sc-Cu-Zn-Pb. Дальнейшая судьба элементов-примесей при сжигании углей на ТЭЦ определялась по соотношению фактического и теоретического содержания ПТЭ в золе, рассчитанного по зольности углей. Наименьшее фактическое содержание в золе и максимальная летучесть выявлены у Sr, Bi, Pb [3].

Объекты и методы исследования

Мухоршибирский район расположен в южной части Республики Бурятия, в 30 км к западу от г. Петровск-Забайкальский и в 80 км к северо-западу от г. Улан-Удэ.

Пробы почв были отобраны методом прикопок, на глубину 20 см, из гумусово-аккумулятивного горизонта из соображений высокой абсорбирующей способности почвенного гумуса. Объектами исследования послужили каштановые почвы, расположенные под степными пастбищными фитоценозами, серые почвы, формирующиеся под темнохвойной растительностью, а также техногенно-измененные почвы, претерпевающие влияние антропогенного воздействия.

Точечный отбор проб был приурочен к основным зонам поселка, с различной функциональной значимостью, а также к зонам, претерпевающим промышленное воздействие (буровзрывные работы на карьере, пыление во время транспортировки, сжигание угля на ТЭЦ). Общее количество проб составило 19 шт., массой каждый не менее 300 г.

Инструментальный нейтронно-активационный анализ почв, углей, зол углей и горных пород

выполнен в ядерно-геохимической лаборатории на базе исследовательского ядерного реактора Томского политехнического университета (аналитики А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Для определения структурных изменений органического вещества применен метод инфракрасной спектроскопии диффузного отражения.

Результаты и их обсуждение

Содержание химических элементов методом ИННА в исследуемых почвах представлено в таблице 1.

Таблица 1. Содержание микроэлементов в почвах района

Элемент	С _{ср.}	min	max	V, %	Медиана
Sm	4,62	1,07	9,19	44,79	4,79
Ce	79,1	45,0	112	21,59	83,0
Ca, %	3,23	1,41	5,03	27,23	3,15
Lu	0,329	0,205	0,424	17,58	0,320
U	2,30	0,937	5,12	41,87	2,04
Th	9,46	4,49	19,8	37,98	8,48
Cr	209	93,1	318	29,64	199
Yb	2,46	1,87	3,38	16,55	2,36
Hf	7,37	5,44	8,78	11,85	7,53
Ba	771	591	1395	22,53	751
Sr	467	30,0	919	42,37	452
Nd	28,4	5,54	56,7	54,33	29,6
As	2,79	0,500	6,53	60,68	2,51
Br	2,24	0,304	5,73	73,71	1,80
Cs	2,37	0,368	4,18	43,72	2,31
Tb	0,906	0,351	1,56	38,26	0,867
Sc	8,28	3,32	11,9	25,15	8,38
Rb	134	66,4	240	28,32	133
Fe, %	3,32	1,62	4,96	24,25	3,25
Zn	61,9	5,89	99,0	43,46	68,0
Ta	0,646	0,005	1,66	74,41	0,518
Co	11,4	3,20	20,0	36,72	10,7
Na, %	2,01	1,37	2,54	18,42	1,92
Eu	1,42	0,052	2,99	48,05	1,30
La	41,1	25,8	61,5	21,35	41,7
Sb	0,324	0,129	0,618	44,46	0,300

Примечание: min – минимальное; max – максимальное; V% – коэффициент вариации, жирным шрифтом выделен V>40%, результаты ИННА.

Наибольшие отклонения средних значений микроэлементов от медианы свидетельствуют о большей неравномерности содержания. В таблице 2 приводится состав микроэлементов по коэффициенту вариации более 40%.

Таблица 2. Состав микроэлементов по коэффициенту вариации более 40%

≤39	однородное	Ce, Ca, Lu, Th, Cr, Yb, Hf, Ba, Tb, Sc, Rb, Fe, Zn, Co, Na, La
40-79	неоднородное	Sm, U, Sr, Nd, As, Br, Cs, Ta, Eu, Sb

Кроме этого установлено в отдельных пробах содержание золота, что не свойственно дан-

ным почвам. Другим признаком является повышенное содержание самария, который является микроэлементом-ассоциатом [4] и индикатором, как микроэлементы (МЭ) цезий, тантал, неодим, европий, являющиеся МЭ-индикаторами биогеохимических обстановок образования углей на стадии седиментации [5]. Они также являются неоднородными (табл. 2), в итоге, можно однозначно утверждать их появление в почвах обусловлено их наличием в углях карьера (проба 19).



Рис. 1. Схема направления распространения микроэлементов церия, самария, европия

Ранжирование содержания церия, самария и европия по возрастанию показало, что их источником являются пыль карьера и дымовые выбросы обогатительной фабрики, где перерабатывается и сжигается уголь. Распределение значений этих МЭ в пробах позволило определить направление распространения Ce, Sm, Eu в виде летучей золы [6] и тонкодисперсных частиц пыли. В частности, пылью разносится Ce и Sm как более легкие МЭ по отношению к европию, который в летучей золе распространяется ограничено (рис. 1).

Использование методологии СКАУФВ и IT-программы ASPECT позволило установить, что загрязнителями третьего класса опасности являются мышьяк, ацетофенон и хлорсодержащие соединения. Так, мышьяк имеет формы связи с органическими соединениями: винилацетилены и металлфенилы за счет внутримолекулярных связей в ациклических фрагментах и полисопряженных фрагментах и межмолекулярных связей в полициклических фрагментах.

Повышенное содержание брома указывает на галогеновые формы связи Sr, As и Zn, что указывает на псевдогалогенидные и метилгалогенидные комплексы в органической массе почвы на участке эко обследования. Также не исключаются связи мышьяка с тиоцианатами через азотные мостики, но эти формы связи, вероятно, не относятся к материнской органике почвы, а скорее тонкие пылевидные фрагменты почвенной органической массы.

Литература

1. Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Тарасова Н.П. и др. Тяжелые металлы в почвах в районах воздействия угольных предприятий и их влияние на здоровье населения // Безопасность в техносфере. – 2015. – № 2. – С. 16–26.
2. Крылов Д.А. Воздействие микроэлементов от угольных ТЭС на окружающую среду и здоровье людей // Энергия: экономика, техника, экология. – 2012. – № 8. – С. 9–16.
3. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Забайкальского края в 2018 году». – М.: Минприроды России. – 2019. – 268 с.
4. Иванов В.П. Тимкин Т.В., Болдина Д.А. и др. Особенности определения металлоорганических соединений в углеродистых веществах черносланцевых отложений с применением ИК-спектроскопии диффузного отражения. / Известия Томского политехнического университета.

- Инжиниринг георесурсов, 2024. – Т. 335, № 2. – С. 141–156.
5. Иванов В. П. Комплексная оценка каменноугольно-пермских угленосных отложений и разработка промышленно-энергетической классификации ископаемых углей : дис. ... докт. геол.-минерал. наук. – Томск, 2015. – 348 с.
 6. Диденко Л.Г., Попова И.Я., Боярский Ю.П. Элементный состав аэрозольных выбросов тепловой станции, работающей на угле // Гигиена и санитария. – 1990. – № 6.– С. 40–41.

УДК 504.054;504.056

МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ» В ТЕХНОГЕННОМ ЛАНДШАФТЕ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Л.М. Павлова¹, М.Ю. Ляпунов^{1,2}, Д.В. Юсупов³

¹Институт геологии и природопользования ДВО, Благовещенск, Россия

pav@ascnet.ru

²Филиал ООО «Атлас Майнинг» в г. Благовещенске, Россия

mik.8133@gmail.com

³Амурский государственный университет, Благовещенск, Россия

yusupovd@mail.ru

MIGRATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE "SOIL – PLANT" SYSTEM IN THE NATURAL-TECHNOGENIC LANDSCAPE OF A GOLD MINING COMPLEX

L.M. Pavlova¹, M.Yu. Lyapunov^{1,2}, D.V. Yusupov³

¹ Institute of Geology & Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk, Russia

pav@ascnet.ru

² Branch of Atlas Mining LLC in Blagoveshchensk, Blagoveshchensk, Russia

mik.8133@gmail.com

³ Amur State University, Blagoveshchensk, Russia

yusupovd@mail.ru

Abstract. В работе представлен анализ миграции химических элементов в системе почва-растение на территории Покровского месторождения с многолетним воздействием золотодобывающего производства. Почвенно-грунтовый покров на исследуемой территории характеризуется мозаичностью распределения фоновых и аномальных концентраций As, Sb, S, Cu, Zn, Ba, Mn, P. Высокими значениями показателя суммарного загрязнения характеризуются почвогрунты в зонах влияния отвалов и хвостохранилищ, а кислая реакция почвенной среды обуславливает высокую доступность Co, Pb, Ni, Y, Ba, Zn для растений. Древесные виды (береза, ива) по сравнению с травянистыми (полынь, злаки) характеризуются более высокой биогеохимической активностью – повсеместным энергичным накоплением Zn и сильным – Sr, Cu, а сильным накоплением Ni, Y, Rb, Sb только в зонах влияния отвалов и хвостохранилища. Высокие показатели биогеохимической подвижности элементов отмечены в зоне влияния отвалов.

Введение

На территориях с многолетним воздействием горнодобывающего комплекса весьма важно и актуально изучение состава почвенно-растительного покрова, воздушной и водной сред. Биогеохимические исследования базовых компонентов техногенно преобразованных ландшафтов обеспечивают комплексное выявление, количественную оценку и мониторинг экологического загрязнения, раскрывают механизмы миграции и перераспределения химических элементов под воздействием живых организмов, способствуют выявлению связей между геохимическим составом среды и эндемическими заболеваниями, служат теоретической основой для оценки состояния окружающей среды, прогнозирования последствий хозяйственной деятельности человека, разработки минимизации и мер предупреждения негативных последствий антропогенного воздействия. И только на основе комплексных данных возможен анализ сложившейся геоэкологической ситуации: выявление нарушений функционирования экосистем, степени их устойчивости и способности к естественному самовосстановлению или необходимости использования ремедиационных мероприятий. Сведения о миграционных процессах химических элементов в системе почва-растение, их накоплении и содержании в растениях необходимы для проведения биогеохимического районирования, учета биопродуктивности и сохранения плодородия почв.

Цель работы – анализ миграции химических элементов в системе почва-растение на территории Покровского месторождения с многолетним воздействием золотодобывающего производства (Приамурье).

Материалы и методы

Почвенно-грунтовые пробы и надземную часть березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.), ивовых (*Salix* L.), полыни веничной (*Artemisia scoparia* Waldst. & Kit.) и злаковых (*Poa* L.) отбирали по ГОСТ 17.4.3.01-2017 и [1] соответственно (рис. 1а).

Физико-химические характеристики почвенных проб (рН, Eh, влажность, зольность) определяли по стандартным методикам, элементный состав почвенно-грунтовых проб и золы растений – рентгенофлуоресцентным (РФА) методом (спектрометр Lab Center XRF-1800, Shimadzu, Япония), Sb – атомно-абсорбционным методом (спектрометр iCE3000, Thermo Electron Corporation, США) в ЦКП АЦМГИ ИГиП ДВО РАН (г. Благовещенск).

Для определения степени биодоступности химических элементов (ХЭ) из почвенно-грунтовых проб методом параллельного экстрагирования 1М аммонийно-ацетатным буфером (ААБ, рН 4,8) при соотношении почва:раствор 1:10, времени экстракции 18 ч выделяли группу непрочно связанных соединений ХЭ. Элементный состав экстрактов определяли масс-спектральным (Х-7, Thermo Elemental, США) и атомно-эмиссионным (iCAP-6500, Thermo Scientific, США) методами анализа в АСИЦ ИПТМ РАН (г. Черноголовка). Степень биоаккумуляции ХЭ оценивали по коэффициентам биологического поглощения (КБП), коэффициентам биогеохимической активности (КБХП). Состояние почвы характеризовали по коэффициентам опасности (Ко) и коэффициентам подвижности (КП).

Статистическую обработку проводили с помощью программ Microsoft Excel и Statistica 10. Для оформления карто-схем использовали пакет программ Corel DRAW.

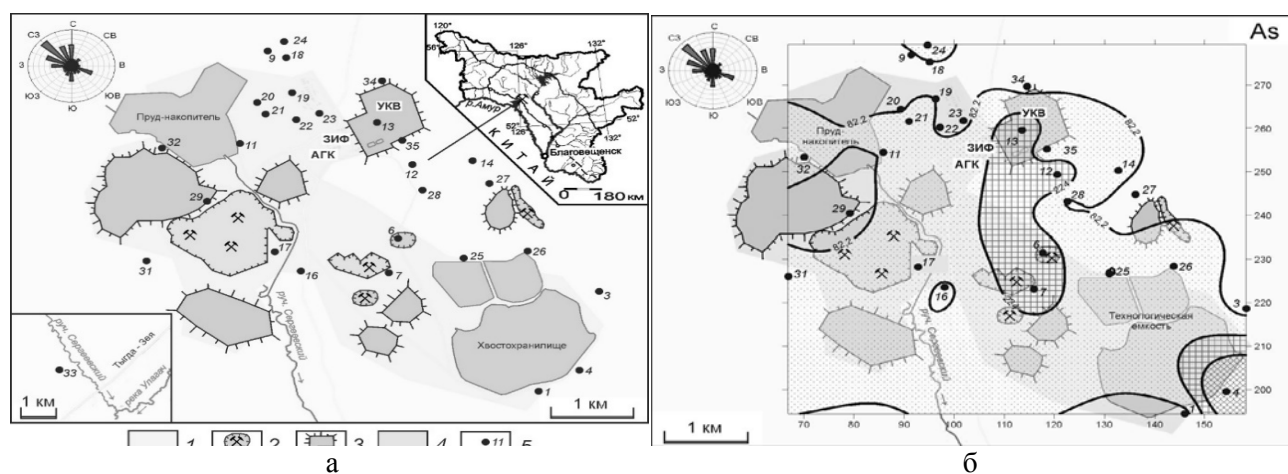


Рис. 1. а – Карта-схема точек отбора почвенно-растительных проб на территории Покровского месторождения; б – вторичные ореолы рассеяния As; 1 – промплощадки, 2 – карьеры, 3 – отвалы, 4 – гидротехнические сооружения, 5 – точки отбора проб; АГК – автоклавный гидрометаллургический комплекс, ЗИФ – золотоизвлекательная фабрика, УКВ – участок кучного выщелачивания

Результаты и их обсуждение

Почвенный покров выполняет роль связующего звена между геологическим и биологическим круговоротами химических элементов. По нашим данным [2] почвенно-грунтовый покров на территории Покровского месторождения золото-серебряной вулканогенной формации характеризуется мозаичностью распределения фоновых и аномальных ореолов As, Sb, S, Cu, Zn, Ba, окислам марганца и фосфора. На участках природного ландшафта верхние горизонты буро-таежных почв отличаются повышенными содержаниями Ba и Mn, торфяно-болотных почв – P, S, Zn, техногенные грунты на промышленных площадках характеризу-

ются аномально высокими содержаниями элементов рудного типоморфного ряда As, Sb, Cu, фоновыми и отрицательно-аномальными содержаниями в отношении остальных элементов. Ореолы надфоновых концентраций этих элементов преимущественно приурочены к отвалам вскрышных пород, карьерам, местам хранения отходов переработки руд (рис. 1б). Наиболее высокими значениями суммарного показателя загрязнения (по превышению коэффициентов опасности над экологически нормируемыми) характеризуются почвогрунты в зонах влияния отвалов и хвостохранилищ (табл. 1), а кислая реакция почвенной среды обуславливает высокую биодоступность Co, Pb, Ni, Y, Ba, Zn.

Выявлена высокая степень биофильности в отношении ряда ХЭ: древесные виды (береза, ива) выделяются повсеместным энергичным накоплением Zn (КБП~11-62) и сильным – Sr, Cu (КБП~2-4), а Ni, Y, Rb, Sb – только в зонах влияния отвалов и хвостохранилища. Травянистые растения характеризуются повсеместным сильным накоплением Zn, Cu, Sr (КБП~1-7), и в отдельных локациях – Rb, Sb. Разные виды растений проявляют неодинаковую способность к накоплению химических элементов, а уровень накопления определяется и экологическими условиями среды. Более объективным критерием способности растительного вида к концентрированию ХЭ из почвы является аддитивный показатель биогеохимической активности (БХА), который рассчитывается как сумма КБП ряда элементов. В целом, на исследуемой территории у древесных растений этот показатель (как суммарный, так и удельный) выше, чем у травянистых, так как БХА в большей степени зависит от энергично поглощаемых элементов. У березы и ивы, растущих на почвогрунтах полигонов россыпной золотодобычи, высокие значения БХА (табл. 1) обусловлены высокими значениями КБП.

Таблица 1. Параметры состояния почв, почвогрунтов и надземной биомассы растений

Показатель	Почвы и техногенные почвогрунты технологических объектов			
	Условный фон (n=7)	Полигон россып- ной золотодобы- чи (n=3)	Хранилище отхо- дов (n=5)	Отвалы породы (n=6)
pH _{сол}	4.5–4.99	4.25–5.69	4.18–8.42	3.13–6.62
¹ Zo	21.8	14.7	25.6	32.0
² КП, % (min-max)	0.3–15.4	0.1–14.1	0.3–14.6	0.5–23.6
³ Аддитивный / удельный коэффициенты биогеохимической активности (БХА) растительного вида				
Береза	28/1.64	70/4.12	35/2.06	29/1.71
Ива	23/1.35	72/4.24	29/1.71	22/1.29
Полынь	21/1.23	15/0.88	13/0.76	12/0.71
Злаки	16/0.94	6/0.35	12/0.71	10/0.59
⁴ Аддитивный / удельный коэффициенты биогеохимической подвижности ХЭ (КБХП)				
Береза	131/8.2	271/16.9	169/10.6	295/18.4
Ива	40/ 2.5	235/14.7	101/6.3	454/28.4
Полынь	199/12.4	305/19.1	133/8.3	449/28.1
Злаки	172/10.8	119/7.4	399/24.9	206/12.9

Примечания: ¹ – суммарный показатель коэффициентов опасности (Ko) элементов над нормируемыми уровнями; ² – коэффициент подвижности элемента в почве, рассчитываемый по соотношению подвижной формы ХЭ к валовой; ³ – числитель – суммарный БХА, знаменатель – удельный БХА относительно количества учтенных элементов; ⁴ – суммарный и удельный показатель миграции элементов из почвы в растение.

Если величина БХА в большей степени характеризует видоспецифичность растения в отношении интенсивности поглощения ХЭ, то коэффициент биогеохимической подвижности (КБХП), характеризует уровень перехода ХЭ из почвы в растение и зависит от количества их подвижных форм в субстрате. Наиболее высокие значения этого коэффициента характерны для растений, произрастающих в зоне влияния отвалов, что обусловлено кислым pH среды и, соответственно, высоким уровнем подвижных форм ряда элементов (табл. 1).

Таким образом, мозаичность распределения фоновых и аномальных концентраций ряда химических элементов на территории, испытывающей многолетнее воздействие факторов золотодобывающего производства, обусловила проявление у произрастающих растений неодинаковую способность к накоплению химических элементов. Древесные виды растений (береза, ива) по сравнению с травянистыми (полынь, злаки) характеризуются более высокой биогеохимической активностью – повсеместным энергичным накоплением Zn и сильным – Sr, Cu, а Ni, Y, Rb, Sb – сильным только в зонах влияния отвалов и хвостохранилища. Высокие показатели биогеохимической подвижности элементов, свидетельствующие о значительном уровне миграции их из почвы в растения, отмечены в зоне влияния отвалов пустой породы.

Литература

1. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. – М. : ЦИНАО, 1992.
2. Павлова Л.М., Ляпунов М.Ю., Радомская В.И. и др. Эколого-геохимическая оценка почвенно-грунтового покрова территории Покровского золоторудного месторождения // Проблемы региональной экологии. – 2024. – № 4. – С. 50–55.

УДК 631.4

**РАССМОТРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЭКОСИСТЕМ
ВНУТРИГОРОДСКИХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
НА ПРИМЕРЕ ЮНТОЛОВСКОГО ЗАКАЗНИКА (САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)**

Е.И. Походня

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
elizaveta902@mail.ru*

**CONSIDERATION OF ECOLOGICAL RISK FACTORS IN ECOSYSTEMS
OF INTRA-URBAN PROTECTED AREAS ON THE EXAMPLE
OF THE YUNTOLOVSKY SANCTUARY (SAINT-PETERSBURG)**

E.I. Pokhodnya¹

*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia
elizaveta902@mail.ru*

Abstract. Исследование посвящено оценке биогеохимических параметров и элементов деградации почвенно-растительного покрова как отражению состояния ландшафта в границах Юнтоловского заказника, служащего примером внутригородской особо охраняемой природной территории и составляющей экологического каркаса самого северного мегаполиса мира – города Санкт-Петербурга. По оценке почвенно-растительного покрова, выступающего портретом загрязнения и зеркалом ландшафта, сделан вывод о наличии в границах заказника элементов деградации растительного покрова, ухудшения геохимических и угнетение биологических характеристик почвы, как биокосного вещества.

Введение

Зеленый каркас городов, составляемый внедренными в урбанизированную среду особо охраняемыми территориями (ООПТ), парковыми зонами, а также зелеными насаждениями на улицах города, выступает в качестве ключевого элемента обеспечения и поддержания экологического баланса и здоровой среды, однако вместе с тем нуждается в мониторинге и контроле состояния для сохранения природно-техногенного баланса в долгосрочной перспективе. На примерах ООПТ, расположенных в пределах внутригородских территорий, в наиболее выраженной степени прослеживается обеспечение экосистемных услуг, относящихся к категории культурных, наряду с прочими. Такие территории, помимо сохранения природных объектов и комплексов, биоразнообразия, средообразования и иных элементов природного регулирования, обеспечивают рекреационные функции, что в определенной степени отвечает просветительским и социальным целям их организации, однако служит фактором дополнительного риска и угроз территории. Среди факторов, оказывающих стрессовое влияние на природные среды, особое место занимает накопление поллютантов, в т.ч. таких высокотоксичных, как тяжелые металлы. Городская среда не только продуцирует поступление токсичных соединений, но и накапливает их в своих средах, в частности – в педосфере, что становятся вторичными источниками загрязнения.

Юнтоловский заказник, первая ООПТ крупнейшего Балтийского мегаполиса – города Санкт-Петербурга, выступает репрезентативным объектом для оценки воздействия внешнего стресса на его экосистемы: его расположение в непосредственной близости от жилых кварталов города, ряда оживленных автодорог и прочих линейных и точечных источников выбросов загрязняющих веществ обуславливает высокую степень его подверженности антропогенной нагрузке. В рамках данной работы, нацеленной на выявление особенностей биогеохимического и экотоксикологического состояния почвенно-растительного покрова болотных и прибрежно-водных участков, подвергшихся антропогенной трансформации различной степени и характера, были зафиксированы две погодные аномалии, выпавшие на вегетационные сезоны

2023 и 2024 гг. [1], позволившие оценить устойчивость растительных сообществ в границах ООПТ к воздействиям такого рода вкупе с техногенной нагрузкой и сопоставить степень отклонения параметров физиологического состояния растений на контрастных территориях: практически ненарушенных, носящих охраняемый статус, и принципиально преобразованных – в зеленых насаждениях жилых районов города.

Материалы и методы

В лабораторном исследовании, направленном на выявление физических, химических, биологических и экотоксикологических параметров принятых для исследования объектов, были использованы стандартные методики, а также их вариации и адаптации.

Объектами исследования выступили почвы, почвоподобные тела и почвенно-растительные комплексы участков различного гидрологического режима, в основном, болотных и прибрежно-водных, характеризующихся условиями повышенной гидроморфности, различающихся по степени антропогенного преобразования: от подвергшихся воздействию, повлекшему практически полную деградацию экосистем, включая участки, на которых к моменту проведения пробоотбора наблюдались выраженные признаки вторичной сукцессии, до практически ненарушенных участков.

Экотоксикологический анализ компонентов почвенно-растительного покрова территории был выстроен, главным образом, на базе данных о содержании ряда тяжелых металлов в них, а также их миграции, в основу рассмотрения чего лег метод рентген-флуоресцентного анализа с использованием волнодисперсного рентгенфлуоресцентного спектрометра СПЕКТРОСКАН МАКС-G (НПО «СПЕКТРОН» (Россия).

Устойчивость растительных сообществ к воздействию погодных аномалий была оценена с опорой на показатели фотосинтетической активности и эффективности барьерных функций в отношении поллютантов.

Уровни загрязнения почв были оценены с использованием индекса загрязнения почв (ИЗП), определяемого как среднее по всем рассматриваемым поллютантам соотношение содержания вещества в почве и концентрации, установленной нормативом предельно допустимых концентраций (ПДК) для почв, и показателя потенциального экологического риска *PERI*, рассчитываемого по формуле 1.

$$PERI = \sum \frac{C_i}{C_{\text{фон } i}} * T_i, \quad (1)$$

где C_i – фактическое содержание загрязняющего вещества в почве, мг/кг; $C_{\text{фон } i}$ – фоновая концентрация загрязняющего вещества в почве, мг/кг, T_{ci} – коэффициент токсичности загрязняющего вещества, значения которого для рассматриваемых поллютантов: мышьяка, свинца, цинка, никеля, хрома, кобальта, ванадия составляют 1,5, 1,5, 1,5, 1,5, 1,5, 1,0, 0,5 соответственно.

По данному показателю уровни экологической опасности варьируются по шкале, включающей пять диапазонов значений от «низкого» до «чрезвычайно высокого» потенциального экологического риска.

Оценка накопления тяжелых металлов в наземных частях высших растений проводилась с опорой на коэффициенты биологического накопления, представляющие собой соотношение концентраций загрязняющих веществ в растении к их содержанию в корнеобитаемом слое почвы, и дальнейшей классификации по пятибалльной шкале, предложенной А.И. Перельманом, где I группа биологического накопления отвечала максимуму аккумуляции поллютантов и нарушению барьерных функций растений, V – минимуму [2].

Результаты и их обсуждение

Измерение pH почв показало, что значения водородного показателя практически во всех случаях в норме и лежат в кислом диапазоне. По величине данного показателя исследуемые почвы относятся, преимущественно, к кислым и сильно кислым, что обеспечивает высокую

подвижность загрязняющих веществ и их вымывание, но вместе с тем влияет на их активный переход в другие природные среды.

Результаты измерения гранулометрического состава показали, что у большинства почв крупная фракция – физический песок – преобладает над мелкой – физической глиной. Также были выявлены нарушения морфологической организации почв и преобразования их в урбаноземы, органолитостраты и почвоподобные тела, вследствие антропогенного воздействия.

Результаты измерения микробного дыхания и метаболической активности почв указывают на повышенную микробную активность в органогенных почвах относительно минеральных и минерально-органических. Показатели микробного дыхания и значения метаболических коэффициентов у урбоестественных почв, почвоподобных тел и антропогенно-трансформированных почв несущественно отличаются от зафиксированных для естественных почв соседних педонов, не претерпевших преобразования.

Результаты экотоксикологической оценки состояния почв с опорой на показатель *PERI* позволили определить средний и низкий уровни экологической опасности территории, лишь в одном случае уровень потенциальной экологической опасности был определен, как высокий. Значения *ИЗП*, представляющие собой интегральные показатели ПДК, прямо пропорциональные уровню загрязнения почв, в данном случае превышающие 1 для всех участков, свидетельствовали об отсутствии в числе исследованных почв, которые могут быть классифицированы как «незагрязненные».

В числе исследованных видов растений отсутствовали те, что характеризуются способностями с гипераккумуляции поллютантов, однако большинство растений показали нарушения барьерных функций и средний захват поллютантов, отвечающий III группе биологического накопления, реже поведение загрязняющих веществ в почвенно-растительном комплексе соответствовало сильному накоплению и II группе, что связано с угнетающим действием нетипичных для региона температур – основного фактора метеоаномалии, вкуче с антропогенной нагрузкой. Наибольшая аккумуляция загрязняющих веществ была зафиксирована в листьях древесных и кустарниковых растений в сравнении с прочими ярусами и органами растений. В условиях контрастного с точки зрения подверженности антропогенному воздействию Адмиралтейского района было также показано преобладание II и III групп у растений зеленых насаждений, соответствующих сильному и среднему захвату.

Уровни фотосинтетических пигментов указали на неспецифичные реакции. В условиях продолжившихся до более поздних календарных сроков под действием погодной аномалии вегетационных сезонов наблюдались высокие уровни хлорофилла В у всех изученных растений, что свойственно поздним феноэтам. Доля каротиноидов была нетипично низкой, а хлорофилла А – высокой для сроков, когда в норме наступает дефолиация. В сравнении с растениями Адмиралтейского района, в Юнтоловском заказнике были показаны более высокие уровни содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений.

Выводы

В ходе проведенного исследования были выявлены элементы деградации растительного покрова, ухудшение геохимических и угнетение биологических характеристик почв, нарушение их морфологической организации, что служит отражением угрожаемого состояния ландшафтов Юнтоловского заказника и подчеркивает необходимость поддержания и развития зеленого каркаса Санкт-Петербурга.

Литература

1. Фирсов Г., Фадеева И., Манцинова Л. Динамика сезонного развития древесных растений в Ботаническом саду Петра Великого в 2023 году, особенности и тенденции // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2024. – № 1. – С. 23–32.
2. Перельман А., Касимов Н. Геохимия ландшафта. – М. : Астрей-2000, 1999. – 768 с.

УДК 549.01:549.75:661.152

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕРНОКИСЛОТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ КАК ПРОБЛЕМА ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ

И.А. Почиталкина, О.В. Винокурова

¹ *Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия, pochitalkina@list.ru, vinokurova_22@mail.ru*

SPREADING SULFURIC ACID TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF MINERAL FERTILIZERS AS A PROBLEM OF GEOCHEMICAL ECOLOGY

I.A. Pochitalkina, O.V. Vinokurova

*D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia
pochitalkina@list.ru, vinokurova_22@mail.ru*

Аннотация. Мировая база фосфатов представлена сырьем магматического, осадочного и смешанного генезиса. Более 90 % фосфатных месторождений относятся к сырью осадочного происхождения. Самые значительные запасы сосредоточены в Северной Африке, на Ближнем Востоке и в Китае. Россия обладает запасами уникального фосфатного сырья магматического происхождения – апатита. Благодаря высокому качеству и стабильному химическому составу на базе этого сырья разработано подавляющее большинство промышленных схем переработки, в частности, с применением сернокислотной технологии получения экстракционной фосфорной кислоты и солей на ее основе. При сернокислотной экстракции образуется целевой продукт (H_3PO_4) и техногенный отход – фосфогипс ($CaSO_4 \cdot nH_2O$) в соотношении 1 : 5, что представляет собой серьезную проблему для экосистемы.

Сырьевая база фосфатов России включает объекты апатитовых и фосфоритовых руд. Согласно [10], апатитовые руды включены в перечень основных видов стратегического минерального сырья. Данные Государственного доклада [3] свидетельствуют о том, что перспективы прироста запасов апатитовых руд невелики. В период с 2017 по 2022 гг. наблюдалось общемировое снижение запасов фосфатного сырья и продукции на его основе. В численном выражении снижение производства Р-содержащей продукции составило 15 % [2].

Фосфатное сырье различного генезиса имеет свои особенности. Фосфориты осадочного происхождения, уступают по качеству апатитам магматического происхождения. Исключением является марокканский фосфорит, в котором содержание целевого компонента (P_2O_5) после стадии обогащения составляет 42 %. Физико-химические свойства минералов, входящих в состав руды, будут определять различные технологии обогащения и переработки.

Стандартная технология переработки фосфатного сырья, которая реализуется для апатита, предполагает использование серной кислоты в качестве разлагающего агента с целью получения экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) и фосфорсодержащих минеральных удобрений на ее основе. Основной экологический аспект, рассматриваемой технологии переработки природных ортофосфатов кальция, сопряжен с образованием и накоплением колоссальных объемов техногенного отхода в виде фосфогипса. Хранилища фосфогипса представляют собой, как правило, открытые площадки. Примером может служить террикон фосфогипса в Воскресенске. Даже при переработке самого качественного фосфатного сырья в России – хибинского апатитового концентрата (ХАК), на 1 т H_3PO_4 образуется до 5 т $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Истощение месторождений апатита и их удаленность от перерабатывающих предприятий поднимает вопрос вовлечения фосфоритов в химическую переработку, так как потребность в минеральных удобрениях с каждым годом растет (рис. 1).



Рис. 1. Оценка мирового потребления минеральных удобрений (млн т д. в.)

При проектировании сернокислотной технологии переработки на фосфориты мы будем иметь только увеличение количества вышеупомянутого техногенного отхода, меньшую концентрацию получаемой кислоты, большие проблемы с транспортировкой реакционных масс по технологической схеме [8], которые связаны с принципиальным отличием в составе исходной руды и соотношении основного компонента к примесям. Сопоставление химического состава фосфатного сырья после стадии обогащения (табл. 1) позволяет оценить изменение соотношения продукт : отход, который будет составлять 1:6,5–1:5.

Таблица 1. Химический состав образцов фосфатного сырья

Образец	Содержание компонента, масс. %								
	P_2O_5	CaO	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	CO_2	F	Cl	н.о. / в т.ч. SiO_2
ПФ*	15,30	27,42	0,23	1,07	0,90	5,00	0,01	–	32,50/28,4
КызФ**	17,27	45,52	1,26	0,56	1,06	15,50	0,09	0,18	5,41/ 2,12
(ХАК)	39,1	50,35	0,6	0,44	1,05	–	3,2	–	1,5

Примечания: * – Полпинский фосфорит, ** – Кызылкумский фосфорит.

Комплексная переработка в настоящее время не реализуется даже для ХАК. В определенный момент это посчиталось не целесообразным из-за низкой стоимости аналогичных продуктов из минерального сырья импортного производства, поэтому сосредоточились на извлечении только целевого компонента. Это привело к накоплению отходов обогащения руды и ее кислотной переработки с использованием H_2SO_4 [7, 1].

Запасы апатитов и фосфоритов в России составляют около 1 млрд 213 млн т P_2O_5 [3]. В случае использования только сернокислотной технологии переработки природных ортофосфатов кальция следует понимать объемы получаемых отходов и неизбежность приближения экологической катастрофы.

Заключение

Согласно данным Организации Объединенных Наций [4] в настоящее время численность Земли составляет 8,1 млрд человек. По прогнозам к 2050 году этот показатель приблизится к значению в 11,2 млрд человек. Таким образом, обязательным условием обеспечения жизнеспособности и продовольственной безопасности государств является интенсификация сельского хозяйства, которая в свою очередь не возможна без применения минеральных удобрений [6]. По данным Росстата [9], только 18 % от общего количества фосфорных удобрений, производимых в России, идет на удовлетворение внутригосударственных потребностей. По последним подсчетам [5] суммарное поступление фосфора в почву в ближайшее десятилетие должно быть не менее 31 кг/га, а это означает увеличение доли фосфорсодержащих минеральных удобрений, поступающих на внутренний рынок страны, до 43 %. Увеличение экс-

портных количеств минеральных удобрений, которое наблюдается в последние 18 лет, возможно за счет наращивания мощностей производства, что в свою очередь обеспечивается, главным образом, увеличением добычи исходного сырья. В таких условиях необходимо учитывать влияние антропогенного воздействия на окружающую среду, начиная от этапа добычи исходного сырья до учета трансформации структуры почв и водных экосистем. В качестве решения данной проблемы могут быть предложены альтернативные способы переработки природных ортофосфатов кальция, комплексное применение Р-содержащих продуктов.

Литература

1. Баранов А.М., Егорова М.А., Кондратьев Ю.В. и др. Инновационные исследования: опыт, проблемы внедрения результатов и пути решения: монография: в 2 ч. / под ред. А.А. Сукиасян. – Уфа : Аэтерна, 2024. – Ч 1. – 190 с.
2. Гилярова А.А. Фосфатное минеральное сырье: запасы, производство и горнорудные проекты // Горная Промышленность. – 2023. – № 5. – С. 72–77.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2022 году» / Минприроды РФ ; глав. ред. Д.Д. Тетенькин, Е.И. Петров. – М., 2023. – 640 с.
4. Хисленность мирового населения выросла на миллион человек : доклад ООН [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.un.org/ru/desa/2015-report> (дата обращения: 15.05.2025).
5. Налиухин А.Н., Демидов Д.В. Мировые запасы фосфатных руд и научно обоснованная потребность в фосфорных удобрениях в России // Плодородие. – 2024. – № 2. – С. 46–50.
6. На почве общих интересов : интегрированный годовой отчет ПАО «ФосАгро» за 2024 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://ar2024.phosagro.ru/> (дата обращения: 29.04.2025).
7. Недбаев И.С., Цывкунова Н.В., Елсукова Е.Ю. Обзор российского и мирового опыта решения экологических проблем производства, хранения, переработки и использования фосфогипса // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 4. – 10 с.
8. Почиталкина И.А., Винокурова О.В., Копылова С.Р. Проблемы технологической переработки высококремнистых фосфатных руд // Вестник тех. ун-та. – 2025. – Т. 28, № 4. – С. 59–62.
9. Российский статистический ежегодник. 2024 : стат. сб. – М. : Росстат, 2024. – С. 384–390.
10. Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой баз Российской Федерации до 2050 года : Распоряжение правительства от 11 июля 2024 г. № 1838-р / Российская Федерация. Правительство. – М., 2024. – 35 с.

УДК 550.47: 332.368

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ И ПОЧВОПОДОБНЫХ СУБСТРАТОВ
ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ
ПРИОРИТЕТНЫМИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

**А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, Т.А. Рождественская,
С.Н. Балыкин, А.В. Салтыков, И.А. Трошкова**

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия
svetlana@iwep.ru*

**POLLUTION OF SOILS AND SOIL-LIKE SUBSTRATES OF MINING LANDSCAPES
OF NORTHWESTERN ALTAI WITH PRIORITY HEAVY METALS**

**A.V. Puzanov, S.V. Baboshkina, T.A. Rozhdestvenskaya,
S.N. Balykin, A.V. Saltykov, I.A. Troshkova**

*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia
svetlana@iwep.ru*

Аннотация. Исследовано содержание основных рудных (Zn, Cu, Pb) и сопутствующих (Cd) элементов в верхних слоях хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината и почв его окрестностей, дана эколого-биогеохимическая оценка уровня их загрязнения. Рассчитаны единичные и интегральные индексы загрязнения субстратов и почв. Наиболее высокие концентрации Cu и Pb, в десятки раз превышающие фоновые содержания в черноземах Северо-Западного Алтая, обнаружены в луговых почвах геохимически подчиненных отвалам ландшафтов. Самое высокое содержание Zn и Cd выявлено в материале нового отвала вблизи стихийной свалки бытовых отходов. Довольно высокая степень металлического загрязнения установлена для чернозема обыкновенного на расстоянии 2 км от отвалов на юг, по направлению господствующих в районе южных ветров.

Введение

Горно-добывающая и горно-перерабатывающая промышленность во всем мире вносят весомый вклад в развитие мировой экономики. Однако, отходы горно-рудного производства являются важным источником дополнительного поступления тяжелых металлов в окружающую среду [1]. Наиболее распространенным побочным продуктом процесса извлечения ценных металлов из добываемой руды являются хвостохранилища: считается, что ими занято 15% от общей площади педосферы Земли [2]. Отвалы пустых пород интенсивно подвергаются водной и ветровой эрозии, их негативное влияние на окружающую среду может распространяться на десятки километров от источника воздействия [3]. На территории Алтайского края много месторождений полиметаллических руд. Более 50 лет их перерабатывали на Алтайском горно-обогатительном комбинате (АГОК). За время работы комбината из отработанной руды с северо-западной стороны от г. Горняка были складированы два больших отвала общей площадью около 1 км². В 1995 году предприятие было признано нерентабельным, и АГОК был закрыт. Сейчас хвостохранилища АГОКа находятся в иссушенном состоянии. В свое время новый отвал АГОКа был частично рекультивирован – сюда завозили почвогрунт, поверхность засеивалась смесью трав. Сейчас здесь произрастают различные виды семейства бобовых, типичные для сухостепных ландшафтов Северо-Западного Алтая злаковые растения, представители разнотравья, кустарники. Поверхность старого отвала остается открытой и лишь по краям на ней произрастают единичные экземпляры растений (люцерна, колосняк, лох).

Материалы и методы

На содержание тяжелых металлов исследован верхний слой субстратов рекультивированных и некультивированных участков старого и нового отвалов АГОКа, а также почвы вблизи

комбината. Пробы отбирались методом конверта, на месте составлялась смешанная проба. В лабораторных условиях пробы высушивали при комнатной температуре, гомогенизировали. В качестве фоновых значений концентраций Cu, Zn, Pb, Cd в почвах были выбраны их содержания в черноземе обыкновенном у с. Корболиха, в 38 км от г. Горняк. Гранулометрический состав исследуемых почв и грунтов определяли пипеточным методом по А.Н. Качинскому, pH – потенциометрически. Валовое содержание Cu, Zn, Pb, Cd в пробах грунта определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе Квант-2мт в ИПА СО РАН. Перед анализом образцы грунта (100 г смешанной пробы) просеивали через сито 1 мм. Далее проводилась кислотная минерализация проб смесью концентрированной азотной кислоты и перекиси водорода.

Значимость опасности каждого отдельного тяжелого металла для почв исследуемого района оценивали по единичному индексу загрязнения: $PI = \frac{C_i}{GB}$, где C_i – содержание металла в почве района исследования; GB – фоновое содержание металла [4, 5, 6], индексу геоаккумуляции (Geoaccumulation Index, I_{geo}) [7, 8] $I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1,5GB} \right)$, где C_i – содержание металла в почве района исследования; GB – фоновое содержание металла. Для интегрированной оценки загрязнения и определения качества почвы или субстрата использовался индекс загрязнения Немецова (Nemerow Pollution Index, NPI) [6, 9, 10,], который учитывает вклад не только каждого тяжелого металла, но и потенциальную опасность металла-загрязнителя с наибольшим со-

держанием, и рассчитывается по формуле: $NPI = \sqrt{\frac{PI_{i\text{ave}}^2 + PI_{i\text{max}}^2}{2}}$, где PI – индекс загрязнения, как отношение концентрации элемента в образце к его нормативному содержанию ($PI = C_i / \text{ОДК}$), $PI_{i\text{max}}$ – это максимальное значение PI, а $PI_{i\text{ave}}$ – среднее значение PI. Также для оценки негативного воздействия нескольких тяжелых металлов применяли суммарный показатель загрязнения (Zc) почвы, который характеризует общую степень загрязнения почв и грунтов обследуемых территорий вредными веществами и определяется по формуле: $Zc = Kc_1 + Kc_2 + \dots + Kc_n - (n-1)$, [11], где n – число загрязняющих веществ (определяемых компонентов), а Kc_i – коэффициент концентрации i-го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением, $Kc_i = C_i / C_{\text{ф}}$.

Результаты и их обсуждение

Гранулометрический состав исследуемых субстратов отвалов АГОКа, почвогрунтов на рекультивированных участках и почв прилегающих территорий изменяется от супесчаного (почвы) до легкосуглинистого и глинистого (субстраты отвалов). Реакция среды субстратов старого отвала кислая, pH 2,8–3,5. Верхние горизонты луговых почв под тростником подчиненных отвалам АГОКа ландшафтов, содержащие намытый со стороны бортов материал самого отвала, также отличаются кислой реакцией среды, pH 3,6–3,8. В почвогрунтах рекультивированных участков нового хвостохранилища реакция среды слабощелочная, pH 7,4–8,3. Верхние горизонты черноземов обыкновенных окрестных ландшафтов характеризуются нейтральной pH-средой.

Содержание основных рудных и сопутствующих элементов в верхних слоях субстратов отвалов АГОКа и почв ландшафтов, находящихся в зоне техногенного воздействия, изменяются в очень широких пределах. Концентрации Zn варьируют от 164 до 1287 мг/кг, Cd от 0,50 до 6,97 мг/кг, Cu от 67 до 1516 мг/кг, Pb от 69 до 1827 мг/кг. Половина образцов почв и субстратов отвалов АГОКа по показателю I_{geo} соответствуют умеренной степени загрязнения цинком, а в 25% случаев – слабой степени. По содержанию Cd 2/3 всех образцов верхних слоев отвалов АГОКа и почв его окрестностей соответствуют слабой и умеренной степени загрязнения. 1/4 всех образцов по содержанию Cu соответствует очень сильной и чрезвычайно сильной степени загрязнения. 30% от всех образцов субстратов и почв достаточно сильно загрязнены свинцом, а 24% соответствуют сильной, очень сильной и чрезвычайно сильной

степени Pb загрязнения.

Максимальные содержания Zn и Cd обнаружены в пункте нерекультивированного участка нового отвала АГОКа, в верхнем слое субстрата возле стихийной свалки бытовых отходов. Наиболее высокие содержание меди и свинца установлены в материале, намытом на поверхность лугово-черноземной почвы геохимически подчиненного старому отвалу ландшафта, в 100 м от его высокого эродированного борта. Верхний слой этой почвы характеризуется кислой рН-средой (в которой возрастает подвижность металлов) и чрезвычайно высоким и опасным уровнем суммарного и интегрального металлического загрязнения ($Z_c=165$ и $NPI=22$).

Довольно высокая степень металлического загрязнения почвенного покрова установлена в пункте на расстоянии 2 км от отвалов на юг, по направлению господствующих в районе южных ветров. Сильное загрязнение кадмием и свинцом верхних горизонтов чернозема обыкновенного здесь объясняется дополнительным аэрогенным привносом пыли, насыщенной тяжелыми металлами, со стороны нерекультивированных поверхностей отвалов АГОКа. Ближе к отвалам (в 100 м), но в противоположную преобладающим ветрам сторону загрязнение чернозема обыкновенного Cu, Zn, Cd, Cd соответствует допустимому уровню. На расстоянии 3 км от отвалов на север содержание тяжелых металлов в почве в целом уже соответствует фоновому, ($NCP=0,3$, $Z_c<0,9$), загрязнение отсутствует.

Более дифференцированную оценку степени загрязнения субстратов отвалов АГОКа и почв его окрестностей дает российский суммарный показатель Z_c .

Применение фиторемедиации на новом хвостохранилище вносит значительный вклад в улучшение качества окружающей среды, снижая развеивание поверхности отвалов и эрозийные процессы.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН
(проект FUFZ-2021-0003).*

Литература

1. Рихванов Л.П., Белан Л.Н., Усманова Т.В. Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2017. – 437 с.
2. Месяц С.П., Волкова Е.Ю. Современный взгляд на рекультивацию породных отвалов горнодобывающей отрасли // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 56. – С. 467–478.
3. Mouhsine E., Ouazzani N., Gharmali A. et al. Speciation of heavy metals in the soil and the tailings, in the zinc-lead Sidi Bou Othmane Abandoned Mine // Environmental Earth Sciences. – 2013. – Vol. 3(8). – P. 138–146.
4. Varol M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques // Journal of Hazardous Materials. – 2011. – Vol. 195. – P. 355–364.
5. Min X., Xie X., Chai L. et al. Environmental availability and ecological risk assessment of heavy metals in zinc leaching residue // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2013. – Vol. 23(Is. 1). – P. 208–218.
6. Храпай Е.С., Кузина А.А., Колесников С.И. et al. Оценка содержания тяжелых металлов в почве рекультивированного хвостохранилища Урупского горно-обогатительного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 4. – P. 56–68.
7. Nowrouzi M., Pourkhabbaz A. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran // Chemical Speciation & Bioavailability. – 2014. – Vol. 26. – P. 99–105.
8. Авдощенко В.Г., Климова А.В. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв города Петропавловска-Камчатского, Камчатский край // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2022. – № 61. – С. 65–81.

9. Gong Q., Deng J., Yunchuan X. et al. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing // *Journal of China University of Geosciences*. – 2008. – Vol. 19. – P. 230–241.
10. Hu B.F., Jia X.L., Hu J. et al. Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze River Delta, China // *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. – 2017. – Vol. 14. – P. 1042.
11. Методические указания МУ 2.1.7.730-99 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. – М., 1999. – 18 с.

УДК 631.8:631.95

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА СОДЕРЖАНИЕ
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЛЕНА В ПРОФИЛЕ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ
ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

А.В. Синдирева, Н.Е. Гурьев

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

a.v.sindireva@utmn.ru, nikitka.gurev.1996@mail.ru

**GEOCHEMICAL FACTORS INFLUENCING
ON SELENIUM CONTENT AND DISTRIBUTION IN THE PROFILE OF GRAY FOREST
SOILS OF THE SOUTH OF TYUMEN REGION OBLAST**

А.В. Синдирева, Н.Е. Гурьев

Tyumen State University, Tyumen, Russia

a.v.sindireva@utmn.ru, nikitka.gurev.1996@mail.ru

Аннотация. В статье проведен анализ содержания Se в профиле почв агроценозов и условно фоновых почв Ярковского и Упоровского районов Тюменской области. Выделены зоны аккумуляции и рассеивания Se в профиле почв, а также определена геохимическая связь между содержанием Se и макро- и микроэлементами, естественными и техногенными радионуклидами.

Введение

Селен (Se) как микроэлемент выступает в роли антиоксиданта, который при недостатке или переизбытке в живом организме может оказывать пагубное влияние. Источником поступления Se в компоненты окружающей среды являются горные породы, от которых зависит содержание этого микроэлемента в почвах, поверхностных и подземных водах, растениях, животных и человеке. Важным научным и практическим вопросом является изучение содержания Se в объектах окружающей среды, а также принципов его распределения с выявлением зон аккумуляции и рассеивания в почвах различных типов и подтипов. Распределение соединений Se по профилю почвы неоднородно и зависит от зональных факторов, генезиса почв, физико-химических процессов и т.д. На аккумуляцию Se в верхнем почвенном горизонте значительно влияет содержание гумуса. Российскими и зарубежными авторами отмечено, что в почвах с большим содержанием гумуса происходит аккумуляция данного микроэлемента в верхних горизонтах. К этим типам почв относятся черноземы, в которых содержание Se может достигать 0,3–1 мг/кг. Учитывая изменения условий почвообразовательных процессов и, как следствие, типов и подтипов почв, содержание Se может варьироваться в широких диапазонах. Так, диапазон содержания Se в некоторых почвах США составляет 1,1–10; Англии в среднем 0,48; Китае: 0,06–0,32; Индии: 0,18–0,78 и Норвегии: 0,043–2,734 мг/кг. Дальнейшее накопление этого микроэлемента в профиле почвы происходит, как правило, в суглинистых, глинистых горизонтах. Содержание Se в подстилающих (материнских) горных породах почв находится на достаточно низком уровне. Область максимальной аккумуляции этого микроэлемента обычно совпадает с зоной концентрации карбонатов и гуматов [2–3, 6–7, 9, 11].

Цель: оценить влияние геохимических факторов на содержание и распределение Se в профиле серых лесных почв юга Тюменской области. Задачи: оценить содержание Se в почвах агроценозов и серой лесной почвы на примере Упоровского и Ярковского районов Тюменской области; установить зоны аккумуляции и рассеивания Se в профиле почв агроценозов и серой лесной почвы; определить влияние геохимических факторов, оказывающих влияние на содержание Se в профиле почв агроценозов (серой лесной почвы).

Объекты и методы

Лабораторный анализ проб почв выполнен в аккредитованной испытательной лаборатории филиала ФГБУ ЦЛАТИ по УФО «по Тюменской области. Определение валового Se выполнено на атомно-абсорбционного спектрофотометра «ЭТА Agilent AA-240z», принцип работы которого, основан на использовании индуктивно-связанной аргонной плазмы. Сравнение со стандартными образцами произведено в Центре коллективного пользования «Рациональное природопользование и физико-химические исследования» ТюмГУ. Работа выполнена согласно действующим нормативным документам. Определение содержания естественных (K-40, Th-232) и техногенных радионуклидов (Cs-137) выполнено в лаборатории радиационной экологии ШЕН ТюмГУ.

Результаты и обсуждения

Содержание валового Se и его распределение в профиле почв агроценозов подтипов светло-, темно-серых лесных почв юга Тюменской области отображено на рисунке 1.

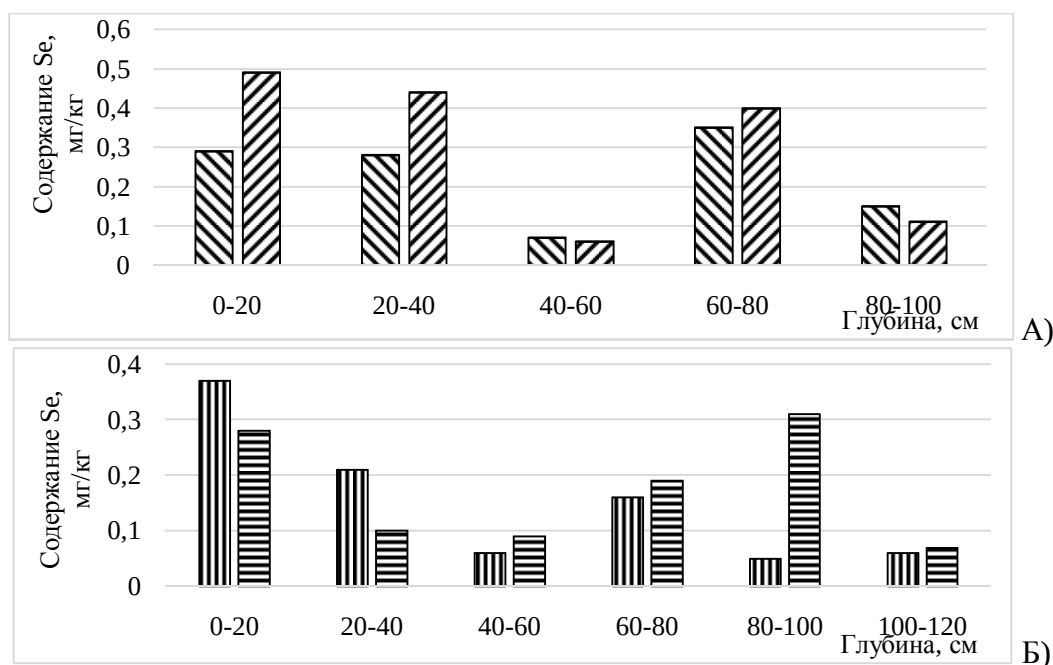


Рис. 1. Вертикальное распределение Se в серых лесных почвах Упоровского и Ярковского районов. А) вертикальное распределение Se в почвах агроценозов (темно-серой и светло-серой лесной почвы); Б) вертикальное распределение Se в темно-серой и светло-серой лесной почвы; содержание Se: – в почвах агроценозов (темно-серой лесной почве), – в почвах агроценозов (светло-серой лесной почве), – в светло-серой лесной почве, – в темно-серой лесной почве

Диапазон содержания Se в профиле почв агроценозов, темно- и светло-серых лесных почв находится в интервале от 0,06–0,37 (темно-серые лесные почвы) и 0,07–0,35 (почвы агроценозов «темно-серые лесные»); от 0,07–0,28 (светло-серые лесные почвы) и 0,07–0,49 мг/кг (почвы агроценозов светло-серые лесные). Содержание Se не превышает действующих предельно допустимых концентраций в почвах (10 мг/кг) по Kloke, полученные результаты находятся в пределах кларка в земной коре (0,01 мг/кг) [2, 8, 10]. Максимальное содержание изучаемого микроэлемента наблюдается в горизонте Апах/А1 и ВС/С. Интенсивное накопление Se в горизонте Апах/А1 связано с его биологической аккумуляцией растениями. Со-

держание изучаемого микроэлемента в горизонте Апах/А1 будет зависеть от мощности гумусового горизонта, степени его антропогенной преобразованности, уклона рельефа, содержания макро- и микроэлементов, которые оказывают влияние на его аккумуляцию и рассеивание [1–5]. С увеличением глубины отбора проб почвы наблюдается тенденция к снижению содержания Se, которое приходится на горизонт В. Низкое содержание валового Se в горизонте В составляет 0,05 и 0,06 мг/кг в темно- и светло-серых лесных почвах соответственно. Второй максимум накопления Se в изучаемых почвах наблюдается в горизонте ВС, данная особенность объясняется изменением механического состава почвы (с суглинистого на глинистый), а также появлением карбонатного слоя, который способствует увеличению фиксации изучаемого микроэлемента и уменьшению миграции в нижележащую материнскую породу. Появление карбонатного слоя в материнской породе связано с географическим положением изучаемых разрезов (расположением в границах водоразделов крупных рек юга Тюменской области).

Геохимическая обстановка и антропогенная нагрузка территории являются важными факторами аккумуляции и рассеивания многих макро- и микроэлементов, в том числе и Se. Анализ взаимосвязи между содержанием Se и основными химическими элементами, а также естественных и техногенными радионуклидами выполнен на примере почв агроценозов (серые лесные почвы), расположенных на реперных пунктах наблюдения ФГБУ ГСАС «Тюменский». В обоих типах (подтипах) почв установлены параллельные взаимосвязи с содержанием гумуса ($r=0,37$), Cd (темно-серая лесная, $r=0,30$; светло-серая лесная, $r=0,57$), Ni (темно-серая лесная, $r=-0,84$; светло-серая лесная, $r=-0,35$), Hg (темно-серая лесная, $r=0,86$; светло-серая лесная, $r=0,44$). Взаимосвязь содержания Se с остальными химическими элементами варьируется индивидуально в зависимости от типа (подтипа) почв. Влияние естественных и техногенных радионуклидов на содержание Se неоднородно и зависит от типа (подтипа) почв. В почвах агроценозов (светло-серая лесная) корреляционная связь установлена с Th-232 ($r=0,58$) и Cs-137 ($r=0,48$). В темно-серой лесной геохимические связи между содержанием Se и содержанием K-40, Th-232 и Cs-137 не установлена.

Заключение

Установлена преимущественная аккумуляция Se в профиле почв агроценозов и серых лесных почв выявлена в горизонтах Апах/А1 и ВС/С. Интенсивное накопление Se в горизонте Апах/А1 связано с его биологической аккумуляцией растениями. На содержание Se оказываю влияние содержание гумуса, Cd, Ni, Hg, Th-232, Cs-137.

Литература

1. Большаков В.А., Краснова Н.М., Борисочкина Т.И. и др. Аэрогенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. – М. : Почв. институт им. В.В. Докучаева, 1993. – 90 с
2. Гурьев Н.Е., Синдирева А.В., Чистякова Н.Ф. и др. Особенности аккумуляции селена в ландшафтах города Тюмени (на примере Калининского административного округа) // Почвы и окружающая среда. – 2024. – Т. 7, № 1. – doi: 10.31251/pos.v7i1.243.
3. Синдирева А.В., Эрдэнэцогт Э., Голубкина Н.А. и др. Интегральный подход к нормированию действия селена в системе почва-растение-животные для разработки научно-обоснованной профилактики микроэлементов в регионах России и Монголии. – Омск : Издательский центр КАН, 2024. – 244 с.
4. Синдирева А.В., Голубкина Н.А. Оценка селенового статуса территории Омской области // Омский научный вестник. – 2011. – №1(104). – С. 192–196.
5. Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Degtyaryov A.P. et al. Characteristics of the accumulation of metals by plants and the activity of soil enzymes in metal-logenic territories of the northern Caucasus // Geochemistry international. – 2022. – Vol. 60(8). – P. 772–778.
6. Charak V.S., Tripathi R.R. // J. Indian. Soc. Soil. Sci. – 1989. – Vol. 37(1). – P. 167.

7. Fisher S.E., Munshower F.F., Parady F. Reclaiming mine soils and overburden in the Western United States // Reclaiming mine soils and overburden in the western United States: Analytic Parameters and Procedures / edited by R.D. Williams, G.E. Schuman . – Ankeny, IA.: Soil Conserv. Soc. Am., 1988. – P. 109.
8. Klok A. Richtwerte 80. Orientierungsdaten für tolerierbare einiger Elemente in Kulturboden // Mitteilungen des VDLUFA. – 1980. – Bd. 2, H. 1-3. – S. 9.
9. Singh V., Malik R.S. // J. Indian. Soc. Soil. Sci. – 1985. – Vol. 33(4). – P. 919.
10. Tan J., Zhu W., Wang W., Selenium in soil and endemic diseases in China // Sci. Tot. Environ. – 2002. – Vol. 248. – P. 227-235
11. Wu X., Lag J. // Acta Agr. Scand. – 1988. – Vol .38(3). – P. 271.

УДК 631.95

**ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА МИГРАЦИЮ КОБАЛЬТА
В ПАХОТНОМ ГОРИЗОНТЕ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ
ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

А.В. Синдирева¹, Н.С. Ткаченко¹, С.Г. Котченко²

¹*Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия*

²*Государственная станция агрохимической службы «Тюменская», Тюмень, Россия*

a.v.sindireva@utmn.ru, nikita.tkachenko1998@mail.ru

**FACTORS AFFECTING COBALT MIGRATION
IN THE PLOUGH HORIZON OF GRAY FOREST SOILS
IN THE SOUTH OF THE TYUMEN REGION**

A.V. Sindireva¹, N.S. Tkachenko¹, S.G. Kotchenko²

¹*Tyumen State University, Tyumen, Russia*

²*State Station of Agrochemical Service "Tyumenskaya", Tyumen, Russia*

a.v.sindireva@utmn.ru, nikita.tkachenko1998@mail.ru

Аннотация. Проведен химический анализ почвенных образцов пахотного горизонта южных территорий Тюменской области для определения концентрации кобальта. Изучались образцы различных видов почв: темно серые лесные и светло серые лесные. Использовался метод атомно-абсорбционной спектроскопии. Показано влияние географического расположения, почвообразовательных процессов и антропогенной нагрузки на уровень накопления кобальта в почвенном профиле. Исследование актуально для оптимизации сельскохозяйственного производства и мониторинга экологического состояния региона.

Введение

В совокупности с общими экологическими условиями территории, микроэлементы являются одним из важных факторов, которые влияют на функционирование и существование живых организмов. В частности, в состав витамина В12 входит кобальт, который участвует в формировании гемоглобина и белков, а также в образовании нуклеиновых кислот и т.д. [1–6].

В земной коре содержится очень мало кобальта, так как он является рассеянным микроэлементом. Миграция по трофической цепи и его распространение во многом определяются особенностями их содержания в почвообразующих породах, являющихся источниками их поступления в состав компонентов ландшафта. [7–10].

Важным научно-практическим вопросом является исследование содержания данных микроэлементов в объектах окружающей среды и их распределения, а также способов извлечения и использования с целью выявления зон накопления и рассеивания в почвах различных типов и подтипов.

Материалы и методы

Описание и отбор проб светло-серых и темно-серых лесных почв проводилось в летние полевые сезоны 2021–2023 гг. В процессе описания проводилось изучение мощности горизонтов, границы и формы перехода между ними, плотности, механического состава, структуры, включений и новообразований, окраса по Munsell soil color book. Описание почв проводилось от верхнего пахотного горизонта (Апах) до материнской породы (С). Отбор проб почв проводился послойно с интервалом в 20 см согласно действующим нормативным документам.

Метод определения кобальта использовался атомно абсорбционный. Атомно-абсорбционный анализ – метод аналитической химии, основанный на селективном поглощении электромагнитного излучения определенной длины волны свободными от всех молекулярных связей нейтральными атомами определяемого элемента:

- селективный источник света изучаемого элемента (СИС);
- атомизатор (Ат) для перевода данного элемента из реальной пробы в атомарную форму;
- спектральный прибор (СП) для выделения аналитической линии этого элемента;
- электронную систему (ЭС) для детектирования, усиления и обработки аналитического сигнала поглощения.

Результаты и обсуждения

Особый практический и научный интерес представляет изучение содержания и распределения кобальта в профиле типичных почв юга Тюменской области. Полученные материалы, характеризующие содержание кобальта в профилях почв, могут быть использованы в сельскохозяйственном производстве, при проведении экологического мониторинга и в научных целях. Валовое содержание кобальта и его распределение исследовалось в профиле светло- и темно-серых лесных почв Упоровского и Ярковского районов юга

Концентрация кобальта в темно- и светло-серых лесных почвах Упоровского и Ярковского районов колеблется от 0,03 до 0,06 мг/кг в случае темно-серых почв и от 0,02 до 0,09 мг/кг в случае светло-серых почв. Уровень кобальта не превышает установленных ПДК для почв, которые составляют 5 мг/кг в соответствии с гигиеническими нормативами пдк в почве [4–5]. Полученные данные находятся в пределах значений, типичных для земной коры (10 мг/кг для кобальта) [6–8].

Таблица 1. Содержание агрохимических показателей и химических элементов в профиле темно-серых лесных почв юга Тюменской области по данным ФГБУ ГСАС «Тюменская»

Показатель		Глубина отбора, см					ПДК/ ОДК
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	
Гумус, %		6,13	3,00	2,04	1,84	1,56	-/-
рН		5,6	5,5	5,5	4,3	4,4	-/-
Валовое содержание, мг/кг /	S	6,2	7	6,4	7,1	6,2	160/-
	Fe	9500	9500	10250	10500	10000	-/40000
	Co	0,03	0,04	0,05	0,03	0,06	5/-
	As	4,1	3,1	4,9	6,6	3,7	-/5
	Cd	0,112	0,085	0,01	0,01	0,06	-/1
	Pb	12,7	10,4	10,3	8,2	10	-/65
	Ni	21,6	21,6	29	23,5	24,7	-/40
	Hg	0,02	0,016	0,013	0,019	0,012	2,1/-
	Zn	31,9	31,3	40,4	34,6	30,6	-/110
	Cu	11,2	9,6	13,6	11,7	10,8	-/66

Наивысшая концентрация изучаемых микроэлементов отмечается в горизонтах Апах (0–12 см) и ВС (74–100 см). Интенсивное накопление кобальта в горизонте Апах обусловлено его биологической аккумуляцией, которая является наиболее распространенной и стойкой формой фиксации микроэлементов в почвенном растворе. Содержание исследуемых микроэлементов в горизонте Апах будет зависеть от толщины гумусового слоя, степени антропогенного воздействия, метеорологических условий, рельефа, наличия макро- и микроэлементов, конкурирующих с ними на геохимическом уровне, рН почвы, а также от вида и фазы развития растений, произрастающих на данной территории. С увеличением глубины отбора

образцов почвы наблюдается тенденция к снижению содержания кобальта, которое приходится на горизонт В (12–74 см).

Заключение

На содержание кобальта в темно- и светло-серых лесных типах почв оказывает влияние множество факторов, среди которых можно выделить:

- 1) генетическая особенность формирования почвенных горизонтов и материнской породы в условиях юга Тюменской области;
- 2) мощность гумусного горизонта;
- 3) геохимическая связь кобальта с агрохимическими показателями и микроэлементами в профиле почв;
- 4) на содержание кобальта оказывают влияние: гумус, pH;
- 5) на содержание кобальта наибольшее влияние оказывают: железо, кадмий, свинец, ртуть (в темно-серых лесных почвах); свинец, цинк, медь (в светло-серых лесных почвах).

Литература

1. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. – М. : Недра, 1976. – 247 с.
2. Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л. Словник. Термины, их краткое определение, справочные материалы по почвенной экологии, географии и классификации почв. – М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. – 138 с.
3. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. – М. : Наука, 1957. – 218 с.
4. ГН 2.1.7.2041–06. Гигиенические нормативы содержания химических элементов в почве. – М. : Минздрав России, 2006. – 15 с.
5. ГН 2.1.7.2042–06. Ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах: постановление. – М. : Минздрав России, 2006. – 10 с.
6. Стрижма Т.П., Леонтьев С.И. Прикладная геохимия: учебное пособие. – Красноярск : Сиб. фед. ун-т, 2015. – 252 с.
7. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. – Новосибирск : Наука, 1990. – 286 с.
8. Klok A. Orientierungsdaten für tolerierbare einiger Elemente in Kulturboden // Mitteilungen des vdluf. – 1980. – Bd. 2, H. 1-3. – S. 9.
9. Синдирева А.В. Локальные биогеохимические циклы микроэлементов в агроэкосистемах Западной Сибири // Геохимия. – 2023. – Vol. 68(10). – С. 1045–1058.
10. Большаков В.А., Краснова Н.М., Борисочкина Т.И. и др. Аэрогенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. – М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1993. – 90 с.

УДК: 502.3:631.4

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE BIOGEOCHEMICAL COMPOSITION OF THE SOILS OF SOUTHERN KAZAKHSTAN

R.T. Turekeldiyeva¹, R.Kh. Kurmanbayev², G.B. Toktaganova², S.T. Duisenbaeva³,
A.T. Baikenzheyeva², D.D. Orynbekov², S.T. Turspenbetova²

¹M.Kh.Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan

²Korkyt AtaKyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

³Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan
rimm_1205@mail.ru, rakhat72@mail.ru, gulzhas@mail.ru, saule631105@mail.ru, ainur.20@mail.ru,
beknur_kz@bk.ru, turspenbetova@mail.ru

Abstract. The paper presents an ecological assessment of the biogeochemical composition of the soils of the Turkestan, Kyzylorda and Zhambyl regions of Southern Kazakhstan. A comparative analysis of the content of heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn) and macronutrients (Ca) was performed using spectrophotometry and neutron activation analysis methods. Based on the calculated geochemical pollution index (I_{geo}), zones of moderate and mild pollution have been established, with the highest level of pollution recorded in the Zhambyl region. The results obtained indicate the need to implement monitoring of soil conditions, environmental remediation and environmental management programs. The research materials can be used for ecological zoning, agrochemical mapping and the development of environmental protection measures [1].

Introduction

South Kazakhstan is an important agro-industrial region with different climatic conditions. Extensive economic activity, including agriculture, industry, and mining, has a significant impact on the state of the land cover. The soil cover of the southern region plays an important role in agriculture, ecology and food security. The purpose of the ecological assessment of the biogeochemical composition of soils in the southern regions is to determine the degree of pollution, to establish the spatial distribution of elements.

Objects and methods of research

Field studies were conducted in three administrative regions of Southern Kazakhstan (Turkestan, Kyzylorda and Zhambyl regions). Soil samples were taken at depths of 0–30 cm, in different landscape zones: foothills, plains, floodplain lands. Methods of analysis:

- Instrumental neutron activation analysis.
- A spectrophotometric method for estimating the content of heavy metals (Pb, Cd, Zn, Cu).
- Calculation of geochemical pollution coefficients (I_{geo}) [2].

The results and their discussion

To visually interpret the results of studies of the biogeochemical composition of the soils of Southern Kazakhstan, diagrams were constructed for the main elements: lead (Pb), cadmium (Cd), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn) and calcium (Ca). Each diagram shows the spatial distribution of element concentrations in three regions – Turkestan, Kyzylorda and Zhambyl regions.

This analysis makes it possible to identify areas with high levels of pollutants, compare pollution levels between regions, and identify possible anthropogenic influences or natural geochemical provinces.

The diagrams show how the content of each element varies in the soils of Turkestan, Kyzylorda and Zhambyl regions.

The highest concentration of lead was recorded in Zhambyl region (95 mg/kg), which exceeds the values in Turkestan and especially Kyzylorda regions. This indicates an industrial burden, especially in the districts of Taraz and Karatau, where chemical and metallurgical enterprises are located. Possible sources are emissions from enterprises and accumulation of Pb in the soil due to the low

mobility of the element.

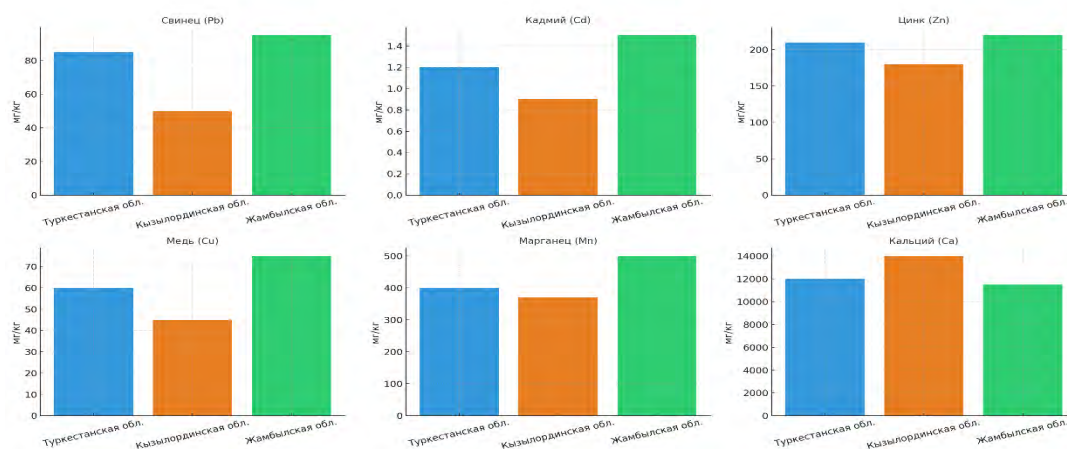


Diagram 1. The content of chemical elements in the studied regions

The maximum value of cadmium was also noted in Zhambyl region (1.5 mg/kg). This element is toxic even in small concentrations. Its increased content is probably related to the use of phosphate fertilizers and emissions from industrial enterprises.

In the Kyzylorda region, these values are minimal, which may be due to lower industrial activity.

Zinc shows high values in all three regions, especially in Zhambyl region (220 mg/kg). Although it is a trace element, at concentrations above 150 mg/kg there is already a potential danger to living organisms. Increased levels of Zn may be the result of intensive use of fertilizers, pesticides, and emissions from industrial facilities. Zhambyl region is again in the lead (75 mg/kg), which indicates an industrial impact. Copper actively accumulates in the upper soil horizon, especially in acidic and loamy soils.

In the Kyzylorda region (45 mg/kg), the values are lower, probably due to a more alkaline environment and a lower anthropogenic load.

The maximum concentrations of Mn are observed in the Zhambyl region (500 mg/kg), which is associated with both natural geochemical features (phosphorite-bearing rocks) and industrial pollution. Manganese in high doses can have toxic effects on plants.

The Kyzylorda region is characterized by elevated calcium levels (14,000 mg/kg), which is associated with soil salinity and a natural geochemical background. Turkestan and Zhambyl regions have similar values (~11500-12000 mg/kg), typical for carbonate soils.

Table 1. Geochemical Pollution Index (I_{geo}) by chemical elements in the soils of the southern regions of Kazakhstan

Element	Regions		
	Turkestan	Kyzylorda	Zhambyl
Lead (Pb)	1.50	0.74	1.66
Cadmium (Cd)	1.42	1.00	1.74
Zinc (Zn)	1.00	0.78	1.07
Copper (Cu)	1.00	0.58	1.32
Manganese (Mn)	-0.58	-0.70	-0.26
Calcium (Ca)	-0.32	-0.10	-0.38

In order to compare the assessment of pollution within the studied sites, the values of the geochemical pollution index (I_{geo}) for each element in the soils of the three southern regions of Kazakhstan

are calculated in Table 1.

Zhambyl region shows the highest I_{geo} values for all major pollutants (Pb, Cd, Cu), which indicates moderate soil pollution and potential environmental risk.

Turkestan region also shows moderate pollution in lead, cadmium and zinc.

The Kyzylorda region is mainly within the limits of low pollution, with the exception of cadmium, where the level borders on moderate. Manganese and calcium in all regions are within the background or reduced values ($I_{geo} < 0$), which confirms their natural origin and the absence of anthropogenic accumulation [1, 3].

Conclusion

- The studied areas are subject to various types of anthropogenic influence.
- The main pollutants are heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn) and macronutrients accumulated as a result of industrial and agricultural activities.
- For the purpose of environmental assessment in the Zhambyl region, there is a need for systematic environmental monitoring of the biogeochemical composition of soils and the development of integrated environmental protection measures.

References

1. Turekel'diyeva R.T. Biologicheskiy krugovorot tyazhelykh metallov v sisteme «pochva-rasteniye-udobreniye». – Taraz : Dulati universitet, 2016. – 175 p.
2. Gosstandart R.K. Metody otbora i analiza pochv. – Astana : Agroiinform, 2016.
3. Tursunov A.T. Biogeokhimicheskiy monitoring pochvennykh resursov Yuzhnogo Kazakhstana // Izvestiya NAN RK. Seriya: Geologicheskie nauki – 2020. – №3. – P. 45–52.

УДК 550.47

РАЗВИТИЕ СУЛЬФОГЕНЕЗА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАСОЛЕНИЯ

Е.А. Хайрулина¹, Н.В. Митракова²

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
elenakhay@gmail.com

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
mitrakovanatalya@mail.ru

SULFIDE FORMING UNDER TECHNOGENIC SALINIZATION

E.A. Khayrulina¹, N.V. Mitrakova²

¹Perm State National Research University, Perm, Russia
elenakhay@gmail.com

²Perm State National Research University, Perm, Russia
mitrakovanatalya@mail.ru

Abstract. Изучен процесс образования сульфидных солончаков кислого и слабощелочного класса в долинах рек Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей в условиях поступления высокоминерализованных подземных вод, загрязненных стоками отходов калийной промышленности. Установлено, что близкое залегание Na–Cl подземных вод приводит к повышению содержания K^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , $Fe_{общ}$ в почвах и донных отложениях в результате процессов выщелачивания и ионного обмена, а образование гидротроилита – водного сульфида железа, и сероводородной обстановки обеспечивается высокой микробиологической активностью сульфатредуцирующих бактерий, чья деятельность поддерживается высоким содержанием сульфатов и азотных соединений в подземных и поверхностных водах.

Введение

Поступление техногенных потоков в окружающую среду может вызывать как прямые, так и косвенные последствия, которые сложно идентифицировать как результат техногенного воздействия. Анализ геохимических и биогеохимических процессов в природно-техногенных системах может выявить запуск сопряженных ландшафтно-геохимических процессов, приводящих к существенной трансформации ландшафтов. Наиболее интенсивное техногенное воздействия характерно для районов добычи полезных ископаемых. Анализ опосредованных геохимических процессов был проведен на одном из крупнейших разрабатываемых месторождений калийных солей в мире Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей (ВКМКС), которое разрабатываете около 90 лет. Его площадь составляет более 6,5 тыс. км² [1]. Основным источником техногенного влияния на окружающую среду являются отходы калийной промышленности. На территории ВКМКС накоплено более 270 млн т галитовых отходов и более 30 млн м³ глинисто-солевых шламов. Фильтрационные высокоминерализованные Na–Cl стоки поступают в подземные воды, разгружаются в поверхностные воды, при близком залегании засоленных подземных вод формируются очаги почвенного засоления. В некоторых случаях засоление рек и почв сопровождается формированием сероводородной обстановки, на поверхности формируются отложения охристого цвета в наземных экосистемах отсутствует растительный покров. Целью исследования является анализ факторов сульфидогенеза в таежных ландшафтах кислого и кисло-глеевого класса.

Материалы и методы

Определялись макро- и микрокомпоненты поверхностных и подземных вод, донных отложений, почв. Агрохимический анализ и содержание макроэлементов анализировались стандартными методами. Микроэлементы определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ELAN 9000 после микроволнового кислотного разложения. Мине-

ральные компоненты почв и донных отложений анализировались методом XRD, используя настольный дифрактометр D2 Phaser, минералогия почвы – биноклем Nikon 104. Морфологию и микроструктуру образцов исследовали с помощью TESCAN MIRA 3 LMU и высокопроизводительного аналитического сканирующего электронного микроскопа (SEM). Анализ твердых фаз донных отложений и почв дополнен энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (EDS; система Oxford Instrument X-Max 80 EDS). Таксономическое разнообразие бактериальных сообществ изучено с помощью метагеномного анализа по генам 16S rPHK на платформе MiSeq (Illumina). Сероводород в почвах определялся на фотометре UNICO 1201. Типологическая принадлежность почв определена по World Reference Base for Soil Resources (2014) [2].

Результаты и их обсуждение

Многолетние исследования установили, что наибольшая трансформация почв в долинах рек в местах близкого залегания высокоминерализованных Na–Cl подземных вод, где формируются ареалы засоленных почв с повышенным содержанием Cl^- , K^+ , SO_4^{2-} , Na^+ и сероводородной обстановкой на фоне зональных аллювиальных гумусовых глеевых почв.

Минеральный анализ верхнего горизонта почв (мощностью 0–3–5 см) показал, что содержание железистых образований достигает 85% от нерастворимой части пробы, а ожелезненных растительных остатков в некоторых пробах – 20%. Определены гидрогетит, гетит и магнетит. Органический материал и кремнистые остатки диатомовых водорослей покрыты оксидами и гидроксидами железа, кристаллами галита и обогащены Ca и Cl с примесью Mg, Na, K, Al, P и S.

Нижний почвенный горизонт, мощностью 3–15 см, представлен черным гелеобразным веществом с высоким содержанием остатков растительности и диатомовых водорослей. Содержание гидрогетита достигает 84%, обнаружены гематит и магнетит. Происходит образование сероводорода, значение окислительно-восстановительного потенциала снижается ($E_h = -156 \dots -197$ мВ), развиваются восстановительные условия, и формирование гидротроилитового горизонта.

В природных условиях гидротроилит – водный сульфид железа – образуется в сульфатных водоемах степной и пустынной зон, где развивается десульфуризация и продуцируется H_2S . Гелеобразное вещество гидротроилитового горизонта, как и остатки диатомовых водорослей, обогащены Ca, Fe, Cl, K, Na, S и P. Ниже гидротроилитового горизонта расположен горизонт с глеевой обстановкой.

О связи сероводородной обстановки и высокого содержания железистых минералов в почвах с засоленными подземными водами свидетельствует анализ донных отложений шлейфа соленых родников. Содержание сероводорода в донных отложениях увеличивается до 23,1 мг/кг. Значение показателя E_h изменяется от –198 до –249 мВ, что свидетельствует о развитии резко восстановительных условий. Поверхность донных отложений покрыта осадком из железистых образований, в основном, состоящих из Fe, O, Si и Ca. Бактериальные сообщества покрыты железистой коркой, основной элементный состав – Fe, O, Si, Ca и P. В некоторых корках есть примесь K. По данным РФА, в донных отложениях массовая доля оксидов железа составляет более 50%. О связи состава донных отложений с засоленными подземными водами свидетельствует повышенное содержание оксидов K, Ba, Na, Sr, а также элементов Cl, Br и Rb.

Источником железа, в основном, являются гидрооксиды железа шешминских пестроцветных пород, почвенные минералы и отходы калийного производства, которые более активно выщелачиваются под воздействием техногенных рассолов.

Развитие сульфат редукции и окисления железа в анаэробных условиях почвенной среды и донных отложениях происходит благодаря деятельности бактерий. При доминировании обычных для почвенной и водной среды протеобактерий в почвенных образцах значитель-

В горизонте, залегающем на глубине от 14 до 40 см в условиях анаэробно-обитаемости состав микрофлоры кардинально менялся. Наиболее многочисленными (26,38%) на данной глубине были бактерии рода *Thiomicrospira*, известные как анаэробные облигатно хемолитотрофные бактерии, окисляющие железо и серу. Также в значительном количестве (9–10%) обнаружены бактерии родов *Marinobacter*, *Marinomonas*, *Idiomarina*, известные как обитатели морской среды, 7% составляли эpsilon-протеобактерии рода *Sulfurimonas*, характеризующиеся способностью к денитрификации и окислению серы.

Заключение

Вероятность развития опосредованных геохимических процессов необходимо учитывать при прогнозе поступления техногенных высокоминерализованных вод и оценке экологического ущерба.

Литература

- 487

УДК 504.53.054

**СТАБИЛЬНОСТЬ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ГОРНОГО ЦЕНОЗА**

А.С. Харыбина, Н.П. Самохина, Е.А. Филимоненко
Университет «Сириус», федеральная территория Сириус, Россия
harybina.as@talantiuspeh.ru

**STABILITY OF SOIL ORGANIC MATTER
DEPENDING ON THE TYPE OF MOUNTAIN CENOSIS**

A.S. Kharybina, N.P. Samokhina, E.A. Filimonenko
Sirius University of Science and Technology, Sirius Federal Territory, Russia
harybina.as@talantiuspeh.ru

Abstract. В условиях субальпийского луга биоразлагаемость подстилки выше на 50%, чем в смешанном лесу. Пул потенциально минерализуемого углерода подстилки снижается с увеличением соотношения C:N и ростом ее термической стабильности. Как в подстилке, так и в почве под лесом и лугом преобладает термически лабильный пул органического вещества. Содержание термически стабильного и устойчивого органического вещества в почве под лесом на 5% выше по сравнению с почвой субальпийского луга.

Введение

Стабильность почвенного органического вещества (ПОВ) определяет способность почвы смягчать последствия изменения климата за счет более длительного сохранения углерода (C) в почве. Стабильность органического вещества (ОВ) зависит от его биогеохимического качества и определяет его устойчивость к абиотическим и биотическим воздействиям [3], в том числе к микробному разложению. В результате потепления в горных районах происходит смещение верхней границы леса [2], что приводит к вытеснению субальпийских и альпийских фитоценозов лесами. Продвижение лесного пояса на луговые территории также происходит при забрасывании земель, ранее используемых для выпаса скота. Изменение типа растительности ведет к коренным перестройкам в почвенном цикле C и процессах стабилизации ПОВ [1], поскольку растительность является основным прекурсором ПОВ.

Материалы и методы

Для оценки влияния типа горного ценоза на стабильность ПОВ были исследованы смешанный лес (1700–1850 м.н.у.) и субальпийский луг (2000 м.н.у.) на территории Кавказского биосферного заповедника (43°42'35" с.ш. 40°22'34" в.д.). Почвы (0-5 см) и подстилка были отобраны на участках смешанного леса в 6 полевых повторностях и смешанного луга в 3 полевых повторностях в августе 2024 года.

Подстилка была высушена до постоянной массы и каждый образец разделен на две части: первая – измельчена в пудру на вибрационной шаровой мельнице Retsch MM400 для элементного и термического анализов, вторая – механически измельчена для определения разлагаемости ее ОВ за счет оценки кумулятивного выделения C в ходе длительной инкубации. Почвы были высушены при комнатной температуре и просеяны через сито 2 мм для оценки скорости микробного дыхания, углерода микробной биомассы и приготовления водной вытяжки для первичной инокуляции подстилки при ее инкубировании, а также измельчены в пудру для термического и элементного анализов.

Содержание C и азота (N) определялось методом сухого каталитического сжигания на элементном анализаторе Vario Pyro Cube (Elementar, Германия). Термический анализ подстилки и почв выполнялся методом окислительного сжигания в окислительной атмосфере на приборе TGA/DSC 3+ (Mettler Toledo, Швейцария) со скоростью нагревания 10 °C/мин до 650 °C.

По результатам анализа органическое вещество было разделено по перегибам термических кривых на лабильное (потери при 170–360 °C), стабильное (360–500 °C) и устойчивое (500–650 °C), а также рассчитано содержание данных пулов. Кроме этого, была рассчитана температура потери половины ОВ (T_{50}), являющаяся интегральным показателем стабильности ОВ [4].

Скорость микробного дыхания почв была определена по интенсивности выделения CO_2 (SBA-5, PP System, США) при их инкубации при температуре 20 °C и влажности 60% от их водоудерживающей способности. Углерод микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) был определен методом субстрат-индуцированного дыхания [5].

Для оценки разлагаемости ОВ подстилки была проведена 17-недельная инкубация с замерами скорости выделения CO_2 каждый день в течение первой недели и далее 1–2 раза в неделю и расчетом кумулятивных потерь С при микробной минерализации ОВ подстилки.

Результаты и их обсуждение

Почвы смешанного леса содержат на 37% меньше С ($12 \pm 2,0\%$) по сравнению с почвами субальпийского луга ($19 \pm 0,39\%$). Соотношение С:N отражает доступность ОВ для почвенных микроорганизмов и показывает более высокое качество ОВ подстилки луга (22) по сравнению со смешанным лесом (26).

Под лесным ценозом содержание термически стабильного и устойчивого ОВ на 5% выше, чем в почвах субальпийского луга. Это объясняется более быстрой минерализацией термически лабильного пула ОВ [6], состоящего преимущественно из углеводов и других алифатических соединений [7]. Температура потери половины ОВ была выше для почв лесного ценоза, что характеризует его большую стабильность по сравнению с луговыми.

В условиях субальпийского луга скорость разложения ОВ подстилки была выше на 50% по сравнению со смешанным лесом. Это объясняется тем, что лесная подстилка содержит больше ароматических соединений, лигнина и других полифенолов [3]. После 17 недель инкубации в подстилке смешанного леса минерализовалось 23% от исходного содержания С, в то время как в условиях субальпийского луга – 32%.

Таблица 1. Термическая стабильность ОВ: температура потери половины ОВ (T_{50}) в подстилке и почве; содержание термически лабильного, стабильного и устойчивого ОВ в подстилке и почве субальпийского луга и смешанного леса

Тип горного ценоза	T ₅₀	термически лабильное ОВ (170–360 °C)	термически стабильное ОВ (360–500 °C)	термически устойчивое ОВ (500–650 °C)
	°C	мг/г		
подстилка				
Субальпийский луг	327	613	221	25,9
Смешанный лес	334	596	197	28,3
почва				
Субальпийский луг	325	271	124	19,0
Смешанный лес	335	165	87,6	17,7

С ростом термической стабильности ОВ подстилки снижается количество минерализованного С. В условиях лесного ценоза ОВ подстилки более термически стабильное по сравнению с луговым, что объясняет его более медленную минерализацию и меньшую потенциальную

разлагаемость. Вследствие этого почвы лесного ценоза содержат большую долю стабильных фракций ПОВ по сравнению с луговым.

Заключение

При высотном смещении верхней границы леса вследствие потепления или изменения типа землепользования и последующей смене растительного органического вещества, поступающего в почву, ожидается снижение разлагаемости ОВ подстилки. Замещение лугового ценоза лесным приведет к увеличению доли стабильного и устойчивого ОВ в почвах, что будет способствовать замедлению скорости оборачиваемости С в условиях горных экосистем.

Работа выполнена в рамках государственной программы федеральной территории «Сириус» «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус» (Соглашение №18-03 от 10.09.2024). Авторы выражают благодарность сотрудникам АНОО ВО «Университет «Сириус» И.В. Козырь, И.А. Оберемок, Д.В. Пургиной за организацию и выполнение работ по отбору проб и Упоровой М.А. (ТюмГУ) за выполнение термического анализа.

Литература

1. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н. и др. Анализ временной изменчивости дыхания дерново-слабоподзолистой почвы в лесном и луговом ценозах южно-таежной зоны // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17: Почвоведение. – 2022. – № 2. – С. 28–37.
2. Селезнёва А.Е., Иващенко К.В., Сушко С.В. и др. Дыхательная активность микробного сообщества почвы и его функциональное разнообразие при смещении верхней границы леса в горах Северо-Западного Кавказа // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2021. – Т. 16, № 3. – С. 226–237.
3. Семенов В.М., Иванникова Л.А., Тулина А.С. Стабилизация органического вещества в почве // Агрохимия. – 2009. – № 10. – С. 77–96.
4. Холодов В.А., Рогова О.Б., Лебедева М.П. и др. Органическое вещество и минеральная матрица почв: современные подходы, определения терминов и методы изучения (обзор) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2023. – Вып. 117. – С. 52–100.
5. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. – 1978. – Vol. 10 (3). – P. 215–221.
6. Guidi C., Vesterdal L., Gianelle D., Rodeghiero M. Changes in soil organic carbon and nitrogen following forest expansion on grassland in the Southern Alps // Forest Ecology and Management. – 2014. – Vol. 328. – P. 103–116.
7. Fern´andez J.M., Plante A.F., Leifeld J., Rasmussen C. Methodological considerations for using thermal analysis in the characterization of soil organic matter // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2011. – Vol.104. – P. 389–398.

Секция 6

**РАДИОАКТИВНОСТЬ, РАДИОАКТИВНЫЕ
ЭЛЕМЕНТЫ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ
ЧЕЛОВЕКА**

УДК 550.846

**РАДИОНУКЛИДЫ В ПРИБРЕЖНЫХ МХАХ ВОДОТОКОВ
ЭЛЬКОНСКОГО ГОРСТА (АЛДАНСКИЙ ЩИТ)**

С.Ю. Артамонова

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия

artam@igm.nsc.ru

**RADIONUCLIDES IN STREAMSIDE MOSSES
OF THE ELKON HORST (ALDAN SHIELD)**

S.Yu. Artamonova

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

artam@igm.nsc.ru

Abstract. С применением рентгено-флуоресцентного анализа на синхротронном излучении изучен элементный состав мхов сем. Calliergonaceae, Amblystegiaceae, произрастающих по берегам горных водотоков Эльконского горста, в том числе изучено содержание во мхах естественных радионуклидов Th и U. Выявлено, что среднее содержание U в золе мхов составляет 65 мг/кг при диапазоне от 3.1 до 474 мг/кг, среднее содержание Th – 13.2 мг/кг при диапазоне от 2.8 до 41 мг/кг. Биоаккумулирующие свойства прибрежных мхов позволяют использовать их при радиоэкологической оценке воздействия горной отработки на окружающую среду, так и при геолого-геохимических работах разной направленности в пределах золотоурановорудных месторождений Эльконского горста.

Введение

Для геолого-поисковых работ, для локализации рудных ореолов, как и оценки техногенных потоков вещества на месторождениях широко применяются биогеохимические методы исследований [1]. Эльконский горст – это приподнятое плоскогорье с отметками от 800 до 1300 абс. м, изрезанное густой речной сетью с врезом до 400–500 м, представляющее собой поднятый в мезозое (в юре) блок архейского кристаллического фундамента на севере Алданского щита (рис. 1, а), прорванный серией щелочных субвулканических интрузий и разбитый системой разломов. В пределах Эльконского горста развиты золото-урановорудные месторождения: выделяют золото-браннеритовые, золото-молибден-браннеритовые, уран-серебро-золоторудные металлогенические типы. В районе проводились широкомасштабные геолого-разведочные работы путем проходки штолен и шахт, и в результате на дневную поверхность было извлечено более 1 млн. тонн рудной массы с общим содержанием урана около 2000 т. [2]. Отвалы горной отработки стали источниками естественных радионуклидов и ряда тяжелых металлов, поступающих в местную водную сеть.

Целью работ, результаты которых обсуждаются в данной статье, было оценить накопление U, Th в прибрежных мхах водных водотоков Эльконского горста.

Материалы и методы

В пределах Эльконского горста пробоотбор воды проведен из рек Элькон, р. Русская и Холодная (Агда) и их притоков и источников, выливающих самопроизвольно в долинах этих рек, параллельно отбирали прибрежные мхи, произрастающие на камнях у этих водотоков и источников (рис. 1, б). Содержание U, Th определяли масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой на приборе ELEMENT (Finnigan Mat, Germany) с магнитным сектором высокого разрешения, с ультразвуковым распылителем U-5000AT+. Для коррекции матричного влияния и контроля приборного дрейфа в качестве внутреннего стандарта использован In с концентрацией 1 нг/л. Пределы обнаружения, оцененные по 3 σ вариации фонового сигнала, составляют от 0.1 до 0.01 мкг/кг. Относительное стандартное отклонение $\leq 10\%$, если определяемая концентрация больше предела обнаружения на порядок и более.

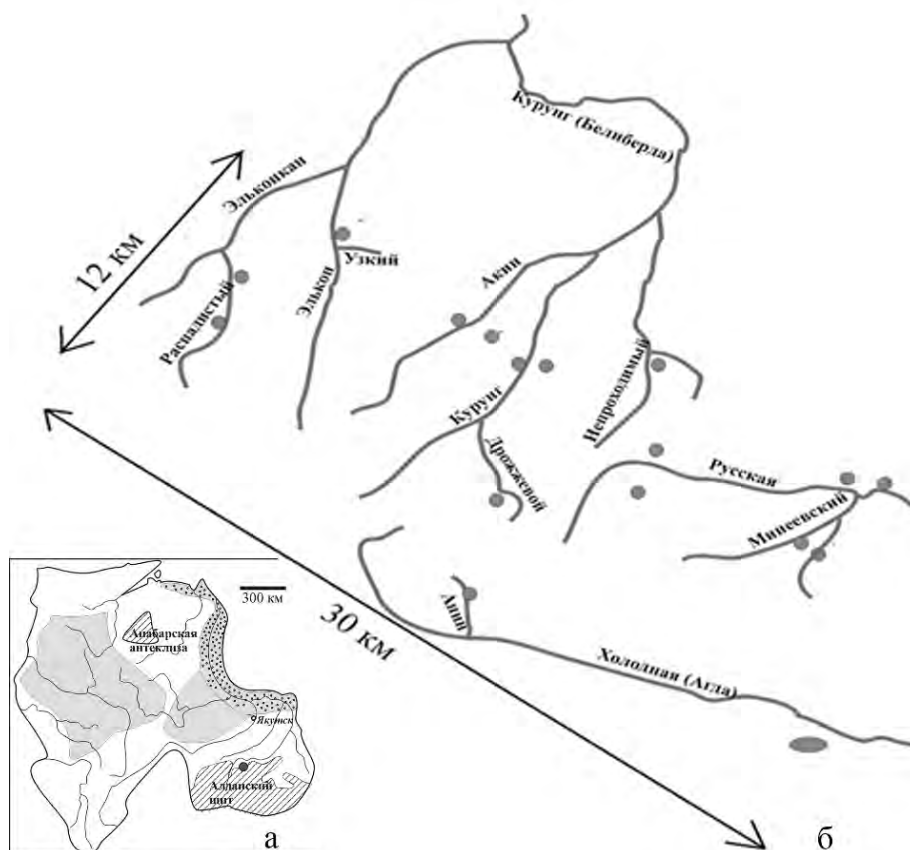


Рис. 1. Расположение Эльконского горста (в виде черной точки) на Сибирской платформе (а) и район работ около отвалов штолен и шахт (серые точки) на золотоурановых месторождениях Эльконского горста (б)

Пробы мхов после сушки подвергали озолению при 500°C , из них формировали таблетки путем прессования, содержания U, Th и ряда других элементов в хохле мхов определяли в результате рентгено-флюоресцентный анализа на синхротронном излучении (РФА-СИ) на элементной станции ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН в режиме первичной монохроматизированной энергии при 23 KeV. Интенсивность вторичного излучения составляла ~ 10000 импульсов в секунду, время экспозиции – 300 секунд. В качестве внешних международных стандартов использовались BIL-1 и ZSBMT-02 reg. № 3170-85. Содержание элементов в тканях мхов определяли расчетным путем по коэффициенту озоления.

Результаты и их обсуждение

Среднее содержание урана в фоновой речной воде Эльконского горста составило 0.4 мкг/дм^3 при диапазоне от 0.03 до 1.9 мкг/дм^3 , а в источниках, самоизливающихся в долинах водотоков, урана немного больше: от 0.24 до 3.87 мкг/дм^3 при средней концентрации 0.71 мкг/дм^3 . Выявлено что в местах поступления стоков из-под отвалов штолен и шахт концентрация урана в речной воде увеличивается до 58.9 мкг/дм^3 и в среднем составляет 7.1 мкг/дм^3 , что почти в 18 раз выше фоновых концентраций (рис. 2, а). В водных пробах характерна низкая концентрация тория в силу его низкой способности к растворению. Средняя концентрация тория в фоновой речной воде, в источниках и в стоках отвалов штолен составила 0.13 , 0.09 и 0.15 мкг/дм^3 соответственно и изменялась практически в одном диапазоне: 0.02 – 0.65 , 0.01 – 0.55 и 0.01 – 0.69 мкг/дм^3 соответственно. Выявлено, что в стоках отвалов содержание тория практически остается на фоновом уровне: его среднее содержание составило 0.15 мкг/дм^3 при диапазоне мкг/дм^3 . Среднее отношение U/Th в фоновой речной воде составило 2.41 при

диапазоне 0.7–11, в подземных водах источников – от 1 до 50, тогда как в стоках, дренирующих отвалы штолен это показатель достигает 5900 при среднем значении 481.

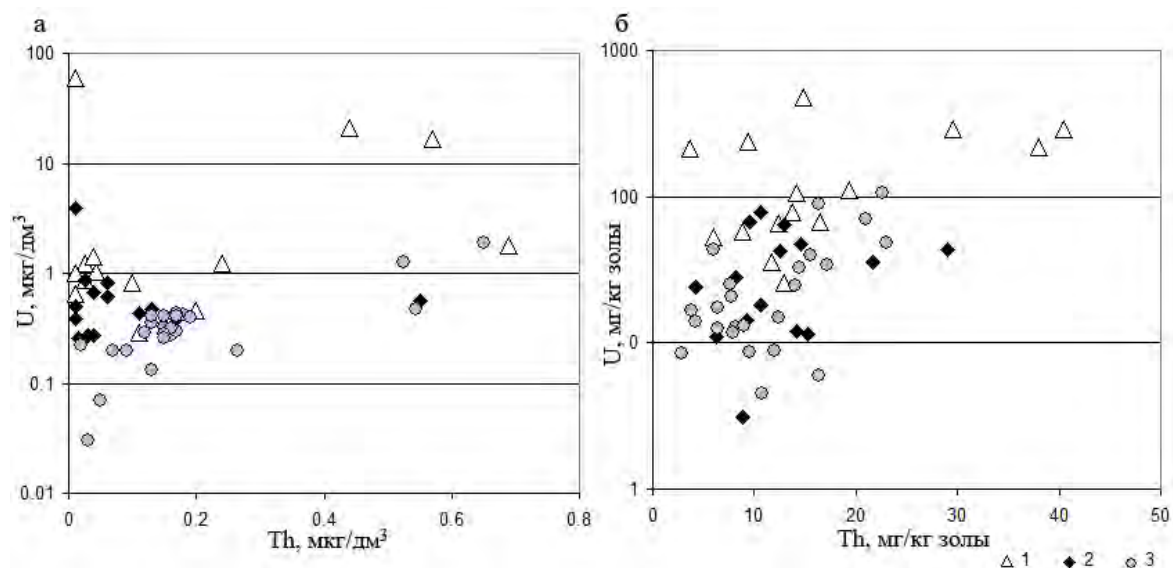


Рис. 2. Содержание U и Th в водных пробах, мкг/дм^3 (а) и в золе прибрежных мхов, мг/кг (б) водотоков Эльконского горста. Условные обозначения: 1 – речная вода и прибрежные мхи в зоне влияния отвалов штолен и шахт; 2 – источники и мхи около источников; 3 – речная вода и прибрежные мхи на фоновых участках

Мхи, произрастающие на прибрежных камнях водотоков, представлены в основном семействами Calliergonaceae, Amblystegiaceae. В золе этих мхов содержание U изменяется в широком диапазоне: на фоновых участках от 4.53 до 106 мг/кг при среднем значении 28.6 мг/кг , около источников – от 3.1 до 78.6 мг/кг при среднем значении 33.4 мг/кг , а в местах поступления стоков из-под отвалов штолен – от 25.9 до 474 мг/кг (рис. 2, б). Прибрежные мхи обогащаются торием в меньшей степени по сравнению с ураном: среднее содержание Th в золе мхов фоновых участков составило 11.5 мг/кг при диапазоне от 2.8 до 23 мг/кг , около источников – 12.5 мг/кг при диапазоне от 4.2 до 29 мг/кг . Около стоков, вытекающих из-под отвалов штолен и шахт, среднее содержание тория в золе прибрежных мхов увеличено совсем немного – оно составило 16.8 мг/кг при диапазоне 3.7–40.5. Среднее отношение U/Th в золе прибрежных мхов фоновых участков и около источников подземных составило 2.5 и 3.0 соответственно при практически одинаковом диапазоне вариаций показателя: 0.37–7.2 и 0.35–7.4. Тогда как в зоне влияния стоков отвалов из-за резкого повышения содержания урана во мхах среднее отношение U/Th составило 12.5 при диапазоне 2.0–58.4.

Данные содержания урана как в речной воде, так и в водных мхах четко индицируют место поступления стоков с высоким содержанием урана при их слиянии с речной водой (рис. 3, 4): например, в среднем течении р. Русская в месте впадения ручья, дренирующего отвал штольни, наблюдается более резкое повышение содержания урана – до 4 раз в золе прибрежных мхов, тогда как повышение концентрации урана в речной воде чуть менее резкое и составляет 2.5 раза по сравнению с его концентрацией выше по течению.

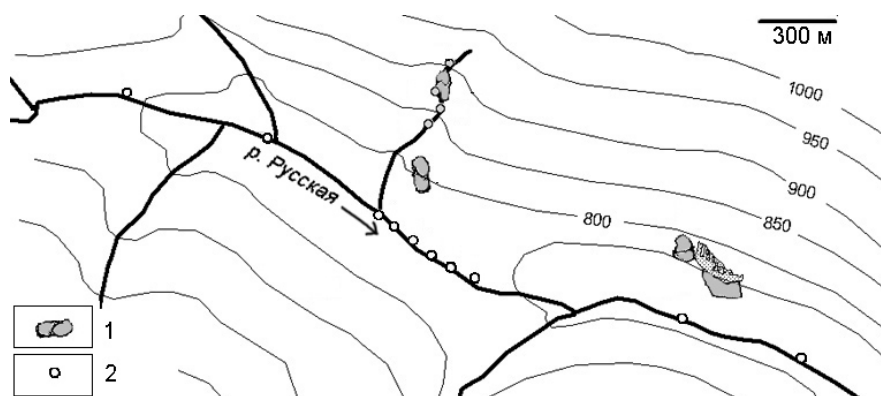


Рис. 3. Схема отбора проб воды и прибрежных мхов на р. Русская. Условные обозначения:
1 – отвалы горных пород, вынутых из штолен и шахт; 2 – точки отбора

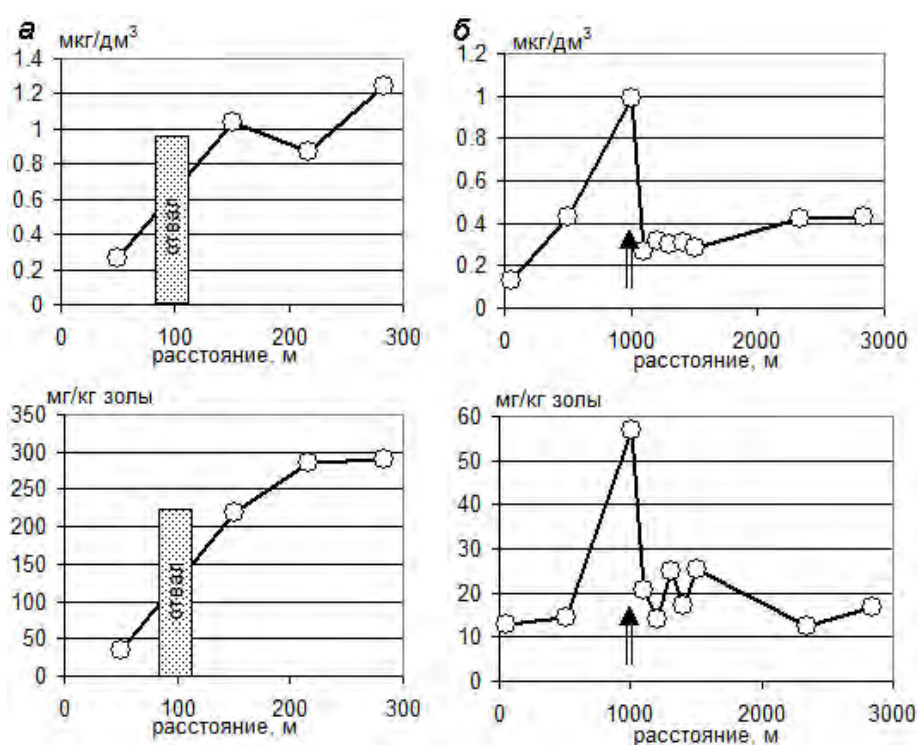


Рис. 4. Содержание урана в водных пробах и золе прибрежных мхов безымянного ручья- левого притока р. Русская, дренирующего отвал штольни, и р. Русская выше и ниже устья безымянного ручья. В виде блока показано местоположение отвала штольни, стрелкой – устья безымянного ручья

Заключение

Таким образом, на примере изучения содержания урана, тория в водных пробах и золе прибрежных мхов Эльконского горста можно заключить, что прибрежные мхи могут быть использованы в качестве биоиндикатора водной миграции радионуклидов в дополнение к изучению водных проб.

Аналитические работы проведены в Центре коллективного пользования (ЦКП) многоэлементных и изотопных исследований СО РАН при Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск), на элементной станции ВЭПП-3 Института ядерной физики СО РАН. Работа выполнена по государственному заданию Института геологии и минералогии СО РАН

(№ 122041400237-8).

Литература

1. Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков. – Новосибирск : Гео, 2010. – 362 с.
2. Бурцев И.С. Степанова С.К., Колодезникова Е.Н. и др. Опыт работы по обследованию подземных ядерных взрывов и отвалов урансодержащих руд на территории Якутии // Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия) : матер. II Республиканской научно-практ. конф., г. Якутск, 2004. – Якутск : Изд-во СО РАН, Якутский филиал, 2004. – С. 56–67.

УДК 550.42:556.523

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ CO-60 И CS-137 В КАЧЕСТВЕ ВРЕМЕННЫХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ХРОНОЛОГИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ

В.И. Вахрушев^{1,2}, А.Я. Болсуновский¹, Д.В. Дементьев¹

¹Институт биофизики, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

vavadbka@yandex.ru

APPLICATION OF CO-60 AND CS-137 RADIONUCLIDES AS TIME MARKERS FOR THE CHRONOLOGY OF THE YENISEI RIVER BOTTOM SEDIMENTS

V.I. Vakhrushev^{1,2}, A.Ya. Bolsunovsky¹, D.V. Dementyev¹

¹Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, vavadbka@yandex.ru

Abstract. Исследования донных отложений (ДО) реки Енисей в зоне влияния Горно-химического комбината (ГХК) «Росатома» на протяженном участке до 250 км от ГХК выявили широкий перечень техногенных радионуклидов, позволяющих использовать разные радиоизотопные методы расчета скоростей осадконакопления. В результате показана применимость двух методов расчета скоростей осадконакопления ДО на основе реперных маркеров ¹³⁷Cs (паводок 1966 г.) и ⁶⁰Co (паводок 2006 г.), в дополнении к другим методам. Датировка слоев ДО р. Енисей по реперным маркерам ¹³⁷Cs и ⁶⁰Co позволила логично датировать многие максимумы радионуклидов. Присутствие ⁶⁰Co микрочастиц в слоях ДО повышает точность датировки.

Введение

Донные отложения водоемов являются уникальным объектом, содержащим многолетнюю информацию о техногенной деятельности в прибрежной зоне и глобальных природных явлениях. Для датировки слоев донных отложений (ДО) используют радиоизотопные методы на основе естественных и техногенных радионуклидов. Радионуклид ¹³⁷Cs часто применяется в качестве хронологического маркера для определения возраста осадков. В качестве реперной даты для максимального содержания ¹³⁷Cs в слоях ДО многих водоемов мира приняты даты глобальных выпадений ¹³⁷Cs во время ядерных испытаний (1961–1964 гг.) и во время Чернобыльской аварии (1986 г.) [5]. Для ДО реки Енисей отмеченные даты глобальных выпадений ¹³⁷Cs имели место, но наиболее масштабным поступление ¹³⁷Cs в ДО было во время крупных паводков. Самым крупным паводком за последние 60 лет с расходом воды до 18000 м³/с был паводок 1966 г., во время которого отмечен смыв техногенных радионуклидов в р. Енисей с промышленной зоны Горно-химического комбината (ГХК) и перенос радионуклидов на большие расстояния по течению реки [1, 3]. Помимо паводка 1966 г. были и другие крупные паводки, например, 2006 г., после которого нами зарегистрированы максимумы ⁶⁰Co в верхних слоях ДО, включающие радиоактивные микрочастицы с ⁶⁰Co [4]. Выявленное нами максимальное содержание радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁶⁰Co в отдельных слоях ДО р. Енисей в периоды крупных паводков 1966 и 2006 гг. может служить основой для использования этих радионуклидов в процессе датирования слоев ДО. Цель работы – оценка применимости техногенных радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁶⁰Co в качестве временных маркеров крупных паводков 1966 и 2006 гг. для датировки слоев ДО р. Енисей.

Материалы и методы

Ежегодный отбор проб ДО проводился на пойменных участках р. Енисей в ближней (с. Балчуг) и дальней зоне (с. Стрелка) влияния ГХК на расстоянии до 250 км от комбината. Для отбора кернов ДО использовали стальные цилиндрические пробоотборники с лепестковым затвором. Пробы кернов ДО в дальнейшем анализировали послойно по 2–3 см. Анализ

радионуклидного состава проб проводили на полупроводниковых γ -спектрометрах.

Результаты и их обсуждение

Вертикальные распределения радионуклидов в отобранных кернх ДО из ближней и дальней зоны влияния ГХК демонстрируют несколько максимумов для ^{60}Co и ^{137}Cs . Обнаруженные максимумы в ДО, возможно, могут быть связаны не только с поступлением радионуклидов во время крупных паводков 1966, 1988 и 2006 гг. на Енисее, но и другими событиями, например, деятельностью ГХК. Анализ кернов ДО р. Енисей с аномальным содержанием ^{137}Cs по течению реки от ГХК, проведенный ранее сотрудниками ИГМ СО РАН и ИБФ СО РАН [1, 3], показал, что обнаруженные аномальные слои явились следствием переноса ^{137}Cs во время паводка 1966 года из зоны ГХК. Такие слои с аномальными максимумами ^{137}Cs могут служить реперными маркерами даты паводка 1966 года при определенных условиях [1]. На рисунке 1(А) представлен пример расчета скорости осадконакопления (V , см/год) по реперу ^{137}Cs с его максимальным поступлением (слой 54–62 см) в период паводка 1966 г. Скорости осадконакопления, рассчитанные для кернов из ближней зоны ГХК по реперному маркеру ^{137}Cs (1966 г.), были в интервале 0.6–1.5 см/год и совпадали со скоростями, полученными методом отношения $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ (0.6–1.7 см/год) [2, 4].

Во время экспедиций в зоне влияния ГХК после экстремального паводка 2006 года в верхних слоях кернов ДО был обнаружен максимум ^{60}Co , который мог возникнуть вследствие смыва ^{60}Co с территории ГХК во время паводка. Кроме этого, в верхних слоях ДО обнаружены радиоактивные частицы с повышенной активностью ^{60}Co [4]. На примере керна ДО на рисунке 1(Б) показано как максимум в распределении ^{60}Co (и присутствие частиц с ^{60}Co) может служить маркером времени (2006 г.) для расчета скорости и хронологии осадконакопления. Для вертикального распределения радионуклидов в ДО керна Балчуг отмечен максимум ^{60}Co в верхних слоях (4–15 см) и максимум ^{137}Cs в нижнем слое (42–45 см). На основании скорости осадконакопления (0.9 см/год), рассчитанной с помощью реперного максимума ^{60}Co даты паводка 2006 г., максимальное поступление ^{137}Cs в ДО (слой 40–52 см) датируется периодом паводка 1966 г. (рисунок 1(Б)). Скорости осадконакопления, рассчитанные для кернов из ближней зоны ГХК (с. Балчуг) по реперному маркеру ^{60}Co (2006 г.) и реперному маркеру ^{137}Cs (1966 г.) совпадали (0.5–1.4 см/год и 0.6–1.5 см/год, соответственно). Для контрольного участка выше по течению р. Енисей от ГХК для расчета скорости осадконакопления использовался метод на основе неравновесного ^{210}Pb [2], интервалы скоростей которого показали согласие с данными ближней зоны ГХК, полученными методами репера ^{137}Cs (1966 г.) и репера ^{60}Co (2006 г.).

Для дальней зоны влияния ГХК вблизи с. Стрелка в кернх ДО р. Енисей в верхних слоях отмечен максимум ^{60}Co и была выделена радиоактивная ^{60}Co микрочастица. Этот факт позволяет рассчитать для кернов дальней зоны скорости осадконакопления по реперному маркеру ^{60}Co (2006 г.) (рис. 1(В)). По совокупности данных для удаленного района скорость осадконакопления, полученная методом реперного ^{60}Co , была в интервале 2.0–3.5 см/год. Повышенная скорость для удаленного от ГХК района может быть связана с изменением гидрологических условий реки после впадения нескольких крупных притоков рек. Основной максимум ^{137}Cs в керне ДО вблизи с. Стрелка отмечен на глубине 87–93 см и хронология поступления ^{137}Cs в ДО показала, что период формирования этого максимума может относиться к паводку 1988 гг. (рис. 1(В)). Кроме микрочастиц с ^{60}Co , в некоторых нижних слоях кернов ДО обнаружены микрочастицы, содержащие ^{137}Cs и другие радионуклиды, которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве дополнительных маркеров для хронологии осадконакопления.

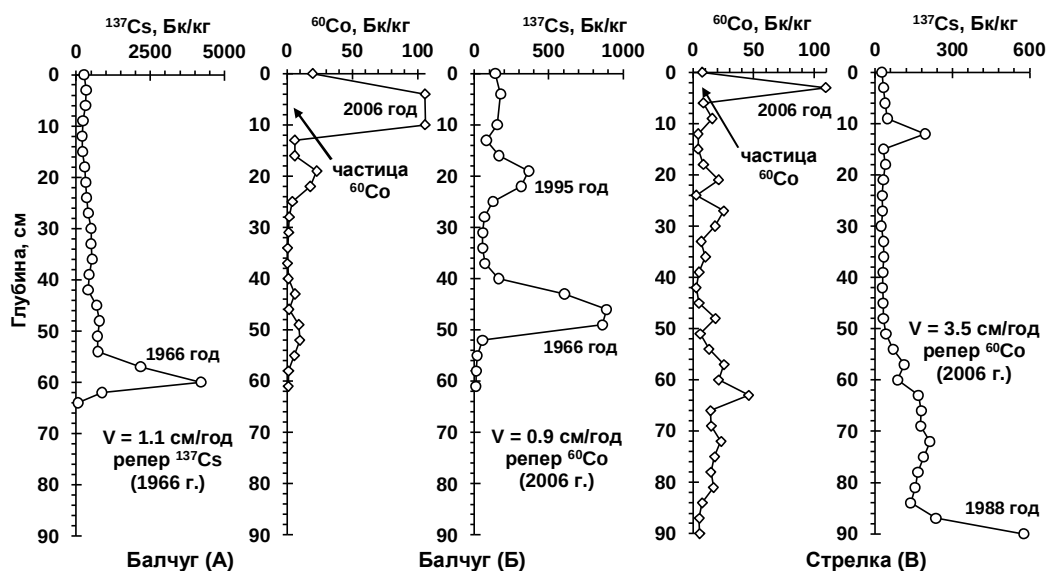


Рис. 1. Примеры вертикального распределения ^{60}Co и ^{137}Cs в ДО районов Балчуг (А, Б) и Стрелка (В) с хронологией поступления ^{137}Cs (А, Б, В) в ДО р. Енисей

Заключение

В результате работы показана применимость двух методов расчета скоростей осадконакопления ДО в зоне влияния ГХК на основе реперных маркеров ^{137}Cs (паводок 1966 г.) и ^{60}Co (паводок 2006 г.). Анализ скоростей осадконакопления показал хорошее соответствие данных по реперным маркерам ^{137}Cs и ^{60}Co в интервале 0.5–1.7 см/год с данными, рассчитанными другими методами для ближней зоны. Для удаленного от ГХК района наблюдаются повышенные скорости осадконакопления (2.0–3.5 см/год), по сравнению со скоростями для ДО ближней зоны. Датировка слоев ДО р. Енисей по реперным маркерам ^{137}Cs и ^{60}Co позволила логично датировать многие максимумы радионуклидов. Использование разных методов датировки слоев ДО реки Енисей, включая радиоактивные микрочастицы, позволит оценить масштаб радиоактивного загрязнения реки в разные периоды времени.

Работа выполнена частично за счет средств гранта Российского научного фонда №24-27-20003, Красноярского краевого научного фонда.

Литература

1. Болсуновский А.Я., Дементьев Д.В., Вахрушев В.И. Масштабный перенос техногенных радионуклидов по течению реки Енисей во время экстремального паводка 1966 г. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 498, №. 2. – С. 189–194.
2. Вахрушев В.И., Болсуновский А.Я., Дементьев Д.В. Использование радиоизотопных методов для хронологии поступления Cs в донные отложения реки Енисей // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2023. – Т. 33, №. 2. – С. 178–190.
3. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г., Белолипецкий В.М. и др. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей. – Новосибирск : Изд-во СО РАН. Филиал «Гео», 2004. – 287 с.
4. Bolsunovsky A.Ya., Vakhrushev V.I., Dementyev D.V. Retrospective analysis of the deposition of artificial radionuclides in sediments of the Yenisei River // Limnology and Freshwater Biology. – 2024. – С. 274–279.
5. Foucher A., Chaboche P.A., Sabatier P. A worldwide meta-analysis (1977–2020) of sediment core dating using fallout radionuclides including ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ // Earth System Science Data Discussions. – 2021. – Vol. 2021. – P. 1–61.

УДК 504:539.1

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ АККУМУЛЯЦИИ Cs-137
В ПАХОТНЫХ ГОРИЗОНТАХ ГЛИНИСТЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАЛПОВОГО ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ
ОСАДКОВ В ПОЧВЫ ПЛАВСКОГО РАДИОАКТИВНОГО ПЯТНА**

М.М. Годяева^{1,2}, Т.А. Парамонова¹, Н.В. Кузьменкова¹

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

²ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

airrune@yandex.ru, paramonovata@my.msu.ru, kuzmenkovanv@my.msu.ru

SPATIAL FEATURES OF Cs-137 ACCUMULATION ANALYSIS IN ARABLE HORIZONS OF CHERNOZEMS IN MODELLING OF SALVO POLLUTION OF RADIOACTIVE PRECIPITATION INTO SOILS OF THE PLAVSK RADIOACTIVE SPOT

Godyaeva M.M.^{1,2}, Paramonova T.A.¹, Kuzmenkova N.V.¹

¹Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Soil Science, Moscow, Russia

²Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, Moscow, Russia

airrune@yandex.ru, paramonovata@my.msu.ru, kuzmenkovanv@my.msu.ru

Abstract. Анализ вертикального распределения ¹³⁷Cs в монолитах пахотного горизонта выщелочного чернозема проводился методами цифровой автордиографии и гамма-спектрометрии. Экспериментальные данные показали, что существуют два основных вероятностных сценария распределения радионуклида в пахотном горизонте глинистых черноземов, зависящие от агрегатного уровня организации почвенной массы, а также каналов конвективно-дисперсионного переноса (крупных пор и трещин).

Введение

На необходимость прогнозирования миграции радионуклидов в почве значительно повлияли крупномасштабные радиационные катастрофы, которых за последние 50 лет произошло более 10, причем крупнейшая среди них Чернобыльская авария существенно повлияла на радиационно-экологическое состояние европейской части России, в особенности в пределах Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областей [1]. Часть земель, подвергшихся в результате чернобыльских выпадений радиоактивному загрязнению, осталась в пахотном фонде и была вовлечена в активную сельскохозяйственную деятельность, используя для выращивания кормовых и пищевых растительных культур.

При этом нормируемая величина плотности поверхностного радиоактивного загрязнения почв, а также интенсивность корневого потребления основного радионуклида чернобыльских выпадений – ¹³⁷Cs во многом зависят от пространственной конфигурации закрепления поллютанта твердой фазой почв, которое происходит в межпакетных пространствах глинистых минералов и гидрослюд по типу необменной сорбции [2]. В свою очередь, неоднородность пространственного распределения ¹³⁷Cs в пахотном слое глинистых почв, сохраняется спустя десятилетия после Чернобыльской аварии [3], и подтверждается на микроуровне организации почвенного мелкозема [4], что определяет актуальность выяснения данного феномена.

В этой связи целью данного исследования являлся анализ особенностей пространственного закрепления ¹³⁷Cs в пахотных почвах черноземной зоны Европейской России при имитации его залпового поступления с конденсационными атмосферными выпадениями.

Материалы и методы

Реализация цели исследования проходила в условиях лабораторного модельного эксперимента, в котором были использованы монолиты пахотного горизонта выщелоченных черно-

земов ненарушенного строения массой 7,5–8 кг и глубиной 0–20 см, отобранные в ореоле Плавского радиоактивного пятна Тульской области. Почвы имели легкоглинистый гранулометрический состав и типичные для района своего распространения агрохимические свойства. В дополнение к исходно содержащемуся в них «чернобыльскому» ^{137}Cs в количестве 36 ± 9 кБк/м² (399 ± 85 Бк/кг) на поверхность 8 почвенных монолитов было внесено методом дождевания по 100 мл раствора $^{137}\text{CsCl}$ с активностью радионуклида 5 МБк/л (2 кБк/см²), что воспроизводило сценарий залпового поступления радионуклида в почвы Плавского радиоактивного пятна в составе проливных осадков после чернобыльской аварии; 2 монолита обрабатывались для контроля дистиллированной водой. Далее для имитации возможного перераспределения ^{137}Cs в профиле почв в течение вегетационного сезона в течение 2 месяцев раз в 5 дней производился полив монолитов с внесением $\frac{1}{4}$ месячной нормы атмосферных осадков. После окончания эксперимента из толщи монолитов производился пробоотбор 2 образцов путем внедрения п-образного резца-канала и извлечения мини-монолитов с площадью сечения $4,5 \times 2$ см² см без нарушения сложения. Далее с помощью цифровой авторадииографии визуализировали микролокусы накопления ^{137}Cs в мини-монолитах, а затем почву мини-монолита разделяли на секции с выделением глубин 0–1, 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 5–6, 6–8, 8–10, 10–15(20) см и проводили послойное γ -спектрометрическое определение величин удельной активности ^{137}Cs на полупроводниковом γ -спектрометре GR 3818 с высокочистым (HPGe) детектором.

Результаты и их обсуждение

Визуализация микролокусов распределения ^{137}Cs в монолитах пахотного горизонта черноземов Плавского радиоактивного пятна наглядно выявила значительную пространственную неоднородность его закрепления в мелкоземе почв. Опробование отдельных мини-монолитов показало, что в поверхностном слое 0–1 см величины удельной активности радионуклида изменяются от 305 до 1476 Бк/кг (в контроле также наблюдалось варьирование показателя от 152 до 872 Бк/кг, что подтверждает сохранение в течение длительного времени неоднородности латерального распределения ^{137}Cs на близких расстояниях). В основном ^{137}Cs аккумулировался в верхних слоях горизонта $A_{\text{пах}}$ (до 2 см), проникая в заметных количествах на глубину до 4–6 см и имея классический поверхностно-аккумулятивный характер вертикального распределения (рис. 1А). Это объясняется проникновением ^{137}Cs по профилю рыхлой хорошо оструктуренной почвы на глубину основного промачивания – «сценарий 1».

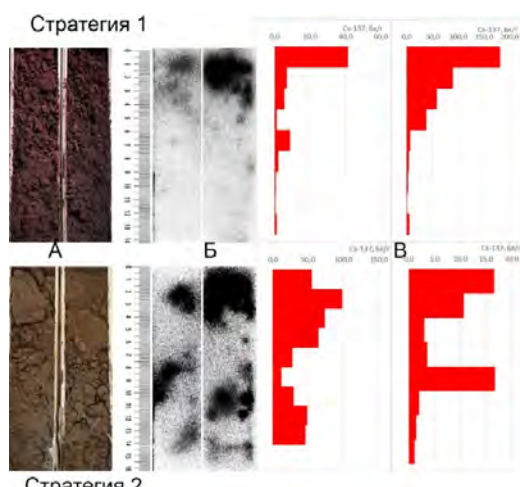


Рис. 1. Фотография (А), цифровая авторадииография (Б) и послойная гамма-спектрометрия (В) мини-монолитов горизонта $A_{\text{пах}}$ выщелоченных черноземов при имитации залпового поступления ^{137}Cs в составе атмосферных осадков

В ряде случаев в мини-монолитах наблюдались зоны «оторванного» загрязнения ^{137}Cs , когда максимумы накопления радионуклида фиксировались на глубинах до 8 см, а одиночные минилокусы радиоактивного загрязнения обнаруживались вплоть до глубины 15 см (рис. 1Б). Можно полагать, что в этом случае быстрое проникновение ^{137}Cs вглубь почвы происходило по межагрегатным трещинам, крупным порам или поверхности отмерших корней. При этом грани крупных водопрочных агрегатов черноземов служили барьером экранного типа, на котором происходило задерживание фильтрующихся цезий-содержащих растворов, а впоследствии – прочная фиксация радионуклида.

Заключение

Сопоставимая кинетика процессов конвективно-дисперсионного распространения в пахотном горизонте фильтрующихся атмосферных осадков и необменной сорбции ^{137}Cs определяет микронеоднородность первичного закрепления радионуклида при его залповом поступлении в глинистые черноземы. Важную роль играет агрегатный уровень организации почвенной массы, наличие крупных пор и трещин, от которых зависят треки распространения ^{137}Cs при промачивании почв и которые вносят неопределенность в микропространственное распределение радионуклида.

Результаты получены при финансовой поддержке исследования Правительством Российской Федерации, реализуемой в рамках Соглашения №075-15-2025-008 от 27.02 2025 г.

Литература

1. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. – Минск : Белкартография, 2009. – 140 с.
2. Staunton S., Roubaud M. (1997). Adsorption of ^{137}Cs on montmorillonite and illite: effect of charge compensating cation, ionic strength, concentration of Cs, K and fulvic acid // Clays Clay Minerals. – 1997. – Vol. 45(2). – P. 251–260.
3. Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Иванов М.М. и др. Оценка пространственной неоднородности радиоактивного загрязнения пахотных черноземов Плавского цезиевого пятна на основе случайного и систематического методов опробования // Радиоэкологические последствия радиационных аварий: к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС : сборник докладов международной научно-практической конференции, г. Обнинск, 22–23 апреля 2021 г. – Обнинск, 2021. – С. 208–211.
4. Sutherland R.A. Caesium-137 soil sampling and inventory variability in reference locations: a literature survey // Hydrological Processes. – 1996. – Vol.10. – P. 43–53.

УДК 550.42:552.52

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА
ВУЛКАНОГЕННЫХ ПРОСЛОЕВ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Е.С. Деева

*Томский политехнический университет, Томск, Россия
deevael@yandex.ru*

**MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF THE COMPOSITION
OF VOLCANOGENIC LAYERS OF HIGH-CARBON DEPOSITS
IN WESTERN SIBERIA**

E.S. Deeva

*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
deevael@yandex.ru*

Abstract. В высокоуглеродистых нефтематеринских отложениях баженовской свиты Западно-Сибирского бассейна обнаружены люминесцирующие в ультрафиолетовом освещении прослойки мощностью от 0,2 до 45 см. Изучение минерального состава выделенных горизонтов показало, что они сложены в основном глинистыми минералами с примесью терригенного материала, а также определило наличие в них минеральных компонентов и текстурно-структурных особенностей характерных для туфовых (туфогенных) горных пород. При анализе данных химического состава выявлено, что изучаемые прослойки в целом имеют пониженные содержания элементов по сравнению с «обычными» породами баженовской свиты в связи с низким содержанием захороненного органического вещества. При этом отличительной особенностью прослоев является повышенная концентрация тория.

Введение

В процессе изучения отложений свиты в юго-восточной части Западно-Сибирского осадочного бассейна были выявлены специфические образования – прослойки обладающие ярким люминесцирующим свечением в ультрафиолетовом свете. Прослойки имеют разную интенсивность свечения (от слабой до сильной), но при этом отчетливо выделяются на фоне «обычных» пород свиты. Выделенные прослойки по внешним признакам разделены на 2 группы: I группа – единичные прослойки толщиной от 0,2 до 1 см, II группа – смежные прослойки (тонкие миллиметровые серии) с суммарной толщиной в среднем от 6 до 45 см.

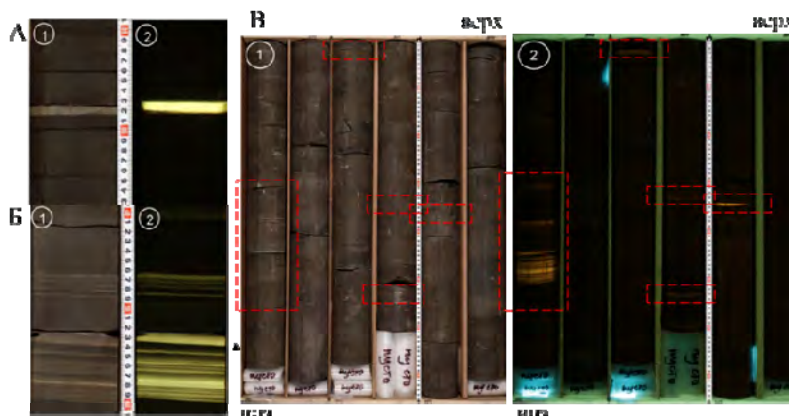


Рис. 1. Аномально люминесцирующие прослойки в отложениях баженовской свиты. А – прослойки I группы, Б – прослойки II группы, В – распределение аномально люминесцирующих прослоев в разрезе скважины. Фотографии керн в дневном (1) и УФ (2) свете

Материалы и методы

При выполнении исследований применялся комплекс методов изучения минерального и элементного состава: петрографический анализ (изучение шлифов), рентгенофазовый анализ, инструментальный нейтронно-активационный анализ, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой.

Результаты и их обсуждение

По результатам проведенных минералого-петрографических исследований проведена типизация исследуемых прослоев. Прослои I группы прослоев отнесены к глинистому типу. Прослои II группы на всей территории исследования характеризуются однотипным минеральным составом – преобладающим компонентом является кварц – и отнесены к кремнистому типу [5, 6].

Люминесцирующие прослои глинистого и кремнистого типов различны по содержанию микроэлементов и, в целом, по особенностям химического состава существенно отличаются друг от друга. Различия в накоплении тех или иных элементов в изучаемых прослоях и вмещающих породах может быть вызвано резкой сменой условий осадконакопления в иловых водах. Такие условия могут быть вызваны синхронным поступлением в осадок вулканогенного пирокластического (пеплового) материала совместно с осадками нормальной морской седиментации [5, 6].

Отдельно следует отметить характер распределения группы литофильных редких металлов, особенно тория. Для глинистых прослоев отмечено аномально высокое содержания тория (в 8–11 раз превышает содержание во вмещающих породах). Наиболее вероятным источником поступления тория в отложения свиты является вулканогенный (пепловый) материал. О наличии вулканического материала также свидетельствует низкое содержание в породах ОВ (Сорг.).

Отмечен характер распределения содержаний радиоактивных элементов Th и U. Для пород II кремнистой группы средние содержания этих элементов в несколько раз ниже, чем во вмещающих породах. Так, среднее содержание в баженовитах Th – 7,1 г/т, U – 60 г/т, Th/U соотношение составляет 0,1, тогда как среднее содержание Th и U в породах II группы составляет 3,5 г/т (единичное значение 16 г/т), и – 22,1 г/т соответственно, Th/U – 0,15. Для пород I глинистой группы содержание U в среднем составляет 39,2 г/т, Th – 62,8 г/т., Th/U – 1,6. Концентрации Th в породах I группы в 8 раз превышают содержание во вмещающих породах.

Накопление урана имеет тесную связь с накоплением ОВ в условиях восстановительной среды [1, 4] Кларк тория в черных сланцах, по данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис, составляет 6–7 г/т, аномальным считается его содержание свыше 10 г/т. Накопление тория может быть связано с привнесением его либо в составе терригенного (обломочного) материала, либо в составе вулканогенно-обломочного материала [2]. По данным Ю.Н. Занина и соавторов, наблюдается значимая положительная корреляция тория с глинистым материалом, и авторы предполагают, что содержание тория в более глинистых породах БС повышено относительно менее глинистых. Анализируя полученные данные, можно сделать заключение, что наиболее вероятный источник поступления тория в исследуемые породы – вулканогенный пирокластический (пепловый) материал. Выделенные торий-содержащие горизонты простираются на сотни километров и могут являться следствием обширного пеплопада верхнеюрского времени. Пеплопады многократно проявлялись в юрское время на территории Западной Сибири [3].

Заключение

Выявленные особенности строения, структурно-текстурные признаки, а также минералогическо-геохимические особенности, позволили определить природу образования изучаемых гори-

зонтов как вулканогенно-пирокластическую. Предполагается, что исследуемые прослои образовались в результате диа- и катагенетического преобразования вулканокластического материала туфовых осадков в обстановке застойного моря с высоким содержанием органического вещества и последующим его угнетением.

Люминесцирующие прослои глинистого и кремнистого типов различны по содержанию микроэлементов и по полученным данным химического состава существенно отличаются друг от друга. Установленные минералого-геохимические особенности аномально люминесцирующих прослоев позволяют получить новые минералого-геохимические данные о вулканизме (его составе и специализации), отраженном в отложениях баженовской свиты на территории Западно-Сибирского осадочного бассейна и уточняют региональные закономерности формирования и распределения этих горизонтов на территории исследования. Выделенные прослои могут быть использованы в качестве маркирующих горизонтов для решения задач литостратиграфической корреляции ввиду их регионального распространения.

Литература

1. Гавшин В.М., Бобров В.А. Закономерности распределения микроэлементов в баженовской свите // Доманикиты Сибири и их роль в нефтегазоносности. – Новосибирск : СНИИГиМС, 1982. – С. 76–91.
2. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. – Екатеринбург : Наука, 1994. – 304 с.
3. Ван А.В., Предтеченская Е.А., Злобина О.Н. Продукты вулканизма в юрских отложениях Приуральской части Западно-Сибирской плиты // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – № 5. – С. 15–22.
4. Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Уран, торий и калий в черных сланцах баженовской свиты Западно-Сибирского морского бассейна // Литология и полезные ископаемые. – 2016. – № 1. – С. 82–94.
5. Кондрашова Е.С. Минералогия, геохимия и природа свечения люминесцирующих прослоев баженовской свиты Западно-Сибирского осадочного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 8. – С. 123–135.
6. Кондрашова Е.С. Вулканогенные прослои в баженовской свите Западно-Сибирского осадочного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 3. – С. 62.

УДК 631.95:504.054

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРИИРОВАНИЕ ЦЕЗИЯ-137 И ОСНОВНЫХ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ В ОРЕОЛЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

О.Е. Денисова, Т.А. Парамонова

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия
denisovaoe@my.msu.ru, paramonovata@my.msu.ru

SPATIAL VARIABILITY OF CESIUM-137 AND BASIC SOIL PROPERTIES WITHIN THE RADIOACTIVE CONTAMINATION ZONE

О.Е. Denisova, Т.А. Paramonova

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
denisovaoe@my.msu.ru, paramonovata@my.msu.ru

Abstract. Проведен анализ пространственного распределения цезия-137 (^{137}Cs) в почвах Плавского района Тульской области, подвергшегося радиоактивному загрязнению после аварии на ЧАЭС. Цель работы – оценка взаимосвязи величин удельной активности ^{137}Cs (103–764 Бк/кг) с ключевыми почвенными параметрами: pH, плотностью сложения и $S_{\text{орг}}$. На 12 точках опорной площадки в пределах пахотного угодья отобраны 36 проб (из слоя 0–30 см с шагом 10 см). Выявлена значительная латеральная и вертикальная неоднородность распределения ^{137}Cs в пахотном горизонте, которая существенно превышает показатели варьирования основных почвенных свойств, а также отсутствие корреляции местоположения «горячих точек» радиоактивного загрязнения с физико-химическими характеристиками почв.

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС (1986) вызвала долгосрочное радиоактивное загрязнение значительной части европейской территории России, включая Плавский район Тульской области [1]. На основе данных о плотности поверхностного загрязнения этих почв ^{137}Cs строится социально-экономическая политика ведения хозяйственной деятельности в регионе, дается прогноз перехода радионуклида в сельскохозяйственную продукцию, оцениваются дозовые нагрузки на население. Одновременно с этим характерной чертой чернобыльских выпадений являлась их пространственная неоднородность, которая привела к микроочаговости геохимического поля радиоактивного загрязнения почв и создала неопределенность в определении уровней накопления ^{137}Cs в почвах [2]. В почвах пахотных угодий регулярная агротехническая обработка горизонта $A_{\text{пах}}$ должна способствовать гомогенизации распределения ^{137}Cs в почве на ближних расстояниях, однако детальный анализ особенностей его аккумуляции в пахотных выщелоченных черноземах Плавского радиоактивного пятна, проведенный через 30 лет после аварии, выявил определенную гетерогенность распределения радионуклида между точками пробоотбора на ключевом участке агроценоза и в отдельных слоях пахотного горизонта [3].

Целью настоящей работы является оценка пространственного варьирования «ближнего порядка» величин удельной активности ^{137}Cs в пахотных почвах Плавского радиоактивного пятна через 35 лет после чернобыльской аварии и выявление возможных связей накопления радионуклида с ключевыми почвенными параметрами – pH, плотностью сложения и содержанием $S_{\text{орг}}$.

Материалы и методы

На опорной площадке размерами $25 \times 25 \text{ м}^2$ в агроценозе кукурузы с помощью кольцевого пробоотборника в 2021 г. были отобраны пробы горизонта $A_{\text{пах}}$ из слоя 0–30 см с шагом 10 см в 12-кратной повторности. Удельную активность ^{137}Cs измеряли гамма-спектрометрическим, pH – потенциометрическим методами, содержание $S_{\text{орг}}$ – на элемент-

ном CHNS-анализаторе. Статистическая обработка результатов включала базовую статистику, корреляционный и кластерный анализ.

Результаты и их обсуждение

Исследование выявило значительную пространственную и вертикальную неоднородность распределения ^{137}Cs в почве. Удельная активность варьировала от 103 Бк/кг (точка 5, 20–30 см) до 764 Бк/кг (точка 4, 10–20 см) при средневзвешенных значениях от 333 Бк/кг (точка 5) до 747 Бк/кг (точка 4). В точке 5 было зафиксировано резкое снижение активности с глубиной (с 503 до 103 Бк/кг), вероятно, из-за ее приуроченности к локальному участку смыва, что определило включение в 30-см слой опробования материала «чистого» от ^{137}Cs подпахотного горизонта (табл. 1). Средневзвешенные для всего 30-см горизонта $A_{\text{пах}}$ величины удельной активности ^{137}Cs варьировали в пределах 333–747 Бк/кг с показателем C_v 27%. С учетом плотности сложения почвы нормируемый показатель поверхностного радиоактивного загрязнения горизонта $A_{\text{пах}}$ изменялся от 120 до 246 кБк/м², что при минимальных значениях может относить земли обследованной опорной площадки к зоне проживания с льготным социально-экономическим статусом (37–185 кБк/м²), а при максимальных – к зоне проживания с правом на отселение (185–555 кБк/м²).

Таблица 1. Удельная активность ^{137}Cs в горизонте $A_{\text{пах}}$ выщелоченного чернозема, Бк/кг

глубина/№ точки опробования	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0-10 см	493	552	424	732	503	283	421	620	643	541	462	485
10-20 см	543	601	425	764	358	492	470	553	419	437	476	480
20-30 см	376	564	493	744	103	545	511	221	596	441	539	603
Средневзвешенная удельная активность ^{137}Cs в слое 0–30 см	472	573	448	747	333	433	465	463	563	472	491	516

Ранги:  до 300 Бк/кг  от 400 до 500 Бк/кг  от 600 до 700 Бк/кг
 от 300 до 400 Бк/кг  от 500 до 600 Бк/кг  от 700 до 800 Бк/кг

Вертикальное распределение ^{137}Cs в слоях горизонта $A_{\text{пах}}$ также характеризуется пространственной неоднородностью с выявлением локальных пиков накопления на различных глубинах слоя 0–30 см. При преобладании тренда снижения величин удельной активности ^{137}Cs с глубиной: от 511 ± 5 Бк/кг (0–10 см) до 473 ± 9 Бк/кг (20–30 см) и росте пространственной неоднородности ($C_v = 23\% \rightarrow 37\%$ соответственно) физико-химические параметры почвы распределены по латеральным и вертикальным осям относительно стабильно: плотность сложения – $1,2 \pm 0,04$ г/м³ ($C_v = 10\%$), pH – $5,7 \pm 0,1$ ($C_v = 8\%$), $C_{\text{орг}}$ – $6,6 \pm 0,1$ ($C_v = 3\%$) (табл. 2).

Таблица 2. Распределение ^{137}Cs и основных почвенных характеристик: средневзвешенные значения, доверительные интервалы и коэффициент вариации

Слой, см	Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг	Плотность сложения, г/м ³	pH	$C_{\text{орг}}$ %
0-10	511 ± 5 ($C_v = 23\%$)	$1,2 \pm 0,1$ ($C_v = 8\%$)	$5,6 \pm 0,4$ ($C_v = 12\%$)	$6,7 \pm 0,1$ ($C_v = 3\%$)
10-20	503 ± 6 ($C_v = 21\%$)	$1,2 \pm 0,1$ ($C_v = 11\%$)	$5,8 \pm 0,2$ ($C_v = 5\%$)	$6,6 \pm 0,1$ ($C_v = 4\%$)
20-30	473 ± 9 ($C_v = 37\%$)	$1,2 \pm 0,1$ ($C_v = 10\%$)	$5,7 \pm 0,1$ ($C_v = 4\%$)	$6,4 \pm 0,1$ ($C_v = 2\%$)
0-30	497 ± 4 ($C_v = 27\%$)	$1,2 \pm 0,04$ ($C_v = 10\%$)	$5,7 \pm 0,1$ ($C_v = 8\%$)	$6,6 \pm 0,1$ ($C_v = 3\%$)

Многофакторный анализ выявил четыре кластера с различным уровнем загрязнения ^{137}Cs и почвенными характеристиками, где ведущим фактором для выделения групп является ин-

тенсивность аккумуляции радионуклида (рис.1, табл. 3). Кластер 1 объединил зоны с минимальной активностью ^{137}Cs и нейтральным pH, где высокая вариабельность ($C_v=51\%$) может быть связана с включением подпахотного горизонта в образец из слоя 20–30 см. В выборке кластера 2 зафиксирован максимум загрязнения ^{137}Cs на фоне более кислой среды, рыхлого сложения и минимальных значений $C_{\text{орг}}$ ($6,4\pm 0,04\%$), что требует дополнительного изучения. Кластер 3 демонстрирует среднюю активность ^{137}Cs в образцах почв при максимальном содержании $C_{\text{орг}}$. Кластер 4 отличается высокой плотностью сложения почвы. При этом значимых прямых или обратных корреляций между показателями накопления ^{137}Cs и основными физико-химическими характеристиками почв не выявлено.

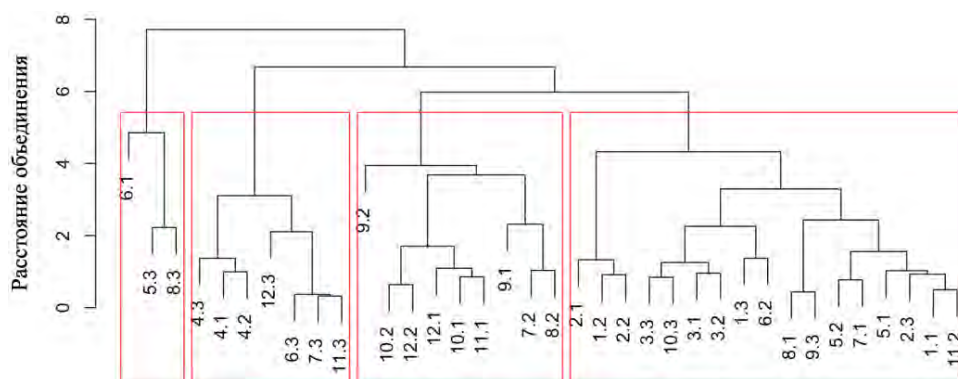


Рис. 1. Кластеризация показателей удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг), плотности сложения (г/м^3), pH и $C_{\text{орг}}$ (%). В маркировке образцов первое значение соответствует номеру точки, второе – глубине пробоотбора

Таблица 3. Сводная таблица средних значений показателей иерархического кластерного анализа образцов из горизонта $A_{\text{пах}}$ выщелоченного чернозема на опорной площадке в пределах Плавского пятна

Кластеры	Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг	Плотность сложения, г/м^3	pH	$C_{\text{орг}}$, %
1 (n=3)	$202,3\pm 103,9$	$1,20\pm 0,12$	$6,5\pm 1,1$	$6,44\pm 0,30$
2 (n=7)	$634,0\pm 80,7$	$1,06\pm 0,06$	$5,4\pm 0,2$	$6,42\pm 0,04$
3 (n=9)	$498,9\pm 45,3$	$1,17\pm 0,08$	$5,5\pm 0,3$	$6,87\pm 0,09$
4 (n=17)	$492,7\pm 37,4$	$1,24\pm 0,04$	$5,7\pm 0,1$	$6,52\pm 0,08$

Заключение

Исследование подтвердило значительную пространственную и вертикальную неоднородность распределения ^{137}Cs в почвах Плавского пятна, со средним уровнем 498 ± 57 Бк/кг и локальными «горячими точками» (до 747 Бк/кг). Вариационно-статистический анализ не выявил взаимной связи между пространственным размещением зон с относительно повышенным радиоактивным загрязнением и базовыми характеристиками почв.

Результаты получены при финансовой поддержке Правительством Российской Федерации, реализуемой в рамках Соглашения №075-15-2025-008 от 27.02 2025 г.

Литература

1. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевич. – Минск : Белкартография, 2009. – 140 с.
2. Kirchner G. Establishing reference inventories of ^{137}Cs for soil erosion studies: Methodological aspects // Geoderma. – 2013. – Vol. 211-212(1). – P. 107–115.

3. Paramonova T., Belyaev V., Komissarova O. Homo/heterogeneity of Cs-137 distribution within ploughed horizon of arable chernozems, 30 years after Chernobyl accident // Radiation and Applications. – 2017. – Vol. 2(3). – P. 192–199.

УДК: 614.876:546.296

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РАДОНОМ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД (ВОСТОЧНЫЕ РАЙОНЫ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ)

А.С. Деркачев

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия
derkachyovas@ipgg.sbras.ru*

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVE DOSE OF RADON EXPOSURE TO THE POPULATION FROM GROUNDWATER (THE EAST OF THE NOVOSIBIRSK REGION)

A.S. Derkachev

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia
derkachyovas@ipgg.sbras.ru*

Abstract. Восточные районы Новосибирской области в силу геологических особенностей является территорией повышенного риска в отношении радона. Эманирующим коллектором выступают кислые магматические породы гранитоидного состава, которые зачастую залегают близко к поверхности и образуют обводненную зону трещиноватости. Использование данных по активности радона в подземных водах, используемых населением как питьевые и хозяйственные может применяться на начальных стадиях оценки риска. Установлено, что активность радона подземных водах достигает 1161 Бк/дм³. Рассчитанные годовые эффективные дозы облучения населения при использовании подземных вод в хозяйственных и питьевых целях. Наибольшие значения получены в р.п. Колывань, где они превышают 12 мЗв/год.

Введение

Некоторые акцессорные минералы гранитоидов характеризуются высокими концентрациями урана, продуктом распада которого является радон-222 – бесцветный радиоактивный газ, хорошо растворимый в воде. В гранитоидах повсеместно развиты обводненные зоны эндогенной и экзогенной трещиноватости, что объясняет его повышенный фон в подземных водах территории исследования. Особенно актуальна эта проблема в населенных пунктах, где для целей питьевого и хозяйственного водоснабжения используются подземные воды, так как радон способен переходить из воды в воздух при бытовом использовании. Наибольшую угрозу для человека он представляет при попадании в организм путем вдыхания, так как его ионизирующее излучение способствует развитию рака легких. В меньшей степени негативное влияние радона проявляется при пероральном поступлении с пищей. В настоящей работе выполнена оценка вклада радона, попадающего в помещения с подземными водами, в годовую эффективную дозу облучения от природных источников.

Методы и фактический материал

В основу работы положены результаты определения активности радона в пробах подземных вод, отобранных из водозаборных скважин исследуемой территории (рис. 1) в ходе полевых работ лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири ИНГГ СО РАН 2019–2025 гг. при непосредственном участии автора. В рамках настоящей работы была проанализирована выборка из 585 проб, из которых для последующего анализа было отобрано 130 проб из 91 скважины, где активность радона превысила установленный в России уровень реагирования 60 Бк/дм³ [1]. При наличии нескольких проб из одной скважины для расчетов использовалось среднее значение замеренных активностей радона.

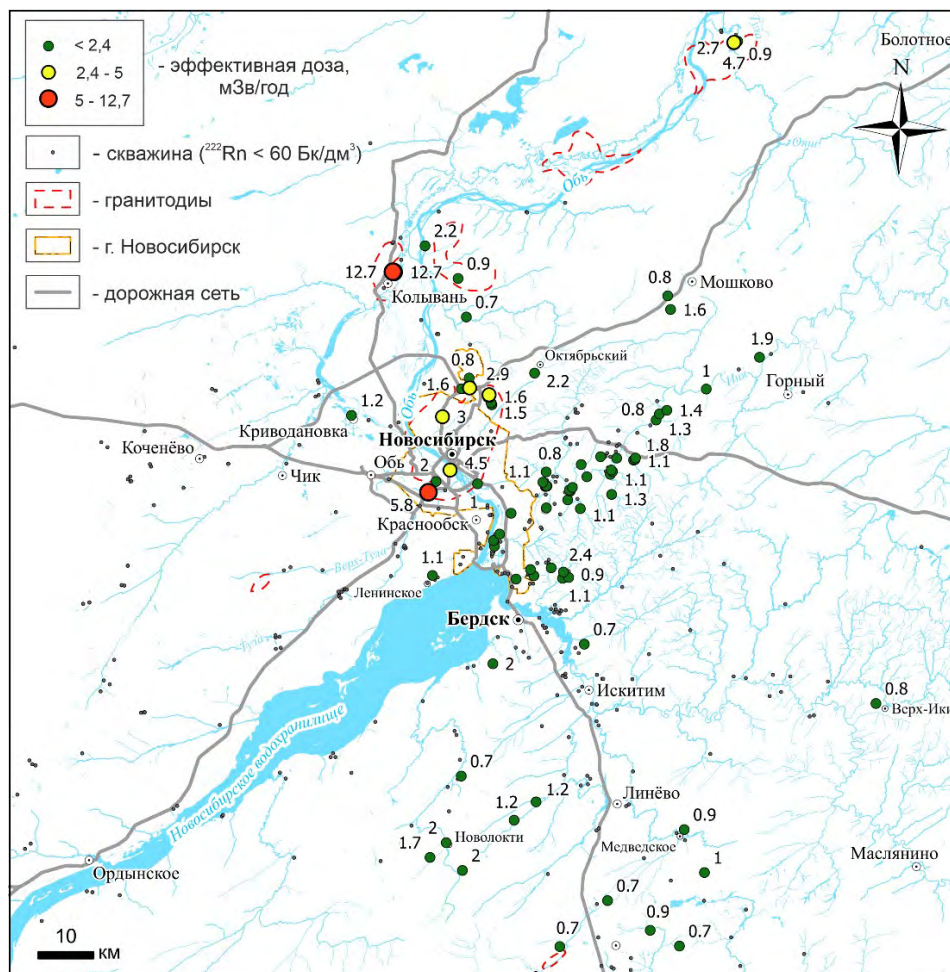


Рис. 1. Карта распределения расчетных эффективных доз

Пробы воды отбирались в полиэтиленовую тару, определение активности радона-222 проводилось с помощью альфа-радиометра «Альфарад +» не позднее 2 суток после отбора. Для расчета эффективной дозы суммировалось воздействие радона, как при пероральном, так и при ингаляционном поступлении радона в организм. Итоговые значения были вынесены на карту (рис. 1) Для расчета использовались формулы, приведенные в работе А.В. Калайдо [2], учитывающие различные параметры, влияющие на получаемую эффективную дозу. Так, формула расчета эффективной дозы, при ингаляционном воздействии радона (E_{inh} , мЗв/год), высвободившегося из воды при ее использовании, имеет вид:

$$E_{inh} = DCF \times [(C_w \times Q_w \times T) / (V \times n)] \times F \times t,$$

где DCF – дозовый коэффициент для ингаляции радона (9×10^{-9} Зв/(Бк·ч·м⁻³)) [3]; C_w – концентрация радона в воде, замеренная в ходе лабораторных исследований, Бк/дм³; Q_w – расход воды в сутки, л/сут, принятый равным 500 дм³/сут для семьи из трех человек; T – коэффициент перехода радона из воды в воздух (обычно 0,1) [4]; V – объем помещения, м³. Принимается равным 208 м³: рассчитан исходя из средней площади индивидуальных жилых строений в Новосибирске (80 м²) и при средней высоте потолков в них (2,6 м); n – кратность воздухообмена, 1/сут, [5]; F – фактор равновесия радона в воздухе, принимаемый 0,4 [5]; t – время пребывания в помещении, 6000 ч/год [2, 6].

Формула для расчета эффективной дозы за год, полученной при употреблении воды в пищу – пероральном поступлении (E_{ing} , мЗв/год) имеет вид:

$$E_{\text{ing}} = \text{DCF} \times C \times V,$$

где DCF – дозовый коэффициент (Зв/Бк), рекомендованное значение для перорального поступления радона: $3,5 \times 10^{-9}$ Зв/Бк [7], C – среднегодовая концентрация радона в воде (Бк/дм³ или Бк/кг); V – годовой объем потребляемой воды (дм³/год), принимается равным 730 дм³/год из расчета 2 дм³/сут [4, 8].

Результаты и их обсуждение

Расчеты показали, что для 82 объектов рассчитанная годовая эффективная доза не превышает среднемирового значения дозы от природных источников (2,4 мЗв) [9]. Для 3 объектов рассчитанная доза превысила 5 мЗв/год, что является предельным безопасным значением эффективной дозы от природных источников. Все значения выше 5 мЗв/год, требуют контроля. Из них значения в двух объектах превысили 10 мЗв/год, что требует срочного вмешательства согласно СанПиН 2.6.1.2800-10 [1]. Наибольшие значения выявлены в р.п. Колывань, где составили 12,66 и 12,65 мЗв/год (см. рис. 1), активности радона там составили 1162 и 1160 Бк/дм³ соответственно. При этом, следует принимать во внимание, что радон в воде не является единственным источником ионизирующего излучения, значимый вклад вносит поступление радона с почвенным воздухом, гамма-излучение непосредственно от пород и некоторых строительных материалов и другие природные источники.

Полевые работы в левобережной части реки Обь и оценка рисков выполнены при финансовой поддержке Проекта № 25-17-20024 Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области.

Литература

1. СанПиН 2.6.1.2800-10. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М., 2011. – 41 с. – (Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Российской Федерации)
2. Калайдо А.В., Римшин В.И., Сулейманова Л.А. и др. Оценка мощности источников поступления радона в воздух зданий различной конструкции в течение жизненного цикла // Евразийский научный журнал. – 2023. – Т. 15, № 5.
3. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения : методические указания МУ 2.6.1.1088-02 / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 04.01.2002. – М. : Минздрав России, 2002. – 22 с.
4. Isinkaye M.O., Ajiboye Y. Assessment of annual effective dose due to radon concentrations in deep and shallow wells within Ekiti State, Nigeria // Radioprotection. – 2017. – Vol. 52(3). – P. 167–170.
5. Ахтиманкина А.В., Таюрская А.П. Определение эквивалентной равновесной объемной активности радона в жилых зданиях (на примере пос. Качуг, Иркутская область) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2022. – Т. 39. – С. 3–15.
6. Кононенко Д.В., Кормановская Т.А. Оценка риска при облучении радоном для населения субъектов Российской Федерации на основе данных радиационно-гигиенического паспорта территории // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 15–22.
7. ICRP Publication 119: Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60 [Электронный ресурс] // ICRP. – 2012. – URL: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20119> (дата обращения: 18.06.2025).
8. Bem H., Plota U., Staniszewska M., Bem E.M. et al. Radon (²²²Rn) in underground drinking water supplies of the Southern Greater Poland Region // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 2014. – Vol. 299(3). – P. 1307–1312.
9. Ionizing radiation exposure of the population of the United States : NCRP Report No. 160. – Bethesda, MD : National Council on Radiation Protection and Measurements, 2009. – 387 p.

УДК 550.46, 550.47

**РАДИОАКТИВНЫЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
В ВОЛОСАХ ЗДОРОВЫХ ДЕТЕЙ И БОЛЬНЫХ ДИАБЕТОМ ПАЦИЕНТОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН: СВЯЗЬ С ГЕОХИМИЕЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

А.Н. Злобина

*Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия
anastasiyazl@mail.ru*

**RADIOACTIVE AND RARE EARTH ELEMENTS
IN HAIR OF HEALTHY CHILDREN AND DIABETIC PATIENTS
IN BASHKORTOSTAN: CORRELATION WITH DRINKING WATER GEOCHEMISTRY**

A.N. Zlobina

*Ufa University of science and technology, Ufa, Russia
anastasiyazl@mail.ru*

Abstract. Проведен сравнительный анализ содержания редкоземельных и радиоактивных элементов (РЗЭ и РЭ) в волосах здоровых детей и пациентов с сахарным диабетом первого типа из различных районов Республики Башкортостан. Установлено, что для всех исследуемых элементов средние и медианные значения у больных диабетом существенно ниже, чем у здоровой группы. Корреляционный анализ данных по содержанию элементов в волосах с пространственным распределением элементов в накипи питьевых вод показал, что элементный состав волос у здоровых детей отражает региональные геохимические аномалии. Наиболее выраженная корреляция найдена для U и Ce. В то же время у больных диабетом такая связь существенно ослаблена или отсутствует.

Введение

В последние годы возрастает интерес к изучению накопления редкоземельных (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) и радиоактивных элементов (U, Th) в организме человека, их роли в патогенезе различных заболеваний [1, 3], а также значимости геохимических факторов окружающей среды в их накоплении. Особенно актуально это для детской популяции, так как они подвержены более высокому риску биоаккумуляции элементов, включая РЭ и РЗЭ. Волосы являются информативным и легкодоступным биоматериалом для оценки длительного поступления элементов в организм.

Питьевая вода – один из ключевых факторов накопления химических элементов в организме. Некоторые исследования отмечают, что даже низкие концентрации урана в питьевой воде могут быть опасны при длительном воздействии [4]. Если по воздействию урана, как радиоактивного, токсичного и канцерогенного элемента, на организм существуют комплексные исследования, показывающие опасность повышенных концентраций [1], то для Th и РЗЭ механизмы и последствия воздействия на организм до конца не изучены.

Материалы и методы

Было исследовано 182 пробы волос здоровых детей и 37 проб волос пациентов с сахарным диабетом из разных районов Башкортостана. Также были проанализированы данные 515 проб накипи питьевой воды из бытовых источников по тем же районам республики.

Определение концентраций элементов (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Th, U) проводилось методом инструментального нейтронно-активационного анализа. Для статистической обработки использовались t-тест, корреляционный анализ (Пирсон и Спирмен). Геоинформационный анализ выполнен на основе карт пространственного распределения элементов, построенных с помощью программного обеспечения ArcGIS.

Результаты и их обсуждение

Сравнительный статистический анализ. Для всех элементов средние и медианные значения у здоровых выше, чем у детей с диабетом. Особенно выделяются пониженные концентрации Sc, La, Ce, Nd, Yb, Eu в волосах у больных диабетом относительно волос здоровых детей (t-тест, $p < 0,05$). Максимальная разница отмечена для Sc и Eu. Для Sm, Tb, Lu, Th, U статистически значимых различий между группами не выявлено ($p > 0,1$).

Есть исследования, показывающие, что дефицит некоторых РЗЭ может повышать риск развития диабета. Например, низкие уровни РЗЭ в крови у беременных женщин повышали риск развития гестационного диабета в 1,67 раза. Среди элементов, наиболее влияющих на риск отмечены Nd и La [2].

Корреляционный анализ "накипь питьевой воды – волосы". У здоровых детей выявлена высокая корреляция между содержанием U в накипи и волосах по районам (Пирсон 0,89), а также по Ce (0,52), La (0,22), Th (0,07). В случае La выявлен заметный разброс между коэффициентами корреляции Пирсона (0,22) и Спирмена (0,70), что свидетельствует о совпадении порядка распределения районов по содержанию элемента в накипи и волосах при отсутствии выраженной линейной связи по абсолютным значениям. Для остальных элементов подобного расхождения не наблюдается. У больных диабетом связь между водой и волосами выражена только для U и Th (0,58 и 0,57), для остальных элементов корреляция ослаблена или отсутствует.

Визуализация (рис. 1) наглядно демонстрирует, что у здоровых детей сохраняется устойчивая зависимость между концентрациями элементов в накипи и волосах. У больных диабетом эта зависимость проявлена слабее.

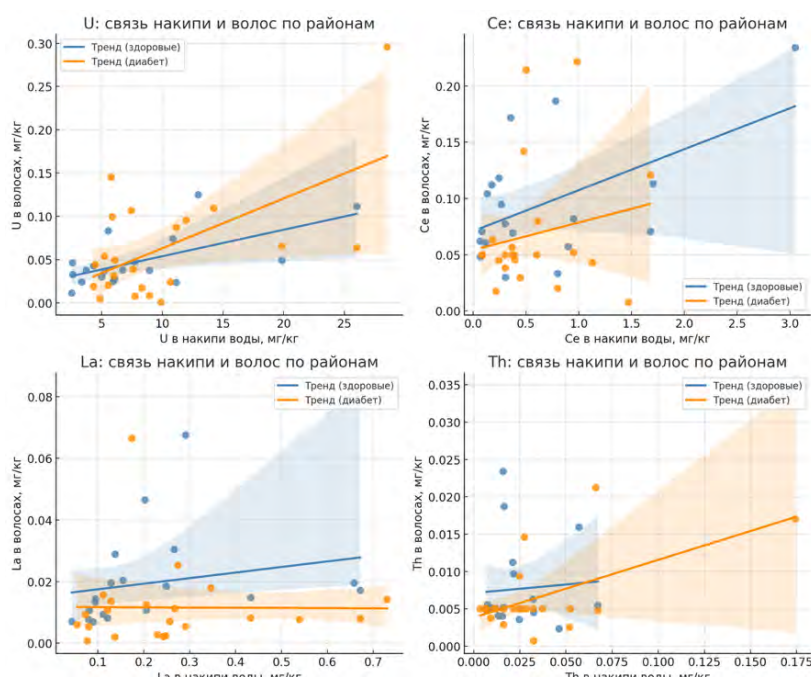


Рис. 1. Графики корреляционного анализа РЭ и РЗЭ в волосах здоровых детей и больных диабетом относительно концентрации элементов в накипи питьевых вод

Геоинформационный анализ. Пространственные закономерности. Геоинформационный анализ содержания РЗЭ и РЭ в волосах здоровых детей выявил выраженные региональные аномалии: повышенные концентрации отмечены в западных, центральных и южных районах (Туймазинский, Давлекановский, Дюртюлинский, Чекмагушевский, Илишевский и др.). Отрицательные аномалии РЗЭ и РЭ в волосах здоровых детей по результатам геоинформа-

ционного анализа наблюдаются преимущественно в северных, северо-восточных и восточных районах республики. К таким районам относятся: Краснокамский, Янаульский, Бураевский, Аскинский и др. районы.

У пациентов с диабетом распределение элементов по районам существенно сглажено, геохимические аномалии слабо выражены.

Заключение

Комплексный анализ показал, что у больных диабетом отмечается пониженные содержания РЗЭ в волосах относительно здоровых детей. При этом очень слабо проявлена зависимость концентрации РЗЭ в волосах больных диабетом от содержания элементов в питьевой воде (по накипи). Корреляция между концентрацией РЗЭ в накипи и волосах выражена только для U и Th.

Волосы здоровых детей напротив могут служить надежным биоиндикатором длительного воздействия элементов, поступающих с питьевой водой. Волосы детей отражают геохимическую мозаичность территории и позволяют выделять районы аномалий. Особенно можно отметить U и Se: именно по ним выявлены наиболее сильные корреляции между волосами здоровых детей и водой (по накипи).

Литература

1. Brugge D., Lemos R., Oldmixon B. Exposure pathways and health effects associated with chemical and radiological toxicity of natural uranium: A review // *Archives of Toxicology*. – 2020. – Vol. 94(7). – P. 2251–2273. – doi: 10.1007/s00204-020-02676-8.
2. Xu X., Wang Y., Han N. et al. Early pregnancy exposure to rare earth elements and risk of gestational diabetes mellitus: a nested case-control study // *Frontiers in Endocrinology*. – 2021. – Vol. 12. – Art. No. 774142. – doi: 10.3389/fendo.2021.774142.
3. Zhang S., Sun W., Ren L. et al. Toxicity of rare earth elements: An overview on human health impact // *Frontiers in Environmental Science*. – 2022. – Vol. 10. – Art. No. 948041. – doi: 10.3389/fenvs.2022.948041.
4. Zlobina A., Farkhutdinov I., Carvalho F.P. et al. Impact of environmental radiation on the incidence of cancer and birth defects in regions with high natural radioactivity // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19(14). – Art. No. 8643. – doi: 10.3390/ijerph19148643.

УДК 574.5:539.16.047:502.175:621.039(470.54)

**РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ В ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ
БЕЛОЯРСКОЙ АЭС ПРИ РАБОТЕ ЭНЕРГОБЛОКОВ РАЗНОГО ТИПА**

Т.Н. Коржавина, А.В. Коржавин, Б.Н. Вохмянин

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

bfs_zar@mail.ru

**RADIOACTIVE ISOTOPES IN A COOLING POND
OF BELOYARSK NPP DURING OPERATION
OF VARIOUS TYPES OF POWER UNITS**

T.N. Korzhavina, A.V. Korzhavin, B.N. Vokhmyanin

Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

bfs_zar@mail.ru

Abstract. Представлены результаты многолетнего радиоэкологического мониторинга водоема-охладителя Белоярской АЭС за период 1967–2024 гг. Максимальные значения объемной активности техногенных радионуклидов наблюдались в период 1967–1979 гг., который соответствовал работе энергоблоков АМБ-100 и АМБ-200. После остановки в 80-х годах эксплуатации тепловых реакторов объемная активность ^{60}Co в воде водоема снизилась с 0,99 Бк/л до значений ниже МДА, ^{137}Cs – уменьшилась в 82 раза, ^{90}Sr – снизилась в 12 раз. Полный переход реактора БН-800 Белоярской АЭС на МОКС-топливо не сопровождался повышением содержания техногенных радионуклидов в компонентах водоема-охладителя. Так, содержание в воде сбросного канала блока БН-800 значительно не изменилось и сохранялось на достаточно низком уровне (0,006 Бк/л по ^{137}Cs и 0,018 Бк/л по ^{90}Sr). Представленные данные показывают, что состояние водоема-охладителя в настоящее время стабилизировалось, а внедрение новых технологий на Белоярской АЭС не сопровождается повышением влияния радиационного фактора на экосистему водоема-охладителя.

Введение

Белоярская атомная электростанция (БАЭС) им. И.В. Курчатова является единственной АЭС в России, где расположены энергоблоки, основанные на разных принципах работы: тепловые (АМБ-100 и АМБ-200) и быстрые энергоблоки (БН-600 и БН-800). Начиная с 1967 г. сотрудники лаборатории общей радиоэкологии ИЭРиЖ УрО РАН проводили регулярные исследования водоема-охладителя АЭС, результаты которых опубликованы в работах: М.Я. Чеботиной и др. [1], А.В. Трапезникова и др. [2], А.В. Коржавина и др. [3]. В работе Панова А.В. и др. [4] проанализирована динамика радиоэкологического состояния водоема-охладителя за период 1967 – 2019 гг. В представленной работе ранее полученные материалы дополнены результатами мониторинга в период 2020–2024 гг, когда на АЭС функционировали два энергоблока на быстрых нейтронах БН-600 и БН-800.

Цель исследования: представить в динамике результаты многолетних радиоэкологических исследований водоема-охладителя Белоярской АЭС, включая период работы энергоблоков на быстрых нейтронах БН-600 и БН-800.

Материалы и методы

Пробы компонентов водоема-охладителя отбирали в летний период. Поверхностную воду отбирали в объеме 120 л на повторность. Пробы воды подкисляли, фильтровали, затем выпаривали и сухой остаток озоляли при $t = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 8 часов.

Гамма-спектрометрические, радиохимические и радиометрические анализы выполнялись по аттестованным методикам.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлены средние значения удельной активности ^{60}Co , ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде водоема-охладителя Белоярской АЭС за весь период наблюдения (1967–2024 гг.).

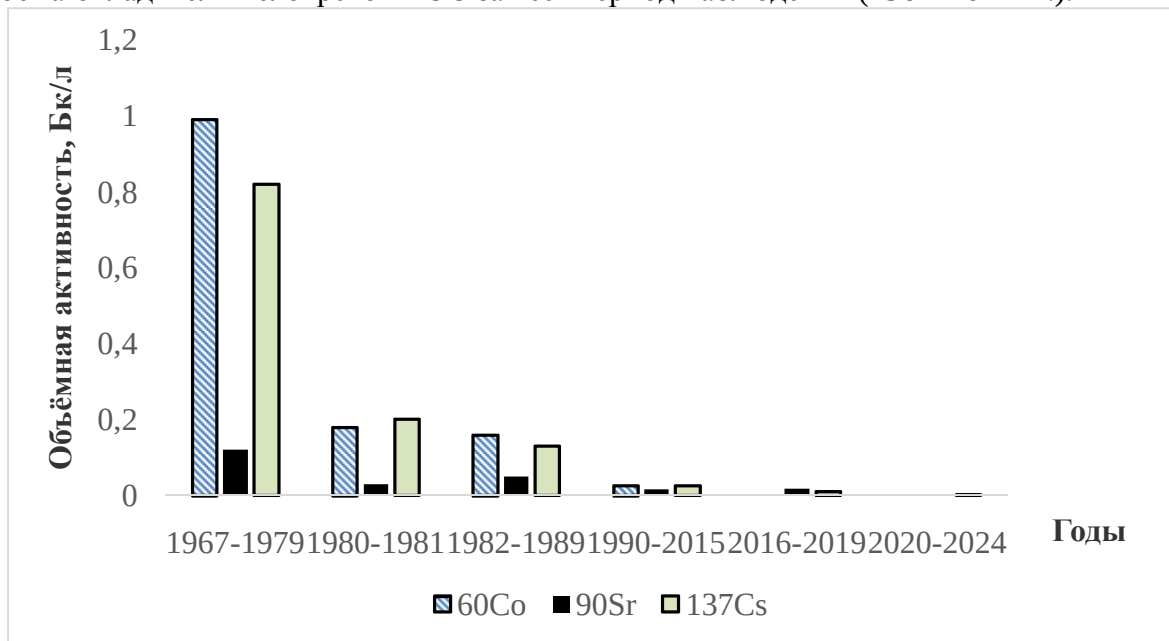


Рис. 1. Динамика удельной активности ^{60}Co , ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде водоема-охладителя Белоярской АЭС

Начальный этап эксплуатации двух первых блоков с тепловыми реакторами АМБ-100 и АМБ-200 на Белоярской АЭС сопровождался более высоким уровнем объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в поверхностных водах водоема-охладителя 0,82 и 0,12 Бк/л соответственно в результате сброса технологических вод с первой очереди АЭС (рис. 1). В основном это было связано с аварийными ситуациями и последующими ремонтными работами [3]. После вывода из эксплуатации в 1981 и 1989 годах АМБ-100 и АМБ-200 произошло снижение содержания ^{137}Cs в воде в 82 раза (с 0,82 до 0,011 Бк/л) и ^{90}Sr в 12 раз (с 0,12 до 0,018 Бк/л).

После 2016 г. содержание основных техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде водоема-охладителя стабилизировалось и изменялось в узкой области тысячных долей Бк/л, что практически не оказывает негативного влияния на радиоэкологическое состояние водоема-охладителя.

Важным этапом по внедрению новых технологий в работу Белоярской атомной станции стал перевод реактора БН-800 на топливо из смеси оксидов урана и плутония (МОКС-топливо). Это первый в мире реактор, который полностью переведен на новый вид топлива. В 2020 г. в БН-800 были загружены первые 18 тепловыделяющих сборок с МОКС-топливом, а в 2022 г. реактор полностью перешел на МОКС-топливо. Результаты проведенных исследований подтверждают,

Что перевод реактора на новый вид топлива не сопровождался дополнительным поступлением техногенных радионуклидов в водоем-охладитель. Так, содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде сбросного канала БН-800 после перевода на МОКС-топливо и началом его эксплуатации, практически не изменилось и составило по ^{137}Cs 6,4 и 5,6 Бк/м³, по ^{90}Sr 17 и 18 Бк/м³, соответственно.

Заключение

Таким образом, многолетняя динамика результатов радиоэкологического мониторинга водоема-охладителя показывает, что начальный этап эксплуатации Белоярской АЭС с реакторами

АМБ-100 и АМБ-200 сопровождался поступлением техногенных радионуклидов со сбросными водами в водоем-охладитель. После остановки первой очереди станции и вводом в эксплуатации блоков с реакторами на быстрых нейтронах (БН-600 и БН-800) радиоэкологическое состояние водоема-охладителя существенно улучшилось.

Важным этапом в работе Белоярской атомной станции стал перевод реактора БН-800 на МОКС-топливо. Результаты проведенных исследований подтверждают, что содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде сбросного канала блока БН-800 от начала его эксплуатации и до полного перевода на МОКС-топливо значимо не изменилось. Представленные данные показывают высокую степень экологической безопасности новой технологии по выработке электроэнергии на Белоярской АЭС.

Таким образом, состояние водоема-охладителя в настоящее время стабилизировалось, а внедрение новых более совершенных технологий производства электроэнергии на атомной станции позволяет существенно снизить влияние радиационного фактора на экосистему Белоярского водохранилища.

Литература

1. Чеботина М.Я. Мониторинг трития в водных средах Уральского региона. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 120 с.
2. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. – Екатеринбург : АкадемНаука, 2019. – Т. 4. – 447 с.
3. Коржавин А.В., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. и др. Первые результаты радиоэкологического исследования водоема-охладителя Белоярской АЭС после ввода в эксплуатацию 4-го энергоблока БН-800 // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2018. – № 2. – С. 70–82.
4. Панов А.В., Коржавин А.В., Коржавина Т.Н. Итоги многолетнего радиоэкологического мониторинга водоема-охладителя Белоярской АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2024. – № 2. – С. 138–154.

УДК 550.47: 550.424.2: 504.062.2: 504.064.2.001.18

**МИГРАЦИЯ ИЗОТОПОВ В ПОЙМЕННОЙ ПОЧВЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ
В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КРАСНОЯРСКОГО ГХК:
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

М.Ю. Кропачева

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия

marya@igm.nsc.ru

**ISOTOPE MIGRATION IN THE YENISEI RIVER FLOODPLAIN SOIL
IN THE KMCC NEAR IMPACT ZONE: FIRST RESULTS OF A FIELD EXPERIMENT**

M. Yu. Kropacheva

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

marya@igm.nsc.ru

Abstract. Представлены первые результаты, полученные в ходе полевого эксперимента по установлению скорости и направления миграции искусственных изотопов в пойменной почве Енисея в ближней зоны влияния Красноярского ГХК. Показано в основном вертикальное направление миграции изотопов. Соотношение изотопов совпадает с таковым во вмещающей почве. Также миграционные способности заметно зависят от влажности как вмещающей почвы, так и чистого грунта из ризобокса.

Введение

В ходе многолетних исследований содержаний искусственных изотопов в пойме реки Енисей в различных зонах влияния Красноярского горно-химического комбината нами были получены различные данные по содержаниям искусственных изотопов в компонентах пойменного биогеоценоза (почва, ризосфера, корни пойменных растений, надземная часть пойменных растений). Эти данные представляли не только валовые содержания искусственных изотопов, но и их формы нахождения как в косном, так и живом веществе компонентов пойменного биогеоценоза. На основе полученных данных о подвижных формах изотопов в компонентах пойменного биогеоценоза были сделаны количественные расчеты вторичного выноса искусственных изотопов, депонированных в компонентах пойменного биогеоценоза, в результате паводков [1].

Для подтверждения этой теоретической оценки необходимо провести серию натурных экспериментов, в ходе которых необходимо получить данные о параметрах биогеоценоза реки. Первым из серии натурных экспериментов стал эксперимент с ризобоксами по определению скорости миграции искусственных изотопов в пойменной почве модельного участка (косы Атамановской) в ближней зоне влияния Красноярского ГХК.

Материалы и методы

Полевой эксперимент с ризобоксами проводился в 2023–2024 гг. Ризобоксы представляли собой проволочные короба размером 330x250x180 мм. В каждый короб помещались три слоя по 20 мешочков с чистым грунтом с фонового участка поймы. Вес грунта в каждом мешочке составил 200±5 г. Ризобоксы были размещены в приповерхностном грунте в голове и хвосте косы Атамановской на границе зоны затопления ежегодными паводками. Короба располагались узкой стороной по направлению течения реки, плотно засыпались извлеченным из ямы грунтом. Сверху укладывались куски снятого дерна. Полевая часть эксперимента длилась 316 дней, с 29 августа 2023 г. по 10 июля 2024 г. После извлечения ризобоксов, мешочки с грунтом взвешивались, упаковывались для доставки в лабораторию, где высушивались в сушильном шкафу при T=80 °C, и еще раз взвешивались для определения влажности. Определение γ-излучающих изотопов проводилось в Центре коллективного пользования Многоэле-

ментных и изотопных исследований СО РАН методом γ -спектрометрии на HPGe ППД с низкофоновым криостатом EGPC 192-P21/SHF 00-30A-CLF-FA (EURISYS MEASURES, Франция) с коаксиальным Ge(Li) полупроводниковым детектором ДГДК-100В (ИФТП, г. Дубна).

Результаты и их обсуждение

В хвосте острова субстрат был более влажным, чем в голове. В среднем потеря веса при высушивании грунта из мешочков составила 22–25 % для ризобоксов с головы косы и 24–26% для ризобоксов с хвоста косы.

Из-за ограничения по времени и длительности измерения определение содержаний γ -излучающих изотопов в пробах грунта из ризобоксов проводились не подряд. Были проведены промеры реперных точек, а именно угловых проб из переднего и заднего края (относительно течения реки) ризобокса каждого из 3 слоев. Из-за низкой активности проб измерения каждого образца длился 48 часов. Удельные активности γ -излучающих изотопов в грунте из ризобоксов в голове косы не превышали предела обнаружения. В ризобоксах из хвоста косы зафиксированы следовые количества γ -излучающих изотопов, поэтому было решено образцы из этих ризобоксов промерить более тщательно. На данный момент полностью промерены образцы из ризобокса 3 с мешочками из мельничного газа с размером ячеек 180 мкм (табл. 1). Данные приведены с учетом фоновых удельных активностей изотопов в грунте из ризобокса.

Таблица 1. Удельные активности изотопов (Бк/кг) в образцах грунта из ризобокса 3

проба	Слой 1				Слой 2				Слой 3			
	¹³⁷ Cs	¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu	⁶⁰ Co
1	1,02	1,21	1,64	0,05	1,49	0,78	1,13	0,02	0,54	1,80	1,46	0,39
2	0,40	0,74	1,15	н.п.о.	0,54	0,25	1,30	0,12	0,68	0,66	1,05	0,08
3	1,83	2,61	1,23	0,15	0,48	0,10	1,20	0,10	0,47	0,99	н.п.о.	0,12
4	0,94	1,96	1,30	н.п.о.	0,92	0,81	1,09	н.п.о.	1,07	1,62	1,18	0,40
5	0,81	0,56	0,77	н.п.о.	0,58	0,21	1,68	н.п.о.	0,85	1,00	0,95	0,00
6	0,52	3,78	1,43	0,32	н.п.о.	0,18	0,74	н.п.о.	0,27	0,06	1,20	0,05
7	0,57	0,06	1,05	н.п.о.	0,23	н.п.о.	0,98	0,16	0,17	0,22	1,54	0,06
8	0,73	1,02	0,57	н.п.о.	0,71	1,05	1,36	н.п.о.	0,08	0,08	0,88	0,04
9	2,69	6,46	1,21	0,04	0,24	0,25	1,61	н.п.о.	0,69	0,85	1,07	н.п.о.
10	0,90	1,91	1,78	0,34	0,38	0,13	1,96	н.п.о.	0,19	0,30	1,26	н.п.о.
11	0,72	1,53	1,62	н.п.о.	0,09	0,10	1,13	0,04	0,21	0,04	0,84	0,03
12	0,66	0,63	1,39	н.п.о.	0,36	0,58	1,77	0,33	0,45	0,13	1,78	0,13
13	0,73	1,08	0,73	н.п.о.	0,30	0,28	1,33	н.п.о.	0,54	0,26	0,85	0,04
14	2,64	1,15	1,28	н.п.о.	0,34	н.п.о.	0,72	н.п.о.	0,03	0,56	1,07	н.п.о.
15	1,48	0,91	1,11	н.п.о.	0,95	1,96	1,67	0,23	0,41	0,36	1,33	н.п.о.
16	0,68	0,97	1,54	0,12	0,53	0,35	1,24	н.п.о.	0,23	0,70	0,94	н.п.о.
17	1,08	1,42	1,08	н.п.о.	0,74	0,49	1,11	н.п.о.	0,65	1,15	1,09	0,10
18	1,32	1,21	1,08	н.п.о.	0,74	0,31	1,43	0,11	0,27	0,54	1,04	0,52
19	2,94	2,28	1,31	н.п.о.	1,06	0,25	н.п.о.	0,05	0,29	0,69	1,14	0,02
20	1,47	1,19	2,35	0,02	0,60	0,73	0,99	н.п.о.	0,09	0,76	1,33	0,06

Примечания: н.п.о. – ниже предела обнаружения, курсив – ошибка измерения больше 35%.

Малые удельные активности образцов из ризобоксах указывают прежде всего на недостаточную длительность проведения полевого эксперимента. Удельные активности изотопов из верхнего слоя вмещающей почвы в хвосте косы Атамановской составляли 340 Бк/кг для ¹³⁷Cs, 480 Бк/кг для ¹⁵²Eu, 80 Бк/кг для ¹⁵⁴Eu и 11 Бк/кг для ⁶⁰Co. Очевиден недостаток времени для более точного определения скоростей и направления миграции изотопов в пойменной почве, однако длительность была ограничена сроками гранта РНФ, в рамках которого выполнялась эта работа. В то же время первые полученные данные дают возможность примерно понять происходящие процессы.

Для наглядности был сделан пересчет удельных активностей каждого образца из ризобокса с Бк/кг на Бк/масса пробы и построены диаграммы распределения изотопов в ризобоксе (рис. 1). Очевидно, что в основном наибольшие содержания изотопов наблюдаются в верхнем слое, что может указывать на преимущественно вертикальное направление миграции изотопов в пойменной почве. Необходимо отметить, что соотношение активностей изотопов в целом то же, что и для вмещающей почвы, самые высокие содержания изотопов в ризобоксе наблюдаются для ^{152}Eu , затем идет ^{137}Cs , ^{152}Eu и меньше всего ^{60}Co .

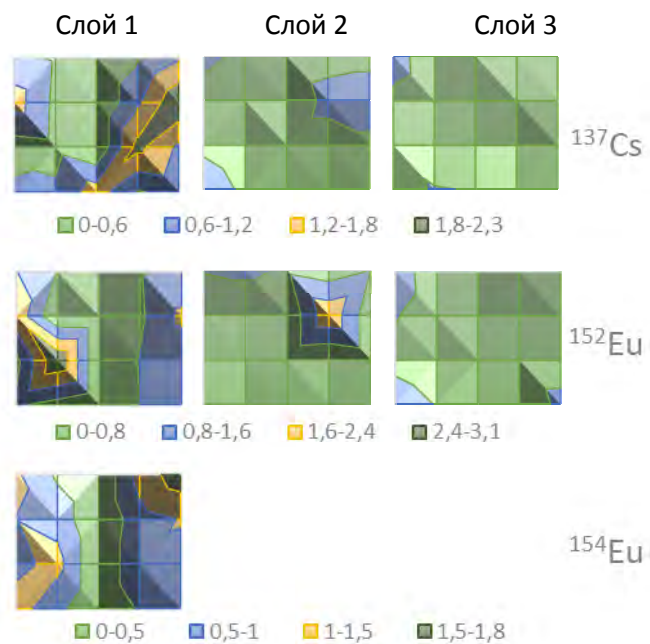


Рис. 1. Концентрации изотопов (Бк/масса пробы) в образцах грунта в ризобоксе 3

Заключение

Первые результаты полевого эксперимента показали преимущественно вертикальное перемещение изотопов в экспериментальной системе. Соотношение изотопов совпадает с таковым во вмещающей почве. Также миграционные способности заметно зависят от влажности как вмещающей почвы, так и чистого грунта из ризобокса.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН
(№122041400193–7).*

Литература

1. Кропачева М.Ю., Чугуевский А.В., Репина А.В. Оценка ежегодного выноса паводковыми водами изотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr из системы «почва-ризосфера-растение» на модельных участках р. Енисей в ближней зоне влияния Красноярского ГХК // Эволюция биосферы, биогеохимические циклы и биогеохимические технологии: связь фундаментальных и прикладных исследований : материалы XIII Международной биогеохимической школы-конференции. – Пущино : 2023. – С. 73–75.

УДК: 504.064

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ЛЕСНОГО УЧАСТКА

Н.А. Кухтенко, Е.А. Гончаров, Е.М. Романов

*Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Россия
KukhtenkoNA@volgatech.net; GoncharovEA@volgatech.net; RomanovEM@volgatech.net*

SPATIAL DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES IN SOILS OF A FOREST AREA

N.A. Kukhtenko, E.A. Goncharov, E.M. Romanov

*Volga Region State Technological University, Yoshkar-Ola, Russia
KukhtenkoNA@volgatech.net; GoncharovEA@volgatech.net; RomanovEM@volgatech.net*

Аннотация. В работе приводятся данные полевого эксперимента по оценке пространственной распределения ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах лесного участка. Показано, что в условиях дальнего радиоактивного следа (территория Пензенской области) коэффициент вариации плотности поверхностного загрязнения почвы ^{137}Cs составляет 21,3%, а распределение естественных радионуклидов на фоне низкой удельной активности в песчаных почвах характеризуется высоким разбросом удельной активности относительно среднего значения (коэффициенты вариации более 45%).

Актуальность исследований

Для атмосферных выпадений техногенных характерна изначально высокая пространственная неоднородность загрязнения, а также появление отдельных пятен с повышенными уровнями на значительном удалении от ЧАЭС. На макроуровне неоднородность связана с удаленностью от источника выброса и метеорологическими условиями выпадения радиоактивных осадков, на микроуровне – с породным составом лесных территорий (влияние древесных крон) и микрорельефом (зоны вторичного рассеивания и аккумуляции) [5, 7, 8]. Для «дальнего» следа минимальной площадью в лесу, в пределах которой плотность загрязнения можно считать однородной, составляет около 4 м² [1].

Объектом исследования послужил лесной участок в 19-м квартале Чаадаевского лесничества Пензенской области. Участок имеет следующие лесоводственно-экологические характеристики: тип лесорастительных условий – свежая суборь, в древостое преобладает сосна обыкновенная с примесью березы повислой, тип леса – сосняк орляковый разнотравный; возраст древостоя 50 лет, высота – 20 м, средний диаметр – 20 см; рельеф участка – ровный, поверхность субгоризонтальная (уклон менее 1°), почва дерново-слабоподзолистая песчаная.

Методика исследований

В пределах квартала был заложен экспериментальный участок размером 20x20 м, который был разбит на 100 квадратов размером 2x2 м. При проведении радиоэкологических исследований в полевых условиях использованы стандартные методики [2, 4, 6]. На участке проводилась дозиметрическая гамма-съемка дозиметром МКС-АТ6130, с каждого квадрата отбирался объединенный образец почвы объемом 1 дм³ (4 керн пробоботборником Ø 40 мм на глубину 20 см). В лабораторных условиях проводилась пробоподготовка и спектрометрический анализ образцов по методике [3]. В образцах определялась удельная активность ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th . По результатам спектрометрического анализа почвенных образцов рассчитывалась плотность загрязнения почвы ^{137}Cs . Статистическая обработка результатов измерений включала расчет описательных статистик (среднее арифметическое, ошибка средней арифметической, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации). В геоинформационной системе строились тематические карты пространственного распределения радио-

нуклидов методом изолиний.

Результаты исследований

В соответствии с методикой исследований был заложен экспериментальный участок, проведена дозиметрическая съемка (уровень мощности эквивалентной амбиентной мощности дозы гамма-излучения составил 0,05–0,07 мкЗв/ч), проведен отбор проб почвы и лабораторные гамма-спектрометрические измерения. Результаты обработки данных приведены в таблице 1.

Таблица 1. Статистическая обработка результатов измерений (выборка N=100)

Показатель	Радионуклид			
	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
Среднее значение плотности загрязнения ^{137}Cs , Ки/км ²	0,94	-	-	-
Среднее значение удельной активности ЕРН, Бк/кг	-	33,9	9,6	1,1
Ошибка среднего значения	0,02	2,4	0,4	0,1
Минимальное значение	0,50	0,0	1,0	0,0
Максимальное значение	1,50	94,7	22,2	3,9
Среднее квадратичное отклонение	0,20	24,1	4,4	1,1
Коэффициент вариации, %	21,3	71,0	46,3	99,9

Для визуализации горизонтального распределения радионуклидов в почве были построены тематические карты в геоинформационной системе MapInfo (рис. 1).

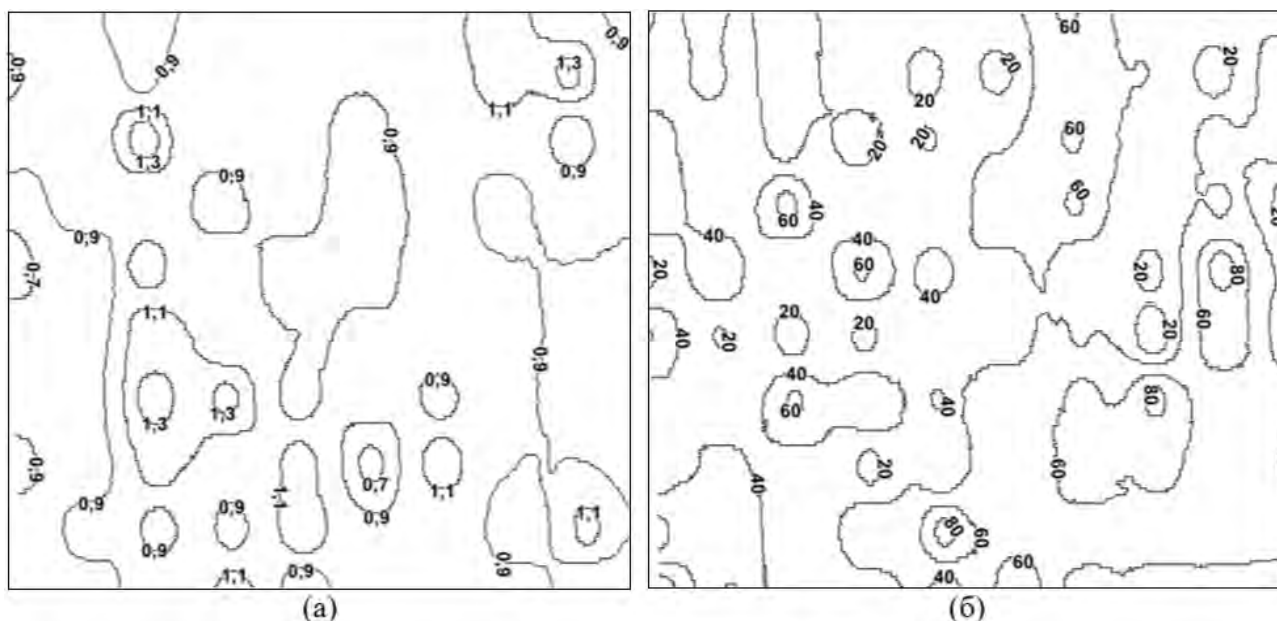


Рис. 1. Карта пространственного распределения радионуклидов:
а) ^{137}Cs , Ки/км²; б) ^{40}K , Бк/кг

Анализ данных таблицы и рисунков позволяет сделать следующие выводы:

- средний уровень загрязнения ^{137}Cs составляет $0,94 \pm 0,02$ Ки/км² или 34,8 кБк/м². При этом размах вариации значений составляет от 0,5 до 1,5 Ки/км², что не позволяет исключить данный участок из зоны техногенного радиоактивного загрязнения (критерий 1 Ки/км²). Коэффициент вариации содержания ^{137}Cs составляет 21,3% (достаточно однородная совокупность), что соответствует данным других исследователей для условий дальнего радиоактивного следа Чернобыльских выпадений [8];
- средний уровень содержания ^{40}K в почвах лесного участка составляет $33,9 \pm 2,41$ Бк/кг. При этом, размах значений составляет от 0 до 94,7 Бк/кг, а коэффи-

- коэффициент вариации составляет 71,0%, что говорит о большой колеблемости совокупности;
- средний уровень содержания ^{226}Ra в почвах лесного участка составляет $9,6 \pm 0,4$ Бк/кг. Размах значений составляет от 1,0 до 22,2 Бк/кг, коэффициент вариации – 46,3% (также большая колеблемость совокупности);
 - ^{232}Th практически отсутствует: средний уровень содержания составляет $1,1 \pm 0,1$ Бк/кг;
 - в целом высокая неоднородность пространственного распределения естественных радионуклидов в основном объясняется низким содержанием данных элементов в песчаных почвах, и, следовательно, высокой неопределенностью результатов их измерений.

Заключение

Исследования показали, что в условиях дальнего радиоактивного следа (территория Пензенской области) коэффициент вариации плотности поверхностного загрязнения почвы ^{137}Cs составляет 21,3%, при этом сохраняются участки значительно превышающие критерий техногенного радиоактивного загрязнения. Распределение естественных радионуклидов на фоне низкой удельной активности в песчаных почвах характеризуется высоким разбросом удельной активности относительно среднего значения. В целом изучение пространственной неоднородности содержания радионуклидов в почве имеет важное значение для оценки уровней радиоактивного загрязнения, прогнозирования и контроля радионакопительной способности хозяйственно-ценных растений.

Литература

1. Демьяненко С.А., Матухно Ю.Д., Михайличенко А.И. и др. Миграция и биологическое поглощение радиоцезия в лесных насаждениях // Чернобыль-94. Итоги 8 лет работы по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС : сб. докл. IV Международной научно-техн. конференции : в 2-х томах. – Чернобыль, 1996. – Т.1. – С. 478–492.
2. Методика выполнения гамма-спектрометрических измерений активности радионуклидов в пробах почвы и растительных материалов. – М. : Рослесхоз, 1994. – 16 с.
3. Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс». – М. : ВНИИФТРИ, 1996. – 37 с.
4. Методические указания по оценке радиационной обстановки в лесном фонде Российской Федерации на стационарных участках (для части территории, загрязненной радионуклидами при аварии на Чернобыльской АЭС). – М., 1993. – 15 с.
5. Переволоцкий, А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. – Гомель : Институт радиологии, 2006. – 255 с.
6. Руководство по ведению лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения от аварии на Чернобыльской АЭС (на период 1997-2000 гг.) – М. : Федеральная служба лесного хозяйства России, 1997. – 111 с.
7. Тихомиров Ф.А., Щеглов А.И., Цветнова О.Б. Распределение и миграция радионуклидов в лесах в зоне радиоактивного загрязнения // Радиационные аспекты Чернобыльской аварии. – СПб. : Гидрометеоиздат, 1993. – Т.2. – С.45–46.
8. Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Klyashtorin A.L. Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems – Moscow : Nauka, 2001. – 235 p.

УДК: 504.064.2

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ
РАДИОНУКЛИДОВ В ДВУХСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКАХ MYTILUS EDULIS
ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА**

П.И. Лапиков, Е.Ю. Яковлев

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени Н.П. Лаврова Уральского отделения РАН, Архангельск, Россия
pavel.lapikov.i@gmail.com

**ASSESSMENT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC RADIONUCLIDE CONTENT
IN BIVALVES MYTILUS EDULIS OF THE NORTHERN DVINA RIVER DELTA**

P.I. Lapikov¹, E.Y. Yakovlev¹

¹*Federal Research Centre for Integrated Arctic Studies named after N.P. Laverov
of the Ural Branch of RAS, Arkhangelsk, Russia
pavel.lapikov.i@gmail.com*

Аннотация. Внимание исследовательской работы направлено на определение активности радионуклидов в двухстворчатых моллюсках *Mytilus edulis* дельты р. Северная Двина в районе острова Ягры. Получены данные на исследовании 56 моллюсков, отобранных в ходе экспедиционных работ в октябре 2024 г. Целью работы является получение данных по активностям естественных и техногенных радионуклидов, а также определение распределения радионуклидов между раковиной моллюска и его телом. Особенностью работы является то, что из 56 моллюсков было сформировано две общие пробы с раковинами и телами моллюсков. Основная активность в пробах формировалась за счет естественного К-40, удельная активность которого составила 134 и 31 Бк/кг в мясе и раковинах соответственно.

Введение

Естественные и техногенные радионуклиды распространены повсеместно в окружающей среде. Белое море является важным объектом для исследования накопления естественных и техногенных радионуклидов, в Арктике, ввиду закрытости и особенностей гидрологического режима [1]. Северная Двина является важным источником воды Белого моря объемом водного стока 104 км³/год [4]. Значимая часть выносимого материала аккумулируется в дельте реки [6], представленной в виде равнобедренного треугольника с площадью 900 км² [2]. Важным источником радиоактивных элементов в дельте Северной Двины является речной сток, седиментация взвешенных веществ которого происходит в области взморья и дельты реки. К дополнительным источникам потенциального радиоактивного загрязнения возможно отнести судостроительные предприятия в городе Северодвинске, что делает район дельты важным для изучения не только с целью исследования миграции и накопления вещества, но и с радиоэкологической позиции.

В дельте Северной Двины получили распространение и такие виды, как двухстворчатые моллюски *Mytilus edulis*, использование их в качестве индикаторов радиоактивного загрязнения возможно благодаря длительному сроку жизни (8–12 лет), деятельность по фильтрации воды и накоплению в себе взвешенных веществ, массовостью этого вида организмов, а также основным местом обитания – литеральной зоной Белого моря [3].

В данной работе была поставлена цель определить активности гамма-излучающих радионуклидов в двухстворчатых моллюсках *Mytilus edulis* дельты р. Северная Двина в районе острова Ягры, как индикатора содержания радионуклидов в водах дельты Северной Двины. Актуальность работы обусловлена тем, что *Mytilus edulis* является потенциальным индикатором радиоактивного загрязнения в области дельты Северной Двины, а так же является важным компонентом цепей питания для гидробионтов и человека.

Материалы и методы исследования

Для оценки содержания естественных и техногенных радионуклидов в пробах моллюсков дельты реки Северная Двина в районе о. Ягры осенью 2024 г. был проведен отбор 56 моллюсков из одной точки. Отбор моллюсков производился с береговой линии песчаного пляжа (координаты места отбора 64.619833, 39.812719). Моллюски промывали под водой, измеряли размер для определения возраста, затем разделяли раковины и мясо, объединяли в две общие пробы, и просушивали при 105 градусах. Радионуклиды определяли на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC (США) на базе коаксиального детектора GEM10P4-70 из высокочистого германия (HPGe), с процессором импульсных сигналов SBS-75 и программным обеспечением Gamma Pro. Расчет удельной бета активности определяли с помощью альфа-бета-радиометра РКС-01 «Абеля» (НТЦ «Амплитуда», Россия). Для отобранных моллюсков были определены возраста расчетным методом с помощью уравнения Берталаффи [3].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения исследования были получены следующие значения. Удельная бета активность во всех проб для всех пробы мяса мидий составила 164 Бк/кг. Удельная бета активность во всех проб для всех пробы раковин составила 49 Бк/кг. Основная активность в пробах формировалась за счет естественного К-40, удельная активность которого составила 134 и 31 Бк/кг в мясо и раковинах соответственно. Возраст моллюсков был определено расчетным методом и составил в среднем 11,4 года.

Таблица 1. Активности радионуклидов в компонентах моллюсков

Активность Бк/кг	Sr 90+Y 90	K-40	Cs-137	Уд.В
Мясо	Менее 43	134	Менее 0,9	164
Раковины	Менее 1	32	1,6	49

Заключение

В работе авторы получили данные по содержанию радионуклидов в моллюсках Северной Двины в районе острова Ягры. Результаты подобных исследований могут быть применены для корректировки существующего радиационного мониторинга, а также для изучения процессов аккумуляции и миграции вещества в компонентах дельты Северной Двины.

Работа выполнена в рамках ФНИР «Особенности миграции элементов и их изотопов в компонентах окружающей среды Западного сектора Российской Арктики в условиях климатических и техногенных изменений» № 125022002727-2.

Литература

1. Алиев Р.А., Бобров В.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность Белого моря // Радиохимия. – 2006. – № 6. – С. 557–561.
2. Гидрология устьевой области Северной Двины. – М. : Гидрометеиздат, 1965. – 376 с.
3. Зотин А.А., Озернюк Н.Д. Особенности роста мидии обыкновенной *Mytilus edulis* Белого моря // Известия Академии наук. Серия биологическая. – 2004. – № 4. – С. 459–464.
4. Магрицкий Д.В., Скрипник Е.Н. Опасные гидрологические процессы в устье Северной Двины и факторы их многолетней изменчивости // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. – 2016. – № 6. – С. 59–70.
5. Матишов Д.Г., Усягина И.С., Касаткина Н.Е. Особенности накопления искусственных радионуклидов в элементах прибрежных экосистем Кольского полуострова // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 413, № 5. – С. 683–686.

6. Ovsepyan A., Fedorov Yu., Zimovets A. Factors determining migration and transformation of mercury in the mouths of northern rivers // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 123. – P. 45–52. – doi: 10.1088/1234-5678/123/1/012345.

УДК 504.05; 504.06

ВЛИЯНИЕ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПОЛИГОНЕ ЛОБ-НОР (КИТАЙ) НА ТЕРРИТОРИЮ И НАСЕЛЕНИЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

А.В. Липихина, Ю.Ю. Брайт, К.Н. Апсаликов, Г.М. Есильканов

НИИ радиационной медицины и экологии НАО «Медицинский университет Семей»,

Семей, Казахстан

a.v.lipikhina@mail.ru

IMPACT OF NUCLEAR TESTS AT THE LOB-NOR SITE (CHINA) ON THE TERRITORY AND POPULATION OF SOUTH-EAST KAZAKHSTAN

A.V. Lipikhina, Y.Y. Brait, K.N. Apsalikov, G.M. Yesilkanov

Research Institute of Radiation Medicine and Ecology of NCJSC «Semey Medical University»,

Semey, Kazakhstan

a.v.lipikhina@mail.ru

Аннотация. Атмосферные испытания, которые стали основной причиной радиоактивного загрязнения природной среды, на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне были завершены в 1962 г. Китайская Народная Республика проводила ядерные испытания в атмосфере с 1965 по 1980 гг. Населенные пункты Урджарского района области Абай расположены на удалении 600–700 км от Семипалатинского полигона и на расстоянии 900–1100 км от полигона Лоб-Нор. Основным научным вопросом исследования является изучение вклада ионизирующей радиации в диапазоне малых доз в результате проведения ядерных испытаний на полигоне Лоб-Нор в формирование радиационной обстановки на территории южного региона области Абай и влияния ядерных испытаний на полигоне Лоб-Нор на население Казахстана.

Введение

Территория юго-восточного Казахстана, в частности самые крупные населенные пункты (села Урджар, Маканчи и Таскескен) Урджарского района расположены на удалении 600–700 км от Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП) и на расстоянии 900–1100 км от китайского полигона Лоб-Нор [2]. Атмосферные испытания, которые стали основной причиной радиоактивного загрязнения природной среды [1], на СИЯП были завершены в 1962 г. Китайская Народная Республика (КНР) проводила ядерные испытания в атмосфере с 1965 по 1980 гг. [4].

Учитывая, что южные районы Семипалатинского региона не попали в ареал воздействия локальных радиоактивных осадков в деятельности СИЯП, а население получило очень малые дозы облучения, до 1987 г. исследования на этих территориях проводились эпизодически. Результаты этих исследований не выявили радиационно-индуцированных эффектов для здоровья населения. Однако в период с 1987 по 1996 гг. было отмечено существенное увеличение онкозаболеваемости и онкосмертности среди населения Маканчинского, Урджарского и Таскескенского районов [3].

В 2000–2001 гг. японские исследователи [5] изучали содержание Cs-137 и изотопов Pu на территории Казахстана на казахстанско-китайской границе, не связывая полученные результаты с воздействием ядерных испытаний ни на СИЯП, ни на Лоб-Нор, рекомендуя использовать полученные результаты для оценки доз облучения населения. В 2011 г. проводилась совместная работа ученых Казахстана, России и Японии по оценке доз населения юго-восточной части Семипалатинской области методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [6], результаты которой показывают превышение доз над результатами контрольного района.

Вполне вероятно проводились и другие исследования по данному вопросу, но по ряду причин, не зависящих от научного сообщества, результаты таких исследований не публикова-

лись. Так, в архиве НИИ РМиЭ (в 1954–1991 гг. закрытое учреждение – Диспансер №4 МЗ СССР) хранятся данные результатов исследований 1960–1990 гг. радиационно-гигиенической обстановки на территориях южного региона области Абай.

Материалы и методы

Основной научный вопрос исследования – изучение вклада ионизирующей радиации в диапазоне малых доз в результате проведения ядерных испытаний на полигоне Лоб-Нор в формирование радиационной обстановки на территории южного региона области Абай. Важным аспектом данного научного исследования является изучение влияния ядерных испытаний в КНР на население Казахстана.

Для решения вышеперечисленных научных задач проведен аналитический анализ ретроспективных материалов (36 измерений мощности экспозиционной дозы (МЭД), 176 проб почвы, 641 значение содержания радиоактивных элементов в почве). Проведена оценка радиационных показателей современной экологической обстановки территории Урджарского района (по 126 измерений МЭД, суммарной альфа и бета активности на открытой местности, спектрометрический анализ 30 проб почвы). Рассчитаны дозовые нагрузки населения исследуемых сел от основных дозообразующих взрывов, проведенных на полигоне Лоб-Нор.

Результаты и их обсуждение

В 1963 г. средняя общая бета-активность поверхностного слоя почвы (0–1 см) сел Маканчи, Урджар и Таскескен составила 1120, 994 и 1080 Бк/кг соответственно. Данные значения характеризуют содержание радиоактивных элементов в почве исследуемой территории после прекращения атмосферных ядерных испытаний на СИЯП и до начала проведения атмосферных ядерных испытаний на полигоне Лоб-Нор в КНР.

Через 8 дней после взрыва, проведенного 17 июня 1967 г. в КНР, в населенных пунктах Маканчи, Урджар и Таскескен средняя общая бета-активность поверхности почвы в слое 0–1 см составила $1,38 \cdot 10^6$, $1,09 \cdot 10^6$ и $1,02 \cdot 10^6$ Бк/кг соответственно. Активности Cs-137 и Sr-90 составляли 4000–5000 Бк/кг, что превышало средний уровень загрязнения почв СССР в 1967 г. примерно в 20 раз, и на три порядка превышало показатели 1963 г.

В 1973 г. отбор проб почвы на территории исследуемых сел проводился через 13 дней после испытания 27 июня 1973 г. Средняя суммарная бета-активность для почвы составила $1,85 \cdot 10^7$, $1,63 \cdot 10^7$ и $1,51 \cdot 10^7$ Бк/кг в Маканчи, Урджаре и Таскескене соответственно. Активности Cs-137 и Sr-90 составляли 5000–6000 Бк/кг.

Результаты лабораторных измерений показали также наличие «свежих» продуктов деления Sr-89, Zr-95, Te-132, Ba-140 и радиоактивных изотопов йода. Накопление на почве Zr-95+Nb-95 является, наиболее чувствительным показателем для установления новых поступлений продуктов ядерных взрывов из атмосферы. Среднее по СССР значение содержания накопленного в почве Zr-95 на 1973 г. составляло 148 Бк/м². В селе Таскескен, наиболее удаленном от полигона Лоб-Нор, его содержание на июль 1973 г. составило 657 432 Бк/м².

Результаты исследований 1998–2000 гг. показывают содержание Cs-137 в почве исследуемой территории в пределах 1000–3000 Бк/м². Эти значения такие же или ниже, чем содержание Cs-137 от глобальных осадков в Японии (3000–7000 Бк/м²), содержание для почв Семипалатинского региона (1850–18500 Бк/м²). Содержание Pu-239,240 зарегистрировано в пределах 28–677 Бк/м², что на отдельных локальных участках выше, чем содержание, наблюдаемое в Японии (40–120 Бк/м²), и средний предполагаемый уровень глобальных выпадений в Семипалатинском регионе (50 Бк/м²).

Параметры современной радиационной обстановки сел Маканчи, Урджар, Таскескен Урджарского района области Абай находятся в пределах нормативно установленных значений в Казахстане и в пределах среднемировых значений. Единственным современным свидетельством регионального загрязнения в результате испытаний ядерного оружия является относи-

тельно низкое соотношение $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$, хотя это основано на очень небольшом размере выборки, и невозможно определить источник.

Суммарная доза внешнего облучения, полученная населением Урджарского района области Абай в результате двух ядерных взрывов, проведенных на полигоне Лоб-Нор 17.06.1967 г. и 27.06.1973 г. находится в пределах: 3,9–7,7 сЗв для взрослого населения; 1,5–1,9 сЗв, 3,8–8,0 сЗв, 5,3–7,3 сЗв для детей возрастом до 1 года, от 2 до 10 лет и от 11 до 17 лет, соответственно. Доза внешнего облучения, полученная взрослым населением, либо соизмерима, либо ниже полученной дозы в результате ядерных испытаний, проведенных на СИЯП. Доза, полученная детским населением, превышает дозу от СИЯП максимально в 3,8 раза. Оценки избыточной дозы, полученные с помощью ЭПР дозиметрии, достаточно хорошо согласуются с нашими расчетными значениями.

Заключение

Доказательства загрязнения территории юго-восточного Казахстана китайской программой испытаний ядерного оружия на полигоне Лоб-Нор в основном ограничиваются результатами отбора проб, проведенного близко ко времени испытаний. Эти образцы показали высокие уровни общей бета-активности в поверхностном слое почвы в дни и недели после испытаний. Кроме того, результаты ЭПР дозиметрии свидетельствуют о том, что жители исследуемой территории получили относительно высокие дозы облучения, хотя невозможно определить источник или время воздействия. Современные доказательства ограничены, поскольку большинство основных загрязняющих радионуклидов распались. Современные уровни Cs-137 и соотношения изотопов плутония не подтверждают и не опровергают загрязнение Казахстана китайскими ядерными испытаниями. Мы продолжим поиск результатов радиоэкологического и метеорологического мониторинга, проведенного на исследуемой территории во время ядерных испытаний на Лоб-Норе. Если результаты будут доступны, они существенно пополнят совокупность доказательств.

Работа выполняется в рамках Договора на грантовое финансирование научных стартап проектов научно-педагогических кадров НАО «Медицинский университет Семей» на 2022–2025 гг. (Договор №378 от 12 сентября 2022 г.) на базе Научно-исследовательского института радиационной медицины и экологии НАО «Медицинский университет Семей».

Литература

1. Логачев В.А., Логачева Л.А. Радиологические последствия проведения ядерных испытаний на полигонах мира // Вестник НЯЦ РК. – 2003. – Вып. 3. – С. 7–17.
2. Соколова И.Н., Великанов А.Е. Современный мониторинг сейсмических событий из района испытательного полигона Лобнор по данным сети ИГИ РК // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып. 3. – С. 24–32.
3. Gusev B.I. et al. Cancer Mortality in Populations in Kazakhstan Subjected to Irradiation from Nuclear Weapons Testing in China: Technical Report / Department of Defense USA. – 2008. – 138 p.
4. Inaba J., Ishida J.I., Hirota S. et al. Dose reconstruction for residents near the former Semipalatinsk nuclear test sites with a focus on the study of radiation health effects // Jap. J. Health Phys. – 2020. – Vol. 55(4). – P. 250–256.
5. Yamamoto M., Hoshi M., Takada J. et al. Current levels and distribution of ^{137}Cs and Pu isotopes in soil on the Kazakhstan territory of the Kazakhstan-Chinese border: Semipalatinsk and Lob Nor nuclear test sites detonation // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 2004. – Vol. 261(3). – P. 533–545.
6. Zhumadilov K., Hoshi M., Ivannikov A. et al. The influence of the lop nor nuclear weapons test base to the population of the republic of Kazakhstan // Rad. Measure. – 2011. – Vol. 46(4). – P. 425–429.

УДК 550.424.6:550.84.094

**^7Be , ^{210}Pb И ^{137}Cs В МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВОМ ПОКРОВЕ РАЗЛИЧНЫХ
ЛАНДШАФТНЫХ ЗОН ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

К.А. Мезина, М.С. Мельгунов

*Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
mezinaka@igm.nsc.ru*

**^7Be , ^{210}Pb AND ^{137}Cs IN MOSS-LICHEN COVER OF VARIOUS LANDSCAPE ZONES
IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA**

K.A. Mezina, M.S. Melgunov

*$^3\text{V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia$
mezinaka@igm.nsc.ru*

Аннотация. Цель работы – установить современный уровень геохимического фона атмосферных радиоизотопных индикаторов (^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs) в мохово-лишайниковом покрове южных регионов Западной Сибири и выявить основные закономерности их распределения, проявляемые в пределах исследованных природных ландшафтных зон региона. Самые низкие содержания и запасы ^{210}Pb зарегистрированы в таллومه лишайников и теле мхов высокогорной зоны республики Алтай, а самые его высокие концентрации и запасы отмечаются в южной части ленточных боров степной зоны Алтайского края. Содержания ^{137}Cs невелики и варьируют в диапазоне от 3,7 Бк/кг на юге степной зоны до 6,9 Бк/кг в высокогорной зоне республики Алтай. Аналогичная закономерность наблюдается и для подстилки. Наибольшие содержания ^7Be в лишайниках и мхах отмечаются в высокогорной зоне и достигают 361 Бк/кг.

Введение

Атмосферный перенос вещества является одним из основных факторов, определяющих формирование и состояние современного геохимического фона поверхности. Естественные и искусственные радионуклиды широко применяются для исследования потоков вещества в окружающей среде, в том числе и в атмосфере. В эколого-геохимических исследованиях для характеристики процессов атмосферного переноса вещества используют радиоактивные изотопы-индикаторы такие ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs [1–5]. Связано это, прежде всего, с совместным поступлением этих радионуклидов с веществом атмосферных выпадений, высокими значениями их активностей в различных объектах окружающей среды и высокой надежностью, достоверностью их определения современными аналитическими методами, такими как полупроводниковая гамма-спектрометрия.

В мировой практике научных исследований, мхи и лишайники являются общепринятыми биоиндикаторами загрязнения окружающей среды, используемыми как инструмент при изучении процессов атмосферного переноса вещества. Особенности их питания, преимущественно за счет поступающих из атмосферы веществ, чувствительность к минимальным изменениям параметров окружающей среды, продолжительное время жизни делают их хорошими депонентами поступающих из атмосферы химических элементов и радионуклидов [6–9].

Сибирь занимает значительную часть северного полушария Земли. Большая протяженность ее территории с севера на юг способствует ярко выраженной широтной зональности и разнообразию ландшафтных зон в распределении почв и растительности, которая определяется климатом, геологическим строением и рельефом местности.

Целью работы является установить современный уровень геохимического фона атмосферных радиоизотопных индикаторов (^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs) в мохово-лишайниковом покрове южных регионов Западной Сибири и выявить основные закономерности их распределения, проявляемые в пределах исследованных природных ландшафтных зон региона.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны лишайники *Cladonia stellaris* и мхи *Hylocomium splendens*. Данные виды широко распространены в ленточных борах степной и лесостепной зон Алтайского края и часто встречаются в высокогорной зоне республики Алтай.

1. Высокогорная зона республики Алтай – долина р. Джасатор и р. Бугузун Кош-Агачского района, долина р. Башкаус Улаганского района, Семинский перевал Шеба-линского района.
2. Ленточные боры южной части степной зоны Алтайского края – Волчихинский, Кос-малинский, Новичихинский (Барнаульский).
3. Ленточные боры северной части степной зоны Алтайского края – Бурлинский, Кор-ниловский.

Определение активностей ^7Be , ^{210}Pb и ^{137}Cs в подготовленных образцах мха, лишайника и подстилки проводилось методом высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием гамма-спектрометра на основе низкофонового колодезного HPGe детектора EGPC 192-P21/SHF 00-30A-CLF-FA (EURISYS MESURES). Определения активностей радиоизотопов проводилось по аналитическим гамма-пикам 45,6 кэВ (^{210}Pb), 477,6 кэВ (^7Be) и 661,7 кэВ (^{137}Cs). Регистрация гамма-квантов, расчет площадей и погрешностей определения аналитических фотопиков проводился с использованием программно-спектрометрического комплекса GammaVision (ORTEC). При этом расчет активностей гамма-излучающих радионуклидов производился согласно методике, изложенной в работах [10–11]. Использованная методика позволяла учитывать влияние таких мешающих факторов, как непостоянство плотности анализируемого образца, геометрии измерения, наложения мешающих пиков и эффекта каскадного суммирования аналитических гамма-линий. Длительность измерения образцов варьировала от 2 до 48 часов и подбиралось таким образом, чтобы статистическая погрешность определения аналитических фотопиков 46,5 и 477,6 кэВ не превышала 5%. Предел обнаружения метода составлял 0,02 Бк при времени измерения 24 часа.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что самые низкие содержания ^{210}Pb зарегистрированы в талломе лишайников высокогорной зоны республики Алтай (385 Бк/кг сухого вещества). Здесь же фиксируются и самые низкие его запасы (445 Бк/м²). Самые высокие концентрации и запасы ^{210}Pb отмечаются в южной части ленточных боров степной зоны Алтайского края – 727 Бк/кг и 825 Бк/м². В лишайниках северной части ленточных боров Алтайского края содержится в среднем 604 Бк/кг и 589 Бк/м² ^{210}Pb . Содержания ^{137}Cs невелики и варьируют в диапазоне от 3,7 Бк/кг (4,2 Бк/м²) на юге степной зоны до 6,9 Бк/кг (7,8 Бк/м²) в высокогорной зоне республики Алтай. Наибольшие содержания ^7Be отмечаются так же в высокогорной зоне и достигают 361 Бк/кг (401 Бк/м²). В степной зоне его содержания ниже при запасах порядка 270–280 Бк/м². Аналогичная закономерность наблюдается и для подстилки. Содержания и запасы ^{210}Pb возрастают в ряду высокогорная (2209 Бк/м²) – степная северная (3018 Бк/м²) – степная южная зоны (4040 Бк/м²). Больше всего ^{137}Cs содержится в лишайниковой подстилке высокогорной зоны (121 Бк/кг или 449 Бк/м²). Если рассматривать общий запас радионуклидов в системе «лишайник – подстилка», то для всех изученных ландшафтных зон в подстилке находится 83–84% ^{210}Pb , 97–99% ^{137}Cs , ^7Be в подстилке не фиксируется. Самые низкие содержания ^{210}Pb в теле мхов так же отмечены в высокогорной зоне республики Алтай (848 Бк/кг сухого вещества или 721 Бк/м²). Самые высокие концентрации и запасы ^{210}Pb отмечаются в южной части ленточных боров степной зоны Алтайского края – 1151 Бк/кг и 1170 Бк/м². Во мхах северной части ленточных боров Алтайского края содержится в среднем 1079 Бк/кг и 883 Бк/м² ^{210}Pb . Содержания ^{137}Cs в среднем выше чем в лишайниках и варьируют в диапазоне 11–12 Бк/кг или 10–11 Бк/м² на всей изученной террито-

рии. Наибольшие содержания ^7Be во мхах также отмечаются в высокогорной зоне и достигают 477 Бк/кг (396 Бк/м²). В степной зоне его содержания ниже при запасах порядка 270–245 Бк/м². Запасы ^{210}Pb в подстилке возрастают в ряду высокогорная (1583 Бк/м²) – степная южная (2717 Бк/м²) – степная северная (2919 Бк/м²) зоны. Содержание ^{137}Cs в моховой подстилке в среднем по региону одинаково для всех ландшафтных зон (86–94 Бк/кг или 242–246 Бк/м²). С учетом вклада всех компонент системы «мох – подстилка» для всех изученных ландшафтных зон в подстилке находится 69–77% ^{210}Pb , 96% ^{137}Cs , ^7Be в подстилке не фиксируется.

Заключение

Во всех изученных природных ландшафтных зонах во мхах содержания и запасы ^{210}Pb в 1,5–2 раза выше, чем в лишайниках. Для подстилок наблюдается другая картина – при близких содержаниях ^{210}Pb его запасы в лишайниковых подстилках выше. Во мхах выше содержания ^{137}Cs . В моховых и лишайниковых подстилках степной зоны содержания и запасы ^{137}Cs близки. Для высокогорной зоны моховые подстилки по содержанию и запасам ^{137}Cs сравнимы со степными. В лишайниковых подстилках наблюдаются более высокие содержания и запасы этого радионуклида.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№122041400193-7) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Аналитические исследования проведены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследованиях СО РАН.

Литература

1. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 286 с.
2. Baskaran M., Coleman C.H., Santschi P.H. Atmospheric depositional fluxes of ^7Be and ^{210}Pb at Galveston and College Station, Texas // J. Geophys. Res.: Atmospheres. – 1993. – Vol. 98(D11). – P. 20555–20571.
3. Krmar M., Mihailovic D.T., Arsenic I. Beryllium-7 and ^{210}Pb atmospheric deposition measured in moss and dependence on cumulative precipitation // Science of the Total Environment. – 2016. – Vol. 541. – P. 941–948.
4. Melgunov M., Mezina K., Sherbov B. et al. Radioactive elements in atmospheric precipitations of the Western Siberia // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 98. – Art. No. 10003.
5. Mezina K., Melgunov M., Belyanin D. ^7Be , $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ and ^{137}Cs in snow deposits in the Arctic part of Western Siberia (Yamal-Nenets Autonomous District) // Atmosphere. – 2020. – Vol. 11(8). – P. 825.
6. Бязров Л.Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 476 с.
7. Nifontova M. Radionuclides in the moss-lichen cover of tundra communities in the Yamal Peninsula // Science of the Total Environment. – 1995. – Vol. 160. – P. 749–752.
8. Ruhling A., Tyler G. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. et Sch // Oikos. – 1970. – Vol. 21. – P. 92–97.
9. Bargagli R., Monaci F., Borghini F. et al. Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on *Hypnum cupressiforme* and *Parmelia caperata* in a former mining district in Italy // Environmental Pollution. – 2002. – Vol. 116(2). – P. 279–287.
10. Gavshin V.M., Melgunov M.S., Sukhorukov F.V. et al. Disequilibrium between uranium and its progeny in the Lake Issyk-Kul system (Kyrgyzstan) under a combined effect of natural and man-made processes // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – Vol. 83. – P. 61–74.
11. Мельгунов М.С., Гавшин В.М., Сухоруков Ф.В. и др., Аномалии радиоактивности на южном побережье озера Иссык-Куль (Кыргызстан) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – Т. 11(6). – С. 869–880.

УДК 504.5:621.039:582.099 (470.55)

НАКОПЛЕНИЕ ^{90}Sr ТРАВЯНИСТЫМИ РАСТЕНИЯМИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЯДЕРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Л.Н. Михайловская, В.Н. Позолотина, З.Б. Михайловская, В.П. Гусева
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия
mila_mikhaylovskaya@mail.ru

ACCUMULATION OF ^{90}Sr BY HERBACEOUS PLANTS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE NUCLEAR ENTERPRISE

Mikhailovskaya L.N., Pozolotina V.N., Mikhailovskaya Z.B., Guseva V.P.
Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia
mila_mikhaylovskaya@mail.ru

Abstract. Изучены закономерности накопления ^{90}Sr травами на автоморфных элементах ландшафта в зоне влияния крупного ядерного предприятия на Урале. В настоящее время диапазон значений коэффициентов перехода (КП) ^{90}Sr у 48 видов трав, принадлежащих к 18 семействам и двум классам, составляет $(0,8-89,9) \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$. Изменчивость коэффициентов перехода (КП) ^{90}Sr у растений разной таксономической принадлежности, в первую очередь определяется их видовыми особенностями и в меньшей степени зависит от принадлежности видов к крупным таксонам. Связь КП ^{90}Sr у травянистых растений и плотности загрязнения почв описывается степенной функцией при условии однородности элементов ландшафта и сходстве типов почв.

Введение

В настоящее время известно, что накопление радионуклидов растениями в природных экосистемах очень изменчиво, на него влияют многие факторы: комплекс почвенных и погодноклиматических условий, время, прошедшее с момента загрязнения, видовые особенности растений. Противоречивость сведений об изменчивости факторов переноса радионуклидов из почв в растения и разные суждения о причинах этих различий определяют актуальность нашего исследования, которое выполнено в зоне влияния Производственного объединения (ПО) “Маяк”. Эта территория характеризуется большим разнообразием ландшафтов и почв, высоким флористическим и ценотическим богатством, широким градиентом радиоактивного загрязнения [1]. На этом уникальном природном полигоне мы провели многолетний цикл исследований, посвященных анализу факторов, влияющих на процессы поступления радионуклидов из почв в растения.

Цель данной работы – обобщить результаты об изменчивости коэффициентов перехода ^{90}Sr у травянистых растений и выявить основные причины этой изменчивости с учетом таксономических особенностей видов, уровней радиоактивного загрязнения почв и условий окружающей среды в зоне влияния ядерного предприятия.

Материалы и методы

Исследования проводили вблизи г. Кыштым, в лесостепной зоне Южно-Зауральской провинции. Территория подвергалась хроническому радиоактивному загрязнению глобальными выпадениями и штатными выбросами предприятий. В 1957 г. на территории ПО “Маяк” произошел взрыв емкости с радиоактивными отходами (Кыштымская авария). Аварийные выпадения сформировали Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). В выпадениях преобладали короткоживущие радионуклиды, а из долгоживущих изотопов наибольший вклад в загрязнение зоны внес ^{90}Sr .

На разных расстояниях от источников загрязнения были выбраны реперные участки на автоморфных элементах рельефа, с неповрежденным почвенным покровом и растительностью.

На каждом участке закладывали по три почвенных разреза, располагая их по углам треугольника со стороной 10 м. Отбор проб надземной массы растений проводили, как правило, в конце вегетационного сезона. Все образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, взвешивали, измельчали и озоляли при $t=450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определение ^{90}Sr в образцах проводили радиохимическим способом по аттестованной методике [1]. Поступление радионуклидов в надземную массу растений оценивали, используя концентрации ^{90}Sr и коэффициенты перехода радионуклида (КП), рекомендованные МАГАТЭ [2]. Величину КП ($\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$) рассчитывали как отношение удельной активности радионуклида в организме ($\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ сухой массы) к плотности загрязнения 0–40-сантиметрового слоя почвы ($\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$).

Результаты и их обсуждение

Было исследовано 43 вида травянистых растений, принадлежащих к 16 семействам класса Dicotyledoneae, и 5 видов, принадлежащих к 2 семействам класса Monocotyledoneae. Диапазон КП составил $(0,8-89,9) \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$. Минимальные КП ^{90}Sr в импактной зоне $(0,8-2,0) \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ были обнаружены у всех представителей сем. Роасеае, а также других семейств: *Achillea millefolium*, *Medicago sativa*, *Valeriana officinalis*, *Leonurus quinquelobatus*, *Rumex confertus*, *Agrimonia eupatoria*, *Arctium tomentosum*; максимальные – $(10,4-27,9) \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ у *Aegopodium podagraria*, *Heracleum sibiricum*, *Pulmonaria mollissima*, *Berteroa incana*, *Plantago major*, *Veronica spicata*, *Tussilago farfara*. Для остальных видов: *Cirsium setosum*, *Centaurea scabiosa*, *Taraxacum officinale*, *Tanacetum vulgare*, *Artemisia absinthium*, *A. vulgaris*, *Saussurea amara*, *Cichorium intybus*, *Trifolium pretense*, *T. medium*, *Melilotus albus*, *M. Officinalis*, *Lathyrus pratensis*, *Vicia cracca*, *V. Sylvatica*, *Melandrium album*, *Stellaria media*, *Origanum vulgare*, *Urtica dioica*, *Galium verum*, *G. Boreale*, *Lithospermum officinale*, *Chamaenerion angustifolium*, *Fragaria vesca*, *Filipendula ulmaria*, *Rubus saxatilis*, *Geranium sylvaticum*, *G. Pratense*, *Polygonatum odoratum* диапазон составлял $(2,3-9,6) \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$. Аналогичные результаты получены в Казахстане, где минимальные КП обнаружены у представителей сем. Роасеае, а максимальные – сем. Fabaceae и Ариасеае [3]. Виды принадлежащие одному семейству характеризуются как различными, так и близкими величинами КП. На фоновой территории КП ^{90}Sr для всех исследованных видов $(3,9-89,9) \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$, что значительно выше, чем в импактной зоне. Корреляционный анализ показал отрицательную зависимость КП от плотности загрязнения почв (R_s от $-0,365$ до $-0,563$, $p=0,05$). Зависимость КП у растений разных групп от плотности загрязнения почв автоморфных участков ландшафта описывается степенной функцией $y=ax^{-b}$. В табл. 1 приведены коэффициенты соответствующих уравнений регрессии (a , b) и коэффициенты детерминации (R^2) для разнотравья, представителей сем Asteraceae, отдельных видов: *Cirsium setosum* и *Urtica dioica*.

Таблица 1. Параметры уравнений регрессии $y=a \cdot x^{-b}$ для КП ^{90}Sr (y) в зависимости от плотности загрязнения почв (x) и коэффициенты детерминации R^2 [1]

Объект	a	b	R^2
Разнотравье	14,41	–0,15	0,39
Сем. Asteraceae	21,38	–0,25	0,46
<i>Cirsium setosum</i>	18,81	–0,35	0,83
<i>Urtica dioica</i>	30,55	–0,22	0,59

Вариабельность КП может быть обусловлена комплексом почвенных характеристик, изменчивых погодно-климатических условий и физиологическими особенностями растений. Эти данные хорошо согласуются с результатами исследований проведенных нами ранее. Значения КП ^{90}Sr , полученные для трав Уральского региона, близки к величинам, установленным в зоне аварии на Чернобыльской АЭС $(1,3-90,0) \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$, и в зоне Семипалатинского полигона в Казахстане $(0,6-11,9) \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ [3, 4].

Многолетние исследования накопления ^{90}Sr видами из разных семейств на ограниченной территории импактной зоны ВУРСа с плотностью загрязнения почв $^{90}\text{Sr} \approx 10\,000 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ показали, что КП для *Urtica dioica* в разные годы варьирует от $2,5 \times 10^{-3}$ до $10,2 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$, для *Bromopsis inermis* – от $0,3 \times 10^{-3}$ до $5,9 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$, а для *Cirsium setosum* – от $0,8 \times 10^{-3}$ до $4,9 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$. При этом *Urtica dioica* сохраняет позицию вида-накопителя весь период наблюдения.

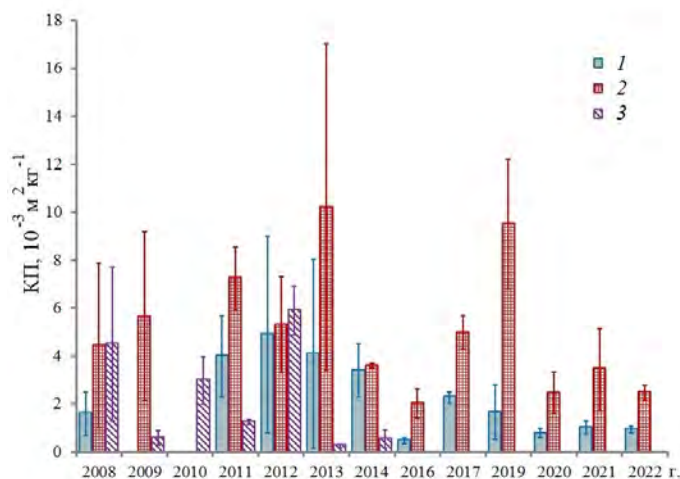


Рис. 1. Изменение КП ^{90}Sr с течением времени у *Cirsium setosum* (1), *Urtica dioica* (2) и *Bromopsis inermis* (3) [1]

Заключение

Спустя более 65 лет после радиоактивного загрязнения обширных территорий в зоне влияния ПО Маяк, на примере 48 видов травянистых растений, принадлежащих к 18 семействам и двум классам, установлено, что диапазон значений КП ^{90}Sr составляет $(0,8–89,9) \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$. Накопление ^{90}Sr растениями в первую очередь определяется видовыми физиологическими особенностями и в меньшей степени зависит от их принадлежности к крупным таксонам. Изменения КП ^{90}Sr во времени у отдельных видов могут быть разной величины и направленности, что обусловлено неоднородностью радионуклидного загрязнения почв, а также высокой изменчивостью погодно-климатических условий в разные годы. На автоморфных элементах рельефа установлена нелинейная зависимость КП ^{90}Sr в растения от плотности загрязнения почв.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН (122021000077-6).

Литература

1. Михайловская Л.Н., Позолотина В.Н., Михайловская З.Б. и др. Изменчивость коэффициентов перехода ^{90}Sr у травянистых растений разных таксономических групп в зоне влияния ядерного предприятия // Экология. – 2025. – № 2. – С. 91–104.
2. IAEA, Handbook of transfer parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments. – Vienna : IAEA, 1994. – 364 p.
3. IAEA. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments. – Vienna : IAEA, 2009. – 622 p.
4. Savinkov A., Semioshkina N., Howard B.J. Radiostrontium uptake by plants from different soil types in Kazakhstan // Science of the Total Environment. – 2007. – Vol. 373. – P. 324–333.

УДК 581.5:539.163:581.4:631.45

ПОТОКИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ МИГРАЦИИ ^{137}Cs В АГРОСИСТЕМАХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИИ ПЛАВСКОГО РАДИОАКТИВНОГО ПЯТНА ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

Т.А. Парамонова, Н.В. Кузьменкова, Л.А. Турыкин, А.О. Жерненко

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
paramonovata@my.msu.ru, kuzmenkovanv@my.msu.ru, turykhinla@my.msu.ru, zhernenkovao@my.msu.ru

FLOWS OF ^{137}Cs BIOLOGICAL MIGRATION IN AGROSYSTEMS OF VEGETABLE CULTURES ON THE TERRITORY PLAVSKY RADIOACTIVE SPOT OF TULA REGION IN THE REMOTE PERIOD AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT

T.A. Paramonova^{1,2}, N.V. Kuzmenkova^{1,3}, L.A. Turykin¹, A.O. Zhernenkov^{1,2}

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
paramonovata@my.msu.ru, kuzmenkovanv@my.msu.ru, turykhinla@my.msu.ru, zhernenkovao@my.msu.ru

Abstract. Определены современные уровни загрязнения пахотных черноземов и овощной растительной продукции ^{137}Cs в ореоле Плавского радиоактивного пятна Тульской области. Показаны долговременность превышений допустимых уровней содержания ^{137}Cs в почвах пахотных земель Европейской части России при низкой интенсивности процессов его биологической миграции, что обуславливает экологическую безопасность выращивания свеклы, моркови, лука репчатого и картофеля на исследованной территории.

Введение

Радиоактивное загрязнение пахотных земель России продуктами аварийного выброса Чернобыльской АЭС в 1986 году вплоть до настоящего времени создает определенные риски за счет биогенной миграции ^{137}Cs по цепочке «пахотная почва – сельскохозяйственная культура – человек». Благодаря длительному периоду полураспада ^{137}Cs ($T_{1/2}$ 30,2 лет) и его прочной необратимой фиксации в межслоевом пространстве глинистых минералов и слюд в почвах сельскохозяйственных угодий пул радионуклида по-прежнему сосредоточен в пахотном горизонте (Burger, Lichtscheidl, 2018). В этой связи на приуроченных к ореолам чернобыльских выпадений пахотных землях особое беспокойство вызывает возделывание овощных культур со съедобной подземной частью, поскольку она находится в прямом контакте с загрязненной почвой. Кроме того, многие овощи способны к повышенному накоплению ^{137}Cs по сравнению с другими культурами севооборота (IAEA, 2009) и в ряде случаев употребляется в пищу без предварительной кулинарной обработки, которая, как правило, способствует деконцентрации загрязняющих веществ.

Таким образом, накопление ^{137}Cs в продукции овощеводства на радиоактивно загрязненных территориях Европейской части России является важной задачей текущего обеспечения радиационной безопасности населения. Кроме того, для разработки системы эффективных контрмер на случай возможных будущих инцидентов на радиационно опасных объектах, необходимо прогнозировать параметры интенсивности корневого поглощения и потоки миграции радионуклидов в агросистемах различных сельскохозяйственных культур с учетом их биологических особенностей.

Материалы и методы

Для оценки экологической безопасности выращивания на радиоактивно загрязненных территориях Европейской части России овощных культур с поедаемой подземной частью в 2020–2022 гг. было проведено исследование в агросистемах моркови, свеклы, репчатого лука и картофеля в ореоле Плавского радиоактивного пятна Тульской области, где в 1986 г. уровень

загрязнения почв ^{137}Cs оценивался как 185–555 кБк/м² (Атлас современных и прогнозных аспектов ..., 2009). Почвы района представлены в основном пахотными выщелоченными черноземами (Luvic Chernozems) тяжелосуглинистого гранулометрического состава, которые способны в наибольшей степени к прочному связыванию ^{137}Cs в твердой фазе, тем самым снижая его биологическую доступность для растений, одновременно концентрируя радионуклид в пределах пахотного горизонта, мощность которого в исследованных агросистемах составляла 30 см (с дополнительным глубоким чизелеванием до 40–50 см) в агросистемах моркови, свеклы, лука).

Отбор почвенных проб проводился на каждом опорном участке послойно с шагом 10 см до глубины 60 см (в агросистеме картофеля – до 40 см) из фиксированного объема 425 см³ в 3-кратной повторности. Надземные и подземные фракции биомассы культур отбирались с фиксированной площади 2500 см² в сроки непосредственно перед уборкой урожая в 3-кратной повторности. После перемещения в лабораторию образцы почв и растений проходили стандартные процедуры пробоподготовки, величины удельной активности ^{137}Cs определялись на гамма-спектрометре Canberra (США) с полупроводниковым детектором на основе сверхчистого германия (HPGe).

Результаты и их обсуждение

Современные уровни накопления ^{137}Cs в пахотных черноземах агросистем овощных культур на территории Плавского радиоактивного пятна составляют 80–185 кБк/м² с аккумулярованием 70–99% общих запасов в пределах пахотного слоя 0–30 см (табл. 1). При использовании в агротехнике возделывания культур глубокого чизелевания глубина массового проникновения радионуклида составляет 40–50 см.

Таблица 1. Величины удельной активности и запасов ^{137}Cs в агросистемах овощных культур в ореоле Плавского радиоактивного пятна

Культура	Удельная активность в слое 0-30 см, Бк/кг		Запасы в слое 0-30 см, кБк/м ²		Общие запасы в почве, кБк/м ²	
	среднее ± дов. инт.	размах	среднее ± дов. инт.	размах	среднее ± дов. инт.	размах
морковь	420 ± 31 ^c	389 – 436	168 ± 22	152 – 190	184 ± 11	174 – 194
свекла	244 ± 32	228 – 260	92 ± 11	86 – 97	95 ± 10	91 – 100
лук	164 ± 27	141 – 186	58 ± 7	52 – 65	82 ± 7	77 – 93
картофель	372 ± 18	355 – 386	140 ± 28	117 – 166	141 ± 28	118 – 167

Таблица 2. Величины удельной активности и запасов ^{137}Cs в агросистемах овощных культур в ореоле Плавского радиоактивного пятна

Культура	Фракция биомассы	Сырая биомасса, кг/м ²	Сухая биомасса, кг/м ²	^{137}Cs в сырой биомассе, Бк/кг	^{137}Cs в сухой биомассе, Бк/кг
морковь	стебли и листья	1,003 ± 0,090	0,124 ± 0,012	2,0 ± 0,2	16,3 ± 1,3
	корнеплод	2,458 ± 0,542	0,242 ± 0,079	0,5 ± 0,1	4,7 ± 0,7
свекла	стебли и листья	5,744 ± 0,448	0,424 ± 0,028	1,7 ± 0,7	22,0 ± 13,6
	корнеплод	12,484 ± 1,323	1,949 ± 0,280	0,8 ± 0,3	4,9 ± 1,5
лук	листья	5,053 ± 0,846	0,341 ± 0,053	0,8 ± 0,4	11,1 ± 5,9
	луковица	7,469 ± 0,494	0,683 ± 0,109	0,07 ± 0,04	0,8 ± 0,4
картофель	стебли и	4,942 ± 0,348	0,273 ± 0,034	1,2 ± 0,7	17,4 ± 6,9

	листья				
	клубни	3,182 ± 1,019	1,265 ± 1,123	2,1 ± 1,7	4,5 ± 0,3

Несмотря на 2–5-кратное превышение допустимой плотности радиоактивного загрязнения пахотных почв (≤ 37 кБк/м²), аккумуляция ¹³⁷Cs в овощах характеризуется низкой интенсивностью, что обуславливает полное соответствие уровней накопления радионуклида в получаемой продукции (до 120 и 600 Бк/кг для сырой и сухой биомассы соответственно). Значения коэффициента накопления ¹³⁷Cs в общей биомассе растений не превышают $1,4 \cdot 10^{-1}$ для столовой свеклы и $2,9 \cdot 10^{-2}$ для других культур. При этом основной закономерностью распределения ¹³⁷Cs в растениях является уменьшение в 2–50 раз величин его удельной активности в корнеплодах, луковицах и клубнях по сравнению с листьями и стеблями надземной части (табл. 2).

Заключение

Таким образом, выращивание овощей со съедобной подземной частью в пост-чернобыльской зоне с черноземами выщелоченными и уровнем загрязнения до 185 кБк/м² не представляет радиологической опасности для здоровья населения.

Результаты получены при финансовой поддержке исследования Правительством Российской Федерации, реализуемой в рамках Соглашения №075-15-2025-008 от 27.02 2025.

Литература

1. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. – Москва–Минск : Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2009. – 140 с.
2. Burger A., Lichtscheidl I. Stable and radioactive cesium: A review about distribution in the environment, uptake and translocation in plants, plant reactions and plants' potential for bioremediation // Sci. Total Environ. – 2018. – Vol. 618. – P. 1459–1485.
3. IAEA (International Atomic Energy Agency). Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments. TECDOC-1616. International Atomic Energy Agency. –Vienna, Austria, 2009. – 208 p.

УДК 631.438

**РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ
В ЭЛЬКОНСКОМ УРАНОВО-РУДНОМ РАЙОНЕ (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)**

П.И. Собакин, А.П. Чевычелов

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
chev.soil@list.ru*

**RADIOACTIVE POLLUTION OF PERMAFROST SOILS
IN THE ELKONSKY URANIC-MINING DISTRICT (SOUTH YAKUTIA)**

P.I. Sobakin, A.P. Chevchelov

Institute of Biological Problems of Cryolithosones SB RAS, Yakutsk, Russia, chev.soil@list.ru

Abstract. Исследованы особенности миграции естественных тяжелых долгоживущих радионуклидов ^{238}U и ^{226}Ra в мерзлотных почвах техногенных таежно-мерзлотных ландшафтов Эльконского ураново-рудного района на территории Южной Якутии, оценена степень их радиоактивного загрязнения. Для определения общего содержания ^{238}U и ^{226}Ra в изучаемых почвах был использован комплекс методов, таких как гамма-спектрометрический, рентгеноспектральный и эманационный. Основным источником загрязнения почв в данных ландшафтах являются отвалы радиоактивных горных пород, образовавшиеся в ходе геолого-разведочных работ, проведенных здесь в последней трети XX века. В почвах исследуемых ландшафтов наблюдается два вида миграции ^{238}U и ^{226}Ra , то есть аэротехногенный и гидрогенно-техногенный, обуславливающих различное внутрипрофильное распределение данных радионуклидов и разную степень радиоактивного загрязнения почв.

Введение

Техногенез – это совокупность геохимических процессов, связанных с деятельностью людей, которая сопровождается извлечением из окружающей среды, концентрацией и перегруппировкой химических элементов. Прогноз влияния техногенеза и обоснование методов защиты природной среды от загрязнения должны базироваться на знании законов миграции химических элементов в различных природных геохимических обстановках поверхности земли [1]. При разведке и разработке месторождений с повышенным содержанием естественных радионуклидов в различные компоненты природных ландшафтов поступают дополнительные количества естественных радиоактивных элементов. Характер и масштабы такого поступления зависят от типа месторождений, технологии разведки и разработки недр, ландшафтно-геохимических особенностей региона и других условий [2].

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в Эльконском ураново-рудном районе на территории Южной Якутии. Данный район геоморфологически приурочен к Эльконскому горсту, представляющему горное поднятие на Алданском нагорье, характеризующееся низко- и среднегорным рельефом и преобладанием в растительном покрове горно-таежной растительности. Климат исследуемой территории – континентальный, холодный гумидный и супергумидный. В почвенном покрове региона в автоморфных позициях формируются подзолы и подбуры, а в поймах рек и ручьев – аллювиальные почвы.

При изучении состава почвенного покрова и свойств почв исследуемого региона применялись общепринятые почвенные методы исследований, такие как сравнительно-аналитический [4] и профильно-генетический [5]. Для определения содержания естественных радионуклидов ^{238}U и ^{226}Ra в почвах использовался комплекс ядерно-физических (гамма-спектрометрический, рентгеноспектральный) и радиохимических (эманационный) методов, широко применяемых в геологии и радиоэкологии [3].

Результаты и их обсуждение

В процессе воздушной миграции радионуклиды ^{238}U и ^{226}Ra в составе радиоактивной пыли поступают на поверхность подбур и закрепляются в самой верхней части профиля данной почвы, то есть в лесной подстилке или гор. О и перегнойно-гумусовом гор. А0А1 на глубине 2–5 см. Средневзвешенное количество ^{238}U и ^{226}Ra в профиле данной почвы соответственно составляло $5,3$ и $18,2 \times 10^{-7}$ мг/кг, а значения коэффициента превышения над фоновым содержанием Кпр – $5,3$ и $4,5$. При этом за фоновые концентрации данных радионуклидов в подбурх исследуемого района нами приняты величины 1 и 4×10^{-7} мг/кг. Исходя из средневзвешенных величин удельной активности ^{238}U и ^{226}Ra , которые соответственно составляли 63 и 65 Бк/кг, значение отношения $^{226}\text{Ra}:^{238}\text{U}$ в данной почве было равно $1,03$, то есть предельно приближено к равновесному (табл.).

Таблица. Содержание и распределение ^{238}U и ^{226}Ra в почвах техногенных ландшафтов Южной Якутии

Горизонт	Глубина, см	²³⁸ U		²²⁶ Ra		²²⁶ Ra: ²³⁸ U
		Бк/кг	мг/кг	Бк/кг	n×10 ⁻⁷ мг/кг	
Подбур оподзоленный, разрез 4ЭГ-02						
О	0-1	85	6,9	163	45	1,92
О	1-2	546	44,3	652	180	1,19
A0A1	2-5	190	15,4	163	45	0,86
A1A2	5-8	58	4,7	50	14	0,86
B	8-14	44	3,6	45	12	1,02
BC	14-19	47	3,8	39	11	0,83
CD	19-37	40	3,3	43	12	1,07
D	37-42	15	1,2	16	4	1,07
	Среднее*	63	5,3	65	18,2	1,05
	Кпр		5,3		4,5	
Аллювиальная темногумусовая, разрез 5ЭГ-02						
О	0-1	381	31	541	150	1,42
A0A1	1-2	1279	104	996	275	0,78
A1	2-4	1931	157	1722	476	0,89
A1	4-6	2583	210	1784	493	0,69
A1	6-8	725	59	455	126	0,63
A1	8-10	1341	109	996	275	0,74
A1	10-12	1501	122	1488	411	0,99
A1	12-18	258	21	135	37	0,52
B	18-24	49	4	36	10	0,73
BC	24-36	25	2	25	7	1,00
C	36-39	86	7	25	7	0,29
C	39-45	308	25	25	7	0,08
[AC]	45-58	541	44	37	10	0,07
	Среднее*	503	41	284	78	0,56
	Кпр		13,7		19,5	

Примечание: * – средневзвешенное содержание для почвенного профиля.

В аллювиальной почве, куда изучаемые радионуклиды поступают в процессе водной миграции, содержание и распределение ^{238}U и ^{226}Ra совершенно отличается от таковых в подбуре. Так, если в подбуре внутрипрофильное распределение данных радионуклидов носит аккумулятивный характер, то в аллювиальной почве характеризуется как сложное. Здесь выделяются два убывающих максимума содержания ^{238}U и ^{226}Ra на глубинах 1–6 и 8–12 см и третий

минимальный максимум ^{238}U на глубине 39–58 см. Это также дополнительно подтверждает большую подвижность ^{238}U по сравнению с ^{226}Ra в процессе водной миграции в природных условиях Южной Якутии, когда уран проникает на всю глубину сезонноталого слоя почвы вплоть до многолетней мерзлоты. Радий в отличие от урана в данной почве закрепляется в верхнем слое и проникает только на глубину 0–18 см. Средневзвешенное содержание ^{238}U в аллювиальной темногумусовой почве равно 41 мг/кг, а ^{226}Ra – 78×10^{-7} мг/кг, что соответственно в 13,7 и 19,5 раз превышает фоновые содержания данных радионуклидов. Для исследуемой аллювиальной почвы за фоновые концентрации ^{238}U и ^{226}Ra соответственно приняты величины 3 и 4×10^{-7} мг/кг. Степень радиоактивного загрязнения аллювиальной почвы ураном и радием по сравнению с подбуром возрастает в 2,6 и 4,3 раза соответственно в процессе водной миграции данных радионуклидов.

Средневзвешенное отношение $^{226}\text{Ra}:^{238}\text{U}$ в гидроморфной аллювиальной почве составляет 0,56 и по сравнению с таковым автоморфного подбюра почти в 2 раза ниже и значительно сдвинуто от равновесного в сторону избытка ^{238}U . Особенно это отчетливо проявляется в надмерзлотной толще на глубине 39–58 см, где отношение $^{226}\text{Ra}:^{238}\text{U}$ достигает минимальных величин 0,07–0,08. Вероятнее всего здесь происходит одновременное накопление ^{238}U как на механическом (многолетняя мерзлота), так и физико-химическом (восстановительные условия) и сорбционном (погребенный горизонт) барьерах, в отсутствие такового отмечаемого для ^{226}Ra . Уменьшение радиево-уранового отношения отмечается и в других аллювиальных почвах, формирующихся в поймах водотоков на расстоянии 0,9–34,0 км ниже по течению от радиоактивных отвалов горных пород участка Курунг. И только в 43,6 км от данных отвалов в аллювиальной почве долины р. Алдан данное отношение предельно приближается к равновесному и составляет 0,96 [6].

Заключение

В почвах техногенных ландшафтов Южной Якутии наблюдается два вида миграции ^{238}U и ^{226}Ra : аэротехногенный и гидрогенно-техногенный, обусловленных соответственно воздушным и водным рассеиванием данных радионуклидов от источников загрязнения. В автоморфном подбуре отмечается аккумулятивный характер внутрипрофильного распределения ^{238}U и ^{226}Ra , когда данные радионуклиды закрепляются в самой верхней части профиля данной почвы на глубине 2–5 см. При этом средневзвешенное содержание урана и радия соответственно составляет 5,3 мг/кг и $18,2 \times 10^{-7}$ мг/кг, радиево-урановое отношение – 1,03, а значение $K_{\text{пр}}$, то есть превышения над фоновым уровнем – 5,3 и 4,5. В гидроморфной аллювиальной почве исследуемого района наблюдается более сложное внутрипрофильное распределение ^{238}U и ^{226}Ra , когда выделяются 2–3 убывающих максимума данных радионуклидов. При этом в надмерзлотной толще данной почвы на глубине 39–58 см выявлен пик увеличения концентрации ^{238}U , приуроченный к погребенному почвенному горизонту, обогащенному гумусом и мелкодисперсными частицами глины и ила. Средневзвешенное содержание ^{238}U в аллювиальной почве равно 41 мг/кг, а ^{226}Ra – 78×10^{-7} мг/кг, что соответственно в 13,7 и 19,5 раз превышает фоновые концентрации данных радионуклидов, а отношение $^{226}\text{Ra}:^{238}\text{U}$ составляет 0,56 и смещено от равновесного в сторону избытка ^{238}U . Степень радиоактивного загрязнения аллювиальной почвы ураном и радием по сравнению с подбуром возрастает соответственно в 2,6 и 4,3 раза.

Литература

1. Глазовская М.А. Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу // Биогеохимические циклы в биосфере. – М. : Наука, 1976. – С. 99–119.
2. Мосинец В.Н. Радиоактивные отходы уранодобывающих предприятий и их воздействие на окружающую среду // Атомная энергия. – 1991. – Т. 70, вып. 5. – С. 282–288.
3. Радиогеохимические исследования : методические рекомендации / под ред. А.А. Смыслова. –

- М. : Министерство геологии СССР, 1974. – 139 с.
4. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. – Новосибирск : Наука, 1971. – 92 с.
 5. Розанов Б.Г. Морфология почв. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 320 с.
 6. Chevychelov A., Sobakin P., Gorokhov A. и др. Migration of ^{238}U and ^{226}Ra radionuclides in technogenic permafrost taiga landscapes of Southern Yakutia, Russia // Water. – 2021. – Vol 13. – 966 p.

УДК 551.324

**РАДИОНУКЛИДЫ В КРИОКОНИТАХ ЛЕДНИКОВ ЦЕЙ И СКАЗКА
(РЕСПУБЛИКА СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ)**

Р.Х. Темботов^{1,2}, Е.В. Абакумов², А.М. Гангапшев³, А.М. Гежаев³

¹Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, г. Нальчик, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

tembotov.rustam@mail.ru, e_abakumov@mail.ru, gangapsh@list.ru

**RADIONUCLIDES IN CRYOCONITES OF THE TSEY AND SKAZKA GLACIERS
(REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA)**

R.Kh. Tembotov^{1,2}, E.V. Abakumov², A.M. Gangapshev³, A.M. Gezhaev³

¹Tembotov Institute of Ecology of Mountain territories RAS, Nalchik, Russia

²St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

³Institute for Nuclear Research RAS, Moscow, Russia

tembotov.rustam@mail.ru, e_abakumov@mail.ru, gangapsh@list.ru

Abstract. Изучению активности радионуклидов в криоконитах ледников, в настоящее время уделяется большое внимание. Актуальность подобных работ обусловлена тем, что по всему миру происходит дегляциация ледников и радионуклиды, скопившиеся в криоконитах, с водными потоками могут поступать в перигляциальную зону и аккумулироваться в почвах и растениях. В настоящей работе представлены данные по удельной активности естественных (K-40, U-235, U-238, Th-232) и антропогенного (Cs-137) радионуклидов в криоконитах ледников Цей и Сказка (Республика Северная Осетия-Алания). В работе показано, что удельная активность изученных естественных радионуклидов в криоконитах исследованных ледников обладают не высокими и сопоставимыми со средне мировыми значениями, а активность антропогенного радионуклида Cs-137 значительно ниже.

Содержание естественных радионуклидов, обычно определяют при оценке радиоактивности окружающей среды и для исследований процессов их переноса и миграции в экосистемах. К естественным радионуклидам земного происхождения относятся продукты распада U-238 (радиоактивное семейство урана), U-235 (радиоактивное семейство актиноурана), Th-232 (радиоактивное семейство тория) и K-40 (радиоактивный калий). С появлением ядерного оружия и ядерной энергетики к ним добавились антропогенные радионуклиды, попадающие в окружающую среду благодаря деятельности человека. Для оценки загрязненности земной поверхности, наибольший интерес представляет антропогенный радионуклид Cs-137 (Бураева, 2023).

Происходящее в последнее время расширение сельского хозяйства в полярные и высокогорные регионы, связано с истощением почвенных ресурсов и изменением климата. Потепление климата, вызвало быструю деградацию вечной мерзлоты, которое особенно чувствуется в полярных регионах и высокогорных областях. Активная дегляциация наблюдается практически во всех полярных и горных регионах Земли, в том числе и на Кавказе (Котляков и др., 2023). Несмотря на то, что главной причиной деградации ледников по всему миру является глобальное изменение климата, наличие криоконитовых отложений может ускорить этот процесс. Благодаря темному цвету, криоконит способствует поглощению солнечной радиации и ускорению таяния ледников (Abakumov et al., 2022). В работах (Owens et al., 2019, Abakumov et al., 2022) показано, что криоконит эффективно накапливает загрязняющие вещества, в том числе и радионуклиды. Продолжающаяся дегляциация может привести к высвобождению радионуклидов с криоконитов находящихся на поверхности ледников, и они попадут в реки, текущие вниз по течению, что, в свою очередь, может повлиять на экосистемы и

здоровье людей (Owens et al., 2019).

Кавказ является крупнейшей и самой высокой горной системой в России, занимающей площадь около 450 тыс. км² и протяженностью около 1500 км. В работе (Котляков и др., 2023) показано, что ледники Кавказа с начала 20 века, уменьшились на 46%. При наблюдаемом отступлении высокогорных ледников Кавказа, перенос загрязняющих веществ, в том числе и радионуклидов, может существенно повлиять на радиоактивное загрязнение горных районов.

Исходя из всего вышесказанного, целью данной работы стала оценка удельной активности радионуклидов в криоконитах Кавказских ледников – Цей и Сказка (Республика Северная Осетия-Алания).

Объектами исследования стали долинные ледники Центрального Кавказа: Цей и Сказка (Республика Северная Осетия-Алания).

Ледник Цей, один из крупнейших ледников Центрального Кавказа (площадь около 10 км²). Находится ледник в горном массиве Адай-Хох на северном макросклоне Большого Кавказа. С середины XIX века он сократился в длину на 1.9 км, по площади – на 1.7 км², а высота конца ледника поднялась на 250 м. По мере отступления ледника, на месте оголенных приледниковых участков формируются луговые сообщества, на участках возрастом 10–14 лет уже образуются кустарниковые, а на 30–35-летних – лесные сообщества. Ледник Сказка расположен в верхней части ущелья Сказка, находящегося рядом с Цейским ущельем, на перевале высотой 3800 м над уровнем моря, между горами Лагау и Адай-хох. Длина ледника составляет около 3 км, а язык спускается до высот 2400 м. С конца XIX века нижний край ледника Сказка поднялся примерно на 700 м (Бушуева, 2013). На поверхности изученных ледников были отобраны по 3 пробы криоконитов.

Удельную активность радионуклидов в пробах измеряли в низкофоновом режиме, на гаммаспектрометре (Рисунок) из сверхчистого германия с эффективностью регистрации 20% (согласно спецификации ANSI/IEEE 325-1996), расположенном в подземной лаборатории Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН.

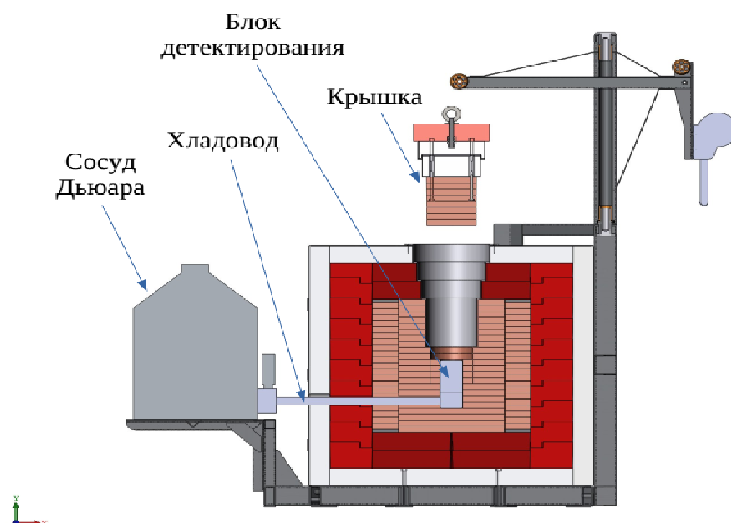


Рис. Схематический вид низкофоновой гамма-спектрометрии в пассивной защите. Розово-коричневым цветом выделен медный слой защиты, красным – свинцовый слой, белым – борированный полиэтилен

Гамма-спектрометрический анализ показал, что во всех спектрах присутствуют γ -линии от распадов K-40, цепочек распадов U-238, U-235 и Th-232. Активность K-40 определялась по линии 1460.8 кэВ, U-238 – по линии 351.9 кэВ, U-235 – по линии 143.8 кэВ, Th-232 – по ли-

нии 238.6 кэВ. Кроме естественных радионуклидов, на спектрах обнаружена линия 661.7 кэВ от распадов антропогенного изотопа Cs-137, период полураспада – 30.08 лет, E_γ – 661.7 кэВ, выход квантов на распад – 85.1%.

Представленные в таблице (Таблица) данные показывают, что удельная активность изученных радионуклидов в пределах одного ледника в различных пробах криоконита не одинаковы. Коэффициент вариации изученных естественных радионуклидов в криоконитах исследованных ледников в зависимости от радионуклида находится в пределах низких и средних значений и составляет, для Цей от 1 до 17%, для Сказки – от 1 до 16%.

Таблица. Статистические показатели изученных радионуклидов в криоконитах ледников Цей и Сказка

Радионуклиды	Среднее значение, Бк/кг	Минимум, Бк/кг	Максимум, Бк/кг	Коэффициент вариации, %	Ошибка средней, Бк/кг
Ледник Цей					
K-40	183.3	182	186	1.3	1.3
U-235	1.5	1.2	1.7	17.2	0.15
U-238	19.8	17.5	21.6	10.6	1.2
Th-232	21.3	20.4	21.9	3.7	0.5
Cs-137	2.4	2.1	2.9	17	0.2
Ледник Сказка					
K-40	348	327	380	8.1	16.3
U-235	1.4	1.3	1.7	16.1	0.1
U-238	20.4	20.1	20.6	1.3	0.2
Th-232	28.1	26.9	29.8	5.3	0.9
Cs-137	2.6	2.2	2.8	12.3	0.2

При сравнении ледников Цей и Сказка обнаружено, что активность исследуемых естественных радионуклидов, выше в криоконитах ледника Сказка, за исключением радионуклида U-235. Статистически значимые различия активности обнаружены по радионуклидам K-40 ($t=10.1$, $p=0.000$) и Th-232 ($t=7.0$, $p=0.002$). Что касается активности антропогенного радионуклида Cs-137, то также в криоконитах ледника Сказка, его средние значения выше чем на Цее, хотя различия не являются статистически значимыми.

Проведенный анализ литературных данных и сопоставление их с полученными нами данными показал, что активность естественных радионуклидов (K-40, U-238 и Th-232) в криоконитах ледников Цей и Сказка схожи с их концентрациями на ледниках Кавказа (гора Эльбрус), Закавказье (Грузия) и Арктики (Шпицберген) и значительно ниже чем в Антарктике и на Альпах. Что касается удельной активности антропогенного радионуклида Cs-137, то полученные нами данные сопоставимы с данными полученными на ледниках горы Эльбрус и в Антарктике, но значительно (иногда в несколько тысяч раз) ниже чем в Альпах, Арктике и Грузии. Полученные в исследования данные дополняют сведения о географических особенностях радиоактивного загрязнения криоконитов как полярных, так и высокогорных ледников Земли.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 24-44-00006.

Литература

1. Бураева Е.А. Радиоактивность почв Юга Европейской части России : дис. ... докт. биол. наук. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2023. – 466 с.

2. Бушуева И.С. Колебания ледников на Центральном и Западном Кавказе по картографическим, историческим и биоиндикационным данным за последние 200 лет : дис... канд. геогр. наук. – М. : Институт географии РАН, 2013. – 169 с.
3. Котляков В.М., Хромова Т.Е., Носенко Г.А. и др. Ледники в горах России (Кавказ, Алтай, Камчатка) в первой четверти XXI века // Лед и Снег. – 2023. – Т. 63, № 2. – С. 157–173. – doi: 10.31857/S2076673423020114.
4. Abakumov E., Gangapshev A., Gezhaev A. et al. Radionuclide activity in cryoconite from glaciers of the Central Caucasus, Russia // Solid Earth Sciences. – 2022. – Vol. 7. – P. 268–275. – doi: 10.1016/j.sesci.2022.08.001.
5. Owens P., Blake W., Millward G. Extreme levels of fallout radionuclides and other contaminants in glacial sediment (cryoconite) and implications for downstream aquatic ecosystems // Scientific Reports. – 2019. – Vol. 9. – Art. No. 12531. – doi: 10.1038/s41598-019-48873-z.

УДК 56.074.6

**О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ СПЕКТРОМЕТРИИ
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ АНАЛИЗЕ
ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

В.В. Турышев

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

vvturyshev@yandex.ru

**ON THE POSSIBILITY OF USING GAMMA-RADIATION SPECTROMETRY DATA
FROM ROCK SAMPLES IN THE ANALYSIS
OF PALEOCLIMATE CONDITIONS**

V.V. Turyshev

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

vvturyshev@yandex.ru

Abstract. Подтверждена возможность оценки палеоклимата по данным гамма-спектрального метода, установленная ранее ирландскими исследователями на примере аптских отложений южной Англии и южной Франции. На основе изучения образцов горных пород из групп пластов «С» и «В», а также отдельных месторождений Западной Сибири показано, что ключевые отношения «Каолинит/гидрослюда» (К/Г) и Th/K имеют достаточно сильную корреляционную взаимосвязь. Отношение Th/U не может служить показателем палеоклимата. Кроме трех основных мешающих факторов – диагенетических изменений пород, присутствия тяжелых минералов и колебаний уровня моря – необходимо учитывать фациальный фактор, влияющий на оба основных показателя. При проведении диагностики палеоклимата желательно использовать скважинный вариант гамма-спектрального метода.

Введение

Статья А. Раффелла и Р. Уордена «Анализ палеоклимата с использованием спектральных данных гамма-излучения из аптского (мелового) периода южной Англии и южной Франции» демонстрирует возможности спектрального гамма-метода в диагностике палеоклимата изучаемого региона. К и U считаются более растворимыми, чем Th, таким образом повышенное соотношение Th к К или U в почвах и эродированных глинах может отражать жаркий, влажный климат и палеоклимат. Это исследование показывает, что данные SGR более полезны, чем первоначально предполагалось. Когда проблемы с наложением тяжелых минералов и диагенезом преодолены, для интерпретации прошлых моделей выветривания внутренних районов можно использовать спектральные гамма-каротаж обнажений и скважин из аргиллитов или богатых глиной пластов смешанных последовательностей [2].

Материалы и методы

Проверка гипотезы А. Раффелла и Р. Уордена была проведена на коллекции образцов горных пород юрского и мелового возраста, взятых из разрезов разведочных скважин Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Все образцы были изучены лабораторным гамма-спектральным методом на содержание радиоактивных элементов К, U и Th с дальнейшим расчетом соотношений Th/K и Th/U. Анализы выполнялись на однокристалльной гамма-спектрометрической установке института ЗапСибНИИГГ (г.Тюмень) с детектором NaJ(Tl) размерами 150 x 100 мм, с колодцем 65 x 60 мм, включавшей фотоумножитель типа ФЭУ-94, аппаратуру регистрации и защитный свинцовый блок. Время замера одного образца массой ~ 100 г составляло примерно 1 ч.

Относительная погрешность определения калия – 2.4, урана – 6.5, тория – 17.5 (%); порог чувствительности соответственно 1500, 0.78, 2.55 (г/т).

Все отобранные образцы, кроме данных гамма-спектрометрии, содержали также данные рентгеноструктурного анализа на содержание глинистых минералов каолинита, хлорита, иллита (гидрослюда).

Исследования выполнялись в два этапа. На первом из них проводилось сопоставление отношений «каолинит-гидрослюда» и отношений Th/K и Th/U, осредненных по группам пластов «С» и «В»; на втором этапе изучалась выборка из 40 образцов нижнемелового и юрского возраста различных месторождений Широтного Приобья. Все изученные образцы были представлены аргиллитами или глинами, с целью минимизации погрешности, связанной с диагенетическими изменениями содержаний радиоэлементов или присутствием в породе тяжелых акцессорных минералов, а также карбонатности пород. Учет еще одного фактора, батиметрического, в нашем случае был затруднен; по фациальному признаку образцы разделялись на втором этапе.

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлены соотношения К/Г, Th/K и Th/U по группам пластов С и В, на рисунке 1 представлено сопоставление трех основных параметров по выборке из 40 образцов.

Таблица 1. Соотношения «К/Г», «Th/K» и «Th/U» по группам пластов «С» и «В»

Пласты	К/Г	Пласты	Th/K	Th/U
АС4-12	0.26	АС4-12	4.41	4.1
БС1	0.12	БС1-8	3.92	4.7
БС4-5	0.15	БС10-14	3.80	4.6
БС16-20	0.15	БС16-22	4.40	5
ЮС0	0.41	ЮС0	5.00	0.2
ЮС1	0.24	ЮС1	3.80	4.8
ЮС2-3	0.25	ЮС2-6	4.55	3.7
ЮС10-11	0.33			
АВ1-3	0.30	АВ1-5	5.25	3.7
БВ6-8	0.08	БВ6-11	4.87	5.8
БВ18-22	0.09	Ачим.	5.32	5.8
ЮВ1	0.22	ЮВ1	4.18	3.1
ЮВ2-3	0.21	ЮВ2-3	4.08	3.7
ЮВ9-10	0.30	ЮВ8-12	4.46	2.1

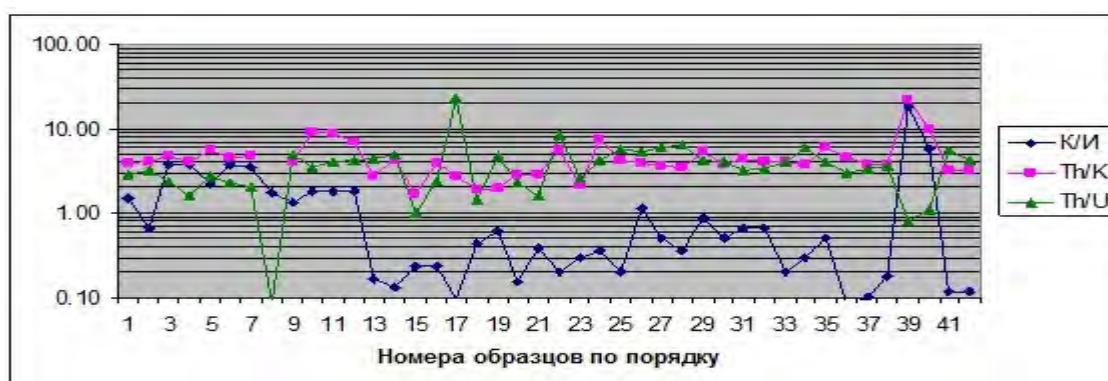


Рис. 1. Сопоставление изучаемых параметров по 40 образцам месторождений Широтного Приобья. К/И – отношение каолинит/иллит

Взаимосвязь «Каолинит/гидрослюда – Th/K» обладает довольно тесной корреляцией с коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,78$, хотя диапазон данных «К/Г» от 6 до 18 практически не

охарактеризован. Напротив, взаимосвязь «К/Г – Th/U» отрицательна. Это объясняется сильной зависимостью отношения Th/U от литологического и фациального факторов и величины потенциала Eh [1]. В статье Раффела и Уордена Th/U-отношение положительно коррелирует с отношением К/Г, хотя и в меньшей степени, чем Th/K-отношение.

Исследование показывает, что оба изучаемых параметра (К/Г и Th/K) зависят от фациального фактора, причем в морских фациях значения минимальны и возрастают в континентальных условиях. Такая закономерность вполне объяснима с точки зрения протекания процессов выветривания. Следовательно, кроме выделяемых Раффелом и Уорденом трех мешающих влияний на содержания радиоэлементов: диагенеза, тяжелых минералов и батиметрии, не исключено и четвертое – фациальная принадлежность отложений, распространяющееся также на отношение «Каолинит/гидрослюда» и требующее своего учета.

Заключение

1. Отношение Th/K умеренно коррелирует с отношением «Каолинит/гидрослюда» как в случае осредненных значений по группам пластов, так и в случае отдельных образцов горных пород, отношение же Th/U с отношением К/Г не связано, что, возможно, объясняется его сильной обусловленностью литолого-фациальными и окислительно-восстановительными условиями.
2. Выявлена зависимость отношений Th/K и «Каолинит/гидрослюда» от фациальной принадлежности отложений. В предыдущих работах установлена степень влияния и направленность фациального и климатического фактора на содержание глинистых минералов и радиоактивных элементов в юрско-меловых отложениях Западно-Сибирской плиты [3, 4].
3. Предварительно можно рекомендовать использование отношения Th/K, наряду с другими методами, для оценки палеоклиматических условий Западной Сибири. При этом желательно, наряду с лабораторным, применение скважинного варианта гамма-спектрального метода, с целью охвата исследованием больших диапазонов глубин.

Литература

1. Adams J.A.S., Weaver C.E. 1958: Thorium-to-uranium ratios as indicators of sedimentary processes: example of concept of geological fades // Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists. – 1958. – Vol. 42(2). – P. 387–430.
2. Ruffell A., Worden R. Palaeoclimate analysis using spectral gamma-ray data from the Aptian (Cretaceous) of southern England and southern France // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2000. – Vol. 155. – P. 265–283.
3. Турышев В.В. Особенности распределения глинистых минералов по площади, разрезу и фациально-климатическим обстановкам юрских осадочных комплексов центральной части Западно-Сибирской плиты // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле : материалы XXIV междунар.конференции. – М. : ИГЕМ РАН. – 2023. – С. 285–288.
4. Турышев В.В. Изучение пород-коллекторов Западной Сибири гамма-спектрометрическим методом. – Тюмень : Изд-во ТИУ, 2019. – 382 с.

УДК 551.7:001.8

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИТОФАЦИЙ ОТЛОЖЕНИЙ
ВАЧИМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО
ГАММА-МЕТОДА**

В.В. Турышев

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
vvturyshev@yandex.ru*

**IDENTIFICATION OF LITHOFACIES OF DEPOSITS
OF THE VACHIMSKOE DEPOSIT BASED ON THE SPECTRAL GAMMA METHOD**

V.V. Turyshev

*Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
vvturyshev@yandex.ru*

Abstract. На основе лабораторных данных спектрального гамма-метода показана возможность выделения в разрезе Вачимского месторождения трех условных областей: 1) область отложений равнины прибрежной с высокими значениями Th и U; 2) область отложений мелководной части шельфа с низкими значениями Th и U; 3) область отложений относительно глубоководной части шельфа с промежуточными значениями Th и U. Поведение тория и урана на фациальной шкале месторождения пока не поддается уверенной геологической интерпретации. В качестве рабочей предлагается гипотеза о разных формах нахождения тория и урана в отложениях двух фациальных областей – в обломках пород и тяжелых минералах (равнина прибрежная) и в рассеянной (дисперсной) форме (мелководная часть шельфа).

Введение

В Западной Сибири ранее были выполнены работы по площадной фациальной дифференциации нижнемеловых и юрских отложений лабораторным спектральным гамма-методом (СГМ), охватывающие крупные стратиграфические единицы – ярусы. При этом на кросс-плотах была выявлена достаточно большая дисперсия данных, приводящая к перекрытию областей с различными фациальными условиями и затрудняющая однозначное разделение существовавших обстановок осадконакопления [1–2]. Осталась недостаточно изученной возможность идентификации литофаций по глубине, в пределах одного месторождения.

Настоящая статья посвящена разбору возможностей спектрального гамма-метода при проведении идентификации обстановок осадкообразования на примере Вачимского нефтегазового месторождения Сургутского нефтегазоносного района.

По мнению автора, вопрос носит теоретический характер, и его решение позволяет расширить представление о возможностях применения данных СГМ при изучении осадочных подповерхностных последовательностей.

Материалы и методы

Исследования были проведены на коллекции из 111 образцов горных пород юрского и нижнемелового возраста, взятых из разрезов разведочных и эксплуатационных скважин Вачимского месторождения. Все образцы были изучены лабораторным гамма-спектральным методом на содержание радиоактивных элементов K, U и Th. Анализы выполнялись на однокристалльной гамма-спектрометрической установке института ЗапСибНИИГГ (г.Тюмень, Россия) с детектором NaJ(Tl) размерами 150 x 100 мм, с колодцем 65 x 60 мм, включавшей фотоумножитель типа ФЭУ-94, аппаратуру регистрации и защитный свинцовый блок. Время замера одного образца массой ~ 100 г составляло примерно 1 ч.

Относительная погрешность определения калия составила 2.4, урана – 6.5, тория – 17.5 (%); порог чувствительности соответственно 1500, 0.78, 2.55 (г/т).

Непосредственно в процессе работы был использован сформированный электронный каталог радиогеохимических данных, содержащий результаты спектрального гамма-метода. Некоторые отложения охарактеризованы значениями открытой пористости, определения абсолютной проницаемости единичны. Для определения палеофациальных условий был взят «Атлас литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины в масштабе 1:5 000 000» 1974 г. под редакцией И.И. Нестерова.

Полученные результаты

Радиогеохимическая характеристика отложений выделенных фациальных областей приведена в таблице 1.

Таблица 1. Радиогеохимическая характеристика выделенных фациальных комплексов

Век	Литология	Кол-во обр.	K, г/т	U, ppm	Th, ppm
Равнина прибрежная, периодически заливавшаяся морем					
Байос-бат	Песчаник	13	1,0-1,92 1,51	0,7-1,8 1,2	3,8-7,4 5,4
	Алевролит	5	1,45-6,09 2,62	1,2-5,4 2,6	5,2-21,3 10,4
	Аргиллит	9	1,75-2,38 2,09	1,9-3,0 2,4	6,5-12,2 9,7
	Переслаивание	3	1,82-2,10 1,97	1,6-2,6 2,1	8,8-10,0 9,3
Баррем	Песчаник	29	1,11-2,15 1,59	0,5-2,3 1,3	2,6-7,7 5,6
	Алевролит	12	1,29-2,04 1,72	1,6-2,6 2,0	5,4-10,4 8,2
	Аргиллит	3	1,63-1,77 1,72	1,4-2,6 2,0	9,0-10,4 9,5
	Переслаивание	7	0,88-1,80 1,47	1,2-2,2 1,7	5,4-9,5 7,9
Мелководная часть шельфа					
Оксфорд	Песчаник	3	1,22-1,88 1,63	0,9-1,2 1,1	4,7-6,8 5,6
Готерив	Песчаник	43	0,73-2,25 1,80	0,4-2,4 1,0	1,7-8,3 3,9
	Алевролит	3	1,65-2,20 1,88	0,8-2,4 1,7	3,8-10,4 7,3
	Аргиллит	5	1,95-2,33 2,14	0,8-1,8 1,3	3,4-11,7 6,6
	Порода карбонатная	3	1,13-1,49 1,33	0,8-0,9 0,8	2,0-3,0 2,4
Относительно глубоководная часть шельфа					
Берриас-ранний валанжин	Песчаник	4	1,31-1,74 1,59	0,8-1,2 1,0	3,6-5,4 4,8
	Алевролит	2	1,85-1,90 1,88	1,0-1,4 1,2	6,6-8,0 7,3

Примечание: в числителе – диапазон изменения значений, в знаменателе – среднеарифметическое значение.

Окончательное выяснение возможностей лабораторного спектрального гамма-метода по идентификации литофаций Вачимского месторождения производится методом кросс-плотов K, U и Th.

На кросс-плоте U-Th (рис. 1) выделяются 3 условные области. Область I соответствует отложениям равнины прибрежной с высокими показаниями U и Th; область II мелководной части шельфа соответствует низким показаниям U и Th; область III относительно глубоководной

части шельфа является промежуточной.

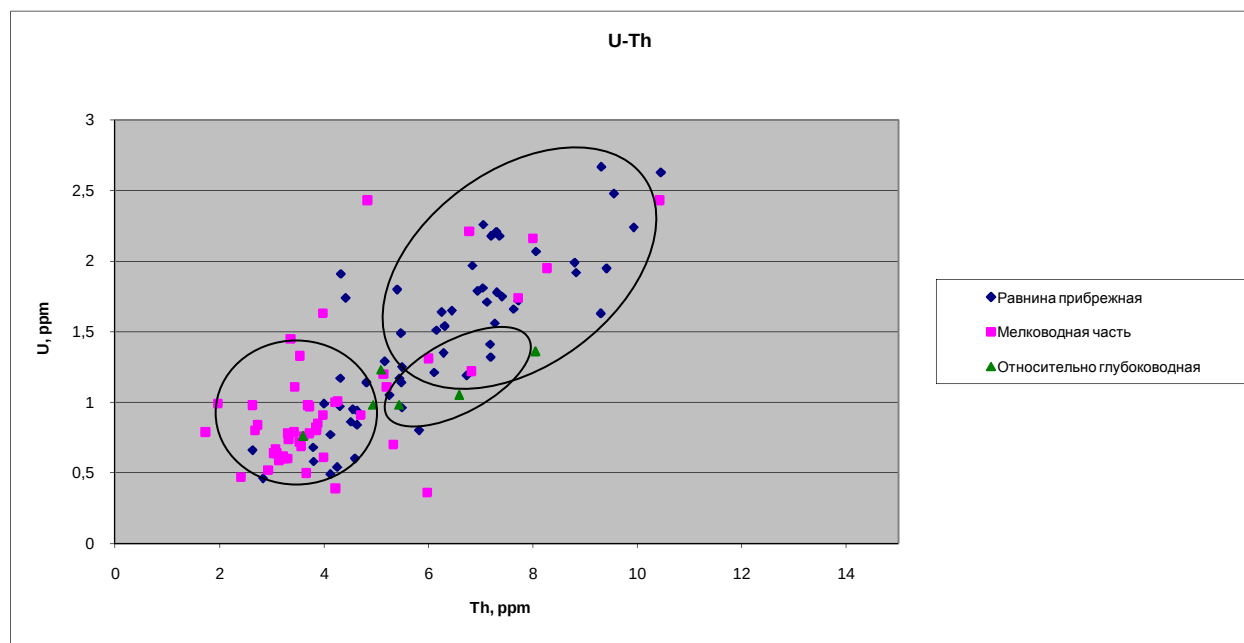


Рис. 1. Кросс-плот U-Th

Заключение

1. С использованием электронного каталога радиогеохимических данных, путем анализа полученных на его основе табличных и графических материалов, в частности, кросс-плотов K, U и Th, выделены следующие 3 условные области: 1) область отложений равнины прибрежной с высокими значениями Th и U; 2) область отложений мелководной части шельфа и частично равнины прибрежной с низкими значениями Th и U; 3) область отложений относительно глубоководной части шельфа с промежуточными показаниями Th и U. Выделенные области перекрывают друг друга, тем не менее использование спектрального гамма-метода и радиоактивных элементов представляется нам полезным в качестве общих предикторов условий осадконакопления.
2. Поведение тория и урана на фациальной шкале пока не находит однозначного объяснения. В качестве рабочей гипотезы принимается разность форм нахождения элементов в отложениях равнины прибрежной и мелководной части шельфа.

Литература

1. Турышев В.В. Естественные радиоактивные элементы как индикаторы условий образования осадочных отложений Западно-Сибирской плиты // Геохимия. – 2018. – № 9. – С. 883–894.
2. Турышев В.В. Изучение пород-коллекторов Западной Сибири гамма-спектрометрическим методом. – Тюмень : Изд-во ТИУ. 2019. – 382 с.

УДК 504.054; 551.510.7; 621.039.8; 614.876

ОБНАРУЖЕНИЕ ТРИТИЕВЫХ ИЗОТОПОЛОГОВ НТО И T_2O МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ В ИСПАРЕНИЯХ РАДИОАКТИВНОЙ ВОДЫ

А.В. Ченцов, Т.Ю. Чеснокова, Г.А. Колотков, Ю.В. Воронина, Б.А. Воронин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

cav@iao.ru, ches@iao.ru, kolotkov@iao.ru, yulia@iao.ru, vba@iao.ru

DETECTION OF TRITIUM ISOTOPOLOGUES НТО AND T_2O BY IR SPECTROSCOPY IN RADIOACTIVE WATER VAPORS

A.V. Chentsov, T.Yu. Chesnokova, G.A. Kolotkov, Yu.V. Voronina, B.A. Voronin

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics of SB RAS (IAO SB RAS), Tomsk, Russia

cav@iao.ru, ches@iao.ru, kolotkov@iao.ru, yulia@iao.ru, vba@iao.ru

Abstract. Исследование направлено на разработку неинвазивного метода детектирования в окружающей среде тритиевых изотопологов воды (НТО, T_2O) с использованием ИК-спектроскопии. Актуальность обусловлена необходимостью контроля трития, образующегося при техногенных авариях. На основе теоретических и экспериментальных данных по параметрам линий поглощения методом line-by-line проведено моделирование пропускания. Уточнены параметры уширения линий, что повысило точность моделирования. Определены оптимальные диапазоны для детектирования НТО (1227–1236, 2219–2226 cm^{-1}) и T_2O (930–990, 1092–1010 cm^{-1}) в области атмосферного окна прозрачности; порог обнаружения: 0,01–0,05% от концентрации $H_2^{16}O$. Результаты позволяют создать системы для оценки экологических и радиационных рисков в режиме реального времени.

Введение

Тритий (^3H) и тритиевые изотопологи водяного пара (НТО, T_2O) играют значимую роль в климатических исследованиях и радиационной безопасности. Естественный тритий образуется в атмосфере под действием космических лучей, техногенный – в ядерных реакторах и при испытаниях оружия. Период полураспада трития – 12,35 лет; в форме НТО он включается в гидрологический цикл, выступая трассером для климатических моделей. Естественный фон трития крайне низок, однако техногенные источники, значительно повышают его концентрацию. Тритий опасен при вдыхании или попадании в пищевую цепь, но его детектирование осложнено низкими концентрациями, высокой подвижностью и дороговизной традиционных методов. Альтернатива – неинвазивная ИК-спектроскопия, позволяющая анализировать испарения в реальном времени. Ранее в наших работах [1–3] продемонстрирована такая возможность для $H_2^{14,15,19}O$. Цель – исследование чувствительности ИК-спектроскопии для детектирования НТО, T_2O в испарениях воды. Акцент сделан на определении оптимальных спектральных интервалов (СИ) и порогов обнаружения, что критично для разработки систем оперативного мониторинга радиационных рисков.

Материалы и методы

Для моделирования СИ для детектирования изотопологов НТО, T_2O в испарениях воды проведены расчеты пропускания методом line-by-line [4]. Использованы параметры линий поглощения (ЛП) $HT^{16}O$ и $T_2^{16}O$ (spectra.iao.ru) [5] и изотопологов H_2O [6]. Континуальное поглощение рассчитано по модели MT_CKD. В отличие от фиксированных параметров уширения в теоретических данных [5], коэффициенты для $HT^{16}O$ определены по методике [7] (аналогично $HD^{16}O$), а для $T_2^{16}O$ – по JJ-зависимости [8]. Подход применялся для радиоактивных кислородных изотопологов, что подтверждает его эффективность.

Результаты и их обсуждение

Анализ спектроскопических данных по параметрам ЛП НТО показал, что имеется хорошее согласие расчетных положений центра линий НТ¹⁶О в [5] с измеренными значениями [9] (среднее различие 0,015 см⁻¹ в диапазоне 1262–1384 см⁻¹). Для диапазона 4592–4597 см⁻¹ при сравнении с измерениями [10] среднее различие 0,084 см⁻¹, и наблюдался систематический сдвиг центра линий. Наши рассчитанные параметры уширения линий НТ¹⁶О лучше согласуются с измеренными параметрами [9] по сравнению с фиксированными в [5]. Моделирование пропускания выполнено при атмосферных условиях (P=1 атм, T=294 К, P_{H2O}=18800 ppm) и длине трассы 250 м, исключающей насыщение поглощения H₂O и обеспечивающей детектирование слабых линий. Спектры пропускания рассчитаны в 0–15000 см⁻¹ (разрешение 0,01 см⁻¹) с варьированием концентраций НТ₂¹⁶О/H₂¹⁶О и Т₂¹⁶О/H₂¹⁶О. Показано, что НТО и Т₂О обнаруживаются при конц. 0,01–0,05% от Н₂¹⁶О, что подтверждает возможность их неинвазивного мониторинга в испарениях.

Для обнаружения тритиевых изотопологов НТО и Т₂О в испарениях воды найдены интервалы с минимальным перекрытием с ЛП Н₂¹⁶О. В лабораторных условиях перспективен 2400–2500 см⁻¹, где Т₂О обнаруживается даже при конц. в 10⁴ раз ниже Н₂О. Однако в атмосфере из-за сильного поглощения СО₂ эффективнее узкие интервалы: 1227–1236 см⁻¹ и 2219–2226 см⁻¹ для НТО (рис. 1).

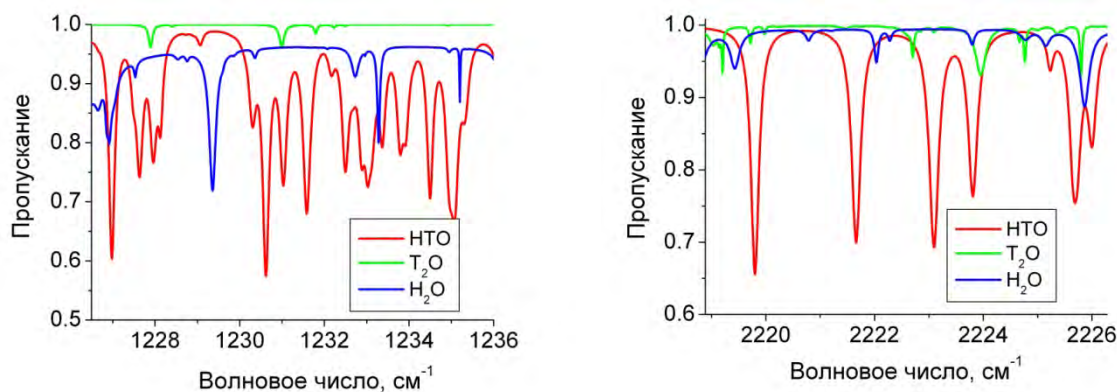


Рис. 1. СИ, перспективные для детектирования НТ¹⁶О. Отношение концентраций Т₂¹⁶О/H₂¹⁶О = 0,05% и НТ¹⁶О/H₂¹⁶О = 0,05%

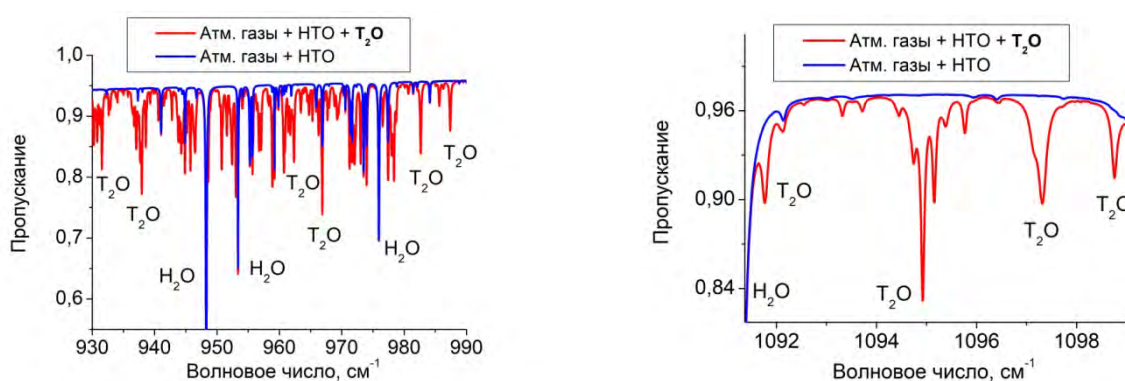


Рис. 2. СИ, перспективные для детектирования Т₂¹⁶О.

Синий график – пропускание всех основных поглощающих атмосферных газов в фоновой концентрации и НТО при отношении концентраций НТ¹⁶О/H₂¹⁶О = 0,01%. Красный график – пропускание тех же газов, что и на синем графике, но с добавлением Т₂О при отношении концентраций Т₂¹⁶О/H₂¹⁶О = 0,01%

Для атмосферных условий подходят интервалы 930–990 и 1092–1100 см⁻¹ в окне прозрачно-

сти 8–12 мкм, где влияние атмосферных газов минимально. Расчеты пропускания (дл. трассы 250 м, фон. концентрация $\text{CO}_2=410$ ppm, $\text{H}_2\text{O}=18800$ ppm, $\text{CH}_4=1,9$ ppm) подтвердили, что линии других газов не мешают детектированию T_2O (рис. 2). Порог обнаружения для обоих изотопологов 0,01–0,05% от H_2^{16}O , что позволяет применять метод для неинвазивного мониторинга в реальных условиях.

Заключение

С учетом перекрывания ЛП изотопологов H_2O в ИК-диапазоне найдены оптимальные СИ для определения содержания HT^{16}O и T_2^{16}O в испарениях радиоактивной воды. С использованием ИК-спектрометров с высоким спектральным разрешением изотопологи HT^{16}O и T_2^{16}O могут быть обнаружены в парах тритиевой воды при их содержании 0,01–0,05% от содержания H_2^{16}O в зависимости от СИ.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИОА СО РАН.

Литература

1. Voronin B.A., Tennyson J., Chesnokova T.Yu. et al. The absorption spectrum of the H_2^{14}O radioactive isotopologue of water vapour // *Molecular Physics*. – 2024. – Vol. 122(5).
2. Voronin B.A., Tennyson J., Yurchenko S.N. et al. The infrared absorption spectrum of radioactive water isotopologue H_2^{15}O // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2024. – Vol. 311. – Art. No. 124007.
3. Voronin B.A., Tennyson J., Chesnokova T.Y. et al. The spectrum of radioactive water vapor: the H_2^{19}O radio-isotopologue // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2024. – Vol. 333(10). – P. 4945–4954.
4. Mitsel A.A., Ptashnik I.V., Firsov K.M. et al. Efficient technique for line-by-line calculating the transmittance of the absorbing atmosphere // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 1995. – Vol. 8(10). – P. 847–850. – <https://spectra.iao.ru/molecules>.
5. Gordon I.E., Rothman L.S., Hargreaves R.J. et al. The HITRAN2020 molecular spectroscopic database // *JQSRT*. – 2022. – Vol. 277(10794). – P. 1–82.
6. Voronin B.A., Lavrentieva N.N., Lugovskoy A.A. et al. Self- and air-broadening coefficients of HD^{16}O spectral lines // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2012. – Vol. 25(1). – P. 27–34. – doi: 10.1134/S1024856012010150.
7. Voronin B.A., Lavrentieva N.N., Mishina T.P. et al. Estimate of the $J'J''$ dependence of water vapor line broadening parameters // *JQSRT*. – 2010. – Vol. 111(15). – P. 2308–2314.
8. Cherrier P. P., Beckwith P. H., Reid J. Linewidths and linestrengths in the ν_2 band of HTO as measured with a tunable diode laser // *JMS*. – 1987. – V. 121(1). – P. 69–74.
9. Bray C., Pailloux A., Plumeri S. Tritiated water detection in the 2.17 μm spectral region by cavity ringdown spectroscopy // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*. – 2015. – Vol. 789. – P. 43–49.

УДК 504.4.054; 504.4.06

ВОВЛЕЧЕНИЕ ВО ВТОРИЧНУЮ МИГРАЦИЮ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ (^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{60}Co), ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ «ГОРЯЧИХ» ЧАСТИЦ, ТИПИЧНЫХ ДЛЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ

А.В. Чугуевский, М.С. Мельгунов, М.Ю. Кропачева, И.В. Макарова

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

chuguevsky@igm.nsc.ru

INVOLVEMENT IN SECONDARY MIGRATION OF GAMMA-EMITTING RADIONUCLIDES (^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{60}Co) INCLUDED IN THE COMPOSITION OF "HOT" PARTICLES TYPICAL FOR ALLUVIAL DEPOSITS OF YENISEI RIVER

A.V. Chuguevsky, M.S. Melgunov, M.Yu. Kropacheva, I.V. Makarova

Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,

chuguevsky@igm.nsc.ru

Abstract. В ходе деятельности Красноярского горно-химического комбината (ГХК) пойма реки Енисей подвергалась регулярному загрязнению долгоживущими техногенными радионуклидами (ТРН), в том числе гамма-излучающими ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{137}Cs и ^{60}Co . После остановки производства сброс радиоактивных материалов непосредственно с предприятия сократился на несколько порядков. Теперь основными источниками загрязнения экосистемы реки Енисей являются аллювиальные отложения поймы, в которых уже накоплены значительные количества ТРН. Наряду с рассеянной формой нахождения, значительная часть радионуклидов, поступивших в аллювиальные отложения, связана с «горячими» частицами (ГЧ). В данной работе рассмотрена потенциальная возможность растворения ГЧ и вовлечения во вторичную миграцию изотопов ^{137}Cs , ^{154}Eu и ^{60}Co , входящих в их состав.

Введение

Наряду с рассеянной формой, значительная часть ТРН, поступивших в аллювиальные отложения поймы реки Енисей в ходе деятельности Красноярского ГХК, связаны с «горячими» частицами. К «горячим» частицам относят «... частицы, имеющие микрометровые и субмикрометровые размеры, обладающие на несколько порядков большей активностью, чем средняя активность почвы тех же размеров» [3].

История изучения «горячих» частиц поймы реки Енисей, насчитывает уже более 30 лет [1, 2, 4–7]. По составу гамма-излучающих радионуклидов все ГЧ, данные по которым приведены в указанных работах можно условно разбить на три группы: моноизотопные – содержат только ^{137}Cs с активностью до 2×10^6 Бк на частицу; двухизотопные, содержащие ^{137}Cs и ^{134}Cs с активностями в диапазоне 2.7×10^4 – 30×10^6 и 10 – 7500 Бк соответственно; полиизотопные – ^{137}Cs (4×10^4 – 7×10^5 Бк), ^{134}Cs (180 – 1250 Бк), ^{154}Eu (1000 – 5000 Бк), ^{155}Eu (300 – 1400 Бк), ^{60}Co (20 – 30 Бк), ^{241}Am (20 – 75 Бк). Следует отметить доминирующую роль ^{137}Cs и отсутствие широко распространенного в аллювиальных отложениях ^{152}Eu .

Важнейшим свойством, во многом определяющим радиоэкологическую опасность ГЧ, является потенциальная возможность выноса ТРН, входящих в их состав при выветривании или растворении. В работах [2, 6] описаны лабораторные и натурные эксперименты по растворению енисейских «горячих» частиц. Показано, что, находясь в естественных условиях залегания в затопляемых почвах пойменной части р. Енисей, ГЧ под действием фильтрующейся воды и влаги поровых растворов постепенно растворяются, а входящий в их состав ^{137}Cs вовлекается в повторную миграцию.

Материалы и методы

Все аналитические работы по изучению ГЧ проводились в ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН

(Лаборатория геохимии радиоактивных элементов и экогеохимии). Определение изотопного состава и активности гамма-излучающих радионуклидов выполнялось гамма-спектрометрическим методом с использованием HPGe и Ge(Li) коаксиальных и HPGe планарного ППД.

Результаты и их обсуждение

С целью изучения поведения ГЧ в естественных условиях был проведен натурный эксперимент. Несколько колонок, заполненных образцами типичных енисейских аллювиальных почв, отобранных в фоновых районах, с размещенными в них ГЧ различного состава были заложены в почву на глубину 35–40 см в пойменном участке левого берега реки Енисей, расположенном в фоновом районе выше по течению от места сброса ГХК. Из искусственных гамма-излучающих радионуклидов в таких почвах в небольших количествах присутствовал только ^{137}Cs , что учитывалось при проведении расчетов. Продолжительность эксперимента составила один год, по истечении которого колонки были извлечены. В лабораторных условиях каждую колонку послойно разрезали (по 1 см), частицы извлекали. Материал высушивали и измеряли на содержание ТРН.

В данной работе рассмотрены результаты эксперимента, полученные для одной из частиц. В таблице 1 приведены результаты гамма-спектрометрических измерений, проведенных перед формированием колонки.

Таблица 1. Радионуклидный состав «горячей» частицы из ближней зоны влияния Красноярского ГХК, отобранной для проведения натурного эксперимента

Частица	Активность, Бк на частицу					
	^{154}Eu	^{155}Eu	^{137}Cs	^{60}Co	^{241}Am	^{239}Np
Gch13-28	888	193	91550	13	1368	328

Примечание: пределы обнаружения для всех изотопов составляют величину не хуже 5 Бк. Относительная ошибка определения по критерию 2s для ^{137}Cs и ^{154}Eu не превышает $\pm 10\%$, для ^{155}Eu , ^{60}Co , ^{241}Am и ^{239}Np – $\pm 15\text{--}20\%$.

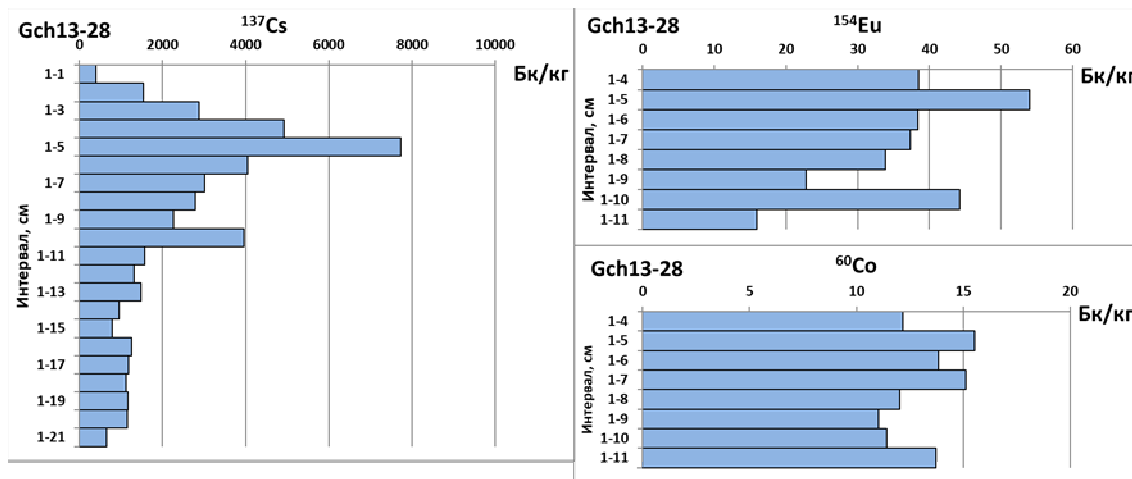


Рис. 1. Распределение радионуклидов по глубине колонки после проведения натурного эксперимента по растворению полиизотопной «горячей» частицы (Gch13-28) (частица находилась в слое 1-5)

Состав частицы полиизотопный и типичен для енисейских ГЧ. Доминирующим является ^{137}Cs , присутствуют также ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{60}Co , ^{241}Am и ^{239}Np .

На рисунке 1 представлены результаты гамма-спектрометрических измерений материала ко-

лонки. Анализ результатов эксперимента показывает существенный вынос ТРН за пределы области локализации частицы. Наивысшие концентрации ^{137}Cs , ^{154}Eu и ^{60}Co , сорбированных после растворения (7750 Бк/кг, 55 Бк/кг и 17 Бк/кг соответственно), соответствуют горизонту, в котором находилась ГЧ (1-5). ^{137}Cs отмечается по всей глубине колонки, включая слои, расположенные выше слоя, в котором располагалась частица, что указывает на наличие процессов диффузии. ^{154}Eu и ^{60}Co присутствуют в восьми слоях, включая один – над слоем из которого была извлечена частица (1-4).

Заключение

Натурный эксперимент показывает, что, находясь в затопляемых почвах пойменной части р. Енисей, ГЧ постепенно растворяются, а входящие в их состав радионуклиды вовлекаются в повторную миграцию. Данные, полученные для ^{137}Cs согласуются с результатами, полученными авторами ранее [2, 6].

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Аналитическая работа выполнена в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Литература

1. Болсуновский А.Я., Горяченкова Т.А., Черкезян В.О. и др. Горячие частицы в Красноярском крае // Радиохимия. – 1998. – Т. 40, № 3. – С. 271–274.
2. Болсуновский А.Я., Дементьев Д.В., Зотина Т.А. и др. Радиоактивные частицы в бассейне реки Енисей // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы V Международной конференции. – Томск, 2016. – С. 133–135.
3. Быховский А.В., Зараев О.М. Горячие аэрозольные частицы при техническом использовании атомной энергии. – М., Атомиздат, 1974, – 254 с.
4. Носов А.В., Мартынова А.М. Анализ радиационной обстановки на р. Енисее после снятия с эксплуатации прямоточных реакторов Красноярского ГХК // Атомная энергия. – 1996. – Т. 81, Вып. 3. – С. 226–232.
5. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи Ф.В., Белолипецкий В.М. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей / науч. ред. Ф.В. Шабанов, А.Г. Дегерменджи. – Новосибирск : Изд-во СО РАН. Филиал "Гео", 2004. – 286 с.
6. Чугуевский А.В., Мельгунов М.С., Макарова И.В. Роль «горячих» частиц реки Енисей во вторичном перераспределении техногенных радионуклидов // Экология промышленного производства. – 2018. – № 4. – С. 7–12.
7. Bolsunovsky A., Melgunov M., Chuguevskii A. et al. Unique diversity of radioactive particles found in the Yenisei river floodplain // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7(1). – P. 11132.

Секция 7

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
В БИОЛОГИИ, МЕДИЦИНЕ И ВЕТЕРИНАРИИ**

УДК 502/504:632.15:633.31:635.14

**ОСОБЕННОСТИ БИО-АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ТЕСТ
КУЛЬТУРАМИ ПРИ ПЫЛЕВОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА
В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА**

Д.А. Аскарова¹, В.В. Глебов²

¹*Российский Университет дружбы народов им. П. Лумумбы, Москва, Россия, danara.84@mail.ru*

²*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
vg44@mail.ru*

**FEATURES OF BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS BY TEST CROPS
DURING DUST POLLUTION OF CEMENT PRODUCTION IN THE CONDITIONS
OF EASTERN KAZAKHSTAN**

D.A. Askarova¹, V.V. Glebov²

¹*P. Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
danara.84@mail.ru*

²*V.A. Trapeznikov Institute of Control Science of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia
vg44@mail.ru*

Abstract. Исследовано действие пылевых выбросов промышленных предприятий на проростки *Pisum sativum* L. в условиях модельного опыта. Анализ результатов показал, что пыль, содержащая тяжелые металлы, такие как свинец и кадмий, приводит к значительному накоплению этих элементов в корневой системе растений, что свидетельствует о высокой селективности поглощения корневой системы по отношению к данным загрязнителям. В то же время, содержание свинца и кадмия в надземных частях проростков было существенно ниже, что указывает на способность растений к биоаккумуляции токсичных элементов в корнях. Кроме того, было зафиксировано увеличение общей биомассы проростков, что может быть обусловлено адаптационными механизмами растений к стрессовым условиям, вызванным загрязнением окружающей среды.

Введение

В городских агломерациях, ранее входивших в состав Советского Союза, наблюдается значительная концентрация дачных и приусадебных участков, где население преимущественно культивирует овощные культуры для личного потребления. Однако данные территории подвергаются негативному воздействию выбросов промышленных предприятий и объектов системы теплоснабжения, расположенных в черте городов. Эти выбросы зачастую содержат высокие концентрации тяжелых металлов, представляющих потенциальную угрозу для здоровья человека при их поступлении в организм через пищевые продукты.

Цементные заводы, являясь значительными источниками загрязнения окружающей среды, также вносят свой вклад в экологическую проблематику. В процессе производства цемента в атмосферу выбрасывается значительное количество пыли, содержащей токсичные элементы, включая тяжелые металлы [1].

В городе Семей расположен крупный цементный завод, деятельность которого приводит к повышенному уровню загрязнения атмосферного воздуха. В результате, почвы и растительность на дачных участках, находящихся в зоне влияния данного предприятия, подвергаются аккумуляции тяжелых металлов, что негативно сказывается на их экологической и агрономической ценности [1,2].

Таким образом, исследования, проводимые в городе Семей, обладают высокой научной и практической значимостью. Они не только способствуют углублению понимания механизмов воздействия антропогенных факторов на окружающую среду, но и предоставляют ценные данные для разработки эффективных стратегий минимизации негативного воздействия на здоровье населения и состояние природных экосистем [3].

Материалы и методы

Модельный опыт заложен, согласно методике З.И. Журбицкого [4], в пластиковых сосудах. Для опытов выбрали незагрязненную фоновую тёмно-каштановую среднесуглинистую почву, отобранную в 60 км от города Семей (Республика Казахстан) на полях бывшей сельскохозяйственной опытной станции, ввиду ее широкого распространения для сельскохозяйственного назначения.

Пыль цементного завода собирали на разных расстояниях от завода города Семей. Ввиду указания во многих литературных источниках о том, что растения семейства бобовых интенсивно накапливают в надземной части тяжелые металлы (ТМ), в качестве тест – объекта нами было выбрано однолетнее растение, принадлежащее этому семейству – горох посевной сорта «Дебют» (*Pisum sativum* L.) [5,6].

Искусственное загрязнение пылью производили в сухом виде в соотношениях 0,1, 0,5, 1,0, 5,0, 10,0 и 15,0% угольной пыли к 1 кг воздушно-сухой массы почвы. В каждый сосуд высаживали по 24 пророщенного семени. В течение 30 суток сосуды находились на рассеянном свете. За 100% принимали зелёную массу растения и корни, выращенные на контрольной почве в одинаковых условиях с вариантами загрязнения.

Содержание ТМ в почвенных и растительных образцах определяли фотоколориметрическим химическим дитизиновым методом Г.Я. Ринькиса [7], основанном на измерении оптической плотности окрашенного экстракта при помощи спектрофотометра СФ-2000. Чувствительность метода – 0,01 мкг/мл, стандартное отклонение – $\pm 4,6\%$.

Определения проводили в трехкратной повторности. При оценке токсичности ТМ считали, что фитотоксичным является такое его содержание в почве, которое снижает продуктивность растений на 10 и более процентов от контрольного варианта [8–10].

Результаты и их обсуждение

Результаты проведённых исследований пыли продемонстрировали, что содержание свинца в ней было в диапазоне 32,7–33,4 мг/кг, а кадмия – 4,7–4,9 мг/кг, что превышало кларк свинца в литосфере по А. П. Виноградову (16,0 мг/кг) более чем 2,11 раза для свинца и в 36,8 раза для кадмия (0,13 мг/кг).

В результате наших комплексных исследований было установлено, что тяжелые металлы, такие как свинец и кадмий, проявляют тенденцию к аккумуляции в органах проростков *Pisum sativum* L. в градиентном направлении от корневой системы к апикальной части растения. Данный паттерн распределения свидетельствует о том, что корневая система проростков аккумулирует значительно более высокие концентрации этих токсичных элементов по сравнению с надземной частью растения. Это наблюдение имеет важное значение для понимания механизмов фитотоксичности и устойчивости растений к загрязнению тяжелыми металлами. В рамках проведенного экспериментального исследования было выявлено, что содержание свинца в корневой системе опытных проростков при указанных концентрациях превышало его уровень в надземной части в 1,6–2,1 раза, а кадмия — в пределах 3,3–1,3 раза. Эти результаты свидетельствуют о выраженной селективности аккумуляции данных тяжелых металлов корневой системой исследуемого растения.

Способность к аккумуляции химических элементов предоставляет уникальную возможность для объективной оценки её потенциала в биологической трансформации металлов [10]. Данный аспект имеет фундаментальное значение для понимания механизмов фитоэкстракции и фиторемедиации, что открывает перспективы для разработки инновационных подходов к очистке загрязненных почв и водоемов [10].

Заключение

В результате исследования влияния пылевидных частиц на агроэкологические характеристики почвы было выявлено, что внесение пыли в концентрациях от 0,1 до 15,0% не привело к

статистически значимому увеличению валового содержания свинца и кадмия. Данный результат свидетельствует о том, что исследуемые концентрации пыли не оказывают существенного влияния на аккумуляцию тяжелых металлов в почвенном профиле.

В рамках эксперимента также было установлено, что процесс аккумуляции свинца и кадмия в растениях демонстрирует градиентную динамику, характеризующуюся увеличением концентрации этих элементов от корневой зоны к апикальным частям растений. Этот феномен может быть обусловлен биогеохимическими механизмами, связанными с физиологическими особенностями растений, их способностью к селективному поглощению и перераспределению элементов внутри организма. Полученные данные имеют важное значение для разработки стратегий минимизации негативного воздействия тяжелых металлов на растительные экосистемы и оценки рисков загрязнения сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Аскарова Д.А., Глебов В.В. Пылевые выбросы промышленных предприятий и рекомендации по снижению загрязнения ТМ в почве (на примере модельного опыта) // АгроЭкоИнфо. – 2025. – № 1(67).
2. Аскарова Д.А., Глебов В.В., Аникина Е.В. Биогеохимическая индикация запыленности городской среды Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан // Эволюция биосферы, биогеохимические циклы и биогеохимические технологии: связь фундаментальных и прикладных исследований : материалы XIII Международной биогеохимической школы-конференции, посвященной 160-летию со дня рождения В.И. Вернадского. – Пущино, 2023. – С. 46–48.
3. Боев В.А., Панин М.С. Содержание тяжелых металлов в цементной пыли и компонентах сырья, используемых для производства цемента // Материалы научно-практической конференции Семипалатинского педагогического института им. Шакарима. – Семипалатинск, 1992. – Вып. 2. – С. 3–5.
4. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. – М. : Наука, 1968. – 266 с.
5. Галиулина Р.А., Галиулин Р.В., Возняк В.М. Извлечение растениями тяжелых металлов из почвы и водной среды // Агрохимия. – 2003. – № 12. – С. 60–65.
6. Ильин В.Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами // Агрохимия. – 1995. – № 1. – С. 94–99.
7. Ринькис Г.Я., Рамане Х.К., Куницкая Т.А. Методы анализа почв и растений. – Рига : Зинатне, 1987. – 174 с.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
9. Линдиман А.В. и др. Фиторемедиация почв, содержащих тяжелые металлы // ЭКИП. – 2008. – № 9. – С. 45–47
10. Панин М.С. Химическая экология. – Семипалатинск, 2002. – 852 с.

УДК 504.73/.74.054

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОЛОС ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА
КАК ИНДИКАТОР ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ
ТЕРРИТОРИИ**

**Г.Е. Байкенова¹, Н.В. Барановская², А.А. Какабаев¹, Е.Е. Айтмухан¹,
Б.У. Шарипова¹, Л.А. Бермаганбетова¹**

¹*Кокшетауский университет им.Ш.Уалиханова, Кокшетау, Казахстан
guliander@bk.ru*

²*Томский политехнический университет, Томск, Россия
nata@tpu.ru*

**ELEMENTAL COMPOSITION OF HAIR OF RESIDENTS
OF NORTHERN KAZAKHSTAN AS AN INDICATOR
OF THE GEOECOLOGICAL SITUATION OF THE TERRITORY**
**G.E. Baikenova¹, N.V. Baranovskaya², A.A. Kakabaev¹, E.E. Aitmukhan¹,
B.U. Sharipova¹, L.A. Bermaganbetova¹**

¹*Kokshetau University named after Sh.Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan
guliander@bk.ru*

²*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
nata@tpu.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты исследования элементного состава волос жителей Акмолинской и Северо-Казахстанской областей. Было определено содержание 28 химических элементов в 103 пробах волос с помощью метода инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА). Проведен сравнительный анализ содержания элементов, выявив как общие характеристики, так и региональные особенности накопления. Установлено, что в обеих областях наибольшее содержание отмечается для Na, Ca и Zn, что может быть связано с гидрогеологическими условиями. Для Акмолинской области характерны повышенные уровни As, Ag, Nd, Sm и Au, вероятно обусловленные деятельностью золотодобывающего предприятия. В Северо-Казахстанской области зафиксировано высокое содержание Sr, Cs, Eu и Hf, что отражает природные геохимические особенности региона. Полученные данные подтверждают информативность анализа волос как метода геоэкологической оценки состояния окружающей среды.

Введение

Северный Казахстан отличается неблагоприятной экологической обстановкой, в значительной степени обусловленной длительной добычей урана и других руд. Для объективной оценки состояния окружающей среды необходимы эффективные методы мониторинга. Одним из них является анализ элементного состава биологических субстратов человека (волос, крови, мочи и др.), способных служить геоиндикаторами условий среды обитания [1–2]. Волосы, обладая способностью к длительному накоплению химических элементов, являются информативным показателем как общего состояния организма, так и воздействия факторов внешней среды [3].

На элементный состав волос влияет ряд факторов. Так, Н. Kumakli и соавт. установили, что корреляции между парами токсичных элементов (As-Cd, Pb-As и др.) наблюдаются преимущественно у курящих, что указывает на влияние табачного дыма [4–5]. Кроме того, установлено, что загрязнение воздуха, курение и потребление рыбы являются основными источниками ртути в волосах [6–11]. Анализ волос используется и для биомониторинга тяжелых металлов. Например, исследование Ayat Hussein B. Rashaid показало, что у детей с аутизмом наблюдается повышенное содержание Al и Pb, дефицит Mg и Zn, что может быть связано с развитием данных расстройств [12].

Материалы и методы

Нами было проведено изучение химических элементов в волосах населения, проживающих на территории Северного Казахстана (Акмолинская и Северо-Казахстанская области). Было отобрано 103 проб волос. Пробоотбор и подготовка проб проводились в соответствии с методикой МАГАТЭ [13], на базе Кокшетауского университета имени Ш. Уалиханова и Томского политехнического университета. Материал был изъят с пяти участков головы с использованием хирургических ножниц из нержавеющей стали. Полученные образцы волос помещались в полиэтиленовые пакетики с герметичным замком. На внешнюю поверхность каждого пакетика с замком наносилась маркированная этикетка для идентификации образца. Методом ИНАА было определено содержание 28 химических элементов. Обработка полученных данных осуществлялась с использованием программного обеспечения Microsoft Excel и STATISTICA 6.0.

Результаты и их обсуждение

Нами были проанализированы данные, полученные в результате исследования образцов волос жителей двух регионов Северного Казахстана – Акмолинской и Северо-Казахстанской областей. Сравнительный анализ среднеарифметических концентраций химических элементов в двух областях показал, что в обоих регионах наибольшее накопление характерно для таких элементов, как Na, Ca и Zn. Повышенное содержание указанных элементов, вероятно, обусловлено особенностями гидрогеологического строения территории, богатой минеральными водами. Для Акмолинской области характерно повышенное содержание таких элементов, как As, Ag, Nd, Sm и Au в образцах волос. Такое распределение, вероятно, связано с техногенным воздействием, обусловленным деятельностью крупного предприятия по добыче золота, расположенного на территории региона. Анализ элементного состава образцов волос, собранных у жителей Северо-Казахстанской области, показал повышенное содержание Sr, Cs, Eu и Hf. Данное распределение, по всей видимости, обусловлено эколого-геохимическими особенностями региона.

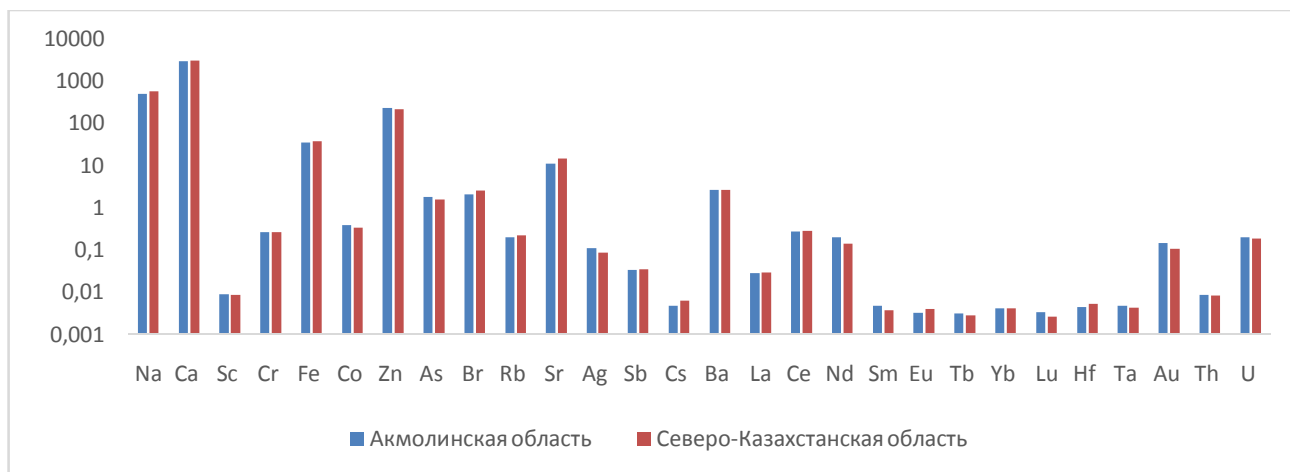


Рис. 1. Сравнительный анализ содержания химических элементов в волосах жителей Акмолинской и Северо-Казахстанской областей, (мг/кг)

Предполагаемые пути поступления этих элементов в организм населения включают употребление питьевой воды, характеризующейся специфическим минеральным составом, потребление продукции местного сельскохозяйственного производства, а также воздействие аэрозолей и пылевых частиц, содержащих указанные элементы.

Заключение

В целом, проведенные исследования выявили как общие, так и регионально специфические особенности элементного состава волос, что подтверждает возможность их использования в качестве индикатора геоэкологической обстановки территории.

Литература

1. Барановская Н.В., Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова и др. Очерки геохимии человека. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 378 с.
2. Наркович Д.В. Элементный состав волос детей как индикатор природно-техногенной обстановки территории (на примере Томской области) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2012. – 21 с.
3. Грабеклис А.Р. и др. Изменения в элементном составе волос при производственном контакте с токсичными металлами // Акт. пробл. трансп. медицины. – 2010. – № 4. – С. 124–131.
4. Наркович Д.В., Барановская Н.В., Коваль Е.В. и др. Влияние техногенеза на формирование элементного состава волос детского населения // Известия Томского политехнического университета. – 2016. – Т. 327, № 8. – С. 116–128.
5. Kumakli H., Duncan A.V., McDaniel K. et al. Environmental biomonitoring of essential and toxic elements in human scalp hair using accelerated microwave-assisted sample digestion and inductively coupled plasma optical emission spectroscopy // Chemosphere. – 2017. – Vol. 174. – P. 708–715.
6. Perez R., Suelves T., Molina Y. Biomonitoring of mercury in hair of children living in the Valencian Region (Spain). Exposure and risk assessment // Chemosphere. – 2019. – Vol. 217. – P. 558–566.
7. Yusa V., Perez R., Suelves T. et al. Biomonitoring of mercury in hair of breastfeeding mothers living in the Valencian Region (Spain). Levels and predictors of exposure // Chemosphere. – 2017. – Vol. 187. – P. 106–113.
8. Bravo M.A., Parra S., Quiroz W. et al. Human exposure assessment to mercury through hair analysis in coastal villages of the Valparaiso region (Chile) // Journal of the Chilean Chemical Society. – 2019. – Vol. 64. – P. 4480–4483.
9. Ni W., Chen Y., Huang Y. et al. Hair mercury concentrations and associated factors in an electronic waste recycling area // Environmental Research. – 2014. – Vol. 128. – P. 84–91.
10. Lukina A.O., Fisher M., Khoury C. et al. Temporal variation of total mercury levels in the hair of pregnant women from the Maternal-Infant Research on Environmental Chemicals (MIREC) study // Chemosphere. – 2021. – Vol. 264(Pt 1). – Art. No. 128402.
11. Hsiao H.-W., Ullrich S.M., Tanton T.W. Burdens of mercury in residents of Temirtau, Kazakhstan I: Hair mercury concentrations and factors of elevated hair mercury levels // Science of the Total Environment. – 2011. – Vol. 409. – P. 2272–2280.
12. Rashaid A.H.B., Nusair S.D., Alqhazo M.T. et al. Heavy metals and trace elements in scalp hair samples of children with severe autism spectrum disorder: A case-control study on Jordanian children // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2021. – Vol. 67. – Art. No. 126790.
13. The Applicability of some selected analytical techniques to the assay of trace and minor elements in four biological reference materials // Element Analysis of Biological Materials : Current Problems and Techniques with Special Reference to Trace Elements. – Vienna : WHO, 1980. – Ch. II. – P. 351–367. – (Technical Reports Series, No. 197).

УДК 574.2:591.53:550.47

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕФЕРЕНТНОГО ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОРГАНИЗМА МЛЕКОПИТАЮЩИХ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Н.В. Барановская, Д.А. Стрепетов

*Томский политехнический университет, Томск, Россия
das57@tpu.ru*

DETERMINATION OF REFERENCE ELEMENTAL COMPOSITION IN MAMMALIANS ORGANISM OF SIBERIA AND THE FAR EAST

N.V. Baranovskaya, D.A. Strepetov

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, das57@tpu.ru

Abstract. Установлены особенности элементного состава 1051 проб органов и тканей крупных млекопитающих, отобранных на территории Сибири и Дальнего Востока. Установлена высокая вариабельность содержаний химических элементов по выборке, наибольшими коэффициентами вариации (>900%) обладают U и тяжёлые металлы халькофильной группы – Sb, Pb, Hg, Cd. Предложено использование медианных значений по полученной выборке в качестве референтного показателя для последующих исследований.

Введение

Современными исследованиями подтверждается целесообразность изучения элементного состава крупных млекопитающих в качестве модельных организмов человека, из-за их биологического сходства и потенциального схожего влияния на них дефицита/избытка химических элементов [3]. При этом организм млекопитающих является одним из самых сложных для изучения объектов, использующихся в качестве индикаторов геохимических обстановок. В связи с чем исследования подобного плана, как правило, ограничиваются узким набором критических органов и тканей: печень, почки, мышцы, реж – кости, или наиболее легкодоступная и не требующая умерщвления особи органическая ткань – шерсть. Спектр изучаемых химических элементов также ограничивается эссенциальными токсичными элементами – Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Cd, Hg, Pb [5].

Работ, посвященных определению элементного состава не отдельных органов, а целых организмов, существует ограниченное количество, например [1]. В связи с этим актуальным представляется вопрос выявления референтного элементного состава организма млекопитающих с широким территориальным разбросом, что позволит достоверно определять локальные геохимические аномалии и связанные с ними эндемические болезни.

Материалы и методы

На территории Сибири и Дальнего Востока отобраны 1051 проба органов и тканей крупных травоядных и всеядных млекопитающих. Отбор проб производился совместным коллективом сотрудников Тихоокеанского института географии ДВО РАН и Томского политехнического университета в рамках гранта РНФ (проекты № 20-67-47005 и № 20-64-47021). Пробы замораживались и доставлялись в лабораторию ТИГ ДВО РАН для дальнейшей сушки. Сушка производилась в муфельных печах при температуре не более 105 градусов Цельсия до постоянной массы. Далее пробы доставлялись в лабораторию Томского политехнического университета, где они подготавливались для проведения анализом методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). От просушенных проб отбирались фрагменты массой 200 мг, которые измельчались в агатовой ступке до фракции пудры, помещались в пластиковые пробирки и передавались непосредственно на анализ с применением масс-спектрометра NexION 300D в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лабо-

ратории гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ. Статистическая обработка полученных результатов проводилась с помощью программ Statistica 10 и Microsoft Office Excel, в частности рассчитаны коэффициент вариации, среднее арифметическое значение по выборке, среднее геометрическое, медиана и средневзвешенное по формуле: $X_{вз} = \sum C_i \cdot W_i / \sum W_i$, где C_i – содержание химического элемента в органе/ткани, W_i – весовой коэффициент, рассчитанный с применением литературных данных [4].

Результаты и их обсуждение

На основании результатов анализа методом ИСП-МС отобранных проб были рассчитаны основные статистические параметры полученной выборки, приведенные на рисунке 1.

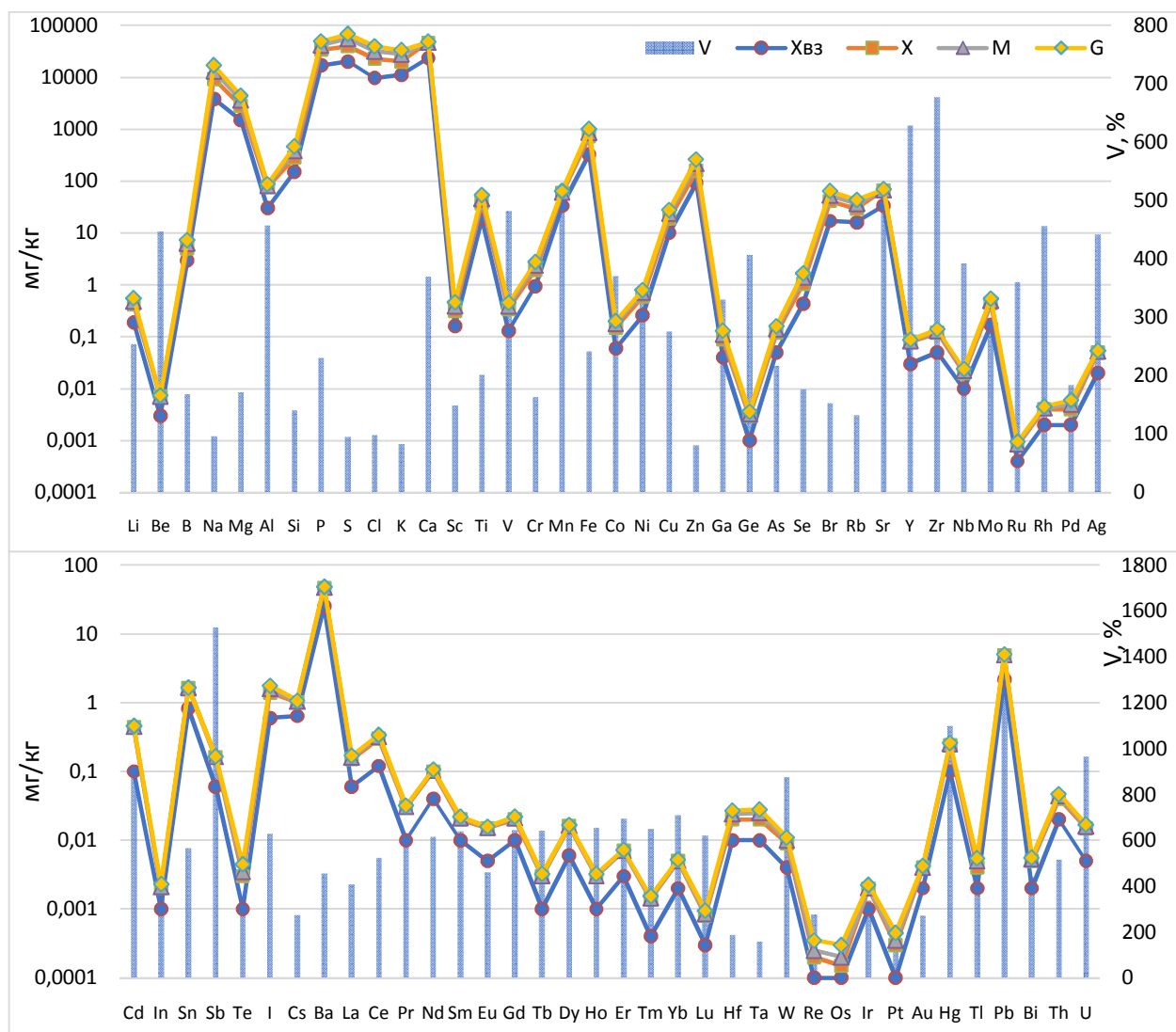


Рис. 1. Основные статистические параметры элементного состава организма млекопитающих Сибири и Дальнего Востока по результатам ИСП-МС (сухое вещество, мг/кг; $X_{вз}$ – средневзвешенное, X – среднее арифметическое, M – медиана, G – среднее геометрическое, V – коэффициент вариации)

Коэффициенты вариации всех 73 химических элементов обладают значениями выше 60%, что свидетельствует о сильной вариабельности всей выборки [2]. Наименьшей вариабельностью обладают макроэлементы, не входящие в состав гидроксилапатита – основного минерала костной ткани. Это такие элементы как K, S, Na и Cl. Также относительно низок коэффициент вариации у Zn. Самый низкий коэффициент вариации у Os, что обуславливается край-

ней низким его содержанием в большинстве органов и тканей, лежащим ниже пределов обнаружения метода ИСП-МС. Наибольшая вариабельность (>900%) отмечается у тяжелых металлов халькофильной группы – Sb, Pb, Hg, Cd, а также у U.

Высокие значения коэффициентов вариации свидетельствуют об отличном от нормального распределении внутри выборки. В связи с этим в качестве референтного показателя предлагается использовать медианные содержания химических элементов, поскольку медиана как статистический показатель является устойчивой к выбросам и отражает наиболее «типичное» значение в выборке при распределении отличном от нормального. При сравнении со средними арифметическими значениями медианные всегда оказываются ниже, иногда незначительно (например, для Na, S, K, Zn), но чаще отличия достигают нескольких раз или порядков (например, для Ca, Mn, Ba, Pb).

Заключение

В результате анализа 1051 пробы органов и тканей млекопитающих Сибири и Дальнего Востока выявлена существенная вариабельность содержаний химических элементов, особенно выраженная для U и халькофильных тяжелых металлов (Sb, Pb, Hg, Cd), коэффициент вариации которых превышает 900%. Учитывая этот факт, предложено использовать медианные значения в качестве референтных для дальнейших исследований элементного состава организма млекопитающих.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ
(проекты № 20-67-47005 и № 20-64-47021).*

Литература

1. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных. – М. : Наука, 2008. – 325 с.
2. Ткачев Ю.А., Юдович Я.Э. Статистическая обработка геохимических данных. – Л. : Наука, 1975. – 233 с.
3. Baptista C.J., Seixas F., Gonzalo-Orden J.M. et al. Heavy metal and metalloid concentrations in red deer (*Cervus elaphus*) and their human health implications from One Health perspective // Environ. Geochem. Health. – 2024. – Vol. 46(7). – Art. No. 226.
4. Hakonson T.E., Whicker F.W. The contribution of various tissues and organs to total body mass in the mule deer // Journal of Mammalogy. – 1971. – Vol. 52(3). – С. 628–630.
5. Nkosi D.V., Bekker J.L., Hoffman L.C. Toxic metals in wild ungulates and domestic meat animals slaughtered for food purposes: a systemic review // Foods. – 2021. – Vol. 10(11). – Art. No. 2853.

УДК 550.47::616.441-006.6

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЙОДА И СЕЛЕНА В КОМПОНЕНТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ФАКТОР ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
НЕОДНОРОДНОСТИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ
МЕСТНОГО НАСЕЛЕНИЯ**

**В.С. Баранчуков¹, В.Ю. Березкин¹, Л.И. Колмыкова¹, В.Н. Данилова¹, В.С. Ступак²,
Е.А. Варавикова², Ю.С. Журавлева², Е.Н. Енина²**

¹*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия
baranchukov@geokhi.ru*

²*Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения Минздрава России, Москва, Россия
populationhealthrussia@gmail.com*

**DISTRIBUTION OF IODINE AND SELENIUM IN THE ENVIRONMENT
OF THE TULA REGION AS A FACTOR OF SPATIAL HETEROGENEITY
OF THYROID MORBIDITY OF THE LOCAL POPULATION**

**V.S. Baranchukov¹, V.Yu. Berezkin¹, L.I. Kolmykova¹, V.N. Danilova¹, V.S. Stupak²,
E.A. Varavikova², Yu.S. Zhuravleva², Ye.N. Yenina²**

¹*V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, Moscow, Russia
baranchukov@geokhi.ru*

²*Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia
populationhealthrussia@gmail.com*

Abstract. Цель исследования – выявление особенностей пространственной неоднородности содержания I и Se в почвах и природных водах Тульской области и их связи с заболеваемостью щитовидной железы у местного населения. Исследования проводились в 2024 г. в 7 районах Тульской области (Арсеньевский, Белевский, Дубенский, Одоевский, Плавский, Суворовский, Чернский). Для 98,5% отобранных проб вод характерен дефицит I, для 100% – Se. Картографические оценки показывают дефицит I в почвах всех обследованных районов. Обнаружены возможные связи дефицита исследуемых микроэлементов с заболеваемостью населения, в том числе детей.

Введение

Для территории России, в том числе Тульской области, характерен дефицит йода и селена в окружающей среде. Дефицит этих микроэлементов связывают с риском заболеваемости щитовидной железы [12], особенно – в районах, пострадавших после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Цель исследования – выявление особенностей пространственной неоднородности содержания I и Se в почвах и природных водах Тульской области и их связи с заболеваемостью щитовидной железы у местного населения.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2024 г. в 7 районах Тульской области (Арсеньевский, Белевский, Дубенский, Одоевский, Плавский, Суворовский, Чернский, рис. 1). В 30 предварительно выбранных с учетом почвенного покрова, водоносных горизонтов, уровня загрязнения радионуклидами сельских населенных пунктах отбирали пробы вод по ГОСТ Р 59024-2020 [11] (n=70). Для оценки обеспеченности почв йодом и селеном картографически определяли средневзвешенное содержание этих микроэлементов по [13]. Содержание йода определяли ускоренным вариантом кинетического роданидно-нитритного метода [8] на фотоколориметре КФК-3-01-«ЗОМЗ» (ЗОМЗ, Россия), селена – по МУК 4.1.033-95 [10] на спектрофлуориметре MPFS-2A (Hitachi, Япония). Анализ данных проводился в TIBCO STATISTICA 13.3 и

ArcGIS Desktop 10.8. Медицинские данные о первичной заболеваемости населения получены на основе анализа регионального сегмента популяционного «Канцер-регистра FVB» (МНИ-ОИ им. П.А. Герцена Минздрава России) по Тульской области и формы статистического наблюдения №12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у пациентов, проживающих в районе обслуживания медицинской организации» за период с 2009 по 2023 гг.

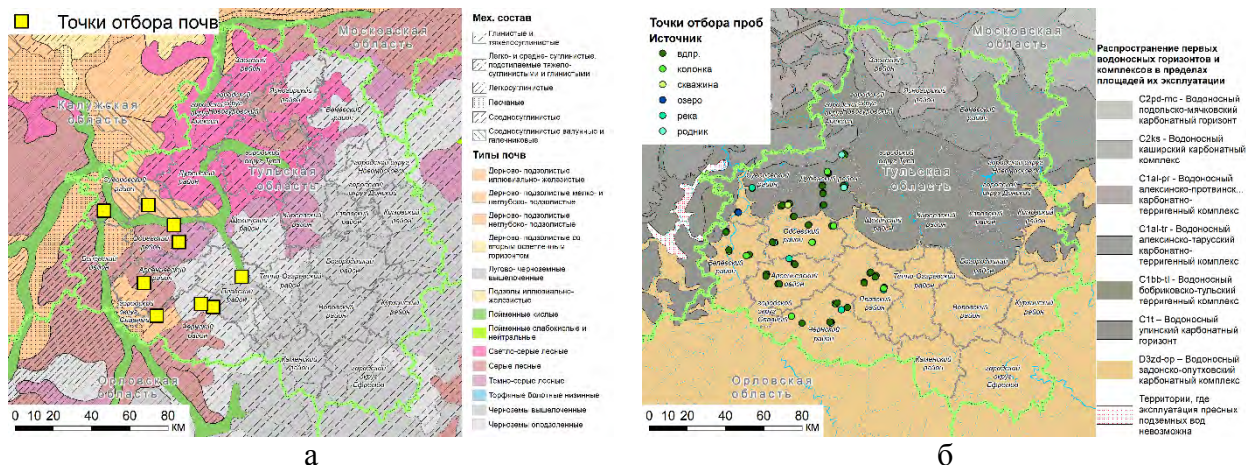


Рис. 1. Картосхемы почвенного покрова и точек отбора проб почв (а, по [3]), первых водоносных горизонтов и комплексов в пределах площадей их эксплуатации (б, по [6])

Результаты и их обсуждение

В 98,5% пробах подземных вод выявлено содержание йода ниже пороговой концентрации (10 мкг/л) [9], а содержание селена ниже рекомендуемого уровня (2,5 мкг/л) [7] выявлено во всех отобранных образцах. Средневзвешенное содержание йода в почвах всех обследованных районов ниже рекомендуемого уровня (5 мг/кг) [5]. Оценка содержания селена (0,3–0,5 мг/кг) находится в пределах оптимума (0,2–0,7 мг/кг) [1].

Для Белевского района характерна высокая общая заболеваемость щитовидной железой (4078,7 случаев на 100 000 населения). Этот показатель почти вдвое выше как среднеобластного (1946,6), так и среднероссийского (2372,3) показателя, для остальных обследованных районов она находится в диапазоне 1344,1–3069,5 случаев на 100 000 [2]. Для этого же района характерна максимальная (9,7 на 100 000) заболеваемость злокачественными новообразованиями щитовидной железы, значительно выше как среднеобластного (4,9), так и национального (8,1) значений [4].

Сопоставление геохимических и медицинских данных показало наличие значимой обратной ранговой (корреляция Спирмена) связи средней первичной заболеваемости щитовидной железой у всего населения обследованных территорий с обеспеченностью почв селеном ($R=-0,821$, $p=0,023$), а также в группе взрослого населения ($R=-0,857$, $p=0,013$). Для детей была выявлена значимая обратная связь заболеваемости щитовидной железой со средним содержанием йода в питьевых водах ($R=-0,786$, $p=0,036$).

Заключение

Выявленный дефицит йода и селена в исследуемых компонентах окружающей среды семи обследованных районов Тульской области и его пространственная неоднородность может оказывать влияние на пространственное распределение уровня заболеваемости щитовидной железой. Полученная информация будет полезна при разработки адресных рекомендаций по коррекции дефицита йода и селена.

В дальнейшем планируется продолжить обследование микроэлементного статуса районов

Тулской области для подтверждения выявленных связей геохимических (уровни природного дефицита микроэлементов и техногенного загрязнения) и медицинских (заболеваемость населения) показателей.

*Работа выполнена по темам государственных заданий
ГЕОХИ РАН и ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России.*

Литература

1. Боев В.А. Селен в почвах и сельскохозяйственных культурах юга Тюменской области // Вестник Тюменского гос. ун-та. Серия: Экология. – 2013. – № 12. – С. 112–120.
2. Деев И.А., Кобякова О.С., Стародубов В.И. и др. Заболеваемость всего населения России в 2023 году: статистические материалы. – М. : ЦНИИОИЗ, 2024. – 154 с.
3. Иванов А.В., Шоба С.А. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России : версия 1.0. – Тула : Гриф и К, 2014. – 768 с.
4. Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность). – М. : МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2024. – 276 с.
5. Ковальский В.В. Биологическая роль йода // Научн. тр. ВАСХНИЛ. – М. : ВАСХНИЛ, 1972. – С. 3–32.
6. Лященко Г.В., Куренной В.В. Отчет о результатах работ по объекту «Составление карт районирования территории ЦФО масштаба 1:500 000 (с врезками масштаба 1:200 000) для оптимизации производства региональных гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических работ в период 2005–2010 годов» : в 2 т. – М. : Геоцентр-Москва, 2007. – Т. 1. – 106 с.
7. Никитина Л.П., Иванов В.Н., Аникина Л.В. Селен в горных породах и почвах // Селен в жизни человека и животных. – М. : ВИНТИ РАН, 1995. – С. 17–19.
8. Проскурякова Г.Ф., Никитина О.Н. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // Агрохимия. – 1976. – № 7. – С. 140–143.
9. Турецкая Э.С., Данилейченко В.А. Йод, бром, кобальт и медь в питьевых водах горного района и эндемическая болезнь // Микроэлементы в животноводстве и медицине. – Киев : Здоровье, 1965. – С. 62–67.
10. Тутельян В.А., Хотимченко С.А., Голубкина Н.А. Методические указания МУК 4.1.033–95. Методы контроля. Химические факторы. Определение селена в продуктах питания. – М. : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1995. – 5 с.
11. ГОСТ Р 59024–2020 Вода. Общие требования к отбору проб (Издание с Изменением N 1). – М. : РСТ, 2023. – 28 с.
12. Bogovic T.B., Tomas M.I., Girotto N. et al. Risk factors for thyroid cancer: What do we know so far? // Acta Clinica Croatia. – 2020. – Vol. 59 (Suppl 1). – P. 66–72.
13. Korobova E.M., Baranhcukov V.S., J. Bech Cartographic evaluation of the risk of natural elements' deficiency in the soil cover provoking spatial variation of the endemic morbidity level (on example of thyroid morbidity among population of the Central Federal District, Russia) // Environmental Geochemistry and Health. – 2024. – Vol. 46 – Article No. 109.

УДК 504.73/.74.054

СОДЕРЖАНИЕ СЕЛЕНА В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ-ЖИВОТНОЕ НА ПРИМЕРЕ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Белов, А.В. Синдирева

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

m.blvv@yandex.ru, sindireva72@mail.ru

SELENIUM CONTENT IN THE SOIL-PLANT-ANIMAL SYSTEM USING THE EXAMPLE OF THE CHELYABINSK REGION

M.A. Belov, A.V. Sindireva

Tyumen State University, Tyumen, Russia

m.blvv@yandex.ru, sindireva72@mail.ru

Abstract. Исследование посвящено анализу содержания селена в компонентах агроэкосистем шести районов Челябинской области. Установлено, что уровень селена в почве варьирует от 0,12 мг/кг (Пластовский район) до 0,27 мг/кг (Еманжелинский район). Накопление элемента в растениях зависит как от его концентрации в почве, так и от видовой специфичности культур: отдельные виды имеют повышенную биоаккумуляцию, независимо от фоновых значений в почве. В продуктах животноводства выявлены значительные различия: мясо курицы содержит на 30–32% больше селена, чем свинина и говядина. Полученные результаты подчеркивают необходимость дифференцированного подхода к мониторингу селена в агроэкосистемах для оптимизации сельскохозяйственных практик и минимизации рисков для пищевой безопасности.

Введение

Исследование содержания селена на территории Челябинской области имеет особую значимость ввиду ее промышленного характера и высокого уровня техногенной нагрузки. Челябинская область является одним из ключевых промышленных регионов России, где развиты металлургия, машиностроение и другие отрасли, оказывающие значительное воздействие на экосистемы. В результате такой активной промышленной деятельности в окружающей среде накапливаются тяжелые металлы, представляющие угрозу в биогеохимическом цикле [1].

Селен, являясь важным микроэлементом, играет важную роль в защите организма от токсичного воздействия тяжелых металлов. Он выступает в качестве антагониста, способствуя их выведению из организма и снижая их вредное влияние. Оптимальное содержание селена в организме способствует укреплению иммунной системы, улучшению обмена веществ и снижению риска развития различных заболеваний [2–5].

Таким образом, изучение содержания селена на территории Челябинской области позволяет не только оценить экологическое состояние региона, но и разработать меры по улучшению здоровья населения, проживающего в условиях повышенной техногенной нагрузки.

Материалы и методы

Пробы отобраны в пределах 6 муниципальных районов Челябинской области: Чесменского, Троицкого, Пластовского, Увельского, Еманжелинского и Еткульского. Отбор проб почв проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83, а растений согласно ГОСТ Р 58588-2019. Всего с 48 площадок отобрано 96 проб почв и растений. Почва представлена черноземом обыкновенным и черноземом выщелоченным, а растения пшеницей яровой, гречихой посевной и подсолнечником обыкновенным.

Пробы мяса отбирались с административных центров в соответствии с ГОСТ 7269-2015. При отборе продукции учитывалось: место выращивания сельскохозяйственных животных, применение минеральных добавок, основной корм.

Исследования полученных проб проводились методом спектрометрии с индуктивно-

связанной плазмой, в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Результаты были получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Рациональное природопользование и физико-химические исследования» и Лаборатории экологических исследований Тюменского государственного университета.

Полученные данные были обработаны с использованием стандартных статистических методов в программном пакете Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

В рамках исследования определено содержание селена в компонентах окружающей среды, мясе сельскохозяйственных животных и волосах населения. Результаты представлены на рисунке 1.

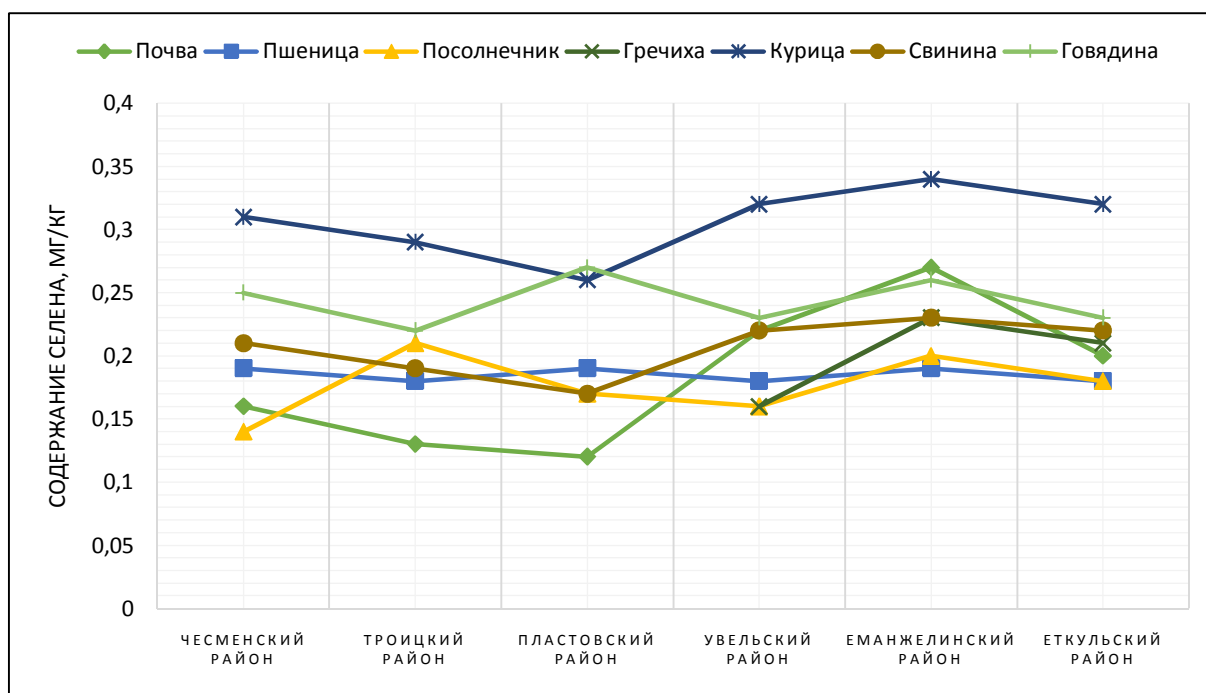


Рис. 1. Среднее содержание селена в компонентах окружающей среды и мясе с/х животных Челябинской области (по районам)

Анализ данных о содержании селена (рис. 1) в компонентах агроэкосистем шести районов Челябинской области выявил ряд закономерностей. Наблюдается прямая зависимость между содержанием селена в почве и его аккумуляцией в растениях, однако эта связь варьирует в зависимости от вида культуры и типа почвы. Например, в Еманжелинском районе, где концентрация селена в черноземе выщелоченном максимальна (0,27 мг/кг), гречиха имеет наибольшее накопление элемента среди исследуемых растений (0,23 мг/кг). В то же время пшеница в этом же районе содержит 0,19 мг/кг, что сопоставимо с районами с более низким содержанием селена в почве (например, Чесменский район – 0,16 мг/кг в черноземах обыкновенных и 0,19 мг/кг в пшенице). Это указывает на избирательную способность растений к аккумуляции селена, где гречиха, вероятно, обладает более высоким коэффициентом биопоглащения.

Также в продуктах животноводства прослеживается тенденция к более высокому содержанию селена в мясе курицы по сравнению со свининой и говядиной. Например, в Еманжелинском районе пробы мяса курицы содержат 0,34 мг/кг селена, что на 32% выше, чем в свинине (0,23 мг/кг) и на 31% выше, чем в говядине (0,26 мг/кг). Аналогичная картина наблюдается

во всех районах, что может быть связано с особенностями метаболизма птиц, составом кормов или более интенсивным включением селена в мышечные ткани кур. При этом содержание селена в мясе не всегда коррелирует с его уровнем в пробах растений, что подчеркивает роль дополнительных факторов, таких как обогащение кормов или региональные практики животноводства.

Выявлены межрайонные природно-климатические различия. Например, в Пластовском районе зафиксировано минимальное содержание селена в почве (0,12 мг/кг), что, однако, не привело к значительному снижению его концентрации в пшенице (0,19 мг/кг) или мясе (говядина – 0,27 мг/кг). Это может свидетельствовать о наличии локальных источников селена, не связанных с почвой, например, применении удобрений или особенностях гидрогеологических условий. А в случае с животными – добавки кормовые, возможно привезенные с других регионов или микроэлементные добавки. Напротив, в Троицком районе относительно низкое содержание селена в почве (0,13 мг/кг) сочетается с повышенным его уровнем в подсолнечнике (0,21 мг/кг), что подтверждает роль вида растения в накоплении элемента.

Заключение

Проведенное исследование показывает гетерогенность распределения селена в агроэкосистемах Челябинской области, обусловленную комплексом биохимических, эдафических и антропогенных факторов. Установлено, что аккумуляция селена растениями носит видоспецифичный характер: культуры с высокой биоаккумуляционной эффективностью (например, гречиха) накапливают большее количество микроэлемента, чем другие исследуемые растения. В продуктах животноводства выявлена значимая межвидовая дифференциация: повышенное содержание селена в мясе кур (до 0,34 мг/кг) свидетельствует о трофической селективности и возможном влиянии кормовых добавок на транслокацию элемента.

Межрайонный анализ выявил диссонанс между низким содержанием Se в почве (Пластовский район – 0,12 мг/кг) и его достаточной концентрацией в биоте, что указывает на наличие альтернативных источников аккумуляции микроэлемента. Одновременно, локальные различия в растениях (подсолнечник в Троицком районе – 0,21 мг/кг при почвенном фоне 0,13 мг/кг) подчеркивают необходимость учета фитоценотической специфики при оценке рисков микроэлементозов.

Литература

1. Зыбалов В.С., Попкова М.А. Влияние тяжелых металлов на агрохимические показатели почв Южного Урала // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. – 2018. – Т. 10, №. 2. – С. 33–40.
2. Голубкина Н.А., Синдирева А.В., Зайцев В.Ф. Внутрорегиональная вариабельность селенового статуса населения // Юг России: экология, развитие. – 2017. – № 1. – С. 107–127.
3. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Особенности содержания селена в системе почва-растение (обзор) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2020. – № 11(164). – С. 98–105.
4. Титов А.Ф. и др. Роль селена в жизнедеятельности растений, животных и человека // Успехи современной биологии. – 2021. – Т. 141, № 5. – С. 443–456.
5. Qu L. et al. Selenium in soil-plant system: Transport, detoxification and bioremediation // Journal of Hazardous Materials. – 2023. – Vol. 452. – Art. No. 131272.

УДК 547.421.17

АДАПТАЦИЯ НЕТЕЛЕЙ ДЖЕРСЕЙСКОЙ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

И.Ю. Венцова¹, В.А. Сафонов², А.В. Востроилов¹

¹Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I,
Воронеж, Россия

²Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

biohimyk@yandex.ru, safrus2003@mail.ru, kaftchz@veterin.vsau.ru

ADAPTATION OF JERSEY HEIFERS IN THE VORONEZH REGION

I.Y. Ventsova¹, V.A. Safonov², A.V. Vostroilov¹

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

²Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, Moscow, Russia

biohimyk@yandex.ru, safrus2003@mail.ru, kaftchz@veterin.vsau.ru

Аннотация. Статья описывает изменение минерального профиля импортных нетелей джерсейской породы при адаптации в условиях Воронежской области. Образцы крови брались на 2–3 день и через 30 дней после завоза, проводили оценку уровня неорганического Р, общего Са, Mg, Mn и Se. Уровень элементов через месяц после начала адаптации показывает значения, близкие к фоновым.

Введение

Одним из факторов, влияющих на производительность животных, является их способность адаптироваться в изменяющихся условия окружающей среды. Проблема стрессоустойчивости животных напрямую связана с их генетическими возможностями к адаптации и условиями среды. Наиболее требовательны к соблюдению комфортных условий высокопродуктивные породы животных. Это связано с тем, что высокие темпы производства требуют высокие затраты ресурсов организма. Чтобы обеспечить раскрытие генетического потенциала породы необходимо поддерживать правильное питание животных и снимать стрессовую нагрузку, вызванную условиями содержания, часто сопряженными с климатическими изменениями [3, 4, 9]. Мониторинг биохимических показателей крови позволяет контролировать адаптацию импортного скота, позволяя полноценно использовать его генетический потенциал [2, 7].

Кровь служит ключевым индикатором метаболизма, отражающим изменения в биохимических процессах в ответ на изменения внешних условий. Молочное скотоводство остается перспективным направлением, но перевозка высокопродуктивных животных для улучшения генофонда местных пород сопряжена для них со стрессом, вызванным транспортировкой, изменением климата и кормов [8]. Адаптация включает морфофизиологические, биохимические и поведенческие изменения, обусловленные генотипическими особенностями породы, способными закрепиться в потомстве.

Актуальность исследования биохимических изменений при адаптации у импортного скота обусловлена необходимостью повышения продуктивности и устойчивости в условиях Центрального Черноземья. Важную роль в полноценности растительного рациона играет биогеохимический состав почвы [5, 6]. Данные агрохимических показателей в России свидетельствуют о деградации почвенного покрова, дефицитах эссенциальных микроэлементов и накопления тяжелых металлов, что негативно отражается на показатели плодородия и провоцирует развитие микроэлементозов у скота. В Центрально-Черноземном регионе отмечен недостаток йода, цинка и молибдена, что негативно отражается на здоровье скота и человека [1].

Цель исследования – оценить способность коров Джерсейской породы адаптироваться к условиям Центрально-Черноземном региона.

Материалы и методы.

Исследования проводили на 15 нетелях джерсейской породы на 5–6 месяце беременности в СХП ООО «Молоко Черноземья» Воронежской области. В качестве фона (референса) использовали нетели голштинской породы в том же количестве, выращиваемые в хозяйстве. Для оценки способностей животных к адаптации исследовали такие показатели минерального обмена, как содержание неорганического Р, общего Са, Mg, Mn и Se в крови. Пункцию крови для анализа отбирали из хвостовой вены в утренние часы до кормления на 3–5-й день и через 30 дней после завоза в хозяйство. Для сбора пробы использовали вакуумные пробирки с ЭДТА-Na. Определение неорганического фосфора, марганца и селена в крови проводили на атомно-адсорбционном спектрофотометре «Shimadzu AA6300», кальция и магния – с помощью ионоселективных электродов на анализаторе «Olympus-400». Обработка результатов производилась с использованием пакета программ «MicrosoftExcel» и «Statistica 6.0».

Результаты и обсуждение

Анализ изменения показателей крови коров Джерсейской породы относительно местной породы показал адаптивные изменения через месяц после завоза особей в хозяйство. Это отобразалось в приближении значений исследуемых параметров завезенных животных к аборигенам (рис. 1). На момент завоза у коров Джерсейской породы отмечался более высокий уровень селена и кальция, чем у коров голштинской породы, спустя месяц адаптации все исследуемые показатели завезенных животных были ниже, чем у местных, однако, несмотря на это соотношения значений становится приближенным к референсным значениям.

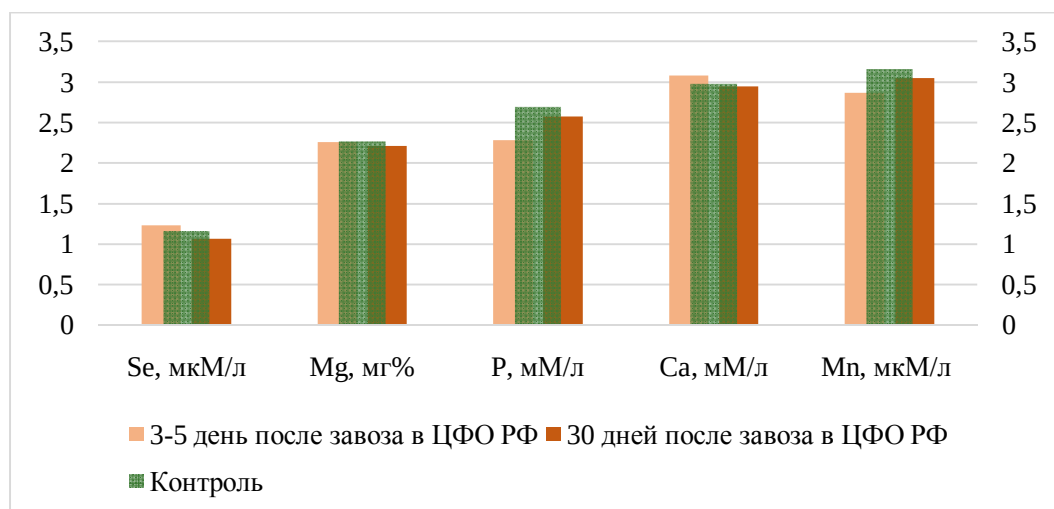


Рис. 1. Сравнение показателей коров Джерсейской породы (n=15) с контролем

Снижение уровня селена после завоза у коров (с 1.233 ± 0.044 до 1.063 ± 0.044 мкМ/л) может быть обусловлена функцией селена в организме. Этот элемент является важным звеном антиоксидантной системы, способствующим снижению воздействия окислительного стресса на органы и ткани животных. Селен участвует в первой и второй фазах биохимической адаптации. Первая заключается в разложении чужеродных веществ на окиси и перекиси, а вторая в связывании и выведении метаболитов, обладающих химической активностью. Это объясняет его снижение на 13,8% (при $p < 0,05$) к концу первого месяца относительно 3–5 дня после завоза.

Магний участвует в синтезе белка и нуклеиновых кислот, обмене веществ, замедляет нейромышечную передачу. Mg за изученный период адаптации у импортных коров снижался на 2,34%, от 2.263 ± 0.005 до 2.210 ± 0.008 мг% что может объясняться его участие в реакциях ор-

ганизма в качестве противострессового биоэлемента. В то же время, разница в показателях магния между породами отличалась незначительно, оставаясь в пределах 3,08%. В течение месяца наблюдается снижение уровня кальция в крови коров Джерсейской породы, при этом его концентрация приближается к значению, взятому в качестве референса. Падение уровня кальция может объясняться не только фактором адаптации, но и ростом плода.

Уровень Р и Мп возрастает на 12,97 и 6,31% (при $p < 0,05$) соответственно в течение первого месяца в хозяйстве, приближаясь к референсным значениям. Р играет важную роль в правильном функционировании сердца, мышц и мозга, а Мп как часть ферментативной системы препятствует свободно-радикальному окислению, участвуя в регуляции липидов, увеличивая гликолитическую активность, развитии хрящевой, костной и соединительной тканей, в связи с чем они являются необходимым звеном нормального функционирования организма.

Вывод

При анализе изучаемых показателей установили, что нетели джерсейской породы показывают достаточную устойчивость к стресс-факторам, вызванную транспортировкой и сменой хозяйства. Через 30 дней после завоза, уровень неорганического фосфора у нетелей джерсейской породы был ниже на 4,1% марганца – на 3,64%, магния – на 2,3%, кальция – на 1,1%, а уровень селена снижался на 8,6%. Значения близкие к фоновым, показывают хорошую способность коров джерсейской породы адаптироваться к новым условиям.

Литература

1. Березкин В.Ю., Баранчуков В.С., Головин М.Л. и др. Факторы, определяющие дефицит йода в почвах сельскохозяйственного назначения некоторых областей ЦФО РФ //ББК, 2024. – С. 5–6.
2. Венцова И.Ю., Сафонов В.А., Востроилов А.В. и др. Минеральный обмен у импортного молочного скота при адаптации к условиям Центрального Черноземья // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2024. – № 3. – С. 61–67.
3. Каримова В.М. Молочная продуктивность коров при использовании в рационах белковой добавки "Белкофф-м" // Научная жизнь. – 2021. – Т. 16, № 7(119). – С. 925–938.
4. Мирошников С.А., Тюлебаев С.Д., Кадышева М.Д. Элементный статус животных и его распределение в среде телок с различным аллельным набором генов, ассоциированных с качеством говядины // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 5(194). – С. 135–142.
5. Нотова С.В., Маршинская О.В., Казакова Т.В. Роль микроэлементов в антиоксидантной системе защиты организма // Животноводство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106, № 1. – С. 183–191.
6. Сафонов В.А. Адаптивные изменения антиоксидантного и гормонального статуса коров // Ветеринария. – 2011. – № 6. – С. 32–33.
7. Семенов С.Н. Ветеринарно-санитарные аспекты качества и безопасности сельскохозяйственной продукции // Материалы VIII Международной Научно-Практической Конференции, Воронеж, 16–17 октября 2024 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – 276 с.
8. Шабунин С.В., Беляев В.И., Папин Н.Е. Дисэлементозы – этиология, профилактика, лечение // Ветеринарный врач. – 2014. – № 3. – С. 39–43.
9. Юкомзан А.И. Особенности оксидантно-антиоксидантного статуса коров молочного направления продуктивности в динамике стельности // Современная школа России. Вопросы модернизации. – 2021. – № 7-2(37). – С. 91–93.

УДК 574.2:550.47

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОЛОС ЖИТЕЛЕЙ ПГТ. ВЕРШИНО-ДАРАСУНСКИЙ
КАК ИНДИКАТОР ВОЗДЕЙСТВИЯ
ХВОСТОХРАНИЛИЩ**

Е.М. Вершкова, Д.В. Наркович, Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия

vem@tpu.ru, Narkovich@tpu.ru, nata@tpu.ru

**ELEMENTAL COMPOSITION OF HAIR OF RESIDENTS
OF THE VERSHINOYO-DARASUNSKY TOWN AS AN INDICATOR OF THE IMPACT
OF TAILING DOMESTIC DOMESTICATIONS**

E.M. Vershkova, D.V. Narkovich, N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

vem@tpu.ru, Narkovich@tpu.ru, nata@tpu.ru

Аннотация. Исследование посвящено оценке воздействия горнодобывающей промышленности на элементный состав волос населения пгт. Вершино-Дарасунский (Забайкальский край), где расположены золотоизвлекательная фабрика и заброшенный мышьяковый завод. Методом инструментального нейтронно-активационного анализа изучен элементный состав волос 29 детей. Выявлен аномально высокий коэффициент концентрации следующих элементов: Ag (54,2), Au (32,9), As (23,2), Sb (4,5), Cr (2,4) и U (1,6), что отражает влияние хвостохранилищ. Установлено, что волосы служат надежным индикатором техногенного воздействия, фиксируя поступление элементов через пыль, воду и пищевые цепи. Результаты свидетельствуют о необходимости мониторинга и реабилитации загрязненных территорий для снижения рисков для здоровья населения.

Введение

В России сохраняется значительное количество территорий с неликвидированными очагами загрязнения, связанными с добычей полезных ископаемых. Образующиеся в процессе добычи и переработки отходы (вскрышные породы, хвосты обогащения, металлургические шлаки и др.) представляют серьезную угрозу для здоровья местного населения. Особую остроту экологическая ситуация приобретает в поселке Вершино-Дарасунский (Забайкальский край), где промплощадка бывшего мышьяковистого завода расположена в центре населенного пункта и вблизи социально значимых объектов. Завод, функционировавший с 1930-х гг. до 1973 г., был закрыт без проведения рекультивации, что привело к накоплению на его территории большое количество отходов [3].

Анализ волос представляет собой эффективный метод биомониторинга, позволяющий оценить геохимические характеристики территории. Благодаря способности аккумулировать химические элементы из различных компонентов окружающей среды, волосы служат интегральным показателем воздействия среды обитания на организм человека. Целью настоящего исследования является определение биогеохимических особенностей элементного состава волос жителей пгт. Вершино-Дарасунский, проживающих в зоне влияния хвостохранилища, с выделением маркерных показателей, отражающих специфику геохимических условий.

Материалы и методы

Исследования проводились в РФ на территории Забайкальского края в пгт. Вершино-Дарасунский. Было отобрано 29 проб у детей дошкольного и школьного возраста, не имеющих отклонений по медицинским показателям, коренных жителей. Образцы волос отбирали по стандартной методике из пяти участков волосистой части головы: затылка, висков, темени и лба. Стрижку осуществляли стерильными ножницами из нержавеющей стали у самого основания волос. Исследования проводили в сухой навеске материала. Определение элемент-

ного состава выполняли методом ИНАА с использованием исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т (Томск, аналитики А.Ф. Судыко и Л.В. Богутская).

Для всех 28 элементов был рассчитан коэффициент концентрации (КК) как отношение среднего арифметического содержания элемента к медиане по выборке для всего Забайкальского края.

$$КК = \frac{C_a}{Me},$$

где C_a – среднее содержание элемента; Me – медиана по выборке для всего Забайкальского края.

Результаты и их обсуждение

Геохимический ряд построен на основании рассчитанного коэффициента концентрации. Для построения геохимического ряда был использован коэффициент концентрации (КК). В выборке не учтены 11 элементов, содержание которых было меньше предела обнаружения в более чем 50% проб (Rb, Sr, Ba, Nd, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th). Для 16 из 17 элементов коэффициент концентрации составил больше 1. В результате был построен следующий геохимический ряд:

Ag_{54,2}–Au_{32,9}–As_{23,2}–Cs_{8,8}–Eu_{7,3}–Sb_{4,5}–La_{3,4}–Ce_{2,9}–Ca_{2,6}–Na_{2,4}–Cr_{2,4}–Fe_{1,7}–Sc_{1,7}–U_{1,6}–Br_{1,5}–Co_{1,0}–Zn_{0,9}

Представленный геохимический ряд коэффициентов концентрации элементов в волосах жителей пгт. Вершино-Дарасунский демонстрирует четкую связь с деятельностью расположенных в поселке золотоизвлекательной фабрики и бывшего мышьякового завода [4]. Крайне высокие показатели по серебру (Ag – 54,2), золоту (Au – 32,9) и мышьяку (As – 23,2) являются прямым отражением производственной специфики региона [1].

Доминирование этих элементов объясняется несколькими факторами. Во-первых, золотоизвлекательная фабрика является источником постоянного поступления в окружающую среду золота и сопутствующего ему серебра через хвосты обогащения, технологические выбросы и пылевое загрязнение. Во-вторых, историческое производство мышьяка оставило после себя значительное наследие в виде отвалов, содержащих триоксид мышьяка и другие соединения этого элемента [2]. Особую опасность представляет высокая миграционная способность соединений мышьяка, что способствует его проникновению в пищевые цепи и организм человека.

Относительно высокие показатели по хромю (Cr – 2,4) и урану (U – 1,6) требуют особого внимания, так как могут свидетельствовать о наличии дополнительных источников загрязнения, возможно, связанных со спецификой перерабатываемого сырья или использованием определенных технологических процессов на производстве.

В целом по имеющимся данным мы видим, что на формирование элементного портрета существенное влияние оказывают биогеохимические и антропогенные факторы.

Заключение

Важно отметить, что такой элементный профиль волос жителей формируется под комплексным воздействием различных путей поступления элементов в организм: ингаляционного (вдыхание производственной пыли), алиментарного (употребление загрязненных продуктов местного происхождения) и водного (использование воды из потенциально загрязненных источников). Особую тревогу вызывает сочетание в одном ряду нескольких элементов с выраженной токсичностью (As, Sb, Cr, U), что создает кумулятивный эффект и повышает риски для здоровья населения.

Полученные данные убедительно свидетельствуют о том, что элементный состав волос жителей является надежным индикатором техногенного воздействия горнодобывающих пред-

приятый и может служить важным инструментом для оценки экологической ситуации и здоровья населения в промышленных регионах.

Литература

1. Михайлова Л.А., Солодухина М.А., Алексеева О.Г. и др. Гигиеническая оценка содержания химических веществ в почве горнопромышленных районов Забайкальского края // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 4. – С. 400–410.
2. Качор О.Л., Икрамов З.Л., Паршин А.В. Первые результаты переоценки состояния окружающей среды в зоне влияния бывшего мышьякового завода в поселке городского типа Вершино-Дарасунский (Забайкальский край) // Науки о Земле и недропользование. – 2024. – Т. 47, № 4. – С. 453–467.
3. Качор О.Л. Геоэкологическая оценка влияния накопленных отходов бывшего мышьяковистого завода поселка Вершино-Дарасунский на объекты окружающей среды // Известия СО РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2019. – № 3(68). – С. 279–286.
4. Звягинцева О.Ю., Звягинцев В.В., Шильникова Т.Л. и др. Оценка загрязнения компонентов природной среды в зоне влияния горно-перерабатывающего предприятия // Перспективы науки. – 2019. – № 9(120). – С. 69–72.

УДК 549:57

**СЛЕДУЯ ИДЕЯМ АКАДЕМИКА В.И. ВЕРНАДСКОГО. ПРОДУКТЫ РЕАКЦИЙ
В БИОКОСНОЙ СИСТЕМЕ “КРЕМНИ – АКТИНОМИЦЕТЫ”:
ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ**

И.Ф. Вольфсон

*Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия
rosgeo@yandex.ru*

**FOLLOWING THE IDEAS OF ACADEMICIAN V.I. VERNADSKY.
PRODUCTS OF REACTIONS IN THE BIO-INERT SYSTEM
“FLINTS – ACTINOMYCETES”: FUNDAMENTAL AND APPLIED
SIGNIFICANCE**

I.F. Volfson

*Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia
rosgeo@yandex.ru*

Abstract. В статье рассматриваются некоторые аспекты биокосных взаимодействий. На примере кремней из отложений карбонатных пород Восточно-Европейской платформы показан механизм проявления биологической активности почвенных бактерий актиномицетов, населяющих кремни, открывающий новые возможности изучения явления биологической активности и других экологических характеристик в основе которых заложены минералого-геохимические и кристаллохимические особенности высококремнистых пород.

Введение

Реакции в биокосных системах – новое направление минералого-геохимических исследований [6]. Однако сегодня разработки в этой области позволяют решать сложные задачи по биотехнологическому выщелачиванию ценных элементов из руд, а также моделировать условия преобразования минерального вещества и устанавливать роль микроорганизмов в этом процессе на уровне зон гипергенеза и почвообразования [7].

Среди вопросов биогенной деструкции особое внимание уделяется силикатным минералам. Силикатные минералы широко распространены в биосфере. Среди фанерозойских углеродистых пород преобладают кремни и силициты, тогда как в почвах преобладают глины, такие как каолинит, хлорит, вермикулит и смектит. Микроорганизмы обладают широким набором механизмов биodeградации минеральных субстратов – среди них кислотные и щелочные образования, биосорбция и хелатирование (комплексообразование). Один из методов бактериального выщелачивания заключается в секреции экзополисахаридов, и в частности, последующем образовании слизи. Многие виды бактерий, включая цианобактерии, обладают способностью образовывать слизь [1].

Методика исследования минерально-породных образований кремнезема

В последние десятилетия резко возрос академический и коммерческий интерес к минерально-породным образованиям на основе диоксида кремния. Это можно объяснить недавно обнаруженными абсорбционными и каталитическими свойствами трепелов, кремнисто-мергелистых пород, содержащихся в основном в минералах так называемой триады ОКТ (опал, кристобалит, тридимит), цеолитов (клиноптилолит, клиноптилолит-гейландит) и различных глинистых минералов, входящих в состав вышеупомянутых образований.

Кремни занимают особое место среди кремнистых пород. Они являются одним из древнейших полезных ископаемых, когда-либо добывавшихся для практического применения. Кремни привлекают внимание специалистов, работающих в области геологии, минералогии,

литологии. Они предоставляют информацию о последовательности процессов седиментации и условиях минерогенеза и диагенеза, позволяют понять механизмы влияния геологических объектов и процессов на окружающую среду и здоровье человека. Вопросы применения силицитов – диатомитов, цеолитов, цеолитсодержащих трепелов в пищевых добавках и лекарственных препаратах регулярно появляются в научных публикациях.

С целью определения параметров связанного с кремнями явления «биологической активности» было проведено комплексное исследование биокосной системы «кремни – актиномицеты». Для проведения минералого-геохимических исследований была разработана оригинальная методика изучения кремней. Данная методика сочетает традиционные методы исследования вещественного состава кремней с петрографическим описанием образцов, химическими и спектральными методами, такими как инфракрасная спектроскопия, как рутинная, так и дифференциальная спектроскопия Фурье. Рутинная спектроскопия использовалась для распознавания индекса кристалличности силицитов. Использование дифференциальной Фурье-спектроскопии было использовано для изучения минералов в микрофазах кремней, что было впервые применено таким образом и в столь широких масштабах [2, 4].

Результаты исследований позволили установить в пределах Московской синеклизы и сопредельных структур кремни трех минеральных типов: опал-халцедоновый, халцедоновый и кварцевый, которые определяются по степени кристалличности кремнезема, составу породообразующих минералов и минералов микрофаз, содержанию оксидов породообразующих элементов и элементных примесей. На последующем этапе наиболее представительные образцы кремней были исследованы методами почвенной микробиологии.

Кремни и связанное с ними явление «биологической активности»

Биологическая активность – явление, связанное с деятельностью бактерий и других микроорганизмов. Количественно ее можно оценить как в полевых условиях (например, газовое дыхание почвы), так и в лабораторных условиях путем посева почвенного вещества (в данном случае кремня) на питательные среды и подсчета роста колониеобразующих бактерий по разработанной методике [3]. Изучение актиномицетов проводится в связи с их способностью синтезировать различные биологически активные вещества – антибиотики, витамины, аминокислоты, алкалоиды, ферменты. Зависимость свойств актиномицетов от содержания в их среде микроэлементов (Cr, Mn, Cu, Zn и др.) хорошо известна [5].

Ряд образцов установленных минеральных типов кремней был подвергнут микробиологическому исследованию с целью определения природы биологической активности кремней. В ходе исследований установлено наличие почвенных бактерий актиномицетов в кремнях и установлена зависимость их численности от сложности кристаллического каркаса кремнезема и содержания химических элементов в кремнях. Кремни в пределах значений коэффициента кристалличности кремнезема ($K_k > K_k > 5$, рассчитанного по стандартной методике, соответствуют полиморфу кремнезема – альфа-кварцу (или халцедону), содержащие в качестве примесей Cr, Mn, Cu, Zn, V, показали наибольшую численность популяции почвенных бактерий.

Постепенное снижение численности актиномицетов наблюдается в кварцевых кремнях ($K_k > 7$). В некоторых кремнях опал-халцедонового типа ($K_k < 2,5$) с преобладанием опала над халцедоном в породе численность бактерий падает обвально.

Антимикробная активность установленных типов кремней Московской синеклизы и сопредельных структур Восточно-Европейской платформы определяется спецификой проявления антимикробной активности актиномицетов, населяющих их, что используется для классификации и видовой идентификации этих бактериальных сообществ. В данном случае в качестве тест-организма для исследования антимикробной активности актиномицетов, населяющих кремни, был использован штамм *Staphylococcus aureus* (штамм UV-2 является мутантным, т.е. более сильным). Наибольшую степень антагонизма к нему проявил актиномицет, выде-

ленный из образца верхнемелового халцедонового кремня из Гродненской области (Республика Беларусь). Зона лизиса (зона отсутствия роста тест-организма) стафилококка вокруг блока роста актиномицета, выделенного из минерального вещества кремня, составила 20 мм. Данный фактор позволяет в дальнейшем использовать выделенную на данном образце культуру актиномицета – *Cinereus Achromogenes* – для проведения дальнейших целевых исследований, вплоть до изготовления антибиотических препаратов на предприятиях биотехнологической отрасли.

Заключение

Биологическая (антимикробная) активность кремней является частным случаем проявления антимикробных свойств актиномицетов (стрептомицетов) – продуцентов биологически активных веществ. Установлена зависимость проявления биологической активности актиномицетов от минералого-геохимических и кристаллохимических особенностей кремней. Явление «биологической активности кремней», основанное на продуктах реакций в биокосной системе «кремни – актиномицеты», открывает большие возможности в использовании этого вида минерального сырья.

Общие выводы:

- Создан комплексный метод изучения минералого-геохимических особенностей кремня и структурных особенностей кремневого материала. Использование этого метода позволило провести диагностику кремней и их типизацию. Этот метод универсален, так как может быть использован для диагностики и типизации тонкозернистых кремнистых минералов гидротермального происхождения.
- Исследован характер биологической (антимикробной) активности кремня.
- Сделан вывод о возможности использования актиномицетов, выделенных на веществе кремней, для производства антибиотиков в заводских условиях.
- Изучены механизмы разрушения вещества кремней актиномицетами и продукты жизнедеятельности бактериальных сообществ (альгобактериальных ценозов), которые могут быть использованы в биотехнологии силикатов.
- Определены геолого-тектонические и другие факторы кремненакопления и образования кремней, установлены минералого-геохимические критерии поиска и проявления кремней, обладающих биологической активностью.

Литература

1. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. – Л. : Наука, 1980. – 186 с.
2. Вольфсон И.Ф. Об истории и практике медицинской минералогии // Янтарь в истории медицины: материалы международной конференции / под. ред. И.А. Поляковой, Т.Ю. Суворовой ; Калининградский областной музей янтаря. – Калининград, 2016. – С. 9–16.
3. Зенова Г.М., Звягинцев Д.Г. Разнообразие актиномицетов в наземных экосистемах. – М. : Изд-во МГУ, 2002. – 132 с.
4. Комплексное ИК-спектроскопическое исследование тонкозернистого кремнезема : методические рекомендации N143. МПР РФ, НСОММИ, ВИМС. – М., 2000.
5. Павловича Д.Я. Актиномицеты Латвии. Распространение и биологические свойства. – Рига : Зинатне, 1978.
6. Перельман А.И. Биокосные системы Земли. – М. : Наука, 1977. – 160 с.
7. Яхонтова Л.К., Зверева В.П. Основы минералогии гипергенеза : учеб. пособ. – Владивосток : Дальнаука, 2000. – 336 с.

УДК 504.054

**АНАЛИЗ СТРЕССОВЫХ РЕАКЦИЙ ОДНОДОЛЬНЫХ И ДВУДОЛЬНЫХ
РАСТЕНИЙ ПРИ КУЛЬТИВАЦИИ НА ГИДРОПОНИКЕ В ПРИСУТСТВИИ
БИОДОСТУПНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СВИНЦА**

М.М. Годяева

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия
airrune@yandex.ru*

**ANALYSIS OF STRESS REACTIONS OF MONOCOTYLEDONOUS
AND DICOTYLEDONOUS PLANTS UNDER CULTIVATION ON HYDROPONICS
IN THE PRESENCE OF BIOAVAILABLE LEAD COMPOUND**

M.M. Godyaeva

*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
airrune@yandex.ru*

Аннотация. При культивировании представителей однодольных и двудольных растений в присутствии ацетата свинца, пшеница, как представитель однодольных, аккумулирует больше экотоксиканта, при этом растения салата посевого испытывают больший стресс, несмотря на аналогичную концентрацию биодоступного свинца.

Введение

Активное распространение и развитие систем закрытого грунта в России является тенденцией как продовольственной, так и селекционной отрасли. Культивирование растений на минеральной вате в условиях гидропоники является оптимальным способом создания контролируемой среды и получение максимального урожая [1, 2]. Однако, несмотря на наличие систем очистки и фильтрации в гидропонных системах часто накапливаются тяжелые металлы, поступающие в составе растворов и вымываемые из труб и фиттингов, фитотоксичные для растений, негативно воздействующие на организм конечного потребителя и результат селекционного процесса.

Материалы и методы

Объектами исследования являются салат посевной сорта Азарт (*Lactuca sativa*) и пшеница яровая сорта Иволга (*Triticum aestivum*). Культивирование растений производилось в течение 35 дней. Экотоксикант вносился на 5-й день вегетации с питательным раствором в форме ацетата свинца ($pH=6,2\pm0,5$). Исходя из литературных данных была составлена линейка концентраций: 0, 100, 200 мг/л [3]. В качестве питания использовался раствор Хогланда (1/2). Оценка фитотоксического воздействия производилась на основе определения активности каталазы, как одного из наиболее показательных критериев оценки стресса. Для количественного анализа окислительного стресса на 7 и 35-й день эксперимента проводилось определение активности каталазы по Баху и Опарину.

Результаты

Исходя из полученных данных можно утверждать, что на седьмой день культивирования стресс у однодольных и двудольных растений выражен незначительно, а аккумуляция свинца в биомассе относительно мала (рис. 1.)

На 35-й день вегетации можно отметить, что растения пшеницы аккумулируют большее количество свинца, при этом испытывая меньший стресс, тогда как значение активности каталазы у растений салата при максимальной концентрации экотоксиканта близки к сублетальным.



Рис. 1. Активность каталазы и аккумуляция свинца в растениях салата сорта Азарт и пшеницы яровой сорта Иволга, на 7 и 35 день культивирования в присутствии Pb

Стоит отметить, что несмотря на сопоставимые значения активности каталазы при разных концентрациях свинца, в присутствии максимальной концентрации на тридцать пятый день визуально детектировались некротические изменения, отсутствующие при 100 мг/л. Это объясняется активной аккумуляцией экотоксиканта и его фитотоксичностью.

*Результаты получены при финансовой поддержке исследования
Правительством Российской Федерации, реализуемой
в рамках Соглашения №075-15-2025-008 от 27.02 2025 г.*

Литература

1. Wang, Y., Ma, X., Shang, W et al. Comparative transcriptome analysis reveals differential mechanisms of soft rot resistance in lettuce grown under white and blue light // Food Energy Secur. – 2025. – Vol. 14. – Art. No. e70038. – doi: 10.1002/fes3.70038.
2. Malipatil S.S., Biradar S.S., Desai S.A. et al. Comparative analysis of differential salinity tolerance in wheat species under hydroponic conditions. – 2024. – doi: 10.21203/rs.3.rs-5196685/v1.
3. Yazdi M., Kolahi M., Mohajel Kazemi E. et al. Study of the contamination rate and change in growth features of lettuce (*Lactuca sativa* Linn.) in response to cadmium and a survey of its phyto-chelatin synthase gene // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2019. – Vol. 180. – P. 295–308. – doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.04.071.

УДК 548.3;543.2

МАКРО И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В СОСТАВЕ ЖЕЛЧНЫХ КАМНЕЙ

О. Голованова, С. Симонов

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия
golovanoa2000@mail.ru

MACRO AND MICROELEMENTS IN THE COMPOSITION OF GALLSTONES

O. Golovanova, S. Simonov

Omsk State University named after F.M. Dostoevsky, Omsk, Russia
golovanoa2000@mail.ru

Abstract. Исследована серия желчных камней пациентов больниц г. Омска на содержание в них микроэлементов. Спектральным методом было определено более 36 элементов, из которых основными являются 12: Ca, K, Mn, Fe, Cu, Pb, Ti, Zn, V, Ni, Bi, Cr. Из них кальций является преобладающим. На его долю приходится примерно 95,47%, что соответствует литературным данным. Процентное соотношение между микроэлементами в камнях уменьшается в ряду: K, Mn, Fe, Cu, Pb, Ti, Zn, V, Bi, Ni, Cr. Следует отметить, что и в желчи из выявленных элементов кальций является доминирующим. Это может служить объяснением преобладания содержания кальция в желчных камнях как основного минерального компонента, участвующего в процессе зарождения и образования патогенных конкрементов.

Введение

Изучение биогенного минералообразования в живых организмах продолжает оставаться важнейшим направлением биогеохимических исследований. Это актуально при решении проблем, связанных с ростом патологических биоминеральных новообразований, приводящих к различным заболеваниям, в том числе возникновению желчных камней.

Желчные камни – это затвердевшие отложения пищеварительной жидкости, которые чаще всего образуются в желчном пузыре. Размер камней в желчном пузыре варьируется от песчинки до мяча для гольфа. У некоторых людей образуется только один желчный камень, в то время как у других одновременно имеется множество мелких камней (рис.1). Образование камней в желчном пузыре происходит под влиянием комплекса факторов. Разнообразные расстройства обмена веществ способствуют кристаллизации холестерина, что в дальнейшем приводит к формированию камней в желчном пузыре.



Рис. 1. Примеры желчных камней

Использование современных физико-химических методов исследования в комплексе, позволяет определить органические и неорганические компоненты желчных камней; оценить па-

раметры камнеобразующей среды; установить взаимосвязь факторов, определяющих литогенез с особенностями состава и структуры желчных камней.

Материалы и методы

Для расширения спектра определяемых элементов и повышения чувствительности установления микроколичеств в составе коллекции желчных камней Омского региона были использованы ниже перечисленные методы.

При количественном определении содержания элементов Fe, Mg, Pb, Si, Mn, Ca, Ti, Al, Cu в образцах желчных камней была разработана методика эмиссионного спектрального анализа. Определение содержания элементов в пробе проводили на спектрографе СТЭ-1 с использованием градуировочных графиков зависимостей $\lg(I_{\lambda}/I_{\phi})$ от $\lg C$, полученных с помощью измерительного спектрального микрофотометра МФ-4. Погрешность всех определений элементов находилась в пределах 2–3 отн.% (исключение – Cu, погрешность определения при концентрациях 10^{-4} масс.% составляла 7 отн.%).

Для более полного количественного определения элементного состава желчных камней (K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, W, Hg, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Ce, Th, U, Pb) был использован рентгенофлуоресцентный анализ с синхротронным излучением (накопитель ВЭПП 3). Погрешность определений всех элементов находилась в пределах 2–5 отн.%, Чувствительность метода составляла 10^{-8} – 10^{-2} масс.% для различных элементов.

Результаты и их обсуждение

В данной работе был проведен анализ двенадцати желчных камней. В результате в составе камней было определено более 36 элементов, из которых рассмотрены микроэлементы с содержанием более 0,0001 мас.%. Результаты экспериментальных данных представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание микроэлементов в желчных камнях

Элемент	Экспериментальные данные				
	Число проб	Среднее содержание, мас.%	Пределы колебаний, мас.%		
Ca	11	2,0721	0,0525	-	17,8622
K	11	0,0735	0,0136	-	0,1000
Mn	11	0,0085	0,0006	-	0,0527
Fe	11	0,0058	0,0005	-	0,0119
Cu	11	0,0033	0,0009	-	0,0077
Pb	11	0,0025	0,0002	-	0,0224
Ti	11	0,0016	0,0009	-	0,0028
Zn	11	0,0011	0,0004	-	0,0034
V	11	0,0006	0,0001	-	0,0012
Ni	11	0,0005	0,0001	-	0,0020
Bi	7	0,0005	0,0005	-	
Cr	11	0,0005	0,00002	-	0,0017

Таким образом, по экспериментальным данным микроэлементный состав представлен следующим рядом (в процентном соотношении в среднем во всех камнях) в порядке убывания, (табл. 2). Практически все элементы, обнаруженные в желчных камнях, являются биогенными. В человеческом организме усваиваются и накапливаются те элементы, которые находятся в окружающей среде в форме подвижных и легко усваиваемых соединений, например, Si,

Al, Fe, Cu, Ca, Zn, Mn.

Концентрация и содержание элементов в органах и тканях человека связаны не только с местом его проживания, но и с пищевым рационом и другими условиями. Все элементы находятся в крови в разных концентрациях, и в процессе обмена веществ их различное количество оказывается в желчи.

Таблица 2. Среднее содержание микроэлементов в желчных камнях

Масс%	Ca	K	Mn	Fe	Cu	Pb	Ti	Zn	V	Ni	Bi	Cr
%	95,47	3,39	0,39	0,27	0,15	0,11	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Содержание кальция во всех камнях является основным (преобладающим) и составляет 90–95% (кроме одного камня, где калия содержится в 1,5 раза больше, чем Ca), поэтому кальций во всех случаях в виде макроэлемента. Следует отметить, что и в желчи из выявленных элементов кальций является доминирующим. Это может служить объяснением преобладания содержания кальция в желчных камнях как основного минерального компонента, участвующего в процессе зарождения и образования патогенных конкрементов. При сопоставлении фазового и элементного составов желчных камней можно сделать вывод, что чисто холестериновые камни или отдельные зоны камней, сложенные только холестерином, содержат меньшее разнообразие и, как правило, самые низкие количества микроэлементов. Наибольшее количество элементов приходится на долю пигментных камней, в одном из которых обнаружено серебро (7,68 мкг/г) и самое высокое содержание висмута (32,4 мкг/г). Обогащены микроэлементами и образцы, сложенные преимущественно карбонатами кальция. Эти образцы содержат большое количество Fe, Zn, Sr и Pb и максимально высокие концентрации Mn.

Карбонат кальция – это хорошо изученное соединение, известное человечеству с древних времен, однако, несмотря на это с изучением проблемы патогенного минералообразования в организме человека, где карбонат кальция, может играть ключевую роль. Такая особенность фазового состава CaCO_3 , сформированного в организме человека в естественных условиях, представляет интерес, поскольку ее изучение может помочь открыть истинные механизмы и причины зарождения желчных камней и разработать новые неинвазивные способы лечения и профилактики ЖКБ.

Заключение

Изучение элементного состава желчных камней как интегральных накопителей информации о внешнем воздействии в течение достаточно длительного времени (годы и десятилетия) позволит получить наиболее общие оценки о формировании микроэлементозных дисбалансах, обусловленных как природными, так и техногенными факторами внешнего влияния. Накопление аналитического материала и его обобщение с учетом местных условий и состояния окружающей среды способствует выполнению важной социальной задачи предупреждения и эффективного лечения соответствующих заболеваний.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023).

УДК 550.47

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ УРОВСКОЙ (КАШИНА–БЕКА) БОЛЕЗНИ НА ПРИМЕРЕ СЕЛЕНА И СТРОНЦИЯ

У.А. Гуляева, В.В. Ермаков, В.Ю. Березкин, В.Н. Данилова
*Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии
и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия
milia-nova@mail.ru*

INVESTIGATION OF GEOCHEMICAL FACTORS OF THE FORMATION OF THE UROV (KASHIN–BEK) DISEASE ON EXAMPLE OF SE AND SR

U.A. Gulyaeva, V.V. Ermakov, V.Y. Berezkin, V.N. Danilova
*Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, Moscow Russia
milia-nova@mail.ru*

Abstract. В данном исследовании приведено распределение селена и стронция в верхних горизонтах (0–20 см) различных типов почв сельскохозяйственного назначения в Забайкальском крае. Проверялись две конкурирующие биогеохимические гипотезы формирования Уровского эндемического заболевания: дисбаланс Ca/Sr и дефицит Se в почвах сельскохозяйственного назначения. Установлено, что для большинства почв сельскохозяйственного назначения исследуемого района содержание Se и Sr не превышает физиологической нормы. Максимальные значения, как Sr (700 мг/кг) так и Se (0,33 мг/кг), отмечены для аллювиальных почв. Наиболее низкие их значения отмечены в горно-степных почвах (Sr=300 мг/кг; Se=0,16 мг/кг). Исследования подтвердили, что уровская эндемия может быть связана с комплексным дисбалансом ряда микроэлементов в почвах.

Введение

Болезнь Кашина–Бека (уровская болезнь) – эндемическая болезнь геохимической природы с до сих пор не установленной причиной ее возникновения. С момента открытия этого заболевания на территории Забайкалья и до наших дней возникло около 20 гипотез, объясняющих этиологию и факторы этой болезни [11]. Наряду со ставшими классическими гипотезами (дисбаланс Ca/P, Ca/Sr, P/Mn, и др.), последнее время некоторые исследователи усматривают геохимическую роль дефицита Se и I в механизме формирования костно-суставных патологий [14].

Данная патология эндемична и встречается в Забайкалье, Читинской и Иркутской областях, Бурятии, Северо-Западных регионах Российской Федерации, включая Мурманскую, Ленинградскую, Архангельскую области, а также в Новгородской, Вологодской, Ярославской, Ивановской, Тверской и Московской областях, на Дальнем Востоке [12], на севере Китая (в 15 провинциях) и в Корее. На территории с высокой заболеваемостью в почвах отмечается избыток содержания фосфора, марганца и недостаток селена [8, 16].

Хотя в Забайкальском крае с 1986 года не отмечено новых случаев заболевания, проблема остается актуальной в связи с отсутствием выявленного механизма формирования данного заболевания. Поэтому, необходимо дальнейшее изучение химического состава компонентов окружающей среды в районе распространения болезни Кашина–Бека.

Целью работы являлось изучение содержания стронция и селена в почвах Забайкальского края как возможных потенциальных факторов, способствующих уровской эндемии.

Методы исследований

Для достижения поставленной цели, в период лета 2016 г были отобраны пробы биогеохимического материала на территории Восточного Забайкалья в междуречье рек Аргуни и Шилки, где наблюдались проявления уровской Кашина–Бека болезни. В работе изложены

результаты исследования микроэлементов в почвенном покрове Восточного Забайкалья. Образцы почв отбирались как на мезофитных пойменных лугах межгорных котловин, так и на остепененных участках южных склонов сопок (луговые и лугово-черноземные ландшафты) и на разнотравных лугах у их основания (пойменные ландшафты). Выбор участков определялся с учетом эпидемиологических данных ранее проводившихся исследований [9, 13]. Для оптимизации рабочего времени в маршруте отбиралась центральная точка «конверта» в пределах каждого исследуемого ландшафта. Отбор почвенных проб осуществлялся саперной лопатой в «прикопке» глубиной от 20 до 40 см, в зависимости от типа почвы (развитости гумусового профиля). Тип почв уточнялся непосредственно в полевых условиях, предварительно определяясь по почвенной карте Забайкалья [1, 10].

Измерение исследуемых элементов выполнены в ГЕОХИ РАН (Москва), к Sr применялся метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), а к Se – спектрофлуориметрический метод. Чувствительность метода составила 1 нг/г [5]. Пробоподготовка почв осуществлялась стандартными методами (без модификаций).

Статистическую обработку результатов проводили по классическим методикам в программе MS Excel. Всего было обследовано 17 индивидуальных точек отбора почв, характеризующих различные типы почв (дерново-луговая, горно-степная, лугово-аллювиальная, лугово-болотная, серая лесная, горный чернозем и агрозем)

Результаты исследования

Максимальное содержание Sr 700 мг/кг и Se 0,33 мг/кг отмечается в аллювиальных почвах. Среди почв автоморфных ландшафтов высокие значения селена и стронция характерны для дерново-луговых 500 и 0,21 мг/кг и лугово-болотных 400 и 0,36 мг/кг соответственно. Наиболее низкими значениями исследуемых элементов характеризуются горно-степные почвы на коренных породах со значениями Sr 300 мг/кг и Se 0,16 мг/кг. Таким образом, для большинства исследуемых почв сельскохозяйственного назначения, содержания исследуемых элементов не превышает нормы Se 0,4 мг/кг и Sr 600 мг/кг [4, 7].

Дефицит обоих исследуемых элементов свидетельствует о том, что причиной урвской болезни в Забайкалье может выступать их сочетанное воздействие. Однако, данное утверждение еще требует проверки, в ходе дальнейших исследований.

Так, ранее проведенные исследования (2010, 2012, 2014 гг) показали, что в пойменных почвах в пределах среднего течения р. Урв концентрации Sr могут достигать весьма высоких значений (1000–8000 мг/кг) [2, 3].

Почвы с повышенным содержанием Sr на эндемичных участках формируются на коренных породах с высокой концентрацией Sr и «нормальным» уровнем кальция (на гранитах и базальтах девонского возраста). Вскрытие полиметаллических месторождений на территории Восточного Забайкалья сопровождается в ряде случаев повышенным содержанием Sr в технозомах.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили возможную зависимость урвского заболевания от низкого содержания стронция, но не позволяют уверенно утверждать что механизм формирования данной геохимической эндемии сводится лишь к дисбалансу Ca/Sr. Вместе с тем, учитывая дефицит селена в тех же исследованных почвах, нельзя полностью исключать селеновую гипотезу как причину болезни Кашина–Бека. Возможно, как считают некоторые исследователи, механизм формирования данной эндемии связан с комплексным дисбалансом ряда микроэлементов в почвах [15] и природных водах [6].

*Работа выполнена при частичной поддержке ГЕОХИ РАН,
в рамках госзадания лаборатории биогеохимии окружающей среды, 2024 г.*

Литература

1. Атлас Забайкальского Края. – Чита, 2010. – 48 с.
2. Гуляева У.А. О подвижности стронция на территории биогеохимической провинции восточного Забайкалья // Современное состояние, проблемы и перспективы исследований в биологии, географии и экологии : матер. национальной научно-практич. конф. с международн. участием, посвященной 85-летию естественно-географического факультета РГУ им. С.А. Есенина и 90-летию со дня рождения профессора Л.В. Викторова. – Рязань : РГУ, 2019. – С. 93–96.
3. Гуляева У.А., Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Кальций и стронций в почвах, природных водах и растениях Восточного Забайкалья в сборнике: здоровая окружающая среда – основа безопасности регионов // Сборник трудов первого международного экологического форума в Рязани. – 2017. – С. 70–73.
4. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Гуляева У.А. Уровская эндемия-1999-редкие земли, макро- и микроэлементы в бгх пищевой цепи : свидетельство о регистрации базы данных RU 2019620416, 18.03.2019. Заявка № 2019620291 От 07.03.2019.
5. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. – М. : Наука, 1974. – 289 с.
6. Замана Л.В., Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р. и др. Новые Данные об элементном составе природных вод в районе распространения уровской (Кашина-Бека) болезни (Забайкальский край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 1. – С. 121–133.
7. Ковальский В.В. Геохимическая экология. Очерки. – М. : Наука, 1974. – 300 с.
8. Ли Джиюн, Рен Шаньсue, Чень Даньзой и др.. Распределение селена в природной среде в связи с болезнью Кашина-Бека на примере ряда районов Китая) // Труды биогеохимической лаборатории. – М. : Наука, 1999. – Т. 23: Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – С. 107–114.
9. Никрашевская А.Э., Баркова А.С. Эпидемиология и профилактика Уровской Болезни (Болезнь Кашина-Бека) // Молодежь и Наука. – 2022. – № 1.
10. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. – М. : Наука, 1964. – 314 с.
11. Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р., Барановская Н.В. и др. Комплексные геохимические исследования компонентов природной среды в эндемичных районах Забайкалья // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 2. – С. 7–25.
12. Хачумова К.Г., Лыткина К.А., Ильина Е.Ю. Болезнь Кашина–Бека: диагностика, дифференциальный диагноз // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2010. – № 6. – С. 15–19.
13. Эйльбарт Н.В. Исследование уровской (Кашина–Бека) болезни у детей в Забайкалье во второй половине XIX – начале XX вв. // Вопросы современной педиатрии. – 2006. – Т. 5, № 5. – С. 116–119.
14. Lin Liu, Pan Luo, Pengfei Wen et al. Effects of selenium and iodine on Kashin–Beck disease: An updated review // Front. Nutr. – 2024. – Vol. 11. – Art. No. 1402559. – doi: 10.3389/fnut.2024.1402559.
15. Sudre P., Mathieu F. Kashin–Beck Disease: From Etiology To Prevention Or From Prevention To Etiology? // International Orthopaedics. – 2001. – Vol. 25. – P. 175–179.
16. Voshchenko A.V., Ivanov V.N. Kashin–Beck disease in the USSR // Proceedings of the International Workshop on Kashin–Beck Disease and Non-Communicable Diseases. WHO. – Beijing : Chinese Academy of Preventive Medicine (CAPM), 1990. – P. 152–156.

УДК 597.593.4 – 135(262.81)

**МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЛОВОЗРЕЛЫХ ОСОБЕЙ КЕФАЛИ
LIZA AURATA (RISSEO, 1910)**

А.С. Гуринович, В.А. Чаплыгин, Т.С. Ершова, В.Ф. Зайцев

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия
gurinovich_as@mail.ru, i@vchap.ru, ershova_ts@mail.ru, viacheslav-zaitsev@yandex.ru

**MICROELEMENT COMPOSITION OF MATURE OF THE GOLDEN GREY
MULLET CHELON AURATUS (RISSEO, 1810)**

A.S. Gurnovich, V.A. Chaplygin, T.S. Ershova, V.F. Zaitsev

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia
gurinovich_as@mail.ru, i@vchap.ru, ershova_ts@mail.ru, viacheslav-zaitsev@yandex.ru

Abstract. Определено содержание цинка и меди в гонадах, жабрах и мышечной ткани кефали-сингиля *Liza aurata* (Risso, 1910). В ходе исследования обнаружено, что содержание микроэлементов между половозрелыми особями кефали различны. Показано, что концентрация цинка и меди в гонадах рыбы больше, чем в жабрах и мышечной ткани. Выявлена закономерность распределения цинка и меди в органах и тканях рыбы: гонады > жабры > мышцы.

Введение

Каспийское море отличается своим видовым разнообразием организмов, своеобразие которого составляют не только виды эндемики, но и виды интродуценты. Особое внимание заслуживает кефаль сингиль, которая в 30-е гг. прошлого столетия была интродуцирована из Черного моря [6]. В Каспийском море основным промысловым добытчиком кефали является морское прибрежное рыболовство.

Кефали относится к группе пелагофильных рыб. Половая зрелость кефалей наступает в 3–4-летнем возрасте, при этом самцы созревают раньше самок на год.

Материалы и методы

Пробы половозрелых сингилей (самцы – 3 года, самки – 4 года) собраны в весенний период 2020–2023 годов. Для исследования у особей взяты пробы гонад, мышечной ткани и жабр. Биологический анализ кефали осуществлялся по общепринятой методике А.Ф. Правдина [5]. Работа по определению химических элементов в объектах исследования выполнена на базе кафедры «Гидробиология и общая экология» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Определение меди, свинца и цинка проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с ГОСТ 30178-96 [1]. Статистическую обработку данных осуществляли, используя программный продукт – Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение

Цинк является жизненно важным элементом. Он входит в состав фермента карбоангидразы, участвует в фосфорном и липидном обменах, усиливает активность гонадотропных ферментов [3].

При анализе микроэлементного состава органов и ткани половозрелой кефали выявлено, что преобладающим органом накопления цинка у половозрелых особей являются гонады. Уровень накопления цинка в гонадах в 1,5 раза выше у самцов, чем у самок. Возможно, это связано с тем, что перед нерестом содержание цинка в половых продуктах увеличивается в 1,5–6 раз по сравнению с другими фазами жизненного цикла [2]. Обратная динамика наблюдается в жабрах, где содержание цинка у самок выше в 1,5 раза, а в мышцах в 2 раза соответственно (рис. 1).

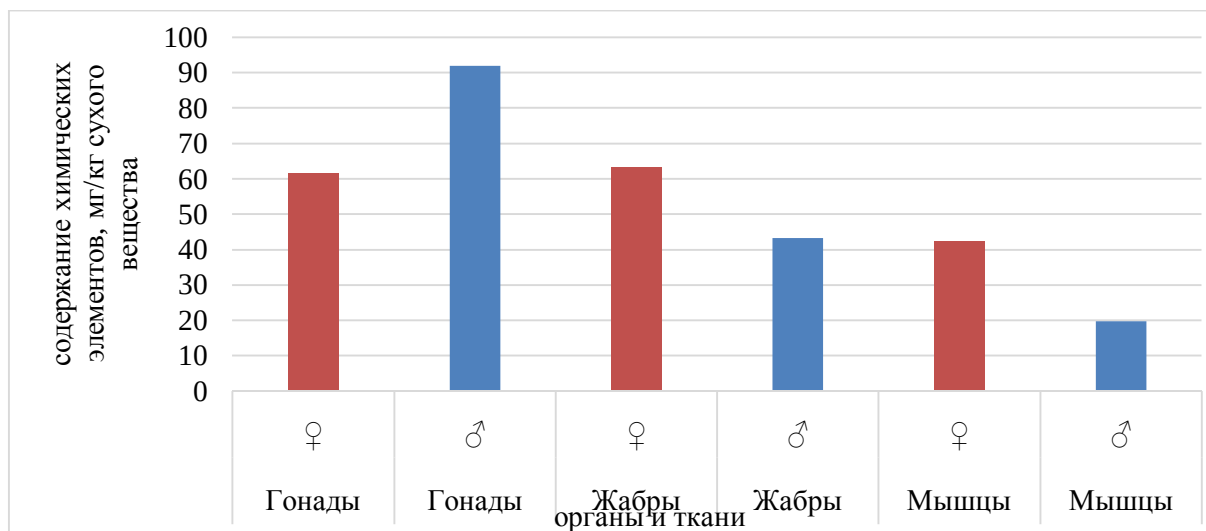


Рис. 1. Содержание цинка в органах и тканях *Liza Aurata* (Risso, 1910)

Медь является важным эссенциальным элементом, она участвует в синтезе гемоглобина. Большую роль медь занимает в процессах роста и развития рыб, она является незаменимым микроэлементом, оказывает на организм всестороннее влияние благодаря определенным связям с ферментами, гормонами и витаминами [7].

Показано, что содержание меди перед нерестом в половых продуктах сингиля увеличивается в 3–11 раз по сравнению с другими фазами его жизненного цикла. Так, концентрация меди в гонадах самцов составляет 10,12 мг/кг сухого вещества, что в 1,4 раза выше, чем у самок (7,32 мг/кг сухого вещества). Накопление меди аналогично с аккумуляцией в цинка в органах и тканях кефали. Содержание меди в жабрах самки выше в 2,3 раза (9,78 мг/кг сухого вещества), чем у самцов (4,17 мг/кг сухого вещества). Концентрация меди в мышцах у самок (4,68 мг/кг сухого вещества) и самцов (4,45 мг/кг сухого вещества), при этом различия в значениях показателя статистически не значимы ($p > 0,05$).

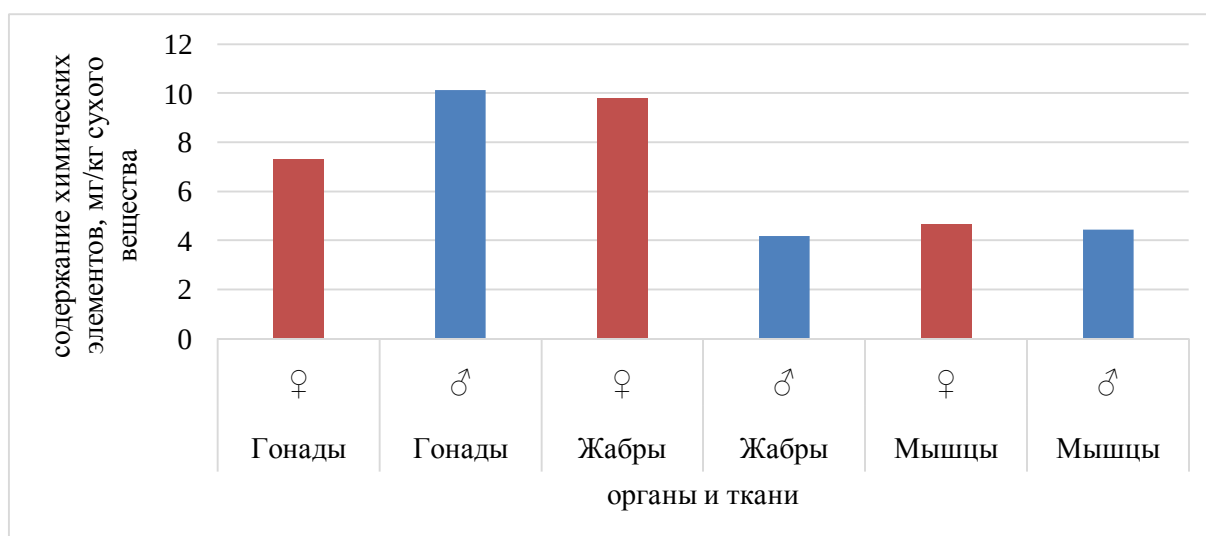


Рис. 2. Содержание меди в органах и тканях *Liza Aurata* (Risso, 1910)

По содержанию цинка и меди исследованные органы и ткани половозрелых особей кефали

выстраиваются в следующий убывающий ряд: гонады > жабры > мышцы. Преобладающим органом рыб, в котором обнаружено наибольшие концентрации изученных химических элементов являются гонады, далее следовали жабры. Накопление цинка и меди в мышцах на порядок меньше, чем в гонадах и жабрах.

В ходе проведенного исследования выявлены особенности аккумуляции Zn и Cu органами и тканями половозрелых самцов и самок *Liza aurata*. В исследовании обнаружено, что содержание микроэлементов между половозрелыми самками и самцами кефали различны. Показано, что концентрации цинка и меди в гонадах рыбы больше, чем в жабрах и мышечной ткани. Преобладание меди и цинка в гонадах рыб связано с определенной фазой жизненного цикла, приводящего к накоплению эссенциальных элементов в преднерестовый период.

Литература

1. ГОСТ 30178-96 Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – М. : Стандартформ. –2010. – 8 с.
2. Sciera K.L., Isley J., Tomasso J.R. et al. Influence of multiple water-quality characteristics on copper toxicity to fathead minnows (*Pimephales promelas*) // *Environment Toxicology and Chemistry*. – 2004. – Vol. 23(12). – P. 2900–2905.
3. Литвиненко А.В., Салимзянова К.Р., Христофорова Н.К. и др. Половые различия в содержании микроэлементов в органах и тканях нерки из восточных заливов полуострова Камчатка // *Вестник Камчатского государственного технического университета*. – 2023. – № 65. – С. 111–122.
4. Метелев В.В., Канаев А.И., Дзасохова Н.Г. Водная токсикология. – М. : Колос, 1971. – 246 с.
5. Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеяные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. – М. : Наука, 2006. – 261 с.
6. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.
7. Ходоревская Р.П., Калмыков В.А., Ткач В.Н. Значение комплексных исследований для практических рекомендаций по водным биологическим ресурсам Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна // *Труды ВНИРО*. – 2015. – Т. 156. – С. 158–175.

УДК 504.73/.74.054

САРКОИДОЗ КАК МИКРОЭЛЕМЕНТОЗ ЧЕЛОВЕКА

О.А. Денисова¹, Н.В. Барановская², Г.Э. Черногорук¹, Т.П. Калачева¹,
А.Ю. Шипхинева¹, Е.Б. Топольницкий¹

¹Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
oadeni@yandex.ru

SARCOIDOSIS AS A HUMAN MICROELEMENTOSIS

O. Denisova¹, N. Baranovskaya², G. Chernogoruk¹, T. Kalacheva¹,
A. Shipkhineeva¹, E. Topolnitsky¹

¹Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
oadeni@yandex.ru

Аннотация. Результаты анализа микроэлементного состава тканей при саркоидозе позволяют рассматривать данное заболевание как микроэлементоз, характеризующийся накоплением широкого ряда химических элементов в медиастинальных лимфоузлах и легочной ткани, развивающееся на фоне дефицита эссенциальных микроэлементов (железа, кобальта, цинка) в крови. Спектр микроэлементов свидетельствует о наличии региональных особенностей.

Саркоидоз заболевание неизвестной этиологии, характеризующееся образованием гранул, состоящих из иммунных клеток, чаще всего поражающее легкие, лимфатические узлы средостения и периферические, а также кожные покровы [1]. Согласно данной литературы, саркоидоз возникает в генетически чувствительном организме при воздействии факторов, обладающих антигенными свойствами [2]. Доказано, что микроэлементы (МЭ) могут влиять на иммунную систему посредством разных механизмов: формирования в тканях окислительного стресса, изменения передачи сигналов рецепторов и трансмембранных белковых взаимодействий, часть МЭ способно вызвать гранулематозное воспаление [3, 4]. В связи с этим, перспективно рассмотреть саркоидоз с позиции учения о микроэлементозах, патологических состояний, вызванных дефицитом, избытком или дисбалансом микроэлементов в организме [5].

Цель настоящего исследования определить концентрации широкого ряда макро- и микроэлементов в медиастинальных лимфатических узлах, легких, крови пациентов с саркоидозом в сравнении с контролем, проанализировать возможные источники и пути поступления, установить ассоциации с клиническими проявлениями.

Материалы и методы исследования

У пациентов с саркоидозом образцы легких (n=76) и медиастинальных лимфатических узлов (n=42) были получены во время видеоторакоскопической биопсии (ВТБ), которая проводилась для установления диагноза в Томской областной клинической больнице. Также исследовались взяты образцы крови пациентов (n=125). Для контрольной группы образцы легких и МЛУ представляли собой трупный материал, взятый от людей, умерших от случайных причин; образцы крови были взяты у людей без саркоидоза n=30; 30; 28 соответственно. Средний возраст пациентов составил 42,6±12,5 лет, соотношение мужчин к женщинам колебалось от 39,2 до 71% в разных подгруппах.

Определение химических элементов (Sm, Ce, Ca, Lu, U, Th, Cr, Yb, Au, Hf, Ba, Sr, Nd, As, Br, Cs, Ag, Tb, Sc, Rb, Fe, Zn, Ta, Co, Na, Eu, La, Sb) выполнено инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т в Томском политехническом университете. В качестве стандартных образцов сравнения использовались

мышца байкальского окуня (ВОК 2, Россия) и Elodea of Canada (ЕС, Канада). Погрешность концентраций устанавливалась в пределах $\pm 5\%$

Для статистической обработки результатов использовались методы непараметрической статистики: U-критерий Манна–Уитни, метод Спирмена. Различие считалось достоверным при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Анализ содержания элементов в легких и лимфоузлах показал, что их значения находились в пределах одного порядка, элементный состав крови значительно отличается более низкой концентрацией всех изученных МЭ. Легкие и лимфатические узлы при саркоидозе отличаются накоплением целого ряда МЭ. Кровь при саркоидозе характеризуется дефицитом эссенциальных микроэлементов, таких, как железо, кобальт, цинк, рубидий, также имеется избыток гафния, лантана и скандия (табл. 1).

Таблица 1. Схема измененных концентраций химических элементов в разных средах (крови, легких и медиастинальных лимфоузлах) больных саркоидозом по сравнению с контролем

среда	повышение концентрации	снижение концентрации
кровь	Sc, Hf , La	Fe, Co, Zn, Rb
лимфоузлы	Ca, Cr, Fe, Co, Cs, Ba, Eu, Tb, Lu, Hf , Th, U, Rb, Sb, Yb	Zn
легкие	Ca, Cr, Fe, Co, Cs, Ba, Eu, Tb, Lu, Hf , Th, U, Sc, La, Sm	Na

Логичнее всего предположить, что поступление данных МЭ в ткань легких, происходит, из окружающей среды аэрогенным путем. Накопление микроэлементов в лимфатической ткани, которая не связана непосредственно с воздухоносными путями, может быть результатом их транспортировки из дыхательных путей иммунокомпетентными клетками, такими, как макрофаги [6]. Спектр накопления элементов и корреляции в легких и лимфоузлах при саркоидозе отражает геохимические особенности региона исследования, что выражается в определенном спектре накопления МЭ, данные согласуются с ранее полученными по другим биосубстратам в Томской области, Томске [7, 8]. Например, геохимический спектр волос отличается накоплением самария, железа, скандия, хрома, лантана, кобальта [8]. Для крови жителей характерно высокое содержание кальция, скандия, хрома, цинка, мышьяка, рубидия, железа, стронция, цезия, урана. Проведенные нами исследования выявили повышенное содержание хрома, железа, рубидия, сурьмы, лутетия, гафния, урана в ткани патологически измененной щитовидной железы [9].

Накопление редких, редкоземельных элементов, урана, тория может быть связано с работой предприятий ядерно-топливного цикла, ТЭЦ, влиянием такого природного фактора, как циркон-ильменитовых месторождений. Повышение концентрации кобальта и железа могут быть связано с влиянием железорудного месторождения в регионе исследования. Присутствие сурьмы может быть обусловлено как промышленными объектами, так и естественными причинами: сурьмяными и золоторудными проявлениями [7]. Ранее нами было показано, что заболеваемость рецидивирующими формами саркоидоза коррелировало с содержанием хрома и лутетия в почвах [10]. По нашему мнению, спектр накопленных МЭ отражает в большей степени техногенный компонент окружающей среды [7, 10].

Выявленные дефициты эссенциальных МЭ в крови больных саркоидозом может быть фоном для развития данной патологии. Недостаток цинка в лимфатических узлах вплоть до полного отсутствия может иметь патологическое значение, и влиять на миграцию макрофагов в ткань с недостаточным содержанием цинка [11]. Нами обнаружена отрицательная связь дан-

ного элемента в лимфатических узлах с числом лимфоцитов в гранулемах ($r=-0,67$, $p<0,05$). В организме нет специальной системы хранения цинка, поэтому цинк должен поступать из окружающей среды [12]. В регионе исследования отсутствует дефицит цинка в биосубстратах [7–9], возможно, существует механизм, способствующий формированию дефицита данного элемента в крови и лимфатической системе при данной патологии. Коррекция уровня цинка и других микронутриентов у больных саркоидозом может быть новым терапевтическим подходом для лечения саркоидоза.

Дефицит железа в крови, может быть следствием перераспределения данного элемента с формированием его избытка в органах-мишенях саркоидоза. В совокупности с избытком кальция в легких и лимфатических узлах, повышение витамина Д при саркоидозе, скорее всего, являются неспецифическими механизмами связывания неэссенциальных элементов в организме [12].

Отсутствие взаимных ассоциаций микроэлементов между образцами легких и лимфатических узлах, где происходит основной патологический процесс, и крови не позволяет на основании микроэлементного состава крови при саркоидозе судить о подобном составе легких и лимфоидной ткани. Результаты исследования говорит в пользу того, что гранулематозное воспаление выполняет ограничительную функцию в организме и препятствует распространению химических элементов, попавших из окружающей среды в организм. Вместе с тем, невозможность элиминации агента, индивидуальные особенности реагирования иммунной системы могут привести к персистированию воспаления и хронизации заболевания.

Выводы

Саркоидоз можно рассматривать как микроэлементоз, характеризующийся накоплением широкого ряда химических элементов в медиастинальных лимфоузлах и легочной ткани, сходного по спектру и концентрациям. Данное заболевание развивается на фоне дефицита эссенциальных микроэлементов (железа, кобальта, цинка) в крови. Особенности распределения элементов в организме при данном заболевании, ассоциативные связи, имеют региональные особенности. Микроэлементный спектр крови нельзя использовать для оценки микроэлементного состава легких и лимфатической системы при саркоидозе.

Литература

1. Саркоидоз : Клинические рекомендации [Электронный ресурс] // Министерство здравоохранения Российской Федерации. Российское респираторное общество. – 2022. – URL: https://spulmo.ru/upload/kr/Sarkoidoz_2022.pdf.
2. Baughman R.P., Culver D.A., Judson M.A. (2011) A Concise Review of Pulmonary Sarcoidosis // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2011. – Vol. 183(5). – P. 573–581.
3. Барламов, П.Н., Щекотов В.В., Боронникова Е.В. и др. Случай позднего развития бериллиоза, протекающего под маской саркоидоза легких // *Пермский медицинский журнал.* – 2015. – Т. 32, № 1. – С. 125–130.
4. Balmes J.R., Abraham J.L., Dweik R.A. et al. An official American Thoracic Society statement: diagnosis and management of beryllium sensitivity and chronic beryllium disease // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2014. – Vol. 10. – P. 34–59.
5. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. Микроэлементозы человека (этиология, классификация, органопатология). – М. : Медицина, 1991 – 496 с.
6. Саркоидоз / ред. А.А. Визель. – М. : Атмосфера, 2010.
7. Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Игнатова Т.Н. и др. Очерки геохимии человека : монография. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 378 с.
8. Барановская Н.В., Швецова Д.В., Судыко А.Ф. Региональная специфика элементного состава волос детей, проживающих на территории Томской области // *Известия Томского политехнического университета.* – 2011. – Т. 319, № 1. – С. 212–220.
9. Денисова О.А., Барановская Н.В., Рихванов Л.П. и др. Микроэлементы и патология щитовид-

- ной железы в Томской области. – Томск : STT, 2011. – 190 с.
10. Денисова О.А., Черногорюк Г.Э., Барановская Н.В. и др. Роль геоэкологических факторов в формировании заболеваемости саркоидозом в Томске и Томской области // Здоровоохранение Российской Федерации. – 2016. – Т. 60, № 3. – С. 147–151.
 11. Gammoh N.Z., Rink L. Zinc in Infection and Inflammation // Nutrients. – 2017. – Vol. 6. – P. 624.
 12. Денисова О.А., Черногорюк Г.Э., Барановская Н.В. и др. Характеристика макро- и микроэлементного состава медиастинальных лимфатических узлов, пораженных саркоидозом // Пульмонология. – 2017. – Т. 27, № 6. – С. 754–759.

УДК 574.2:550.47

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПЛАЦЕНТЫ ЖИТЕЛЬНИЦ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА КАК ИНДИКАТОР ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИИ

А.Т. Ержанова¹, Н.В. Барановская², А.А. Какабаев¹, А.Ф. Судыко²

¹Кокшетауский университет им.Ш.Уалиханова, Кокшетау, Казахстан

ardashka_67@mail.ru

²Томский политехнический университет, Томск, Россия

nata@tpu.ru

ELEMENTAL COMPOSITION OF THE PLACENTA OF WOMEN OF NORTHERN KAZAKHSTAN AS AN INDICATOR OF THE GEOECOLOGICAL SITUATION OF THE TERRITORY

A.T. Erzhanova¹, N.V. Baranovskaya², A.A. Kakabaev¹, A.F. Sudyko²

¹Kokshetau University named after Sh.Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan

ardashka_67@mail.ru

²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

nata@tpu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования элементного состава плаценты жительниц Акмолинской области Северного Казахстана. Было определено содержание 28 химических элементов в 67 пробах биоплатов плаценты с помощью метода инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) и выявлены характерные микроминеральные фазы в составе отдельных проб. Установлены региональные особенности накопления химических элементов в барьерном органе. Выявлено, что для плаценты жительниц населенных пунктов Акмолинской области характерны повышенные уровни Sm, Th, As, Br, U, Tb, вероятно обусловленные влиянием природно – техногенной спецификой территории. Основной состав наночастиц представлен солевой составляющей, включающей ионы натрия, калия и хлора, встречаются фосфор и иод – содержащие частицы. Полученные данные подтверждают высокую значимость плаценты, как барьера, препятствующего проникновению токсичных веществ и важность геоэкологической оценки состояния окружающей среды с ее использованием для возможности принятия мер профилактики здоровья матери и ребенка.

Введение

Плацента (лат. *placenta* – «лепешка», детское место) – это уникальный провизорный орган, выполняющий функцию основных органов плода в течение всего срока беременности. Плацента формирует гематоплацентарный барьер, благодаря которому кровоток матери и плода не сообщаются между собой. Многие химические элементы от матери активно проникают в организм плода, тогда как от плода к матери практически не проходят. В то же время токсичные вещества от малыша могут активно проникать к матери, а от нее назад – не пропускается. Изучение возможностей плацентарного барьера в условиях современного развитого техногенеза является весьма актуальной задачей. Полученная информация является важной для разработки мер профилактики патологий матери и ребенка.

Северный Казахстан представляет собой территорию с развитой промышленностью и уникальной природной составляющей. Для территории Северного Казахстана характерным является наличие месторождений полиметаллического и неметаллического сырья, которые активно разрабатываются, формируют специфические биогеохимические провинции (Байкенова. 2021). Северный Казахстан является крупнейшей урановорудной провинцией мира (Уран Казахстана, 2008). В настоящее время на севере Казахстана осуществляется добыча урана на месторождениях Семизбай и Восток, которые расположены на территориях Акмолинской и Северо-Казахстанской области. эколого – геохимическая специфика региона и сформиро-

ванная экологическая ситуация вокруг разрабатываемых объектов создают особенности миграции и концентрирования химических элементов по трофическим цепям и формированию уникальной биогеохимической провинции. Особенности данной провинции требуют пристального изучения.

Материалы и методы

Материалами исследований служил биопат из плаценты жительниц Акмолинской области Северного Казахстана – 67 проб: г.Кокшетау, Степногорск, Шучинск, Зеренда, Коргалжын, пос. Макинск. Использование материалов исследования было одобрено Комитетом по биоэтике КВМК г. Кокшетау. В работе использованы два основных метода анализа – инструментальный нейтронно – активационный (ИНАА) и метод электронной микроскопии. Плацента предварительно озолялась при температуре 600 °С.

Методом ИНАА было определено содержание 28 химических элементов. Анализ проведен на базе исследовательского ядерного реактора Томского политехнического университета (г. Томск, Россия, свидетельство об аккредитации № RA.RU.21AB27 (08.04.2015); аналитики – А.Ф. Судыко, Л.Ф. Богутская). Образцы изучались на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi S-3400N с энерго-дисперсионным спектрометром Bruker X@Flash 5010. Оборудование располагается в МИНОЦ «Урановая геология» при отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ (аналитик – к.г.-м.н. С.С. Ильенок).

Результаты и их обсуждение

Для выявления региональной геохимической специфики природной среды активно используют показатели коэффициентов концентрации, получаемые относительно условного фона или установленного среднего для выборки. Данные, полученные нами при нормировании на медиану для плаценты жительниц Акмолинской области, позволили установить региональную биогеохимическую особенность биологических тканей населения семи населенных пунктов (табл. 1). Сумма полученных коэффициентов приведена отдельно (Zc).

Очевидно, что даже близлежащие населенные пункты значительно отличаются по концентрированию элементов в составе плаценты. Однако, следует отметить общую самариевую специфику ткани.

Таблица 1. Биогеохимическая специфика плаценты жительниц населенных пунктов Акмолинской области (коэффициенты рассчитаны относительно медианы по выборке)

Населенный пункт	Геохимический ряд	Zc
Кокшетау	Sm ₂₅₄₁ Th ₅₃ Nd ₅₀ As ₃₈ Ta ₁₇ Yb ₁₆ Br ₁₃ U ₅ =Ba = Sc La _{4,5} Hf _{3,4} Lu _{3,3} Ce ₃ =Ca Ag _{2,3} Sb _{2,1} = Cr Tb ₂ =Au Co _{1,6} = Zn Eu _{1,3} Fe _{1,2}	2753
Степногорск	Sm ₈₀ Yb ₃₃ Hf ₁₂ As _{7,3} Ta _{5,4} Ca _{5,2} Ba ₅ Ce ₄ U _{2,7} Th _{2,2} Tb _{2,1} Br _{1,8} Eu _{1,3}	150
Шучинск	Sm ₂₃₈ As ₁₂ Yb ₉ =Nd Hf _{5,1} Th ₅ Br _{2,5} U _{2,4} Lu _{2,1} Tb _{1,6} =Eu Na _{1,5} Cs _{1,3} =Ag Rb _{1,2}	280
Макинск	Sm ₁₇₀ Nd ₁₅₀ Sr ₃₄ Hf ₁₁ Br ₈ Ce ₇ Yb _{6,4} Th ₆ Tb _{4,4} Ca _{3,9} Ta _{3,8} Lu _{3,4} U _{3,3} Ba _{2,3} = As Au _{2,2} Sb _{1,6} Ag _{1,4} La _{1,3} Sc _{1,2} Zn _{1,1} =Fe	405
Коргалжын	Sm ₁₇₀ Sr ₄₈ Th ₄₄ Hf ₂₄ Ba ₁₉ As _{10,2} Ta ₁₀ La _{9,4} Yb _{9,3} Br _{8,4} Nd ₈ Lu _{7,8} Ca ₇ Sc ₆ Cr _{5,5} Ce _{2,9} U _{2,8} Eu _{2,6} Au _{2,3} Sb _{2,1} =Ag Tb _{1,9} =Zn Co _{1,5} Cs _{1,4} Rb _{1,3}	382
Красный Яр	Sm ₁₀₂ Nd ₆₀ Yb ₂₂ Ta ₁₈ As ₁₃ Br ₈ Th ₆ Tb ₅ U _{3,2} Ca _{2,5} Lu _{2,3} Ag _{1,9} =Hf Rb _{1,5} Eu _{1,4} =Fe=Cr Sb _{1,3} =Co=Cs=Na Ce _{1,1} =Ba	237
Зеренда	Sm ₅₂₃ Nd ₃₀ Sr ₁₂ Ta ₁₁ Th ₇ Tb _{5,5} Br _{4,4} As ₄ Ba ₂ U _{1,9} =Cr Lu _{1,7} Cs _{1,5} =Au La _{1,4} =Rb=Na Co _{1,3} =Ag=Zn Ce _{1,2} =Sc=Ca Fe _{1,1}	597

Общими для всех населенных пунктов являются элементы : Sm, Th, As, Br, U, Tb. Остальные элементы в рядах определяют специфику плаценты каждого населенного пункта. Так, для города Кокшетау она состоит в концентрировании максимального количества самария и специфического накопления других редкоземельных элементов с преобладанием концентрирования средней и тяжелой подгрупп. Именно для этой территории характерна максимальная нагрузка на плаценту, как барьера, препятствующего проникновению элементов в организм ребенка.

По результатам изучения встречаемости микроминеральных фаз химических элементов в составе наночастиц в плаценте рожениц Акмолинской области, можно сделать следующие выводы. Основной состав частиц представлен солевой составляющей, включающей ионы натрия, калия и хлора. Калий преобладает в составе частиц. Встречаются фосфор – содержащие частицы с примесью натрия и кальция. Уникальным случаем явилось нахождение иод – содержащей частицы. По всей видимости, основным фактором формирования наноминеральных фаз являются факторы среды обитания.

Заключение

В целом, проведенные исследования позволили установить как общие, так и регионально специфичные особенности элементного и состава плаценты и микроминеральных фаз некоторых элементов, что подтверждает возможность ее использования в качестве индикатора геоэкологической обстановки территории.

Литература

1. Байкенова Г.Е. и др. Индикаторные показатели состояния экосистем в элементном составе волос жителей районов Северного Казахстана // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 7. – С. 148–158.
2. Уран Казахстана : сборник статей / гл. ред. Б.Р.Берикболов ; ред. А.Ф.Вершков ; отв. ред. В.Г. Карелин, А. А. Малахов. – Алматы : Волковгеология, 2008 – 284 с.

УДК 504.05+574.47+592+631.4

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ
В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
СРЕДНЕГО ПРИКАМЬЯ**

В. Е. Ефимик, Н.В. Митракова, Е.Г.Ефимик, Г.Ш. Фарзалиева

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
efimik.viktor@mail.ru, mitrakovanatalya@mail.ru, efimik.elena@mail.ru, fgsh@psu.ru*

**PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE STATE OF NATURAL ECOSYSTEMS
IN THE ZONE OF INFLUENCE OF SALT-PRODUCING ENTERPRISES
OF THE MIDDLE KAMA REGION**

V.E. Efimik, N.V. Mitrakova, E.G. Efimik, G.Sh. Farzalieva

*Perm State University, Perm, Russia
efimik.viktor@mail.ru, mitrakovanatalya@mail.ru, efimik.elena@mail.ru, fgsh@psu.ru*

Abstract. В зоне воздействия соледобывающих предприятий Пермского края была проведена оценка флористического состава, таксономического разнообразия и структуры фауны и населения беспозвоночных подстилки и верхнего почвенного слоя (0–15 см), а также почвенный анализ на ключевых участках в пределах двух типов болот, трех типов лугов и пяти типов лесов. В условиях промывного водного режима бореальной зоны, антропогенное засоление, оказывающее влияние на растительность и население беспозвоночных, наблюдается только в условиях заболачивания в долинах малых рек. При этом засоление меняет как флористический состав и облик фитоценозов, так и существенно снижает фаунистическое разнообразие и численность почвенно-подстилочных беспозвоночных.

Введение

Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей, расположенное на территории Пермского края, является одним из крупнейших месторождений калийных солей в мире. Главной экологической проблемой добычи является техногенное засоление почв [4] и водных объектов [2].

Материал и методы

Нами проведена первичная оценка состояния природных экосистем в зоне воздействия соледобывающих предприятий Среднего Прикамья на пяти лицензионных участках. Обследованы десять биотопов: два типа болот, три типа лугов, пять типов лесов (табл. 1). Из них два луговых сообщества подвержены техногенному засолению, вызванному стоком засоленных вод, формирующихся в результате деятельности калийных предприятий [5]. Материал был собран в июне – июле 2024 г. Оценивались флористический состав, таксономическое разнообразие и структура фауны и населения беспозвоночных подстилки и верхнего почвенного слоя (0–15 см), составлены описания почв, а также проведен морфологический и физико-химический анализ почвенных проб.

Результаты и их обсуждение

Обследованные болота относятся к типу верховых. Видовое разнообразие сосудистых растений на них невысокое. Население беспозвоночных также не выделяется высокими показателями (табл. 1). При этом мощная моховая подстилка верхового осоково-пушицево-сфагнового болота (в среднем 10,8 см) по сравнению с осушаемым болотом (в среднем 0,9 см) обеспечила более богатое видовое многообразие (главным образом за счет пауков – 10 видов и жуков-стафилинид – 8 видов) и высокую численность беспозвоночных (табл. 1). Только биомасса беспозвоночных (в основном за счет дождевых червей и многоножек-

костянок) осушаемого болота оказалась выше, чем на верховом. Почвы изученных болот относятся к типу торфяных болотных верховых почв, характеризующихся сильнокислой реакцией среды и высоким содержанием органического вещества. При этом засоление почв не отмечается. (табл. 1).

Из пяти изученных лесных биоценозов наибольшим видовым разнообразием растений и животных выделяется елово-березовый заболоченный лес. При этом количественные показатели животного населения зафиксированы на уровне средних значений, что может свидетельствовать об общей сбалансированности данной биоты.

Вырубка с малиной и иван-чаем на месте елово-соснового леса тоже отличается заметным таксономическим богатством сосудистых растений в основном за счет луговых и сорных видов при сохранении части лесных видов растений. Что касается беспозвоночных, то их видовое разнообразие низкое, численность и биомасса животных также не высокие (табл. 1). Такие разные показатели по растительности и беспозвоночным, вероятно, демонстрируют неустойчивость биоценоза в его переходной стадии развития.

Таблица 1. Некоторые количественные показатели изученных биотопов

Биотоп	Толщина лесной подстилки или луговой дернины (средняя, в см)	РН (водн.) верхнего слоя почвы	Содержание ионов Cl ⁻ в почве (ммоль/100г)	Количество видов беспозвоночных	Плотность беспозвоночных (подстилки/почв. слоя) (экз/м ²)	Биомасса беспозвоночных (подстилки/почв. слоя) (мг/м ²)
Верховое осоково-пушицево-сфагновое болото	10,3	3,8	0,73	29	$\frac{193,6}{14,4}$	$\frac{213,5}{24,7}$
Верховое осоково-сфагновое осушаемое болото	0,9	4,8	0,15	21	$\frac{131,2}{24,0}$	$\frac{474,3}{157,8}$
Суходольный разнотравный луг	4,5	4,9	0,10	25	$\frac{252,8}{32,0}$	$\frac{370,9}{1993,8}$
Луг пойменный 1 (засоленный)	2,3	6,9	5,51	18	$\frac{48,0}{24,0}$	$\frac{150,9}{40,0}$
Луг пойменный 2 (засоленный)	5,1	3,6	17,9	12	$\frac{44,8}{0,0}$	$\frac{71,4}{0,0}$
Вырубка на месте елово-соснового леса	3,9	4,8	0,17	14	$\frac{99,2}{17,6}$	$\frac{682,0}{143,1}$
Ельник черничный	3,3	4,3	0,29	26	$\frac{131,2}{33,6}$	$\frac{610,2}{1441,2}$
Елово-березовый заболоченный лес	2,6	6,1	0,22	43	$\frac{121,2}{20,8}$	$\frac{264,6}{964,7}$
Березово-пихтово-еловый лес	3,0	4,2	0,24	31	$\frac{171,2}{46,4}$	$\frac{907,1}{716,9}$
Липово-елово-березовый лес	2,7	5,1	0,20	22	$\frac{155,2}{28,8}$	$\frac{796,6}{576,5}$

Остальные типы лесов (березово-пихтово-еловый, липово-елово-березовый леса и ельник черничный) имеют средние качественные и количественные показатели биоты (табл. 1). Почвы обследованных лесов относятся к типу серогумусовых, при этом в липово-елово-березовом лесу почвы имеют глинистый состав, в остальных лесах – супесчаный. Почвы кислые, содержание органического вещества 3–5%, засоление отсутствует.

Суходольный луг характеризуется высоким флористическим разнообразием, что в целом характерно для травянистых луговых сообществ Прикамья. Фауна беспозвоночных представлена 25 видами, 18 из которых относятся к насекомым из 12 семейств. Численность и биомасса беспозвоночных имеют здесь наивысшие показатели (284,8 и 2364,7 мг/м²).

Пойменные луга малых рек, подверженные воздействию высокоминерализованных сточных вод калийного предприятия, резко выделяются среди изученных биотопов. Анализ почвы показал засоление, обусловленное высоким содержанием хлорид-ионов что характерно для почв долин малых рек Верхнекамского месторождения калийных солей [3]. Так, почва пойменного луга диагностирована как аллювиальная перегнойно-глеевая глинистая солончаковатая (содержание ионов Cl⁻ – 5,51 ммоль/100 г, сумма токсичных солей 0,3%), почва заболоченного берега ручья – аллювиальная перегнойно-глеевая глинистая солончаковая (содержание ионов Cl⁻ – 17,9 ммоль/100 г, сумма токсичных солей 0,9%). Что касается растительных группировок, здесь наблюдается частичное выпадение аборигенных видов и зарастание устойчивыми к засолению местными прибрежно-водными и влаголюбивыми видами растений, в том числе факультативно-галофитными. Наиболее засоленные участки могут быть полностью лишены какой-либо растительности. Также отличается бедностью и низкими показателями таксономического разнообразия, плотность и биомасса населения беспозвоночных (табл. 1).

Заключение

В целом, обследованные биотопы типичны для таежной зоны Урала и имеют характерный для этой зоны флористический состав и фауну беспозвоночных подстилки [1, 3]. Почвы также типичны для изученных биотопов [3]. Уровень кислотности, содержание органического вещества соответствуют исследованным типам почв. В долинных же условиях при антропогенном засолении наблюдается обеднение как флористического состава и фаунистического разнообразия, так и численности беспозвоночных подстилки и верхнего слоя почвы.

Литература

1. Фарзалиева Г.Ш., Есюнин С.Л. Структура и сезонная динамика населения многоножек (Chilopoda, Diplopoda) в южной тайге пермского Предуралья // Зоологический журнал. – 2014. – Т. 93, № 1. – С. 65–80.
2. Baklanov M.A., Pozdeev I.V., Kotelnikova V.S. et al. Assessment of anthropogenic salinisation impact on the benthic invertebrates and fish in a small river – a tributary of the Kama reservoir // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol.321. – Art. No. 012060. – doi: 10.1088/1755-1315/321/1/012060.
3. Efimik V.E., Mitrakova N.V., Efimik E.G. et al.. The influence of the chemical composition of soil and vegetation on the soil mesofauna in the potash mining impact zone in the Middle Prikamye region // Contemporary Problems of Ecology. – 2024. – Vol. 17(2). – P. 290–302. – doi: 10.1134/S1995425524020033.
4. Khayrulina E., Novoselova L., Mitrakova N. et al. Properties of alluvial soils of taiga forest under anthropogenic salinisation // Forests. – 2021. – Vol. 12(3). – doi: 10.3390/f12030321.
5. Ushakova E., Perevoshchikova A., Menshikova E. et al. Environmental aspects of potash mining: a case study of the Verkhnekamskoe potash deposit // Mining. – 2023. – Vol. 3(2). – P. 176–204. – doi: 10.3390/mining3020011.

УДК 543.97:569

ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ ЭЛЕМЕНТНОГО И МИКРОМИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ЗОЛЬНОГО ОСТАТКА ОРГАНИЗМА МЛЕКОПИТАЮЩЕГО

Д.А. Иванова, Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия

dai18@tpu.ru, nata@tpu.ru

THE INDICATOR ROLE OF THE ELEMENTAL AND MICROMINERAL COMPOSITION OF THE ASH RESIDUE OF THE MAMMALIAN ORGANISM

D.A. Ivanova, N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, dai18@tpu.ru, nata@tpu.ru

Abstract. В работе рассматривается возможность использования зольного остатка организмов млекопитающих как возможных индикаторов эколого-геохимических остановок урбанизированных территорий Сибири и Дальнего Востока. Впервые приводятся обширные статистические данные по содержанию химических элементов в зольном остатке жителей г. Владивосток и млекопитающих г. Томск (Томский район) совместно с результатами электронной микроскопии, установившей нахождение специфичных микроминеральных фаз рассматриваемых территорий.

Введение

Современные исследования демонстрируют, что элементный состав биологических тканей отражает не только эндогенные биохимические процессы, но и экзогенные воздействия, включая геохимические особенности региона, характер питания и антропогенную нагрузку. В связи с этим анализ зольного остатка может служить эффективным инструментом мониторинга здоровья популяций, диагностики микроэлементозов и оценки экологического благополучия территорий [1, 3, 4].

Особое значение имеет изучение микроминеральных компонентов, поскольку их концентрации, даже в следовых количествах, оказывают существенное влияние на ферментативные системы, гормональную регуляцию и иммунный статус организма [29]. В последние годы активно развиваются методы спектрального и масс-спектрометрического анализа, позволяющие с высокой точностью определять широкий спектр элементов в биологических образцах [1, 3].

Несмотря на значительное количество работ, посвященных элементному составу тканей млекопитающих, индикаторная роль зольного остатка в контексте комплексного влияния эндогенных и экзогенных факторов изучена недостаточно. В частности, остаются дискуссионными вопросы о специфичности элементных профилей для различных видов, возрастных групп и физиологических состояний, а также о корреляции между микроэлементным статусом организма и его адаптационными возможностями [4].

Целью настоящего исследования является установление индикаторной роли элементного и микроминерального состава зольного остатка организма млекопитающих (включая человека) как маркера физиологических и эколого-геохимических процессов урбанизированных территорий Сибири и Дальнего востока.

Научная новизна работы заключается в исследовании ранее неизученного зольного остатка жителей г. Владивосток и млекопитающих Томского района, а также широким комплексным подходом к изучению зольного остатка как индикаторной системы, интегрирующей биохимические, экологические и физиологические параметры. Полученные данные могут быть использованы в экологическом мониторинге, ветеринарной диагностике и биомедицинских исследованиях.

Материалы и методы

Зольный остаток организмов млекопитающих, включая человека, может рассматриваться как материал, представляющий информацию о составе живого вещества в целом. Объектом исследования является элементный состав изучаемого материала – зольного остатка организмов млекопитающего и зольного остатка организма человека.

Процедура кремации проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53999-2010, что обеспечивает стандартизацию условий данной процедуры по всей территории России [2].

Для лабораторных анализов были отобраны пробы массой 100–200 грамм каждая.

Для исследования элементного состава зольного остатка человека были использованы метод инструментального-нейтронного активационного анализа, а также метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Результаты и их обсуждение

Благодаря современным аналитическим методам исследования в зольном остатке млекопитающих был определен широкий спектр химических элементов – для зольного остатка человека г. Владивосток – 72 химических элемента, в зольном остатке млекопитающих Томского района – 27.

Элементный состав организмов млекопитающих подчиняется фундаментальным геохимическим закономерностям распределения химических элементов: Кларка-Вернадского (о всеобщем рассеянии химических элементов), Менделеева (распространенность элементов и его содержание уменьшается с ростом заряда ядра) и правилу Оддо-Гаркина (о распределении четных и нечетных элементов) (рис. 1).

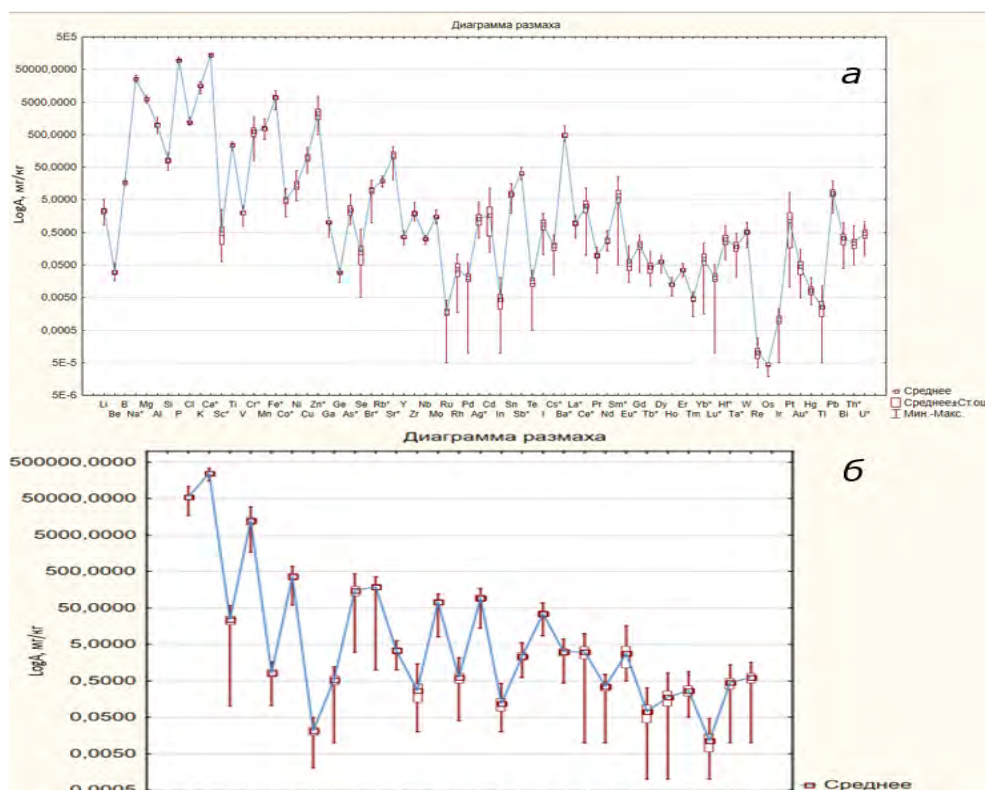


Рис. 1. График размаха и среднего содержания химических элементов в зольном остатке организма человека (а); в зольном остатке организмов млекопитающих Томского района (б)

Вычисленные коэффициенты концентраций для образцов исследуемых территорий позволили выявить наиболее специфичные химические элементы, содержание которых на уровне концентрации были подтверждены эколого-геохимическими исследованиями. Для г. Владивосток наиболее специфичными являются Sm и Pt; для Томского района – Br, Rb, Sb.

Проведенное микроскопическое исследование позволило обнаружить в зольном остатке образцов микроминеральные фазы, характерные для эколого-геохимических условий территорий – Zn, Pt и Pb для г. Владивосток, висмута, алюмосиликатов калия и сульфатов бария для Томского района.

Заключение

Проведенное исследование элементного и микроминерального состава зольного остатка организма млекопитающих позволило установить его значимую индикаторную роль в условиях комплексного природно-техногенного влияния урбанизированных территорий. Полученные результаты подтверждают, что зольный остаток является информативной матрицей, отражающей как эндогенные биохимические процессы, так и экзогенные воздействия, включая геохимические особенности.

*Работа выполнена при поддержке грантов РНФ № 20-67-47005 и №20-64-47021:
«Влияние литолого-геохимической специфики горных ландшафтов Сибири и Дальнего Востока на формирование элементного состава организма млекопитающих»
(Руководители – Паничев А.М., д.б.н., в.н.с. ТИГ ДВО РАН (г. Владивосток) и Барановская Н.В., д.б.н., профессор НИ ТПУ (г. Томск)).*

Литература

1. Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Игнатова Т.Н. и др. Очерки геохимии человека. – Томск : Дельтаплан, 2015. – 377 с.
2. ГОСТ Р ГОСТ Р 53999-2010. Услуги бытовые. Услуги крематориев. Общие технические условия.
3. Дериглазова М.А. Минералого-геохимические особенности зольного остатка организма жителей некоторых городов России как индикатор экологогеохимической обстановки : Автореф. дис. ... канд геол.-минерал. наук. – Томск, 2020. – 177 с.
4. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементов / отв. ред. Т.И. Моисеенко. – М., 2018 – 386 с.

УДК 550.42:569(571.15)

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ДЕПОНИРУЮЩИХ СРЕД ОРГАНИЗМА МЛЕКОПИТАЮЩИХ (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

А.А. Казакова, М.Г. Крачнакова, Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия

aak303@tpu.ru, mgk8@tpu.ru, nata@tpu.ru

FEATURES OF ELEMENTS COMPOSITION OF DEPOSITING MEDIA OF MAMMALIAN ORGANISMS (ALTAI REPUBLIC)

A.A. Kazakova, M.G. Krachnakova, N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

aak303@tpu.ru, mgk8@tpu.ru, nata@tpu.ru

Аннотация. В тезисах приводятся оригинальные данные по изучению элементного состава депонирующих сред – костной ткани и шерстяного покрова млекопитающих, обитающих на территории Республики Алтай. Использован метод ИСП-МС для изучения содержания 72 химических элементов. Результаты выявляют региональные различия в накоплении микроэлементов, что имеет значение для характеристики экологической ситуации указанных регионов.

Введение

Элементный состав костной ткани и шерстяного покрова является уникальным индикатором воздействия факторов окружающей среды на организм животных, поскольку они способны депонировать химические элементы. Кости, благодаря своей минеральной матрице, сохраняют информацию о поступлении металлов и минералов в течение длительного периода жизни животного, отражая историю питания и условий обитания. Шерсть же служит чувствительным маркером кратковременных изменений в экологической обстановке, позволяя фиксировать изменения концентрации элементов непосредственно перед ее образованием. Геохимическая специфика территорий формируется под влиянием множества факторов – от литологических особенностей ландшафта до уровня техногенного давления. Анализ накопленных в тканях животных микроэлементов дает возможность объективно оценить степень загрязненности среды, определить границы геохимических провинций и выявить зоны повышенной опасности для здоровья населения и фауны.

Материалы и методы

В данном исследовании рассматривается два района Республики Алтай: Турочакский и Онгудайский. Всего было отобрано 12 проб костной ткани и 7 проб шерстяного покрова. Содержание химических элементов в пробах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). В качестве референтных значений выбраны данные для млекопитающих Сибири и Дальнего Востока (78 проб костной ткани и 63 пробы шерстяного покрова).

Результаты и их обсуждения

Полученные данные о содержании химических элементов в составе двух депонирующих сред были подвергнуты статистической обработке. После ее проведения были выбраны среднегеометрические показатели в качестве анализируемых для данной территории. Каждая депонирующая среда рассматривалась с точки зрения ее геохимической специализации через коэффициенты концентраций, полученных путем деления среднегеометрических показателей на таковые для выборки млекопитающих Сибири и Дальнего Востока.

Анализ химического состава проб костной ткани из Онгудайского района позволил устано-

вить характерные признаки присутствия таких элементов, как йод, бром, марганец, серебро, литий, алюминий, ниобий, церий, празеодим, железо, тербий, иттрий, мышьяк, скандий, кадмий, торий, молибден, кремний, лантан, сурьма, цирконий и свинец. Что касается шерстяного покрова, то в нем активно накапливаются германий, тантал, лютеций, гафний, тулий, бром, йод, марганец, никель, кальций, медь и стронций. Согласно минерагеническому прогнозированию региона, территория Онгудайского района представляет значительный интерес для разведки запасов свинца, цинка, золота, ртути, вольфрама, железа, молибдена, редкоземельных элементов и урана (согласно ВСЕГЕИ, 2011).

В Турочакском районе отмечено интенсивное накопление в костной ткани таких элементов, как уран, гадолиний, самарий, эрбий, тулий, ванадий, марганец, торий, гольмий, иттербий, ниобий, неодим, тербий, лютеций, диспрозий, кадмий, барий, алюминий, иттрий, серебро, бериллий, скандий, сурьма, церий, кальций, родий, свинец, празеодим, тантал, мышьяк, молибден, европий, магний и фосфор. Шерстяной покров животных данного района характеризуется следующими элементами: эрбием, тербием, ураном, гольмием, кадмием, лютецием, ртутью, европием, галлием, тулием, висмутом, гадолинием, самарием, иттербием, ванадием, литием и молибденом. В Турочакском районе находится действующее золоторудное месторождение Синюхинское [1], а также имеются запасы золота, марганца, меди, молибдена, железа, ртути и урана (согласно ВСЕГЕИ, 2011).

Для углубленного анализа распределения микроэлементов дополнительно применялся статистический метод – U-тест Манна-Уитни. Полученные данные подтвердили наличие широкого спектра значимых отличий между концентрациями элементов в костной ткани и шерстяном покрове. Было установлено, что в костях преобладают накопления ключевых элементов, формирующих структуру костной ткани: Na, Mg, P, Ca и Sr. Помимо этого, кости также служат местом депонирования редких элементов Rh и Ag. В свою очередь, в шерстяном покрове выявлено повышенное накопление обширного ряда других элементов, включающих Al, Si, S, Cl, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Br, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Hf, Ta, Tl, Th и U.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило, что элементный состав костной ткани и шерстяного покрова отражает геохимические характеристики местности, что делает их удобными биологическими индикаторами для оценки состояния окружающей среды. Особенностью костей является способность накапливать элементы, которые организм не смог вывести естественным путем, что свидетельствует об их высокой чувствительности и точности при долгосрочном мониторинге воздействий.

Шерсть, в свою очередь, отличается быстрой реакцией на изменения внешних факторов, так как отражает непосредственное поступление элементов вместе с атмосферной пылью и водой.

Оба материала обладают преимуществами в виде простоты транспортировки и способности сохранять стабильный элементный состав даже при длительном хранении, что существенно упрощает проведение аналитических исследований и повышает надежность полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-67-47021. Исследования поддержаны Программой развития ТПУ Приоритет 2030 (Приоритет-2030-НИП-060-198-2025).

Отдельная благодарность выражается инспекторам Алтайского государственного природного биосферного заповедника и сотрудникам ИВЭП СО РАН за помощь в отборе проб.

Литература

1. Попп Е.А. Минерально-сырьевая база республики Алтай: проблемы и перспективы освоения // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2008. – № 2. – С. 204–208.

УДК 504.73/.74.054

КРЕМНИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ ДОЛИНЫ ДНЕСТРА

М.В. Капитальчук¹, Н.В. Барановская², И.П. Капитальчук¹, А.И. Капитальчук³

¹Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко,
Тирасполь, Приднестровье, Молдова
marinakapitalchuk@yandex.ru

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
nata@tpu.ru

³Тульский государственный педагогический университет имени Л.Н. Толстого, Тула, Россия
anna.kapitalchuk@mail.ru

SILICON IN THE DNIESTER VALLEY ECOSYSTEMS

M.V. Kapitalchuk¹, N.V. Baranovskaya², I.P. Kapitalchuk¹, A.I. Kapitalchuk³

¹Shevchenko State University of Pridnestrovie, Tiraspol, Pridnestrovie, Moldova
marinakapitalchuk@yandex.ru

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
nata@tpu.ru

³L.N. Tolstoy Tula State Pedagogical University, Tula, Russia
anna.kapitalchuk@mail.ru

Аннотация. Впервые полученные пилотные результаты по содержанию Si в волосах жителей долины Днестра указывают на высокую обеспеченность этим элементом населения. Данная территория также характеризуется аномально высоким содержанием Si в поверхностных водах и водопроводной воде.

Введение

Кремний занимает второе место по содержанию в земной коре. Несмотря на такую распространенность, кремний часто встречается в фармакологических препаратах. Препараты, обогащенные кремнием, используются для профилактики и лечения остеопороза, атеросклероза, заболеваний ногтей, волос и кожи. Но избыточное поступление кремния в организм может вызвать ряд заболеваний. В советской Молдавии исследованиям Si в экосистемах не уделялось должного внимания.

Материалы и методы

Si в воде определяли фотоколориметрическим методом в лаборатории „ILAS” Института химии г. Кишинев. Определение содержания Si в волосах проводилось с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в Томском политехническом университете.

Результаты и их обсуждение

С 2023 года начались системные исследования кремния в компонентах окружающей среды [3, 6]. Самые высокие концентрации Si обнаружены в водопроводной воде и подземных водах. Высокие концентрации Si в питьевой воде объясняются тем, что вода в водопроводы поступает из артезианских скважин. Была выявлена тесная корреляционная связь Si и Sr в поверхностных водах долины Днестра, т.е. увеличению Si в поверхностных водах сопутствует увеличение Sr [6].

Были обнаружены видовые особенности накопления Si в зерне пшеницы, кукурузы и семенах подсолнечника. Диапазон концентраций Si в усредненных образцах зерна пшеницы 4,7–8,4 мг/кг, зерна кукурузы 5,26 – 8,09 мг/кг, семени подсолнечника 5,96 – 11,41 мг/кг. В зерне пшеницы в пойме Si накапливается более интенсивно. Была выявлена способность семян подсолнечника в условиях лесостепи аккумулировать Si в 2 раза больше, чем в условиях

степи [3].

В этом году нами впервые получены пилотные результаты по содержанию Si в волосах жителей долины Днестра. Диапазон значений содержания этого элемента в волосах достаточно широк от 94, 14 до 481 мг/кг. Полученные результаты указывают на высокий кремниевый статус жителей долины Днестра, что, очевидно, связано с аномально высоким содержанием кремния в природных водах и водопроводной воде.

По аналогии важно отметить, что данная территория характеризуется высоким содержанием в природных водах Se [4], что также сказывается на высоком селеновом статусе жителей долины Днестра [8]. При этом, в сельскохозяйственных растениях отмечаются в основном оптимальные концентрации Se [5, 7], заметно высоким содержанием отличаются грецкие орехи [1], но почвы не содержат много валового Se, даже имеют место дефицитные концентрации [2, 9].

Заключение

Впервые полученные пилотные результаты по содержанию Si в волосах жителей долины Днестра указывают на высокое обеспечение этим элементом местное население, что, очевидно, является следствием высоких концентраций Si в природных водах и водопроводной воде.

Литература

1. Голубкина Н.А., Капитальчук М.В., Капитальчук И.П. Грецкие орехи как источник эссенциального микроэлемента селена // Вопросы питания. – 2009. – Т. 78, № 6. – С. 73–77.
2. Голубкина Н.А., Капитальчук И.П., Капитальчук М.В. Селен в почвах на разных высотных уровнях рельефа Днестровско-Прутского междуречья // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2012. – № 1. – С. 98–101.
3. Капитальчук И.П., Капитальчук М.В., Семенко О.П. и др. Кремний и стронций в компонентах окружающей среды долины Днестра // Geo-and bioecological problems of the middle and lower Dniester River Basin : Proceedings of the Scientific and practical conference with international participation, Tiraspol, November 15, 2024.. – Chisinau ; Tiraspol : Eco-TIRAS. – 2024. – P. 132–135.
4. Капитальчук И.П., Капитальчук М.В., Измайлова Д.Н. и др. О содержании Fe, Mn, Zn, Ni, Se, Cu, Pb, Cd в поверхностных и грунтовых водах Молдовы // Проблемы региональной экологии. – 2012. – № 3. – С. 41–45.
5. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А. Биоаккумуляция селена растениями на различных типах почв Молдовы // Агро XXI. – 2008. – № 4-6. – С. 47–48.
6. Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Богатая Т.И. и др. Кремний и стронций в природных водах Приднестровья // Эволюция биосферы, биогеохимические циклы и биогеохимические технологии: связь фундаментальных и прикладных исследований : материалы XIII Межд. биогеохимической школы-конференции. – Пушино : Товарищество научных изданий КМ. – 2023. – С. 215–218
7. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Селен и его антагонисты в биогеохимической цепи «почва-растение» в условиях Приднестровья // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 2. – С. 137–141.
8. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Содержание селена в волосах населения Республики Молдова // Экология человека. – 2023. – Т. 30, № 5. – С. 363–373.
9. Тома С., Капитальчук М., Капитальчук И. Содержание селена в некоторых типах почв левобережных районов Днестра // Stiinta Agricola. – 2006. – № 1. – С. 11–16.

УДК 504.73/.74.054

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ, НОГТЯХ И СЫВОРОТКЕ КРОВИ ЖИТЕЛЕЙ МОЛДАВИИ

М.В. Капитальчук¹, Н.В. Барановская², И.П. Капитальчук¹

¹Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, Тирасполь,

Приднестровье, Молдова

marinakapitalchuk@yandex.ru

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

nata@tpu.ru

COMPARATIVE ASSESSMENT OF ESSENTIAL ELEMENT CONTENT IN HAIR, NAILS, AND BLOOD SERUM OF MOLDOVA RESIDENTS

M.V. Kapitalchuk¹, N.V. Baranovskaya², I.P. Kapitalchuk¹

¹Shevchenko State University of Pridnestrovie, Tiraspol, Pridnestrovie, Moldova

marinakapitalchuk@yandex.ru

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

nata@tpu.ru

Аннотация. Проведена сравнительная оценка содержания эссенциальных элементов в волосах, ногтях и сыворотки крови жителей Молдавии. Показано, что оценки экологического статуса химических элементов в организме человека зависят от используемого в качестве индикатора биосубстрата, а границы нормы концентрации, вероятно, зависят от биогеохимических особенностей региона. Рассогласованность оценок, получаемых на основе использования разных биосубстратов, диктует необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на преодоление данных противоречий.

Введение

Содержание многих химических элементов в компонентах окружающей среды Молдавии хорошо изучено. В связи с интенсивным развитием сельскохозяйственного производства в этой республике наибольшее внимание уделялось распределению биогенных элементов в почвах, растениях и водах. В 1970-е годы Я.В. Бумбу [1] и Е.С. Фельдман [10] на территории Молдавии выделили биогеохимические провинции с недостатком в окружающей среде I, Co и Zn, а также с повышенным содержанием Cu. Однако экологический статус этих элементов в организме жителей Молдавии практически остается неизвестным. Исключением является селен, высокий статус которого установлен в наземных и водных экосистемах этой страны [2–4, 7], включая животных [8, 12] и человека [9]. Выраженный дисэлементоз эссенциальных макроэлементов отмечается для жителей Каменского района [5, 6]. Имеются также данные о низком содержании некоторых эссенциальных элементов в волосяном покрове сельскохозяйственных животных [11]. Знание экологического статуса человека позволяет на научной основе разрабатывать адекватные мероприятия по коррекции дисэлементозов. Для определения содержания элементов в организме человека используются различные биосубстраты: волосы, ногти, моча, цельная кровь, сыворотка/плазма крови и другие. Однако в разных биосубстратах концентрация элемента существенно различается, что вносит неоднозначность в определение его экологического статуса. Отчасти эта неопределенность нивелируется путем установления интервала нормальной концентрации элемента в биосубстрате, исключающей риск возникновения патологий вследствие его дефицита или избытка. Но границы нормальной концентрации элементов часто являются дискуссионными и, как правило, отличаются для регионов с разными биогеохимическими условиями. В связи с этим цель данной работы – определить совместимость оценки экологического статуса эссенциальных элементов в организме жителей Молдавии по их содержанию в волосах, ногтях и сыворотки крови.

Материалы и методы

Материалом для анализа послужили 15 образцов волос, 10 образцов ногтей, 299 образцов сыворотки крови жителей Молдавии, проживающих в долине Днестра. Содержание химических элементов в волосах определялось в лаборатории Томского политехнического университета, а в ногтях – в Центре биотической медицины (г. Москва) методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. В качестве нормы концентрации элементов в волосах и ногтях использовались границы нормы для соответствующих элементов, принятые в Центре биотической медицины. Концентрации элементов в сыворотке крови определялись в Республиканской клинической больнице г. Тирасполь методом иммунохроматографического анализа (ИХА) на анализаторе газов крови Wondflo Blood Gas Analyser BGA-102. При этом, использовались границы нормы, принятые в этом медицинском учреждении. Статистические характеристики содержания селена в сыворотке крови получены ранее [2].

Результаты и их обсуждение

Результаты статистической обработки данных по содержанию эссенциальных элементов в волосах, ногтях и сыворотке крови жителей днестровской долины Молдавии представлены в таблице, где для удобства анализа выделены концентрации, выходящие за границы нормы.

Таблица. Содержание эссенциальных элементов в волосах (мг/кг), ногтях (мг/кг) и сыворотке крови (ммоль/л, Fe – мкмоль/л) жителей Молдавии

Элемент	Волосы			Ногти			Сыворотка крови		
	Диапазон значений	Среднее $\pm$ ст.откл.	Норма	Диапазон значений	Среднее $\pm$ ст.откл.	Норма	Диапазон значений	Среднее $\pm$ ст.откл.	Норма
K	28*-1406	376 $\pm$ 372	40-2000	181- 2798	1071 $\pm$ 895	60-2000	0,35-8,1	3,5 $\pm$ 1,02	3,4-4,5
Na	95-933	358 $\pm$ 275	50-2000	283-3314	1380 $\pm$ 1029	60-5000	85-208	134 $\pm$ 15	136-146
Ca	331- 4943	1911 $\pm$ 2124	200-2000	786-1533	1239 $\pm$ 253	370-6000	0,32-20,0	2,54 $\pm$ 1,50	2,1-2,6
Mg	64- 1284	507 $\pm$ 450	2--200	205-537	338 $\pm$ 104	35-750	0,31-1,2	0,79 $\pm$ 0,17	0,66-1,07
P	307-1188	632 $\pm$ 245	120-200	327-588	426 $\pm$ 80	300-625			
Fe	16,1- 73,7	47,3 $\pm$ 16,8	7-40	17,3-68,9	39,2 $\pm$ 16,8	14-140	0,98-49,2	12,2 $\pm$ 6,8	9,0-31,3
Zn	78-317	176 $\pm$ 60	125-400	119-160	142 $\pm$ 15	165-600			
Cu	7,1-35,6	21,3 $\pm$ 7,0	9-40	4,7-10,2	6,4 $\pm$ 1,6	4,5 25			
Se	0,90- 3,34	1,96 $\pm$ 0,60	0,25-2	0,64-1,21	0,96 $\pm$ 0,15	0,3-3	0,076-0,254	0,146 $\pm$ 0,045	>0,080
I	2,7- 25,6	8,4 $\pm$ 5,6	0,15-10	0,20-7,79	1,50 $\pm$ 2,26	0,15-10			
Mn	0,31- 3,61	1,14 $\pm$ 0,81	0,15-2	0,31-1,23	0,78 $\pm$ 0,30	0,35-11			
Co	0,02- 0,44	0,09 $\pm$ 0,10	0,004-0,3	0,007-0,030	0,019 $\pm$ 0,007	0,004-0,3			
Cr	7,7-14,4	10,6 $\pm$ 2,4	0,04-1	0,19-0,81	0,42 $\pm$ 0,18	0,06-1,5			
Mo	0,85-4,69	1,90 $\pm$ 0,98	0,015-0,1	0,009-0,065	0,033 $\pm$ 0,022	0,02-0,15			

Примечание: * – выделенные подчеркнутые значения выходят за границы нормы

Как следует из таблицы, наибольшее число случаев выхода средних значений концентраций за границы нормы наблюдается в образцах волос для Mg, P, Fe, Cr, Mo – все с превышением верхней границы нормы. В то же время в образцах ногтей и сыворотки крови отмечены только по одному случаю, когда средние концентрации находятся за пределами нормы: для ногтей ниже нормы содержание Zn, а в сыворотке крови – Na.

В соответствии с принятой нормой в образцах волос наблюдаются случаи с избытком Ca, Mg, P, Fe, Se, I, Mn, Co, Cr, Mo и недостатком K, Zn. Случаи с превышением нормы в образцах ногтей зафиксированы только для Ca, ниже нормы – для Zn (весь диапазон) и Mn.

В сыворотке крови для всех элементов (K, Na, Ca, Mg, Fe) диапазон измеренных концентраций гораздо шире диапазона нормы, что обусловлено значительным объемом выборки и свидетельствует как об избытке, так дефиците у пациентов, обследованных в клинической больнице г. Тирасполь.

Обратим внимание на наличие дефицитных концентраций Zn в волосах и ногтях, что говорит о правильности выделения Я.В. Бумбу [1] биогеохимической провинции в Молдавии с недостатком этого элемента. Все три рассматриваемые нами биоиндикаторы указывают на высокое содержание Se в организме жителей Молдавии, что подтверждает установленный ранее высокий Se-статус в экосистемах этой страны [2–4, 7–9].

Однако, в целом согласованность рассматриваемых индикаторов для оценки экологического статуса элементов неудовлетворительная. Наибольшим несоответствием границам нормы отличаются концентрации элементов в волосах, что определяет необходимость уточнения границ нормы, которые, видимо, имеют региональную специфику.

Заключение

Представленные выше результаты вследствие небольших объемов выборки, составленных из разных участников, следует считать предварительными. Тем не менее, проведенный анализ свидетельствуют о зависимости оценки экологического статуса химических элементов в организме человека от используемого в качестве индикатора биосубстрата. Рассогласованность оценок, получаемых на основе использования разных биосубстратов, диктует необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на преодоление данных противоречий.

Литература

1. Бумбу Я.В. Биогеохимия микроэлементов в растениях, почвах и природных водах Молдавии. – Кишинев : Штиинца, – 1981. – 273 с.
2. Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Аккумуляция и миграция селена в компонентах биогеохимической цепи «почва – растения – человек» в условиях Молдавии // Поволжский экологический журнал. – 2011. – № 3. – С. 323–335.
3. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Накопление Fe, Mn, Zn, Cu, Se растениями в условиях долины Днестра // Актуальные проблемы биоэкологии : сб. материалов II Межд. конф. (Москва, 26–28 октября, 2010 г.). – М. : Изд-во МГОУ. – 2010. – С. 163–167.
4. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Шешнищан С.С. Особенности аккумуляции селена растениями водных экосистем Молдавии // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2013. – № 3. – С. 104–109.
5. Капитальчук М.В., Зубко Н.В., Драгомарецкий Ю.Д. Отличия в содержании некоторых элементов в организме здоровых и больных жителей города Каменка // Биогеохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы : труды Межд. биогеохимического Симпозиума : в 2-х т / ред колл.: В.В. Ермаков и др. – Тирасполь : ПГУ им. Т.Г. Шевченко. – 2020. – Т. 1. – С. 298–302.
6. Капитальчук М.В., Пэдуарь Н.В., Пэдуарь В.К. Оценка влияния гидрохимических показателей питьевой воды на содержание Ca, Mg, Na, K, P, Cl, Fe в организме человека // Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы : Мат. VIII Междунар. биогеохимической Школы. Гродненский гос. университет / отв. ред. В.В. Ермаков. – М. :

- ГЕОХИ РАН. – 2013. – С. 261–264.
7. Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Продукты питания как индикатор обеспеченности ландшафтов Молдавии селеном // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 4. – С. 90–93.
 8. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. и др. Селеновый статус животных Молдавии // Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека : труды XI Междунар. биогеохим. школы : в 2 т. / Тульский гос. пед. ун-т им. Л.Н. Толстого. – М. : ГЕОХИ РАН. – 2019. – С. 55-59.
 9. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Содержание селена в волосах населения Республики Молдова // Экология человека. – 2023. – Т. 30, № 5. – С. 363–373.
 10. Фельдман Е.С. Медико-географическое исследование территории Молдавии. – Кишинев : Штиинца. – 1977. – 170 с
 11. Шешницан Т.Л., Шешницан С.С., Капитальчук М.В. Содержание марганца, цинка, меди и молибдена в волосяном покрове сельскохозяйственных животных долины нижнего Днестра // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т. 13, № 4. – С. 166–173.
 12. Golubkina N., Sheshnitsan S., Kapitalchuk M. Ecological importance of insects in selenium biogenic cycling // International Journal of Ecology. – 2014. – Vol. 2014. – Art. No. 835636.

УДК 550.42:582.475

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В КЕРНАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS L, 1753)**

М.Г. Крачнакова, А.А. Казакова, Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия

mgk8@tpu.ru

**PECULIARITIES OF CHEMICAL ELEMENTS ACCUMULATION
IN PINE CORES (PINUS SYLVESTRIS L, 1753)**

M.G. Krachnakova, A.A. Kazakova, N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

mgk8@tpu.ru

Аннотация. Исследованы закономерности накопления химических элементов в годовых кольцах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L., 1753). Определены концентрации основных макро- и микроэлементов методом ИНАА. Установлены корреляционные связи между содержанием отдельных элементов и экологическими факторами. Полученные данные позволяют оценить динамику накопления химических элементов во временных периодах.

Введение

В современном мире проблема изменения биосферы является одной из наиболее актуальных и обсуждаемых. Возросшая антропогенная деятельность приводит к серьезным нарушениям экологического равновесия, что отражается на состоянии природных экосистем. Одним из индикаторов таких изменений являются дендрогеохимические показатели, которые отражают влияние антропогенного воздействия на растительный покров и почвы.

В настоящий момент благодаря совершенствованию лабораторно-аналитической базы стало возможным датировать процессы и события с помощью годовых колец деревьев. Наиболее важное значение приобретает индикация антропогенных воздействий, которые вызывают изменения состояния окружающей среды [10].

При изучении особенностей строения и вещественного состава годовых колец деревьев можно получить информацию о загрязнении окружающей среды металлами, радионуклидами и другими химическими элементами, такой метод исследования называется дендрогеохимическим [1, 2, 5, 6, 10]. Метод позволяет отследить изменения накопления химических элементов за достаточно большой промежуток времени, является малоинвазивным для деревьев, не требует дорогостоящего оборудования [10].

Благодаря обширному распространению сосны обыкновенной, исследователи пытаются сделать выводы о прошлых изменениях в загрязнении окружающей среды и атмосферы на уровнях от отдельных локаций до региональных [3, 7–9, 11].

В ранее проведенных исследованиях Л.П. Рихванова, Ю.В. Робертуса и др. на территории Сибирского Федерального округа проводилась оценка атмосферных переносов токсичных элементов с помощью годовых колец деревьев. Было установлено, что со стороны перерабатывающих предприятий Восточного Казахстана и ядерных испытательных полигонов оказывается воздействие на экосистему Западного Алтая [1, 12–15].

Республика Алтай, расположенная в уникальном природном комплексе с разнообразными ландшафтами, является объектом интереса для исследования влияния биосферных изменений на дендрогеохимические показатели. Сохранение биоразнообразия и экологическое равновесие в данном регионе имеют особое значение не только для местного населения, но и в глобальном масштабе.

Цель данного исследования: оценка динамики накопления химических элементов в кернах

сосны обыкновенной в зависимости от эколого-геохимических факторов на территории Республики Алтай. *Объектом исследований* являются керны сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L, 1753). *Предмет исследования* элементный состав кернов сосны обыкновенной.

Материалы и методы

Пробоотбор проводился на территории Республики Алтай в августе 2021 г сотрудником НИ ТПУ Барановской Н.В. совместно с работниками Алтайского государственного биосферного заповедника. Работы проведены в пределах южной части Западно-Сибирской равнины, в административном отношении приуроченной к территории трех административных районов Республики Алтай (Турочакский, Улаганский и Онгудайский районы).

Были отобраны керны с двух близстоящих деревьев (по одному керну с дерева) в пяти точках: кордон Беле, Карасу, р. Большая Самульта, кордон Язула, с. Язула.

Керны отбирались с использованием возрастного бурава Haglof согласно методике [4]. Радиальные керны древесины высверливались диаметром 4–5 мм и длиной до 30 см. После пробоотбора образцы высушивались при комнатной температуре. Для проведения анализа керн разделялся по периодам: 1936–1944, 1945–1962, 1963–1979, 1980–2011, 2012–2021 гг.

Исследование проводилось методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) на комплекс из 28 химических элементов (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U) на базе реактора Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Результаты и их обсуждение

Был проведен детальный анализ химического состава кернов, включая проверку законов распределения концентраций элементов и проведение корреляционных исследований. На основе коэффициентов вариации из описательной статистики была проведена дифференциация элементов по коэффициентам вариации (табл. 1). Исходя из данных, представленных в таблице, можно заметить, что большая часть химических элементов относится к сильно неоднородным, к элементам с однородным распределением относится только кобальт, с неоднородным распределением – кальций, цинк и барий, к крайне неоднородным – мышьяк, лантан, тантал, церий и неодим.

Таблица 1. Дифференциация элементов по коэффициентам вариации

Коэффициенты вариации			
≤39 (однородные)	40–79 (неоднородные)	80–159 (сильно неоднородные)	≥160 (крайне неоднородные)
Co	Ca Zn Br	Na Sc Cr Fe Rb Ag Sb Cs Ba Hf Au Sm Eu Tb Yb Lu Th U	As La Ta Ce Nd

Исследование проводилось на заповедных территориях Республики Алтай, где отсутствуют локальные источники техногенного воздействия, что позволяет рассматривать пробы как уникальные образцы природных условий региона.

В ходе проведения математической обработки данных были выявлены три значимых корреляционных блока элементов: щелочные металлы (натрий, цинк, рубидий), тяжелые металлы со схожими химическими свойствами (железо, скандий, самарий), РЗЭ. Определены шесть факторов накопления элементов, среди которых выделяется водная миграция (натрий, цинк, бром, мышьяк) и поступление из почвы (скандий, железо, редкоземельные элементы).

Заключение

Таким образом, исследование выявило закономерности распределения химических элементов в древесных кольцах сосны обыкновенной, характерные для естественных экосистем Республики Алтай, свободных от антропогенных воздействий, создавая основу для дальней-

ших исследований экологических процессов и мониторинга состояния окружающей среды в регионе.

Работы проведены в рамках реализации гранта РНФ № 20-67-47021, реализуемого под руководством Барановской Н.В. (ТПУ) и Паничева А.М. (ТИГ ДВО РАН). Исследования поддерживаются Программой развития ТПУ Приоритет 2030 (Приоритет-2030-НИИ-060-198-2025).

Авторы выражают искреннюю благодарность директору и сотрудникам Алтайского государственного биосферного заповедника за помощь в организации экспедиции по отбору проб.

Литература

1. Рихванов Л.П., Архангельская Т.А., Замятина Ю.Л. Дендрорадиография как метод ретроспективной оценки радиоэкологической ситуации: монография. – Томск : Дельтаплан, 2015. – 148 с.
2. Миронова А.С., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. и др. Годовые кольца сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) – Индикатор геохимической обстановки и хронологического изменения химического элементного состава окружающей среды. – Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 4. – С. 106–116.
3. Böhm P., Wolterbeek H., Verburg T. et al. The use of tree bark for environmental pollution monitoring in the Czech Republic // Environ. Poll. – 1998. – Vol. 102(2-3). – P. 243–250. – doi: 10.1016/s0269-7491(98)00082-7.
4. Баранов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных [Электронный ресурс]. – Новосибирск : Наука, 2000. – 232 с. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39139314>.
5. Chellman N., Csank A., Gustin M.S. Comparison of co-located ice-core and tree-ring mercury records indicates potential radial translocation of mercury in whitebark pine // Science of The Total Environment. – 2020. – Vol. 743(3). – Art. No. 140695.
6. Clackett S.P., Porter T.J., Lehnher I. 400-year record of atmospheric mercury from tree-rings in Northwestern Canada // Environ. Sci. Tech. – 2018. – Vol. 52(17). – P. 9625–9633.
7. Ferretti M., Udisti R., Barbolani E. Mineral nutrients and trace metals in tree rings of *Pinus* sp. *Fresenius* // J. Anal. Chem. – 1993. – Vol. 347. – P. 467–470.
8. Gworek B., Dmuchowski W., Baczewska-Dąbrowska A.H. Mercury in the terrestrial environment: a review // Environmental Science Europe. – 2020. – Vol. 32. – Art. No. 128.
9. Huhu Kang, Xiaohong Liu, Junming Guo et al. Characterization of mercury concentration from soils to needle and tree rings of Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) of the middle Tianshan Mountains, northwestern China // Ecological Indicators. – 2019. – Vol. 104. – P. 24–31.
10. Матвеев С.М., Румянцев Д.Е. Дендрохронология: учебное пособие. – Воронеж : ВГЛТА, 2013. – 140 с.
11. Novakova T., Navratil T., Schutze M. et al. Reconstructing atmospheric Hg levels near the oldest chemical factory in central Europe using a tree ring archive // Environ. Poll. – 2022. – Vol. 304. – Art. No. 119215.
12. Рихванов Л.П., Архангельская Т.А., Робертус Ю.В. Оценка выпадения делящихся радионуклидов на территории республики Алтай методом осколочной радиографии годовых колец деревьев // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде : сб. докл. II Междунар. научно-практ. конф. – 2002. – С. 496–501.
13. Рихванов Л.П., Замятина Ю.Л., Архангельская Т.А. Радиографические исследования в радиоэкологическом мониторинге // Известия ТПУ. – 2007. – № 1. – С. 123–127.
14. Рихванов Л.П., Робертус Ю.В., Миронова А.С. и др. Дендрогеохимические особенности ископаемой лиственницы (урочище Пазырык) и современных лиственниц Горного Алтая // Известия ТПУ. – 2017. – № 6. – С. 108–119.
15. Робертус Ю.В., Рихванов Л.П. Химические элементы и вещества – индикаторы загрязнения природной среды Республики Алтай. // Известия ТПУ. – 2020. – №8. – С. 154–165.

УДК 547.421.17

**ВЛИЯНИЕ СИНБИОТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ ПРОСТОР
НА МИНЕРАЛЬНЫЙ И ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛИ КРОЛИКОВ
В УСЛОВИЯХ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ**

Е.Е. Курчаева¹, В.А. Сафонов², И.Ю. Венцова¹

¹Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, Воронеж, Россия

²Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

alena.kurchaeva@yandex.ru, safrus2003@mail.ru, biohimyk@yandex.ru

**INFLUENCE OF THE SYNBIOTIC ADDITIVE PROSTOR
ON THE MINERAL AND HEMATOLOGICAL PROFILES OF RABBITS
IN THE LIPETSK REGION**

E.E. Kurchaeva¹, V.A. Safonov², I.Y. Ventsova¹

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

²Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, Moscow, Russia

alena.kurchaeva@yandex.ru, safrus2003@mail.ru, biohimyk@yandex.ru

Abstract. Реализован эксперимент по изучению влияния разных доз синбиотика ПроСтор на элементный профиль и другие гематологические параметры кроликов в условиях Липецкой области. Опыт проводился на 3 группах животных (n=15) 30-дневного возраста. Контрольная группа (I) получала стандартный рацион. Опытным группам (II, III) в основной рацион добавляли синбиотик «ПроСтор» в дозировке 0,3 и 0,5 г/кг комбикорма. Установлено положительное влияние синбиотика ПроСтор на минеральные, гематологические и биохимические параметры крови у кроликов. Позитивные сдвиги показателей коррелировали с более активным ростом и развитием молодняка в течение всего периода наблюдения. Важно отметить, что содержание минералов в сыворотке крови всех групп животных находилось в пределах нормы.

Введение

В современной экономике ключевым аспектом является повышение уровня производства качественной продукции в сфере животноводства [2]. Эффективное решение этой задачи достигается через обеспечение качественного питания животных, в значительной степени с использованием разнообразных кормовых добавок. В последнее время особый интерес вызывает внедрение пробиотиков. Они способствуют стимуляции физиологических процессов в организме, улучшают баланс микрофлоры кишечника и проявляют активность против патогенных микроорганизмов и грибов [1, 5, 6]. Особенно перспективной считается кормовая добавка ПроСтор, содержащая живые споры *Bacillus subtilis* и молочнокислые бактерии в форме биопленок на растительной основе, а также продукты их жизнедеятельности (ферменты, витамины, другие активные вещества), автолизат дрожжей, минералы, углеводы и растительные компоненты, включая эхинацею и расторопшу [3]. Состав крови животных служит индикатором окислительно-восстановительных и метаболических процессов, отражая как нормальное, так и патологическое состояние организма [4, 7, 8].

Материалы и методы

Анализ изменений в составе крови в совокупности с другими показателями позволяет следить за здоровьем животных и оптимизировать их продуктивность [2]. Нашей задачей было исследование морфологических и биохимических характеристик крови, включая минеральный состав, при добавлении в рацион кроликов различных дозировок синбиотической добавки «ПроСтор».

Для достижения поставленной цели был реализован эксперимент по изучению влияния раз-

ных доз синбиотика ПроСтор на гематологические параметры кроликов в условиях Липецкой области. Область характеризуется оптимальным уровнем микроэлементов, что снижает вероятность влияния дефицитных состояний на конечный результат исследования. В эксперименте участвовали три группы кроликов 30-дневного возраста, по 15 особей в каждой группе. Условия содержания для всех животных были идентичными. Контрольная группа (I) получала стандартный рацион. Опытным группам (II, III) в основной рацион добавляли синбиотик ПроСтор в дозировке 0,3 и 0,5 г на килограмм комбикорма. Анализ крови у животных проводили в начале (30 сут.) и в конце эксперимента (120 сут.) с использованием стандартных методов.

Результаты и их обсуждение

На начальном этапе исследования, измеренные параметры здоровья во всех группах были схожи и находились в пределах нормы. Исходные уровни общего белка в сыворотке крови животных находились между 70,12 и 70,64 г/л. По завершении эксперимента, на 120-й день, наблюдались значительные различия в показателях крови между кроликами экспериментальных и контрольных групп. У кроликов опытных, участвующих в эксперименте, отмечалось увеличение концентрации эритроцитов на 4,27 и 5,11%, лейкоцитов на 5,19 и 6,22% и гемоглобина на 6,21 и 7,54 % соответственно по сравнению с контрольной группой. Эти изменения коррелировали с повышенной метаболической активностью и увеличением массы тела животных на 25,7 и 29,7%.

В экспериментальных группах было зарегистрировано значительное повышение уровня гемоглобина до 113,33 и 116,00 г/л и общего белка до 75,82 и 75,99 г/л при одновременном уменьшении количества лейкоцитов до $6,05 \times 10^9$ /л и $6,27 \times 10^9$ /л. Это повышение общего белка в сыворотке крови способствовало наибольшему среднесуточному приросту массы тела, составившему 35,19 и 41,29 г.

Введение в рацион корма синбиотической добавки ПроСтор положительно сказалось на уровне общего белка к концу эксперимента. Было выявлено, что животные первой экспериментальной группы превышали показатели контрольной группы на 3,28 г/л (4,52%), а второй экспериментальной группы – на 3,45 г/л (4,76%).

Проведенный анализ показал, что динамика изменения уровней кальция и фосфора в сыворотке крови имела схожий характер среди всех групп кроликов, указывая на относительную стабильность минерального состава крови (табл. 1).

Таблица 1. Минеральный состав крови кроликов, ммоль/л

Показатель	Группы		
	Контрольная	Опытная 1	Опытная 2
30 суток			
Кальций	2,31±0,05	2,29±0,05	2,27±0,06
Фосфор	0,91±0,03	0,95±0,05	0,99±0,03
Калий	5,85±0,04	6,10±0,14	6,14±0,13
Натрий	137,19±5,15	138,59±4,37	141,80±1,86
120 суток			
Кальций	2,34±0,09	2,85±0,03**	2,94±0,08*
Фосфор	0,98±0,03	1,11±0,02*	1,14±0,01**
Калий	5,97±0,09	6,13±0,03	6,48±0,02**
Натрий	124,94±1,03	146,99±1,00***	151,07±0,86***

Примечание: * – $p \geq 0,95$, ** – $p \geq 0,99$, *** – $p \geq 0,999$.

К концу эксперимента были выявлены значительные различия в уровнях кальция и фосфора между группами. Зафиксировано достоверное увеличение уровня кальция в крови первой

экспериментальной группы на 0,51 ммоль/л (21,79%) и второй экспериментальной группы на 0,60 ммоль/л (25,64%). Содержание фосфора также достоверно возросло по сравнению с исходным уровнем в крови кроликов первой экспериментальной группы на 0,13 ммоль/л (13,26%), а второй – на 0,16 ммоль/л (16,32%).

Содержание натрия в сыворотке крови в начале опыта было в пределах 137,2–142,00 ммоль/л. Концентрация натрия в конце опыта достоверно увеличилась в крови кроликов первой опытной группы. на 22,05 ммоль/л (17,65%), второй опытной группы – на 26,13 ммоль/л (20,91%). Увеличение микроэлементов в крови исследуемых животных может свидетельствовать о положительном влиянии поступающей с препаратом микрофлоры и комплекса ферментов на усвоение компонентов корма, тем самым повышая эффективность его потребления.

Заключение

Экспериментальное изучение выявило положительное влияние синбиотика ПроСтор на минеральные, гематологические и биохимические параметры крови у кроликов. Позитивные сдвиги в этих показателях коррелировали с более активным ростом и развитием кроличьего молодняка в течение всего периода наблюдения. Следует подчеркнуть, что концентрация минеральных веществ в кровяной сыворотке животных всех исследуемых групп была в рамках референтных значений. Этот факт свидетельствует о том, что в процессе проведения эксперимента у кроликов не наблюдалось дефицита минеральных веществ в организме, а также указывает на адекватное протекание процессов обмена веществ.

Литература

1. Kurchaeva E., Safonov V., Vostroilov A. et al. Prospects for the use of probiotic dietary supplements in compound feed for young rabbits // BIO Web of Conferences. – 2025. – Vol. 160. – Art. No. 01037.
2. Бачинская В.М., Дельцов А.А., Гончар Д.В. Важность полноценного белкового, минерального и витаминного кормления кроликов // Ветеринарная морф. и патол. – 2023. – № 2. – С. 17–25.
3. Курчаева Е.Е., Глинкина И.М., Ходжибаев Б.М. и др. Ветеринарно-санитарная оценка мяса кроликов при введении в рацион синбиотического препарата "ПроСтор" // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2024. – № 4(27). – С. 17–26.
4. Квартникова Е.Г., Петрова И.В., Косовский Г.Ю. и др. Влияние соотношения питательных веществ в рационе на гематологические показатели кроликов кросса «Родник» // Кормопроизводство. – 2023. – № 8. – С. 45–48.
5. Курчаева Е.Е., Сафонов В.А., Востроилов А.В. и др. Эффективность использования пробиотического препарата Энзимспорин при выращивании кроликов // Ветеринария и кормление. – 2025. – № 2. – С. 59–65.
6. Балакирев Н.А. Современные требования к нормам кормления пушных зверей // Современные достижения и проблемы физиологии и кормления животных : сб. тез. междунар. науч. форума «Современные достижения и проблемы физиологии и кормления животных», посвященного 120-летию со дня рождения академика А.Д. Синещекова и 100-летию со дня рождения профессора В.А. Крохиной. – Подольск : ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2024. – С. 7–9.
7. Батраков А., Племяшов К., Крячко О. Профилактика нарушений обмена веществ у скота // Животноводство России. – 2021. – № 11. – С. 36–38.
8. Рыжкова Г.Ф., Мосягин В.В., Дорохина Ю.А. Влияние биологически активных кормовых добавок на биохимические показатели крови и продуктивные качества кроликов // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем. – 2020. – № 1. – С. 45–49.

УДК 631.81

ВЛИЯНИЕ СЕЛЕНА НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И УРОЖАЙНОСТЬ СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ

А.К. Мангутова, А.В. Синдирева

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

a.k.mangutova@utmn.ru, a.v.sindireva@utmn.ru

INFLUENCE OF SELENIUM ON BIOCHEMICAL PARAMETERS AND YIELD OF TABLE BEET

A.K. Mangutova, A.V. Sindireva

Tyumen State University, Tyumen, Russia

a.k.mangutova@utmn.ru, a.v.sindireva@utmn.ru

Abstract. Исследовано влияние различных способов селеновой биофортификации на урожайность и пигментный состав столовой свеклы сорта Бордо 237. Установлено, что корневое внесение 0,005% Na_2SeO_3 обеспечивает максимальное увеличение общей биомассы на 81,8% при пропорциональном развитии всех органов растения. Фолиарная обработка 0,01% раствором стимулирует накопление хлорофилла А в 3,5 раза, но увеличивает биомассу лишь на 12,3%. Выявлена дозозависимость эффектов с оптимумом при 0,005% для корневого и 0,0025% для фолиарного внесения. Превышение оптимальных концентраций приводит к токсическому эффекту. Корневое внесение активирует системные метаболические процессы, тогда как фолиарное воздействует локально на фотосинтетический аппарат. Разработаны рекомендации по оптимизации технологии селеновой биофортификации.

Введение

Биофортификация сельскохозяйственных культур селеном представляет собой одно из приоритетных направлений современной агрохимической науки, направленное на повышение питательной ценности продуктов растениеводства и решение проблемы дефицита эссенциальных микроэлементов в рационе человека. Селен (Se), являясь жизненно важным микроэлементом, поступает в организм человека исключительно алиментарным путем, при этом его недостаточное потребление ассоциировано с повышенным риском развития сердечно-сосудистых заболеваний, иммунодефицитных состояний и онкологических процессов [1]. В этой связи растения выступают в качестве основного звена в биогеохимической цепи миграции Se от почвы к человеку.

Столовая свекла занимает особое место среди корнеплодных культур как объект селеновой биофортификации в силу своих биологических особенностей и широкого распространения в структуре потребления населения. Корнеплоды свеклы характеризуются высокой способностью к аккумуляции микроэлементов, что обусловлено развитой корневой системой и активными метаболическими процессами в запасающих тканях. Кроме того, свекла является источником биологически активных соединений, включая беталаины, флавоноиды и каротиноиды, взаимодействие которых с селеном может оказывать синергетический эффект на антиоксидантную активность продукта.

Современные исследования в области селеновой биофортификации овощных культур демонстрируют значительную вариабельность результатов в зависимости от способа внесения микроэлемента, его химической формы, концентрации и генотипических особенностей растений. Анализ литературных данных свидетельствует о том, что эффективность корневого и фолиарного внесения Se существенно различается между культурами и сортами [2–5]. При этом превышение оптимальных концентраций может приводить к токсическому эффекту и снижению продуктивности растений [6].

Особую актуальность проблема селеновой биофортификации приобретает в регионах с естественным дефицитом Se в почвах, к которым относится значительная часть территории Рос-

сийской Федерации [7]. Успешный опыт Финляндии по внедрению национальной программы селеновой биофортификации, позволившей удвоить потребление Se населением [8], демонстрирует практическую значимость подобных исследований для обеспечения продовольственной безопасности.

Несмотря на накопленный экспериментальный материал, остаются недостаточно изученными вопросы оптимизации способов и доз внесения Se для столовой свеклы, а также механизмы влияния селеновой биофортификации на физиолого-биохимические процессы в растениях. Требуется дальнейшего исследования взаимосвязь между накоплением Se и изменениями в пигментном комплексе растений, что имеет важное значение для понимания адаптивных механизмов и оптимизации технологических параметров биофортификации.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования выполнены с использованием столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.) сорта Бордо 237, культивируемой на дерново-подзолистых почвах южной части Тюменской области. Полевые эксперименты проводились на экспериментальной базе «Озеро Кучак» Тюменского государственного университета, расположенной в Нижнетавдинском районе Тюменской области.

В мае 2024 года был заложен микрополевой эксперимент с целью исследования эффективности различных методов биофортификации селеном. Vegetационный период завершился уборкой урожая в сентябре 2024 года.

Экспериментальная схема предусматривала разделение опытного участка на две функциональные зоны для апробации альтернативных способов биофортификации: листовая обработка (фолиарное опрыскивание) в фазу развития 6–8 настоящих листьев и почвенное (прикорневое) внесение солей Se и I в предпосевной период.

Селен применялся в форме селенита натрия (Na_2SeO_3) в следующих концентрациях: при почвенном внесении – 24 и 12 кг/га; при фолиарной обработке – 0,01 и 0,005% по содержанию селена.

Определение урожайности проводилось методом прямого поделяночного учета. Содержание пигментов фотосинтеза определялось методом спектрального анализа этанольных экстрактов растительного материала в соответствии с методическими рекомендациями Шульгина и Ничипоровича (1974).

Математико-статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием программного пакета Microsoft Excel. При выполнении статистического анализа рассчитывался достигнутый уровень значимости (p-value), при этом критическим уровнем значимости принимался $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

На основании проведенного анализа содержания фотосинтетических пигментов в листьях столовой свеклы сорта Бордо 237 при различных способах внесения селенита натрия установлен ряд закономерностей (рис. 1).

Влияние способа внесения Se на пигментный комплекс: фолиарное внесение Se демонстрирует более выраженное воздействие на накопление хлорофиллов по сравнению с корневым внесением. При листовой обработке 0,01% раствором Na_2SeO_3 наблюдается увеличение содержания хлорофилла А в 3,5 раза (с 0,02 до 0,07 мг/г) и хлорофилла В в 3,5 раза (с 0,04 до 0,14 мг/г) относительно контроля. Данный эффект обусловлен прямым поступлением Se в фотосинтетический аппарат листа, минуя барьеры корневого поглощения и транспорта по сосудистой системе. Корневое внесение Se не проявляет четкой дозозависимости в исследуемом диапазоне концентраций. Содержание хлорофилла А остается на уровне контрольных значений (0,03–0,04 мг/г), что может указывать на ограниченную биодоступность Se при почвенном способе внесения в условиях дерново-подзолистых почв. Содержание каротинои-

дов демонстрирует умеренное увеличение при фоллиарной обработке Se (с 0,04 до 0,07 мг/г), что составляет 75% прирост относительно контроля.

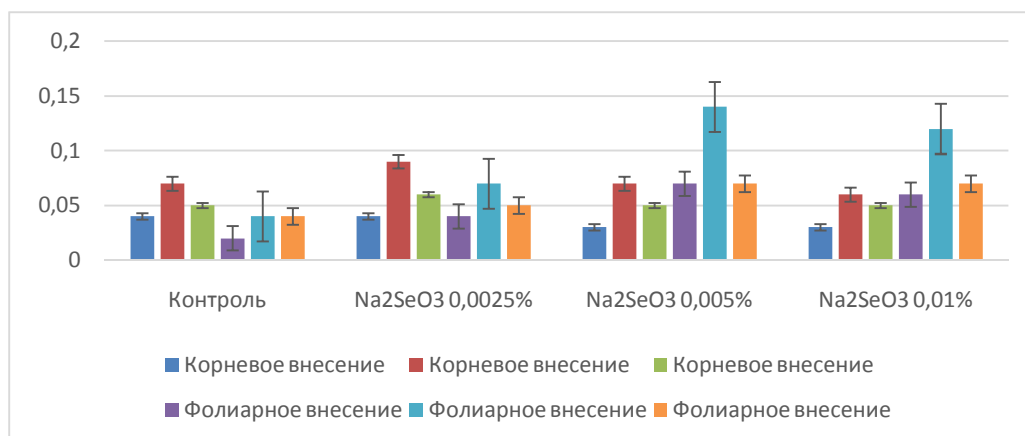


Рис. 1. Содержание пигментов фотосинтеза в листьях столовой свеклы в период уборки урожая при различных методах внесения растворов Se, мг/100г сырой массы

Каротиноиды выполняют защитную функцию в фотосинтетическом аппарате, и их увеличение может свидетельствовать об активации антиоксидантных систем растения в ответ на селеновое воздействие. Наблюдаемые изменения в пигментном составе обусловлены следующими процессами: Se в низких концентрациях стимулирует биосинтез хлорофиллов через активацию ферментных систем хлорофиллообразования. Увеличение дозы Se способствует стабилизации пигмент-белковых комплексов фотосистем. Модуляция экспрессии генов, кодирующих ферменты биосинтеза тетрапиррольных соединений.

Количественная оценка урожайности является фундаментальным показателем экологической устойчивости агроэкосистем, поскольку отражает эффективность использования растениями биотических и абиотических ресурсов среды в условиях антропогенного воздействия (рис. 2).

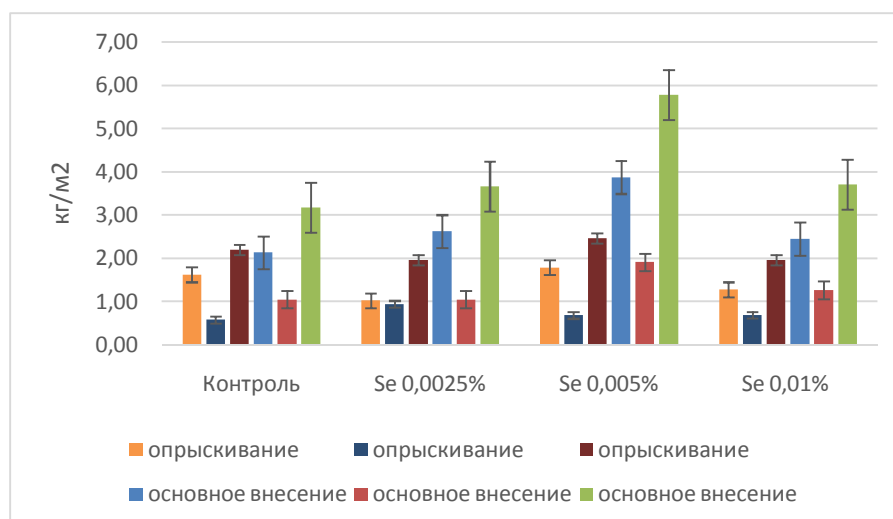


Рис. 2. Урожайность свеклы при различных методах внесения растворов Se

Сравнительная эффективность способов внесения Se: корневое (основное) внесение Se демонстрирует существенно более высокую эффективность в формировании урожайности по сравнению с фоллиарным опрыскиванием. При оптимальной концентрации 0,005% общая

биомасса растений увеличивается на 81,8% (с 3,18 до 5,78 г/растение), тогда как максимальный эффект фолиарной обработки составляет лишь 12,3% при той же концентрации.

Дозозависимые эффекты и оптимальные концентрации: установлена четкая дозозависимость при корневом внесении с оптимумом при концентрации 0,005% Na_2SeO_3 : Корнеплоды: максимальное увеличение массы на 81,9% (с 1,05 до 1,91 кг/м² прибавка составила 0,86 кг/м²) Ботва: увеличение на 82,2% (с 2,13 до 3,88 г прибавка составила 1,75 кг/м²). Общая биомасса: прибавка составляет 2,60 кг/м² на растение. При превышении оптимальной дозы (0,01%) наблюдается снижение эффективности до уровня 16,7% прироста общей массы, что указывает на проявление токсического эффекта Se в высоких концентрациях.

Распределение биомассы между органами растения Фолиарное внесение Se приводит к перераспределению ассимилятов в пользу корнеплодов: соотношение товарной части (корнеплоды) и ботвы. При 0,0025%: соотношение ботва/корнеплоды изменяется с 2,79 до 1,09. Максимальная масса корнеплодов (0,94 г) достигается при минимальной концентрации. Корневое внесение обеспечивает пропорциональное увеличение всех органов растения при сохранении оптимального соотношения ботва/корнеплоды ($\approx 2,0$).

Интегрированный анализ физиолого-биохимических процессов: парадоксально, что максимальное накопление фотосинтетических пигментов при фолиарном внесении (увеличение хлорофилла А в 3,5 раза) не коррелирует с пропорциональным увеличением биомассы. Это свидетельствует о том, что фолиарное внесение стимулирует локальные процессы в листовом аппарате, но не обеспечивает системного воздействия на метаболизм растения. Корневое внесение активирует комплексные физиологические процессы, включая корневое питание, водный обмен и транспорт ассимилятов.

Заключение

Фолиарная биофортификация Se в концентрации 0,01% является эффективным агротехническим приемом для оптимизации пигментного состава фотосинтетического аппарата столовой свеклы. Увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов свидетельствует о повышении фотосинтетического потенциала растений, что может положительно влиять на продуктивность культуры и качество получаемой продукции. Селеновая биофортификация столовой свеклы представляет собой эффективный агротехнический прием, позволяющий одновременно повысить урожайность (до 82% при корневом внесении) и оптимизировать пигментный состав фотосинтетического аппарата (увеличение хлорофиллов в 3,5 раза при фолиарном внесении). Ключевым фактором успеха является дифференцированный подход к способам и дозам внесения Se с учетом целевых показателей: корневое внесение 0,005% для максимизации продуктивности и фолиарное внесение 0,01% для оптимизации фотосинтетической активности. Такая комбинированная технология обеспечивает получение высококачественной селенобогатой продукции с улучшенными биохимическими характеристиками.

Литература

1. Chen Z., Lu Y., Dun X. et al. Research Progress of Selenium-Enriched Foods // *Nutrients*. – 2023. – Vol. 15(19). – Art. No. 4189.
2. Smolen S., Baranski R., Ledwozyw-Smolen I. et al. Combined biofortification of carrot with iodine and selenium // *Food Chem.* – 2019. – Vol. 300. – Art. No. 125202. – doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125202
3. Baset A.B.K., Hawrami K.A.M., Bailey E.H. et al. Selenium biofortification of vegetables grown in calcareous soil: a pot experiment using ⁷⁷Se as a tracer // *Biol. Trace Elem. Res.* – 2024. – doi: 10.1007/s12011-024-04483-z
4. Мангутова А.К., Синдирева А.В., Косолапов Р.М. Влияние различных приемов применения селенсодержащих удобрений на рост и развитие корнеплодов столовой свеклы и моркови // *Природа гуминовых веществ и их применение в различных отраслях народного хозяйства : сборник трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с между-*

- народным участием, посвященная памяти д.б.н., профессора Игоря Дисановича Комиссарова в честь 95-летия со дня рождения, Тюмень, 27 ноября 2024 года. – Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2024. – С. 118–126.
5. Синдирева А.В., Мангутова А.К., Швец Е.С. Влияние селенита и селената натрия на рост и развитие растений // Проблемы региональной экологии. – 2023. – № 6. – С. 87–95. – doi: 10.24412/1728-323X-2023-6-87-95.
 6. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Надежкин С.М. Перспективы обогащения сельскохозяйственных растений йодом и селеном (обзор) // Микроэлементы в медицине. – 2015. – Т. 16, № 3. – С. 12–19.
 7. Синдирева А.В., Котченко С.Г., Гурьев Н.Е. Геохимическая оценка содержания селена в основных типах почв Тюменской области // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 3. – С. 32–38.
 8. Alfthan G., Aro A. Enviromental effects of selenium fertilization – Is there a potential risk? // Twenty Years of selenium Fertilization : procedings. –Jokioinen : MTT Agrifood Research Finland, 2005. – P. 33–35.

УДК 550.42:611.78-053.2(1-21)

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ ДЕТЕЙ ТЕРРИТОРИЙ С РАЗВИТЫМ ТЕХНОГЕНЕЗОМ

Д.В. Наркович¹, Е.М. Вершкова²

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Narkovich@tpu.ru¹, vem@tpu.ru²

ASSESSMENT OF THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN CHILDREN'S HAIR OF GEOCHEMICAL TERRITORIES

D.V. Narkovich¹, E.M. Vershkova²

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Narkovich@tpu.ru¹, vem@tpu.ru²

Abstract. Рассмотрены особенности элементного статуса детей, проживающих на территориях с различным спектром действующих техногенных факторов. Были проанализированы 774 пробы волос из четырех регионов РФ с целью оценки региональных показателей содержания химических элементов. Измерения проводили инструментальным нейтронно-активационным методом. Выявлен сильный дисбаланс показателей относительно референсных значений для РФ, с преобладанием в регионах избытка макроэлементов натрия и кальция и микроэлементов хрома, железа, кобальта, на фоне дефицита селена.

Введение

На фоне ухудшения состояния здоровья населения России в последние десятилетия, немаловажным является исследование элементного статуса населения на территориях с интенсивным развитием техногенеза в результате промышленного освоения месторождений полезных ископаемых или наличия крупных профильных производств. Экологическая обстановка территории проживания при этом выступает какотягощающий фактор влияния на здоровье населения.

В результате активной хозяйственной деятельности человека меняется геохимический фон с формированием техногенных полей и аномалий. На территориях исследования свой вклад в это вносят разработка месторождений полезных ископаемых с местами складирования отходов обогатительных фабрик, транспортные магистрали, сельскохозяйственные районы, последствия техногенных катастроф (Челябинский комбинат – ПО «Маяк», Сибирский химический комбинат) и др. Места проживания людей территориально сопряжены с источниками химического загрязнения.

В Забайкальском крае из недр извлекаются медные, свинцово-цинковые, молибденовые, вольфрамовые, редкометалльные руды, благородные металлы. В результате добычи и переработки руд в отходы поступают разные токсические элементы [9].

Томская область характеризуется развитым нефтегазохимическим, лесозаготовительным и агропромышленным комплексами. Отдельное место в области по степени техногенной трансформации природных сред занимает Томский район и располагающийся здесь г.Томск, где и находится основная доля промышленных предприятий, которые входят в так называемый Северный промышленный узел. К ним можно отнести нефтеперерабатывающие (Томский нефтехимический комбинат), ядерно топливные (Сибирский химический комбинат), энергетические (ГРЭС, ТЭЦ), агропромышленные и другие предприятия [8].

Экологические проблемы г. Закаменска Республики Бурятия вызваны накопившимися отходами основного градообразующего предприятия – Джидинского горно-обогатительного комбината [3].

Материалы и методы

Исследования проводились в РФ на территориях Забайкальского края, Томской и Челябинской областей, Республики Бурятия. Волосы были взяты у детей дошкольного и школьного возраста, не имеющих отклонений по медицинским показателям, коренных жителей. Пробы отбирались с пяти точек головы (затылочной, височной, теменной, лобной областей). Пряди срезались ножницами из нержавеющей стали в нескольких миллиметрах от корня. Измерения производились в сухом веществе.

Элементный состав волос определен методом инструментального нейтронно-активационного анализа на Томском исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т (аналитики А.Ф. Судыко и Л.В. Богутская).

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных данных выявил дисбаланс в микроэлементном составе волос детей, проживающих в районах с различными природно-климатическими и антропогенными условиями (табл.). По сравнению со среднестатистическими данными по РФ [5] чаще встречается избыток элементов. Особенно обращают на себя внимание высокие значения по Томскому району Томской области, где в условиях комплексного воздействия химических факторов, элементный статус характеризуется превышениями как для нижней, так и для верхней границы нормы. Значения для Na, Ca, Cr, Fe, Co, а вот Zn практически укладывается в интервал референсов. Здесь же для Se отмечен более низкий уровень в волосах детей по сравнению с референсными значениями РФ. Сила превышений в Томском районе максимальна среди изученных регионов, что мы отмечали ранее [4]. Район вносит свой вклад и в формирование элементного портрета Томской области, характеризующейся также значительными превышениями по сравнению с данными по РФ (табл.).

Селен был проанализирован не во всех регионах, однако имеющиеся данные говорят о значительном дефиците этого элемента. Селен является микроэлементом, необходимым для поддержания нормального функционирования организма человека и животных, включая различные физиологические процессы, такие как иммунитет, работа щитовидной железы, антиоксидантная защита и регуляция гормонального баланса [2].

В целом по изученным территориям недостаток был отмечен для четырех элементов – это Na, Ca, Co и Se. По двум из них – для Челябинской области, по двум – для г. Закаменска (табл.).

Таблица. Значения центильных интервалов содержания химических элементов в волосах детей (мг/кг)

	центили	Na	Ca	Cr	Fe	Co	Zn	Se
Данные по Российской Федерации [4]	25	75	254	0,26	13	0,02	94	0,65
	75	562	611	0,7	27	0,11	183	2,43
Томская область (n=518)	25	248	700	0,3	30	0,042	123	0,4
	75	805	3450	4,4	332	0,31	225	0,98
Томский район (n=165)	25	400	400	1,2	160	0,05	130	0,05
	75	960	4600	10	700	0,35	203	0,85
Челябинская область (n=44)	25	387,5	1175	0,1	20	0,01	217,5	0,1
	75	620	3000	0,25	30	0,04	470	0,14
Забайкальский край (n=206)	25	173	151	0,14	18	0,13	108	-
	75	933	1203	4,26	565	0,7	194	-
Бурятия, г. Закаменск (n=6)	25	245	212	0,5	226	0,17	112	-
	75	310	397	4,3	500	0,2	159	-

Наиболее близки к нормативным референсным значениям уровни содержания цинка. Цинк обладает важной биологической ролью. Недостаток цинка в организме вследствие нарушения поступления, всасывания или выведения обуславливает появление патологических со-

стояний и заболеваний [7]. Недостаток по данному элементу не отмечается. Напротив, в Челябинской области вызывает тревогу превышение референсов. Уровень 25 центиля здесь превышает верхний порог для территории РФ по Скальному А.В. [5], а уровень 75 центиля выше почти в 2,6 раза. Высокий уровень цинка в волосах, согласно некоторым исследованиям, может указывать на функциональный дефицит цинка в организме, а не на избыток. Это связано с тем, что цинк может вытесняться из клеток другими металлами, такими как кадмий, свинец, медь и ртуть, что приводит к его накоплению в волосах [1].

Город Закаменск Республики Бурятия отличается от других изученных территорий дефицитом по верхней границе нормы натрия и кальция. Но данные по этой территории носят скорее предварительный характер и требуют расширения контингента обследованных, так как в данном случае дисбаланс может быть обусловлен различиями в метаболизме элементов детей разного возраста и пола. Хотя, стоит отметить, что наши данные согласуются с результатами, полученными Тармаевой И.Ю. с соавт. [6], в части повышенного риска гипозлементозов натрия и кальция, и встречаемости избытка хрома в Бурятии.

В целом по имеющимся данным мы видим, что на формирование элементного портрета существенное влияние оказывают биогеохимические и антропогенные факторы.

Заключение

Различия техногенных воздействий реально проявляются в региональном геохимическом фоне содержания микроэлементов в волосах населения. На основании анализа элементного статуса установлен дисбаланс макро- и микроэлементов с преимущественным смещением в сторону гиперэлементозов в Томской области и входящим в нее Томском районе, Забайкальском крае. Распространенность дефицитов элементов отмечена в Челябинской области и Бурятии.

Литература

1. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. – М. : Мир, 2004. – 272 с.
2. Громова О.А., Гоголева И.В. Селен – впечатляющие итоги и перспективы применения // Трудный пациент. – 2007. – Т. 5, № 14. – С. 25–30.
3. Закаменский район. Экологические проблемы Закаменского района [Электронный ресурс]. – URL: https://zakamensk.3dn.ru/index/ehkologicheskie_problemy/0-37 (дата обращения: 10.05.2025).
4. Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Игнатова Т.Н. и др. Очерки геохимии человека. – Томск : Дельтаплан, 2015. – 377 с.
5. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС // Микроэлементы в медицине. – 2003. – Т. 4, № 1. – С. 55–56.
6. Тармаева И.Ю., Скальный А.В., Богданова О.Г. и др. Элементный статус взрослого трудоспособного населения Республики Бурятия // Медицина труда и промышленная экология – 2019. – Т. 59, № 5. – С. 308–313.
7. Трисветова Е.Л. Роль цинка в жизнедеятельности человека // Медицинские новости. – 2021. – № 9. – С. 37–42.
8. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сухих Ю.И. и др. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения. – Томск, 2006. – 216 с.
9. Юргенсон Г.А., Асосков В.М., Чабан Н.Н. и др. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основная Приказа рудокопных дел. – Новосибирск : Наука. – 1999. – 574 с.

УДК 504.73/.74.054

МИКРОМИНЕРАЛЬНЫЕ ФАЗЫ В ОРГАНИЗМЕ МЛЕКОПИТАЮЩЕГО РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

А.Д. Носкова¹, Е.В. Перегудина², Н.В. Барановская³

Томский политехнический университет, Томск, Россия,

¹adn6@tpu.ru, ²peregudina@tpu.ru, ³nata@tpu.ru

MICROMINERAL PHASES IN THE MAMMALIAN ORGANISM OF THE ALTAI REPUBLIC

A.D. Noskova¹, E.V. Peregudina², N.V. Baranovskaya³

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia,

¹adn6@tpu.ru, ²peregudina@tpu.ru, ³nata@tpu.ru

Аннотация. Целью исследования является выявление микроминеральных фаз в органах дикого кабана Республики Алтай для оценки биоаккумуляции элементов и роли геофагии. Методология включала отбор и подготовку проб с последующим анализом элементного состава методом ICP-AES и исследованием микроминеральных фаз с помощью сканирующей электронной микроскопии. Обнаружены повышенные концентрации редкоземельных элементов и иттрия в желудочно-кишечном тракте и органах дыхания. В тканях ободочной кишки идентифицированы микрочастицы солей, алюмосиликатов, фосфатов кальция, а также РЗЭ и иттрия, что подтверждает явление геофагии и накопление элементов из окружающей среды. Сделан вывод о влиянии геохимического фона территории на элементный состав органов. Ободочная кишка определена как основной орган-концентратор РЗЭ и иттрия.

Введение

Анализ микроминеральных фаз в тканях органов диких животных представляет собой важный инструмент для изучения экологической обстановки места обитания млекопитающих, явления геофагии, а также ее роли в адаптации к условиям окружающей среды. Данное исследование имеет междисциплинарное значение для биологических, экологических и медицинских наук. Анализ микроминерального состава позволяет оценить потенциальный риск биоаккумуляции токсичных микроэлементов в органах и тканях животных. Кроме того, изучение микроминеральных фаз позволяет установить, в какой форме находятся исследуемые микроэлементы, и предположить о происхождении элементов в организме животного [5].

Материалы и методы

Материал, который вошел в данное исследование, был отобран на территории Онгудайского района Республики Алтай в районе реки Малая Сумульта [1]. При общем геохимическом разнообразии территории в районе обнаружены участки с локальными концентрациями литофильных элементов, в частности, Мо-В рудных месторождений [3]. Эти месторождения сопровождаются повышенным содержанием редкоземельных элементов в почве и кормовых растениях. При этом гранитоидные массивы Онгудайского и Чуйского типов (район Онгудая) служат основными резервуарами, из которых редкоземельные элементы попадают в окружающую среду [6].

Для изучения элементного состава были использованы органы и ткани дикого кабана (*Sus scrofa*). Отбор проб производился в рамках гранта РНФ № 20-64-4702 Середкиным И.В. (ТИГ ДВО РАН) и Барановской Н.В. (ТПУ). Всего в научных целях было отобрано 46 органов и тканей (масса каждого не более 100 г). Пробоподготовка проводилась в несколько этапов. Первый этап заключался в высушивании проб до постоянной массы при температуре не более 105°C (Макаревич Р.А., ТИГ ДВО РАН). Следующий этап включал озоление высушенного биологического материала при температуре до 500 °C. Для более детального изуче-

няя часть проб была исследована на разных уровнях пробоподготовки. Пробы были рассмотрены как высушенные и предварительно измельченные в агатовой ступке до однородного состояния, так и озоленные.

Количественный элементный состав определялся методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) (Хвощевская А.А., ТПУ). Изучение элементного и минерального состава частиц проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) Hitachi S-3400N (с приставкой Bruker XFlash 5010 с разрешением 129 eV для проведения рентгено-спектрального анализа) (под руководство Ильенка С.С., ТПУ).

Наибольший интерес в работе представляют микроминеральные фазы иттрия и редкоземельных элементов.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты количественного элементного состава показали, что наибольшие концентрации РЗЭ и иттрия приходятся на содержимое желудка и отделов кишечника, которое представлено пищевыми остатками и глинами. Попадание глины в желудок, вероятно, связано с явлением геофагии, т.е. поеданием животным грунта. Из внутренних органов наибольшими концентраторами редкоземельных элементов являются органы пищеварительной системы и органы дыхательной системы (легкое, трахея). На данном этапе проводятся изучения внутри пищеварительной системы, а именно органов желудочно-кишечного тракта. Наибольшие концентрации редкоземельных элементов наблюдаются в ткани начала ободочной кишки.

Исследование тканей начала ободочной кишки на сканирующем электронном микроскопе проводилось на обоих этапах пробоподготовки (высушивание, озоление). В озоленной пробе выявлены микрочастицы солей (сильвин), альбита, микроклина, кальцита, фосфата кальция. Также в ткани начала ободочной кишки были обнаружены микроминеральные фазы иттрия (Y), и редкоземельных элементов гольмий (Ho), тулий (Tm), эрбий (Er), диспрозий (Dy). В высушенной пробе были обнаружены неоднородные частицы с тем же составом. Причем РЗЭ концентрировались по периметру иттриевой частицы. Размеры колеблются от 2х2 мкм до 6х6 мкм. Кроме всего, нередко встречались частицы меди (Cu), железа (Fe) и никеля (Ni). Для подтверждения природного происхождения и исключения загрязнения при пробоподготовке были изучены несколько препаратов, в которых также были обнаружены элементы. При этом частицы в высушенной пробе ткани начала ободочной кишки местами имеют смазанные контуры, что позволяет исключить загрязнение препарата при пробоподготовке [4].

Заключение

Территория Республики Алтай имеет собственный специфичный геохимический фон, сформированный в результате комплексного природно-техногенного влияния факторов, оказывающий воздействие на химическую структуру живых организмов [2]. Поедание грунтов дикими млекопитающими напрямую влияет на попадание элементов через глины в пищеварительную систему и концентрирование их в определенных органах. Исследование показало, что основным органом-концентратором РЗЭ и иттрия является ободочная кишка, а именно ее начальная часть.

Исследование поддержано грантом Программы стратегического академического лидерства ТПУ «Приоритет – 2030 – НИП – 060-198-2025».

Литература

1. Барановская Н.В., Агеева Е.В., Беляновская А.И. и др. Радиоактивные и редкоземельные элементы в живых организмах локальных территорий Сибири и Казахстана // Биогеохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы : матер. Международного биогеохи-

- мического Симпозиума, посвященного 125-летию со дня рождения академика А.П. Виноградова и 90-летию образования Приднестровского университета, Тирасполь, 5–7 ноября 2020. – Тирасполь, 2020. – С. 266–270.
2. Барановская Н.В. Эколого-биогеохимическая характеристика экосистем Дальнего Востока и динамика их изменений по данным дендрогеохимии // Геосистемы северо-восточной Азии: природные и социально-экономические факторы и структуры : сборник научных статей XII всероссийской научно-практической конференции, Владивосток, 24-26 апреля 2024. – Владивосток, 2024. — С. 36–41.
 3. Головин А.А., Криночкин Л.А., Гусев Г.С. и др. Геохимическая карта России масштаба 1:2 500 000 // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 5. – С. 14–21.
 4. Ильенок С.С., Барановская Н.В., Паничев А.М. и др. Первые данные о микроминеральных формах нахождения элементов в волосяном покрове млекопитающих Приморского края // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 2. – С. 34–45.
 5. Паничев А.М., Барановская Н.В. Геофагия как способ выживания растительноядных животных в ландшафтах с аномальным содержанием редкоземельных элементов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы VI Международной конференции, Томск, 20-24 сентября 2021 г. : в 2 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2021. – Т. 2. – С. 59–63.
 6. Поцелуев А.А., Котегов В.И., Бабкин Д.И. Редкоземельные элементы в геологических образованиях Калгутинского месторождения (Рудный Алтай) // Известия ТПУ. – 2002. – №6. – С. 229–246.

УДК 550.47

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ (*POPULUS NIGRA L.*)
НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЮРГА**

Е.В. Рожкова, Е.В. Перегудина

Томский политехнический университет, Томск, Россия
babakova@tpu.ru, peregudina@tpu.ru

**ELEMENTAL COMPOSITION OF POPLAR LEAVES (*POPULUS NIGRA L.*)
ON THE TERRITORY OF THE CITY OF YURGA**

E.V. Rozhkova, E.V. Peregudina

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
babakova@tpu.ru, peregudina@tpu.ru

Abstract. Представлены результаты изучения элементного состава листьев тополя черного (*Populus nigra L.*), отобранных на территории города Юрга. Целью исследования являлось изучение закономерностей накопления элементов в листьях тополя. Для достижения поставленной цели были использованы статистические методы анализа, позволяющие выявить корреляционные зависимости между концентрациями элементов и пространственным распределением исследуемых объектов. В результате было выявлено, что геохимический фон города Юрги формируется под комплексным воздействием природных и антропогенных факторов, причем последние играют доминирующую роль в современных условиях.

Введение

Тополь (*Populus*) представляет собой важный элемент экосистем, обладая уникальными свойствами, которые делают его подходящим объектом для биогеохимической индикации. В условиях глобальных изменений климата и антропогенного воздействия на природу, необходимость мониторинга состояния окружающей среды становится все более актуальной. Тополь, благодаря своей способности накапливать и отражать изменения в химическом составе почвы и воды, может служить индикатором экологического состояния и здоровья экосистем [1–2].

Город Юрга, расположенный в Кемеровской области, является важным промышленным и транспортным узлом Западной Сибири. Его географическое положение в пределах Кузнецкой котловины и близость к крупным угольным бассейнам и металлургическим комплексам определяют специфику геохимических процессов на данной территории. Изучение геохимических особенностей Юрги актуально в связи с антропогенным воздействием промышленных предприятий, транспорта и городской инфраструктуры, что может приводить к накоплению загрязняющих веществ в почвах, водах и атмосфере [6].

Материалы и методы

В 2024 году в городе Юрга выполнено исследование элементного состава листьев тополя. Материал отбирался в период максимальной физиологической активности растений – с конца августа по начало сентября. Пробы отбирали круговым методом в нижнем секторе кроны на высоте 1.5–2 м от поверхности грунта без промывки листовых пластин для сохранения пылевой составляющей пробы. Подготовка к анализу включала сухое озоление в муфельной печи (450 °C, 5 ч) согласно ГОСТ 26929-94, после чего навески золы массой 100±1 мг упаковывали в алюминиевую фольгу. Количественное определение элементов выполняли методом инструментального нейтронно-активационного анализа в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории при исследовательском реакторе ИРТ-Т Томского политехнического университета с применением аттестованной методики (НСАМ ВИМС №410 ЯФ, ана-

литик – А.Ф. Судыко). Статистическую обработку экспериментальных данных проводили в пакете STATISTICA 13.0.

Результаты и их обсуждение

При статистической обработке данных определяли следующие основные параметры: пределы значений, математическое ожидание (среднее значение), медиана, мода, стандарт и вариация. Было выявлено, что у большинства проб больше, чем одна мода, а также средние и медиана различаются. Такая разница значений может быть связана с распределением отличным от нормального. При проверке гипотезы о нормальном распределении содержания химических элементов выяснилось, что больше половины химических элементов не соответствуют нормальному закону распределения. При определении корреляционных взаимосвязей в составе проб листьев тополя были рассчитаны ранговые корреляции Спирмена. Для лучшей визуализации была построена корреляционная матрица (рис. 1), из которой можно выделить две основные корреляционные группы. В первой, наиболее крупной группе можно увидеть естественные природные взаимосвязи редкоземельных элементов, а также взаимосвязь железа, хрома и натрия. Железо и хром обычно являются маркерами предприятий металлургического комплекса, а натрий входит в состав большинства химических пород [4]. Корреляция Cr-Sm может являть так же маркером металлургических шлаков, а Th с редкоземельными элементами указывает на существенное влияние фактора пыления. Сурьма может быть связана с выбросами нефтепродуктов, ее связь с торием, скандием и другими элементами указывает на влияние автотранспорта и дорог. Во второй корреляционной группе объединились стронций и кальций – загрязнение металлургическими выбросами [4]. Полученные корреляционные взаимосвязи не могут быть объяснены с точки зрения природных процессов, что позволяет сделать вывод о наличии техногенного воздействия.

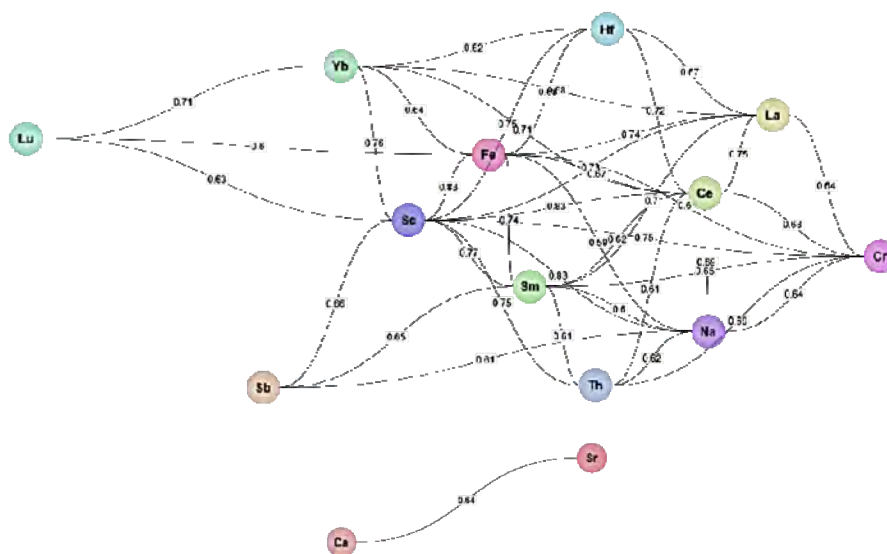


Рис. 1. Схема корреляции для листьев тополя (при $p=0,001$ $R_{\text{крит}} \geq 0,6$)

В дополнение к корреляционной схеме была построена дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра (рис. 2), где ниже красной линии показаны наиболее значимые корреляции.

Кластеризация элементов лютеций (Lu), гафний (Hf), иттербий (Yb) и лантан (La) может указывать на зоны с повышенной концентрацией пыления.

Кластер элементов Sm, Cr, Sc, Th, Ce, Fe на дендрограмме демонстрирует признаки антропогенного происхождения, связанные с промышленными процессами и современными техно-

логиями. Совместное присутствие Sm-Ce (редкоземельные) и Cr-Fe (металлургия) указывает на смешанные отходы промышленных зон [2, 3]. Стронций и кальций почти всегда встречаются совместно, так как обладают схожими химическими свойствами, а также данные элементы относятся к щелочноземельным металлам, что объясняет их совместное присутствие в кластере [4, 5].

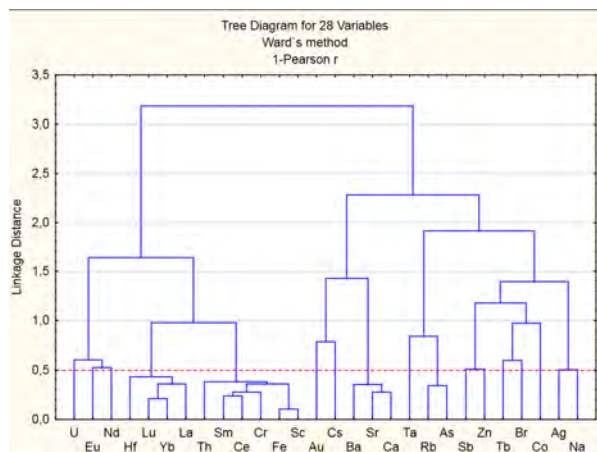


Рис. 2. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра ($r=0,5$ при $p=0,001$)

Заключение

Проведенное исследование позволило детально проанализировать элементный состав листьев тополя, используя методы статистической обработки данных.

Анализ корреляционных связей показал, что самарий, хром, скандий, торий, церий, железо демонстрируют корреляцию, что может быть связано с их совместным накоплением [4]. Данные элементы определяют геохимическую специфику территории. А корреляция барий, кальций и стронция отражает воздействие специфики промышленности города [1].

Литература

1. Матвиенко Я.С. Листья тополя как индикатор качества атмосферного воздуха урбанизированных территорий (на примере г. Новосибирска) // Старт в науку : материалы LXVI научной студенческой конференции Биологического института. – Томск, 2017. – С. 124.
2. Неверова О.А. Морфобиометрическая диагностика состояния древесных растений и загрязнения атмосферного воздуха города Кемерово // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга. – Сыктывкар, 2001. – С. 137.
3. Шарипова Б. и др. Элементный состав золы листьев тополя как индикатора техногенеза на примере территории Южного Казахстана // Вестник КазНУ. Серия Экологическая. – 2024. – Т. 78. – С. 223–224.
4. Шаймарданова Б.Х. и др. Биоиндикация урбоэкосистемы г. Павлодара по содержанию химических элементов в золе листьев тополя черного *Populus nigra* L // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 338.
5. Юсупов Д.В. и др. Распределение урана и тория на территории правобережья г. Новосибирска по данным анализа листьев тополя // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы VI Международной конференции. – Томск, 2021. – Т. 2. – С. 184–188.
6. Официальный сайт города Юрги [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.yurga.org/> (дата обращения: 16.11.2024).

УДК 577.118:591.481.1:599.735.31(571)

**МИКРОМИНЕРАЛЬНЫЕ ФАЗЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ БЛАГОРОДНОГО ОЛЕНЯ (CERVUS ELAPHUS)
СИБИРИ И ДАЛЬНОГО ВОСТОКА.**

А.А. Слепушкина, Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия

tpuajka@tpu.ru, nata@tpu.ru

**MICROMINERAL PHASES OF CHEMICAL ELEMENTS
IN THE BRAIN OF THE RED DEER (CERVUS ELAPHUS)
FROM SIBERIA AND THE RUSSIAN FAR EAST**

A.A. Slepushkina, N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

tpuajka@tpu.ru, nata@tpu.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследования микроминеральных фаз химических элементов в составе ткани головного мозга благородного оленя (*Cervus elaphus*) из двух географически удаленных регионов – Сибири и Дальнего Востока. Методом сканирующей электронной микроскопии изучено пространственное распределение фаз химических элементов в головном мозге. Установлена их характерная последовательность по частоте встречаемости: К-Р-Сl-S-Na-Ca-Mg-Si-Fe-Al-Cu-Bi-Zn-Pb-Ni-N-Ti-Ba, а также выявлены отдельные фазы, содержащие Cr, Mn, Zr, Mo, Au, Sr и W. Обнаружены существенные региональные различия: фазы Au, Sr и W встречались исключительно в пробах из Приморского края, тогда как Mo и Bi – только в образцах из Бурятии. Эти особенности могут отражать влияние локальных геохимических условий на элементный состав организмов. Полученные данные имеют значение для понимания механизмов микроэлементного гомеостаза центральной нервной системы у диких копытных животных и могут быть использованы при биомониторинге состояния природных экосистем.

Введение

Современные исследования подтверждают критическую роль микроэлементного баланса в поддержании нейрофизиологических функций. Будучи незаменимыми компонентами ферментов и витаминов, химические элементы одновременно могут выступать потенциальными нейротоксинами при нарушении их гомеостаза. Особый научный интерес представляет изучение элементного состава головного мозга у диких копытных животных как индикатора состояния природных экосистем. В данной работе представлены результаты сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) поверхности срезов головного мозга благородного оленя, позволяющие визуализировать пространственное распределение металлов в церебральных структурах.

Материалы и методы

В рамках реализации гранта РНФ № 20-64-47021 «Влияние литолого-геохимической специфики горных ландшафтов Сибири и Дальнего Востока на формирование элементного состава организма млекопитающих» коллективами Томского политехнического университета (ТПУ) и двух институтов Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВЦ РАН): Тихоокеанский институт географии (ТИГ) и Дальневосточный геологический институт (ДВГИ) [3] выполнен отбор репрезентативных образцов различных компонентов экосистем: растительности, растительного опада, почвенных проб и биологических тканей млекопитающих. Все собранные биологические образцы подвергались стандартизированной пробоподготовке, включающей этап конвекционной сушки при температуре, не превышающей 100 °С, что обеспечило сохранность элементного состава исследуемых материалов.

Нами был изучен микроминеральный фазовый состав головного мозга благородных оленей Сибири и Дальнего Востока. Всего в анализ вошло 112 проб: 62 проба отобранная в Приморском крае, Амурский район, ручей Золотой (бассейн реки Арсеньевка), 50 проб отобранных в республике Бурятия, Тункинский район, р. Сусер. Анализ проводился на СЭМ Hitachi S-3400N с энерго-дисперсионным спектрометром Bruker X@Flash 5010 в Международном инновационном научно-образовательном центре «Урановая геология» при отделении геологии инженерной школы природных ресурсов ТПУ и на двухлучевом СЭМ Tescan Lyra 3 XMH + EDS AZtec X-Max 80 Standart в лаборатории микро- и наноисследований ДВГИ ДВО РАН.

Результаты и их обсуждение

Особую значимость приобретает поддержание металлического гомеостаза в тканях центральной нервной системы, где дисбаланс микроэлементов способен вызывать серьезные функциональные нарушения [2]. Проведенные исследования выявили характерное распределение микроминеральных фаз химических элементов в тканях головного мозга благородного оленя. Установлена следующая последовательность элементов по частоте встречаемости в пробах (в порядке убывания): K-P-Cl-S-Na-Ca-Mg-Si-Fe-Al-Cu-Bi-Zn-Pb-Ni-N-Ti-Ba. Также были обнаружены следовые количества Cr, Mn, Zr, Mo, Au, Sr, W. При обработке данных углерод и кислород были исключены из анализа как универсальные компоненты всех биологических проб. Интересно отметить, что фазы таких элементов как золото (Au), стронций (Sr) и вольфрам (W) были выявлены исключительно в образцах из Приморского края, тогда как содержащие молибден (Mo) и висмут (Bi) обнаруживались только в пробах из Республики Бурятия. Эти различия могут отражать влияние региональных геохимических особенностей на элементный состав организмов.

Заключение

Проведенное исследование микроминеральных фаз химических элементов в головном мозге благородного оленя (*Cervus elaphus*) позволило выявить ключевые закономерности их накопления и распределения в церебральных тканях. Полученные данные свидетельствуют о наличии региональных различий в накоплении некоторых элементов, которые могут отражать геохимические особенности кормовых растений и почв. Так, например, в составе кудуритов, использующихся дикими животными Приморского края в качестве минерально-пищевой добавки выявлены соответствующие элементы [1]. Полученные результаты имеют важное значение для понимания механизмов нейрофизиологической адаптации животных к различным геохимическим условиям и прогнозирования возможных нейротоксических эффектов при изменении элементного состава кормовой базы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (проекты № 20-67-47005 и № 20-64-47021) и Программы развития ТПУ «Приоритет-2030-НИП-060-198-2025».

Литература

1. Паничев А.М. и др. Кудуры солонцовского палеовулкана в бассейне реки Таежная, восточный Сихотэ-Алинь // Успехи наук о жизни. – 2012. – № 5. – С. 7–28.
2. Grochowski C. et al. Analysis of trace elements in human brain: its aim, methods, and concentration levels // Frontiers in chemistry. – 2019. – Т. 7. – С. 115.
3. Карточка проекта фундаментальных и поисковых научных исследований, поддержанного российским научным фондом [Электронный ресурс]. – URL: https://rscf.ru/prjcard_int?20-64-47021 (дата обращения 31.05.2025).

УДК 574.4

БИОИНДИКАЦИЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ТАГАНАЙ»

А.В. Синдирева, А.С. Бурмистрова, И.С. Резниченко

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

a.v.sindireva@utmn.ru, alena.burmistrova95@mail.ru, reznichenko.i.s@mail.ru

BIOINDICATION AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF ECOSYSTEM CONDI- TIONS IN THE 'TAGANAY' NATIONAL PARK UNDER TECHNOGENIC IMPACT

A.V. Sindireva, A.S. Burmistrova, I.S. Reznichenko

Tyumen State University, Tyumen, Russia,

a.v.sindireva@utmn.ru, alena.burmistrova95@mail.ru, reznichenko.i.s@mail.ru

Abstract. Проведена комплексная оценка состояния почв и древостоев пихты сибирской (*Abies sibirica*) на территории Национального парка «Таганай». Биоиндикация включала анализ поражения деревьев фитопатогенами (*Durandiella sibirica* и *Melampsorella caryophyllacearum*), оценку санитарного состояния и химического состава почв (Zn, Cu, Se, pH, гумус). Установлено, что содержание микроэлементов в почвах не превышает ПДК, но отмечается их дефицит, что может влиять на устойчивость растений к заболеваниям. Выявлена высокая степень поражения пихтовых насаждений, особенно вблизи промышленных зон, что связано с техногенным воздействием и дисбалансом микроэлементов в почвах.

Введение

Национальный парк «Таганай», расположенный на Южном Урале, представляет собой уникальную природную территорию, характеризующуюся высоким биологическим разнообразием и сложной ландшафтной структурой. Однако его экосистемы испытывают значительную антропогенную нагрузку, обусловленную близостью промышленных предприятий, таких как Карабашский медеплавильный комбинат и Златоустовский металлургический завод [1]. Эти предприятия являются источниками выбросов тяжелых металлов (цинка, меди) и других загрязняющих веществ, что может негативно влиять на почвенный покров, растительные сообщества и устойчивость лесных экосистем в целом [3].

Особую роль в биоиндикации состояния окружающей среды играет Пихта сибирская (*Abies sibirica*), которая отличается высокой чувствительностью к загрязнению и фитопатогенным воздействиям. В последние десятилетия на территории парка отмечается увеличение пораженности пихтовых насаждений такими заболеваниями, как побеговый рак (*Durandiella sibirica*) и ржавчинный рак (*Melampsorella caryophyllacearum*). Это может быть связано как с прямым воздействием промышленных выбросов, так и с изменением биохимических свойств почв, включая дефицит или дисбаланс микроэлементов, таких как селен (Se), цинк (Zn) и медь (Cu).

Селен, несмотря на низкие концентрации в почвах, играет важную роль в повышении стрессоустойчивости растений, участвуя в антиоксидантной защите и регуляции метаболических процессов. Дефицит этого элемента, наряду с недостатком подвижных форм Zn и Cu, может снижать резистентность древесных растений к патогенам и неблагоприятным экологическим факторам [1]. В связи с этим изучение геохимических особенностей почв парка и их взаимосвязи с состоянием пихтовых насаждений приобретает особую актуальность.

Целью данного исследования являлась комплексная оценка экологического состояния Национального парка «Таганай» на основе биоиндикационных и геохимических методов. В задачи работы входило:

1. Оценка санитарного состояния и распространенности заболеваний у Пихты сибирской в различных функциональных зонах парка (фоновая, буферная, импактная).

2. Определение содержания тяжелых металлов (Zn, Cu) и селена в почвах, а также их подвижных форм.
3. Анализ взаимосвязи между химическим составом почв, уровнем техногенного воздействия и пораженностью древостоев.

Материалы и методы

Исследования проводились с 2020 по 2022 гг. на территории Национального парка «Таганай» (Челябинская область, Южный Урал). Территория парка была разделена на три функциональные зоны (по С.В. Братухину, 2005): фоновая (удалена от источников загрязнения); буферная (переходная зона); импактная (наиболее подвержена техногенному воздействию) [2]. Объекты исследования: почвы (горные серые лесные, дерново-подзолистые, торфяно-глеевые); древостой Пихты сибирской (*Abies sibirica*). Пробы отбирались методом конверта с глубины 0–20 см (верхний гумусовый горизонт). Всего обследовано 19 пробных площадок (ПП), по 5 смешанных проб на каждой. На 15 ПП проведен полный учет деревьев пихты (всего 577 экз.). Фиксировались морфологические признаки поражения: побеговый рак (*Durandiella sibirica*) – некрозы хвои и побегов; ржавчинный рак (*Melampsorella caryophyllacearum*) – "ведьмины метлы", утолщения на стволах. Частота встречаемости заболеваний (%) рассчитывалась как доля пораженных деревьев от общего числа.

Анализ отобранных материалов проводился в аккредитованной лаборатории ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО». Для оценки обеспеченности почв микроэлементами использовались пороговые концентрации [4]. Для установления связи между содержанием металлов, pH, гумусом и пораженностью деревьев проводился корреляционный анализ.

Результаты и их обсуждение

Анализ 577 деревьев *Пихты сибирской* на 15 пробных площадках выявил:– 40% площадок – усыхающие насаждения (Кср 3.6–4.5); – 33% – сильно ослабленные (Кср 2.6–3.5); – 27% – ослабленные (Кср 1.6–2.5). Максимальные показатели пораженности (Кср=4.1) зафиксированы в фоновой зоне (ПП №3–4), что противоречит ожидаемому градиенту загрязнения. Этот парадокс может объясняться кумулятивным эффектом долговременного загрязнения, особенностями горной циркуляции воздушных масс, историческими нарушениями лесного покрова. Распространенность заболеваний: побеговый рак (*D. sibirica*): 83.4% (максимум 100% на ПП 1–6, 1–7); ржавчинный рак (*M. caryophyllacearum*): 26.9% (максимум 53.8% на ПП 1–6). Таким образом, выявлена четкая пространственная закономерность: частота заболеваний возрастает при приближении к промышленным центрам ($r=0.72$, $p<0.05$).

Одной из причин повышенной восприимчивости растений к заболеваниям является дисбаланс химических элементов в почве. Для этого в рамках исследования установлены закономерности распределения микроэлементов в почвах парка. Выявлены значимые корреляции: – отрицательная между pH и подвижными формами Zn ($r=-0.63$); – положительная между гумусом и валовым Cu ($r=0.58$). Установлено, что дефицит Se (<0.125 мг/кг) коррелирует с повышением пораженности побеговым раком ($r=0.68$). А низкое содержание подвижного Zn (<5 мг/кг) сопряжено с увеличением доли усыхающих деревьев. При этом, оптимальное соотношение Cu: Zn (1:8–1:12) нарушено в импактной зоне (1:15–1:20).

Полученные результаты согласуются с современными представлениями о роли микроэлементов в устойчивости растений: Se – антиоксидантная защита; Zn – синтез фитогормонов; Cu – лигнификация клеточных стенок [5].

Эффект синергии загрязнения и патогенов:

- Техногенное ослабление деревьев → повышение чувствительности к грибам.
- Нарушение элементного баланса → снижение иммунного ответа.

Особого внимания заслуживает выявленный парадокс фоновой зоны, где при относительно благополучных геохимических показателях наблюдается максимальное усыхание древосто-

ев. Это может объясняться накоплением токсичных металлов в пищевых цепях, историческим загрязнением, "законсервированным" в торфяных отложениях, генетическими изменениями популяций фитопатогенов.

Заключение

Проведенное комплексное исследование экологического состояния Национального парка «Таганай» позволило получить ряд результатов.

Установлены критические параметры состояния пихтовых насаждений. Выявлено преобладание усыхающих (40%) и сильно ослабленных (33%) древостоев. Доказана высокая распространенность побегового (83.4%) и ржавчинного (26.9%) рака. Обнаружена аномально высокая пораженность в фоновой зоне ($K_{ср}$ до 4.1), требующая дополнительного изучения.

Выявлены особенности геохимии почв: установлен дефицит селена (0.05 ± 0.02 мг/кг) и подвижных форм цинка (< 5 мг/кг на 30% площадок). Подтверждено нарушение оптимального соотношения $Cu: Zn$ в импактной зоне (1:15–1:20). Обнаружена значимая корреляция между кислотностью почв (pH 5.1–6.8) и подвижностью металлов.

Установлены ключевые взаимосвязи в системе "почва-растение": доказано влияние дефицита Se на повышение чувствительности к фитопатогенам ($r=0.68$). Таким образом, выявлена роль дисбаланса микроэлементов в снижении устойчивости древостоев.

Литература

1. Боев В.А., Синдирева А.В., Боев В.В. и др. Селен в почвах национального парка «Таганай» и Тюменского государственного заказника // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2022. – № 1(57). – С. 117–127.
2. Братухин С. В. Экологический аудит национального парка «Таганай»: дис. ... канд. биол. наук. – М., 2005. – 182 с.
3. Журавлева В.В. Элементарный состав и оценка загрязнения почв на территории национального парка «Таганай» [Электронный ресурс] // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2013. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elementarnyy-sostav-i-otsenka-zagryazneniya-pochv-na-territorii-natsionalnogo-parka-taganay> (дата обращения: 10.05.2025).
4. Красницкий В.М. Агрохимическая и экологическая характеристики почв Западной Сибири. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2002. – 144 с.
5. Hawrylak-Nowak B. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress // Biological Trace Element Research. – 2009. – Vol. 132. – P. 259–269.

УДК 504.05; 504.06

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛУБЛЕННЫХ ИНТЕГРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ
ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ,
МЕДИЦИНЫ И ВЕТЕРИНАРИИ**

Р.М. Тойчуев

*Научно-исследовательский институт медико-биологических проблем Южного отделения
Национальной академии наук Кыргызской Республики
Ошский государственный университет (медицинский факультет), Ош, Кыргызия
impnankr@gmail.com*

**APPLICATION OF ADVANCED INTEGRATION RESEARCH METHODS
FOR SOLVING PROBLEMS IN THE FIELD OF GEOCHEMICAL ECOLOGY,
MEDICINE AND VETERINARY SCIENCE**

R.M. Toichuev

*Research Institute of Biomedical Problems, South Branch of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz
Republic
Osh State University (Medical Faculty), Osh Kyrgyz Republic
impnankr@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматриваются углубленные интеграционные методы исследования, основанные на изучении взаимодействия компонентов материи, природы, общества, с учетом свойственных всем процессам взаимодействий и общих закономерностей: «закона обновления и равновесия», принципа неопределенности В. Гейзенберга, принципа дополнительности Н. Бора, «информационной матричной энергии». Для создания нового необходимо учесть «относительную относительность Аватара» и «информационную созидательную энергию Жана», а в завершении процесса взаимодействия – «принцип тройственности». Использование углубленных интеграционных методов исследования, основанных на применении общих закономерностей и принципов в изучении взаимодействий компонентов материи, природы и общества, создает условия для достоверного решения проблем не только геохимии, медицины и ветеринарии, но и других наук.

Введение

На фоне изменения климата, повышения энтропии [2], загрязнения окружающей среды, в том числе, высокоэнергетическими радиоактивными элементами [3], новыми химическими соединениями, пестицидами и, прежде всего, стойкими органическими загрязнителями, в том числе, хлорорганическими пестицидами, которые применяются в сельском хозяйстве, а так же токсичными химикатами, используемыми при добыче полезных ископаемых, включая урано- и титаносодержащие руды, возникают не только новые геохимические проблемы, но и проблемы в области защиты окружающей среды и биосреды, проявляющиеся прежде всего, в медицине и ветеринарии. Сегодня, для решения этих проблем стандартные подходы не дают желаемого результата. Поэтому возникла необходимость разработки нестандартных, в то же время всеохватывающих, углубленных, интеграционных методов исследования.

Материалы и методы исследований

В качестве материала взяты компоненты материи: масса, энергия, пространство, время и скорость для подсчета участвующих во всех процессах взаимодействий, и количество. Углубленные интеграционные методы исследования основаны на изучении взаимодействий компонентов материи, природы, общества, которые встречаются во всех процессах – взаимодействиях, от начала и до завершения процесса, а также на общих закономерностях: законы обновления и равновесия, принцип неопределенности В. Гейзенберга, принцип Н. Бора,

относительной относительности Аватара, созидательной информационной энергии Жана и для завершения процесса, т.е. прихода в равновесие, а также принципы тройственности. Окружающая среда состоит из массы, которая изучается геохимической наукой, а массу в структуре “живого” изучает биохимическая наука. Обладающие энергией, в том числе природной, радиоактивные элементы и выделяемая ими энергия (лучи), изучаются физической наукой, пространство – геометрией, количество, скорость и время – физико – математической наукой.

Результаты и их обсуждение

С точки зрения углубленных интеграционных методов исследования, вся материя (земля, вода и воздух, Солнце, Вселенная) состоит из компонентов материи: массы, энергии и занимаемых ими пространств, в определенном количестве, а от начала до завершения процессов взаимодействия требуется определенное время и скорость. Ни один процесс, ни одно взаимодействие не происходит без участия компонентов материи, но при определенных условиях и определенном времени наблюдается период относительности, т.к. без этой относительности созидания не бывает.

Для геохимии, медицины и ветеринарии имеет значение, что в процессе взаимодействия может происходить количественное, качественное изменение – отклонение от нормы по содержанию массы, энергии и пространства-объема во времени и скорости протекающего процесса-взаимодействия.

Взаимодействие может завершиться образованием нового (распад или соединение), повторением старого или изменением внутреннего состояния объекта-пространства. С точки зрения фундаментальной науки, взаимодействие, начиная с элементарных частиц и заканчивая уровнем Вселенной, происходит с участием переносчиков взаимодействия: слабых-электромагнитных (фотоны, W^- , W^+ и Z^0), сильных -глюонов и гравитонов -переносчиков гравитационных взаимодействий. Также к взаимодействию могут привести лучи, сигналы, звуки, волны, в том числе, магнитные волны и заряды, импульсы. В случае, если взаимодействие массы происходит в почве, то этот процесс изучается геохимической наукой, а в биосреде, кроме переносчиков взаимодействий, приводящих к взаимодействию у человека, являются звуки, взгляд, интуиция, межчеловеческое взаимопонимание, которые изучаются медицинской наукой. А аналогичные взаимодействия у животных изучаются ветеринарной наукой.

Медицина и ветеринария тоже изучают те же компоненты материи, но в комплексе, постоянном взаимодействии, начиная с отдельных элементов, соединений, систем и заканчивая целым органом, их сумма составляет человека и животных.

В результате взаимодействий в различных геохимических условиях могут образовываться газообразные, жидкие «водообразные» и твердые «земле», «почвообразные» соединения, в том числе, и в виде полезных ископаемых.

В медицине и ветеринарии те же взаимодействия приведут к количественному, качественно-му изменению – отклонению от нормы, содержанию массы, энергии и объема-пространства во времени и скорости, в итоге вызывая патологии у людей и животных.

На процесс взаимодействия могут влиять температура, pH среды, давление, для живых существ – аэробные, анаэробные условия и т. д.

В конечном результате взаимодействия компонентов материи по геохимическим меркам приводят к образованию нового или повторению старого во всех случаях процесса или взаимодействия. Взаимодействия могут проходить с распадом, соединением или изменением внутреннего состояния, разумеется, за счет “невидимой” энергии. Те же процессы взаимодействия по медико-биологическим меркам и критериям: рождение-образование и смерть-разрушение или между ними стабилизация, как бы пауза, “нейтральное”, т.е. стандартное повторение прежнего, стандартного. В этом тоже соблюдается принцип

тройственности, что в итоге приводит к равновесию.

Закон материи гласит, что все компоненты природы: масса, энергия, пространства находятся в постоянном “движении” – обновлении, т.е. в процессе взаимодействий, разумеется, с участием соответствующих вышеприведенных “переносчиков”, а также лучей, сигналов, звуков и т. д.

Для этого введены новые термины и понятия: закон обновления и равновесия, принципы тройственности, относительная относительность Аватара, информационная созидательная энергия Жаная, матричная и транспортная энергия, а для медико-биологических наук: энергопоглощаемость, энергонакопляемость, энергосохраняемость, энергообразуемость, энергоемкость, энергообрабатываемость, энергопроводимость, энергоотдаваемость, энергообмен в органических молекулах, энергоциркуляция – в системе цепи РНК и ДНК, имеющие значение в развитии и возникновении патологии.

“Закон обновления и равновесия” (без которого все превращается в “темную”) встречается повсюду, даже в общественных процессах [5], принцип тройственности, без которого все остается в движении – хаосе, без равновесия, прежде всего, энергии и заряды, а также симметрии и ассиметрии, плюс + и – минус, «-ти и анти» (например, кварк-антикварк, нейтрино-антинейтрино и т. д.) [6], в физике – плюсы и минусы, кварки и антикварки, нейтрино-антинейтрино, в биологии – мужское и женское. Для созидания необходима относительная относительность Аватара (без нового все остается в стандарте) и при этом ключевая, особая роль отведена энергии. Основываясь на принципе тройственности, учитывая существование положительной, отрицательной и нейтральной энергии (включая энергию заряда), это понятие дополнено еще тремя видами энергии – транспортной (приводящая в движение), матричной (копирующая, сохраняющая прежнюю структуру) и информационной созидательной энергией Жаная (создающая новое).

Значения введенных новых “понятий” и терминов: “информационная созидательная энергия Жаная” (слово “Жанай” в переводе с кыргызского языка означает “оживляющий”, “созидательный”). “Относительная относительность Аватара” – в мультфильме “Аватар”, Аватар по ходу движения, махая крыльями, как бы продолжает лететь, но стоит на одном месте, на неопределенное время задерживается, образуется вакуум в движении и времени – это “застойное” время отведено “относительной относительности” полета Аватара, как бы для размышления, раздумывания и изменения хода движения, т.е. Аватар как бы отклоняется от стандартного движения, идет в новом направлении. Таким образом, если бы не было этой относительной относительности полета, то не было бы созидания, образования нового, все повторялось бы по стандарту.

Таким образом, во всех случаях при осуществлении природных и общественных процессов взаимодействия компонентов материи (природы), “от начала до завершения” процесса взаимодействия, поэтапно соблюдаются “закон обновления и равновесия”, при этом до прихода в равновесие, проходя принцип неопределенности В. Гейзенберга, принцип дополненности Н. Бора, относительной относительности Аватара. В процессе созидания “нового” участвует информационная созидательная энергия Жаная. Повторение стандарта с незначительными, аномальными изменениями происходит с участием информационной матричной информационной энергии. На этом этапе для прихода в равновесие действует “принцип тройственности”, в итоге процесс завершается приходом в равновесие, т.е. образуется замкнутый зигзагообразный круг.

Такой углубленный интеграционный подход развивает логическое мышление исследователя, аспиранта, магистранта и студента, способствует развитию аналитического склада ума, улучшает качество умозаключений, сокращает время на проведение исследований, снижает их себестоимость, повышает достоверность полученных данных. Таким образом, использование углубленных интеграционных методов исследования, основанных на применении общих закономерностей в изучении взаимодействий компонентов материи, природы,

облегчило бы достоверное решение проблем, возникших во многих науках.

При проведении научных исследований или других действий необходимо учесть эти закономерности, принципы, относительной относительности Аватара, разновидности энергии и исхода процесса.

С точки зрения фундаментальной науки, во всех этих процессах взаимодействий сохраняется и соблюдается закон обновления и равновесия, отхватывающий процесс от начала и до конца. Обновление начинается с накопления транспортной энергии, которое приводит к принципу неопределенности В. Гейзенберга, далее – принцип дополнительности Н. Бора. При участии матричной информационной энергии и принципа тройственности, процесс завершается повторением старого, прежнего, а для созидания необходима относительная относительность Аватара. Для созидания нового необходимо наличие «информационной созидательной энергии Жаная», а в завершении процесса взаимодействия (прихода в равновесие), т.е. в обоих случаях, необходимо соблюдение «принципа тройственности».

Одной из проблем геохимии является содержание токсичных элементов и химических соединений в почве, которое оказывает воздействие не только на человека, но и на всех живых существ. Таким образом, создается проблема и для медицины и для ветеринарии, которая требует поиска решений.

Течение одного и того же процесса, т.е. взаимодействий, массы, энергии в определенном пространстве, в природных геохимических условиях и биосфере (медицине и ветеринарии, включая вирусы и микробы) имеет общие закономерности, с сохранением законов физики (энергии) и химии (массы), в определенном пространстве, в медико-ветеринарных науках. Поэтому изучение проблемы геохимии в природе, медицине и ветеринарии должно основываться на общих закономерностях, но с учетом принципа дополнительности Н. Бора.

Изменения геохимического состава непосредственно влияют на течение болезней [7], влияют на качество, содержание биологически активных веществ, минералов, в продуктах питания животного и растительного происхождения, в итоге – на самого человека. Также они оказывают влияние на состояние вирусов и микробов, находящихся в окружающей среде и биосфере, включая изоляты, выделенные от больных и здоровых людей, животных, меняют их молекулярную структуру, приводя к образованию новых и адаптированных местных штаммов, в том числе, форм, устойчивых к медицинским препаратам и даже одноименным вакцинам. Они приводят к изменению биохимических, ферментативных свойств, повышая их патогенность микробов [8] и изменяют антибиотикорезистентность. Все эти изменения влияют на частоту возникновения и особенности течения болезней людей и животных. Эти проблемы по-прежнему остаются малоизученными, создавая для человечества новые, более сложные проблемы, требующие решений, включая ремедиацию почвы, очищение воды и воздуха, а также выведение экотоксикантов из организма, разработку методов прогнозирования, моделирования возникающих заболеваний.

В то же время известно, что в структуре Вселенной 70% составляет темная энергия, 25% темная масса, 0,5% нейтрино, 4–5% из всей массы Вселенной существуют в виде осязаемых нами веществ, т.е. частиц с массой (протоны, нейтроны и электроны) [1] и элементарных частиц, переносчиков взаимодействий. Учитывая, что все переносчики взаимодействий имеют обменную природу [4], т. е. реализуются в результате обмена фундаментальными частицами – переносчиками взаимодействий. Все науки, в том числе, биогеохимическая, медицинская и ветеринарная, не могут существовать без компонентов материи и переносчиков взаимодействий.

В итоге, при изучении проблемы и поиске путей ее решения, необходимо учитывать компоненты материи, природы, общества, с учетом свойственных всем процессам взаимодействия общих закономерностей, «закона обновления и равновесия». Без этого закона все превращается в никем не осязаемое “темное”. Также следует учитывать и использовать известные принцип неопределенности В. Гейзенберга, принцип дополнительности Н. Бора, для

повторения старого, известного – “информационную матричную энергию”, а для созидания нового необходимо учесть «относительную относительность Аватара» и «информационную созидательную энергию Жаная». В завершении процесса взаимодействия, т.е. прихода в равновесие, во всех случаях следует учитывать «принцип тройственности».

Заключение

Таким образом, использование углубленных интеграционных методов исследования, основанных на применении общих закономерностей и принципов, в изучении взаимодействий компонентов материи, природы, общества, создает условия для достоверного решения не только проблем геохимии, медицины, ветеринарии, но и других наук.

Литература

1. Клайн Д. Поиски темного вещества // В мире науки. – 2003. – № 7. – С. 18–25.
2. Крю Б. Биохимия. Медицинские и биологические аспекты / пер. с французск. – М. : Медицина, 1979. – С. 39.
3. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии : учебное пособие. – Томск : STT, 2009. – С. 60–84.
4. Скорохватов М.Д. Физика нейтрино: промежуточные итоги // Природа. – 2013. – № 12. – С. 45–55.
5. Тойчуев Р.М. Законы обновления и равновесия в природе и в управлении государством на современном этапе (фундаментально-прикладные аспекты) // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2014. – Т. 14, № 9. – С. 48–50.
6. Тойчуев Р.М. Принципы тройственности // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5-2. – С. 131–132.
7. Тойчуев Р.М. Медико-экологические проблемы юга Кыргызстана // Центральнo-Азиатский медицинский журнал. – 2007. – Т. 13, прил. 1 (3-й Национальный Конгресс по болезням органов дыхания 19-21 апреля 2007 г., Ош). – С.22–25.
8. Тойчуев Р.М. Особенности высевания брюшнотифозных палочек из загрязненной радионуклидами воды в разные сезоны года // Журнал инфектологии. – 2012. – Т. 3. – С. 99.

УДК 550.423

НОВЫЙ ПРЕПАРАТ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ШУНГИТА

С.Ф. Тютиков

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия
tyutikov-sergey@rambler.ru

NEW PREPARATION OF RARE-EARTH ELEMENTS FROM SHUNGIT

S.F. Tyutikov

Institute of geochemistry and analytical chemistry of V. I. Vernadsky of RAS, Moscow, Russia
tyutikov-sergey@rambler.ru

Astract. Известные методы получения препаратов редкоземельных элементов (РЗЭ) из шунгита характеризуются значительными потерями на стадии производства, а также недостаточным коэффициентом концентрирования. Получаемый жидкий препарат быстро портится при хранении. Отсутствует оперативная возможность приготовления необходимой для конкретных задач (биологически активная добавка (БАД) для человека, премикс для животных или косметическое средство) жидкой формы с заданной концентрацией РЗЭ. Предлагаемый сухой концентрат водного экстракта шунгита (СКВЭШ) характеризуется повышенным коэффициентом концентрирования, переводом жидкой формы в сухое порошкообразное состояние готового продукта, повышением процентного выхода большинства РЗЭ по сравнению с исходным жидким водным экстрактом шунгита (ВЭШ). Достигается возможность быстрого приготовления жидкой формы с повышенной концентрацией РЗЭ.

С начала нынешнего столетия, в условиях усиливающегося техногенеза биосферы, научно-практический интерес к РЗЭ (лантаноиды, иттрий и скандий) демонстрирует тенденцию к неуклонному росту. Проводятся исследования не только в русле геолого-микробиологических исследований [1], но и в аспекте биогеохимии [3] и геохимической экологии [2], оценивается также их влияние на здоровье человека [9] и животных [10]. Подобная ситуация складывается и с исследованиями одного из древнейших минералов, а по мнению некоторых геологов – горной породы, – шунгита, находящего применение, в частности, в технологиях очистки воды от радикальных и ион-радикальных компонентов, а также в парфюмерно-косметической промышленности [4, 5]. Полезные свойства шунгита, издавна применяемого в медицине, связаны с присутствием в его составе подвижных форм РЗЭ, как это было показано нами ранее [8].

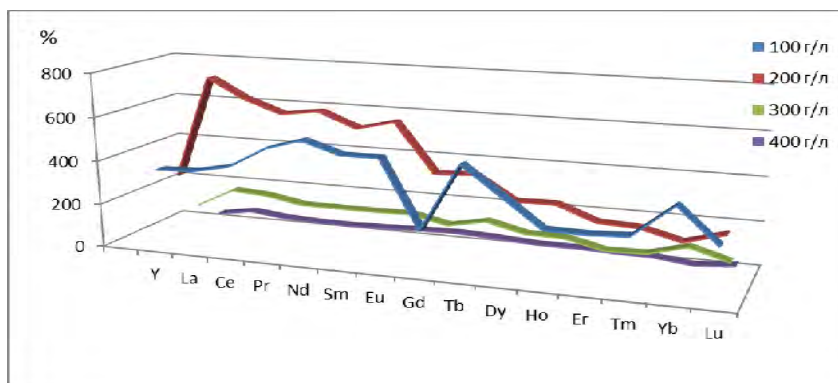


Рис. 1. Зависимость интенсивности (в %) выхода РЗЭ из щебня шунгита в водный экстракт от массы навески. За 100% принят выход при навеске 500 г/л

На рисунке 1 представлена диаграмма зависимости перехода РЗЭ из твердой фазы шунгита в его жидкий экстракт от массы навески в процентах. За эталон принята интенсивность перехода при массе навески 500 г и объеме воды 1 литр. Значение pH находилось в пределах 2,9–3,2. Выявлено, что четкая зависимость между массой навески и интенсивностью перехода РЗЭ в жидкий ВЭШ отсутствует для всех исследованных 15 элементов. Для подавляющего большинства графиков характерно наличие нескольких пиков. По нашему мнению, это явление, помимо разницы в физико-химических свойствах самих химических элементов, может быть объяснено гетерогенностью частиц шунгитового щебня, различающегося от навески к навеске. Так, визуально легко фиксируется наличие включений окислов железа (ржавчины) на поверхности отдельных частиц. Кроме этого, общеизвестным является факт наличия в составе шунгита серосодержащих соединений, при контакте с водой в присутствии кислорода воздуха образующих серную кислоту [7]. По-видимому, именно с этим связано варьирование pH в пяти повторностях, что, в свою очередь, приводит к повышению интенсивности выхода РЗЭ в раствор при более низком pH. Тем не менее, из данных рисунка 1 следует, что наибольшая интенсивность перехода большинства РЗЭ из твердой фазы в ВЭШ наблюдается при навеске 200 г/л.

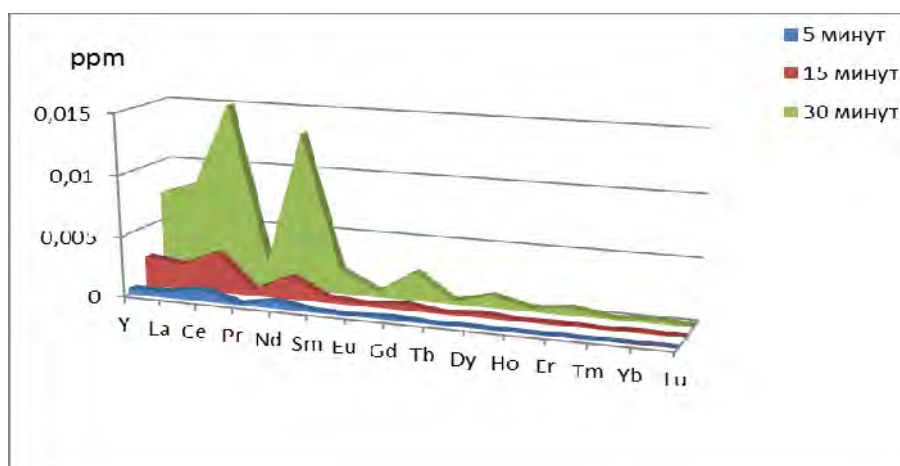


Рис. 2. Содержание РЗЭ в водном экстракте шунгита после кипячения с шунгитом через 5, 15 и 30 минут

Следующим этапом работ явилось исследование зависимости интенсивности перехода РЗЭ в ВЭШ в процессе кипячения. На рис. 2 представлены результаты аналитического определения присутствия РЗЭ в ВЭШ в зависимости от времени кипячения смеси ВЭШ с шунгитом. Как несложно заметить, в отличие от первого опыта, в данном случае прослеживается четкая прямая зависимость выхода РЗЭ в ВЭШ от времени кипячения. Практически по всей «линейке» РЗЭ пики концентраций для разного времени кипячения совпадают.

В связи с показанными нами ранее биологическими эффектами ВЭШ [8] представляло интерес открытие способа дальнейшего повышения концентрации РЗЭ в этом препарате шунгита. Для этого нами были проведены опыты по упариванию исходного ВЭШ медленным кипячением, а также с применением вакуумного роторного испарителя. Результаты этих исследований опубликованы [7].

Недостатками всех известных препаратов шунгита, включая наши собственные прежние разработки, являются следующие: 1. Значительные потери РЗЭ при концентрировании в результате применения упаривания при кипячении или вакуумного роторного испарителя; 2. Недостаточная степень концентрирования исходного жидкого продукта; 3. Недостаточный срок хранения вследствие того, что жидкий препарат в принципе не может долго храниться при обычных условиях без введения в его состав специальных ксенобиотиков-консервантов;

4. невозможность оперативного приготовления необходимого для конкретных задач (употребление в качестве БАД для человека, приготовление премикса для животных или косметического медицинского средства) препарата шунгита с заданной концентрацией РЗЭ. Каждый раз необходимо готовить жидкий препарат по полному циклу: промывать щебень шунгита, настаивать несколько суток на родниковой воде, очищать от взвеси и концентрировать. Задача по устранению этих недостатков была решена путем перевода жидкого ВЭШ в сухое порошкообразное состояние посредством лиофилизации [6].

Предлагаемый принципиально новый препарат СКВЭШ позволяет получить ряд значительных преимуществ. Это и больший процент выхода РЗЭ (уменьшение потерь при производстве); и возможность быстрого приготовления жидкого препарата; и сохранение «натуральности» продукта, то есть отсутствие в его составе химически синтезированных компонентов. Особую значимость имеет достигнутая возможность неограниченно долгого хранения препарата без потери качества и, одновременно, быстрого приготовления жидкой формы с заданными концентрационными характеристиками путем растворения сухого концентрата.

Литература

1. Добрецов Н.Л., Жмодик С.М., Лазарева Е.В. и др. Структурно-морфологические признаки участия микроорганизмов в формировании богатых Nb-REE-руд Томторского месторождения (Россия) // ДАН. Науки о Земле. – 2021. – Т. 496, № 2. – С. 154–157.
2. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементов / отв. ред. Т.И. Моисеенко. – М., 2018 – 386 с.
3. Паничев А.М., Барановская Н.В., Чекрызов И.Ю. и др. Дефицит редкоземельных элементов в компонентах ландшафта как причина геофагии среди копытных на о. Ольхон // ДАН. Науки о Земле. – 2023. – Т. 511, № 2. – С. 176–180.
4. Патент РФ RU 2101001 C1 «Растворитель-ингредиент для парфюмерно-косметических средств, способ его получения и способ его хранения». Авторы: Рысьев О.А., Чечевичкин В.Н., Афиногенов Г.Е. Опубликовано: 10.01.1998, Бюлл. № 1.
5. Патент РФ RU 2167107 C1 «Способ очистки воды от радикальных и ион-радикальных частиц». Авторы: Воейков В.Л., Волков А.В., Кондаков С.Э. и др. Опубликовано: 20.05.2001, Бюлл. № 14.
6. Патент РФ RU 2831823 C02F «Способ получения сухого концентрата водного экстракта шунгита»// Автор: Тютиков С.Ф. Дата публикации: 16.12.2024 г. Бюлл. № 35.
7. Сафонов В.А., Тютиков С.Ф. Технологии водной экстракции и концентрирования редкоземельных элементов из шунгита для использования в животноводстве // Ветеринарный фармакологический вестник. – 2024. – № 3(28). – С. 35–47.
8. Ponomaryov A., Tyutikov S., Podkolzin I.V. et al. Assesment of the chemical composition of shungite of the Zazhoginsky field for its use in biotechnology // Geochemistry International. – 2022. – Vol. 67(2). – P. 203–212.
9. Rim K., Koo K., Park J. Toxicological evaluations of rare earths and their health impacts to workers: a literature review // Safety and Health at Work. – 2013. – Vol. 4(1). – P. 12–26.
10. Summers M., Crowe S., Ng K. Administration of lanthanum chloride following a reminder induces a transient loss of memory retrieval in day-old chicks // Neurosci Biobehav. Rev. – 2003. – Vol. 27. – P. 219–231.

УДК 550.4:574.4

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН, ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СКАНИРУЮЩЕЙ
ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ КОСТНОГО МАТЕРИАЛА ЛОСЯ *ALCES ALCES*
(LINNAEUS, 1758)**

Л.А. Хайрулина^{1,2,3}, Л.Н. Белан^{1,2}, Н.В. Барановская⁴

¹Уфимский университет науки и технологий

²МНОЦ «Кафедра ЮНЕСКО «Геопарки и территории устойчивого развития»

³АНО «Центр науки, просвещения, экологии, культуры и туризма «Геопарк Янган-Тау»

⁴Томский политехнический университет

khayrulinala@uust.ru

**ECO-GEOCHEMICAL PROFILE OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN
INFERRED FROM SEM ANALYSIS OF *ALCES ALCES* (LINNAEUS, 1758) BONE**

L.A.Khayrulina^{1,2,3}, L.N. Belan^{1,2}, N.V. Baranovskaya⁴

¹Ufa University of Science and Technology

²IREC «UNESCO Chair «Geoparks and Territories of Sustainable Development»

³ANO «Center for science, education, ecology, culture and tourism «Geopark Yangan-Tau»

⁴Tomsk Polytechnic University

khayrulinala@uust.ru

Abstract. В работе представлены результаты исследования элементного состава костной ткани лося *Alces alces* (Linnaeus, 1758). Пробы отбирались в районах, отличающихся геологическим строением и металлогеническими особенностями. Анализ методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) выявил различия в накоплении элементов в костной ткани, отражающие геохимическую неоднородность территории. Обоснована перспективность использования костной ткани диких млекопитающих в качестве биоиндикатора для оценки экологического состояния окружающей среды в Республике Башкортостан (РБ).

Введение

Западная часть РБ относится к Восточно-Европейской платформе (ВЕП), восточная – к складчатой области Южного Урала; граница между этими зонами проходит по Предуральскому прогибу (рис. 1).

Перечисленные зоны имеют разное геологическое строение и характеризуются существенными различиями эколого-геохимических особенностей. Костный материал млекопитающих, благодаря способности накапливать и концентрировать химические элементы, может являться индикатором загрязнения окружающей среды. В данной работе приводятся результаты исследования эколого-геохимической обстановки нескольких районов РБ на основе костного материала лося *Alces alces* (Linnaeus, 1758).

Давлекановский район находится в пределах платформенной части РБ. Осадочные образования представлены рифейским (авлакоген) и венд-палеозойским (осадочный чехол) комплексами, общей мощностью до 3 км. В пермское время здесь располагался Палеоуральский океан, в котором накапливались эвапориты (известняки, гипсы) и терригенные осадки. По окончании пермского периода на данной территории установился континентальный режим. Полезные ископаемые района представлены главным образом нефтью. На территории района располагается торфяное болото Берказан-Камыш [3].

Архангельский район (его большая часть) расположен в пределах Предуральского краевого прогиба – переходной структуре к Уралу, отличающейся значительной мощностью отложений. Отложения прогиба принципиально не отличались по составу от рядом расположенных платформенных почти до начала перми. С конца карбона, с началом надвига Уральского

орогена, в прогибе образовалась глубоководная впадина, заполнявшаяся терригенными флишевыми толщами, возникшими в результате эрозии Урала. На территории района расположены нефтяные месторождения и многочисленные месторождения строительного камня [5].

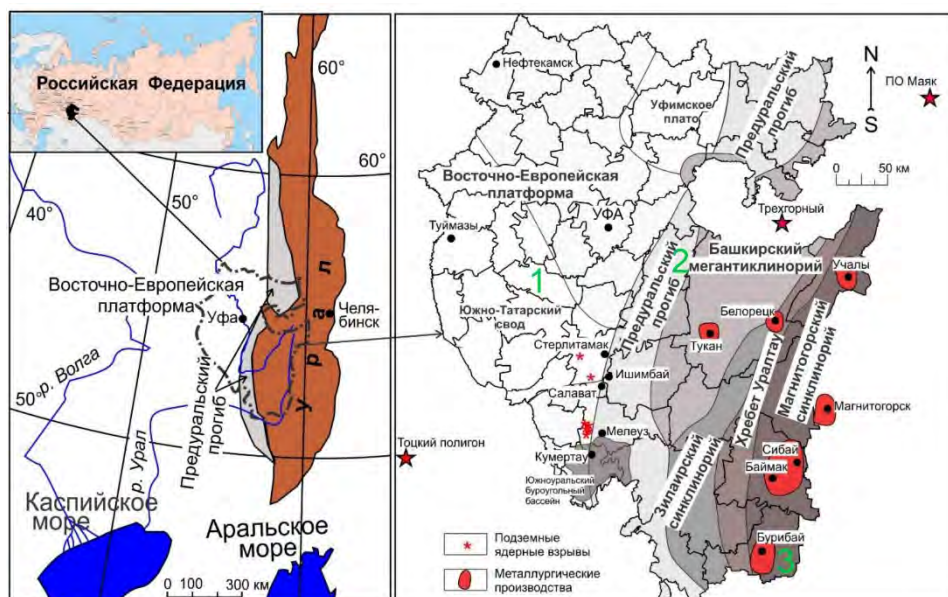


Рис. 1. Обзорная геоэкологическая карта территории РБ [7]: цифрами обозначены районы: 1 – Давлекановский, 2 – Архангельский, 3 – Хайбуллинский

Хайбуллинский район расположен в пределах складчатой зоны Южного Урала. Территория сложена преимущественно вулканогенными комплексами сопоставимыми с вулканитами современных островных дуг. На территории района осуществляется добыча и обогащение руд медного колчедана, добыча золота и серебра. Генезис месторождений аналогичен современным "черным курильщикам". Основные компоненты – Cu (15–20% от общероссийской добычи), Zn (более половины добычи в РФ) и Au [4, 5].

Материалы и методы

В качестве фактического материала была отобрана бедренная кость лося *Alces alces* (Linnaeus, 1758), добытого по охотничьим лицензиям с октября по ноябрь 2024 г. на территории Давлекановского, Архангельского и Хайбуллинского районов РБ. Исследуемый материал костной ткани млекопитающего высушивался при температуре до ста градусов Цельсия в лаборатории ИХЗЧС УУНИТ и изучался с использованием СЭМ в аналитическом центре кафедры геоэкологии и геохимии НИ ТПУ. Статистическая обработка данных не проводилась (в связи с малым объемом выборки).

Результаты и их обсуждение

Предварительные результаты элементного анализа костей лося методом СЭМ выявили различия в накоплении химических элементов в костях, отобранных в районах с разным уровнем содержания химических элементов (табл. 1).

В пробе 1.12 отобранной на территории, сложенной преимущественно эвапоритами и терригенной толщей, в костях обнаружены K, Cl, S, Si, Fe, Zn, Sr. В пробе 1.14 отобранной на территории, связанной с вулканогенно-осадочными отложениями и колчеданным оруденением – Fe, Au, Zn, Cu, Ag, K. В пробе 1.18 связанной с осадочными толщами, в костной ткани выявлены Ca, P. Данные различия указывают на наличие взаимосвязи между геологическим строением территории и накоплением химических элементов в костях лося, что позволяет

рассматривать костный материал диких млекопитающих в качестве потенциального индикатора экологического состояния территории РБ.

Таблица 1. Результаты СЭМ и корреляция с эколого-геологической обстановкой районов РБ.

Зона	Металлогенический комплекс по данным [2]	Номер пробы	Район	Результаты СЭМ	Эколого-геологическая обстановка района по данным [1,3]
Платформенная часть	Нефтегазовый [CH] Сланцево-угольный [C] Урановый [U] Меднорудный [Cu] Титан-Циркониевый [TiZr] Алмазный [di] Редкометалльный [RM]	1.12	Давлекановский	K, Cl, Na, S, Si, Fe, Zn, Sr	Удовлетворительная. Среди неблагоприятных природных факторов здесь ведущую роль играет карст. Антропогенная нагрузка невелика и обусловлена сельским хозяйством.
Предуральский прогиб	Нефтегазовый [CH] Солевой натриевый [Na] Солевой калиевый [K]	1.18	Архангельский	Ca, P	Благоприятная. Техногенное воздействие на среду здесь минимально. Единственным опасным антропогенным фактором является интенсивная рубка лесов.
Южный Урал	Меднорудный [Cu] Золоторудный [Au] Железорудный [Fe]	1.14	Хайбуллинский	Fe, Au, Zn, Cu, Ag, K,	Кризисная. Складывается преимущественно вокруг очагов интенсивной техногенной нагрузки в виде горнодобывающих предприятий.

Заключение

В результате данного исследования выявлена корреляция между эколого-геохимической обстановкой изученных районов РБ и содержанием химических элементов в костной ткани млекопитающих вида *Alces alces* (Linnaeus, 1758), обитающих на изученных районах РБ. Дальнейшие исследования в данном направлении помогут изучить факторы, влияющие на формирование элементного состава организма животных и разработать эффективные методы биогеохимического мониторинга и оценки экологического риска для территории РБ [6, 8].

Литература

- Белан Л.Н. Геоэкологические основы природно-техногенных экосистем горнорудных районов Башкортостана : дис. ... докт. геол.-минерал. наук. – М., 2007. – 297 с.
- Карта Минерагенического районирования Республики Башкортостан. Масштаб 1:2 100 000, составленной по материалам МПР РФ. – Институт Карпинского.
- Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Сначев В.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-40 – Уфа. Объяснительная записка. – СПб. : Карт. фабрика ВСЕГЕИ, 2013. – 512 с.
- Никонов В.Н., Белан Л.Н., Хайрулина Л.А. Геология, геохимия и геоэкология Башкирского Зауралья : монография. – Уфа : УУНиТ, 2022. – 96 с.
- Пучков В.Н. Геологическое строение и полезные ископаемые Башкирии (краткий очерк) // Геологический сборник. – 2014. – № 11. – С. 3–14.
- Рулик М.А., Барановская Н.В., Паничев А.И. и др. Элементный состав костей млекопитающих как индикатор состояния окружающей среды // Труды XII Международной биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В.В. Докучаева. – Тула, 2021. – С. 457–461.
- Фархутдинов И.М. и др. Влияние геологических факторов на распределение урана и тория в солевых отложениях питьевых вод (Республика Башкортостан) // Известия Томского поли-

- технического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 4. С. 16–27.
8. Фархутдинова Л.М., Никуличева В.И., Сперанский В.В. О роли микроэлементов в развитии эндемического зоба и соматических заболеваний // Вестник Башкирского университета. – 2007. – Т. 12, № 3. – С. 43–46.

УДК: 577.118.164+547.262: 611.81: 616.092.9

**ДИСБАЛАНС МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СТРУКТУРАХ ЦНС КРЫС,
ПОТРЕБЛЯЮЩИХ НАНОФОРМЫ ZN, FE, SE ПРИ АЛКОГОЛЬНОЙ
ИНТОКСИКАЦИИ И АБСТИНЕНЦИИ, МОДУЛИРУЕМОЙ ПАНТЕНОЛОМ**
**А.С. Черемисин, И.Н. Катковская, О.В. Титко, Ж.В. Мотылевич, В.А. Гуринович,
С.Г. Азизбекян, А.Г. Мойсеенок**

*Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси, Гродно, Беларусь
Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь
cherrynotberry@gmail.com, andrey.moiseenok@tut.by*

**MICROELEMENT IMBALANCE IN THE CNS STRUCTURES OF RATS
CONSUMING NANOFORMS OF ZN, FE, SE DURING ALCOHOL INTOXICATION
AND WITHDRAWAL MODULATED BY PANTHENOL**

**A.S. Cheremisin, I.N. Katkovskaya, O.V. Titko, Zh.V. Motylevich, V.A. Gurinovich,
S.G. Azizbekyan, A.G. Moiseenok**

*Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the NAS of Belarus, Grodno
Institute of Physical-Organic Chemistry of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus
cherrynotberry@gmail.com, andrey.moiseenok@tut.by*

3-недельное потребление половозрелыми крысами-самками наноконплекса Zn, Fe, Se приводила к росту аккумуляции Cu, Zn, Se, Cr в мозжечке и Cu, Cr в стволе мозга и падению Pb. Субхроническая алкогольная интоксикация (САИ) не уменьшала накопление Cu, Zn, Se, но снижала Cr и Mn в мозжечке и увеличивала Pb в обеих структурах. Отмена САИ нивелировала дисбаланс микроэлементов (МЭ) в мозжечке, но он сохранялся в стволе мозга. Дисбаланс МЭ коррегировался назначением D-пантенола.

САИ, как и синдром ее отмены, аналогичный абстинентному синдрому вызывают дисбаланс минеральных веществ с проявлениями гипокалиемии, гипомгнеземии и системные нарушения металлопротеома, ассоциированного с Se, Zn и Cr [1-3]. Способностью нормализовать патохимические нарушения при алкогольной интоксикации и устранять проявления абстинентного синдрома в эксперименте и клинике обладают производные пантотеновой кислоты, в частности, D-пантетин и D-пантенол [4]. Нейропротекторные свойства этих предшественников кофермента А могут быть связаны с их воздействием на металлопротеом и баланс микроэлементов в структурах ЦНС [5]. Целью настоящей работы является изучение статуса МЭ в мозжечке и стволе головного мозга, структурах отличающихся по нейрогенезу и кровоснабжению и играющих значительную роль в патогенезе САИ и абстинентного синдрома. Половозрелым крысам-самкам линии Вистар внутрижелудочно вводили в течение 3 недель коллоидный раствор наноконплекса (Fe 1,4 г/кг, Zn 1,1 г/кг, Se 1,3 г/кг) (НК), стандартизованного по размеру частиц 20–40 нм (производства НТОО «АКТЕХ», г. Минск). На 4-ой неделе животным ежедневно 2 раза в сут вводили этанол (30%, 5 г/кг) на протяжении 5 сут, моделируя САИ. Отдельным группам животных одновременно с этанолом применяли D-пантенол (ПЛ), 200 мг/кг. Эффект модуляции проверяли спустя 5 сут после отмены потребления этанола. Образцы мозга, замороженные в жидком азоте, растворялись в 65%-ной азотной кислоте, после разведения и центрифугирования подвергались масс-спектрометрии на приборе NexION 2000B (PerkinElmer, США). Расчет величин проведен в программе MS Excel.

Как следует из представленных данных (табл. 1) 3-недельное потребление крысами наноконплекса привело к увеличению аккумуляции Cr, выраженной тенденции к увеличению Cu и практически двукратному снижению аккумуляции Pb в стволе мозга. Эффект САИ выразился в увеличении накопления Se (относительно контроля) и резком увеличении аккумуляции Pb в данной нейроструктуре. Отмена САИ привела к существенному дисбалансу анали-

зируемых химических элементов, что проявилось в уменьшении аккумуляции Cr, Mn, Se и Pb, тогда как уровни Cu и, особенно, Zn возрастали. Назначение ПЛ на контролируемый период отмены САИ привело к существенному нивелированию дисбаланса элементов, который наблюдался в предшествующей группе. Это проявилось в нормализации уровня Cr, Mn, Cu, Se, тогда как аккумуляцию Zn осталось повышенным относительно контроля, а содержание Pb пониженным.

Таблица 1. Содержание химических элементов в образцах структур мозга крыс (мкг/г навески) с субхронической алкогольной интоксикацией и ее отменой, $M \pm SD$

Химический элемент	Контроль	НК	НК+САИ	НК+САИ+отмена	НК+САИ+отмена+ПЛ
Ствол мозга					
Cr	0,311 $\pm$ 0,018	0,381 $\pm$ 0,008*	0,302 $\pm$ 0,018@	0,282 $\pm$ 0,010* [@]	0,306 $\pm$ 0,016 ^{@\$}
Mn	0,603 $\pm$ 0,023	0,594 $\pm$ 0,027	0,609 $\pm$ 0,024	0,534 $\pm$ 0,018* ^{@#}	0,597 $\pm$ 0,024 ^{@#}
Fe	41,216 $\pm$ 1,666	42,165 $\pm$ 2,011	39,492 $\pm$ 1,583	40,357 $\pm$ 1,529	41,361 $\pm$ 1,634
Cu	2,038 $\pm$ 0,131	2,313 $\pm$ 0,096	2,199 $\pm$ 0,106	2,243 $\pm$ 0,087*	2,149 $\pm$ 0,059
Zn	7,131 $\pm$ 0,248	7,359 $\pm$ 0,307	7,361 $\pm$ 0,263	9,745 $\pm$ 0,251* [@]	7,476 $\pm$ 0,160 [@]
Se	0,303 $\pm$ 0,011	0,335 $\pm$ 0,027	0,340 $\pm$ 0,028*	0,261 $\pm$ 0,034 ^{@#}	0,303 $\pm$ 0,029 ^{@#}
Pb	0,142 $\pm$ 0,025	0,076 $\pm$ 0,005	0,423 $\pm$ 0,042	0,068 $\pm$ 0,010* ^{@#}	0,088 $\pm$ 0,005* ^{@#}
Мозжечок					
Cr	0,376 $\pm$ 0,021	0,465 $\pm$ 0,018*	0,315 $\pm$ 0,023* [@]	0,341 $\pm$ 0,033 [@]	0,281 $\pm$ 0,010* [@]
Mn	0,846 $\pm$ 0,083	0,617 $\pm$ 0,006*	0,677 $\pm$ 0,037*	0,581 $\pm$ 0,018* [#]	0,599 $\pm$ 0,019* ^{@#}
Fe	50,173 $\pm$ 2,095	50,503 $\pm$ 0,711	53,984 $\pm$ 1,995	48,730 $\pm$ 2,124	48,379 $\pm$ 1,714
Cu	2,629 $\pm$ 0,073	2,760 $\pm$ 0,020*	3,120 $\pm$ 0,148* [@]	2,386 $\pm$ 0,050* ^{@#}	2,896 $\pm$ 0,132* ^{@#}
Zn	9,171 $\pm$ 0,472	10,371 $\pm$ 0,164*	11,944 $\pm$ 0,611* [@]	9,769 $\pm$ 0,431 [#]	9,706 $\pm$ 0,389 [#]
Se	0,337 $\pm$ 0,014	0,472 $\pm$ 0,022*	0,456 $\pm$ 0,083*	0,365 $\pm$ 0,034	0,363 $\pm$ 0,036
Pb	0,102 $\pm$ 0,017	0,070 $\pm$ 0,007*	0,146 $\pm$ 0,017* [@]	0,093 $\pm$ 0,008 [#]	0,080 $\pm$ 0,006 ^{@#}

Примечание: * – $p < 0,05$ по отношению к группе «Контроль», @ – $p < 0,05$ по отношению к группе «НК», # – $p < 0,05$ по отношению к группе «НК+САИ», \$ – $p < 0,05$ по отношению к группе «НК+САИ+отмена».

Исследование аккумуляции химических элементов в мозжечке подопытных крыс показало, что потребление НК привело к увеличению уровня Cu, Zn, Se и Cr, при этом существенно снизился уровень Mn и Pb. Эффект САИ лишь частично изменил указанную картину баланса МЭ: произошло снижение уровня Cr, не достигшее уровня контроля и практически двукратное увеличение аккумуляции Pb относительно уровня относительно группы с потреблением НК. Большинство вышеуказанных изменений уровня элементов устранялось отменой САИ, за исключением сниженного уровня Mn и Cu, при этом аккумуляция Se, Zn и Pb достигло значений, характерных для группы контроля. Назначение ПЛ преимущественно нормализовало баланс исследованных МЭ, но уровни Cr и Mn не достигли значений контрольной группы и оставались на уровне, характерной для группы с САИ. В обеих изученных нейроструктурах аккумуляция Fe оставалась стабильной, как в случае потребления НК, так и при воздействии САИ и моделировании синдрома ее отмены (абстиненции).

Полученные результаты указывают на определенную стабилизацию баланса МЭ в нейроструктурах при потреблении наноконплекса Zn, Fe, Se, что проявилось в увеличении аккумуляции Zn, Se в мозжечке, а также в стабилизации баланса МЭ при САИ и ее отмене. Обращает на себя внимание стабильность аккумуляирования Fe при всех изученных воздействиях, в том числе при назначении препарата D-пантенола на фоне синдрома отмены. Наиболее значительным эффектом в картине дисбаланса МЭ при САИ оказалось увеличение уровня Se в нейроструктурах и накопление Pb в стволе мозга. Для синдрома отмены наиболее значительным изменением (как и для САИ) стало увеличение аккумуляирования Zn. Эти изменения в балансе МЭ отражают адаптивную реакцию на развивающийся нитрозитивно-окислительный стресс, реализуемую через металлопротеом и, конкретно через селенопротеины и изоферменты супероксиддисмутаза [2, 3]. Системные изменения металлопротеома могут объяснять повышенную аккумуляцию тяжелых металлов (например Pb) в результате нарушения функции металлотранспортирующих белков [1, 2]. Вероятный путь к коррекции дисбаланса МЭ при САИ и абстинентном синдроме – это применение метаболических факторов, влияющих на энергетический обмен [4, 5].

Литература

1. Baj J. et al. Magnesium, calcium, potassium, sodium, phosphorus, selenium, zinc, and chromium levels in alcohol use disorder: a review // J. Clin. Med. – 2020. – Vol. 9(6). – Art. No. 1901.
2. McLean C. et al. Systematic review of nutritional interventions for people admitted to hospital for alcohol withdrawal // Nutr. Diet. – 2020 – Vol. 77(1). – P. 76–89.
3. Nicoll R., Gerasimidis K., Forrest E. The role of micronutrients in the pathogenesis of alcohol-related liver disease // Alcohol and Alcoholism. – 2022. – Vol. 57(3). – P. 275–282.
4. Мойсеенок А.Г. Кофермент А-зависимые механизмы детоксикационной терапии алкоголизма // Актуальные медико-биологические проблемы алкогольной и других химических зависимостей : тез.докл. III Междунар. научно-практич.конф. (05.10.2023, Гродно). Прилож. к журн. «Биохим. и молекуляр. биология» – 2023. – № 2 (3). – С. 25 – 26.
5. Мойсеенок А.Г., Канунникова Н.П. Система метаболизма CoA и ацетил-CoA головного мозга в механизмах нейродегенерации // Биохимия. – 2023. – Т. 88, вып. 4. – С. 569–587.

Секция 8

НОВЫЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ В БИОГЕОХИМИИ: BIG DATA, MACHINE LEARNING, ARTIFICIAL INTELLIGENCE

УДК 004.02

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КРОВИ

М.Б. Бардамова¹, Н.В. Барановская²

¹Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

²Томский политехнический университет, Томск, Россия

722bmb@gmail.com, nata@tpu.ru

APPLICATION OF MACHINE LEARNING FOR ELEMENTAL COMPOSITION ANALYSIS OF BLOOD

M.B. Bardamova¹, N.V. Baranovskaya²

¹Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

722bmb@gmail.com, nata@tpu.ru

Abstract. Работа описывает итоги эксперимента по созданию модели машинного обучения для решения задачи определения территории проживания людей по элементному составу крови. Для обучения модели использованы данные о жителях шести территорий. В качестве решающего алгоритма применяется нечеткий классификатор, построение которого выполняется в три этапа. За генерацию правил отвечает алгоритм экстремальных значений признаков классов, отбор признаков проводится бинарными метаэвристическими алгоритмами, настройка параметров термов – непрерывными метаэвристиками. Выбранный комплекс алгоритмов позволил получить нечеткий классификатор на основе шести правил и пяти признаков, средняя точность модели составила 96% на тестовых выборках.

Введение

Известно, что элементный состав крови людей значительно различается в зависимости от территории проживания [1]. Соответственно, можно обучить алгоритмы машинного обучения определять территорию проживания человека в автоматизированном режиме. При этом исследовательский интерес представляет выбор машиной информативных переменных. Цель данной статьи заключается в проведении анализа результатов построения модели машинного обучения для определения территории проживания человека по сведениям об элементном составе крови.

Материалы и методы

Задача определения территории проживания по элементному составу организма может быть сформулирована как задача классификации. В данном случае входным переменным (признакам) соответствуют данные о содержании химических элементов в организме, целевой переменной является метка территории проживания. Благодаря данным, накопленным сотрудниками ТПУ, был собран набор из 39 признаков, полученных с помощью инструментального нейтронного активационного анализа. Набор насчитывает 477 образцов данных с шести территорий: Томской, Челябинской и Иркутской областей, Республики Крым, Забайкальского края и Семипалатинского полигона Республики Казахстан.

Существует немало алгоритмов машинного обучения, способных выполнять классификацию; однако немногие предоставляют возможность извлечь полезную информацию из результатов своих рассуждений. Нечеткие системы предоставляют базу логических правил, доступную для понимания экспертами в анализируемой предметной области. При включении в процесс построения нечеткого классификатора процедуры отбора признаков в режиме обертки можно получить полезную информацию о значимости переменных при выполнении прогноза. В данной работе для генерации базы решающих правил использован алгоритм экс-

тремумов признаков классов, создающий по одному правилу на каждый имеющийся класс. Выбор признаков проведен путем ранжирования признаков по частоте встречаемости в выходах бинарных алгоритмов отбора. Для получения данных о частоте проведен запуск 30 версий бинарных метаэвристик, описанных в работе [2]. После формирования итоговых подмножеств признаков на каждом был построен отдельный нечеткий классификатор, затем проведена настройка параметров термов непрерывными метаэвристиками.

Результаты и их обсуждение

Первый этап эксперимента заключался в определении информативности признаков. Среди 30 используемых алгоритмов только 12 сумели преодолеть пороговое значение средней точности на тестовых выборках, равное 95 %. На основе результатов этих алгоритмов рассчитаны частоты появления признаков в информативных подмножествах. На рисунке 1 представлена диаграмма частот тех признаков, которые хотя бы однажды оказывались в числе информативных переменных.

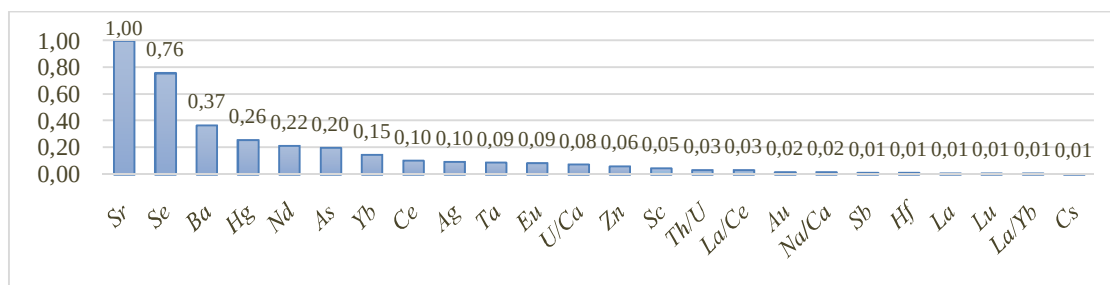


Рис. 1. Частоты признаков

Для выполнения следующего этапа эксперимента требовалось сформировать варианты подмножеств признаков. Для этой цели был использован жадный принцип: к подмножеству из признака с максимальной частотой (Sr) на каждом шаге добавлялся следующий по значению частоты признак. Для сохранения возможности интерпретации базы правил было решено ограничить количество признаков десятью. Результирующие значения точности, усредненные по пяти выборкам, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты построенных нечетких классификаторов

№	Подмножество признаков	Точность на обучении	Точность на тестировании
1	Sr	57,75	56,29
2	Se, Sr	84,47	80,84
3	Se, Ba, Sr	99,58	95,50
4	Se, Ba, Sr, Hg	100,00	95,87
5	Se, Ba, Sr, Hg, Nd	100,00	96,42
6	Se, Ba, Sr, As, Hg, Nd	100,00	95,13
7	Yb, Se, Ba, Sr, As, Hg, Nd	100,00	95,50
8	Ce, Yb, Se, Ba, Sr, As, Hg, Nd	100,00	95,02
9	Ag, Ce, Yb, Se, Ba, Sr, As, Hg, Nd	99,88	94,44
10	Ag, Ce, Yb, Se, Ba, Sr, Ta, As, Hg, Nd	99,64	92,43

Лучшая модель из пяти признаков была отдельно проверена на всей имеющейся базе; в результате она правильно классифицировала 475 из 477 образцов. База правил этой модели состоит из следующих утверждений: 1) если содержание Se очень высокое, Ba высокое, Sr вы-

сокое, Hg низкое, Nd очень низкое, то *Томская область*; 2) если содержание Se низкое, Ba очень низкое, Sr очень высокое, Hg ниже границы, Nd ниже границы, то *Челябинская область*; 3) если содержание Se среднее, Ba очень низкое, Sr высокое, Hg очень высокое, Nd очень низкое, то *Иркутская область*; 4) если содержание Se ниже границы, Ba низкое, Sr среднее, Hg ниже границы, Nd очень низкое, то *Республика Крым*; 5) если содержание Se ниже границы, Ba очень высокое, Sr очень низкое, Hg ниже границы, Nd очень низкое, то *Забайкальский край*; 6) если содержание Se ниже границы, Ba низкое, Sr ниже границы, Hg ниже границы, Nd очень большое, то *Семипалатинский полигон*. Термы описанной базы правил приведены на рисунке 2.

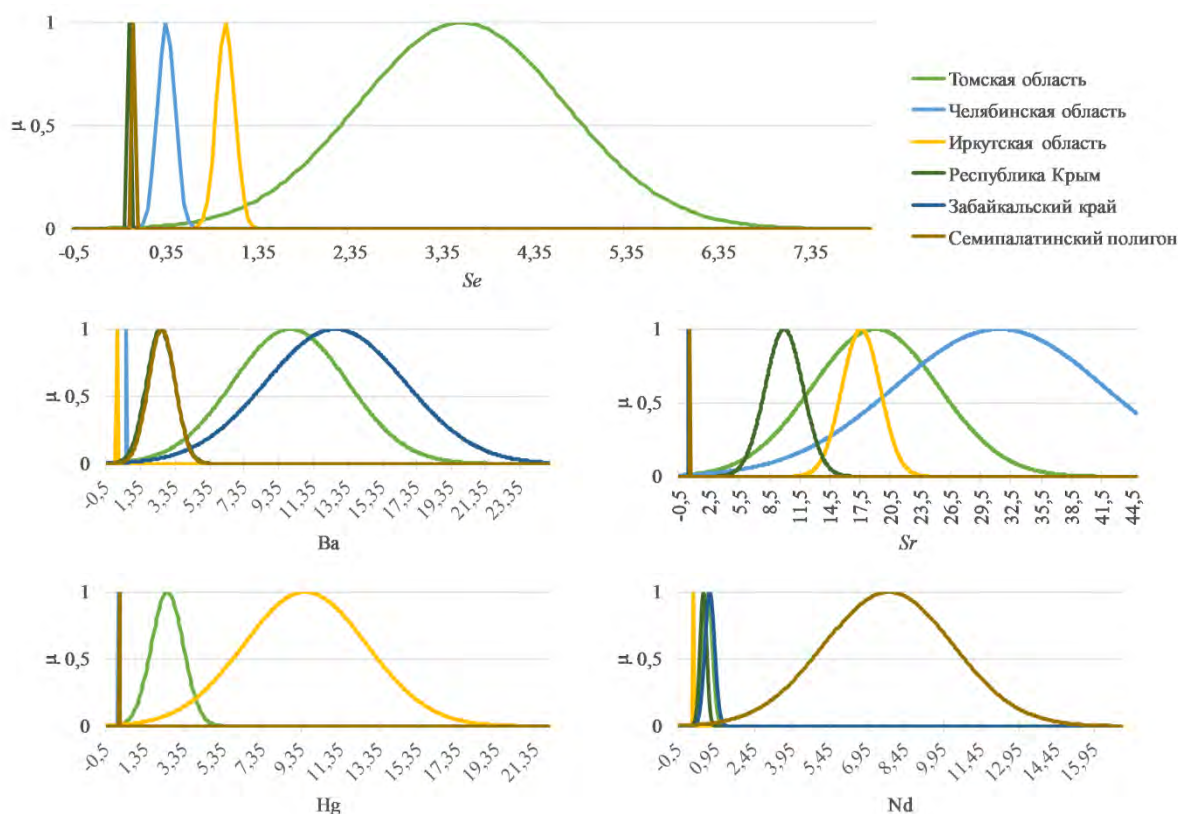


Рис. 2. Нечеткие термы

Заключение

Проведенные эксперименты показали, что задача построения модели машинного обучения для определения территории проживания человека по его элементному составу крови является решаемой. Для разделения по шести различным территориям созданному нечеткому классификатору потребовалось всего лишь пять признаков и шесть правил. Таким образом, полученная модель оказалась не только точной, но и достаточно компактной, что обеспечило ее интерпретируемость.

Литература

1. Барановская Н.В. Химические элементы в организмах жителей регионов России // Эволюция биосферы и техногенез : матер. Всерос. конф. с междунар. участ. – Чита, 2022. – С. 180–182.
2. Bardamova M.B., Svetlakov M., Sarin K. et al. Methods for binarization of metaheuristic algorithms for constructing compact fuzzy classifiers of medical data // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. – 2024. – Vol. 34(4). – P. 1303–1322.

УДК 504.009; 504.064.3

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е.М. Вершкова, Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия

vem@tpu.ru, nata@tpu.ru

POSSIBILITIES OF APPLYING MODERN NEURAL NETWORKS TO GEOECOLOGICAL RESEARCH

E.M. Vershkova, N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

vem@tpu.ru, nata@tpu.ru

Аннотация. Применение нейросетевых технологий в геоэкологических исследованиях позволяет эффективно обрабатывать большие объемы данных, выявлять скрытые закономерности и автоматизировать анализ научной литературы. В статье рассмотрены ключевые этапы взаимодействия с нейросетями: постановка задачи, выбор инструмента, подготовка данных и дообучение модели. Показаны возможности нейросетей в обработке научных текстов, анализе числовых и графических данных, а также в моделировании и прогнозировании экологических процессов. Особое внимание уделено специализированным ассистентам, упрощающим работу с нейросетевыми алгоритмами без необходимости программирования. Результаты демонстрируют, что использование нейросетей значительно ускоряет исследования, повышает точность прогнозов и расширяет аналитические возможности в геоэкологии.

Введение

Актуальность применения нейросетевых технологий в геоэкологических исследованиях обусловлена необходимостью обработки и анализа больших объемов литературных и аналитических данных, что позволяет выявлять скрытые закономерности и взаимосвязи, существенно ускоряя процесс научных исследований. Порядок решения задач с помощью нейронных сетей состоит из следующих этапов:

1. Постановка задачи – в настоящее время нейросети требовательны к формулировке запросов для корректного взаимодействия и генерации релевантных результатов.
2. Выбор нейросети или ассистента – большой выбор научных ассистентов освобождает пользователя от необходимости прямого взаимодействия с нейросетью и облегчает работу.
3. Подготовка исходных данных и запросов – нейросети могут работать как с имеющимися источниками, в том числе и из сети интернет, так и с предоставленными пользователем.
4. Дообучение нейросети при необходимости – для получения наиболее качественных результатов возможно предоставление нейросети дополнительных данных, корректировка запросов и параметров нейросети.

В настоящее время нейросети решают большое количество задач геоэкологических исследований. При этом в большинстве случаев не требуется навыков программирования или промпт-инжиниринга, поскольку существующие ассистенты являются проводниками между пользователями и нейросетями.

Основные решаемые задачи

Обработка научной и фондовой литературы. Современные технологии записи и хранения данных способствовали накоплению значительных объемов геоэкологической информации, включая результаты научных исследований, статьи, базы данных и др. Различные объекты

геоэкологических исследований были изучены учеными с различных сторон. Накопленные массивы данных представляют собой ценный ресурс для выявления взаимосвязей и закономерностей, что открывает новые горизонты для научных исследований и практических применений в области геоэкологии. Сбор, анализ и обработка научной информации является трудоемкой задачей.

В этом контексте нейросетевые технологии предлагают значительные преимущества. Нейросети способны обрабатывать большие объемы данных, выявлять скрытые закономерности и взаимосвязи, что существенно ускоряет процесс анализа научной литературы. Нейросети могут быть использованы для автоматического поиска и анализа текстов научных статей, выделения ключевых понятий и тем, а также для классификации и систематизации информации [2].

Например, один из популярных ИИ научных ассистентов (The AI Research Assistant) дает возможность найти научные статьи по заданной тематике, задать критерии отбора статей (например, район работ, среду исследования, размер выборки или вид анализа), отобрать статьи по заданным критериям и представить информацию в виде наглядной таблицы. Ассистент дает возможность загружать и собственные файлы, которые не представлены в интернете и таким же образом их обрабатывать. В результате можно получить структурированную таблицу с требуемыми данными. Например, извлечь все данные о содержании химических элементов в почвах, полученные разными авторами в десятках статей, отчетов и диссертаций.

По полученной информации современные Большие языковые модели (LLM) способны выполнить основные исследовательские задачи, такие как разработка тем исследований, формулирование гипотез, составление заявок на гранты, написание научных блогов, помощь в рецензировании и другие. При этом нет необходимости в навыках программирования, достаточно использовать любые современные генеративные нейросети с правильно сформулированными запросами [1].

Анализ и интерпретация данных. Современные нейросетевые технологии значительно расширяют возможности в обработке и интерпретации больших массивов аналитической информации. Нейросети способны обрабатывать разнообразные типы данных, такие как текстовые документы, числовые показатели, графические изображения и временные ряды, что позволяет выявлять скрытые закономерности и взаимосвязи [3].

При анализе числовых данных нейросети могут применяться для выявления трендов, аномалий и корреляций между различными параметрами. Это особенно важно для геоэкологических исследований, например, для поиска взаимосвязей между геохимическими аномалиями и техногенным воздействием на окружающую среду.

Существующие в настоящее время специализированные нейросети для обработки больших данных позволяют самостоятельно находить закономерности и обрабатывать данные без сложных запросов пользователя [4]. Нейросети могут работать с любыми типами табличных данных, а так же с изображениями, например, умеют считывать информацию с графиков в форматах изображений.

Другие графические данные, такие как спутниковые снимки и карты, также могут быть проанализированы с использованием нейросетей. Современные модели компьютерного зрения способны распознавать и классифицировать объекты на изображениях, что позволяет автоматизировать процесс анализа визуальных данных. Это особенно полезно для мониторинга состояния окружающей среды, выявления зон загрязнения и оценки состояния экосистем.

Временные ряды данных, такие как климатические показатели и данные мониторинга, могут быть проанализированы с использованием нейросетей, которые способны выявлять временные зависимости и прогнозировать будущие значения на основе исторических данных.

Моделирование и прогнозирование. На основании полученных данных нейросети могут строить модели и давать прогнозы. Например, можно построить модель зависимости уровня

заболеваемости населения от степени загрязненности территории. На основании этой модели осуществляется прогнозирование заболеваемости. Такие модели позволяют не только анализировать текущее состояние, но и прогнозировать будущие тенденции [1].

В настоящее время возможно дообучение нейросетей на основе собственных данных для построения более точных моделей и прогнозирования. Однако этот процесс не является сложным и не требует существенных познаний в программировании. Например, обучить нейросеть можно на основе данных в программной системе Matlab. Точность прогнозов обученной нейросети очень высока. Это связано с тем, что нейросети способны выявлять сложные нелинейные зависимости в данных, которые могут быть неочевидны при традиционных методах анализа. Например, нейросети могут учитывать множество факторов одновременно, что позволяет строить более точные и надежные прогностические модели.

Заключение

Применение нейросетевых технологий в геоэкологических исследованиях значительно ускоряет обработку и анализ данных. Нейросети автоматизируют поиск и анализ научной литературы, выделяя ключевые понятия и систематизируя информацию. Они обрабатывают разнообразные типы данных, включая текстовые документы, числовые данные и графические изображения, что расширяет возможности анализа. Это способствует разработке стратегий улучшения экологической обстановки и снижению рисков для здоровья населения, открывая новые горизонты для научных исследований и практических применений в геоэкологии.

Литература

1. Cox L.A. An AI assistant to help review and improve causal reasoning in epidemiological documents // *Global Epidemiology*. – 2024. – Vol. 7. – Art. No. 100130.
2. Gannon D. The Research Assistant and AI in eScience // *15th International Conference on eScience (eScience)*. – San Diego, CA, 2019. – С. 458–462.
3. Padakanti S., Kalva P., Kommidi V. R. AI in scientific research: empowering researchers with intelligent tools // *Int. J. Sci. Res. Comp. Sci., Engin. Inform. Tech.* – 2024. – Vol. 10(5). – P. 1–12.
4. Rashidov A. Artificial intelligence in scientific research // *Strategies for Policy in Science and Education*. – 2024. – Vol. 32(5s). – P. 35–45.
5. Shamsabadi M., D'Souza J. A fair and free prompt-based research assistant // *International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems*. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2024. – P. 218–224.

УДК 543.456:550.47

ТРУДНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

С.С. Ильенок¹, С.И. Арбузов^{1,2}

¹Томский политехнический университет, Томск, Россия

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

ilenokss@tpu.ru, siarbuzov@mail.ru

DIFFICULTIES IN ORGANIC MATTER RESEARCH BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

S.S. Ilenok¹, S.I. Arbuzov^{1,2}

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

ilenokss@tpu.ru, siarbuzov@mail.ru

Abstract. Рассмотрены сложности, с которыми исследователь может столкнуться при подготовке образцов органических веществ к сканирующей электронной микроскопии. Микрочастицы, обнаруженные в ходе исследований, не всегда являются первичными. Заражение образца может произойти на каждом из этапов работы, начиная с пробоотбора. В работе приводятся примеры таких заражений и обсуждаются вероятные источники.

Введение

Органическое вещество является сложной средой для изучения на сканирующем электронном микроскопе. С одной стороны, изучение вещества, состоящего на ≥ 90 % из углерода, является очень времязатратным. С другой стороны, пробоподготовка может сопровождаться большими сложностями. Основная проблема при изучении таких проб состоит в том, что органика – диэлектрик и обладает низкой термоустойчивостью. Это отражается в артефактах при скоплении заряда, дрейфе и деформации органического вещества под действием высоких температур, превышающих 200 °С. Еще в начале 2000-х гг. ученые были вынуждены придумывать специфические способы получения изображений. Например, фокусировка электронного пучка проходила на одном участке, после чего пучок переводился на нужный участок и быстро делался снимок, пока изображение не испортилось. Позже появилась возможность гибкой настройки режима работы прибора и вакуумной системы, стали более доступными устройства для вакуумного напыления проводящего покрытия. В начале 1990-х гг. появляются криогенные системы на основе жидкого азота [5], а позднее и безазотные устройства [4], позволяющие изучать на электронном микроскопе влажные органические образцы. В начале 2000-х гг. получили широкое распространение микроскопы с полевым катодом [6], позволяющие получать качественные изображения даже при низком ускоряющем напряжении (< 1 кВ). Такие системы обладали возможностью изучать диэлектрики без сложной пробоподготовки и даже исследовать структуру взрывчатых веществ.

Методика

В основном, на базе лаборатории электронно-оптической диагностики изучаются следующие виды органического вещества: бурый и каменный уголь, торф, листья древесных растений и трав, органы животных, шерсть и человеческие волосы.

Образцы угля могут быть подготовлены несколькими путями: кусочек угля в шашке, угольная пыль или зола угля в шашке; угольная пыль или зола угля, нанесенные на углеродный скотч. Также изучаются свежие сколы угля [3]. Их сложнее готовить к микроскопии, но именно на такие образцы оказывается наименьшее воздействие в схеме «пробоотбор-пробоподготовка-исследование». Образцы обдуваются сжатым воздухом, в качестве допол-

нения к обдуву можно воспользоваться вакуумной камерой напылителя, все слабозакрепленные частицы улетят, снизив риск загрязнения камеры электронного микроскопа и вакуумной системы.

Органика растительного и животного происхождения исследуется, в основном, в высушенном или озоленном виде [1, 2]. Заливка эпоксидной смолой не подходит, поскольку из-за низкой твердости органическое вещество выкрашивается, и образовавшиеся пустоты забиваются абразивом и сошлифованным материалом.

Существуют специфические исследования, например, изучение бактерий, клеток опухолей и микроорганизмов. В таких случаях ученые выращивают биологические образцы на углеродном скотче, химически фиксируют их (2 % глутаральдегидом), дегидрируют (30, 50, 70, 80, 90 и 100% этанолом) и сушат [7].

Поскольку органика – это диэлектрик, устранение накопленного заряда на поверхности образца во время электронно-микроскопического изучения осуществляется несколькими путями – напылением или режимом низкого вакуума. Например, при изучении шерсти и волос напыление металлического покрытия является необходимостью, потому что волос моментально прожигается насквозь электронным пучком. Важно нанести дорожку из проводящего материала, соединяющую поверхность препарата и заземленный держатель образца. В качестве такого материала может быть использована проводящая лента (углеродная, металлическая), либо клей с ионами металла высокой электропроводности (Ni, Ag, Au).

Положительным эффектом напыления является не только теплоотведение и заземление образца, но и сцепление частиц. Этот эффект крайне слабый для микрочастиц, но с наночастицами он более ощутим. Углерод – наиболее подходящий элемент для напыления образцов с целью их дальнейшего спектрального анализа. У элемента всего две энергетические линии (0,277 эВ) и перекрытие с линиями других элементов практически отсутствует. Кроме того, матрица ленты и само органическое вещество также состоят из углерода. Металл напыляется тогда, когда требуется получить изображение высокого качества, либо теплоотведение является критической необходимостью. В таком случае следует учитывать, что в спектре будут наблюдаться следовые концентрации соответствующих металлов. При исследованиях всегда следует учитывать состав напыления. В отделении геологии при МИНОЦ «Урановая геология» Томского политехнического университета находится устройство для напыления углерода SA7625 фирмы Emitech и напылитель металла SC7640 фирмы Quorum Technologies. Толщина покрытия углерода составляет ~17 нм. Для контроля толщины покрытия, как правило, применяется бронзовая пластина. Толщина металлического напыления составляет ~12,5 нм. Стоит отметить, что при изучении органического вещества напыление не всегда является эффективным, поскольку образцы зачастую обладают сильным рельефом, препятствующим полному покрытию поверхности. Такое островное напыление не способствует хорошему отводу тепла и стоку заряда.

Изучение образцов происходит на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi S-3400N. Оборудование находится в лаборатории электронно-оптической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» при отделении геологии ТПУ.

Загрязнение

Нужно знать историю работ в своей лаборатории и все нюансы предшествующей пробоподготовки, поскольку заражение образца может произойти на каждом этапе, начиная от прободбора и заканчивая подготовкой к анализу. Несколько примеров ложных находок из многолетнего опыта СЭМ анализа, а также анализ инструментов для отбора проб и пробоподготовки:

1. В процессе изучения почвы была выявлена La-Ni фаза, после чего исследователь был готов сделать вывод о влиянии определенного производства на окружающую среду. Однако двумя неделями ранее в лаборатории проводились исследования La-Ni порошка, ко-

торый и послужил источником находки в почве. До и после работ инструмент всегда протирается со спиртом, но наличие данной фазы на свежем образце спустя две недели может указывать на то, что микрочастицы переносятся с потоками воздуха от кондиционера в лаборатории.

2. В монофракциях, отобранных студентами из проб почвогрунтов, были выявлены включения самородной меди. Включения оказались следами от медной иглы, которой отбирались частицы.
3. Однажды при изучении фракций угля были выявлены значительные концентрации натрия. Фракции были плохо промыты после разделения в пирофосфате натрия, что и вызвало загрязнение натрием.
4. Для СЭМ-исследований была подготовлена шашка с зёрнами самородного золота. В золоте были выявлены микровключения корунда и муассанита. Позже выяснилось, что при шлифовке и полировке использовались Al_2O_3 и SiC абразивы.
5. Анализ свежего SiC абразива из коробки показал, что помимо карбида кремния в нем содержатся: силициды Fe и V-Ti-Fe, а также окислы Fe. В самом карбиде кремния обнаружены включения Ni-Fe состава.
6. Было проведено несколько экспериментов с углеродным скотчем, который используется в СЭМ-исследованиях. Сначала были изучены края свежесрезанного скотча, чтобы выяснить, чем может загрязниться скотч, контактирующий с поверхностью стола и ножниц, оценить площадь загрязнения от края. Затем пустой скотч был нанесен на алюминиевый столик и оставлен на ночь в лаборатории. На следующий день его поверхность была изучена для оценки возможного пылеаэрозольного загрязнения. Выяснилось, что 20 мкм от края углеродной ленты следует игнорировать, эти участки помимо значительного обогащения микрофазами выделяются своим рельефом. На поверхности ленты, оставленной на ночь, были выявлены единичные частицы кальциевых и алюмосиликатных фаз.
7. Состав режущей кромки канцелярских ножниц, которые используются для отрезания скотча – Fe(Cr,V), поры заполнены окислами железа с примесью хрома и ванадия.
8. Пинцет, используемый в пробоподготовке, имеет Fe_5CrMn состав. В царапинах выявлены бесформенные включения углеродной ленты. На скотче обнаружены прилипшие микрочастицы Ag, PbS и прочих минералов.
9. Для опробования угольных разрезов используется геологический молоток. Чтобы избежать ложных находок при изучении свежих сколов, боек молотка был изучен на СЭМ. Состав бойка – Fe(C), присутствует незначительная примесь кислорода.
10. Одним из этапов подготовки угольных образцов для дальнейших исследований является измельчение на виброистирателе. Стакан виброистирателя «НВ Микро» имеет Fe-Cr состав. Соотношение элементов варьирует на разных участках от 7:1 до 4:1, соответственно.
11. Перед истиранием угольные пробы дробятся в стальной ступе для получения фракции подходящей для истирания. Поскольку ступа и пестик не поместились бы в камеру микроскопа, от пестика было отобрано небольшое количество стружки, ее состав – Fe(C,Mn). Перед началом работ в ступе дробится битое стекло, таким образом, происходит очищение стенок ступы и пестика от ржавчины и ранее дробленных материалов. Несмотря на последующее промывание, инструмент может незначительно обогатить пробу кремнеземом.

Упомянутые источники возможного загрязнения образцов органических веществ не являются исчерпывающими, угольные пробы могут быть заражены при дроблении на щековой дробилке, использованной ранее для дробления других пород; животная органика может отбираться охотничьим ножом или топором, состав которых также нужно изучить. Следует аккуратно относиться к каждому «открытию», обнаруженному в органике.

Бывают и противоположные случаи, когда находка ошибочно считается загрязнением. Например, W и W-O(Co) соединения в углях считаются загрязнением, поскольку буровые коронки и ковши экскаваторов имеют W-Co-O покрытие. В таком случае нужно знать, как проводится пробоотбор. Угольный разрез перед опробованием зачищается геологическим молотком, а отобранные образцы сразу помещаются в полиэтиленовые пакеты. Таким образом, загрязнение от ковша исключается. Большое значение имеет положение частицы – включения не могут быть загрязнением, тогда как незакрепленные частицы, лежащие на поверхности препарата, всегда вызывают сомнения.

Заключение

Важность полученной информации заключается в том, что для валовых методов анализа загрязнение от инструментов может быть незначительным и не повлияет на конечный результат, тогда как при электронно-микроскопических исследованиях даже одна посторонняя частица может быть обнаружена и неверно проинтерпретирована.

Основная масса инструментов, употребляемых при отборе и подготовке проб, состоит из стали, то есть наибольшая осторожность должны быть в отношении частиц самородного железа и его интерметаллических соединений. Кроме того, в современных аппаратах для дезинтеграции проб горных пород, в том числе углей, широко применяются сплавы на основе карбида вольфрама с примесью кобальта. Также рекомендуется выполнить анализ абразивов в случае их использования.

Всегда нужно стремиться к минимизации пробоподготовки и поддерживать в чистоте не только весь инструмент, но и помещение лаборатории.

Литература

1. Барановская А.Ю., Барановская Н.В., Судыко А.Ф. Элементный состав растений семейства рясковые (Lemnaceae) как индикатор природно-техногенных обстановок территории Томской области // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 8–17.
2. Барановская Н.В., Паничев А.М., Стрепетов Д.А. и др. Элементный состав организма диких и домашних животных в районе с проявлениями активной геофагии в Горном Алтае // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 6. – С. 98–109.
3. Ильенок С.С. Геохимия элементов-примесей в углях Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2017. – 207 с.
4. Chen L., Zhao Y., Liu X. et al. Development of an in-situ analysis instrument for microstructure of materials with low temperature // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 756. – Art. No. 012021.
5. Chhatwal H.L., Goswami T.R. A liquid nitrogen cooled sample stage for a scanning electron microscope // Cryogenics. – 1992. – Vol. 32(7). – P. 679–680.
6. Milliken K.L., Rudnicki M., Awwiller D.N. et al. Organic matter-hosted pore system, Marcellus formation (Devonian), Pennsylvania // AAPG Bulletin. – 2013. – Vol. 97(2). – P. 177–200.
7. Rizwan A., Kheireddine E.-B., Mohamed B. An easy, fast and inexpensive method of preparing a biological specimen for scanning electron microscopy (SEM) // MethodsX. – 2021. – Vol. 8. – Art. No. 101521.

УДК [550.46+556.51]: 004.94

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, ВОДНОГО И ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СТОКОВ В ГОРНЫХ РЕГИОНАХ

Ю.Б. Кирста, А.В. Пузанов, Т.А. Рождественская, И.А. Трошкова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

kirsta@iwep.ru

DATA MINING AND LONG-TERM FORECASTING THE CHANGES IN CLIMATE, WATER AND HYDROCHEMICAL RUNOFFS IN MOUNTAIN REGIONS

Y.B. Kirsta, A.V. Puzanov, T.A. Rozhdestvenskaya, I.A. Troshkova

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

kirsta@iwep.ru

Abstract. Предложена методология интеллектуального анализа (process-data mining) больших совокупностей метеорологических, гидрологических и гидрохимических данных для построения математических моделей и долгосрочных прогнозов водных и гидрохимических стоков с водосборов горных рек. Методология позволяет количественно оценить влияние на стоки ландшафтной структуры водосборов, среднемесячных температур воздуха, месячных осадков, уклонов и высоты местности. При прогнозах изменений климата и стоков учитывается региональный вековой климатический цикл. Исследование выполнено на примере 34 речных бассейнов Алтае-Саянской горной страны с расчетом водных стоков и концентраций в них трех минеральных форм азота (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), фосфатов (PO_4^{3-}), ионов (минерализация), общего растворенного железа и взвешенных веществ.

Введение

Мониторинг и долгосрочный прогноз водного и гидрохимического стоков рек имеет важное значение для поддержания устойчивого и качественного водоснабжения населения в рамках управления водными ресурсами территорий [1]. При разработке прогнозных моделей должны учитываться пространственно-временная структура метеорологических полей, физико-географические, гидрографические и гидрохимические особенности водосборов. Особые затруднения представляют горно-складчатые районы, имеющие сложную орографию, вертикальную и горизонтальную дифференциацию метеорологических полей при редкой сети метеостанций.

Современные изменения климата, охватывающие обширные регионы Земли, становятся все более критическим фактором для всей хозяйственно-экономической деятельности человека. К настоящему времени разработано большое количество математических моделей глобального и регионального климата [2]. При этом отсутствие универсальной площадной характеристики для климатических факторов становится серьезной проблемой при моделировании и прогнозе водных и гидрохимических стоков с горных территорий. Для решения этой проблемы среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки реперных метеостанций нами переводятся в безразмерные единицы путем нормировки на их среднемноголетние месячные величины «in situ» и затем усредняются по метеостанциям, становясь одинаковыми для всей исследуемой территории. Такие площадные характеристики позволили рассчитать названные стоки с высокой точностью (коэффициент Нэша–Сатклифа $\text{NSE} \approx 0,7\text{--}0,8$) для трех десятков речных бассейнов [3, 4]. Это полностью подтвердило высокую адекватность и универсальность нормированных климатических показателей.

Материалы и методы

Интеллектуальный анализ совмещенных климатических, гидрологических и гидрохимических данных нами выполнен на примере 34 речных бассейнов Алтае-Саянской горной стра-

ны, занимающей площадь около 2 000 000 км². Для расчета единой для страны многолетней динамики площадных значений климатических факторов мы использовали данные 23 реперных метеостанций о среднемесячных температурах приземного слоя воздуха и месячных осадков за 1951–2023 гг. Характеризуемый период включал вторую и третью 33-летние фазы регионального векового климатического цикла [5]. Были выделены четыре гидрологических периода: зимняя межень (XII–III месяцы), весенне-летнее половодье (IV–VI), летняя межень (VII–VIII) и осенняя межень с возможными паводками (IX–XI), для которых анализировалась многолетняя динамика водных стоков с концентрациями в них трех минеральных форм азота (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), фосфатов (PO_4^{3-}), ионов (минерализация), общего растворенного железа и взвешенных веществ. При выполнении интеллектуального анализа создавались системы уравнений, учитывающие площадные значения температур и осадков за каждый месяц каждого года, площадь, уклон и высоту 13 выделенных ландшафтов на конкретном водосборе. Тем самым для каждого сезона года анализировались 13 типовых ландшафтных режимов гидрохимического обмена соответствующего вещества. С помощью стандартных статистических методов и оптимизационного решения обратной математической задачи для больших систем уравнений построены модель многолетних изменений температур воздуха и осадков в Алтае-Саянской горной стране и балансовые аналитические модели многолетней динамики сезонных водных и 7 гидрохимических стоков с каждого из 34 речных бассейнов [3, 6]. Оценена точность моделей и их чувствительность к изменениям факторов среды. Чувствительность выражена как вклад естественных вариаций фактора среды в дисперсию наблюдаемых значений водного или гидрохимического стока.

Результаты и их обсуждение

Погрешность описания разработанной климатической моделью многолетней динамики среднемесячных температур воздуха и месячных осадков, нормированных и усредненных по территории Алтае-Саянской горной страны с предгорьями, не превысила соответственно 5,4 и 3,7% дисперсий их наблюдаемых межгодовых вариаций [7]. Эта динамика практически не зависела от рельефа и высоты местности, характеризуя глобально-региональные изменения климата всего региона. Модель показала, что за 1951–2023 гг. средние температуры воздуха в теплом периоде года (мае-сентябре) повысились на 1 °С и на 3 °С в холодном (октябре-апреле). За эти же 73 года средние месячные осадки в теплом периоде года практически не изменились, а в холодном увеличились на 2 мм, или на 6%.

Выполненная по разработанным моделям оценка чувствительности водных и гидрохимических токов рек Алтае-Саянской горной страны к изменениям факторов среды показала, что водные стоки более чувствительны к осадкам, включая тающие зимние, чем к температурам воздуха, тогда как гидрохимические стоки зависят от осадков и уклонов водосбора, но не температур воздуха [3, 4, 6]. В качестве примера на рисунке 1 представлены периоды весенне-летнего половодья и летней межени.

Заключение

Установленные тренды многолетних изменений климатических факторов должны сохраниться и в новом (начавшемся после 2016 года) вековом климатическом цикле России, продолжающей свой 200-летний этнический цикл развития и сохраняющей свою хозяйственную активность [5, 8]. Тогда водные и пропорциональные им гидрохимические стоки с речных бассейнов Алтае-Саянской горной страны продолжат постепенно расти лишь для весенне-летнего половодья. Данный рост обеспечивается тающими зимними осадками и не превысит 1% за каждые десять лет.

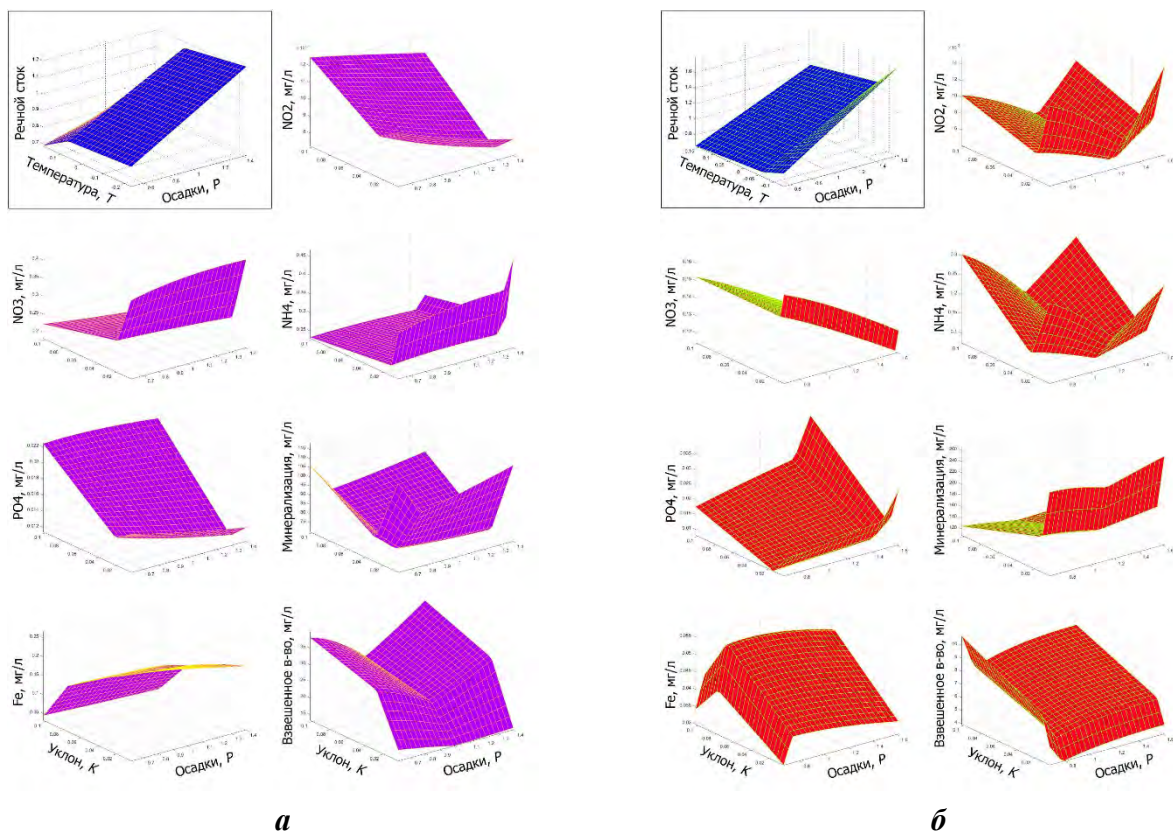


Рис. 1. Зависимость водного стока (относительно среднего как 1) и концентраций в нем веществ от нормированных температур воздуха T , осадков P и уклонов K речных бассейнов в весенне-летнее половодье (а, IV–VI месяцы) и летнюю межень (б, VII–VIII)

Литература

1. Daoliang L., Shuangyin L. Water quality evaluation // Water Quality Monitoring and Management. – Academic Press, 2019. – Chapt. 4. – P. 113–159.
2. Krasnopolsky V. Machine learning in numerical weather and climate models // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. – Elsevier, 2024.
3. Kirsta Y.B., Puzanov A.V., Rozhdestvenskaya T.A. Models for describing landscape hydrochemical discharge in mountain countries // Landscape Modelling and Decision Support. Innovations in Landscape Research / edited by Mirschel W., Terleev V., Wenkel K.O. – Cham : Springer, 2020. – P. 163–178.
4. Kirsta Y.B., Troshkova I.A. High-performance forecasting of spring flood in mountain river basins with complex landscape structure // Water. – 2023. – Vol. 15. – Art. No. 1080.
5. Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю. Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем. – Барнаул : Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2014. – 283 с.
6. Kirsta Y.B., Puzanov A.V. System-analytical modeling of water quality for mountain river runoff // Water Science and Sustainability / edited by Pandey B.W., Anand S. – Springer, Nature, 2021. – Chapt. 7.
7. Kirsta Y.B., Troshkova I.A. Deep process-data mining of climate changes in mountain regions: Research methodology // Euras. J. Math. Comput. Appl. – 2025. – (В печати).
8. Kirsta Y.B., Kirsta V.Y. Information-hierarchical organization of natural systems II: Futures of man-biosphere interactions and climate control // World Futures. – 2010. – Vol. 66(8). – P. 537–556.

УДК 550.4: 504.054

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ

Л.С. Кучин

Пермский государственный университет, Пермь, Россия

kleond@bk.ru

IDENTIFICATION OF NATURAL AND TECHNOGENIC ACCUMULATION OF HYDROCARBONS BASED ON MULTISPECTRAL SURVEYING DATA

L.S. Kuchin

Perm State University, Perm, Russia

kleond@bk.ru

Аннотация. Проведено обследование углеводородных аномалий на территории нефтяного месторождения при помощи БПЛА для определения вегетационных индексов в экосистемах. Для газогеохимических аномалий в лесных экосистемах свойственен рост значений вегетационных индексов. Для луговых сообществ, при сравнении фоновых и аномальных значений газов, выявлено снижение значений вегетационных индексов.

Введение

Рост объемов добычи нефти и газа увеличивает нагрузку на окружающую природную среду [4]. С целью обеспечения экологической безопасности на месторождениях предлагается использовать геоинформационные системы (ГИС). ГИС объединяют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и результаты обследований экосистем. Они позволяют оценивать воздействие на труднодоступные территории и прогнозировать динамику природно-техногенных процессов. Это поможет своевременно предотвращать негативные изменения природной среды [3]. Для оценки состояния растительности по данным ДЗЗ применяются вегетационные индексы на основе мультиспектральной съемки. В качестве инструмента мониторинга экологической безопасности на нефтегазовых месторождениях в последнее время активно применяют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [6]. Однако процессы влияния углеводородных газов на фотосинтез растений и диагностика с помощью ДЗЗ на базе БПЛА остаются сложной и дискуссионной задачей.

Газогеохимический метод широко используется для выявления очагов нефтезагрязнения. Основным критерием оценки загрязнения почв, грунтов и вод является содержание «нефтепродуктов» [2].

Комплексная оценка на основе объединения данных ДЗЗ и информации о структуре почвогрунтов, фитоценоза, корневой системы обеспечат накопление гумуса, углерода, а также длительную устойчивость реликтовых экосистем к изменениям климата.

Материалы и методы

Район исследования располагается в юго-восточной части Пермского края в верховьях р. Ясыл. Карстовые процессы приводят к усложнению условий добычи нефти и активной миграции углеводородов в реку [5]. Территория исследования находится в зоне широколиственно-пихтово-еловых (подтаежных) лесов, в Кунгурском лесостепном природном районе, характеризующимся сочетанием зональных лесных, экстразональных степных и остепненных лесных, интразональных пойменных и антропогенных фитоценозов [1].

Для проведения геоэкологического исследования нами был разработан методический комплекс, включающий изучение основных видов воздействия на территорию нефтепромысла. Данное исследование представляет часть методического комплекса для выявления потоков углеводородов. Для этого проведена мультиспектральная съемка БПЛА DJI Phantom 4 в рай-

онах газогеохимической съемки, а также проведен отбор проб почв для определения содержания углерода и гумуса в почвенном горизонте.

В дальнейшей работе планируется определить взаимосвязь всех элементов данной части методического комплекса для выявления последствий влияния атмогеохимических потоков углеводородов на фотосинтез в экосистемах.

Результаты и их обсуждение

По результатам обработки газогеохимической съемки получены распределение подпочвенных газов: метана (CH_4), углекислого газа (CO_2), летучих органических соединений (ЛОС), углеводородных газов (УВГ). Выделены типы газогеохимических аномалий, в части которых преобладает только один подпочвенный газ; в других преобладают максимальные концентрации двух газов (УВГ и ЛОС или УВГ и CH_4). Наиболее распространены газогеохимические аномалии УВГ. Все атмогазогеохимические аномалии, но, прежде всего, УВГ диагностируют аккумуляцию техногенных углеводородов.

По данным ДЗЗ определены значения вегетационных индексов для лесных и луговых экосистем на территориях геохимических аномалий и фоновых участков (табл. 1).

Таблица 1. Значения мультиспектральных индексов экосистем для газогеохимических аномалий и фоновых участков

Экосистемы	Газогеохимические аномалии	NDVI	GNDVI	LCI	NDRE
Лесные	Фоновый участок	0,804±0,07	0,652±0,06	0,281±0,07	0,185±0,05
	ЛОС	0,822±0,06	0,676±0,06	0,346±0,07	0,236±0,05
	CO_2	0,822±0,07	0,670±0,07	0,285±0,07	0,186±0,05
	ЛОС и УВГ	0,825±0,05	0,688±0,06	0,325±0,07	0,218±0,05
	УВГ	0,835±0,04	0,702±0,05	0,342±0,06	0,231±0,05
	CH_4	0,835±0,07	0,686±0,07	0,302±0,08	0,198±0,05
Луговые	УВГ	0,847±0,04	0,698±0,04	0,320±0,05	0,210±0,03
	CH_4	0,854±0,04	0,691±0,04	0,284±0,04	0,181±0,03
	Фоновый участок	0,866±0,03	0,705±0,03	0,299±0,03	0,191±0,02

Для всех типов газогеохимических аномалий свойственен рост значений вегетационных индексов лесных экосистем. Наибольший рост значений индексов NDVI и GNDVI наблюдается для участков леса в газогеохимических аномалиях с содержанием УВГ от 209 до 591 мг/м³. По индексам LCI и NDRE наибольший рост наблюдается для участков леса в газогеохимических аномалиях с содержанием ЛОС от 14,9 до 35,5 мг/м³.

Реакция луговых экосистем на аномальные значения подпочвенных газов проявляется по значениям вегетационных индексов различна. Значения NDVI и GNDVI показывают рост относительно фоновых участков, LCI и NDRE демонстрируют рост только для аномалий УВГ.

Наиболее контрастно определяются газогеохимические аномалии с высокими концентрациями УВГ и ЛОС по значениям индексов LCI и NDRE. Поэтому в дальнейшей работе планируется оценить изменение значений диапазона «Red Edge».

Заключение

Выявлено, что для газогеохимических аномалий наблюдается рост значений вегетационных индексов лесных экосистем. Наибольший рост NDVI и GNDVI наблюдается при концентрациях УВГ от 209 до 591 мг/м³, а LCI и NDRE – при концентрациях ЛОС от 14,9 до 35,5 мг/м³. Аномалии с высокими концентрациями УВГ и ЛОС наиболее контрастны выделяются по значениям индексов LCI и NDRE. Поэтому планируется оценить изменения в диапазоне

«Red Edge». Всего выявлено шесть типов аномалий: четыре связаны с высокими концентрациями одного газа (CH₄, CO₂, ЛОС, УВГ), два с высокими концентрациями сразу двух газов (УВГ и ЛОС, УВГ и CH₄). Наиболее распространены аномалии УВГ, которые диагностируют аккумуляцию нефтепромысловых углеводородов.

В дальнейшей работе планируется провести сравнительный анализ видового состава растительности районов газогеохимической съемки и фоновых участков, а также проведения картирования распределения концентрации углеводородных газов в атмосферном воздухе при помощи БПЛА, оборудованного газоанализатором.

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Пермского края № 24-17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025>.

Литература

1. Абдулманова И.Ф. Растительность и виды, подлежащие охране и нуждающиеся в особом внимании к их состоянию в природной среде, в долинах рек Одиновская и Каменка (Пермский край) // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды : матер. Всерос. науч. конф. молодых ученых, посвященной памяти Г.А. Воронова, Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет. – 2024. – С. 56–61
2. Бачурин Б.А., Одинцова Т.А., Борисов А.А. К методике идентификации источников нефтезагрязнения геологической среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 10. – С. 291–298.
3. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Сивков Д.Е. и др. Разработка геоинформационных систем для управления окружающей средой и экологической безопасностью в районах эксплуатируемых нефтяных месторождений // Антропогенная трансформация природной среды. – 2021. – Т. 7, № 1. – С. 102–127. – doi: 10.17072/2410-8553-2021-1-102-127.
4. Buzmakov S.A., Khotyanovskaya Y.V. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation // Applied Geochemistry. – 2020. – Vol. 113. – Art. No. 104443. – doi: 10.1016/j.apgeochem.2019.104443.
5. Khotyanovskaya Y.V., Buzmakov S.A., Sannikov P.Yu. Identification of oil mining technogenesis based on aerial photography data // J. Soils Sediments. – 2023. – Vol. 23. – P. 973–988. –doi: 10.1007/s11368-022-03357-y.
6. Na T., Qingrui Ch., Youming Zh. Estimation of apple tree leaf chlorophyll content based on machine learning methods // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13. – doi: 10.3390/rs13193902.

УДК 550.4.07

СМАРТФОН-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МУЛЬТИПЛЕКСНАЯ КОЛОРИМЕТРИЯ В ГЕОХИМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

К.В. Серебряков, А.С. Гага, П.Р. Шульгин, Н.В. Саранчина, М.А. Гавриленко

Томский политехнический университет, Томск, Россия

dce@mail.ru

SMARTPHONE-BASED MULTIPLEX COLORIMETRY IN GEOCHEMICAL MONITORING

K.V. Serebriakov, A.S. Gaga, P.R. Shulgin, N.V. Saranchina, M.A. Gavrilenko

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

dce@mail.ru

Abstract. Представлен ряд возможностей использования метода цифровой колориметрии в сочетании с оптическими сенсорами для биогеохимических исследований. В отличие от традиционных колориметрических, фотометрических и люминесцентных методов, колориметрический подход позволяет анализировать как окрашенные, так и флуоресцирующие образцы в рамках единого аппаратного решения. Метод обладает надежной аналитической базой, включающей методы математической и статистической обработки данных, разнообразные подходы к формированию аналитического сигнала, а также возможность применения нейронных сетей для интерпретации результатов.

Введение

Основными инструментальными методами, применяемыми для обнаружения и количественного определения веществ в биогеохимическом мониторинге, являются газовая и жидкостная хроматография, атомно-эмиссионный анализ, капиллярный электрофорез и масс-спектрометрия. Данные методы характеризуются высокой специфичностью и низкими пределами обнаружения целевых аналитов. Однако их использование сопряжено с ограничениями высокой стоимости оборудования, значительных затрат времени на проведение анализов, необходимости наличия специализированных лабораторных условий и квалифицированного персонала. В связи с этим внедрение более простых и доступных колориметрических методов для проведения анализов вне лабораторных условий представляет значительный практический интерес.

Важным фактором, способствующим популяризации колориметрических методов, является использование смартфонов в качестве аналитических устройств. Цифровые камеры смартфонов повышают объективность анализа, обеспечивая возможность исследования микроколичеств образцов и оперативной передачи данных. Смартфоны могут быть оснащены специализированными приложениями, способными регистрировать различные типы оптических сигналов (флуоресценция, люминесценция, RGB-пикселизация), интерпретацию сигнала и расчеты, а также визуализацию результата.

Особое внимание заслуживает интеграция полиметакрилатной матрицы (ПММ) в качестве готовой аналитической формы для изоляции и концентрирования целевых аналитов. В сочетании со смартфонами это позволяет реализовать экономичные и портативные колориметрические измерения в режиме реального времени и организацию удаленного биогеохимического мониторинга, что имеет важное значение для оперативного контроля состояния окружающей среды.

Материалы и методы

ПММ синтезирована из смеси метилметакрилата (ММА), полиэтиленгликоля (ПЭГ), метакрилата кальция ((МА)₂Са). ММА выступает в качестве основы полимерного материала; (МА)₂Са служит сшивающим агентом, обеспечивающим каркас полимерного материала;

ПЭГ является гидрофильным пластификатором, который необходим для диффузии вещества внутри полимерной матрицы. Сенсоры на основе ПММ представляют собой прозрачные пластины размером 4·4·0.5 мм. Схема использования ПММ с лабораторной и внелабораторной регистрацией сигнала показана на рисунке.



Рис. Схема определения аналита с использованием ПММ

Результаты и их обсуждение

Несмотря на простоту аппаратного оформления, применение доступных и популярных расходных материалов цифровая колориметрия с использованием смартфона является конкурентоспособным инструментом для научных, рутинных, полевых, мониторинговых и клинических исследований. Специфичность и эффективность разработанных решений во многом обусловлена уникальной комбинацией механизма формирования аналитического сигнала в объеме ПММ в сочетании с концентрированием аналита по механизму твердофазной экстракции, выбранной колориметрической системы и оценки полученных первоначальных данных. Разработан математический аппарат для колориметрического анализа с использованием прозрачной ПММ в качестве сенсора. Цифровой сигнал, получаемый через изменение цвета в различных системах координат, является колориметрической характеристикой, связанной с концентрацией анализируемого вещества в образце. В варианте цифрового колориметрического определения смартфон выступал как колориметрическое устройство для получения и обработки цифрового изображения оптода. Оптическая плотность в каждом пикселе цифрового изображения разделена программным обеспечением на индивидуальные интенсивности цветовых каналов R, G, B.

Анализ данных таблицы 1 позволяет сделать вывод о значительном многообразии маркерных соединений при решении задач биогеохимического мониторинга. Среди широкого спектра аналитических задач, решаемых при помощи метода колориметрии, традиционно наиболее распространенной является определение металлов в горных породах или при их миграции в водной среде. В силу специфики определяемой группы соединений их переводят в окрашенную форму за счет проведения хромогенных реакций в среде ПММ. Совершенствование практических методик позволяет использовать совместно с цифровыми технологиями такие аналитические эффекты, как усиление флуоресценции комплексов с редкоземельными металлами, колориметрию плазмонного поверхностного резонанса или изменение размера/формы наночастиц металлов в присутствии аналита.

Применение привычных колориметрических реакций с образованием окрашенных аналитических форм в рамках анализа объектов окружающей среды нашло отражение при определении металлов, в том числе в виде соединений, неорганических анионов, антиоксидантов, пестицидов и трассеров при гидрологических исследованиях.

Таблица 1. Характеристики ПММ сенсоров с различной регистрацией сигнала

Аналит	t _{анализа} , мин	До	После	Предел обнаружения, мг/дм ³			
				СФ	ВЗ	СМ	ФЛ
Медь	1-2			0.01	0.1	0.01	
Кобальт	1-2			0.01	0.2	0.02	--
Серебро	1-2			0.01	0.1	0.01	-
Железо	1-2			0.01	0.2	0.02	-
Селен	<5			0.02	0.3	0.02	-
Ртуть	1-2			0.02	0.1	0.01	-
Никель	1-2			0.02	0.2	0.01	-
Европий	1-2			0.005	0.05	0.01	10 ⁻⁴
Хром	1-2			0.01	0.3	0.02	-
Йод	<5			0.02	0.2	0.02	-
Уранин	20			0.01	0.1	0.05	10 ⁻⁴
Эозин	20			0.02	0.3	0.02	10 ⁻⁴
Пиранин	<10			0.005	0.02	0.01	-
Родамин 6Ж	<10			0.005	0.05	0.01	10 ⁻⁴
Антиоксиданты (природные)	1-2			0.005	0.05	0.02	-
Толуидиновый синий	<5			0.005	0.06	0.01	-
Эритрозин	<5			0.005	0.05	0.01	10 ⁻⁴
Тетрациклины	10			0.02	0.3	0.02	10 ⁻⁴
Сумма металлов	1-2			0.02	0.1	0.01	-
Карб. пестициды	<5			0.02	0.5	0.02	-
Нафтолы	<5			0.02	0.5	0.02	
Роданид-анион	30			0.08	0.3	0.1	-
Нитраты, нитраты	<5			0.02	0.1	0.02	-
Фторид-анион	10			0.02	0.1	0.02	-

Примечание: СФ – спектрофотометрия; ВЗ – визуальная оценка; СМ – колориметрия на смартфоне; ФЛ – флуориметрия.

Заключение

Переход биогеохимических исследований на внелабораторный способ определения на месте отбора пробы и замена аналитического оборудования на комбинацию смартфона и ПММ позволяет исключить транспортировку образцов при определении на месте отбора через смартфон и снизить количество пробы за счет эффекта концентрирования вещества в объеме ПММ. Внелабораторное определение с помощью смартфона реализовано в виде программного обеспечения, разделяющего изображение сенсора на R, G, B цветовые каналы, интенсивность, одного из которых пропорциональна концентрации аналита в сенсоре.

*Работа поддержана Российским научным фондом
по проекту 24-24-00160.*

УДК 550.4.02

АЛГОРИТМ РЕКОНСТРУКЦИИ УРОВНЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Е.В. Середина

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
sev-197@mail.ru*

AN ALGORITHM TO RECONSTRUCT THE LEVEL OF ORGANIC MATTER IN MINERAL CLAY SOILS BASED ON BIG DATA ANALYSIS

E.V. Seredina

*Kazan Federal University, Kazan, Russia
sev-197@mail.ru*

Abstract. Исследование посвящено прогнозированию содержания органического вещества (ОВ) в глинистых грунтах с использованием методов машинного обучения. На основе данных 89 образцов разработаны модели классификации и регрессии, учитывающие косвенные признаки (карбонатность, угол смачивания и др.). Наилучшие результаты показал градиентный бустинг. Предложены пути повышения точности моделей, включая расширение набора признаков.

Введение

Реконструкция содержания органического вещества (ОВ) в глинистых грунтах – актуальная задача геоэкологии и инженерной геологии. Лабораторные методы определения ОВ трудоемки, что затрудняет их использование для больших данных. Нелинейные зависимости ОВ от свойств грунта делают перспективным применение машинного обучения для прогнозирования по косвенным признакам. Цель данной работы заключается в реконструкции уровня органического вещества по косвенным признакам, таких как карбонатность, содержание углекислого газа в атмосфере, наличие источников стимуляции микроорганизмов и т.д. В предшествующих работах [1, 2, 4] показано, что смачиваемость сильно связана с определенными типами органического вещества в грунтах, но эта связь чаще всего нелинейна. Для количественной оценки смачиваемости наиболее распространенным подходом является измерение контактного (краевого) угла смачивания (КУ). Материалы с контактным углом в диапазоне от 0 до 90° классифицируются как гидрофильные, а в диапазоне от 90 до 180° – как гидрофобные.

Материалы и методы

Исследование основано на данных о 89 образцах глинистых грунтов, характерных для средней полосы России. В выборку включены карбонатные элювиально-делювиальные суглинки на пестроцветных глинах Пермской системы (глубина отбора 1,5–2 м), а также темноцветные глины каменноугольных отложений различного литологического состава (глубина 10–20 м). Часть образцов подвергалась дополнительному затоплению с варьированием условий. Также в базу данных включены характеристики вспомогательных материалов, использовавшихся в исследовании. Помимо определения содержания органического вещества по методике Тюрина был выделен ряд бинарных признаков, которые характеризовали условия формирования грунтов и, по литературным данным, связаны с содержанием органики в материале. В результате лабораторными методами были определены карбонатность, углы смачивания и дополнительные признаки.

Для обработки данных было предложено два способа машинного обучения – классификатор и регрессия (рис. 1). В первом случае алгоритм должен определять уровень органического

вещества, во втором – рассчитывать количественные значения содержания. До запуска машинного обучения в обоих способах производилась процедура повторных перевыборок для некоторых образцов с целью наращивания объема обучающих данных. 35% выборки было зарезервировано для тестирования качества моделей – эта доля не участвовала в обучении. Машинное обучение запускалось после нормализации признаков и удаления выбросов. В ходе исследования были апробированы различные методы машинного обучения [3]. Выбор алгоритмов основывался на их способности работать с малыми объемами несбалансированных данных, производительности и возможности интерпретации результатов. В работе использовались как простые и понятные модели – метод k-ближайших соседей, деревья решений и логистическая регрессия, так и более сложные подходы, включая ансамбли деревьев и нейронные сети разной архитектуры. Для настройки гиперпараметров моделей применялись автоматизированные методы оптимизации: GridSearchCV и HalvingGridSearchCV из библиотеки Scikit-learn, а также функция `gr_minimize` из Scikit-optimize. Из опробованных алгоритмов наилучшее качество распознавания ОВ показал классификатор градиентный бустинг.



Рис. 1. Процесс выбора лучших алгоритмов

Интерпретацию результатов осуществляли на базе визуализации дерева решений, а также диаграмм значимости признаков для разбиения выборки с помощью алгоритмов дерева решений и ансамблей деревьев (случайный лес и градиентный бустинг). По этим моделям был выделен ограниченный ряд признаков, которые имеют наиболее существенное влияние на отнесение образца к классу содержания органического вещества (рис. 2) Оказалось, что алгоритм k ближайших соседей чувствителен к исключению всех признаков, кроме среднего арифметического контактного угла смачивания.

Результаты и их обсуждение

В результате обучено 2 перспективных классификатора, которые могут осуществлять трех-классовую классификацию образцов глинистого грунта по содержанию органической компоненты на основании 9 легко определяемых косвенных признаков. Модель на базе алгоритма k ближайших соседей работала быстро и позволяла исключить из рассмотрения среднее арифметическое контактного угла смачивания грунта.

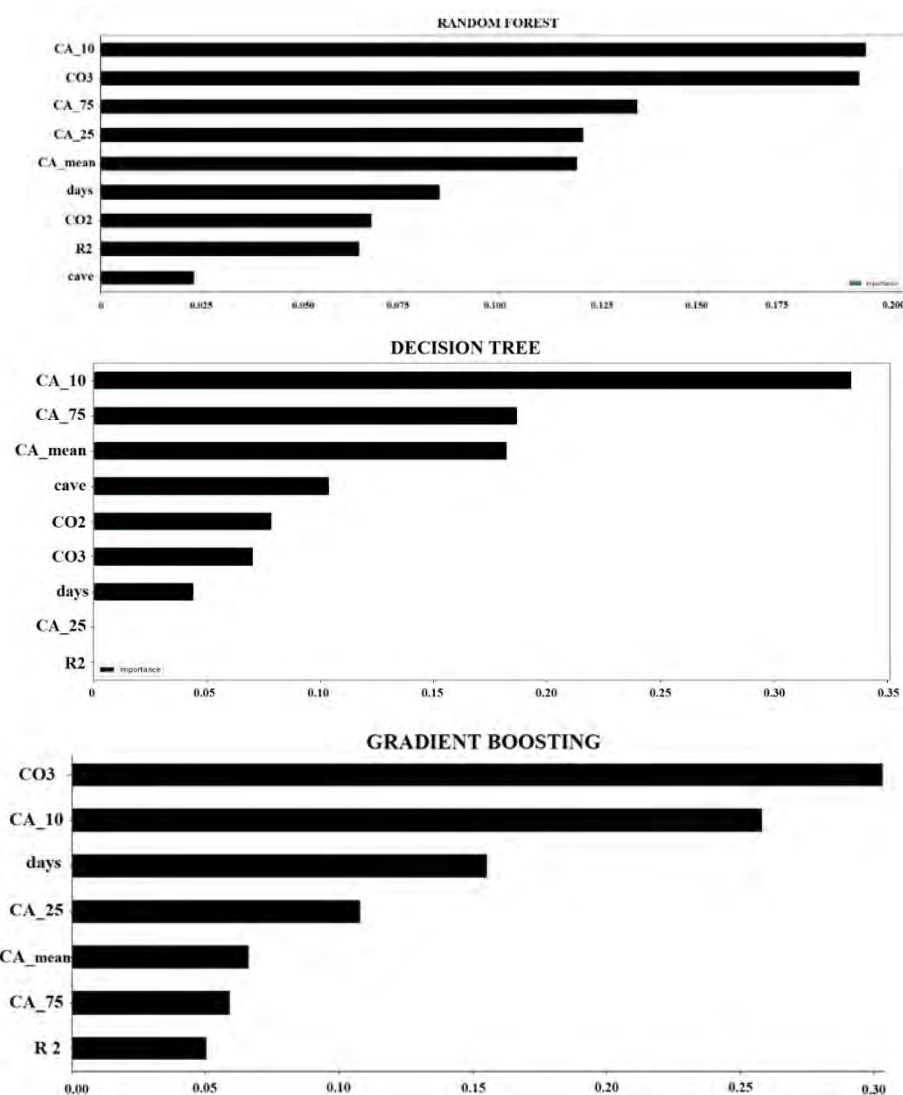


Рис. 2. Значимость признаков для содержания органического вещества в грунте согласно различным алгоритмам

Для повышения точности регрессионного моделирования и улучшения прогностической способности модели требуется доработка существующей базы данных, включающая расширение перечня косвенных признаков, характеризующих исследуемые образцы. Увеличение количества релевантных параметров позволит минимизировать погрешность прогнозирования содержания целевого показателя и повысить обоснованность получаемых результатов.

Литература

1. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества как система гидрофобно-гидрофильных соединений : дис. ... докт. биол. наук. – М., 2006. – 96 с.
2. Пат. 2020123 Российская Федерация, Оптический тензиометр для измерения контактного угла смачивания на препарате горной породы методом прикрепленного пузырька и способ его работы / Галеев А.А., Софинская О.А.; патентообладатель КФУ – заявл.15.07.2020 Оpubл. 09.03.2021 Бюл№7 – 2с.
3. Scikit-learn Machine Learning in Python [Electronic resource]. – URL: <https://scikit-learn.org/stable> (дата обращения: 18.01.2025)
4. Sofinskaya O.A., Mannapova L.M., Usmanov R.M. et al. Biogeochemical interface development in a model carbonate-clayey soil // Environ. Earth Sci. – 2024. – Vol. 83. – P. 6.

УДК 550.72+ 624.138.9+ 004.67

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБИОМА КАРБОНАТНОЙ ГЛИНЫ: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

О.А. Софинская¹, Е.Ю. Полякова¹, Н.Е. Гоголева²

¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

²Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург, Россия

ushik2001@mail.ru

ANALYSIS OF CARBONATE CLAY MICROBIOME CHANGES USING BIG DATA ALGORITHMS

O.A. Sofinskaya¹, E.Y. Polyakova¹, N.E. Gogoleva²

Kazan Federal University, Kazan, Russia

Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis of Ural Branch of RAS, Orenburg, Russia

ushik2001@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено изучению связи состава микробного сообщества с некоторыми свойствами карбонатно-глинистого грунта. Разработан и опробован алгоритм, позволяющий выявить устойчивые микробные консорциумы и реконструировать их роль в укреплении глин. Изменение микробиома инициировано внесением донорского сообщества спелеотем в глину и вариацией условий замачивания: длительности и парциального давления CO₂. В исследовании учтены данные таксономического профилирования по гену 16S рРНК, физико-химические и физико-механические свойства глины, свойства порового раствора. Выделено 8 условных микробных сообществ, отличающихся по трофическим стратегиям и адаптациям к различным условиям, и 5 бактериальных родов-доминантов с наибольшим потенциалом изменения глин. Полученные результаты пригодны для анализа потенциала и прогноза применения биогеотехнологий.

Биоцементация как метод укрепления глинистых грунтов с использованием бактерий для осаждения минералов является перспективным направлением инженерной геологии. Биоцемент, по сравнению с традиционным цементом, обладает лучшими технологическими характеристиками и меньше загрязняет окружающую среду [1]. В настоящее время в качестве потенциальных бактерий-кандидатов для биоцементации изучают алкалофильных продуцентов уреазы, денитрификаторов, восстановителей железа, сульфатредукторов, а также продуцентов карбоангидразы. Однако в силу высокой вариативности состава микробного сообщества, анализ и прогноз его влияния на инженерные свойства грунта в течение длительного времени предполагает обработку больших данных. В связи с этим, **целью** проведенного исследования стала разработка масштабируемого алгоритма, который связывает изменения состава микробного сообщества с изменениями наиболее часто определяемых в инженерной геологии признаков глинистого грунта и помогает выбору оптимальной стратегии его укрепления. Общая *структура алгоритма* задана спецификой получения и организации геомикробиологических и инженерно-геологических данных. На начальном этапе данные были организованы в реляционную базу, связывающую варианты условий эксперимента, измерения характеристик глины, геохимических параметров порового раствора и микробиомы получившихся сообществ. Путем присвоения категорий неколичественным свойствам и масштабирования количественных свойств глины сгенерированы признаки для дальнейшего анализа. Для полученных признаков рассчитаны первичные статистические зависимости и выбраны индикаторные функции. Неинформативные компоненты базы данных отбрасывали, согласно критерию вклада в дисперсии значений индикаторных функций. Анализ метагеномных данных таксономического профилирования начинали с выделения фоновых доминантов сообщества в контрольных средах и их исключения из рассмотрения. Далее проводили анализ сообществ экспериментальных вариантов. Были определены доминанты сообществ каждого экспери-

ментального варианта; исключены незначимые группы организмов, исходя из критерия обилия менее 5% наиболее обильного доминанта. На следующем этапе было задано ветвление алгоритма на три направления: выделение доминантов, обилия которых скоррелированы между собой, выделение субдоминантов, скоррелированных с доминантами, и выделение доминантов, перспективных с точки зрения изменения свойств глины. Все корреляции между признаками были представлены в виде матриц значимых ранговых корреляций Спирмена. Первые две ветви имели общим итогом формирование условных сообществ и реконструкцию предпочитаемых ими условий. На основании априорных знаний о биохимических циклах, в которых участвуют члены условных сообществ были построены гипотезы о возможностях как изменений глины, так и сукцессии самих сообществ. При этом кластеризация вариантов эксперимента по составу условных сообществ позволила оценить правдоподобие реконструкции условий, поскольку последние были заданы экспериментальными вариантами. Третья ветвь алгоритма предполагала построение корреляционной матрицы обилий доминантов сообществ с абиотическими признаками глины и геохимической обстановки. Эту ветвь продолжал алгоритм градиентного бустинга, с помощью которого была определена значимость отобранных бактериальных родов для уровня каждой индикаторной функции глины, выраженной в тринарном виде. Итогом выполнения третьей ветви алгоритма было выделение биогеотехнологически перспективных бактериальных родов. Объединение результатов выполнения трех ветвей вело к сопоставлению устойчивым микробным консорциумам признаков грунта, реконструкции предпочтительного состава сообщества для укрепления глины.

Для реализации описанного алгоритма применяли средства работы с базами данных, предобработки и статистической обработки массивов, классификации, агломеративной кластеризации и визуализации языка программирования Python: Pandas, Numpy, Scipy, Scikit-learn, Matplotlib, Seaborn.

Приведенный алгоритм был опробован на **образцах** карбонатно-глинистого грунта и спелеотем в качестве источника донорского сообщества, свойства которых описаны в авторской работе [2]. Данные образцы экспонировали 4–180 дней в условиях полного влагонасыщения замкнуто циркулирующим потоком при температуре +12 °C в темноте. Вариации условий эксперимента с образцами задавали за счет длительности замачивания, уровней парциального давления CO₂ в атмосфере, внесения стимулирующей среды с донорским сообществом. На вход алгоритма подавали данные об условиях эксперимента, таксономическом разнообразии бактериального сообщества, содержании в глине общего органического углерода, карбонатов, смачиваемости, распределении по фракциям диаметра, агрегированности частиц, пределах пластичности, сжимаемости при одноосном сжатии, а также pH, ОВП и электропроводности порового раствора. В качестве индикаторных функций глины были выбраны признаки: нижний предел пластичности, агрегированность (по И.М. Горьковой), карбонатность, сжимаемость при компрессионных дренированных испытаниях и смачиваемость (по контактному углу смачивания). Положительными изменениями глины считалось повышение первых трех функций и снижение последних двух.

Результаты

На начальном этапе в базу данных вошло 21 свойство, характеризующее глину и геохимическую обстановку, и 3166 ASV (вариантов последовательностей ампликонов). Для глубокого анализа изменений глины и сообщества было отобрано 13 абиотических признаков, 39 доминантных и более 80 связанных с ними субдоминантных бактериальных родов. Участие донорского сообщества в формировании вариаций таксономического распределения бактерий в экспериментальных сообществах оценено по воспроизводимости присутствия доминантных представителей бактерий в экспериментальных грунтах после пересева. Из родов донорского сообщества спелеотем наиболее успешно воспроизводились после пересева на глину

Pseudomonas и *Paenibacillus*. На основании оценки корреляционных связей определено, что с пересевом пещерного сообщества в глину также связаны рода *Citri fermentans*, *Noviherbaspirillum*, *Stenotrophomonas*, *Sedimentibacter*. Выделено 8 групп доминантов условных сообществ, реконструированы их основные свойства и произведено соотнесение с экспериментальными вариантами. Большинство доминантов имели адаптации к анаэробным или микроаэрофильным условиям, а также колебаниям pH и температуры. В вариантах без донорского сообщества доминировали олиготрофы. В долгосрочных вариантах сокультивирования с донорским сообществом доминировали хемоорганотрофы с возможностью производства биопленки (внеклеточных полимеров); при этом, если в варианте создавалось повышенное парциальное давление CO₂, то в доминанты выходили те из них, кто был способен использовать различные терминальные акцепторы электронов. Сообщества на основе хемоорганотрофов со способностью к образованию спор, ферментации, производству антибиотиков доминировали в краткосрочных вариантах и долгосрочных вариантах с повышенным содержанием CO₂.

Инженерные эффекты и микробиом

Выявлены доминирующие бактериальные рода с максимальным потенциалом полезных изменений свойств глин: *Sedimentibacterium*, *Noviherbaspirillum*, *Caenimonas*, *Acinetobacter*, *in_Mухососсасеае*. Фрагмент корреляционной матрицы инженерных признаков с обилием отдельных бактериальных родов приведен на рисунке 1. По результатам проведенного исследования, разработан алгоритм работы с геомикробиологическими данными, который пригоден для анализа потенциала и прогноза применения биогеотехнологий.

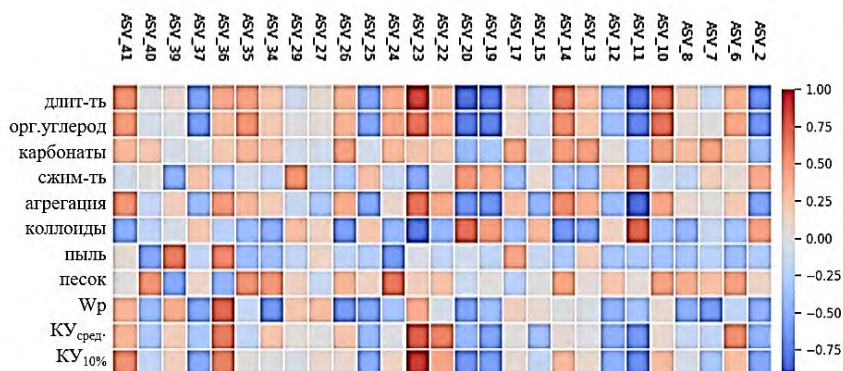


Рис. 1. Корреляционная матрица обилия некоторых бактериальных родов и свойств глины (фрагмент): Обозначения: «длит-ть» – длительность замачивания, «орг.углерод» – общий органический углерод, «сжим-ть» – сжимаемость глины при компрессионном дренажном испытании на одноосное сжатие, «коллоиды», «пыль», «песок» – содержание фракций частиц менее 2 мкм, 2–50 мкм и более 50 мкм, соответственно, «Wp» – нижний предел пластичности, «КУ_{сред.}», «КУ_{10%}» – среднее значение и 10 процентиль контактного угла смачивания частиц глины

Литература

1. Kim Y., Kang S., Jo K. et al. Carbonate mineral precipitation induced by microorganisms enriched from the cave water and biofilm in a lime-decorated lava tube // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Art. No. 7182.
2. Sofinskaya O.A., Mannapova L.M., Usmanov R.M. et al. Biogeochemical interface development in a model carbonate-clayey soil // Environmental Earth Sciences. – 2024. – Vol. 83. – P. 6.

УДК 574.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В БИОИНДИКАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

Б.Х. Шаймарданова, Ж.К. Шаймарданов

*Восточно-Казахстанский технический университет, Усть-Каменогорск, Казахстан
bshaimardanova55@gmail.com, zhasulan55@gmail.com*

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN BIOINDICATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF AN INDUSTRIAL CITY

B.Kh. Shaimardanova, Zh.K. Shaimardanov

*East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
bshaimardanova55@gmail.com, zhasulan55@gmail.com*

Abstract. В статье рассматриваются современные подходы к биоиндикации с использованием искусственного интеллекта (ИИ) в условиях промышленной нагрузки. Приведены примеры применения ИИ для анализа растений, лишайников, насекомых. Особое внимание уделено методам машинного обучения (МО), компьютерного зрения (КЗ) и дистанционного зондирования (ДЗ), позволяющим автоматизировать экологический мониторинг, выявлять скрытые паттерны загрязнения и интегрировать данные на разных уровнях. Обобщены результаты исследований, проведенных в Европе, Азии и Северной Америке, и показана эффективность ИИ в оценке состояния городской среды.

Биоиндикация остаётся одним из ключевых методов экологического мониторинга, позволяя оценивать уровень загрязнения и деградации экосистем через анализ состояния живых организмов. В условиях промышленной урбанизации роль таких подходов возрастает, поскольку традиционные методы наблюдений зачастую ограничены по скорости обработки данных, точности и пространственному охвату. С 2019 года отмечается значительный рост числа исследований, посвящённых интеграции технологий искусственного интеллекта (ИИ) в биоиндикацию [1]. Применяются методы машинного обучения (ML), глубокого обучения (DL) и компьютерного зрения (CV), обеспечивающие автоматизацию распознавания объектов, выявление стрессовых реакций и прогнозирование экологических изменений.

Особенность современных решений заключается в интеграции данных с различных источников: дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), сенсорных сетей, лабораторных анализов и краудсорсинговых наблюдений. Такая мультиинформационная основа позволяет ИИ-моделям выявлять сложные корреляции между экологическими параметрами и состоянием организмов-индикаторов, включая сезонную и пространственную динамику.

Растения демонстрируют высокую чувствительность к изменениям качества воздуха и почвы, что делает их универсальными индикаторами в городской среде. Современные алгоритмы DL позволяют автоматизировать распознавание видов и классификацию стрессовых состояний по изображениям листьев и крон, полученных с беспилотных летательных аппаратов, стационарных камер или смартфонов. Islam et al. (2024) описывают использование комбинации CNN (сверточных нейронных сетей) и алгоритмов классификации для автоматического выявления абиотического и биотического стресса растений [2]. Gou et al. (2024) демонстрируют, как интеграция мульти- и гиперспектральных данных с тепловизионной съёмкой повышает точность диагностики на ранних стадиях повреждения [3]. В обзоре Di Natale Laurentino et al. (2024) предложен комплексный подход, связывающий данные фитосанитарного состояния с показателями здоровья населения мегаполисов, что расширяет экологическую и социальную значимость биоиндикации [4].

Natarajan et al. (2024) и Ghosh et al. (2023) акцентируют внимание на сезонной динамике накопления твёрдых частиц (PM) на поверхности листьев и изменениях морфофизиологиче-

ских признаков растений [5,6]. Алгоритмы машинного зрения позволяют автоматически оценивать степень загрязнения листвы, что делает возможным создание пространственно-временных карт загрязнения воздуха в промышленных районах.

Эпифитные лишайники и мхи традиционно используются для оценки атмосферного загрязнения тяжёлыми металлами и органическими соединениями. Baczewska-Dąbrowska et al. (2023) описывают методики пассивного биомониторинга с помощью мхов, а также потенциал использования ИИ для автоматической классификации проб по содержанию загрязнителей [7]. В таких задачах применяются модели регрессии для прогнозирования концентраций металлов по спектральным характеристикам и алгоритмы кластеризации для группировки данных по типу и источнику загрязнения.

В почвенной биоиндикации особое значение имеет анализ микробиома. Pace et al. (2025) демонстрируют, что глубокие нейронные сети могут успешно прогнозировать устойчивость экосистем и изменения здоровья почвы по данным секвенирования метабеномов [8]. Такие модели позволяют выявлять скрытые связи между составом микробиоты и уровнем загрязнения, а также строить прогнозы восстановления почв после ремедиационных мероприятий. Насекомые, включая опылителей и виды, чувствительные к световому загрязнению, являются индикаторами изменений в качестве воздуха, воды и почвы. Chowdhury et al. (2023) подчеркивают потенциал применения ИИ для анализа биоакустических записей и автоматической идентификации видового состава по звуковым сигналам [9]. Методы DL позволяют проводить непрерывный мониторинг численности и активности насекомых, фиксируя даже малозаметные изменения в экосистемах.

В условиях промышленного города такие технологии могут выявлять снижение биоразнообразия насекомых вблизи источников загрязнения и оценивать эффективность мероприятий по их восстановлению. Дополнительно, анализ траекторий полёта и поведения опылителей с помощью компьютерного зрения позволяет судить о наличии стрессовых факторов в окружающей среде.

Согласно Alotaibi & Nassif (2024), ключевыми преимуществами интеграции ИИ в биомониторинг являются:

- автоматизация процессов сбора и анализа данных;
- повышение точности за счёт комплексной обработки мультиисточниковой информации;
- оперативность выявления экологических угроз в режиме реального времени [1].

Rahmati (2024) подчёркивает, что ИИ может стать основой устойчивых систем мониторинга городского биоразнообразия [10], а Hait et al. (2024) обращают внимание на необходимость соблюдения баланса между технологическим прогрессом и экологической устойчивостью [11]. Zafar et al. (2025) демонстрируют пример интеграции ИИ с методами обнаружения и ремедиации загрязнения свинцом, что открывает возможности для комплексных экологических программ [12]. Szramowiat-Sala (2023) рассматривает использование искусственных нейронных сетей для предотвращения загрязнений и оценки токсичности промышленных выбросов, что особенно актуально для промышленных агломераций [13].

Таким образом, современные технологии искусственного интеллекта формируют новый уровень биоиндикации, делая её более точной, быстрой и информативной. Их интеграция с традиционными методами мониторинга позволяет получать комплексные оценки состояния экосистем, а также прогнозировать последствия загрязнения и эффективность природоохранных мер. В условиях промышленного города такие подходы становятся важным инструментом экологической безопасности и устойчивого развития.

Литература

1. Alotaibi E., Nassif N. Artificial intelligence in environmental monitoring: in-depth analysis // Discover Artificial Intelligence. – 2024. – Vol. 4(1). – P. 84.

2. Islam S., Reza M.N., Samsuzzaman S.A. et al. Machine vision and artificial intelligence for plant growth stress detection and monitoring: A review // *Precision Agriculture*. – 2024. – Vol. 6(1). – P. 34.
3. Gou C., Zafar S., Fatima N. et al. Machine and deep learning: artificial intelligence application in biotic and abiotic stress management in plants // *Frontiers in Bioscience*. – Landmark. – 2024. – Vol. 29(1). – Art. No. 20.
4. Di Natale Laurentino I., Martins F.P., Veras M.M. et al. Plant biomonitoring in urban ecosystems: a comprehensive review in Sao Paulo // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2024. – Vol. 31(58). – P. 65944–65966.
5. Natarajan K., Sugumaran M.P., Porkodi G. et al. Screening urban tree species for air quality enhancement: a review // *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. – 2024. – Vol. 10(3). – P. 511–518.
6. Ghosh S., Dutta R., Mukhopadhyay S. A review on seasonal changes in particulate matter accumulation by plant bioindicators: effects on leaf traits // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2023. – Vol. 234(8). – Art. No. 529.
7. Baczewska-Dąbrowska A.H., Gworek B., Dmuchowski W. The use of mosses in biomonitoring of air pollution in the terrestrial environment: a review // *Environmental Protection and Natural Resources*. – 2023. – Vol. 34(2). – P. 19–30.
8. Pace R., Schiano Di Cola V., Monti M.M. et al. Artificial intelligence in soil microbiome analysis: a potential application in predicting and enhancing soil health – a review // *Discover Applied Sciences*. – 2025. – Vol. 7(2). – P. 85.
9. Chowdhury S., Dubey V.K., Choudhury S. et al. Insects as bioindicator: A hidden gem for environmental monitoring // *Frontiers in Environmental Science*. – 2023. – Vol. 11. – Art. No. 1146052.
10. Rahmati Y. Artificial intelligence for sustainable urban biodiversity: a framework for monitoring and conservation // *arXiv preprint*. – 2024. – arXiv:2501.14766.
11. Hait M., Sahu P., Biswas S. et al. Sustainable application of artificial intelligence in biomonitoring for environmental sustainability: challenges and prospects // *Biomonitoring of Pollutants in the Global South*. – Singapore : Springer, 2024. – P. 747–778.
12. Zafar S., Fatima S., Asad F. et al. Combating lead (Pb) contamination: integrating biomonitoring, advanced detection, and remediation for environmental and public health // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2025. – Vol. 236(1). – Art. No. 8.
13. Szramowiat-Sala K. Artificial intelligence in environmental monitoring: application of artificial neural networks and machine learning for pollution prevention and toxicity measurements // *Pre-prints.org*. – 2023. – doi: 10.20944/preprints202307.1298.v1.

УДК 550.424.2

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР

Г.И. Малов, В.Д. Страховенко, Е.А. Овдина, В.И. Малов

*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
malovgi@igm.nsc.ru*

METHODS FOR ASSESSING CARBON DEPOSITION IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL LAKES

G.I. Malov, V.D. Strakhovenko, E.A. Ovdina, V.I. Malov¹

*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia
malovgi@igm.nsc.ru*

Abstract. В работе рассматриваются методы оценки депонирования углерода в донных отложениях малых озер юга Западной Сибири. На материале 42 озер проанализированы скорости осадконакопления и содержание органического и минерального углерода с использованием радиометрического датирования (^{210}Pb , ^{137}Cs), CHNS-анализа, рентгенофазового анализа и вспомогательных методик. Показано, что средняя скорость захоронения углерода составляет 462 ± 29 г/м²·год, варьируя от 50 до 1110 г/м²·год. Полученные результаты согласуются с мировыми данными и подтверждают высокую роль малых озер в региональном и глобальном углеродном балансе.

Введение

Изменения в глобальном углеродном цикле являются одними из основных факторов современных климатических изменений, что обуславливает необходимость детальной оценки вклада различных природных экосистем в углеродный пул планеты. Континентальные водоемы характеризуются интенсивным обменом углерода с атмосферой и значительным депонированием органического вещества в донных отложениях, что делает их важными компонентами наземного углеродного пула [3]. Данная работа посвящена методам оценки депонирования углерода в донных отложениях малых озер.

Материалы и методы

Наиболее точным методом оценки углеродного баланса озер является метод прямой оценки углеродного бюджета в масштабе всего озера (Whole-lake C budget) [2]. Он основан на измерениях всех входящих и исходящих потоков углерода в озерной системе. Он охватывает органический и неорганический углерод, включая атмосферные, речные, биологические и седиментационные потоки. Но при несомненном плюсе в точности метода, он имеет ряд критичных ограничений: 1) оценка только современных потоков; 2) ошибка при оценке сложных биоценозов; 3) невозможность региональных оценок; 4) дороговизна и долгота измерений. В связи с этими ограничениями, все чаще ученые используют комбинированные подходы в оценке депонирования углерода.

В основе метода лежит оценка скорости и объемов депонирования углерода через скорости накопления осадка. Общая формула выглядит следующим образом:

$$T = C * \rho * V * S, \quad (1)$$

где: T – объем захороненного углерода в озере в год, т/год; C – содержание углерода в донных отложениях, %; ρ – плотность донных отложений (сухая насыпная плотность, плотность минерального скелета), г/см³; V – скорость осадконакопления см/год; S – площадь озера км². При этом каждый отдельный показатель может быть получен разными методами, что позволяет проводить оценку разным научным коллективам с разными аналитическими возможностями.

стями.

Методы оценки скорости захоронения применяемые для датирования донных отложений делятся на абсолютные – радиоизотопное датирование (Pb^{210} , Cs^{137} , C^{14}), оптическая люминесценция (ASL), термолюминесценция (TL) и косвенные – палеонтологические (пыльцевой, диатомовый и др.), маркерный (маркеры крупных загрязнений Pb, Hg, Cs^{137} и др. поллютанты).

Методы оценки плотности – прямой и расчетный:

$$\rho = (\rho_t * (1 - \omega)) / (\omega * (\rho_t - 1) + 1), \quad (2)$$

где: ω – относительная влажность сапропеля, %; ρ_t – плотность твердой фазы сапропеля, т/м³.

Относительная влажность берется по данным аналитических исследований, а ρ_t по формуле:

$$\rho_t = 2,58 - 0,013 * I, \quad (3)$$

где, I – содержание органического вещества в пробе, полученное по результатам аналитических исследований.

Оценка содержания углерода отдельная аналитическая задача, углерод в донных отложениях оценивается как $C_{орг}$ – органический, $C_{орг}$ – минеральный(карбонатный), $C_{общ}$ – общий ($C_{орг} + C_{мин}$). В таблице 1, представлены основные методы оценки углерода в донных отложениях.

Таблица 1. Методы оценки углерода в донных отложениях

Метод	Тип оценки
CHNS-анализ (Прегля–Дюма)	Количественная ($C_{орг}$, $C_{общ}$)
ТОС-анализатор (с HCl обработкой)	Количественная ($C_{общ}$, $C_{орг}$, $C_{мин}$)
LOI (Loss on Ignition, прокаливание)	Приближенная ($C_{общ}$)
Газометрический метод (CO_2 при HCl)	Количественная ($C_{орг}$)
Рентгенофазовый анализ (XRD) с пересчетом карбонатной части	Количественная ($C_{мин}$) / полуколичественная ($C_{мин}$)
FTIR (инфракрасная спектроскопия)	Качественная / полуколичественная ($C_{орг}$, $C_{мин}$)

Авторы в работе попытались объединить различные подходы в оценке депонирования углерода.

Исследуемые озера локализованы на юге Западной Сибири в основном, в юго-восточной части Западно-Сибирской платформы, граничащей с Алтае-Саянской складчатой областью, в пределах Обь-Иртышского междуречья, и часть озер расположены на территории Горного Алтая (плато Укок, Улаганская долина). Изучены 42 озера, в каждом озере брался неизменный стратифицированный разрез донных отложений с отбором проб каждые 1–5 см.

Аналитические исследования проводились в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск. Общетеchnические показатели (влажность, зольность, pH, плотность) донных отложений определялись по ГОСТу. Макро- и микроэлементный состав проб определялся атомно-абсорбционным методом «Solaar M6» (Thermo Electron, США), методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре высокого разрешения ELEMENT (Finnigan MAT). Изучение морфологии, минерального, фазового и химического состава донных отложений проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) «Mira 3 Tescan» и методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) (дифрактометр «ARLX'TRA»). Скорости осадконакопления оценивались методом ра-

диометрического датирования по избыточному атмосферному ^{210}Pb по модели CRS (the Constant Rate of Supply). Проверка оценок датирования проводилась по активностям ^{137}Cs по маркирующим горизонтам. Оценка содержания углерода проводилась комплексом методов: Элементный состав органической части донных отложений изучался органическим элементным анализом прегла-думасана на анализаторе PE 2400 Series II CHNS/O (PerkinElmer) в аналитическом центре ИПА СО РАН, минеральный углерод оценивался рентгенофазовым анализом (XRD) с дальнейшим пересчетом карбонатной части, проверка проводилась по методу постепенного прокаливания.

Результаты и их обсуждение

Полученные значения по скоростям депонирования углерода для донных отложений 42 озер составляют: 462 ± 29 г/м² в год, минимальные значения относятся к оз. Кротова ляга – 50 г/м² в год, максимальные к оз. Яково – 1110 г/м² в год. В целом полученные оценки для озер юга Западной Сибири соответствуют данным других ученых для внутриконтинентальных водных объектов мира [1–3].

Заключение

Проведен комплексный анализ методов оценки депонирования углерода в донных отложениях малых озер, включающий как прямые, так и косвенные подходы в оценке. Был опробованная комплексная методика оценки депонирования углерода, результатом стала оценка скоростей депонирования углерода донными отложениями малых озер расположенных на юге Западной Сибири.

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7)
при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации).*

Литература

1. Clow D.W., Stackpoole S.M., Verdin K.L. et al. Organic carbon burial in lakes and reservoirs of the conterminous United States // Environmental science & technology. – 2015. – Vol. 49(13). – P. 7614–7622.
2. Li Y., Zhang X., Zhang Z. et al. Global lake carbon burial from endorheic zones since the Last Glacial Maximum and the future projection // The Innovation Geoscience. – 2025. – Vol. 3(2). – P. 100132-1–100132-9.
3. Mendonca R., Muller R.A., Clow D. et al. Organic carbon burial in global lakes and reservoirs // Nature communications. – 2017. – Vol. 8(1). – Art. No. 1694.

SUMMARY

The book contains the reports of participants of the XIV International Biogeochemical School-Conference, held at Tomsk Polytechnic University on September 15-20, 2025. The purpose of the conference is to exchange the results of fundamental and applied research in the field of geochemical ecology, the influence of anthropogenic factors on the environment and environmental protection. As well as the presentation and discussion of new ideas, methods for the formation of relevant scientific directions and state programs for the application of biogeochemistry achievements in nature conservation, national economy, medicine and education. The collection is of interest to students, graduate students, young scientists, teachers in the field of environmental protection, ecology and natural resources.

Издательство "STT" является лидером научного книгоиздания в Сибирском регионе, консультирует по вопросам защиты авторских прав, организации выпуска научной периодики и распространению научных книг и журналов в России и за рубежом. С 2014 года является официальным представителем британского издательства Red Square Scientific, специально ориентированного на российских авторов и российское научное содержание. Это облегчает российским ученым публикации за рубежом и делает их работы широко доступными для мирового научного сообщества.

Лучшие книги, выпущенные Издательством "STT", находятся в крупнейших библиотеках мира – National Library of Medicine (USA), The British Library (UK), Library of Congress (USA) и в The US Patent Bureau (USA), что обеспечивает их размещение в мировых базах данных.



Россия, 634028, г. Томск, проспект Ленина 15/Б-1
Тел.: (3822) 421-455
E-mail: sttonline@mail.ru

МИР ЖДЕТ ВАШИ КНИГИ!

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Aimin Peng	4	Баранчуков В.С.	271, 378, 571
Baikenzheyeva A.T.	482	Барахов А.В.	375
Binlin Jia	4	Бардамова М.Б.	660
Duisenbaeva S.T.	482	Бартанова С.В.	393
Kurmanbayev R.Kh.	482	Бат-улзий Д.	24
Mengke Han	4	Бауэр Т.В.	375
Nan Gan	4	Бахтин А.М.	166
Nanping Wang	4	Башкин В.Н.	9
Orynbekov D.D.	482	Безель В.С.	101
Toktaganova G.B.	482	Бекманов Б.	12
Turekeldiyeva R.T.	482	Белан Б.Д.	70
Turspanbetova S.T.	482	Белан Л.Н.	651
Ying Jiang	4	Беланов М.А.	264, 322, 346
Абакумов Е.В.	390, 440, 544	Белов М.А.	574
Абдыкеева З.Т.	291	Белякова А.Ю.	39
Агеева Е.В.	449	Березкин В.Ю.	271, 378, 591, 571
Азарова С.В.	94, 112	Бермаганбетова Л.А.	565
Азизбекян С.Г.	655	Беспалова А.И.	170, 173
Айтмухан Е.Е.	565	Бигалиев А.	12
Актамов М.	366	Богатов В.В.	350
Андреева А.Д.	170	Богомаз Е.С.	375
Антонов Д.В.	97	Боев В.А.	386
Ануфрик С.С.	437	Боев В.В.	382
Анучин С.Н.	437	Болсуновский А.Я.	497
Анциферов Е.А.	253	Бондаревич Е.А.	176
Апсаликов К.Н.	528	Борзенко С.В.	281
Арбаев Т.К.	369	Боровкова А.Д.	264, 322, 346
Арбузов С.И.	666	Бортникова С.Б.	16, 372
Артамонова В.С.	372	Брайт Ю.Ю.	528
Артамонова С.Ю.	492	Бурмистрова А.С.	640
Аскарова Д.А.	562	Бурылин Я.О.	361
Афзалова Е.И.	258	Быков В.М.	90
Ахмадалиев М.А.	261	Быкова Е.М.	112
Ахназарова З.А.	261	Вайнберг А.С.	390
Бабенко А.С.	6	Варавикова Е.А.	571
Бабошкина С.В.	60, 471	Вах Е.А.	105, 268
Бабушкин А.Г.	215	Вахрушев В.И.	497
Байгазинов Ж.А.	235	Венцова И.Ю.	577, 621
Байкенова Г.Е.	565	Верещагин А.П.	369
Балабаненко А.А.	195	Вершкова Е.М.	580, 629, 663
Балыкин Д.Н.	60	Ветошкина А.В.	105, 268
Балыкин С.Н.	60, 471	Винокурова О.В.	468
Барановская Н.В. 55, 565, 568, 580, 597, 601		Вольф З.П.	179
..... 607, 610, 613, 614, 618		Вольфсон И.Ф.	20, 583
..... 632, 638, 561, 660, 663		Воробьев Д.С.	346

Воробьева Е.И.	386	Донец М.М.	264, 322, 346
Воронин Б.А.	554	Дорошкевич С.Г.	243
Воронина Ю.В.	554	Дребот В.В.	281
Восель Ю.С.	182	Дрогобужская С.В.	284, 333
Востроилов А.В.	577	Дубровская Т.В.	288
Вохмянин Б.Н.	516	Дудникова Т.С.	152
Вторушина О.О.	293	Дудченко Л.Ш.	37
Гавриленко М.А.	676	Дускаев К.К.	235
Гага А.С.	676	Дутова Е.М.	195
Гаммер Д.А.	386	Душевина Е.С.	402
Гангапшев А.М.	544	Дюкарев Е.А.	34
Гашкова Л.П.	185	Евстафьева Е.В.	37
Гежаев А.М.	544	Елизарова И.Р.	310
Герцен М.М.	152, 155	Елсукова Е.Ю.	404
Глебов В.В.	562	Ельчининова О.А.	60, 407
Глухов В.С.	410	Енина Е.Н.	571
Гоголева Н.Е.	682	Ержанова А.Т.	601
Годяева М.М.	500, 586	Ермаков В.В.	591
Голованова О.	588	Ершова Т.С.	313, 594
Головацкая Е.А.	34	Есильканов Г.М.	528
Головин М.Л.	271, 378	Ефимик В.Е.	604
Головченко А.В.	42	Ефимик Е.Г.	604
Гончаров Г.А.	188	Ефимова С.А.	42
Гончаров Е.А.	522	Жарнова О.А.	437
Горбунов А.В.	396	Жерненко А.О.	537
Гостева А.Н.	118	Жмодик С.М.	39
Гуляева У.А.	591	Жолболдиев Б.Т.	26
Гуринович А.С.	594	Журавлева Ю.С.	571
Гуринович В.А.	655	Журкова И.С.	199
Гурьев Н.Е.	475	Завьялова Г.И.	109
Гусак Д.В.	192	Зайцев В.Ф.	594
Гусева В.П.	534	Заров Е.А.	34
Гусейнов А.Н.	353	Зезюн К.А.	112
Густайтис М.А.	453	Злобина А.Н.	513
Гэрэл О.	24	Иванов В.П.	142, 457
Дампилова Б.В.	393	Иванова Д.А.	607
Данилова В.Н.	378, 571, 591	Иванова Е.А.	202
Двуреченская С.Я.	407	Иванова И.С.	300
Деева Е.С.	503	Иванчукова Н.В.	410
Дементьев Д.В.	497	Ильенок С.С.	666
Дементьева О.К.	407	Инишева Л.И.	42
Денисова А.С.	396	Ирисова Г.М.	291
Денисова О.А.	597	Исагалиев М.	366
Денисова О.Е.	506	Каверин Д.А.	90
Деркачев А.С.	510	Каганович Н.И.	310
Джаманбаева З.А.	26, 291	Казакова А.А.	610, 618
Дженбаев Б.М.	26, 291	Какабаев А.А.	565, 601
Дзюба Е.А.	399	Калачева Т.П.	597
Дмитриченко А.А.	34	Калдыбаев Б.К.	369
Домрочева Е.В.	274, 277	Капитальчук А.И.	612

Капитальчук И.П.	612, 614	Лазарева Е.В.	39, 453
Капитальчук М.В.	46, 414, 612, 614	Лапиков П.И.	525
Караванова Е.И.	49	Лапшина Е.Д.	34
Кара-Сал И.Д.	206	Леоненко А.В.	443
Кармышева У.Ж.	26	Леонова Г.А.	316
Карпенко И.В.	264, 322	Лепокурова О.Е.	274, 319
Карпова Е.В.	346	Ливента Д.С.	457
Катковская И.Н.	655	Липихина А.В.	528
Кац В.Е.	293	Липкина А.Е.	90
Кирста Ю.Б.	60	Литау В.В.	212
Кирста Ю.Б.	670	Литвиненко А.В.	264, 322
Клементьев С.В.	118	Лихачев С.Ф.	339
Ковалева Н.О.	418	Лохов А.С.	209
Ковальчук М.А.	421	Лукашевич В.Н.	115
Ковригин А.О.	60	Лукашевич О.Д.	115
Кожухметова А.	12	Лукошкова А.А.	90
Колесникова Е.С.	424	Лычагин М.Ю.	288
Колкова А.А.	428	Ляпина Е.Е.	446
Колмакова С.А.	339	Ляпунов М.Ю.	461
Колмыкова Л.И.	378, 571	Лях В.А.	264
Колотков Г.А.	554	Мазухина С.И.	52, 284, 333
Колотыгина В.Н.	296	Макаров В.Н.	325
Колубаева Ю.В.	300	Макаров Д.В.	310
Коноплева И.В.	431	Макарова И.В.	557
Коржавин А.В.	516	Максимова Ю.А.	396, 428
Коржавина Т.Н.	516	Малахов Д.П.	118
Королёв А.Н.	303	Малов В.И.	77, 688
Король И.С.	277, 307	Малов Г.И.	77, 688
Королькова М.М.	124	Малышева М.Б.	310
Костин А.С.	378	Мальцев А.Е.	316
Котова Е.И.	209, 239	Мангутова А.К.	624
Котченко С.Г.	479	Манджиева С.С.	375
Кравец А.	404	Масалева К.Р.	264, 322
Красавцева Е.А.	310	Масленникова К.С.	449
Крачнакова М.Г.	610, 618	Маслобоев В.А.	284, 333
Кречетов П.П.	49	Мащенко Е.Ю.	258
Кривоногов С.К.	316	Мезенова О.Я.	437
Кропачева М.Ю.	182, 247, 519, 557	Мезина К.А.	182, 531
Круглова М.С.	434	Мельгунов М.С.	182, 531, 557
Крупская Т.К.	437	Микулич М.Е.	97
Куанова А.С.	313	Миндубаев А.З.	118
Кужугет С.К.	206	Минкина Т.М.	375
Кузина Д.М.	361	Митракова Н.В.	485, 604
Кузнецова О.В.	407	Михайлов В.И.	70
Кузьменкова Н.В.	500, 537	Михайлова Л.А.	421
Кулик А.А.	34	Михайловская З.Б.	534
Курчаева Е.Е.	621	Михайловская Л.Н.	534
Кухтенко Н.А.	522	Мойсеёнок А.Г.	655
Кучин Л.С.	673	Мороз Т.Н.	39
Кушнов И.Д.	390, 440	Московченко Д.В.	160

Московченко Д.В.	215	Рожкова Е.В.	635
Мотылевич Ж.В.	655	Розанов А.Ю.	39
Мудрук С.В.	333	Розанов В.Б.	271
Мулюкова О.Н.	339	Романов Е.М.	522
Мухамедияров Н.Ж.	235	Ромашко М.Д.	124
Мухачева С.В.	101	Рудакова Л.В.	336
Мухортина Н.А.	145, 277, 300, 307, 319	Рудмин М.А.	64
Мырзатай А.	12	Савенко К.С.	293
Мягкая И.Н.	453	Савичев О.Г.	67
Мягкова Я.А.	219	Савченков А.В.	339
Наркович Д.В.	580, 629	Савченкова М.А.	339
Нехаев И.О.	440	Салтыков А.В.	60, 471
Нецветаева О.П.	209	Самохина Н.П.	488
Никитенков А.Н.	195	Санарова Р.Ю.	226
Новиков С.А.	120	Сандимиров С.С.	310
Новикова В.Д.	223	Саранчина Н.В.	676
Новоселов А.А.	149	Сарыг-оол Б.Ю.	39, 453
Носкова А.Д.	632	Сат А.А.	34
Нургалиева Н.Г.	361	Сафонов А.В.	333
Овдина Е.А.	77, 688	Сафонов В.А.	577, 621
Озерский А.Ю.	329	Сафонова А.А.	128
Орлов А.С.	90	Селезнев А.А.	158, 402, 410
Осипов К.Ю.	120	Серебряков К.В.	676
Осипова Н.А.	120, 132, 170, 457	Середина Е.В.	679
Павлова Л.М.	461	Сибиркина А.Р.	339
Паничев А.М.	55	Сидоров М.Ю.	118
Парамонова Т.А.	500, 506, 537	Симоненков Д.В.	70, 226
Пасечник Е.Ю.	67	Симонов С.	588
Перегудина Е.В.	632, 635	Синдирева А.В.	475, 479, 574, 624, 640
Переломов Л.В.	152, 155	Сиромля Т.И.	74
Переломова А.Л.	124	Слащёва А.В.	353
Перемотина А.В.	336	Слепушкина А.А.	638
Перькова Е.Н.	158	Смирнов В.Э.	202
Петренко Д.Б.	396, 428	Смирнов С.В.	34
Позолотина В.Н.	534	Собакин П.И.	549
Половяненко Д.Н.	346	Соктоев Б.Р.	112, 188
Полякова Е.Ю.	682	Солдатова Е.А.	296
Пономарчук В.А.	39	Сорокина И.В.	437
Порохина Е.В.	42	Соромотин А.В.	160
Походня Е.И.	465	Сотникова Ю.С.	346
Поцелуев А.А.	88	Софинская О.А.	682
Почиталкина И.А.	468	Софронова С.М.	434
Прозорова Л.А.	350	Стародымова Д.П.	209
Пузанов А.В.	60, 407, 471, 670	Стотлер Р.	281
Пустовалов К.Н.	34	Страховенко В.Д.	77, 688
Пучков А.В.	90	Стрепетов Д.А.	568
Рахматуллина С.Н.	346	Стрижак П.А.	97
Редников А.Р.	346	Ступак В.С.	571
Резниченко И.С.	640	Судыко А.Ф.	601
Рождественская Т.А.	60, 670, 407, 471	Сухарева Т.А.	202

Сушенцова М.В.	163	Ченцов А.В.	554
Сысо А.И.	82, 85	Чередова Т.В.	243
Сычев В.И.	152	Черемисин А.С.	655
Таловская А.В.	120, 170, 173, 212, 223, 226, 229, 232	Черкасов Р.Е.	97
Тарасенко И.А.	105	Черникова Н.П.	375
Тармёнок Е.О.	232	Чернова Е.Н.	350
Такий Ю.Г.	343	Черногорюк Г.Э.	597
Темботов Р.Х.	440, 544	Черных Е.П.	250
Темиржанова А.Е.	235	Чеснокова Т.Ю.	554
Тентюков М.П.	70	Чжан Я.	247
Титко О.В.	655	Чимитова А.Ж.	250
Титова К.В.	209	Чистякова Н.Ф.	258
Тихонова Е.Н.	128	Чугуевский А.В.	557
Ткаченко Н.С.	479	Чудинова О.Н.	250
Тойчуев Р.М.	643	Чуйкина Д.И.	307
Толстов А.В.	39	Шабоянц Н.Г.	313
Топольницкий Е.Б.	597	Шавекин А.С.	39
Топтыгина М.Н.	215	Шавекина А.Ш.	372
Топчая В.Ю.	179, 219, 239	Шаймарданов Ж.К.	685
Топчая Е.В.	179	Шаймарданова Б.Х.	685
Торопов А.В.	132	Шалабаева К.	12
Трифонов В.В.	271	Шарапова А.В.	163
Трошкова И.А.	60, 471, 670	Шарипова Б.У.	565
Турыкин Л.А.	537	Шевченко А.С.	410
Турышев В.В.	548, 551	Шешнищан С.С.	128, 166
Тютиков С.Ф.	648	Шешнищан Т.Л.	166
Украинцев А.В.	250	Шипхинеева А.Ю.	597
Упорова М.А.	160	Шкригун А.А.	132
Фарзалиева Г.Ш.	604	Шуакар-Сташ О.	281
Филимоненко Е.А.	160, 488	Шульгин П.Р.	676
Франк Ю.А.	346	Шуляк И.В.	37
Фролова М.А.	339	Щербов Б.Л.	199
Хайданов И.В.	152	Экзарьян В.Н.	353
Хайрулина Е.А.	485	Юдина Е.Н.	356
Хайрулина Л.А.	651	Юлдашев Г.	366
Харыбина А.С.	488	Юсупов Д.В.	461
Холодов А.С.	105	Юсупова А.Р.	361
Цыганков В.Ю.	264, 322, 346	Язиков Е.Г.	88, 94, 120, 212, 233, 235
Чаплыгин В.А.	594	Яковлев Е.Ю.	90, 525
Чевычелов А.П.	540	Яндола Н.И.	136
		Янченко Н.И.	253

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ И ЮБИЛЕЙНЫЕ ДОКЛАДЫ

Determination of radon exhalation rate of uranium ore samples from sandstone- type uranium deposits in Erlian Basin, Inner Mongolia <i>Nanping Wang, Ying Jiang, Nan Gan, Mengke Han, Binlin Jia, Aimin Peng</i>	4

Миграции химических элементов в процессе вермикомпостирования <i>А.С. Бабенко</i>	6

Инновационные биогеохимические техно- логии для рекультивации и ремедиации импактных экосистем <i>В.Н. Башкин</i>	9

Цитогенетический и молекулярно- генетический скрининг влияния радиационного загрязнения на геном человека и здоровье населения <i>А. Бигалиев, Б. Бекманов, К. Шалабаева, А. Кожсахметова, А. Мырзатай</i>	12

О комплексных исследованиях территорий размещения горнорудных производств <i>С.Б. Бортникова</i>	16

Медицинская геология как перспективное направление научного пограничья <i>И.Ф. Вольфсон</i>	20

Отношение U/Th как геохимический индикатор в редкометалльных гранитах Монголии <i>О. Гэрэл, Д. Бат-улзий</i>	24

История добычи радия в Туя-Муюн (Кыргызстан) и современное состояние <i>Б.М. Дженбаев, Б.Т. Жолболдиев, З.А. Джаманбаева, У.Ж. Кармышева</i>	26

Потоки углекислого газа в болотных экосистемах Западной Сибири <i>Е.А. Дюкарев, Е.А. Головацкая, А.А. Дмитриченко, Е.А. Заров, А.А. Кулик, Е.Д. Лапина, К.Н. Пустовалов, А.А. Сат, С.В. Смирнов</i>	34

Элементный статус различных категорий населения полуострова Крым <i>Е.В. Евстафьева, И.В. Шуляк, Л.Ш. Дудченко</i>	37

Свидетельства участия микроорганизмов в формировании уникальных Nb-REE руд Томторского месторождения <i>С.М. Жмодик, Е.В. Лазарева, В.А. Пономарчук, Т.Н. Мороз, Б.Ю. Сарыг-оол, А.В. Толстов, А.Ю. Белякова, А.С. Шавекин, А.Ю. Розанов</i>	39

Химические свойства и биологическая активность торфов Западной Сибири <i>Л.И. Инишева, С.А. Ефимова, Е.В. Порохина, А.В. Головченко</i>	42

К вопросу о времени и вечности <i>М.В. Капитальчук</i>	46

Профессор МГУ Г.В. Мотузова. Вклад в исследования поведения элементов в почвах (к 85-летию со дня рождения) <i>П.П. Кречетов, Е.И. Караванова</i>	49

Физико-химическое моделирование в гео- и биогеохимических системах <i>С.И. Мазухина</i>	52

О феномене использования минераль- ных сорбентов животными и чело- веком для поддержания баланса ред- коземельных элементов в организме <i>А.М. Паничев, Н.В. Барановская</i>	55

Биогеохимическая ситуация в бассейне Верхней Оби <i>А.В. Пузанов, О.А. Ельчинова, Т.А. Рождественская, С.В. Бабошкина, Ю.Б. Кирста, С.Н. Балыкин, Д.Н. Балыкин, А.В. Салтыков, И.А. Трошкова, А.О. Ковригин</i>	60

Роль микробиальных процессов при формировании мезозойских морских железняков <i>М.А. Рудмин</i>	64
Особенности трансформации химического состава атмосферных вод при их взаимодействии с растительным покровом в агроландшафтах (на примере пригорода Томска, Российская Федерация) <i>О.Г. Савичев, Е.Ю. Пасечник</i>	67
Эффлоресценция экзаметаболитов и образование вторичных органических аэрозолей: сезонная роль листопадных и хвойных деревьев <i>М.П. Тентюков, Д.В. Симоненков, Б.Д. Белан, В.И. Михайлов</i>	70
О проблемах применения биогеохимических коэффициентов <i>Т.И. Сиромля</i>	74
Распределение элементов в до- и постиндустриальные периоды их накопления в донных осадках малых озер юга Сибири, сформировавшихся в ходе гумидного и аридного типов седиментогенеза <i>В.Д. Страховенко, Г.И. Малов, В.И. Малов, Е.А. Овдина</i>	77
Вклад профессора М.С. Панина в изучение тяжелых металлов и радионуклидов в окружающей среде <i>А.И. Сысо</i>	82
Нерешенные вопросы экологической оценки химических элементов в почвах как компоненте биосферы <i>А.И. Сысо</i>	85
Научно-педагогическое наследие <i>Л.П. Рихванова, Е.Г. Язиков, А.А. Поцелуев</i>	88
Радиоэкологическая характеристика почвенно-растительного покрова островных территорий западного сектора российской Арктики <i>Е.Ю. Яковлев, А.А. Лукошкова, А.Е. Липкина, А.В. Пучков, А.С. Орлов, В.М. Быков, Д.А. Каверин</i>	90

Секция 1

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ БИОГЕОХИМИИ. СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ: КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПОВЕСТКА, ТЕХНОГЕНЕЗ, ОЦЕНКА РИСКА	
Оценка опасности техногенных минеральных объектов методами биотестирования <i>С.В. Азарова, Е.Г. Язиков</i>	94
Физико-химические закономерности при сжигании композиционных реактивных жидких топлив: эксперимент, моделирование, испытания <i>Д.В. Антонов, М.Е. Микулич, Р.Е. Черкасов, П.А. Стрижак</i>	97
Мелкие млекопитающие импактных регионов: роль в биогенных циклах в условиях сокращения промышленных выбросов <i>С.В. Мухачева, В.С. Безель</i>	101
Оценка влияния объектов накопленного вреда в условиях природно-климатических изменений (Приморский край) <i>А.В. Ветошкина, И.А. Тарасенко, А.С. Холодов, Е.А. Вах</i>	105
Социально-культурные и экономические последствия техногенеза (на примере Оренбургской области) <i>Г.И. Завьялова</i>	109
Особенности биотестирования отходов хвостохранилищ на примере Алтайского и Джидинского горно-обогатительных комбинатов <i>К.А. Зезюн, Е.М. Быкова, С.В. Азарова, Б.Р. Соктоев</i>	112
Геохимические и биогеохимические аспекты новых направлений строительного материаловедения <i>О.Д. Лукашевич, В.Н. Лукашевич</i>	115

Биовыщелачивание сподумена двумя штаммами <i>Aspergillus niger</i> , солюбилизаторами фосфатов <i>С.В. Клементьев, А.З. Миндубаев, М.Ю. Сидоров, Д.П. Малахов, А.Н. Гостева</i>	118	Полициклические ароматические углеводороды в природных объектах северных районов <i>Н.А. Мухортина</i>	145
Оценка риска здоровью на основе данных о содержании элементов в нескольких природных средах (г. Междуреченск, Южный Кузбасс) <i>Н.А. Осипова, Е.Г. Языков, А.В. Таловская, К.Ю. Осипов, С.А. Новиков</i>	120	Потенциальная роль процессов современного биогенного карбонатообразования в донных отложениях бессточных озер юга Западной Сибири в длительном секвестре углерода <i>А.А. Новоселов</i>	149
Цели устойчивого развития в России: прогресс социально-экономических показателей и нерешенные экологические проблемы <i>А.Л. Переломова, М.Д. Ромашко, М.М. Королькова</i>	124	Поглощение антибиотиков природными и химически модифицированными глинистыми минералами <i>Л.В. Переломов, М.М. Герцен, Т.С. Дудникова, И.В. Хайданов, В.И. Сычев</i>	152
К вопросу об изучении потоков растворенного углерода в сети карбоновых полигонов Российской Федерации <i>А.А. Сафонова, Е.Н. Тихонова, С.С. Шешиницан</i>	128	Поглощение катионов свинца органоминеральными системами на основе бентонита и ПАВ разных типов <i>Л.В. Переломов, М.М. Герцен</i>	155
Содержание ртути и тяжелых металлов в ихтиофауне природных водоемов Алтая и оценка риска для здоровья человека <i>Н.А. Осипова, А.А. Шкригун, А.В. Торопов</i>	132	Методика определения микропластика в современных наносах урбанизированной территории <i>Е.Н. Перькова, А.А. Селезнев</i>	158
Уран в природных водах новосибирской области: параметры распределения и оценка рисков для здоровья населения <i>Н.И. Яндола</i>	136	Влияние выпаса оленей на состав органического вещества почв арктической тундры <i>А.В. Соромотин, Е.А. Филимонок, Д.В. Московченко, М.А. Упорова</i>	160
		Интенсивность биологической деструкции органического вещества городских и природных почв Московского региона <i>М.В. Сушенцова, А.В. Шаранова</i>	163
		Биогеохимический вклад почв в углеродный баланс лесостепных экосистем: оценка запасов углерода и эмиссии CO ₂ в типичной и южной лесостепи Воронежской области <i>С.С. Шешиницан, Т.Л. Шешиницан, А.М. Бахтин</i>	166

Секция 2

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОХИМИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Структурная углехимия. основные аспекты нового научно-практического направления изучения молекулярной структуры сингенетических каустобиолитов <i>В.П. Иванов</i>	142

Секция 3

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЭКОЛОГО- ГЕОХИМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ АЭРОЗОЛЕЙ

Распределение фторидов в снежном покрове в промышленно-селитебных районах (на примере г. Томска) <i>А.Д. Андреева, А.И. Беспалова, А.В. Таловская, Н.А. Осипова</i>	170
Геохимическая специфика состава уличной пыли промышленно-урбанизированных территорий (на примере г. Красноярска и г. Томска) <i>А.И. Беспалова, А.В. Таловская</i>	173
Полиэлементное загрязнение пылевой фракции снежного покрова г. Читы (в зимний период 2022–2023 гг.) <i>Е.А. Бондаревич</i>	176
Качественная оценка загрязнения атмосферного воздуха в городах Калининградской области <i>З.П. Вольф, Е.В. Топчая, В.Ю. Топчая</i>	179
Накопление естественных радионуклидов (^7Be , ^{210}Pb) и микроэлементов в компонентах биогеоценоза арктической части Западной Сибири (ЯНАО) <i>Ю.С. Восель, М.С. Мельгунов, К.А. Мезина, М.Ю. Кропачева</i>	182
Результаты биомониторинга содержания элементов в ходе постпирогенной сукцессии на верховых болотах <i>Л.П. Гашкова</i>	185
Биологическое поглощение химических элементов в системе «почва – растение» (на примере тополя бальзамического, г. Уфа) <i>Г.А. Гончаров, Б.Р. Соктоев</i>	188
Влияние некоторых факторов на распространение взвешенных частиц <i>Д.В. Гусак</i>	192

Особенности миграции урана в подземных водах юга Западной Сибири <i>Е.М. Дутова, А.Н. Никитенков, А.А. Балабаненко</i>	195
Применение полевой установки для изучения распределения химических элементов в продуктах горения биообъектов <i>И.С. Журкова, Б.Л. Щербов</i>	199
Возрастная динамика элементного состава стареющей и опадающей хвои сосны обыкновенной в северотаежных сосновых лесах при аэротехногенном загрязнении <i>Е.А. Иванова, Т.А. Сухарева, В.Э. Смирнов</i>	202
Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и передвижных источников по Республике Тыва <i>И.Д. Кара-Сал, С.К. Кужугет</i>	206
Геохимические особенности снежного покрова в устьях рек Белого и Баренцева морей <i>Е.И. Котова, Д.П. Стародымова, О.П. Нецветаева, А.С. Лохов, К.В. Титова</i>	209
Микроэлементный состав аэрозолей твердых частиц по данным изучения снегового покрова (на примере г. Омска) <i>В.В. Литая, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков</i>	212
Мониторинг атмосферного выпадения тяжелых металлов на нефтяных месторождениях ХМАО-Югры <i>Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкин, М.Н. Топтыгина</i>	215
Эколого-геохимическая оценка аэрогенного загрязнения города Калининграда по составу снега <i>Я.А. Мяжкова, В.Ю. Топчая</i>	219
Геохимическая характеристика нерастворимой фракции снежного покрова на территории г. Кемерово <i>В.Д. Новикова, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков</i>	223

Гранулометрический состав атмосферного аэрозоля и нерастворимого осадка снегового покрова на фоновой и пригородной станциях в Томском регионе <i>Р.Ю. Санарова, А.В. Таловская, Д.В. Симоненков</i>	226
Эколого-геохимический мониторинг атмосферных аэрозолей по анализу снегового покрова (юг Западной Сибири) <i>А.В. Таловская</i>	229
Статистический анализ эколого-геохими- ческих данных по составу аэрозолей, осевших в снеговой покров в окрестно- стях глиноземного производства <i>Е.О. Тармёнок, А.В. Таловская</i>	232
Тяжелые металлы и уран в донных отложениях загрязненного участка реки Шаган <i>А.Е. Темиржанова, Е.Г. Язиков, Ж.А. Байгазинов, Н.Ж. Мухамедияров, К.К. Дускаев</i>	235
Радиоактивные элементы в атмосферных выпадениях на территории Калининградской области <i>В.Ю. Топчая, Е.И. Котова</i>	239
Влияние нерекультивированных свалок на загрязнение атмосферного воздуха по результатам снеговой съемки <i>Т.В. Чередова, С.Г. Дорошкевич</i>	243
Оптимизация состава реагентов для разложения биоиндикаторов аэрозолей в методике SET (Sequential Elution Technique) в геохимических исследованиях <i>Я. Чжан, М.Ю. Кропачева</i>	247
Изучение состава нерастворимого осадка снежного покрова в районе золошлакоотвалов Гусиноозерской ГРЭС <i>О.Н. Чудинова, А.В. Украинцев, Е.П. Черных, А.Ж. Чимитова</i>	250
Поверхностный градиент температур в снежном покрове Иркутска <i>Н.И. Янченко, Е.А. Анциферов</i>	253

Секция 4

БИОГЕОХИМИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Экологическая оценка качества вод пруда Плехановский <i>Е.И. Афзалова, Н.Ф. Чистякова, Е.Ю. Мащенко</i>	258
Характеристика анализа химического состава вод большого ферганского канала (Алтиарик) <i>З.А. Ахназарова, М.А. Ахмадалиев</i>	261
Содержание микроэлементов в горбуше, кете и нерке из Охотского моря <i>М.А. Беланов, А.В. Литвиненко, К.Р. Масалева, И.В. Карпенко, М.М. Донец, А.Д. Боровкова, В.А. Лях, В.Ю. Цыганков</i>	264
РЗЭ как маркеры экологической ситуации на месторождении Шануч (Камчатка) <i>Е.А. Вах, А.В. Ветошкина</i>	268
Изучение пресноводного фитопланктона Косинского трёхозерья, в связи с их эвтрофикацией <i>М.Л. Головин, В.Ю. Березкин, В.С. Баранчуков, В.Б. Розанов, В.В. Трифонов</i>	271
Зависимость микрофлоры от химического состава водных объектов Кузбасса в условиях техногенной нагрузки <i>Е.В. Домрочева, О.Е. Лепокурова</i>	274
ПАУ как индикаторы антропогенного влияния на водные экосистемы Кузнецкого угольного бассейна <i>Е.В. Домрочева, И.С. Король, Н.А. Мухортина</i>	277
Природа распределения стабильных изото- пов С1 и Вг в солёных озёрах и подзем- ных водах Восточного Забайкалья <i>В.В. Дребот, С.В. Борзенко, О. Шуакар-Сташ, Р. Стотлер</i>	281
Исследование химического состава природных и питьевых вод Мурманской области, форм миграции и элементный статус жителей <i>С.В. Дрогобужская, С.И. Мазухина, В.А. Маслобоев</i>	284

Накопление растворенных и взвешенных форм тяжелых металлов и металлоидов макрофитами в дельтах рек юга России <i>Т.В. Дубровская, М.Ю. Лычагин</i> 288	Некоторые данные по РОВ в минеральной воде «Омега» <i>О.Е. Лепокурова, Н.А. Мухортина</i> 319
Фтор в воде и донных отложениях горных рек Кыргызстана (Кок-Арт) <i>Г.М. Ирисова, Б.М. Дженбаев, З.Т. Абдыкеева, З.А. Джаманбаева</i> 291	Концентрация токсичных и эссенциальных элементов в некоторых видах промысловых рыб из Охотского моря <i>А.В. Литвиненко, М.А. Беланов, К.Р. Масалева, И.В. Карпенко, М.М. Донец, А.Д. Боровкова, В.Ю. Цыганков</i> 322
Редкоземельные элементы в подземных водах республики Алтай <i>В.Е. Кац, К.С. Савенко, О.О. Вторушина</i> 293	Тростник в городских озерах как накопитель свинца <i>В.Н. Макаров</i> 325
Сезонная динамика химического состава воды эвтрофного озера Кучаково <i>В.Н. Колотыгина, Е.А. Солдатова</i> 296	Об использовании методики анализа воды ПНД 14.1:2:4.135-98 в эколого- гидрохимических исследованиях <i>А.Ю. Озерский</i> 329
Полициклические ароматические углеводо- роды в объектах окружающей среды нефтегазодобывающих территорий (на примере Ямало-Ненецкого автономного округа) <i>Ю.В. Колубаева, Н.А. Мухортина, И.С. Иванова</i> 300	Влияние химического состава щелочных гранитов Западно-Кейвского массива на химический состав природных вод <i>С.И. Мазухина, В.А. Маслобоев, С.В. Мудрук, С.В. Дрогобужская, А.В. Сафонов</i> 333
Эколого-геохимическая оценка состояния малых водных объектов на территории города Омска <i>А.Н. Королёв</i> 303	Оценка эффективности иммобилизации активного ила на биоразлагаемом носителе из пластмассы PLA <i>А.В. Перемотина, Л.В. Рудакова</i> 336
О состоянии озер о. Самойловский в дельте Лены <i>И.С. Король, Д.И. Чуйкина, Н.А. Мухортина</i> 307	Содержание ионов тяжелых металлов в некоторых водоемах Челябинской области <i>А.Р. Сибиркина, С.Ф. Лихачев, О.Н. Мулюкова, А.В. Савченков, С.А. Колмакова, М.А. Фролова, М.А. Савченкова</i> 339
Содержание редкоземельных элементов в донных отложениях северной части озера Умбозеро <i>Е.А. Красавцева, С.С. Сандимиров, Д.В. Макаров, И.Р. Елизарова, М.Б. Малышева, Н.И. Каганович</i> 310	Редкоземельные элементы в отложениях термокарстовых озер российской Арктики: вероятность орнитогенного воздействия <i>Ю.Г. Таций</i> 343
Способность некоторых видов макрофитов дельты Волги к поглощению химических элементов из окружающей среды <i>А.С. Куанова, Т.С. Ершова, Н.Г. Шабоянц</i> 313	
Биогеохимия голоценовых отложений соленого озера Учум <i>Г.А. Леонова, А.Е. Мальцев, С.К. Кривоногов</i> 316	

Микропластик и стойкие органические загрязнители в прибрежных осадках Оби в пределах Новосибирского района <i>Ю.А. Франк, Ю.С. Сотникова, В.Ю. Цыганков, А.Р. Редников, М.М. Донец, Е.В. Карпова, М.А. Беланов, С.Н. Рахматуллина, А.Д. Боровкова, Д.Н. Половяненко, Д.С. Воробьев</i>	346
Использование семейства Unionidae в оценке загрязнения водных систем тяжелыми металлами <i>Е.Н. Чернова, Л.А. Прозорова, В.В. Богатов</i>	350
Геохимические барьеры – естественные фильтры водоемов <i>В.Н. Экзарьян, А.В. Слащёва, А.Н. Гусейнов</i>	353
Морфометрия рельефа применительно к задачам экосистемного мониторинга: методические аспекты и практические приложения <i>Е.Н. Юдина</i>	356
Изучение геоэкологического состояния озера нижний кабан (г. Казань, Республика Татарстан) <i>А.Р. Юсупова, Д.М. Кузина, Н.Г. Нургалиева, Я.О. Бурылин</i>	361

Секция 5

БИОГЕОХИМИЯ ПОЧВ: ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА, НОРМИРОВАНИЯ, МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИХ СОЕДИНЕНИЙ, ИЗОТОПОВ

Педогеохимия орошаемых засоленных земель и методы их исследования <i>М. Актамов, Г. Юлдашев, М. Исагалиев</i>	366
Микроэлементы в почвенно-растительном покрове бассейна реки Сары-Джаз <i>Т.К. Арбаев, Б.К. Калдыбаев, А.П. Верещагин</i>	369

Об иммобилизации химических элементов почвенными микроорганизмами в хвостохранилищах Сибири <i>В.С. Артамонова, С.Б. Бортникова, А.Ш. Шавекина</i>	372
Биодоступность тяжелых металлов в ризосфере дикорастущих и сельскохозяйственных растений на почвах особо охраняемых природных территорий <i>А.В. Барахов, Т.В. Бауэр, С.С. Манджиева, Т.М. Минкина, Е.С. Богомаз, Н.П. Черникова</i>	375
Дефицит йода и селена в почвенном покрове пастбищ некоторых областей ЦФО РФ <i>В.Ю. Березкин, В.С. Баранчуков, В.Н. Данилова, Л.И. Колмыкова, А.С. Костин, М.Л. Головин</i>	378
Основные агрохимические показатели почв территории расположения Тюменского нефтеперерабатывающего завода и их влияние на элементный состав <i>В.В. Боев</i>	382
Содержание гумуса и водородный показатель почв лесопарков города Тюмени <i>В.А. Боев, Д.А. Гаммер, Е.И. Воробьева</i>	386
Рекомендуемый стандартизированный протокол для определения воздействия микропластика на эмиссию CO ₂ и/или CH ₄ в сельскохозяйственных почвах <i>А.С. Вайнберг, И.Д. Кушинов, Е.В. Абакумов</i>	390
Оценка влияния продуктов сжигания углей на экологическое состояние почв г. Улан-Удэ <i>Б.В. Дампилова, С.В. Бартанова</i>	393
Распределение редкоземельных элементов в системе почва-растение в зоне влияния предприятий по добыче и переработке апатит-нефелиновых руд Кольского полуострова <i>А.С. Денисова, Д.Б. Петренко, А.В. Горбунов, Ю.А. Максимова</i>	396

Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в почвах Пермского края как инструмент обеспечения экологической безопасности <i>Е.А. Дзюба</i>	399	Оценка фиторемедиационного потенциала амаранта метельчатого (<i>Amaranthus paniculatus</i>) в условиях загрязнения почв пиритными огарками <i>А.А. Колкова, Д.Б. Петренко, Ю.А. Максимова</i>	428
Техногенные загрязнения в поверхностных осадках малых и средних городов Свердловской области <i>Е.С. Душевина, А.А. Селезнев</i>	402	Роль корневого обменного комплекса в поглощении ¹³⁷ Cs растениями <i>И.В. Коноплева</i>	431
Эколого-геохимическая оценка почв территории Прибайкалья <i>Е.Ю. Елсукова, А. Кравец</i>	404	Моделирование фосфатного геохимического барьера для предотвращения распространения загрязнений предприятий ядерно-топливного цикла <i>М.С. Круглова, С.М. Софронова</i>	434
Биогеохимия биогенных и токсичных элементов в почвах бассейна р. Майма (Горный Алтай) <i>О.А. Ельчиногова, А.В. Пузанов, О.В. Кузнецова, С.Я. Двуреченская, О.К. Дементьева, Т.А. Рождественская</i>	407	Природные сорбенты для биоремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами <i>Т.К. Крупская, С.Н. Анучин, С.С. Ануфрик, О.Я. Мезенова, О.А. Жарнова, И.В. Сорокина</i>	437
Мониторинг экологического состояния почв малых и средних городов России в холодный период года: на примере Свердловской области <i>Н.В. Иванчукова, А.А. Селезнев, А.С. Шевченко, В.С. Глухов</i>	410	Накопление и миграция тяжелых металлов в системе «ледник – почва» на примере двух горных ущелий с различной антропогенной нагрузкой <i>И.Д. Кушинов, Р.Х. Темботов, И.О. Нехаев, Е.В. Абакумов</i>	440
Оценка влияния Ph почвы на аккумуляцию селена зерновыми культурами и плодами грецкого ореха в Молдавии <i>М.В. Капитальчук</i>	414	Геоэкологические аспекты оценки влияния горнотехнической системы на состояние объектов окружающей среды (на примере Кербинского золотороссыпного района Хабаровского края) <i>А.В. Леоненко</i>	443
Биогеохимия стабильных изотопов углерода в погребенных почвах и культурных слоях поселений исторического времени <i>Н.О. Ковалева</i>	418	Токсичные элементы в соподчиненных ландшафтах болотных экосистем Томской области <i>Е.Е. Ляпина</i>	446
Оценка риска здоровью населения, проживающего в зоне влияния объектов накопленного вреда окружающей среде <i>М.А. Ковальчук, Л.А. Михайлова</i>	421	Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в системе «почва – лабазник вязолистный (<i>Filipendula ulmaria</i> (L) Maxim)» на территории города Осинники (Кемеровская область) <i>К.С. Масленникова, Е.В. Агеева</i>	449
Экспериментальное моделирование изменения свойств глинистого грунта при контакте с погребенными бытовыми отходами в анаэробной среде <i>Е.С. Колесникова</i>	424		

Оценка возможных рисков для здоровья людей под воздействием почв, загрязненных потенциально токсичными элементами, из ореола золоторудной минерализации (Республика Хакасия) <i>И.Н. Мягкая, Е.В. Лазарева, М.А. Густайтис, Б.Ю. Сарыг-оол</i> 453	Факторы, влияющие на миграцию кобальта в пахотном горизонте серых лесных почв юга Тюменской области <i>А.В. Синдирева, Н.С. Ткаченко, С.Г. Котченко</i> 479
Эколого-геохимическая оценка почв поселка Саган-Нур Мухоршибинского района Республики Бурятия методами нейтронно-активационного анализа и ИК-спектроскопии <i>Н.А. Осипова, В.П. Иванов, Д.С. Ливента</i> 457	Ecological assessment of the biogeochemical composition of the soils of southern Kazakhstan <i>R.T. Turekeldiyeva, R.Kh. Kurmanbayev, G.B. Toktaganova, S.T. Duisenbaeva, A.T. Baikenzheyeva, D.D. Orynbekov, S.T. Turspenbetova</i> 482
Миграция химических элементов в системе «почва – растение» в техногенном ландшафте золотодобывающего предприятия <i>Л.М. Павлова, М.Ю. Ляпунов, Д.В. Юсупов</i> 461	Развитие сульфогенеза в условиях техногенного засоления <i>Е.А. Хайрулина, Н.В. Митракова</i> 485
Рассмотрение элементов экологического риска экосистем внутригородских особо охраняемых природных территорий на примере Юнтоловского заказника (Санкт-Петербург) <i>Е.И. Походня</i> 465	Стабильность почвенного органического вещества в зависимости от типа горного ценоза <i>А.С. Харыбина, Н.П. Самохина, Е.А. Филимоненко</i> 488
Распространение сернокислотной технологии в производстве минеральных удобрений как проблема геохимической экологии <i>И.А. Почиталкина, О.В. Винокурова</i> 468	Секция 6 РАДИОАКТИВНОСТЬ, РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА
Загрязнение почв и почвоподобных субстратов горнопромышленных ландшафтов северо-западного Алтая приоритетными тяжелыми металлами <i>А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин, А.В. Салтыков, И.А. Трошкова</i> 471	Радионуклиды в прибрежных мхах водотоков Эльконского горста (Алданский щит) <i>С.Ю. Артамонова</i> 492
Геохимические факторы, оказывающие влияние на содержание и распределение селена в профиле серых лесных почв юга Тюменской области <i>А.В. Синдирева, Н.Е. Гурьев</i> 475	Применение радионуклидов Со-60 и Cs-137 в качестве временных маркеров для хронологии донных отложений реки Енисей <i>В.И. Вахрушев, А.Я. Болсуновский, Д.В. Дементьев</i> 497
	Оценка пространственных особенностей аккумуляции Cs-137 в пахотных горизонтах глинистых черноземов при моделировании залпового поступления радиоактивных осадков в почвы Плавского радиоактивного пятна <i>М.М. Годяева, Т.А. Парамонова, Н.В. Кузьменкова</i> 500

Минералого-геохимические особенности состава вулканогенных прослоев высокоуглеродистых отложениях Западной Сибири <i>Е.С. Деева</i> 503	^7Be , ^{210}Pb И ^{137}Cs в мохово-лишайниковом покрове различных ландшафтных зон юга Западной Сибири <i>К.А. Мезина, М.С. Мельгунов</i> 531
Пространственное варьирование цезия-137 и основных почвенных свойств в ореоле радиоактивного загрязнения <i>О.Е. Денисова, Т.А. Парамонова</i> 506	Накопление ^{90}Sr травянистыми растениями в зоне влияния ядерного предприятия <i>Л.Н. Михайловская, В.Н. Позолотина, З.Б. Михайловская, В.П. Гусева</i> 534
Оценка эффективной дозы облучения населения радоном из подземных вод (восточные районы Новосибирской области) <i>А.С. Деркачев</i> 510	Потоки биологической миграции ^{137}Cs в агросистемах овощных культур на тер- ритории Плавского радио-активного пятна тульской области в отдаленный период после чернобыльской аварии <i>Т.А. Парамонова, Н.В. Кузьменкова, Л.А. Турыкин, А.О. Жерненков</i> 537
Радиоактивные и редкоземельные элементы в волосах здоровых детей и больных диабетом пациентов в Республике Башкортостан: связь с геохимией питьевой воды <i>А.Н. Злобина</i> 513	Радиоактивное загрязнение мерзлотных почв в Эльконском ураново-рудном районе (Южная Якутия) <i>П.И. Собакин, А.П. Чевычелов</i> 540
Радиоактивные изотопы в водоеме- охладителе Белоярской АЭС при работе энергоблоков разного типа <i>Т.Н. Коржавина, А.В. Коржавин, Б.Н. Вохмянин</i> 516	Радионуклиды в криоконитах ледников Цей и Сказка (Республика Северная Осетия-Алания) <i>Р.Х. Темботов, Е.В. Абакумов, А.М. Гангапшев, А.М. Гежаев</i> 544
Миграция изотопов в пойменной почве реки Енисей в ближней зоне влияния Красноярского ГХК: первые результаты полевого эксперимента <i>М.Ю. Кропачева</i> 519	О возможности использования данных спектрометрии гамма-излучения образцов горных пород при анализе палеоклиматических условий <i>В.В. Турышев</i> 548
Пространственное распределение радионуклидов в почвах лесного участка <i>Н.А. Кухтенко, Е.А. Гончаров, Е.М. Романов</i> 522	Идентификация литофаций отложений Вачимского месторождения на основе спектрального гамма-метода <i>В.В. Турышев</i> 551
Оценка содержания естественных и техногенных радионуклидов в двухстворчатых моллюсках <i>Mytilus</i> <i>edulis</i> дельты реки Северная Двина <i>П.И. Лапинов, Е.Ю. Яковлев</i> 525	Обнаружение тритиевых изотопологов НТО и T_2O методом ИК-спектроскопии в испарениях радиоактивной воды <i>А.В. Ченцов, Т.Ю. Чеснокова, Г.А. Колотков, Ю.В. Воронина, Б.А. Воронин</i> 554
Влияние ядерных испытаний на полигоне ЛОБ-НОР (КИТАЙ) на территорию и население Юго-Восточного Казахстана <i>А.В. Липихина, Ю.Ю. Брайт, К.Н. Ансаликов, Г.М. Есильканов</i> 528	Вовлечение во вторичную миграцию гамма-излучающих радионуклидов (^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{60}Co), входящих в состав «горячих» частиц, типичных для аллювиальных отложений реки Енисей <i>А.В. Чугуевский, М.С. Мельгунов, М.Ю. Кропачева, И.В. Макарова</i> 557

Секция 7

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В БИОЛОГИИ, МЕДИЦИНЕ И ВЕТЕРИНАРИИ

- Особенности био-аккумуляции тяжелых металлов тест культурами при пылевом загрязнении цементного производства в условиях Восточного Казахстана
Д.А. АскарOVA, В.В. Глебов 562
- Элементный состав волос жителей Северного Казахстана как индикатор геоэкологической обстановки территории
Г.Е. Байкенова, Н.В. Барановская, А.А. Какабаев, Е.Е. Айтмухан, Б.У. Шарипова, Л.А. Бермаганбетова 565
- Определение референтного элементного состава организма млекопитающих Сибири и Дальнего Востока
Н.В. Барановская, Д.А. Стрепетов 568
- Распределение йода и селена в компонентах окружающей среды тульской области как фактор пространственной неоднородности заболеваемости щитовидной железы местного населения
В.С. Баранчуков, В.Ю. Березкин, Л.И. Колмыкова, В.Н. Данилова, В.С. Ступак, Е.А. Вараваикова, Ю.С. Журавлева, Е.Н. Енина 571
- Содержание селена в системе почва–растение–животное на примере Челябинской области
М.А. Белов, А.В. Синдирева 574
- Адаптация нетелей джерсейской породы в условиях Воронежской области
И.Ю. Венцова, В.А. Сафонов, А.В. Востроилов 577
- Элементный состав волос жителей пгт. Вершино-Дарасунский как индикатор воздействия хвостохранилищ
Е.М. Вершкова, Д.В. Наркович, Н.В. Барановская 580
- Следуя идеям академика В.И. Вернадского. Продукты реакций в биокосной системе "кремни – актиномицеты": фундаментальное и прикладное значение
И.Ф. Вольфсон 583
- Анализ стрессовых реакций однодольных и двудольных растений при культивации на гидропонике в присутствии биодоступных соединений свинца
М.М. Годяева 586
- Макро и микроэлементы в составе желчных камней
О. Голованова, С. Симонов 588
- Исследование геохимических факторов формирования урeвской (Кашина–Бека) болезни на примере селена и стронция
У.А. Гуляева, В.В. Ермаков, В.Ю. Березкин, В.Н. Данилова..... 591
- Микроэлементный состав половозрелых особей кефали *Liza Aurata* (Risso, 1910)
А.С. Гуринович, В.А. Чаплыгин, Т.С. Ершова, В.Ф. Зайцев 594
- Саркоидоз как микроэлементоз человека
О.А. Денисова, Н.В. Барановская, Г.Э. Черногорюк, Т.П. Калачева, А.Ю. Шипхинева, Е.Б. Топольницкий 597
- Элементный состав плаценты жительниц Северного Казахстана как индикатор геоэкологической обстановки территории
А.Т. Ержанова, Н.В. Барановская, А.А. Какабаев, А.Ф. Судыко 601
- Предварительная оценка состояния природных экосистем в зоне воздействия соледобывающих предприятий Среднего Прикамья
В.Е. Ефимик, Н.В. Митракова, Е.Г. Ефимик, Г.Ш. Фарзалиева 604

Индикаторная роль элементного и микроминерального состава зольного остатка организма млекопитающего <i>Д.А. Иванова, Н.В. Барановская</i> 607	Элементный состав листьев тополя (<i>Populus nigra</i> L.) на территории города Юрга <i>Е.В. Рожкова, Е.В. Перегудина</i> 635
Особенности элементного состава депонирующих сред организма млекопитающих (Республика Алтай) <i>А.А. Казакова, М.Г. Крачнакова, Н.В. Барановская</i> 610	Микроминеральные фазы химических элементов в головном мозге благородного оленя (<i>Cervus elaphus</i>) Сибири и Дальнего Востока <i>А.А. Слепушкина, Н.В. Барановская</i> 638
Кремний в экосистемах долины Днестра <i>М.В. Капитальчук, Н.В. Барановская, И.П. Капитальчук, А.И. Капитальчук</i> 612	Биоиндикация и геохимическая оценка состояния экосистем национального парка «Таганай» <i>А.В. Синдирева, А.С. Бурмистрова, И.С. Резниченко</i> 640
Сравнительная оценка содержания эссенциальных элементов в волосах, ногтях и сыворотке крови жителей Молдавии <i>М.В. Капитальчук, Н.В. Барановская, И.П. Капитальчук</i> 614	Использование углубленных интеграционных методов исследования для решения проблем геохимической экологии, медицины и ветеринарии <i>Р.М. Тойчуев</i> 643
Особенности накопления химических элементов в ядрах сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L., 1753) <i>М.Г. Крачнакова, А.А. Казакова, Н.В. Барановская</i> 618	Новый препарат редкоземельных элементов из шунгита <i>С.Ф. Тютиков</i> 648
Влияние синбиотической добавки ПроСтор на минеральный и гематологический профили кроликов в условиях Липецкой области <i>Е.Е. Курчаева, В.А. Сафонов, И.Ю. Венцова</i> 621	Эколого-геохимические особенности территории Республики Башкортостан, по результатам сканирующей электронной микроскопии костного материала лося <i>Alces alces</i> (Linnaeus, 1758) <i>Л.А. Хайрулина, Л.Н. Белан, Н.В. Барановская</i> 651
Влияние селена на биохимические показатели и урожайность столовой свеклы <i>А.К. Мангутова, А.В. Синдирева</i> 624	Дисбаланс микроэлементов в структурах ЦНС крыс, потребляющих наночастицы Zn, Fe, Se при алкогольной интоксикации и абстиненции, модулируемой пантенолом <i>А.С. Черемисин, И.Н. Катковская, О.В. Титко, Ж.В. Мотылевич, В.А. Гуринович, С.Г. Азизбекян, А.Г. Мойсеёнок</i> 655
Оценка содержания химических элементов в волосах детей территорий с развитым техногенезом <i>Д.В. Наркович, Е.М. Вершкова</i> 629	
Микроминеральные фазы в организме млекопитающего Республики Алтай <i>А.Д. Носкова, Е.В. Перегудина, Н.В. Барановская</i> 632	

Секция 8

НОВЫЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ В БИОГЕОХИМИИ: BIG DATA, MACHINE LEARNING, ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Применение машинного обучения для анализа элементного состава крови <i>М.Б. Бардамова, Н.В. Барановская</i>	660
Возможности применения современных нейросетей для геоэкологических исследований <i>Е.М. Вершкова, Н.В. Барановская</i>	663
Трудности исследования органического вещества методом сканирующей электронной микроскопии <i>С.С. Ильенок, С.И. Арбузов</i>	666
Интеллектуальный анализ и долгосрочный прогноз изменений климата, водного и гидрохимического стоков в горных регионах <i>Ю.Б. Кирста, А.В. Пузанов, Т.А. Рождественская, И.А. Трошкова</i>	670
Выявление природно-техногенной аккумуляции углеводородов по данным мультиспектральной съемки <i>Л.С. Кучин</i>	673

Смартфон-ориентированная мультиплексная колориметрия в геохимическом мониторинге <i>К.В. Серебряков, А.С. Гага, П.Р. Шульгин, Н.В. Саранчина, М.А. Гавриленко</i>	676
Алгоритм реконструкции уровня органического вещества в минеральных глинистых грунтах на основании анализа больших данных <i>Е.В. Середина</i>	679
Изменения микробиома карбонатной глины: опыт применения алгоритмов анализа больших данных <i>О.А. Софинская, Е.Ю. Полякова, Н.Е. Гоголева</i>	682
Использование технологий искусственного интеллекта в биоиндикации экологического состояния промышленного города <i>Б.Х. Шаймарданова, Ж.К. Шаймарданов</i>	685
Методы оценки депонирования углерода в донных отложениях малых озер <i>Малов Г.И., Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И.</i>	688
SUMMARY	691
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	692

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА БИОСФЕРЫ**

Материалы XIV Международной Биогеохимической
школы-конференции

г. Томск, 15–20 сентября 2025 г.

Техническое редактирование, корректура:
С.А. Клопова, Ю.А. Алексеева

Издательство “СТТ”
Россия, 634028, г. Томск, проспект Ленина, 15/Б–1
Тел.: (3822)421-455
E-mail: sttonline@mail.ru



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Усл. печ. лист 71,8. Уч.-изд. л. 44,5.
Бумага SvetoCopy. Печать цифровая. Гарнитура Times.
Подписано к печати 5.08.2024 г. Формат 60x84/16.
Тираж 300 экз. Заказ № 729.