

**Gavrilova Anastasia Andreevna**

Bachelor, Engineer, IPGG RAS, gavryusha.dipsi@mail.ru

**Kuznetsov Anton Borisovich**

Doctor of Sciences (Geology & Mineralogy), Corresponding Member of RAS, Acting Director of IPGG RAS, Head of Laboratory of Isotopic Chemostratigraphy and Geochronology of Sedimentary Rocks, antonbor9@mail.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.010

УДК 502.5

**А. В. Гузева<sup>1</sup>, З. И. Слуковский<sup>2, 3</sup>, Д. Б. Денисов<sup>3</sup>,**

**А. А. Черепанов<sup>3</sup>, В. А. Даувальтер<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Институт озераведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>3</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия

## **ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ОЗЕР ГОРОДА МУРМАНСКА**

### **Аннотация**

В рамках данной работы исследуется содержание подвижных форм (водорастворимая и обменные фракции) тяжелых металлов Cr, Co, Cd, Ni, Zn, Pb, Cu в колонках донных осадков четырех озер, расположенных на территории города Мурманска. Были выявлены наиболее прочно связанные химические элементы, а также тенденции увеличения подвижности некоторых тяжелых металлов в современных донных отложениях.

### **Ключевые слова:**

*малые озера, тяжелые металлы, урбанизация, Мурманск, формы нахождения загрязнителей.*

**A. V. Guzeva<sup>1</sup>, Z. I. Slukovskii<sup>2, 3</sup>, D. B. Denisov<sup>3</sup>,**

**A. A. Cherepanov<sup>3</sup>, V. A. Dauvalter<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Limnology RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Institute of Geology of Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

<sup>3</sup>Institute of North Industrial Ecology Problems of FRC KSC RAS, Apatity, Russia

## **BIOAVAILABLE FORMS OF TRACE METALS IN LACUSTRINE BOTTOM SEDIMENTS OF LAKES OF MURMANSK**

### **Abstract**

The article is focused on investigation of bioavailable forms of trace metals Cr, Co, Cd, Ni, Zn, Pb, Cu in cores of lacustrine bottom sediments of four lakes in Murmansk (Northwest Russia). The studied lakes are located within the urbanized territory and used as local population recreational resource. It is important to research the content of bioavailable metals in bottom sediments for comprehensive environmental survey of the condition of the aquatic ecosystems. The results have revealed the most resistant elements (Cr, Cu, Pb). However, the tendencies of increasing content of bioavailable chemical forms for some trace metals (Zn, Co, Ni) in the recent lacustrine bottom sediments were showed.

### **Keywords:**

*small lakes, heavy metals, urbanization, Murmansk, fractions of pollutants.*

## **Введение**

Донные осадки (ДО) водоемов являются конечными депонирующими природными средами, химический состав которых дает представление о состоянии экосистем и позволяет строить прогнозы об их устойчивости к антропогенному воздействию. Послойный анализ стратифицированных ДО дает представление об изменениях гидрохимических и геохимических особенностей водоема во временном срезе. Учитывая, что ДО аккумулируют в себе ряд химических элементов, многие из которых, например тяжелые металлы (ТМ), являются опасными поллютантами, их состав может рассматриваться не только как показатель качества водной среды, но и как источник вторичного загрязнения при изменениях физико-химических параметров среды.

Накапливающиеся в ДО загрязнители (ТМ) исследуются в двух аспектах: валовое содержание элементов и содержание их различных химических форм (фракций, фаз). Валовые концентрации показывают общее количество химического элемента и дают представление о потенциальной опасности высоких содержаний химических элементов для экосистемы. В то же время при изменениях физико-химических показателей водной среды ТМ могут переходить в подвижные формы (Янин, 2011; Югай и др., 2013). Поэтому для комплексной геохимической оценки водоемов, особенно в условиях активной техногенной нагрузки, необходимо исследовать не только валовое содержание элементов, но и их формы нахождения, а также прочность связи с минеральными и органическими носителями, основными из которых являются гумусовые вещества, оксиды и гидроксиды железа и марганца, а также минералы группы слоистых силикатов.

В рамках данной работы исследуется содержание подвижных форм ТМ (водорастворимая и обменная фракции) в донных отложениях четырех озер, расположенных на территории города Мурманска. Мурманск является самым крупным городом, расположенным за Северным полярным кругом. На его территории находится около 20 озер, испытывающих антропогенное влияние различной интенсивности. Большая часть водоемов активно используется населением в рекреационных целях, однако данные об экологическом состоянии водных объектов практически отсутствуют.

## **Объекты и методы исследования**

В июле 2018 г. сотрудниками Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН и Института геологии КарНЦ РАН была организована экспедиция для первичного обследования городских водоемов с анализом морфологии и батиметрических особенностей дна шести озер (рис. 1), а также для отбора проб нестратифицированных донных отложений при помощи дночерпателя Экмана — Берджи (Слуковский и др., 2018). Далее пробы были проанализированы на валовое содержание химических элементов методом ICP-MS. Полученные данные использованы для предварительной оценки относительного содержания подвижных форм ТМ (Cr, Co, Cd, Ni, Zn, Pb, Cu).



Рис. 1. Карта-схема расположения изучаемых озер  
 Fig. 1. The quick map of the studied lakes

В 2019 г. совместно с Институтом озероведения РАН работы были продолжены. Из самых глубоководных частей четырех озер города Мурманска были отобраны колонки донных отложений (табл. ) с помощью проботборника Limnos для послойного (каждые 5 см) исследования химических форм ТМ.

Максимальные глубины исследуемых озер и размеры отобранных колонок донных отложений

Maximum depths of the studied lakes and sizes of the selected columns of bottom sediments

Озеро	Максимальная глубина, м	Размер колонки, см
Окунево	6	35
Семеновское	11	20
Среднее	4	40
Б/н (Северное)	4	25

Для выявления наиболее подвижных ТМ в ДО озер г. Мурманска была выбрана методика последовательной экстракции химических фракций с помощью различных реагентов (Ладонин и др., 2003). Экстрагирующие растворы воздействуют либо на определенные компоненты осадков (например, несиликатные формы железа), либо на определённый вид связи ионов ТМ с твердофазной матрицей ДО (вытеснение обменных катионов).

Схемы фракционирования основаны на предположении, что в донных осадках присутствуют следующие последовательно экстрагируемые из одной и той же навески фракции ТМ: 1) водорастворимые соединения ТМ; 2) обменные катионы ТМ; 3) специфически сорбированные ТМ, связанные с карбонатными минералами и легко разлагаемыми органическими веществами; 4) ТМ, связанные с гумусовыми веществами; 5) ТМ, связанные с оксидами / гидроксидами Fe и Mn; 6) ТМ, прочно связанные в кристаллических решётках устойчивых минералов (остаточная фракция).

Первая и вторая фракции являются наиболее доступными для вовлечения в биогеохимические циклы. Специфически сорбированная фракция занимает промежуточное положение. В остальных стадиях ТМ связаны с фазами-носителями достаточно прочно.

В данной работе оценивалось содержание водорастворимой и обменной фракций ТМ (Cr, Co, Cd, Ni, Zn, Pb, Cu) в донных осадках озер как наиболее подвижных и биодоступных форм. Для экстрагирования фракций были использованы следующие реагенты: первая стадия — H<sub>2</sub>O дистиллированная, вторая стадия — 0,2 М раствор MgCl<sub>2</sub>. Далее растворы анализировались при помощи метода ICP-MS на базе Института геологии КарНЦ РАН (г. Петрозаводск).

### **Обсуждение результатов исследования и выводы**

Валовые содержания всех элементов в ДО рассмотренных озер превышают региональный фон (Даувальтер, 2012). Наибольшие превышения отмечены для Pb, Cd и Ni в озерах Среднее и Семеновское (рис. 2), оба водоема окружены жилой застройкой, нагруженными автомобильными дорогами и промышленными предприятиями. Одно из них — теплоцентраль (ТЭЦ), с чьими выбросами может быть связано накопления в изученных отложениях многих ТМ, в том числе Ni (Слуковский и др., 2017). Свинец и кадмий, скорее всего, принесены выбросами автомобильного и железнодорожного транспорта, а также дальним переносом из других регионов (Escobar et al., 2013; Hosono et al., 2016).

Расчет суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  по имеющимся данным валовых концентраций ТМ в ДО показал, что наибольшему загрязнению по семи элементам подвержено оз. Семеновское ( $Z_c = 53$ ), вторым по уровню загрязнения является оз. Среднее ( $Z_c = 34$ ). Согласно (Саг и др., 1990), эти цифры соответствуют сильному уровню загрязнения водных объектов. Два других исследованных водоема по данному показателю являются средне загрязненными —  $Z_c$  (оз. Северное) = 21,  $Z_c$  (оз. Окуневое) = 18. Оба этих водоема находятся в более благополучных с точки зрения антропогенной нагрузки районах города, поэтому поступление в них загрязняющих веществ значительно ниже по сравнению с озерами Средним и Семеновским.

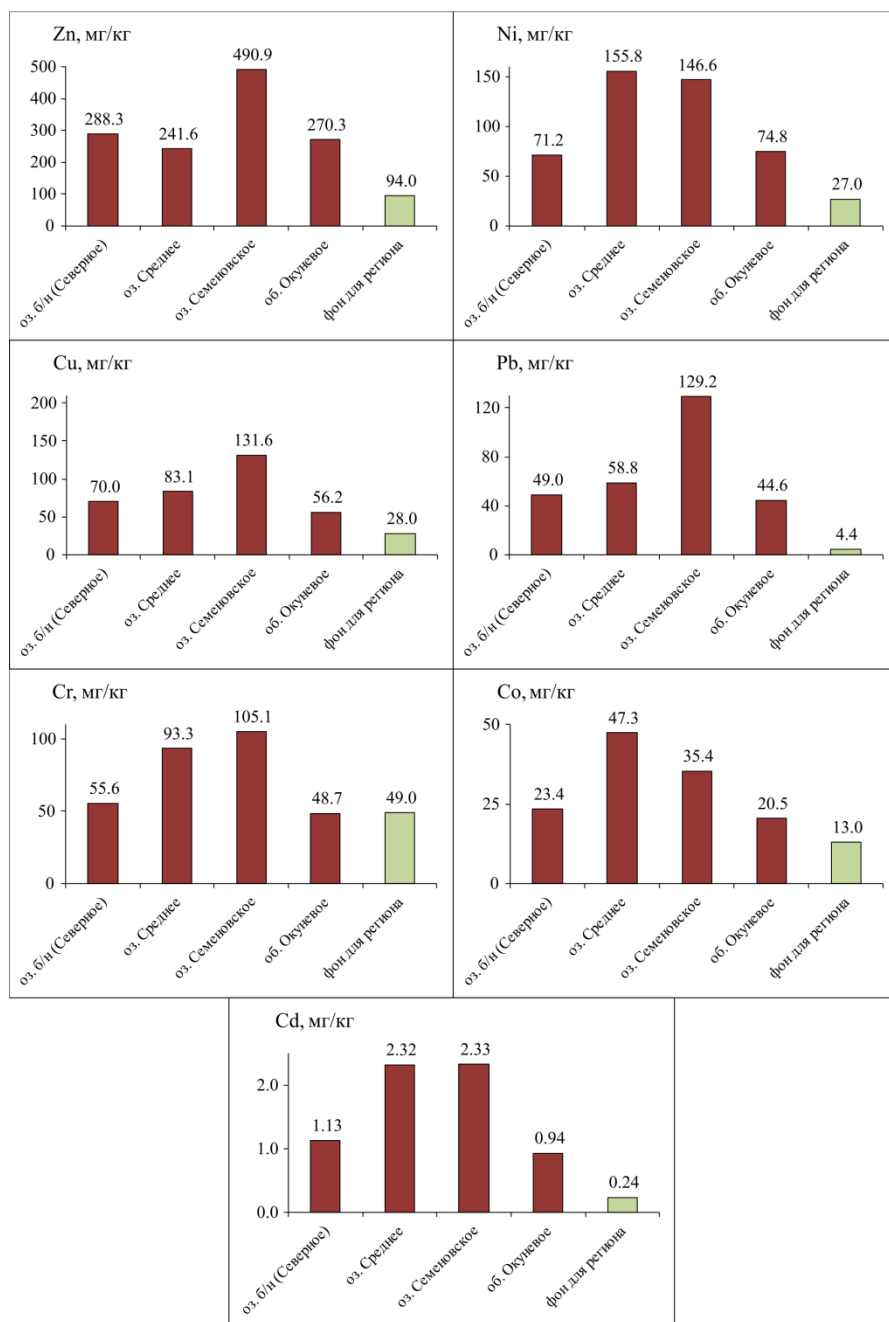


Рис. 2. Содержание ТМ в ДО озер г. Мурманска

Fig. 2. The content of heavy metals in the lake sediments of Murmansk

Результаты анализов содержания подвижных форм ТМ (сумма водорастворимой и обменной фракций) показали, что наиболее мобильными и биодоступными элементами в исследованных озерах являются Со и Zn (до 15–25 %). Однако если для озер Окуновое и Среднее наблюдается постепенное

увеличение количества подвижных соединений кобальта и цинка в более современных осадках, то содержание их мобильных форм в верхних слоях колонок (0–5 и 5–10 см) озер Окуновое и Семеновское заметно снижается до 2–3 % (рис. 3). Для озера Окуновое также заметно возрастание в более современных слоях осадков количества подвижных форм Ni и Cd.

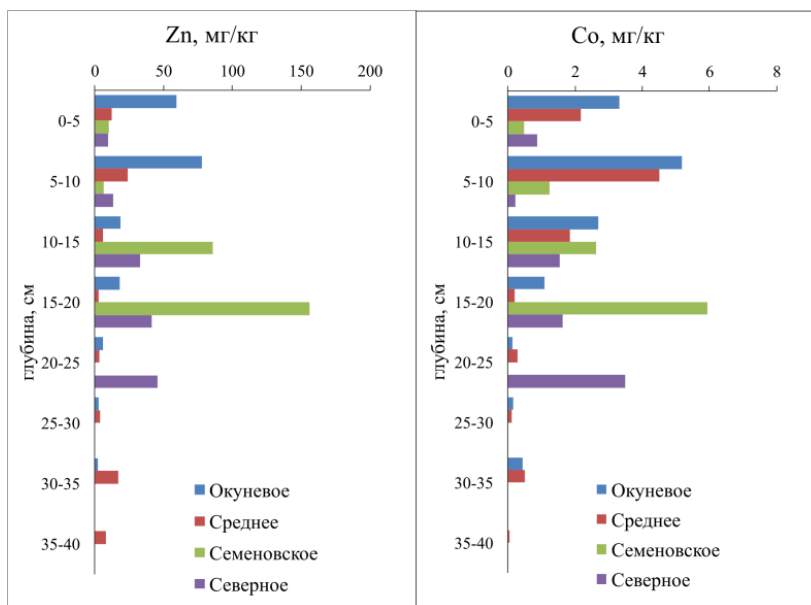


Рис. 3. Вертикальное распределение концентраций подвижных форм Zn и Co в колонках ДО озер г. Мурманска

Fig. 3. The vertical distribution of bioavailable fraction of Zn and Co in the sediments of Murmansk lakes

Наиболее прочно связанными с фазами-носителями и недоступными элементами для всех исследованных озер на всей глубине колонок ДО являются хром и медь (не более 1 % от валового содержания по результатам), а также свинец (доли процента от валового содержания).

### Заключение

В работе исследовано содержание наиболее подвижных форм ТМ Cr, Co, Cd, Ni, Zn, Pb, Cu в донных отложениях четырех озер, находящихся на территории города Мурманска. Для ряда элементов наблюдается тенденция к увеличению доли подвижных форм во временном срезе. В дальнейших исследованиях будет проанализировано содержание остальных химических фракций ТМ для выявления основных аккумулирующих фаз-носителей донных осадков. Полученные в работе данные должны быть приняты во внимание при эколого-геохимических исследованиях городских озер данного района.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-00897, а также в рамках реализации гранта Российского научного фонда (проект № 19-77-10007).*

## Литература

*Даувальтер В. А.* Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: МГТУ, 2012. 242 с.

*Ладонин Д. В., Карпухин М. М.* Фракционирование соединений тяжелых металлов в почвах проблемы выбора метода и интерпретации результатов // Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: мат-лы 1-й междунар. геоэкологической конф. Тула, 2003. С. 68–73.

*Саев Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

*Слуковский З. И., Денисов Д. Б., Черепанов А. А.* Первые результаты обследования озер, расположенных в черте г. Мурманска (июль 2018 г.) // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: мат-лы XXIX молодежной науч. школы-конф., посвящен. памяти чл.-корр. АН СССР К. О. Кратца и акад. РАН Ф. П. Митрофанова (Петрозаводск, 1–5 октября 2018 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. С. 288.

*Слуковский З. И., Ильмаст Н. В., Суховская И. В., Борвинская Е. В., Гоголев М. А.* Геохимическая специфика процесса современного осадконакопления в условиях техногенеза (на примере оз. Ламба, Петрозаводск, Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 10. С. 45–63.

*Югай В. С., Даувальтер В. А., Кацулин Н. А.* Содержание биодоступных форм соединений металлов в донных отложениях водоемов и коэффициент накопления ( $K_d$ ) как показатели экологической обстановки водоемов (на примере озер Мурманской области) // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2013. Т. 16, № 3. С. 616–623.

*Янин Е. П.* Формы нахождения кадмия в техногенных илах реки Пахры и оценка его миграционных способностей // География и природные ресурсы. 2011. № 1. С. 42–46.

*Escobar J., Whitmore T. J., Kamenov G. D., Riedinger-Whitmore M. A.* Isotope record of anthropogenic lead pollution in lake sediments of Florida, USA // Journal of Paleolimnology. 2013. Vol. 49, Issue 2. P. 237–252.

*Hosono T., Alvarez K., Kuwae M.* Lead isotope ratios in six lake sediment cores from Japan Archipelago: Historical record of trans-boundary pollution sources // Science of The Total Environment. 2016. Vol. 559. P. 24–37.

## Сведения об авторах

### **Гузева Алина Валерьевна**

младший научный сотрудник, Институт озераведения РАН, olina2108@mail.ru

### **Слуковский Захар Иванович**

старший научный сотрудник, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН; Институт геологии КарНЦ РАН, slukovsky87@gmail.com

### **Денисов Дмитрий Борисович**

ведущий научный сотрудник, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, proffessuir@gmail.com

### **Черепанов Александр Александрович**

ведущий инженер, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, acher05503@gmail.com

### **Даувальтер Владимир Андреевич**

главный научный сотрудник, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, vladimir@dauvalter.com

**Guzeva Alina Valerjevna**

Junior Researcher, Institute of Limnology RAS, olina2108@mail.ru

**Slukovskii Zakhar Ivanovich**

Senior Researcher, Institute of North Industrial Ecology Problems of FRC KSC RAS, Institute of Geology of the Karelian Research Centre RAS, slukovsky87@gmail.com

**Denisov Dmitry Borisovich**

Leading Researcher, Institute of North Industrial Ecology Problems of FRC KSC RAS, proffessuir@gmail.com

**Cherepanov Aleksandr Aleksandrovich**

Leading Engineer, Institute of North Industrial Ecology Problems of FRC KSC RAS, acher05503@gmail.com

**Dauvalter Vladimir Andreevich**

Chief Researcher, Institute of North Industrial Ecology Problems of FRC KSC RAS, vladimir@dauvalter.com

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.011

УДК 550.42

**А. С. Гусева, С. А. Устинов, В. А. Петров**

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

**К ВОПРОСУ О РАДИОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ  
ТЕРРИТОРИИ НОВОЙ МОСКВЫ**

**Аннотация**

Анализ карт аэрогамма-спектрометрической съемки с использованием ГИС-технологий позволил сделать выводы о радиогеоэкологическом состоянии территории Новой Москвы. Дана характеристика распределения радиоактивных элементов (тория, калия, урана и цезия) в пределах исследуемой площади и выявлены участки, характеризующиеся повышенными фоновыми значениями. Применение геоинформационного подхода позволило установить причины этого распределения и построить карту совокупного наложения максимальных значений К, U, Th и Cs.

**Ключевые слова:**

*радиогеоэкологическое состояние, Новая Москва, радионуклиды, линеаментный анализ.*

**A. S. Guseva, S. A. Ustinov, V. A. Petrov**

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia

**ON THE ISSUE OF RADIOGEOECOLOGICAL CONDITION OF NEW MOSCOW**

**Abstract**

Analysis of aerogamma-spectrometric surveying maps using GIS technology allowed making conclusions about radiogeological condition of New Moscow territory. The distribution of radioactive elements (thorium, potassium, uranium and cesium) within the study area is described and the areas characterized by increased background values are identified. The application of geoinformation approach made it possible to identify the causes allowed to reveal the reasons of this distribution and to build a map of the total overlay of the maximum impose of K, U, Th and Cs.

**Keywords:**

*radiogeoeological condition, New Moscow, radionuclides, lineament analysis.*