

**Веселовский Роман Витальевич**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, МГУ им. М. В. Ломоносова, геологический факультет, roman.veselovskiy@ya.ru

**Усанова Олеся Игоревна**

студентка, МГУ им. М. В. Ломоносова, геологический факультет, инженер лаборатории главного геомагнитного поля и петромагнетизма, ИФЗ РАН

**Bagdasaryan Tatyana Edvardovna**

Engineer, Laboratory of the Main Geomagnetic Field and Petromagnetism, IPE RAS, tanya.bagdasaryan@yandex.ru

**Gavryushkin Dmitry Aleksandrovich**

Researcher, Laboratory of Archaeomagnetism and Evolution of Geomagnetic Field, IPE RAS, Secretary of the Commission for Cave Protection and Recovery of the Russian Union of Speleologists, dmitry.gavriushkin@gmail.com

**Veselovskiy Roman Vitalievich**

Doctor of Sciences (Geology & Mineralogy), Professor, Lomonosov Moscow State University, Geological Department, roman.veselovskiy@ya.ru

**Usanova Olesya Igorevna**

Student, Lomonosov Moscow State University, Geological Department, Engineer, Laboratory of the Main Geomagnetic Field and Petromagnetism, IPE RAS

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.005

УДК 550.84:631.42

**Н. А. Билая<sup>1</sup>, К. М. Зарипова<sup>1</sup>, А. В. Гузева<sup>2</sup>, П. С. Зеленковский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

**ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА****Аннотация**

Представлены результаты эколого-геохимических исследований донных отложений Ладожского озера: валовое содержание тяжелых металлов и форм их нахождения, содержание органических веществ в поверхностных пробах донных осадков. Сделаны выводы об особенностях распределения исследуемых металлов (Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, V) и их форм нахождения в донных отложениях.

**Ключевые слова:**

*Ладожское озеро, донные отложения, формы нахождения тяжелых металлов.*

**N. A. Bilaya<sup>1</sup>, K. M. Zaripova<sup>1</sup>, A. V. Guzeva<sup>2</sup>, P. S. Zelenkovsky<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Limnology RAS, Saint Petersburg, Russia

**HEAVY METAL FINDING FORMS IN BOTTOM SEDIMENTS OF LAKE LADOGA****Abstract**

This article is focused on the results of ecological and geochemical explorations of the bottom sediments of the Lake Ladoga: total contents and contents of different chemical forms of trace metals and total content of organic matter in surface specimens of bottom sediments. Bottom sampling was carried out in October 2018. Researches of Ladoga bottom sediments were carried out earlier, but without researching of chemical forms for

the entire water area of Ladoga. Our work is aimed at identifying areas requiring more detailed observation of trace metals concentrations.

**Keywords:**

*Lake Ladoga, bottom sediments, chemical forms of trace metals.*

**Введение**

В декабре 2017 г. северная часть акватории Ладожского озера приобрела официальный статус особо охраняемой природной территории (национальный парк «Ладожские шхеры»), однако данный район все еще подвержен значительному антропогенному воздействию. Регулярные наблюдения за экологическим состоянием Ладожского озера необходимы, однако на данный момент единая сеть геохимических наблюдений для донных отложений Ладоги отсутствует.

Объектом нашего исследования выбраны донные осадки. Донные отложения озер являются депонирующей средой для различного рода поллютантов, их химический состав в большинстве случаев наиболее репрезентативен в контексте долговременной оценки экологического состояния водоема. Кроме того, при определенных физико-химических условиях может происходить вторичное загрязнение водоема тяжелыми металлами (ТМ) из донных отложений.

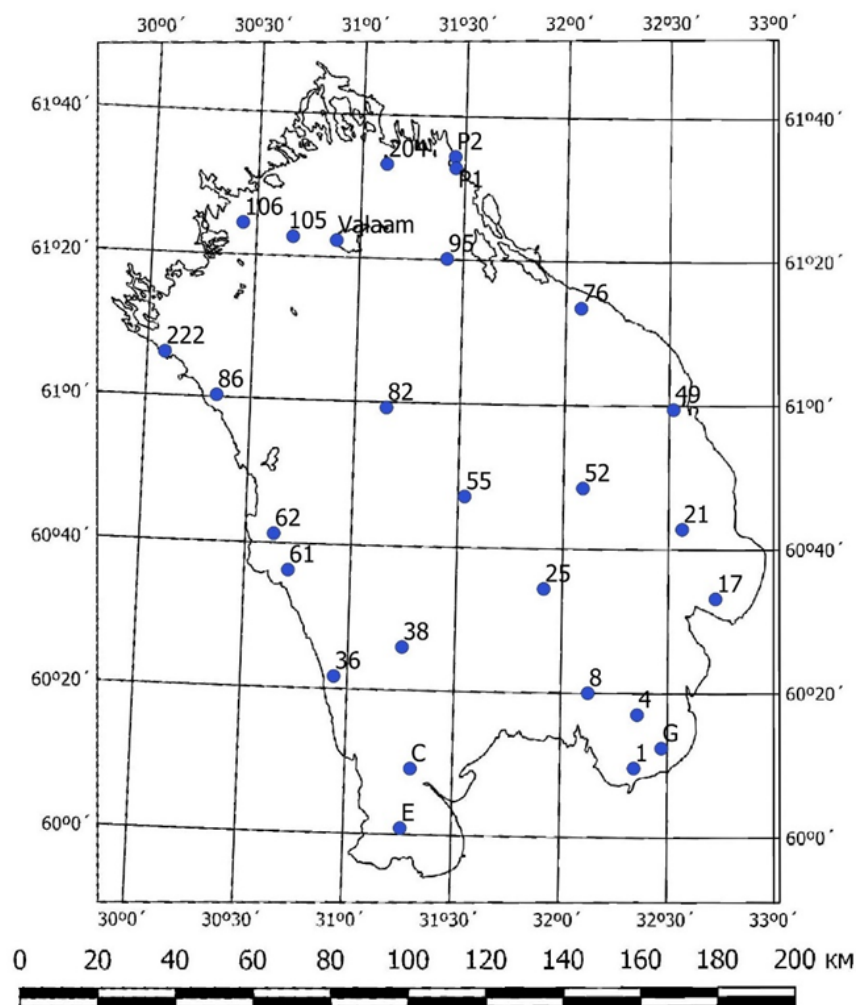
Выявление элементов, которые в первую очередь будут вовлечены в биогеохимические циклы и, следовательно, нуждаются в большем контроле, видится нам одной из приоритетных задач. В связи с этим в данной работе мы уделили внимание исследованию легкодоступных (связанных с осадком слабыми электростатическими силами: водорастворимая, сорбированная и форма, связанная с карбонатными минералами) и умереннодоступных (легко восстанавливающихся: связанные с оксидами и гидроксидами Fe и Mn, а также органическим веществом) форм нахождения тяжелых металлов. Ранее подобная работа проводилась лишь в западной части озера (Петрова, 2005), что не дает полноценной характеристики состояния донных осадков для всей Ладоги.

Цель работы — исследование химических форм тяжелых металлов в донных отложениях Ладожского озера.

Для достижения цели нами были поставлены следующие задачи: 1) отобрать поверхностные пробы осадков по всей акватории Ладоги для выявления областей, требующих более подробного изучения; 2) определить валовое содержание тяжелых металлов (Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, V) и выявить закономерности их распределения в донных осадках Ладоги; 3) исследовать формы нахождения тяжелых металлов, выявить наиболее подвижные элементы, которые требуют большей бдительности при регулярных исследованиях; 4) определить количество органического вещества в пробах, поскольку именно оно чаще всего является основным аккумулятором тяжелых металлов.

**Материал и методы исследования**

В октябре 2018 г. в рамках совместной экспедиции с ИНОЗ РАН нами был произведен отбор проб донных отложений по всей акватории Ладожского озера с помощью ковша Ван-Вина (для песчаных грунтов) и дночерпателя Эквана — Берджи (для илистых). Всего нами было отобрано 27 проб поверхностных донных осадков (рис.).



Точки отбора проб поверхностных донных отложений

Sampling points for surface sediments

Для определения валового содержания тяжелых металлов был использован метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Измерения проводились на приборе ICP-9000 на базе РОЦ «Химия» СПбГУ, а также в лаборатории гидрохимии ИНОЗ РАН на приборе EDX-800HS.

Перед проведением измерений навески были переведены в жидкую фазу методом разложения проб с использованием микроволновой печи минерализатора на валовое содержание элементов в пробе (Методика..., 2008).

Приготовление вытяжек легкодоступных (первые две фазы) и умереннодоступных форм было проведено по методике, описанной в работе (Ладонин, 2016): первая фаза — сорбированные металлы (обменная сорбция с 1М  $MgCl_2$ ); вторая фаза — металлы, связанные с карбонатными соединениями (1М  $CH_3COONa + CH_3COOH$ , pH = 5); третья фаза — металлы, связанные с органическим веществом ( $K_4P_2O_7$  пиррофосфатная вытяжка, pH = 11); четвертая

фаза — металлы, связанные с оксидами и гидроксидами Fe и Mn (0,04M NH<sub>2</sub>OH-HCl в 25 %-й CH<sub>3</sub>COOH, pH = 2). Далее было проведено их количественное определение методом ICP-AES. Определение содержания органических веществ в пробах осуществлялось согласно ГОСТ 23740-2016 (ГОСТ..., 2017).

Для оценки эколого-геохимического состояния донных осадков Ладоги нами были рассчитаны коэффициенты концентрации (K<sub>c</sub>) для исследуемых элементов относительно регионального фона каждого элемента для донных отложений озер Карелии (Слуковский, 2017). По полученным данным были построены геохимические карты распределения тяжелых металлов в донных отложениях Ладоги, рассчитан суммарный показатель геохимического загрязнения, и на его основе была построена интегральная геохимическая карта распределения тяжелых металлов в донных осадках Ладожского озера.

### Результаты и их обсуждение

В целом для северной части озера характерны более высокие концентрации тяжелых металлов, чем для южной, что может объясняться особенностями пород Балтийского кристаллического щита, подстилающих северную часть водосборного бассейна и котловины Ладоги, а также большими глубинами и большей долей глинистой фракции в донных осадках в этой части озера. Отметим, что на севере расположено большое количество промышленных районов, являющихся источником антропогенного воздействия.

По результатам исследования валового содержания ТМ в донных осадках Ладожского озера нами были выбраны десять точек пробоотбора, представляющих наибольший интерес с точки зрения определения различных форм нахождения ТМ. В северной части акватории это станции 82, 55 и 106 (как точки с наибольшими значениями Zc), 95, P2 (находится в непосредственной близости от Питкярантского ЦБК) и станция «Валаам».

Для южной части акватории выбраны точки 52 и 21 (здесь отмечены наибольшие значения суммарного коэффициента концентрации для южной части — 9,22 и 13,68, более того, только в пробах с этих станций обнаружен кобальт: 12,82 и 16,67 ppm, в остальных точках южной части акватории озера значение ниже порога обнаружения — < 0,1 ppm), точки 1 и 17 (с наименьшими значениями суммарного коэффициента концентрации — 2,80 и 2,85 соответственно).

По полученным данным исследуемые элементы (Co, Cr, Ni, V, Pb, Zn, Cu) из всех легкодоступных и умереннодоступных форм в северной части Ладоги в наибольшей степени связаны органическим веществом (третья фаза), причем наибольшие концентрации элементов в этой форме отмечены в точках пробоотбора 55 (что может говорить о возможном появлении новой зоны эвтрофирования) и 95. Следует отметить, что в точке с максимальным значением общего содержания органического вещества (P2) не наблюдается концентраций элементов выше среднего в данной форме нахождения (кроме Cu и Pb). Кроме того, в точке максимального содержания исследуемых элементов (82) не было отмечено высоких концентраций в легко- и умереннодоступных формах. В южной части акватории исследуемые элементы по большей части находятся в умереннодоступных формах — связаны с органическим веществом (третья фракция) и с оксидами и гидроксидами Fe и Mn (четвертая фракция).

Подвижные (легкодоступные) формы были обнаружены для элементов Zn, Ni, Cr, Cu в северной части акватории и у Cu, Cr и Cd в южной.

## **Выводы**

1. Наибольший интерес вызывают центральная и северная части озера в связи с максимальными значениями суммарного показателя геохимического загрязнения данных районов. Их в дальнейшем следует изучить более подробно.

2. По большей части валовые концентрации ТМ в донных осадках Ладожского озера превышают региональный фон (ГОСТ..., 2017). В северной части Ладоги концентрации тяжелых металлов выше, чем в южной. Наибольшие содержания были отмечены в центральной части озера.

3. Большинство исследуемых элементов связаны органическим веществом. Наиболее важными для изучения элементами в донных осадках Ладожского озера являются Zn, Ni, Cr и Cu.

## **Литература**

*ГОСТ* 23740-2016. Грунты. Методы определения содержания органических веществ = Soils. Methods of laboratory determination of organic composition: дата введения 2017-07-01. М.: Стандартинформ, 2017. 9 с.

*Ладонин Д. В.* Формы соединений тяжелых металлов в техногеннозагрязненных почвах. М., 2016. 42 с.

*Методика* выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии М-МВИ-80-2008. СПб., 2008. 29 с.

*Петрова Е. А.* Закономерности распределения и формы нахождения тяжелых металлов в донных осадках Ладожского озера. СПб., 2005. 170 с.

*Слуковский З. И.* Эколого-геохимический анализ состояния донных отложений малых рек урбанизированных территорий (на примере города Петрозаводска). Петрозаводск, 2017. 23 с.

## **Сведения об авторах**

### **Билая Наталья Андреевна**

студентка четвертого курса кафедры экологической геологии СПбГУ, win\_nat@mail.ru

### **Зарипова Ксения Маратовна**

студентка четвертого курса кафедры экологической геологии СПбГУ, fikuspavel@mail.ru

### **Гузева Алина Витальевна**

аспирант СПбГУ, младший научный сотрудник ИНОЗ РАН, olina2108@mail.ru

### **Зеленковский Павел Сергеевич**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент СПбГУ, geopavel@yandex.ru

### **Bilaya Natalya Andreyevna**

Fourth-year student of the Department of Environmental Geology, SPbSU, win\_nat@mail.ru

### **Zaripova Ksenia Maratovna**

Fourth-year student of the Department of Environmental Geology, SPbSU, fikuspavel@mail.ru

### **Guzeva Alina Vitalievna**

Postgraduate Student, SPbSU, Junior Researcher of the Institute of Limnology RAS, olina2108@mail.ru

### **Zelenkovsky Pavel Sergeevich**

PhD (Geology & Mineralogy), Associate Professor, SPbSU, geopavel@yandex.ru