

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ГЕОЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 502.51

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЁР ИМАНДРА, КУРОПАЧЬЕ И МАЛЫЙ ВУДЬЯВР

ASSESSMENT OF HEAVY METAL POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS OF LAKES IMANDRA, KUROPACHYE AND SMALL VUDYAVR

Акулов Даниил Алексеевич

Akulov Daniil Alekseevich

г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет

Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University,

st085293@student.spbu.ru

Научный руководитель: д.г.-м.н. Опекунов Анатолий Юрьевич

Research advisor: Professor Opekunov Anatoliy Yurevich

Аннотация: изучено содержание подвижных форм тяжелых металлов в 6 колонках донных осадков: 4 из Имандры и по одной из озёр Куропачье и Малый Вудьявр. Для каждой рассчитаны коэффициенты и степень загрязнения по методике Л. Хакансона. Описаны основные причины загрязнения донных осадков.

Abstract: the content of mobile forms of heavy metals in 6 columns of bottom sediments was studied: 4 from Imandra and one from Kuropachye and Small Vudyavr lakes. Coefficients and degree of contamination were calculated for each one according to L. Hakanson's method. The main causes of pollution of bottom sediments are described.

Ключевые слова: донные отложения, тяжёлые металлы, Имандра, подвижность металлов, техногенное загрязнение

Key words: bottom sediments, heavy metals, Imandra, mobility of metals, technogenic pollution

Донные отложения являются депонирующей средой для физических и химических продуктов разрушения многочисленных химических веществ и отражают экологическое состояние территорий водосборов озёр и его изменение с течением времени. Поллютанты, оказавшиеся в донных отложениях, могут оставаться в них долгое время без причинения вреда экосистеме озера, а затем вследствие изменения физико-химических условий окружающей среды либо из-за изменения гидрологических условий высвободиться в водную толщу, спровоцировав вторичное загрязнение и угнетение гидробионтов.

Определение геохимических особенностей донных отложений необходимо для оценки биогеохимических циклов, моделирования процессов переноса поллютантов в водных системах и в целом в окружающей среде, для установления доступности различных элементов. Донные отложения могут оказать влияние на качество подземных вод и продуктов сельского хозяйства. Многие тяжёлые металлы опасны для гидробионтов даже в небольших концентрациях, а в результате техногенеза подвижность тяжёлых металлов в донных осадках растёт.

Мурманская область, где проводились исследования, является арктическим (с другой точки зрения – субарктическим) регионом, её водные экосистемы бедны видами и обладают низким энергообменом, поэтому достаточно хрупки.

Цель данной работы – исследовать особенности распределения подвижных форм тяжёлых металлов в донных отложениях озёр Имандра, Куропачье и Малый Вудъявр с применением методики Л. Хакансона.

Комбинат «Североникель» сбрасывает сточные воды в Мончегубу в северо-западной части Имандры с 1940 г. В 1976 г. были введены в действие очистные сооружения оборотных систем на отдельных блоках предприятия, однако сточные воды, поступающие по реке Ньюдауй, оставались чрезвычайно загрязненными тяжелыми металлами [1, 3].

Исследования, проводимые сотрудниками Кольского отделения РАН, показали, что с увеличением валового содержания Ni в поверхностных донных осадках в оз. Имандра повышается и доля подвижных форм. Распределение подвижных форм Cu в целом такое же, однако доля подвижных форм Cu от валовых концентраций ниже [5].

В 2011 году были отобраны пробы донных отложений в Бабинской Имандре и на юго-западе Экостровской. Самые большие значения коэффициента загрязнения (по Ni, Zn, Co) и степень загрязнения (высокие по классификации Хакансона) отмечены между Маланьиными островами и Светлокаменным наволоком, куда поступают потоки водных масс, загрязненные стоками комбината «Североникель» и других промышленных объектов (рисунок 1). Величины C_f для халькофильных металлов Cd, Pb и As в этой части Экостровской Имандры относятся к значительным по классификации Хакансона. В целом эта акватория характеризуется по классификации Хакансона как высоко загрязненная. Величины C_f для Cd, Pb, As и Hg в Бабинской Имандре восточнее Ермострова относятся к высоким (для Pb) и значительным по классификации Хакансона (рисунок 1).

Наименее загрязнённая станция из всех исследованных расположена на выходе из Молочной губы, но и здесь зарегистрировано значительное загрязнение по Cd, Pb и Hg [4].



Рисунок 1. Степень загрязнения C_d донных отложений озера Имандра в Бабинской Имандре и на юго-западе Экостровской Имандры, [4]

Колонки донных отложений были отобраны летом 2020 года в рамках гранта РФФИ Арктика 18-05-60291 “Адаптация арктических лимносистем к быстрому изменению климата”. Отбор проб осуществлялся Фёдоровой И.В., Шестаковой Е.Н., Чернышевой М.А. и Пашковкиной А.А.

Отбор проб выполнялся в 2020 г. гравитационным пробоотборником (трубой UWETEC), предназначенным для отбора проб без нарушения стратификации донных отложений. Расположение точек в акваториях приведено на рисунке 2. В точках Имандра 1 и Имандра 2 было взято по 2 колонки – Имандра 1.1, 1.2, 2.1 и 2.2.



Рисунок 2. Картограмма точек отбора проб донных отложений озёр в 2020 г., составлено автором

Образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 6 ч, затем измельчались в фарфоровой ступке пестиком, потом хранились в прохладном месте.

Пробоподготовка производилась двое суток в учебной лаборатории физико-химического анализа СПбГУ согласно РД 52.18.289-90. Для извлечения подвижных форм ТМ из донных осадков использовался ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8. В каждую баночку с пробой заливалось 25 мл ацетатно-аммонийного буфера. Полученная суспензия отстаивалась сутки. На следующие сутки проводилась фильтрация через фильтр «синяя лента», при фильтрации объём каждой вытяжки доводился дистиллированной водой до 50 мл [2].

Полученные вытяжки анализировались на оптическом эмиссионном спектрометре ICPE-9000 в Ресурсном центре СПбГУ. В каждой пробе определялось 10 металлов: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr и Zn. Марганец во всех и железо в некоторых пробах из Имандры не удавалось определить из-за их больших содержаний в вытяжках, и для их определения пробы разбавлялись: 20 микролитров каждой вытяжки приливались к 10 мл дистиллированной воды и анализировались полученные растворы, чтобы получить концентрации железа и марганца. Затем производилась обработка полученных значений: ставились 2 порядка, подбиралась длина волны, чтобы получить значения всех элементов для всех проб. Полученная прибором концентрация элементов (мг/л) умножалась на количество жидкости (50 мл) и делилась на массу навески (как правило, 2,5 г, иногда меньше, так как масса всей пробы оказывалась меньше 2,5 г) для пересчёта в мг/кг сухого вещества. Для содержания элемента ниже предела обнаружения метода при построении графиков и в расчётах указывалась концентрация, равная половине предела обнаружения.

В вертикальном распределении подвижных форм Cu и Ni в донных осадках Имандры отмечается значительное увеличение концентраций в средней (ближе к верху) части колонки и дальнейшее некоторое снижение. Максимальные концентрации Cu отмечены в слое 6-7 см для Имандры 2.1 (превышение доиндустриального уровня в 35 раз в этом слое и в 22 раза в поверхностном) и 7-8 см для Имандры 2.2 (превышение доиндустриального уровня в 24 раз в этом слое и в 13 в поверхностном). Максимальные содержания Ni отмечены в слое 7-8 см для Имандры 2.1 (превышение доиндустриального уровня в 239 раз в этом слое и в 118 раз в поверхностном) и 8-9 см для Имандры 2.2 (превышение доиндустриального уровня в 165 раз в этом слое и в 71 в поверхностном).

Для всех исследованных озёр характерно высокое содержание железа. В Имандру поступает больше промышленных и хозяйственно-бытовых стоков, поэтому концентрации подвижных форм большинства элементов в ней выше. Вертикальное распределение подвижных форм хрома оказалось сходным с вертикальным распределением, выявленном в прошлых исследованиях В.А. Даувальтером и Н.А. Кашулиным [3]. На глубине 13-16 см для подвижных форм никеля и 12-10 см для меди в Имандре можно заметить резкий рост концентраций, связанный, скорее всего, с запуском комбината «Североникель» и приходящийся на 1940-1950-е годы. Выявленное вертикальное распределение подвижных форм меди и никеля со значительным ростом и максимумом на глубинах 6-9 см, также сходно с результатами исследований 2000-2010-х годов, где максимум отмечался на глубине 5 см; теперь он на глубинах от 6 до 9 см, так как продолжалось осадконакопление. Этот максимум приходится, по-видимому, на 1980-е годы и вызван увеличением производства на «Североникеле». Отсюда можно определить ориентировочную скорость осадконакопления, которая составляет около 2 мм/год.

Максимальная концентрация подвижных форм Cd в Имандре 2.1 приходится на слой 4-5 см, как и в работах В.А. Даувальтера и Н.А. Кашулина. Распределение подвижных форм Mn, Pb и Co отличается от результатов прошлых исследований. Максимальные концентрации подвижных форм Fe в Имандре отмечены на глубине от 10 до 19 см, в то время как в ранних исследованиях на глубине 8 см.

Также был произведён расчёт коэффициента загрязнения C_f и степени загрязнения C_d по методике Л. Хакансона. Результаты представлены в таблице 1.

C_n^1 – концентрация металла в самом нижнем сантиметровом слое в Имандре 1.1, C_n^2 – Имандре 1.2, C_n^3 – Имандре 2.1, C_n^4 – Имандре 2.2, C_n^i (Имандра) – средняя концентрация металла в нижних слоях 4 колонок Имандры, $C_{2-3/1-2/0-1}^i$ (название колонки) – концентрация металла в верхнем сантиметровом исследованном слое, C_f^i (название колонки) – коэффициент загрязнения для колонки, C_n^i (Куропачье/Малый Вудъявр) – концентрация металла в нижнем сантиметровом слое в колонке из Куропачьего/Малого Вудъявра.

Таблица 1. Коэффициенты и степени загрязнения подвижными формами ТМ для колонок донных осадков Имандры, составлено автором

	Cd, мг/кг	Co, мг/кг	Cr, мг/кг	Cu, мг/кг	Ni, мг/кг	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	C_d	n
C_n^1	0,472	1,108	3,140	6,80	6,44	1,808	12,12	-	-
C_n^2	0,433	0,860	2,700	6,98	12,85	1,510	11,18	-	-
C_n^3	0,194	0,402	2,180	1,07	0,78	1,164	3,36	-	-
C_n^4	0,150	0,410	2,260	1,38	1,16	1,220	6,50	-	-
C_n^i (Имандра)	0,312	0,695	2,570	4,056	5,308	1,426	8,289	-	-
C_{2-3}^i (Имандра 1.1)	0,816	1,298	1,452	26,60	78,40	1,912	8,160	-	-
C_f^i (Имандра 1.1)	2,61	1,87	0,56	6,56	14,77	1,34	0,98	28,70	7
C_{0-1}^i (Имандра 1.2)	0,412	0,762	1,528	28,60	84,00	1,088	8,06	-	-
C_f^i (Имандра 1.2)	1,32	1,10	0,59	7,05	15,83	0,76	0,97	27,62	7
C_{1-2}^i (Имандра 2.1)	0,602	1,738	0,962	23,00	91,80	0,436	8,12	-	-
C_f^i (Имандра 2.1)	1,93	2,50	0,37	5,67	17,30	0,31	0,98	29,06	7
C_{1-2}^i (Имандра 2.2)	0,618	0,572	0,770	18,04	82,00	0,030	10,06	-	-
C_f^i (Имандра 2.2)	1,98	0,82	0,30	4,45	15,45	0,02	1,21	24,24	7
C_{0-1}^i (Куропачье)	0,337	2,688	1,761	2,667	8,403	4,65	39,9		

C_n^i (Куропачье)	0,096	1,240	1,528	0,450	1,496	0,25	16,7		
C_f^i (Куропачье)	3,51	2,17	1,15	5,93	5,62	18,30	2,39	39,06	7
C_{2-3}^i (Малый Вудъявр)	0,182	0,030	0,392	1,38	1,24	7,90	11,00		
C_n^i (Малый Вудъявр)	0,108	0,030	0,208	2,700	0,3	1,68	11,06		
C_f^i (Малый Вудъявр)	1,69	1,00	1,88	0,51	4,34	4,70	0,99	15,12	7

Для расчёта коэффициента загрязнения концентрация металла в самом верхнем исследованном слое делилась на среднюю концентрацию нижних слоёв 4 колонок Имандры, для Куропачьего и Малого Вудъявра делилась на концентрацию в одном самом нижнем слое. Зелёным цветом в таблице выделены низкие коэффициенты загрязнения ($C_f < 1$), жёлтым – умеренные ($1 < C_f < 3$), оранжевым – значительные ($3 < C_f < 6$), красным - высокие $C_f > 6$).

Степень загрязнения была вычислена как сумма всех коэффициентов загрязнения для всей колонки. Оранжевым отмечена значительная степень загрязнения ($2n < C_d < 4n$), красным – высокая ($C_d > 4n$), где n – количество проанализированных элементов.

Таким образом, коэффициент загрязнения для Имандры является высоким для Ni во всех колонках и Cu в 2-х, значительным для Cu в 2-х колонках, умеренным для Cd во всех колонках, Co в 3-х, Pb и Zn по одной. В Куропачьем умеренный коэффициент загрязнения для Co, Cr и Zn, высокий для Pb, значительный для остальных элементов. Степень загрязнения является высокой для колонок Куропачье, Имандра 1.1 и 2.1 и значительной для Имандры 1.2 и 2.2 и Малого Вудъявра. При этом во всех колонках Имандры степень загрязнения колеблется слабо, в Малом Вудъявре вдвое меньше, а в Куропачьем несколько больше, чем в Имандре. Основными загрязнителями являются Ni и Cu.

Производство Cu и Ni на комбинате «Североникель» привело к значительному загрязнению этими элементами водосбора Имандры. В наибольшей степени загрязнение проявилось в оз. Имандра, где наблюдается неблагоприятная экологическая ситуация из-за высокого содержания подвижных форм Cu и Ni. Но в последние 30 лет содержание подвижных форм этих металлов снижается.

В озере Куропачье заметно высокое загрязнение свинцом, источником которого может являться автотрасса «Кола» (Санкт-Петербург – Мурманск). Несмотря на то, что в озеро Куропачье не поступают стоки комбинатов, степень загрязнения оказалась в нём выше, чем в колонках осадков из Имандры.

Донные осадки оз. Малый Вудъявр в значительно меньшей степени испытывают воздействие комбинатов. Здесь отмечается в основном аэротехногенное загрязнение.

Автор работы выражает благодарность за предоставленные полевые материалы (колонки донных озерных отложений, отобранные в рамках гранта РФФИ Арктика 18-05-60291 «Адаптация арктических лимносистем к быстрому изменению климата») студентами, аспирантами и преподавателями СПбГУ: Шестаковой Елене Николаевне, Пашовкиной Анастасии Андреевне, Чернышёвой Марии Андреевне и доценту Федоровой Ирине Викторовне.

Исследования проведены в рамках гранта РФФИ Арктика 18-05-60291 «Адаптация арктических лимносистем к быстрому изменению климата».

Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Методы анализа состава вещества».

Список литературы:

[1] Даувальтер, В. А. Геоэкология донных отложений озёр. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. - 242 с.: ил.

[2] Опекунова М.Г., Арестова И.Ю., Елсукова Е.Ю. Методы физико-химического анализа почв и растений: Методические указания. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002. 70 с.

[3] Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Влияние деятельности горно-металлургических предприятий на химический состав донных отложений озера Имандра, Мурманская область //Биосфера. – 2015. – Т. 7. – №. 3. – С. 295-314.

[4] Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Долговременные изменения химического состава донных отложений озера Имандра в зоне влияния стоков Кольской атомной электростанции //Труды Кольского научного центра РАН. – 2013. – №. 3 (16). – С. 6-35.

[5] Даувальтер В. А. Оценка токсичности металлов, накопленных в донных отложениях озер //Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27. – №. 4. – С. 469-476.

УДК 504.064.36

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ
ПОЧВОГРУНТЫ-ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА
«СЕБЕЖСКИЙ»**

**REGULARITIES OF THE DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE SOIL-
BOTTOM SEDIMENTS SYSTEM OF THE NATIONAL PARK «SEBEZHISKY»**

*Барабаш Ксения Витальевна¹, Белая Наталия Андреевна², Богданов Тимофей Валерьевич³,
Горбунова Анастасия Вячеславовна⁴, Питлев Роман Андреевич⁵, Понамарчук Татьяна
Васильевна⁶, Хохряков Владимир Рафаэльевич⁷*

*Barabash Ksenia Vitalievna, Belaya Nataliya Andreevna, Bogdanov Timofey Valerievich,
Gorbunova Anastasia Vyacheslavovna, Pitlev Roman Andreevich, Ponamarchuk Tatiana Vasilevna,
Khokhryakov Vladimir Rafaelevich*

г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет¹²³⁴⁵⁶

Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University¹²³⁴⁵⁶

ФГБУ Национальный парк «Себежский»⁷

FSBI Sebezhsky National Park⁷

*st106197@student.spbu.ru¹, st085092@student.spbu.ru², st076100@student.spbu.ru³,
st085272@student.spbu.ru⁴, st075765@student.spbu.ru⁵, st087950@student.spbu.ru⁶,*

khokhryakovy@yandex.ru⁷

Научный руководитель: к.г.-м.н. Зеленковский Павел Сергеевич

Research advisor: PhD Zelenkovskiy Pavel Sergeevich

Аннотация: Оценка состояния депонирующих сред – важнейший компонент комплексного экологического мониторинга. Несмотря на статус Национального парка, территория исследования подвержена антропогенному воздействию. В рамках данного исследования были проанализированы результаты полевых работ за 2022 год. Отобраны пробы донных отложений и почвогрунтов. Сделаны выводы о текущем эколого-геохимическом состоянии системы почвогрунты-донные отложения системы озер национального парка «Себежский».

Abstract: Assessment of the condition of depositing environment is the most important component of integrated environmental monitoring. Despite the status of a National Park, the research area is subject to anthropogenic impact. As part of this work, samples of bottom sediments and soil were analyzed, which were collected for the winter and summer period of 2022. As a result, we have conclusions about the current state of the soil-bottom sediment system of the lakes of the Sebezhsky National Park.