

ФОРМЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КАРАБАШСКОГО ПРУДА

Ю.Ю. Стрелкова¹, Д.О. Нагорнов²

*Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II,*

¹strel_2002@mail.ru, ²nagornov_do@pers.spmi.ru

Проблема загрязнения водных объектов тяжелыми металлами особенно актуальна для горнодобывающих регионов. В статье представлены результаты исследования донных отложений Карабашского пруда. Выявлены наиболее подвижные химические элементы, проведены сравнения полученных показателей с региональными фоновыми значениями, выделены зоны с максимальным содержанием тяжелых металлов.

Ключевые слова: донные отложения, тяжелые металлы, поверхностные воды.

Тяжелые металлы являются одним из основных загрязнителей водной среды ввиду высокой токсичности и способности встраиваться в пищевые цепи [1, 2].

Тяжёлые металлы попадают в окружающую среду как в результате естественных явлений – извержения вулканов, выветривания и эрозии почв, так и в результате антропогенных процессов. Горнодобывающие и металлургические предприятия, объекты сельского хозяйства и топливно-энергетического комплекса на сегодняшний день являются основными источниками загрязнения окружающей среды и, в частности, водных объектов [3].

В процессе самоочищения поверхностных вод растворимые формы тяжёлых металлов мигрируют в донные отложения – это связано с процессами седиментации и сорбции. Такое явление имеет двоякий характер: улучшается качество воды, но увеличивается содержание микроэлементов в донных осадках [4, 5].

Донные отложения обладают депонирующими свойствами и способны накапливать широкий круг химических элементов, однако изменение физико-химических параметров среды, таких как pH, электропроводность и окислительно-восстановительный потенциал, может привести к попаданию тяжёлых металлов в воду и повторному загрязнению водных объектов [6, 7].

Учитывая способность донных отложений аккумулировать загрязняющие вещества, их следует рассматривать как чувствительный индикатор состояния водной экосистемы.

В данной работе проведено исследование содержания тяжёлых металлов (валовые и подвижные формы) в донных отложениях Карабашского пруда, расположенного на территории города Карабаш Челябинской области.

В начале XIX века на территории Соймановской долины были обнаружены россыпи золота и залежи медных руд – с тех пор началось развитие металлургической промышленности в районе города Карабаш. В 1910 году был основан Карабашский медеплавильный комбинат. За более чем 100-летнюю историю неконтролируемые выбросы и сбросы комбината привели к загрязнению почв, поверхностных вод и донного грунта тяжёлыми металлами и их соединениями [8].

Карабашский пруд с начала своего формирования испытывал сильную антропогенную нагрузку, являясь приемником промышленных сточных вод медеплавильного комбината. В настоящее время на предприятии внедрена система замкнутого водооборота, и сброс отсутствует. В 2022 году была проведена комплексная очистка пруда от загрязнённых осадков, что послужило важным шагом для восстановления экосистемы водоема [9].

Тем не менее, Карабашский пруд продолжает принимать дождевые и талые воды с прилегающих территорий. Основной поток загрязняющих веществ поступает в пруд и его донные отложения в результате миграции с водосборного бассейна, который представляет собой водотоки, стекающие с западных возвышенностей города Карабаш и западного склона горы Золотой, подверженной эрозии [10]. Следовательно, микроэлементы продолжают накапливаться в системе «вода – донные отложения».

Ситуация осложняется тем, что Карабашский пруд расположен в русле реки Серебрянки, которая впадает в Богородский пруд. На сегодняшний день Богородский пруд является единственным источником водоснабжения АО «Карабашмедь». Значит, вторичное загрязнение Карабашского пруда может негативно сказаться на качестве воды Богородского пруда и привести к увеличению расходов на очистку и водоподготовку.

В 2024 году было проведено обследование Карабашского пруда с отбором проб донных отложений на 7 площадках (рис. 1).

Пробы были отобраны в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80 с использованием дночерпателя Van Veen. Пробоподготовка и анализ проводились в Научном центре «Экосистема» Горного университета.

Определение влажности было проведено на анализаторе MX-50. Валовое содержание тяжёлых металлов было определено методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием спектрометра NITON XLt. Подвижные формы тяжёлых металлов предварительно извлекались ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8 и определялись методом атомной эмиссии. Обработка результатов измерений заключалась в пересчете массовых концентраций в вытяжках в массовые концентрации проб с учетом влажности.

Результаты анализов содержания подвижных форм тяжёлых металлов показали, что наиболее мобильными являются свинец, цинк и медь – степень подвижности достигает максимального значения 76,3%. Наименее доступными являются железо, хром и никель – минимальная степень подвижности 0,47%.



Рис. 1. Площадки отбора проб донных отложений

Максимальные показатели степени подвижности по исследуемым элементам отмечены на площадках 6 и 7, которые располагаются ниже остальных по течению. Минимальные – на площадках 3 и 4, которые примыкают к восточному берегу пруда.

В России предельно допустимые концентрации для тяжелых металлов в донных отложениях не установлены, поэтому для оценки степени загрязнения были использованы региональные фоновые значения.

Валовые содержания свинца превышали фоновые в 60 раз, цинка – в 105 раз, меди – в 422 раза. В то время как содержания подвижных форм этих же металлов превышали фоновые в 42, 60 и 165 раз соответственно.

Валовые содержания железа превышали фоновые в 5 раз, хрома – в 12 раз, никеля – в 36 раз. Содержание подвижных форм никеля превышало фоновое в 6 раз, при этом содержания подвижных форм железа и хрома не превышали региональные фоновые значения.

Полученные показатели валового содержания указывают на то, что Карабашский пруд является аккумулятивной геохимической системой с максимальным содержанием тяжёлых металлов на площадке 6.

Отмечено, что изменение валовых содержаний групп тяжёлых металлов «свинец-медь» и «цинк-железо» происходило синхронно, что указывает на техногенный парагенезис. Для подвижных форм тяжёлых металлов аналогичный парагенезис менее выражен ввиду влияния большего числа независимых факторов распределения.

В ходе исследования определено, что концентрации тяжёлых металлов в донных осадках Карабашского пруда, несмотря на проведенные средозащитные мероприятия по выемке загрязненных осадков, в десятки раз

превышают региональные фоновые значения. Из этого следует, что донные отложения все ещё испытывают техногенную нагрузку.

Высокие показатели степени подвижности тяжёлых металлов указывают на возможность вторичного загрязнения водоема при колебаниях физико-химических условий среды, например, в периоды сезонной изменчивости. Для оценки динамики накопления микроэлементов в донные отложения будут проведены дальнейшие сезонные исследования.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSRW-2023-0002 Фундаментальные междисциплинарные исследования недр Земли и процессов комплексного освоения георесурсов).

Библиографический список

1. Sojka M., Jaskuła J., Siepak M. Heavy metals in bottom sediments of reservoirs in the lowland area of western Poland: Concentrations, distribution, sources and ecological risk // *Water*. 2019. Vol. 11. No. 56. doi: 10.3390/w11010056
2. Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans // *Heliyon*. 2020. Vol. 6. No. 9. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691
3. Тяжелые металлы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.unep.org/cep/heavy-metals> (дата обращения: 15.09.2025).
4. Kumar A., Kumar V., Pandita S., Singh S., Bhardwaj R., Varol M., Rodrigo-Comino J. A global meta-analysis of toxic metals in continental surface water bodies // *J. Environ. Chem. Eng.* 2023. Vol. 11, 109964. doi: 10.1016/j.jece.2023.109964
5. Содержание и распределение тяжелых металлов в донных отложениях плесов Иваньковского водохранилища / Г. Ю. Толкачев, Т. А. Ильина, Н. В. Абакумова, И. А. Родькина // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2023. № 1. С. 7–11. doi: 10.32962/0235-2524-2023-1
6. Югай В. С., Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Содержание биодоступных форм соединений металлов в донных отложениях водоемов и коэффициент накопления (Kd) как показатели экологической обстановки водоемов (на примере озер Мурманской области) // *Вестник Мурманского государственного технического университета*. 2013. Т. 16, № 3. С. 616–623.
7. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
8. Самый грязный город [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rgo.ru/ru/article/samyi-gryaznyi-gorod> (дата обращения: 15.09.2025).
9. Карабаш сегодня. Как возрождается зона экологического бедствия? [Электронный ресурс]. – URL: <https://nashural.ru/dostoprimechatelnosti-urala/chelyabinskaya-oblast/karabash-segodnya-kak-vozhrozhdaetsya-zona-ekologicheskogo-bedstviya/> (дата обращения: 15.09.2025).
10. Таций Ю. Г. Эколого-геохимическая оценка загрязнения окружающей среды в зоне действия Карабашского медеплавильного комбината // *Вестник Тюменского государственного университета*. 2012. № 12. С. 90–96.