

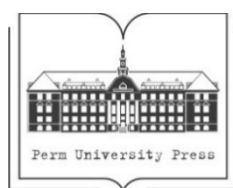
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ
ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

*Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых,
посвященной памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка*

(г. Пермь, ПГНИУ, 20–21 апреля 2023 года)



Пермь 2023

УДК 504.05: 574
ББК 20.18
Э40

Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформация природной среды [Электронный ресурс] : материалы всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка (г. Пермь, ПГНИУ, 20–21 апреля 2023 года) / под ред. С.А. Бузмакова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2023. – 23,61 Мб ; 691 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/Ekologicheskaya-Bezopasnost-V-Usloviyah-Antropogennoj-Transformacii-Prirodnoj-Sredy-2023.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3970-0

Сборник содержит материалы всероссийской научной конференции молодых ученых «Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды», проведенной кафедрой биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета. Представлены материалы докладов современных исследователей в области экологической безопасности при антропогенной трансформации природной среды. Рассматриваются проблемы сохранения природных комплексов, техногенной трансформации и восстановления природно-технических систем и природно-антропогенных объектов. Издание предназначено для геоэкологов, биогеоценологов, природопользователей, географов, биологов, специалистов в области экологической безопасности, охраны природы, преподавателей высшей школы, аспирантов и студентов географических, биологических и геологических направлений.

УДК 504.05: 574
ББК 20.18

Издается по решению оргкомитета конференции

Главный редактор: проф., д-р геогр. наук **С.А. Бузмаков**

Технический секретарь: **Е.А. Мехоношина**

Рецензенты:

д-р биол. наук, профессор **Е.И. Голубева**
(Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова);
д-р геогр. наук, профессор **А.Н. Бармин**
(Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева)

ISBN 978-5-7944-3970-0

© ПГНИУ, 2023

ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ СИБАЙСКОГО МЕДНО-ЦИНКОВО-КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПРИБРЕЖНО-ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ Р. КАРАГАЙЛЫ

Д.В. Коршунова, А.Ю. Опекунов, В.В. Сомов, Е.В. Дергилова
Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7–9,
e-mail: st032937@student.spbu.ru

Рассмотрено содержание тяжелых металлов и металлоидов (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Sb, Pb) в донных осадках и золе тростника обыкновенного *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. р. Карагайлы. Изучен минеральный состав донных отложений, проведено сравнение с составом проб 2019-2020 гг. Показано, что после 2019 г. произошло изменение гидрогеохимического режима р. Карагайлы. Несмотря на прекращение деятельности Сибайского комбината, в донных отложениях аккумулировано значительное количество поллютантов, вызывающих вторичное загрязнение р. Карагайлы, а разрушение существующих геохимических барьеров – вынос металлов в реки более высокого порядка.

Ключевые слова: горнорудное производство; донные отложения; загрязнение; тяжелые металлы; геохимические барьеры; макрофиты.

INFLUENCE OF SIBAY DEPOSIT DEVELOPMENT ON THE BOTTOM SEDIMENTS AND MACROPHYTES COMPOSITION IN THE KARAGAYLY RIVER

D.V. Korshunova, A.Yu. Opekunov, V.V. Somov, E.V. Dergileva
Saint Petersburg State University, 199034, Saint Petersburg,
7-9 Universitetskaya Embankment,
e-mail: st032937@student.spbu.ru

The contents of heavy metals (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Sb, Pb) in samples of bottom sediments and *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud were studied. The mineral composition of the bottom sediments of the Karagaily River was explored, and a comparison with the composition of samples taken in 2019-2020 was made. It is shown that after 2019 the hydrogeochemical regime of the Karagaily River was changed. Despite the Sibay plant stop working, a significant amount of pollutants have been accumulated in bottom sediments that can pollute the Karagaily and other rivers if existing geochemical barriers will be destroyed.

Keywords: mining production; bottom sediments; pollution; heavy metals; geochemical barriers; macrophytes.

Башкирское Зауралье является важным горнопромышленным центром Уральского экономического района. На его территории функционируют предприятия по добыче золота, цветных и черных металлов, угля, камнесамоцветного сырья и других полезных ископаемых. Сибайское медно-цинково-колчеданное месторождение находится на юго-востоке республики Башкортостан в пределах Красноуральско-Сибай-Гайской рудоносной зоны. Совокупность геологических условий на данной территории формирует высокий геохимический фон по ряду элементов, в первую очередь Cu, Zn, Cd, Fe, Mn, Au, As, на который наложены локальные техногенные аномалии, связанные с промышленными объектами. Сибайское месторождение разрабатывалось с конца 1930-х гг. [4,5]. До 2019 г. здесь функционировал Сибайский филиал ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» (бывший «Башкирский медно-серный комбинат»), в его составе два крупных карьера, подземный рудник и обогатительная фабрика [5]. В 2019 г. в связи с неблагоприятной экологической ситуацией, вызванной возгоранием

руды, деятельность по добыче полезных ископаемых была остановлена, а карьер затоплен [2]. Несмотря на завершение работ, накопленный ущерб компонентам окружающей среды на данной территории сохраняется. Особо сильное воздействие испытывают подчиненные субаквальные ландшафты [3]. Состояние малой реки Карагайлы, протекающей в импактной зоне предприятия, изучается на протяжении нескольких десятков лет. За эти годы были зафиксированы важные изменения гидрогеохимического режима водотока, связанные как с естественными процессами, так и, в большей степени, с деятельностью предприятия, с вводом в эксплуатацию и функционированием очистных сооружений, а также дноуглубительными работами. Целью текущей работы является выявление изменений в составе донных отложений и прибрежно-водной растительности, произошедших после остановки деятельности комбината.

Объект и методика исследования

Река Карагайлы имеет ширину 2-6 м с разливами до 20 м, длину около 11 км. Она пересекает с запада на восток южные окраины г. Сибай и впадает в р. Худолаз – приток р. Урал (рис.) [4]. Водоток испытывает воздействие со стороны горнодобывающего предприятия на протяжении всего периода деятельности комбината: в 50-х гг. Карагайлы отвели в р. Камышлы-Узяк для разработки Сибайского карьера, однако старое русло стало использоваться для приема сточных и подотвальных вод, что существенно влияло на гидрогеохимический режим реки.

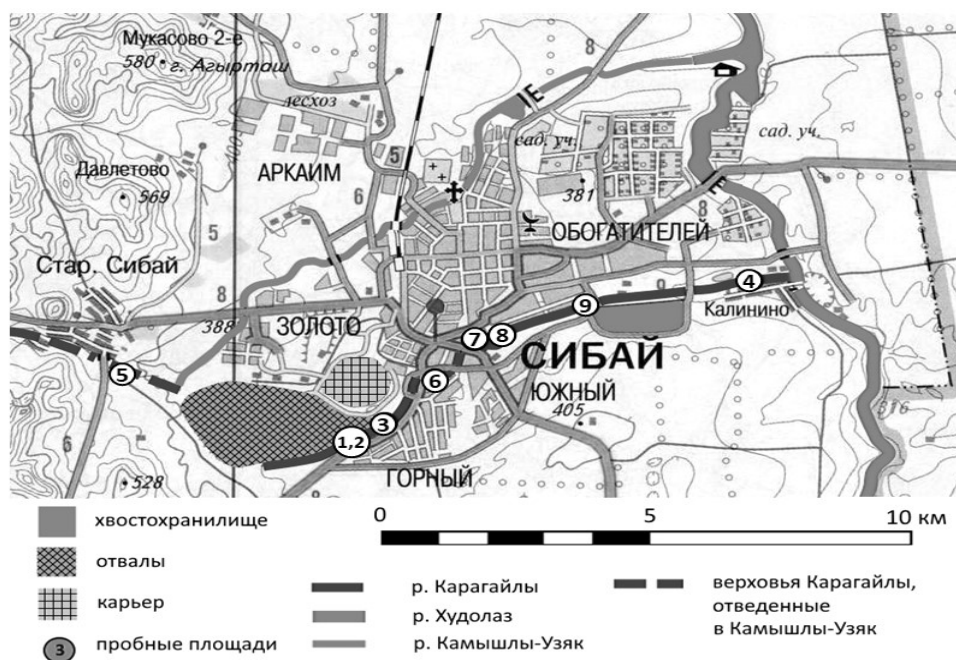


Рис. Карта-схема точек отбора проб в районе исследования

Объектом исследований служат компоненты трансаквального ландшафта р. Карагайлы – донные отложения и прибрежно-водная растительность *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Валовые содержания химических элементов в донных осадках, а также состав золы растений определялись в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург (ICP-MS с полным кислотным разложением проб). Минеральный состав проб донных осадков был получен методом порошковой рентгеновской дифракции в ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка СПбГУ (MiniFlexII (Rigaku)-Co).

Пробоотбор осуществлялся в июле 2022 г. На карте-схеме (рис.) представлены площадки отбора проб донных отложений и прибрежно-водной растительности. Условно-фоновой является точка 5, находящаяся в верховьях р. Карагайлы. Точки, расположенные ниже по течению, являются контрольными. При пробоотборе производились замеры pH и минерализации воды в реке. В период исследований наблюдалось закономерное снижение водородного показателя (с 8,32 на фоновой точке и в низовьях до 6,11 у отвалов) и увеличение минерализации (с 0,18 г/л на фоновой точке до 2,74 г/л у отвалов) в импактной зоне.

Результаты и обсуждение

Полученные значения валовых содержаний тяжелых металлов в донных отложениях (табл. 1), в целом, фиксируют тренд на снижение антропогенной нагрузки на систему после прекращения работы комбината. В то же время возникают новые геохимические барьеры, на которых максимальное содержание отдельных элементов (меди, кобальта, сурьмы) превышает зафиксированные ранее значения. Обратная ситуация наблюдается у железа, поскольку барьеры, отвечающие за накопление этого элемента, были разрушены в ходе дноуглубительных работ в 2015-2016 гг. [4], после чего происходило постепенное выведение железа из состава осадка.

Таблица 1. Содержания тяжелых металлов и металлоидов (мг/кг) в донных отложениях р. Карагайлы (приведены средние значения и ошибка определения среднего)

ТММ	2019-2020 гг. (n=7)	2022 г. (n=9)
Mn	$\frac{1395 \pm 188}{930-2169}$	$\frac{1333 \pm 187}{565-2092}$
Fe	$\frac{142921 \pm 53960}{22800-436800}$	$\frac{59414 \pm 9835}{13090-98700}$
Co	$\frac{41 \pm 7}{20-72}$	$\frac{45 \pm 8}{24-105}$
Ni	$\frac{35 \pm 7}{16-71}$	$\frac{42 \pm 7}{12-76}$
Cu	$\frac{3773 \pm 1148}{94-9090}$	$\frac{4492 \pm 1681}{66-16500}$
Zn	$\frac{9548 \pm 2372}{235-17800}$	$\frac{6036 \pm 1431}{137-13100}$
Cd	$\frac{11,3 \pm 3,0}{0,4-23,3}$	$\frac{8,0 \pm 1,7}{0,2-17,5}$
Sb	$\frac{2,9 \pm 0,6}{1,2-5,8}$	$\frac{3,4 \pm 1,2}{0,7-11,4}$
Pb	$\frac{30,5 \pm 7,2}{8,2-57,2}$	$\frac{29,0 \pm 6,0}{8,1-56,5}$

Примечание. В числителе – среднее значение, в знаменателе – диапазон.

Наибольшие содержания элементов связаны, вероятно, с сорбционными процессами на новообразованном аморфном гидросульфатном осадке, который в большом количестве представлен на площадках 1,2,3, примыкающим к отвалам Сибайского карьера. Высокие значения концентраций меди связаны также с органоминеральными и кристаллическими формами и отмечены в среднем течении реки (точка б).

Минеральный состав донных осадков отражает изменения, происходящие в среде. По результатам рентгенодифракционного анализа установлено, что в большинстве проб преобладающими являются первичные минералы размываемых на территории горных пород, устойчивые к механическому воздействию – кварц, полевые шпаты, слюда. Распространены вторичные минералы – каолинит, тальк, минералы группы хлорита, в основном представляющие собой продукты гипергенного преобразования первичных нерудных минералов. В некоторых

пробах в составе глинистой фракции диагностированы смешанослойные фазы иллит-сметитового состава. На участках 1, 2, 3, расположенных вблизи отвалов Сибайского карьера, осадок практически целиком состоит из рентгеноаморфной фазы, представленной, предположительно, раскристаллизованными гидросульфатами; также на этих точках отмечено наличие гипса, который нередко встречается в зонах окисления сульфидных руд. Присутствие карбонатов (кальцита, доломита) продиктовано естественными причинами. Из рудных минералов в количестве более 1% в составе осадка отмечен лишь пирит, диагностированный на большинстве контрольных участков. На условно-фоновой точке (5) в составе фаз присутствуют пироксены (диопсид), амфиболы (роговая обманка) и эпидот, практически не встречающиеся в контрольных точках ниже по течению.

При сравнении полученных результатов с данными 2019-2020 гг. можно заметить изменение состава осадков. Так, например, в районе очистных сооружений осадок имел ярко-рыжий, охристый оттенок и состоял практически полностью из гетита и лепидокрокита с незначительной примесью других минералов (кварц, полевые шпаты, каолинит). Высокое содержание окисленных фаз железа было связано с формированием на этом месте комплексного (сорбционно-гидроксидного и щелочного) барьера в результате сброса вод с очистных сооружений с высокими значениями pH [4]. В 2019 г. сброс сточных вод был прекращен. В 2022 году осадок на данной точке представлял собой смесь терригенного материала с илистой фракцией и обломками сульфатов, что свидетельствует о постепенной нормализации обстановки.

При изучении последствий воздействия горнопромышленного производства на компоненты природных и техногенно измененных ландшафтов важно рассмотреть химический состав растительности. Тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) – наиболее распространенный макрофит в бассейне р. Карагайлы, поэтому наиболее часто используется для биоиндикационных исследований [1,5].

Таблица 2. Содержания тяжелых металлов (мг/кг) в пробах *Phragmites australis* (приведены средние значения и ошибка определения среднего), n=6

Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Зольность, %
$\frac{129 \pm 17}{56-187}$	$\frac{62 \pm 7}{43-97}$	$\frac{0,02 \pm 0,01}{0,00-0,07}$	$\frac{0,38 \pm 0,17}{0,12-1,26}$	$\frac{10,2 \pm 1,5}{6,9-17,3}$	$\frac{97 \pm 15}{54-157}$	$\frac{0,05 \pm 0,01}{0,01-0,09}$	$\frac{7,5 \pm 0,5}{6,0-9,7}$

Примечание. В числителе – среднее значение, в знаменателе – диапазон.

На загрязненных участках в пробах возрастает содержание большинства тяжелых металлов из табл. 2, особенно Zn (среднее значение в 4 раза выше фонового), Cu (среднее значение в 2 раза выше фонового), Cd, Mn, Fe. По сравнению с ранее опубликованными данными [6] существенных изменений в содержании элементов в золе тростника обыкновенного обнаружено не было.

Заключение

Горнодобывающая деятельность оказывает сильное воздействие на компоненты окружающей среды. Химический и минеральный состав донных осадков, а также содержание микроэлементов в золе индикаторных видов растительности позволяют оценить комплексное воздействие на аквальные ландшафты. По полученным данным можно сделать вывод, что, несмотря на прекращение функционирования Сибайского горно-обогатительного комбината, система р. Карагайлы продолжает испытывать нагрузки в результате вторичного загрязнения из донных отложений. Разрушение сформировавшихся на реке геохимических барьеров способствует выносу поллютантов из р. Карагайлы в реки более высокого порядка.

Библиографический список

1. *Бактыбаева З.Б.* Влияние объектов горнорудной промышленности на содержание цинка и меди в компонентах речных экосистем (Зауралье Республики Башкортостан) // *Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2014. № 1. С. 83-90.
2. *Никонов В.Н.* Самовозгорание серного колчедана в Сибайском карьере // *Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий.* 2022. №14. С.134-137.
3. *Опекунов А.Ю.* Экологическая седиментология: учеб.пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербург.ун-та, 2012. 224 с.
4. *Опекунов А.Ю., Янсон С.Ю., Опекунова М.Г., Коришнова Д.В., Сомов В.В.* Гидрогеохимическая трансформация малых рек под воздействием горнодобывающих предприятий (на примере р. Карагайлы, г. Сибай) // *Вопросы степеведения.* 2022. № 3. С. 12-22. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-3-12-22.
5. *Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Папаян Э.Э., Сомов В.В.* Использование биоиндикационных свойств растительности при оценке трансформации ландшафтов в районе разработки Сибайского медно-колчеданного месторождения (Южный Урал) // *Сибирский экологический журнал.* 2017. № 3. С. 350-366. DOI: 10.15372/SEJ20170312.
6. *Сомов В.В., Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю.* Влияние горнорудного производства на миграцию металлов в аквальных системах степных ландшафтов // *Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод.* 2020. Ч.1. С.153-157.