

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК: 504.064.36

DOI: [10.46698/VNC.2022.37.95.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.37.95.013)

Оригинальная статья

Оценка воздействия отходов обогащения медных руд на поверхностные и подземные воды

Р. Р. Нуреев , М. А. Пашкевич , П. А. Харько 

Санкт-Петербургский горный университет, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург,
Васильевский остров, 21 линия, д. 2, e-mail: nureev_rr@mail.ru

Статья поступила: 21.09.2022, доработана: 24.10.2022, принята к публикации: 02.11.2022

Резюме: Актуальность работы. Отходы производства в промышленно развитых регионах значительно влияют на современное состояние малых рек. Первостепенную роль в загрязнении поверхностных водотоков играет инфильтрация кислых подотвальных сточных вод. Кислые дренажные воды содержат в своем составе аномальные концентрации таких металлов как медь, цинк, железо, марганец и др. В кислой водной среде металлы находятся в растворенной форме и могут мигрировать на значительные расстояния, загрязняя поверхностные водотоки и подземные воды и в реакции нейтрализации переходят в нерастворимую форму, накапливаясь в донных отложениях. **Цель исследования.** Оценка состояния природных вод и донных отложений руч. Рыжий и р. Сак-Элга с учетом негативного воздействия инфильтрационных вод хвостохранилищ. **Методы исследования.** Массовые концентрации металлов в пробах воды определялись методом количественного химического анализа при помощи атомно-эмиссионного спектрометра ICPE-9000. Валовые концентрации элементов в пробах донных отложений исследовались согласно методике МВИ-80-2008 «Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии». **Результаты работы.** В статье представлены результаты мониторинговых исследований количественного химического состава ручья Рыжий и реки Сак-Элга, по итогу которых была проведена оценка влияния инфильтрационных вод хвостохранилищ предприятия АО «Карабашмедь» на компоненты гидросферы. Отмечено, что вне зоны влияния отходов обогащения природная вода характеризуется как слабощелочная среда, а ее pH равен приблизительно 7,5, а после впадения в реку ручья Рыжий, формируемого дренажными водами хвостохранилища №3, pH воды снижается до значений 4-5. Далее по течению реки находится хвостохранилище №4, инфильтрационные воды которого снижают pH воды до 3-3,5. В статье приведены результаты мониторинга окружающей среды, включающие в себя отбор проб воды и донных отложений ручья Рыжий и реки Сак-Элга, пробоподготовку и количественный анализ состава проб. Было установлено, что в зоне влияния хвостов обогащения медных руд присутствуют значительные превышения предельно допустимых концентраций по ряду элементов. В статье отмечено, что разработка мероприятий по изъятию и вторичной переработке отходов горно-обогатительных производств позволит значительно снизить техногенное влияние на поверхностные водотоки.

Ключевые слова: малые реки, Урал, металлургическая промышленность, горноперерабатывающая промышленность, загрязнение рек, тяжелые металлы, хвостохранилище.

Для цитирования: Нуреев Р. Р., Пашкевич М. А., Харько П. А. Оценка воздействия отходов обогащения медных руд на поверхностные и подземные воды. *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12 (4): 169-179. DOI: [10.46698/VNC.2022.37.95.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.37.95.013).

DOI: [10.46698/VNC.2022.37.95.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.37.95.013)

Original paper

Assessment of the impact of copper ore processing waste on surface and groundwater

R. R. Nureev , M. A. Pashkevich , P. A. Kharko 

St. Petersburg Mining University, 221st Line, St Petersburg 199106, Russian Federation,
e-mail: nureev_rr@mail.ru

Received: 21.09.2022, revised: 24.10.2022, accepted: 02.11.2022

Abstract. Relevance. Production waste in industrially developed regions significantly affects the current state of small rivers. The primary role in the pollution of surface watercourses is played by the infiltration of acidic sub-basement wastewater. Acidic drainage waters contain abnormal concentrations of metals such as copper, zinc, iron, manganese, etc. In an acidic aqueous medium, metals are in a dissolved form and can migrate over considerable distances, polluting surface watercourses and groundwater, and in the neutralization reaction they pass into an insoluble form, accumulating in bottom sediments. **Aim.** Assessment of the state of natural waters and bottom sediments of the stream. Ryzhy and the Sak-Elga river, taking into account the negative impact of infiltration waters of tailings dumps. **Methods.** Mass concentrations of metals in water samples were determined by quantitative chemical analysis using an atomic emission spectrometer ICPE-9000. Gross concentrations of elements in samples of bottom sediments were studied according to the MVI-80-2008 methodology "Methodology for measuring the mass fraction of elements in samples of soils, soils and bottom sediments by atomic emission and atomic absorption spectrometry". **Results.** The article presents the results of monitoring studies of the quantitative chemical composition of the Ryzhy Creek and the Sak-Elga River, which resulted in an assessment of the influence of infiltration waters of the tailings storage facilities of the Karabashmed JSC enterprise on the components of the hydrosphere. It is noted that outside the zone of influence of enrichment waste, natural water is characterized as a slightly alkaline medium, and its pH is approximately 7.5, and after the confluence of the Ryzhy Stream formed by the drainage waters of the tailings dump No. 3, the pH of the water decreases to values 4-5. Further downstream is the tailings pond No. 4, the infiltration waters of which reduce the pH of the water to 3-3.5. The article presents the results of engineering and environmental surveys, including sampling of water and sediments of the Ryzhy Creek and the Sak-Elga River, sample preparation and quantitative analysis of the composition of samples. It was found that in the zone of influence of the tailings of copper ore enrichment there are significant exceedances of the maximum permissible concentrations for a number of elements. The article notes that the development of measures for the removal and recycling of waste from mining and processing industries will significantly reduce the anthropogenic impact on surface watercourses.

Keywords: small rivers, Ural, metallurgical industry, mining industry, river pollution, heavy metals, tailings storage.

For citation: Nureev R. R., Pashkevich M. A., Kharko P. A. Assessment of the impact of Copper Ore Enrichment Waste on Surface and Groundwater. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12 (4): 169-179. DOI: [10.46698/VNC.2022.37.95.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.37.95.013).

Введение

На территории Российской Федерации порядка половины от общего объема речного стока формируется так называемыми малыми реками – реками, имеющими длину не более ста километров и площадь водосбора не более двух тысяч квадратных километров. Процесс самовосстановления таких поверхностных водотоков занимает гораздо больше времени, чем в больших и средних реках. Негативное ан-

тропогенное воздействие на малые поверхностные водотоки приводит к усиленной деградации водной экосистемы, которая выражается в заиливании, ускоренному накоплению донных отложений, формированию техногенных наносов [Пашкевич и др., 2020; Ткачев, Булатов, 2002]. Проблеме исследований состояния малых водотоков посвящено множество работ, ей уделяется значительное внимание при проектировании природоохранных мероприятий по снижению негативного воздействия промышленных предприятий на водные объекты [Пашкевич, Харько, 2022; Мережко, 1998].

Однако, вопрос поиска эффективного и целесообразного, с эколого-экономической точки зрения, способа ликвидации накопленного экологического вреда в районе деятельности рудоперерабатывающих предприятий, остается нерешенным [Kuznetsov, Petrov, 2017; Matveeva et al., 2019].

Данная статья посвящена вопросу оценки техногенного воздействия на компоненты гидросферы отходов обогащения медных руд и является частью диссертационных исследований авторов.

В настоящий момент Урал является одним из крупнейших горнопромышленных регионов России и мира [Lytaeva, Isakov, 2017; Minkina et al., 2018]. Разработка медноколчеданных месторождений в этой области ведется с 1635 г., и за более чем трехсотлетнюю историю добычи в этом районе сформировались колоссальные техногенные массивы – насыпные и намывные массивы, техногенные наносы – включающие отходы различного генезиса и исчисляемые миллионами тонн [Судариков и др., 2022; Rumynin et al., 2021].

Ярким примером формирования служат техногенные массивы Карабашского медеплавильного комбината (в настоящий момент – АО «Карабашмедь»), градообразующего предприятия г. Карабаш, расположенного на северо-западе Челябинской области, и специализирующегося на переработке концентрата медно-колчедановых руд [Корнилова, 2018; Курбатова, 2020].

Предприятие располагается в районе бассейна р. Сак-Элга, относящейся к I рыбохозяйственной категории. Данный поверхностный водоток классифицируется как малая река и является ключевым звеном в привнесении элементов в такие поверхностные водоемы как пр. Богородский и р. Миасс с последующим впадением в Аргазинское водохранилище [Минкина и др., 2013].

Русло р. Сак-Элга было преобразовано в связи с созданием хвостохранилища №4, которое находится в юго-восточном направлении от предприятия АО «Карабашмедь» (рис. 1). Ширина его варьируется от 2 до 10 м с разливами до 25 метров; питается река природными подземными, а также техногенными подотвальными водами: в нее впадают водоотводные каналы и выпуски сточных вод. Вдоль русла реки, протекающей в границах промагломации, расположены источники негативного воздействия различного характера: карьерные выемки, хвостохранилище, отвалы пустых пород (рис. 1) [Губанов, 2022; Калабин и др., 2011].

Состав воды водотока определяется составом подотвальных и карьерных вод, инфильтрационных вод хвостохранилища, а также техногенными барьерами реки, на которых происходит преобразование части элементов в нерастворенную фазу [Реутова и др., 2021].

В двух километрах от Богородского пруда, в р. Сак-Элга впадает ручей Рыжий, берущий свое начало из-под насыпных техногенных массивов (отвалов хвостов обогащения) фабрики обогащения предприятия АО «Карабашмедь» и дренирующий подотвальные воды. Ручей несет в себе сильноокислые воды – в точке № 1 (рис. 1) pH

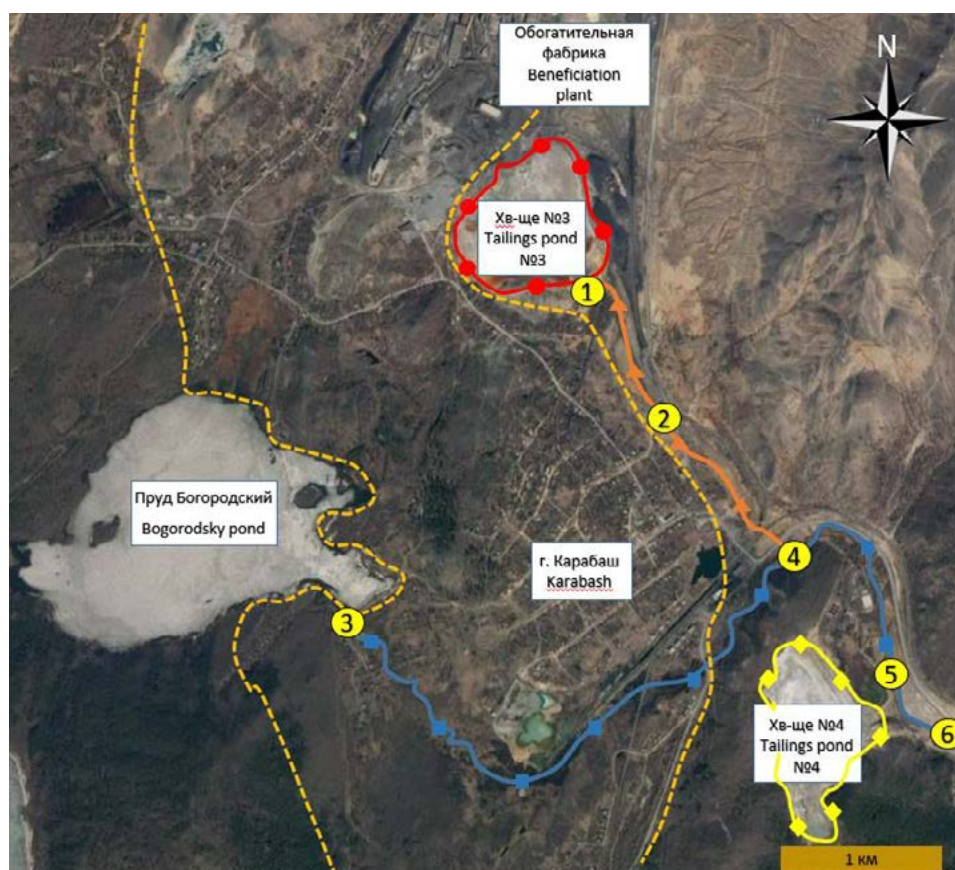


Рис. 1. Карта отбора проб воды и донных отложений. /

Fig. 1. Water and sediment sampling map

- – граница хвостохранилища № 3 / tailing spond boundary № 3;
- ◆— – граница хвостохранилища № 4 / tailing spond boundary № 4;
- – граница реки Сак-Элга / the border of the Sak-Elgariver;
- ▲— – граница ручья Рыжий / border of the Red creek;
- – граница города Карабаш / the border of the city of Karabash;
- – точки отбора проб воды и донных отложений / sampling points

воды составляет 3–3,5. В точке смешения водотоков руч. Рыжий и р. Сак-Элга отмечается значительное ухудшение качества речной воды: качественный состав воды в летний период времени схож с составом дренажных вод хвостохранилищ № 3 и № 4. Это объясняется высокой температурой в летнее время года и обмелением реки на трансформированном русле реки у хвостохранилища № 4, вследствие чего кислый дренажный сток от хвостохранилищ начинает преобладать по объему. Содержание металлов в составе речной воды напрямую зависит от водородного показателя (pH) водной среды. В руч. Рыжий и в точке его впадения в р. Сак-Элга концентрации металлов максимальны при низких значениях pH (3–3,5 единицы). Превышение фоновых концентраций по металлам на этом участке варьируется от 10 до 1000 раз. Концентрации металлов снижаются по дальнейшему течению реки и повышению уровня pH, однако, коэффициенты контрастности отличаются достаточно высоким уровнем [Ульрих и др., 2015; Бардамова, 2018]. Наличие таких аномальных концентраций металлов в речных водах, при проникновении в почвы, влечет за собой гибель фито- и биоценозов [Bortnikova et al., 2005; Yurkevich et al., 2015].

Совокупность вышеуказанных факторов свидетельствует о необходимости снижения техногенной нагрузки на элементы гидросферы промагломерации г. Карабаш и проведения мониторинговых исследований природной воды и донных отложений.

Цель исследования: Оценка состояния природных вод и донных отложений руч. Рыжий и р. Сак-Элга.

Объект исследования: Пробы речной воды и донных отложений руч. Рыжий и р. Сак-Элга, а также Богородского пруда. В ходе работы проведены полевые и лабораторные исследования проб воды и донных отложений.

При проведении экологических изысканий были отобраны пробы воды и донных отложений в 6 точках:

точка № 1 – начало формирования ручья Рыжий, хвостохранилище № 3;

точка № 2 – участок ручья, находящийся в непосредственной близости от населенного пункта;

точка № 3 – район, находящийся вне зоны влияния техногенных массивов обогатительной фабрики;

точка № 4 – участок реки, находящийся в месте смешения реки с ручьем, содержащий подотвальные воды;

точка № 5 – участок реки в зоне влияния хвостохранилища № 4;

точка № 6 – участок реки после техногенных массивов предприятия.

Методы исследований

Отбор проб воды производился батометром Паталаса из нержавеющей стали в летний период (август 2020) в соответствии с «ГОСТ 31861–2012 Вода. Общие требования к отбору проб».

Отбор проб донных отложений производился бентосным дночерпателем в летний период (август 2020) в соответствии с «ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность».

После отбора, пробы воды были отфильтрованы, законсервированы и хранились в полиэтиленовых герметичных емкостях объемом 0,5 дм³.

Пробы донных отложений были помещены в герметичные пакеты из полиэтилена для дальнейшей транспортировки.

Отобранные пробы были охлаждены сразу после отбора до температуры +4°C, и в дальнейшем транспортировались в холодильных ящиках.

Дальнейшая пробоподготовка проводилась в лаборатории на базе НОЦКП «ЦКП» Санкт-Петербургского горного университета.

Определение катионов металлов в пробах воды проводилось с помощью оптического эмиссионного спектрометра ICPE-9000.

Для измельчения проб донных отложений использовалась шаровая мельница. Далее подготовленную пробу исследовали на валовое содержание элементов, а также на наличие подвижных и водорастворимых форм. Анализ концентраций тяжелых металлов в донных отложениях проводился на оптическом эмиссионном спектрометре ICPE-9000.

Определение валовых содержаний элементов производилось согласно методике МВИ-80-2008 «Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии».

Результаты работы и их обсуждение

Результаты анализа проб воды на катионы металлов представлены в таблице 1. Коэффициенты контрастности рассчитаны на основании Приказа Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. N552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Таблица 1 / Table 1

Массовая концентрация металлов, мг/дм³. / Mass concentration of metals, mg/dm³

Проба / Sample	Ca	К конт. / Contrast ratio	Fe	К конт. / Contrast ratio	Mg	К конт. / Contrast ratio	Na	К конт. / Contrast ratio
1	520	2,8	1460	14600	783	19575	155	0,8
2	67	0,4	15,1	151	69	1,7	234	1,9
3	99	0,5	2,4	24	27	0,7	164	1,4
4	59	0,3	1,6	16	22	0,5	65	0,5
5	148	0,8	42	420	160	4	56	0,4
6	519	2,8	855	8550	650	16,2	189	1,6
Проба / Sample	Cu	К конт. / Contrast ratio	Zn	К конт. / Contrast ratio	Mn	К конт. / Contrast ratio	Sr	К конт. / Contrast ratio
1	61	61000	153	15300	58	5800	1,7	4,2
2	0,9	900	3,9	390	3,2	320	0,3	0,7
3	1,2	1200	0,4	40	0,9	90	0,2	0,5
4	0,7	700	0,1	10	0,1	10	0,2	0,5
5	1,9	1900	6,5	650	6,6	660	0,4	1
6	52	52000	138	13800	61	6100	3,3	8,25

Результаты анализа проб донных отложений представлены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

Валовое содержание элементов на абсолютно сухое состояние, мг/кг. / Gross content of elements on absolutely dry state, mg/kg.

Проба / Sample	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	V	Zn
1	484,4	96,5	15,5	14,6	21,2	1459,5	59,1	55,9	38,3	1439,0
2	473,1	2970	21,1	21,1	651,4	1095,8	730,8	176,4	102,9	1935,4
3	1426,4	6503,7	61,1	64,1	214,2	2208,4	2912,9	237,5	78,5	6848,6
4	789	3003,5	16,5	94	319,2	680,9	12838,4	219,0	125,8	7360,4
5	352,2	576,7	6,8	18,8	484,1	810,3	597,1	150,7	90,0	993,0
6	1167,9	435,8	9,2	1	116,6	1185,4	159,9	72,7	58,3	1887,2

Результаты анализа проб донных отложений на подвижные формы металлов представлены в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

Содержание подвижных форм металлов на абсолютно сухое состояние, мг/кг.
/ **The content of mobile forms of metals in an absolutely dry state, mg/kg.**

Проба / Sample	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Fe	Zn
1	49,3	18,7	1,7	2,59	70,1	16,2	3,23	8240,5	73,1
2	14,9	384,9	4,6	12,2	336,0	95,2	9,96	19078,1	814,3
3	1323,6	101,4	41,5	13,3	1997,4	2875,8	128,1	77129,0	5757,6
4	68,1	180,5	16,0	9,7	613,4	6620,9	116,3	21266,3	4908,1
5	25,0	50,1	1,2	8,4	199,6	45,6	6,46	5640,6	99,8
6	172,8	22,6	4,4	6,7	86,4	28,0	6,38	20650,9	72,3

Результаты анализа проб донных отложений на водорастворимые формы металлов представлены в таблице 4.

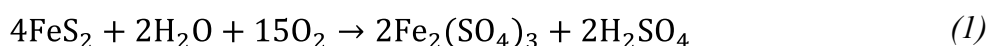
Таблица 4 / Table 4

Содержание водорастворимых форм металлов на абсолютно сухое состояние, мг/кг. / The content of water-soluble forms of metals on an absolutely dry state, mg/kg.

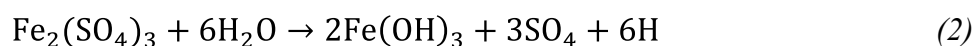
Проба / Sample	K	Ba	Cd	Sr	Cu	Mn	Ni	Fe	Zn
1	5,5	0,7	0,2	0,7	55,9	15,9	0,8	317,6	72,2
2	14,4	0,5	0,05	0,5	0,5	3,70	0,5	3,9	8,8
3	66,2	0,5	1,2	6,2	1,5	714,2	9,4	4,9	691,3
4	73,5	0,5	0,1	1,4	1,2	8,3	0,5	30,4	6,4
5	4,7	0,5	0,1	0,7	59,1	22,4	2,7	12,8	31,3
6	4,2	0,8	0,2	0,6	41,6	18,9	1,1	166,6	56,4

Результаты анализов позволили выявить аномальные превышения предельно допустимых концентраций в точках 1, 5 и 6. Это объясняется непосредственной близостью точек отбора проб к местам накопления отходов обогащения, инфильтрационные воды которых вносят значительный вклад в загрязнение поверхностных водотоков, определяя их химический состав.

Основным минералом хвостов обогащения является пирит (FeS_2), который при взаимодействии с атмосферными осадками и кислородом формирует сульфат железа и свободную серную кислоту (1):



В то же время сульфат железа, присутствуя в слабых растворах серной кислоты, гидролизуется с выделением основных сульфатов и переходит в гидроксид железа (2):



Стоит упомянуть, что за счет своего кислорода сульфат железа может окислять другие сульфаты, образуя свободную серную кислоту (3):



Наличие трехвалентного сульфата железа в кислой среде ведет к интенсификации процесса окисления пирита (4):



В результате разложения остаточного пирита в отходах обогащения предприятия Карабашмедь образуется раствор, содержащий свободную серную кислоту и трехвалентный сульфат железа [Tatsy, 2013; Abrosimova, Bortnikova, 2017].

Выводы

1. Произведена оценка степени воздействия кислых стоков отходов обогащения на поверхностные водотоки и подземные воды в зоне воздействия предприятия АО «Карабашмедь». Выполнен количественный анализ проб донных отложений и речной воды в зоне расположения хвостохранилищ. Выявлен механизм образования отложений.

2. Выполненные инженерные изыскания позволяют говорить о том, что в пробах воды и донных отложениях в зоне воздействия отходов обогащения наблюдаются значительные превышения ПДК по железу, меди, цинку и т.д. Осажденный гидроксид железа адсорбирует другие металлы, что приводит к еще большему загрязнению поверхностных водотоков и подземных вод.

3. Влияние металлургической промышленности приводит к значительному загрязнению рек. Разработка мероприятий по изъятию и вторичной переработке отходов обогащения позволит существенно понизить степень техногенного влияния на поверхностные водотоки в зоне воздействия предприятия.

Литература

1. Бардамова И.В. Изучение свойств геохимического барьера на основе известняка. // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: труды VII Всерос. симп. с междунар. участием и XIV Всерос. чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана. – Чита. – 2018. – С. 217-222.
2. Губанов Р.С. Оценка состояния водоохранных зон Центрального Предкавказья, на примере водных объектов Красногвардейского муниципального округа Ставропольского края при помощи методов дистанционного зондирования Земли. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12 (3). – С. 157-169. DOI: 10.46698/VNC.2022.95.62.011
3. Калабин Г.В., Титова А.В., Шаров А.В. Модернизация медеплавильного производства комбината ЗАО «Карабашмедь» и динамика состояния природной среды в зоне его влияния. // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – 65 с.
4. Корнилова В.А. Влияние месторождений полезных ископаемых на состояние окружающей среды (на примере г. Карабаш). // Актуальные вопросы публичного права. Материалы XVII Всероссийской научной конференции молодых ученых и студентов. В 2-х частях. – Екатеринбург: Уральский государственный юридический университет, 2018. – 278 с.
5. Курбатова С.А. Экологические проблемы Урала на примере антропогенного загрязнения территории Челябинской области в результате «Кыштымской аварии» и развития медеплавильного завода «Карабашмедь». // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет, 2020. – С. 31-32.

6. Мережко А. И. Проблемы малых рек и основные направления их исследований. // Гидробиологический журн. – 1998 – Т. 34. № 6. – С. 66-71.
7. Минкина Т. М., Линник В. Г., Невидомская Д. Г. и др. Формы соединений тяжелых металлов в почвах зоны воздействия медеплавильного комбината «Карабашмедь». // Труды биогеохимической лаборатории. – 2013. – Т. 26. – С. 294-300. DOI:10.13140/2.1.3533.3767
8. Пашкевич М. А., Харько П. А. Применение композитной смеси для очистки кислых дренажных вод хвостового хозяйства от металлов. // Обогащение руд. – 2022. – № 4. – С. 40-47.
9. Пашкевич М. А., Бек Дж., Матвеева В. А., Алексеенко А. В. Биогеохимическая оценка состояния почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных зонах Санкт-Петербурга. // Записки Горного Института. – 2020. – Т. 241. – С. 125.
10. Реутова Н. В., Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Хутуев А. М. Микроэлементный состав поверхностных вод бассейна реки Малка и геохимические особенности региона. // Геология и геофизика Юга России. 2021. – Т. 11 (3): 172-184. DOI:10.46698/VNC.2021.20.60.014
11. Судариков С. М., Юнгмейстер Д. А., Королев Р. И., Петров В. А. О возможности уменьшения техногенной нагрузки на придонные биоценозы при добыче твердых полезных ископаемых с использованием технических средств различной модификации. // Записки Горного института. – 2022. – Т. 253. – С. 82-96. DOI: 10.31897/PMI. 2022.14
12. Ткачев Б. П., Булатов В. И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы. // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – 2002. – № 64. – 114 с.
13. Ульрих Д. В., Брюхов М. Н., Тимофеева С. С. Влияние отходов обогатительной фабрики на водные объекты Челябинской области. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – Т. 4. – С. 13.
14. Abrosimova N., Bortnikova S. The Role of Anionogenic Elements (As, Sb, Mo, Se, S, P, N, Cl, F, C) in the Formation of Technogenic Geochemical Anomalies. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 95. Is. 4. No. 042024. DOI: 10.1088/1755-1315/95/4/042024
15. Bortnikova S. B., Bessonova E. P., Maximova N. V., Kolmogorov Yu. P., Ozherelyeva N. V., Bessonov D. Yu. Heavy metals in the region of deposited sulfide tailings: Distribution and ways of conservation (Karabash, South Ural). // Poverkhnost Rentgenovskie Sinkhronnye I Nejtronnnye Issledovaniya. – 2005. – Vol. 9. – pp. 25-29.
16. Kuznetsov V. S., Petrov D. S. Assessing the Environmental Condition of Minor Rivers in Urban Areas. // Journal of Ecological Engineering. – 2017. – Vol. 18 (6). – pp. 110-114. DOI: 10.12911/22998993/76221
17. Lytaeva T. A., Isakov A. E. Environmental impact of the stored dust-like zink and iron containing wastes. // Journal of Ecological Engineering. – 2017. – Vol. 18 (3). – pp. 37-42.
18. Matveeva V. A., Chukaeva M. A., Sverchkov I. P. Low-cost sorption technologies for large-tonnage wastewater treatment in mining industries. // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Conf. Ser. 1384. 012028. DOI:10.1088/1742-6596/1384/1/012028.
19. Minkina T. M., Linnik V. G., Nevidomskaya D. G. et al. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed copper smelter. // Journal of Soils and Sediments. – 2018. – Vol. 18. – pp. 2229-2230. DOI: 10.1007/s11368-017-1777-2
20. Rumynin V. G., Nikulenkova A. M., Rozov K. B., Vladimirov K. V., Erzova V. A. The status and trends in radioactive contamination of groundwater at a LLW-ILW storage facility site near Sosnovy Bor (Leningrad region, Russia). // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – Vol. 237. – p. 106707. DOI: 10.1016/j.jenvrad. 2021.106707
21. Tatsy Y. G. Assessment of the Distribution of Heavy Metals around a Cu Smelter Town, Karabash, South Urals, Russia. // E3S Web of Conferences. – 2013. – Vol. 1. No. 19010. DOI: 10.1051/e3sconf/20130119010

22. Yurkevich N. V., Saeva O. P., Karin Y. G. Geochemical anomalies in two sulfide-bearing waste disposal areas: Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, and As in contaminated waters and snow, Kemerovo and Chelyabinsk regions, Russia. // *Toxicological and Environmental Chemistry*. – 2015. – Vol. 97. – pp. 76-89. DOI: 10.1080/02772248.2015.1041955

References

1. Bardamova I. V. Study of the properties of a geochemical barrier based on limestone. In: *Proc. of VII All-Rus. symp. in memory of acad. A. E. Fersman*. Chita. 2018. pp. 217-222. (In Russ.)
2. Gubanov R. S. Assessment of the state of water protection zones of the Central Caucasus, on the example of water bodies of the Krasnogvardeysky Municipal District of the Stavropol Territory using remote sensing methods of the Earth. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12 (3). pp. 157-169. (in Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2022.95.62.011.
3. Kalabin G. V., Titova A. V., Sharov A. V. Modernization of the copper-smelting production of the CJSC Karabashmed and the dynamics of the state of the natural environment in the zone of its influence. *Mine surveying and subsoil use*. 2011. 65 p. (In Russ.)
4. Kornilova V. A. The influence of mineral deposits on the state of the environment (on the example of the city of Karabash). In: *Proc. of XVII All-Rus. sc. conf. Current issues of public law*. In 2 parts. Yekaterinburg, USLU. 2018. 278 p. (In Russ.)
5. Kurbatova S. A. Environmental problems of the Urals on the example of anthropogenic pollution of the territory of the Chelyabinsk region as a result of the “Kyshtym accident” and the development of the Karabashmed copper smelter. In: *Proc. of Int. Sc. and Tech. Conf. Belgorod, BSTU*. 2020. pp. 31-32. (In Russ.)
6. Merezhko A. I. Problems of small rivers and the main directions of their research. *Hydrobiological Journal*. 1998. Vol. 34. No. 6. pp. 66-71. (In Russ.)
7. Minkina T. M., Linnik V. G., Nevidomskaya D. G. Forms of heavy metal compounds in soils of the impact zone of the Karabashmed copper smelter. In: *Proceedings of the biogeochemical laboratory*. 2013. Vol. 26. pp. 294-300. (In Russ.) DOI: 10.13140/2.1.3533.3767.
8. Pashkevich M. A., Kharko P. A. The use of a composite mixture for the purification of acidic drainage waters of the tailings from metals. *Enrichment of Ores*. 2022. No. 4. pp. 40-47. (In Russ.)
9. Pashkevich M. A., Beck J., Matveeva V. A., Alekseenko A. V. Biogeochemical assessment of soils and plants in industrial, residential and recreational areas of Saint Petersburg. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 241. pp. 125. (In Russ.)
10. Reutova N. V., Reutova T. V., Dreeva F. R., Khutuev A. M. Microelements in the surface waters of the Malka River basin and geochemical features of the region. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 3. pp. 172-184. (in Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2021.20.60.014.
11. Sudarikov S. M., Jungmeister D. A., Korolev R. I., Petrov V. A. On the possibility of reducing man-made burden on benthic biotic communities when mining solid minerals using technical means of various designs. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 253. pp. 82-96. (In Russ.) DOI: 10.31897/PMI.2022.14.
12. Tkachev B. P., Bulatov V. I. Small rivers: current state and environmental problems. *Ecology. A series of analytical reviews of world literature*. 2002. No. 64. 114 p. (In Russ.)
13. Ulrikh D. V., Bryukhov M. N., Timofeeva S. S. Influence of enrichment plant waste on water bodies of the Chelyabinsk region. *Mining informational and analytical bulletin*. 2015. Vol. 4. p. 13. (In Russ.)
14. Abrosimova N., Bortnikova S. The Role of Anionogenic Elements (As, Sb, Mo, Se, S, P, N, Cl, F, C) in the Formation of Technogenic Geochemical Anomalies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 95. Issue 4. No. 042024. DOI: 10.1088/1755-1315/95/4/042024.

15. Bortnikova S. B., Bessonova E. P., Maximova N. V., Kolmogorov Yu. P., Ozherelyeva N. V., Bessonov D. Yu. Heavy metals in the region of deposited sulfide tailings: Distribution and ways of conservation (Karabash, South Ural). *Poverkhnost Rentgenovskie Sinkhronnye I Nejtronnnye Issledovaniya*. 2005. Vol. 9. pp. 25-29.
16. Kuznetsov V. S., Petrov D. S. Assessing the Environmental Condition of Minor Rivers in Urban Areas. *Journal of Ecological Engineering*. 2017. Vol. 18. pp. 110-114. DOI: 10.12911/22998993/76221.
17. Lytaeva T. A., Isakov A. E. Environmental impact of the stored dust-like zink and iron containing wastes. *Journal of Ecological Engineering*. 2017. Vol. 18. pp. 37-42.
18. Matveeva V. A., Chukaeva M. A., Sverchkov I. P. Low-cost sorption technologies for large-tonnage wastewater treatment in mining industries. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Conf. Ser. 1384. 012028. DOI:10.1088/1742-6596/1384/1/012028
19. Minkina T. M., Linnik V. G., Nevidomskaya D. G. et al. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed copper smelter. *Journal of Soils and Sediments*. 2018. Vol. 18. pp. 2229-2230. DOI: 10.1007/s11368-017-1777-2
20. Rumynin V. G., Nikulenkov A. M., Rozov K. B., Vladimirov K. V., Erzova V. A. The status and trends in radioactive contamination of groundwater at a LLW-ILW storage facility site near Sosnovy Bor (Leningrad region, Russia). *Journal of Environmental Radioactivity*. 2021. Vol. 237. p. 106707. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2021.106707
21. Tatsy Y. G. Assessment of the Distribution of Heavy Metals around a Cu Smelter Town, Karabash, South Urals, Russia. *E3S Web of Conferences*. 2013. Vol. 1. No. 19010. DOI: 10.1051/e3sconf/20130119010
22. Yurkevich N. V., Saeva O. P., Karin Y. G. Geochemical anomalies in two sulfide-bearing waste disposal areas: Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, and As in contaminated waters and snow, Kemerovo and Chelyabinsk regions, Russia. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 2015. Vol. 97. pp. 76-89. DOI: 10.1080/02772248.2015.1041955