

Промышленные стоки горных предприятий Северного Кавказа и водные ресурсы

Дзапаров В. Х.^{1*}, Сахнов А. В.¹, Здоровец И. Л.², Шохов С. О.²

¹ Кавказский государственный технологический университет, г. Владикавказ, Россия

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: dzapa64@yandex.ru

Реферат

Предмет исследования. Статья посвящена проблеме сохранения качества водных ресурсов планеты при угрозе его ухудшения от загрязнения гидросферы промышленными стоками.

Цель исследования – установление закономерностей изменения состояния водных ресурсов и экологическая детализация механизма управления качеством воды и охраны водных ресурсов.

Методология. Обобщение и систематизация отчетных и литературных данных о состоянии гидросферы в регионах добычи металлических руд и методах очистки рудничных стоков. Проведение лабораторных экспериментов по электрохимической обработке минерализованных стоков для восстановления их качества. Подготовка рекомендаций по совершенствованию управления состоянием гидросферы.

Результаты работы и область их применения. Обозначена особенность проблемы для регионов с гористым рельефом. Произведено ранжирование окрестностей горных предприятий по величине загрязнения металлами. Приведены результаты исследований состояния стоков объектов цветной металлургии. Обобщены результаты исследований методом построения кривых осадений. Показаны результаты лабораторного эксперимента по электрохимической обработке минерализованных стоков с восстановлением их качества. Обозначено направление повышения экономической эффективности очистки стоков за счет повышения выпуска попутных товаров. Рекомендована технология с генерацией самонейтрализующихся агентов. Установлено, что при загрязнении тяжелыми металлами размеры зоны загрязнения определяются процессами перемешивания и разбавления химических веществ.

Выводы. Управление качеством водных ресурсов с защитой от загрязнения промышленными стоками должно начинаться с установления закономерностей изменения их состояния и детализации механизма управления в условиях гористого рельефа.

Ключевые слова: водные ресурсы; промышленные стоки; электрохимическая обработка; загрязнение гидросферы; качество воды; охрана водных ресурсов.

Введение. Особую опасность для качества водных ресурсов представляет сброс стоков в гидросферу. Пятая часть загрязненной воды превышает допустимые нормы более чем в 100 раз. Практически вся вода после использования не очищается [1].

Промышленные предприятия увеличивают потребление воды для производства своей продукции. В настоящее время расход воды на производство 1 т продукции составляет, м³: сталь – 300; медь – 500; бумага – 1000; синтетический каучук – 2000; капрон – 5600; рис – 7000; хлопок – 10 000.

Особое место в снижении качества водных ресурсов занимает деятельность горнодобывающих предприятий. Их стоки содержат особо опасные металлические компоненты. Например, в районе деятельности АО «Норильский никель»

в озере Кыллах-Кюель содержание меди, никеля и кобальта превышает ПДК на 2–3 порядка [1].

Проблема защиты водных ресурсов особенно актуальна для регионов с гористым рельефом, таких как Южный федеральный и Северо-Кавказский округ – перспективных в экономическом отношении территорий, обладающих разнообразным природно-сырьевым потенциалом и развитой инфраструктурой [1–3].

Южные регионы, обладая сетью рек, озер и водохранилищ, испытывают недостаток ресурсов питьевых вод.

Сточные воды, образующиеся при добыче и обработке металлов, содержат соединения циана, хрома, меди, никеля, цинка, кадмия и других тяжелых металлов, извлечение которых может формировать экономический эффект.

Цель работы – установление закономерностей изменения состояния водных ресурсов и их режима, гидрофизических и гидродинамических процессов и экологических аспектов управления качеством воды и охраны водных ресурсов [4–6].

Актуальность. Водные ресурсы южных регионов России, в частности северного склона Кавказа – Кубань и Терек – испытывают мощное влияние горных предприятий: Садонского СЦК (свинцово-цинкового комбината), Тырныаузского ВМК (вольфрамо-молибденового комбината), Урупского ГОКа. Если содержание цинка в притоке Терека р. Ардон выше Садонского СЦК составляет 0,5 мг/дм³, то в трех километрах ниже по течению реки оно достигает 1,27 мг/дм³. Стоки Тырныаузской обогатительной фабрики превышают ПДК в 10 раз. На Урупском ГОКе рудничные стоки содержат до 100 мг/дм³ цинка и меди.

Вопросы трансгрессии продуктов химических трансформаций металлов в условиях гористого рельефа приобретают особую актуальность, потому что при интенсивном росте производительных сил повышается значимость взаимодействия гидросферы и почв.

Тяжелые металлы (более 7 г/см³) поступают в почву с атмосферными осадками, минеральными удобрениями, оросительными водами и промышленными стоками.

Наличие мощной и разветвленной водной системы способствует распределению тяжелых металлов в почвах региона с многоплановым воздействием на окружающую среду. Тяжелые металлы играют важную роль в связи с их способностью к аккумуляции в животных и растительных организмах и длительностью воздействия на организм с биологическими последствиями.

Результаты и обсуждение. Окрестности промышленных предприятий по величине загрязнения металлами могут быть ранжированы на зоны [2]:

– первая – в радиусе до 1 км, содержание свинца, цинка, кадмия превышает фоновое более чем в сто раз;

– вторая – в радиусе 1–2 км, превышение фонового содержания свинца, цинка, кадмия составляет до десяти раз;

– третья – более 2–3 км, концентрация свинца, цинка, меди, кадмия превышает фоновые значения.

Объекты цветной металлургии находятся в горной части регионов, характеризующейся разнообразием ландшафтных условий и сильно расчлененным рельефом с большими амплитудами абсолютных высот.

Наиболее протяженные ущелья региона сформированы притоками р. Терек: Ардон, Урух, Фиагдон, Гизельдон.

Реки региона характеризуются ледниковым режимом, малой минерализацией (200 мг/л), нейтральным рН (6,5–7,4) и гидрокарбонатно-кальциевым составом воды.

Стоки промышленных предприятий относятся к классу слабо солоноватых (1–3 г/дм³), соленых (3–5 г/дм³), сильно солоноватых (5–10 г/дм³). По О. А. Алекину они относятся к классу хлоридных по преобладающему аниону и подклассу магниевых по преобладающему катиону.

Особенностью горнодобывающих предприятий является компактное расположение выдающего устройства (скважина, горная выработка и т. п.), что позволяет осуществить очистку высокоминерализованных стоков с использованием перспективных методов.

На всем расстоянии от Садонских рудников до Каспия на водные ресурсы Северного Кавказа влияет Унальское хранилище хвостов, слив которого в р. Ардон выносит в осенний период: свинца – 0,2 кг/с, кадмия – 0,01 кг/с, цинка – 0,3 кг/с [2].

Таблица 1. Результаты электрохимической очистки шахтных стоков
Table 1. Results of electrochemical treatment of mine effluents

Показатель	Концентрация компонентов			
	Исходная		Конечная	
	мг-экв/дм ³	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	мг/дм ³
pH	8,2	–	8,5	–
Ca ²⁺	3,8	76,2	0,06	1,2
Mg ²⁺	11,0	133,8	Н/о	Н/о
Общая жесткость	14,8	–	0,06	–
Cl [–]	19,6	695,8	9,30	330,2
SO ₄ ^{2–}	2,2	105,6	–	–
CO ₃ ^{2–}	0,4	12,0	–	–
HCO ₃ [–]	3,4	207,4	–	–

Методы управления процессами очистки стоков основаны на использовании эффективного в данных условиях реагента [7–9].

Кинетика осветления суспензий изучалась с использованием коагулянтов: серной кислоты, извести и стандартных соединений. Исследования проведены на продуктах флотационного обогащения свинцово-цинковой руды Мизурской фабрики. Для приготовления суспензий использовались шламы флотации (класс –0,074 мм).

Обработка и анализ результатов исследований проводились путем построения кривых осадений, по которым для каждой суспензии рассчитывалась скорость осадения частиц. Степень осветления определялась по цветности стоков.

Анализ результатов исследований позволил ранжировать реагенты по эффективности их действия: серная кислота, известь, карбоксиметилцеллюлоза, полиакриламид, КФ-4.

Осветление слива суспензий с использованием КФ-4 происходит с большей скоростью по сравнению с другими суспензиями, а твердые взвеси в сливе этого опыта практически отсутствуют после 40-минутного отстаивания. Применение флокулянтов для очистки стоков может использоваться для защиты водных ресурсов.

Этот вывод подтверждается результатами электрохимической обработки минерализованных стоков (табл. 1).

При электрохимической очистке стоков на аноде протекает реакция разложения воды: $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = 4\text{H}^+ + \text{O}_2$, при этом в анолите оказывается избыточная концентрация H⁺ ионов. В присутствии ионов Cl[–] на аноде выделяется молекулярный хлор. Ввиду значительного напряжения хлора на графите потенциалы разрядов ионов хлора и гидроксида сближаются, поэтому одновременно с хлором выделяется

кислород. Хлор подвергается гидролизу и взаимодействует с водой. Соляная кислота диссоциирует: $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$.

После электрохимической активации микробное число равно нулю, а более чем в 333 мл не обнаружено ни одной бактерии.

При контакте с воздухом состав католита изменяется: выпадают осадки карбонатов кальция и снижается рН раствора (11,75–9,60).

Комплексное использование минерализованных стоков осуществляется по схеме, представленной на рис. 1.

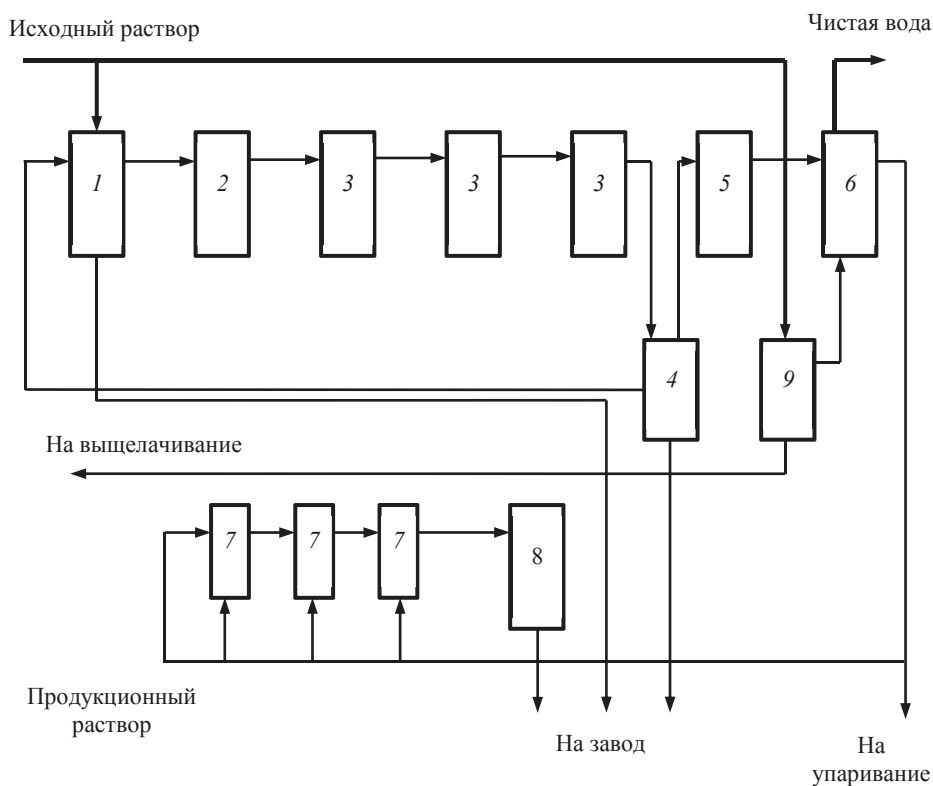


Рисунок 1. Электрохимическая очистка металлосодержащих вод
Figure 1. Electrochemical purification of metal-containing waters

Вода поступает в сгуститель 1, куда подается щелочная пульпа – продукт первой стадии электрохимической обработки. Верхний слив сгустителя поступает в емкость-накопитель 2, а затем – на стадию электрохимической обработки 3. Щелочной католит с осадком выводится в емкость 4 и затем в сгуститель 1. Анодные камеры промываются стоками, которые поступают в емкость-нейтрализатор 5. Часть анолита с рН 2–3 используется в промывке рассольных камер электродиализатора. Нейтральный раствор поступает на стадию обессоливания и концентрирования растворов 6. Вода и рассолы после анодных камер могут быть использованы, например, для выщелачивания металлов из руд. В катодных камерах электролизеров 7 происходит обработка с осаждением в отстойнике 8 концентратов. Часть исходного раствора направляется на промывку технологического оборудования 9.

При электродиализном обессоливании маточников процессами сорбции концентрация металлов для исследованного случая снижается с 0,95 до 0,16 мг/дм³.

Для стоков промышленных предприятий характерно содержание тяжелых металлов (табл. 2).

Стоки рек, например Кубани, включают в себя 10–20 % промышленных стоков, иногда даже 90 %. В качестве примера, в США загрязнено 72 % всех водных объектов, в Нидерландах 92 %, в Швейцарии 75 %, в Болгарии 46 %, в Испании 37 %, в Польше 35 %, в Австралии 27 % [10–13].

Таблица 2. Концентрация химических элементов в стоках производств
Table 2. Concentration of chemical elements in industrial effluents

Местоположение	Концентрация, мг/дм ³						
	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Железо	Стронций	Медь	Цинк
<i>Гальваническое производство</i>							
Канализация	< 0,3 (< 37)	< 10 (< 10)	0,02–0,03 (< 10)	0,2–38 (0,5–76)	0,05–0,5 (< 10)	0,4 (50–6250)	< 244 (< 472)
<i>Прочие производства</i>							
Канализация	< 10 (< 1250)	< 0,8 (< 130)	< 0,025 (< 8)	0,5–10,3 (1–21)	0,5–2,0 (1–40)	0,01–15 (< 1875)	0,5–4 (1–80)
Поверхностные стоки	0,005 (< 1)	< 0,025 (< 25)	0,003 (1)	0,2–55 (0,5–11)	0,05–1,0 (1–20)	0,01–0,2 (1–25)	< 0,2 (1–4)

В скобках указано максимальное значение в отдельных пробах.

Гидросеть представляет собой ветвящуюся систему, в которой сток интегрируется в стволовой структуре – главной речной долине.

Отслеживая снизу вверх по течению основной реки содержание металлов, находят приток, выше которого в основной реке содержание понижается. Это значит, что загрязнение контролируется этим притоком. Содержание вещества прослеживается по притоку вплоть до места его уменьшения.

Наиболее эффективно комплексное изучение гидрохимических проб с опробованием донных отложений, которое обеспечивает ранжирование элементов гидросети по степени загрязнения.

Опорные станции располагаются в устьях притоков с источниками загрязнения. На станциях отбирают для анализа растительность на предмет определения степени аккумуляции металлов.

В основу модели закладывается разделение макросистемы на элементарные зоны по отдельным параметрам или по их комплексу.

Ущерб от сброса неочищенных стоков включает в себя оплату штрафов и затраты на рекультивацию земель. Штрафы не могут компенсировать ущерба, поэтому надежным средством защиты водных ресурсов от тяжелых металлов в стоках является их радикальное обезвреживание методами электрохимии.

Экономическая эффективность очистки повышается выпуском попутных товаров:

- металлы и неметаллы (в виде концентратов);
- обессоленная вода;
- газы (хлор, водород и кислород);
- химикаты (кислоты и щелочи).

Традиционные технологии нейтрализации стоков используют химические вещества, которые опасны для окружающей среды. В отличие от них рекомендуемая технология генерирует искусственные агенты, которые по истечении небольшого времени нейтрализуются.

Инструментом загрязнения экосистем стоками являются органические, механические и химические агенты с одинаковой транзитной средой, но разными депонирующими средами, что позволяет ранжировать качество стоков.

Природные экосистемы обладают восстановительными свойствами по отношению к органическим загрязнителям и самоочищаются в результате деятельности аэробных микроорганизмов и автотрофных бактерий.

При загрязнении экосистем стоками с тяжелыми металлами ослабляется функция ассимиляции, а депонирующая среда отсутствует, поэтому размеры зоны загрязнения определяются процессами перемешивания и разбавления химических веществ.

Рассматриваемой проблеме посвящены работы специалистов, касающиеся, например, концептуальных взглядов на природу взаимоотношений между природными и техногенными факторами освоения минеральных ресурсов [14–18].

Заключение. Промышленные стоки представляют собой микрогетерогенную систему с полимерными соединениями и солями, совокупностью которых можно управлять.

Степень загрязнения водных ресурсов тяжелыми металлами доступна регулированию в рамках системы «стоки–почва» за счет применения методов очистки вод.

Затраты на очистку стоков целесообразно сопоставлять не только с ценностью утилизированных продуктов, но и с суммой отрицательных эффектов неочищенных стоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амбросимов А. К. О стоке придонных вод Северного Каспия по палеоканалам в Дербентскую котловину // Водные ресурсы. 2015. № 4. С. 380–387.
2. Голик В. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З., Кожиев Х. Х. Минимизация влияния горного производства на окружающую среду // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 6. С. 26–29.
3. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия Тульского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2017. Вып. 1. С. 170–182.
4. Гусев Е. М., Насонова О. Н., Джоган Л. Я. Физико-математическое моделирование многолетней динамики суточных значений речного стока и снеготпасов в бассейне р. Лены // Водные ресурсы. 2016. № 1. С. 24–37.
5. Игнатчик В. С., Кузнецов П. Н. Оптимизация систем водоснабжения и водоотведения // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 4. С. 26–35.
6. Земсков А. Н., Лискова М. Ю., Смирнова Е. В. Анализ условий труда горнорабочих и мероприятия по нормализации пылевого и газового состава атмосферы шахт и рудников // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 2. С. 58–68.
7. Аракчеев Е. Н., Петкова А. П., Брунман М. В. Обеззараживание и очистка воды с помощью анолита и феррата натрия и установка для их комплексного производства // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 1. С. 26–36.
8. Голик В. И., Комашенко В. И., Поляков А. В. Современные технологии извлечения металлов из хвостов обогащения и переработки руд с целью их комплексного использования // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 1. С. 100–111.
9. Голик В. И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. 2010. № 5. С. 38–40.
10. Broder J. Merkel, Britta Planner-Freidrich. Groundwater Geochemistry. A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems. Springer, Berlin. 2005. P. 230–238.
11. Miao Z., Brusseau M. L., Carroll K. C., Carreón-Diazconti, Johnson B. Sulfate reduction in groundwater: characterization and applications for remediation // Environmental Geochemistry and Health. 2012. Vol. 34. P. 539–550.
12. Lu X., Liu W., Zhao C., Cancan Ch. Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around a coal-fired power plant in China // Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry. 2013. Vol. 295. No. 3. P. 1845.
13. Mwase J. M., Petersen J., Eksteen J. J. A conceptual flowsheet for heap leaching of platinum group metals (PGMs) from a low-grade ore concentrate // Mining Engineering & Metallurgical Engineering, Hydrometallurgy. Vol. 111–112. P. 129–135.

14. Валиев Н. Г., Пропп В. Д., Вандышев А. М. Кафедре горного дела УГГУ – 100 лет // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 8. С. 130–143.
15. Душин А. В., Валиев Н. Г., Лагунова Ю. А., Шорин А. Г. Уральский горный и московский горный: взаимодействие вузов // Горный журнал. 2018. № 4. С. 4–10.
16. Комащенко В. И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. № 4. С. 23–30.
17. Rama Rao Karri, Gobinath Ravindran, Mohammad Hadi Dehghani. Soft computing techniques in solid waste and wastewater management. Amsterdam: Elsevier, 2021. 522 p.
18. Syed Ahmad Imtiaz. Modelling of chemical process systems. Amsterdam: Elsevier, 2022. 312 p.

Поступила в редакцию 29 августа 2022 года

Сведения об авторах:

Дзапаров Вячеслав Хаматканович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета. E-mail: dzapa64@yandex.ru
Сахнов Александр Владимирович – аспирант кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета. E-mail: kafedra-eup@skgmi-gtu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5059-7912>

Здоровец Игорь Леонидович – аспирант кафедры горного дела Уральского государственного горного университета. E-mail: zdorovets.i@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-2217>

Шохв Семен Олегович – аспирант кафедры горного дела Уральского государственного горного университета. E-mail: shksemen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9221-7471>

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-101-109

Industrial effluents of mining enterprises of the North Caucasus and water resources

Viacheslav Kh. Dzaparov¹, Aleksandr V. Sakhnov¹, Igor L. Zdorovets², Semen O. Shokhov²

¹ North Caucasus Mining Metallurgical Institute (State Technological University), Vladikavkaz, Russia.

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Subject of research. The article is devoted to the problem of preserving the quality of the global water resources under the threat of its deterioration caused by industrial effluents polluting the hydrosphere.

Research objective is to establish the patterns of changes in water resources state and carry out the ecological detailing of the mechanism for managing water quality and protecting water resources.

Methods of research include the generalization and systematization of reported data and literature on the aquatic environment condition in the metallic ore mining regions and methods of mine effluents treatment, laboratory experiments on electrochemical treatment of mineralized effluents to restore their quality, recommendations for improving the management of the aquatic environment state.

Research results and scope. A distinctive feature of the problem for regions with mountainous terrain is indicated. The surroundings of mining enterprises were ranked according to metal pollution. The research results on the effluents state at non-ferrous metallurgy facilities are presented. The results of research by the precipitation curve method are summarized. The laboratory experiment results are shown on electrochemical treatment of mineralized effluents and their quality restoration. The direction is indicated of improving the economic efficiency of effluents treatment by increasing by-products output. A technology with the generation of self-neutralizing agents is recommended. It has been established that in the case of heavy metal pollution, the extent of the pollution bubble is determined by the processes of chemicals mixing and dilution.

Conclusions. The management of water resources quality and industrial effluents pollution prevention should begin with the establishment of patterns of change in their state as well as with the control mechanism detailing in mountainous terrain.

Keywords: water resources; industrial effluents; electrochemical processing; pollution of the hydrosphere; water quality; protection of water resources.

REFERENCES

1. Ambrosimov A. K. On the discharge of bottom waters of the Northern Caspian into Derbent depression through paleochannels. *Vodnye resursy = Water Resources*. 2015; 4: 380–387. (In Russ.)
2. Golik V. I., Dmitrak Iu. V., Gabaraev O. Z., Kozhiev Kh. Kh. Minimizing the impact of mining on the environment. *Ekologiya i promyshlennost Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2018; 22(6): 26–29. (In Russ.)
3. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geomechanical and aerogasdynamical consequences of underworking mining leases territories of eastern donets basin mines. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2017; 1: 170–182. (In Russ.)
4. Gusev E. M., Nasonova O. N., Dzhogan L. Ia. Physically based modeling of many-year dynamics of daily streamflow and snow water equivalent in the Lena r. basin. *Vodnye resursy = Water Resources*. 2016; 1: 24–37. (In Russ.)
5. Ignatchik V. S., Kuznetsov P. N. Optimizing the systems of water supply and discharge. *Voda i ekologiya: problemy i resheniia = Water and Ecology*. 2016; 4: 26–35. (In Russ.)
6. Zemskov A. N., Liskova M. Iu., Smirnova E. V. The analysis of working conditions of miners and measures dust and gas composition of the atmosphere mines. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2017; 2: 58–68. (In Russ.)
7. Arakcheev E. N., Petkova A. P., Brunman M. V. Water decontamination and reclamation with an anolyte and sodium ferrate and a plant for their integrated production. *Voda i ekologiya: problemy i resheniia = Water and Ecology*. 2016; 1: 26–36. (In Russ.)
8. Golik V. I., Komashchenko V. I., Poliakov A. V. Modern technologies of extracting metals from reject and reprocessing ore wastes for their complex using. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2016; 1: 100–111. (In Russ.)
9. Golik V. I. Metals recovery from mineral processing tailings by combined activation methods. *Obogashchenie rud = Mineral Processing*. 2010; 5: 38–40. (In Russ.)
10. Broder J. Merkel, Britta Planner-Freidrich. *Groundwater Geochemistry. A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems*. Springer, Berlin. 2005.
11. Miao Z., Brusseau M. L., Carroll K. C., Carreón-Díazconti, Johnson B. Sulfate reduction in groundwater: characterization and applications for remediation. *Environmental Geochemistry and Health*. 2012; 34: 539–550.
12. Lu X., Liu W., Zhao C., Cancan Ch. Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around a coal-fired power plant in China. *Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry*. 2013; 295(3): 1845.
13. Mwase J. M., Petersen J., Eksteen J. J. A conceptual flowsheet for heap leaching of platinum group metals (PGMs) from a low-grade ore concentrate. *Mining Engineering & Metallurgical Engineering, Hydrometallurgy*. Vol. 111–112. P. 129–135.
14. Valiev N. G., Propp V. D., Vandyshev A. M. The 100th anniversary of the Department of Mining Engineering of UrSMU. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 8: 130–143. (In Russ.)
15. Dushin A. V., Valiev N. G., Lagunova Iu. A., Shorin A. G. Ural Mining University and Moscow Mining University: interaction of higher education institutions. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2018; 4: 4–10. (In Russ.)
16. Komashchenko V. I. Environmental-economical expediency of utilizing mining-industrial wastes for their converting. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2015; 4: 23–30. (In Russ.)
17. Rama Rao Karri, Gobinath Ravindran, Mohammad Hadi Dehghani. *Soft computing techniques in solid waste and wastewater management*. Amsterdam: Elsevier, 2021.
18. Syed Ahmad Imtiaz. *Modelling of Chemical Process Systems*. Amsterdam: Elsevier, 2022.

Received 29 August 2022

Information about the authors:

Viacheslav Kh. Dzaparov – PhD (Engineering), Associate professor, associate professor of the Department of Mining, North Caucasus Mining Metallurgical Institute (State Technological University). E-mail: dzapa64@yandex.ru

Aleksandr V. Sakhnov – PhD student, Department of Mining, North Caucasus Mining Metallurgical Institute (State Technological University). E-mail: kafedra-eup@skgmi-gtu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5059-7912>

Igor L. Zdorovets – PhD student, Department of Mining, Ural State Mining University. E-mail: zdorovets.i@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-2217>

Semen O. Shokhov – PhD student, Department of Mining, Ural State Mining University. E-mail: shksemen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9221-7471>

Для цитирования: Дзапаров В. Х., Сахнов А. В., Здоровец И. Л., Шохов С. О. Промышленные стоки горных предприятий Северного Кавказа и водные ресурсы // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 1. С. 101–109. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-101-109

For citation: Dzaparov V. Kh., Sakhnov A. V., Zdorovets I. L., Shokhov S. O. Industrial effluents of mining enterprises of the North Caucasus and water resources. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 1: 101–109 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-101-109