

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ

Н.Ю. Антонинова^{1,2}, А.В. Собенин^{1,2}, Л.А. Шубина¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия, e-mail: natal78@list.ru

² Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация: Одним из главных факторов, определяющих техногенную трансформацию земельных ресурсов при отработке месторождений открытым способом, является складирование на дневной поверхности больших масс горнопромышленных отходов, а их дальнейшее преобразование приводит к изменению геохимических процессов в сопряженных с отвалами ландшафтах. Приведены результаты исследований миграции ряда химических элементов (медь, цинк, никель) в промышленных грунтах с целью анализа возможностей предотвращения выноса тяжелых металлов с инфильтрационными водами с дальнейшим образованием ареала поллютантов за пределами промышленных площадок действующих предприятий. Рассмотрена возможность использования распротраненных в регионе Большого Урала промышленных отходов, не востребованных в хозяйственной деятельности (мелкодисперстные шлаки черной металлургии, отходы энергетической отрасли) в качестве составляющих элементов искусственных геохимических барьеров. Анализ движения и накопления тяжелых металлов в грунтах проведен методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Определены и проанализированы возможности восстановления экологической ценности техногенно нарушенных экосистем путем формирования геохимических барьеров. Предложен вариант использования промышленных отходов при формировании искусственных геохимических барьеров. Выявленный характер внутригрунтовой миграции меди и цинка следует учитывать при использовании новых технологических решений при разработке природоохранных мероприятий как при отработке месторождений, так и при формировании техногенно-минеральных образований на промплощадке.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, техногенный грунт, геохимический барьер, тяжелые металлы, промышленные отходы, шлак, инфильтрационные воды.

Благодарность: Исследование подготовлено в соответствии с государственным заданием ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 0833-2020-0008 «Разработка и эколого-экономическое обоснование технологии рекультивации нарушенных горно-металлургическим комплексом земель на основе мелиорантов и удобрений нового типа» и выполнено совместно с сотрудниками Центра коллективного пользования (ЦКП) с использованием фондов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФНЦ БСТ РАН (No Росс RU.0001.21 ПФ59, Единый российский реестр центров коллективного пользования - <http://www.ckp-rf.ru/ckp/77384>).

Для цитирования: Антонинова Н. Ю., Собенин А. В., Шубина Л. А. Оценка возможности использования промышленных отходов при формировании геохимических барьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 78–88. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-78-88.

Assessment of usability of industrial waste in construction of geochemical barriers

N.Yu. Antoninova^{1,2}, A.V. Sobenin^{1,2}, L.A. Shubina¹

¹ Institute of Mining of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia,
e-mail: natal78@list.ru

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract: One of the major factors of induced transformation of land resources in open pit mineral mining is storage of mine waste on land surface. Persistent conversion of the waste causes geochemical alteration of adjacent landscape. The article describes the studies into migration of some chemical elements (copper, zinc, nickel) in the industrial subsoil with intent to analyze preventability of outflow of heavy metals with infiltration water with subsequent formation of a pollutant areal beyond the limits of industrial infrastructure of operating mines. The usability of economically offcast industrial by-products (fine slug of iron metallurgy, power industry rejects) as constituent elements of artificial geochemical barriers is discussed. Movement and accumulation of heavy metals in the subsoil are analyzed by the method of atomic absorption spectroscopy. Recoverability of ecological value of industrially disturbed ecosystems through development of geochemical barriers is determined and examined. A variant of geochemical barrier construction using process waste is proposed. The revealed nature of copper and zinc migration in subsoil should be taken into account in novel engineering decision-making on environmental activities during both actual mining and waste storage in industrial infrastructure areas.

Key words: experimental research, industrial subsoil, geochemical barrier, heavy metals, industrial waste, infiltration water.

Acknowledgements: The study was carried out under the State Contract with the Ural State Mining University, No. 0833-2020-0008: Development and Ecological-Economical Justification of Reclamation Technology for Mining- and Metallurgy-Disturbed Land Using Novel Improvers and Fertilizers, jointly with the fellows from the Shared Use Center and using the equipment of the Federal Research Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, No. Ross RU.0001.21 PF59, Unified Russian Register for Shared Use Centers; available at: <http://www.ckp-rf.ru/ckp/77384>.

For citation: Antoninova N.Yu., Sobenin A.V., Shubina L.A. Assessment of usability of industrial waste in construction of geochemical barriers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(12):78-88. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-78-88.

Введение

Свердловская область является старопромышленным регионом, в котором добыча полезных ископаемых ведется уже более 300 лет, накоплено значительное количество техногенных отходов с высоким потенциалом негативного воздействия на окружающую среду, а прогрессирующая деградация природной среды Урала остается довольно серьезной проблемой в настоящее время [1, 2].

Таким образом, среди проблем экологического характера по-прежнему

выделяются: воздействие техногенного фактора на окружающую среду, рост отходов, деградация почв и экосистем, химическое загрязнение, истощение природных (в том числе минерально-сырьевых) ресурсов и др. [3–6]. Поэтому комплексное изучение закономерностей потоков элементной миграции, законов трансформации изменений состояния естественной биоты под влиянием техногенных факторов и искусственно созданных барьеров между источниками загрязнения и природной средой является

для горной экологии фундаментальной проблемой. Таким образом, исследование процессов миграции и накопления тяжелых металлов при освоении недр в аспекте влияния на окружающую среду актуально с различных позиций.

Объект исследований

В нашей стране эколого-геохимические исследования были начаты в конце прошлого века в работах А.И. Перельмана, М.А. Глазовской, Н.С. Касимова, Е.П. Янина и др. Имеется значительный фактический материал по экологической геохимии, достаточно изучены вопросы техногенных потоков в водной среде, атмосфере, их воздействия и накопления в биоте. При этом вопросы влияния техногенных потоков от предприятий добычи и обогащения природного сырья на состояние ландшафтов и биоты, последствия их наложения на природные геохимические аномалии до сих пор изучены недостаточно.

Одной из таких природных геохимических аномалий является Сафьяновское медно-колчеданное месторождение, которое находится на восточном склоне Среднего Урала, на территории Режевского района Свердловской области и занимает около 3% в общероссийской добыче медьсодержащих руд.

Руды месторождения являются типичными колчеданными и по минеральному составу весьма неоднородны. Среди руд месторождения выделяются следующие типы: сплошные колчеданные; прожилково-вкрапленные.

К основным полезным компонентам на месторождении относятся медь, цинк, сера. Основные медьсодержащие минералы — это халькопирит и ковеллин. Кроме них медь связана в халькозине, блеклых рудах и сульфатах меди (халькантит, брошантит). Цинк представлен сфалеритом и в незначительной степени сульфатом цинка (каламин). Основной

объем серы связан с главным рудным минералом — пиритом, а также марказитом, халькантитом, сфалеритом. Во всех сортах руд были выявлены попутные компоненты, характерные для колчеданных месторождений: золото, серебро, селен, теллур, кадмий, индий, галлий, германий, таллий, висмут, свинец, барий. Мышьяк, свинец слагают собственные минералы (тенантит, галенит). Минералы этих элементов находятся в тесном сростании с основными рудообразующими минералами — пиритом, халькопиритом и сфалеритом.

Следовательно, основными поллютантами в процессе обработки месторождения и формирования техногенно минеральных образований на территории промплощадки месторождения будут являться: цинк, медь.

Но для оценки непосредственно экологической опасности важно знать возможную массу геохимически активных форм, способных поглощаться растительностью и биотой, что определяет необходимость изучения условий формирования как геохимических, так и биогеохимических барьеров для целей экологической реабилитации [7—9]. Кроме того, для ремедиации техногенно загрязненных объектов, очистки сточных вод, рекультивации нарушенных земель необходимо проведение исследований по эффективности применения искусственных геохимических барьеров, в качестве материалов, для формирования которых возможно использование горных пород, почв, глинистых грунтов, разнообразных промышленных отходов и техногенных грунтов [10—14].

Материалы и методы исследования

В целях выявления целесообразности применения принципов формирования искусственных геохимических барьеров с использованием промышленных от-

ходов при разработке природоохранных мероприятий в лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН был поставлен эксперимент по анализу дифференциации инфильтрационного потока ТМ в системе техногенный грунт (ТГ) – искусственный геохимический барьер (ИГБ), содержащий промышленные отходы, с целью оценить их отражающее влияние.

Для постановки опыта использовался лизиметрический метод. В открытую лизиметрическую установку были помещены зола и шлак высотой по 100 мм.

Зола, представленная в исследованиях – промышленные отходы ВТ ГРЭС. Топливом для нее долгое время являлся низкосортный каменный уголь Экибастузского бассейна, зольностью 38–43%. Отходы производства, – зола и шлаки, – посредством гидротранспорта отправляются в накопители – золошлакоотвалы (ЗШО). По гранулометрическому составу (в соответствии с таблицей Б.10 ГОСТ 25100-95) зола относится к пескам пылеватым. В соответствии с табл. 12 ГОСТ 25100-95 по одной пробе зола определяется как суглинок пылева-

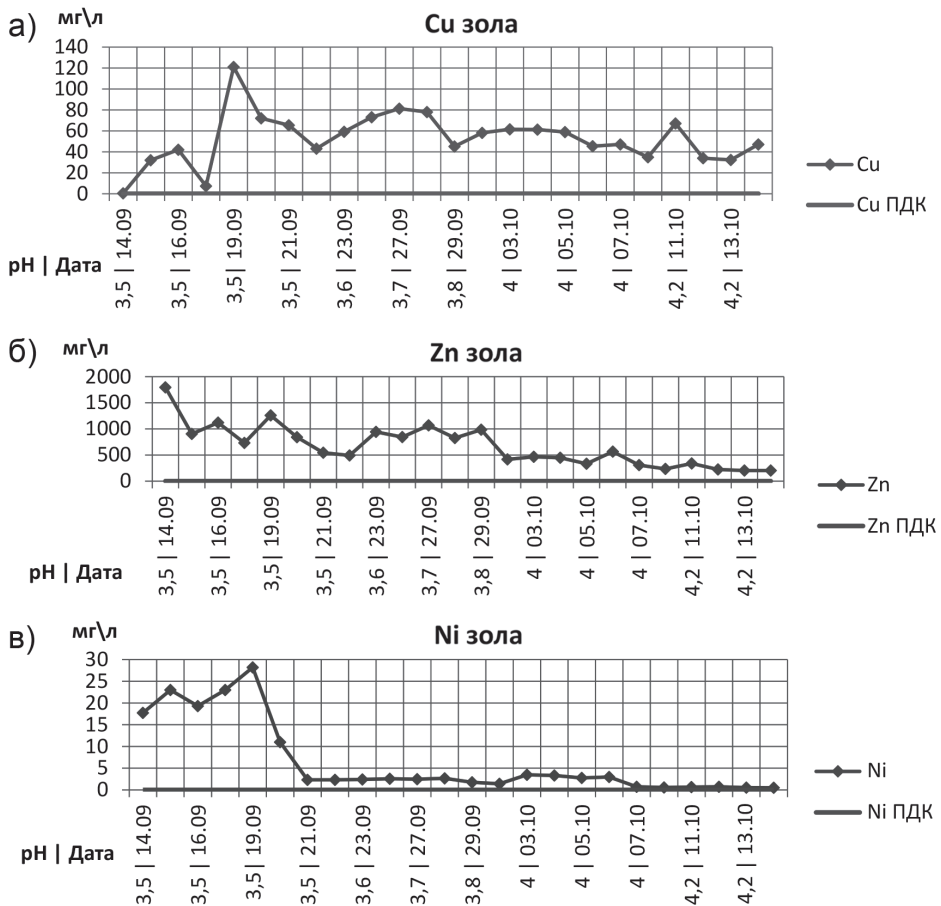


Рис. 1. Трансформация содержания водорастворимых форм ТМ: Cu (а), Zn (б), Ni (в) в системе ТГ – ИГБ (зола)

Fig. 1. Change in content of soluble heavy metals: (a) Cu; (b) Zn; (c) Ni in system IS–AGCB (ash)

Таблица 1

**Основной химический состав
золашлаков от сжигания углей ВТГРЭС
Chemical composition of coal combustion ash
at Verkhny Tagil Hydroelectric Power Station**

№ пп	Элемент	Содержание, мг/кг
1	Алюминий	10 892 ± 2379
2	Ванадий	1487 ± 312
3	Железо	49 809 ± 11715
5	Кальций	12 125 ± 4074
7	Магний	3589 ± 904
8	Марганец	777 ± 196
17	pH (ед. pH)	9,46 ± 0,10

тый и супесь пылеватая. Основу химического состава золашлаков составляет SiO_2 – 81,2%. Основной химический состав представлен в табл. 1.

Шлак, использованный в экспериментальных исследованиях, представляет собой самораспадающийся сталеплавильный шлак установки печь-ковш (УКП) следующего состава: CaO (29–30%), MgO (0–18%), Al_2O_3 (5–23%) и SiO_2 (30–40%), в небольшом количестве в них содержатся оксиды железа (до 20%) и марганца (до 10%), а также сера (0,5–1,0%).

Сверху нанесен 100-миллиметровый слой промышленного грунта, представляющего собой грунт, отобранный с отвалов вскрышных пород на территории предприятия ОАО «Сафьяновская медь». В течение 30 сут. осуществлялся пролив дистиллированной водой, сбор и учет инфильтрационной жидкости, которая в дальнейшем была отфильтрована (фильтр, предназначенный для мелкозернистых осадков с временем просачивания до 180 с). Полученные образцы исследованы атомно-абсорбционным методом с определением количественного содержания меди, цинка и никеля.

В образце, представленном золашлаковыми отходами, в ходе проведения эксперимента зафиксировано плавное снижение концентрации Zn и Ni, скачкообразное – Cu (рис. 1).

В системе ТГ – ИГБ (шлак) в течение первых 72 ч отмечался малый объем инфильтрационных вод при повышении pH до 7,32 на фоне снижения концентрации водорастворимых форм ТМ с образованием труднорастворимых оснований (рис. 2). По завершении экс-

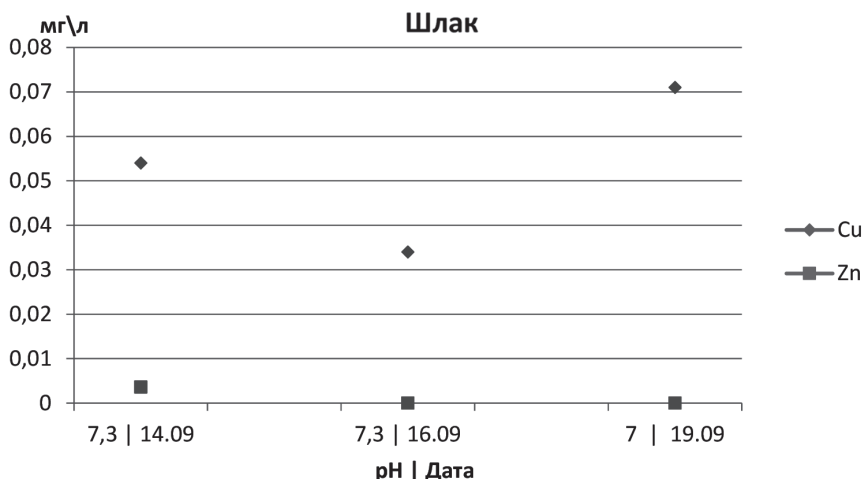


Рис. 2. Изменение концентрации подвижных форм меди, цинка в системе ТГ – ИГБ (шлак)
Fig. 2. Change in concentration of mobile copper and zinc in system IS-AGCB (slag)

перимента зафиксировано полное замоналичивание шлака.

Так как рассмотрение сложного характера профильного распределения подвижных форм ТМ в грунте актуально и с точки зрения исследования внутригрунтовой миграции химических элементов, по результатам лабораторных исследований и с целью анализа возможностей выноса тяжелых металлов с инфильтрационными водами был заложен микрополевой опыт (рис. 3). В ходе его проведения также выявилась необходимость корректировочных мероприятий.

В экспериментальные модули были помещены субстраты, состоящие из почвы, шлака и вскрышных пород, отобранных на территории предприятия АО «Сафьяновская медь» (рис. 4).

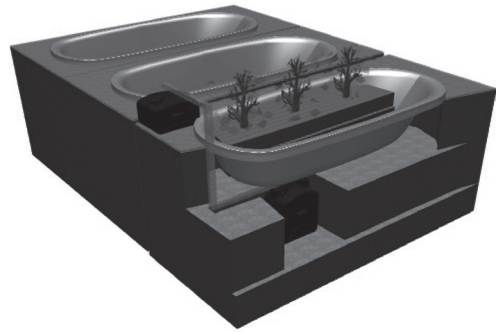
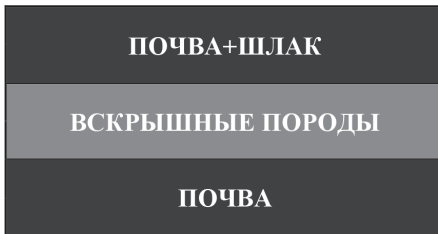


Рис. 3. Макет экспериментального модуля
Fig. 3. Model of experimental module

Шлак, использованный при моделировании, как и на первом этапе исследований, представляет собой самораспадающийся сталеплавильный шлак установки печь – ковш (УКП).

Микрополевой опыт был заложен на территории опытно-промышленной ба-

1 модуль:



2 модуль:



Рис. 4. Схемы организации субстратов в экспериментальных модулях
Fig. 4. Arrangements of substrates in experimental modules



Рис. 5. Фрагмент экспериментального модуля ТГ – ИГБ (почва + шлак, шлак): почва+шлак (а); шлак (б)
Fig. 5. Fragment of experimental module IS-AGCB (soil+slag, slag): a- soil+slag; b-slag

зы лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН (рис. 5).

В результате подтверждается высокая поглощательная способность почвы к меди и никелю с одновременным увеличением подвижных форм меди и снижением концентраций цинка. Одновременно просматривается резкое снижение концентрации меди и цинка в фильтрате (табл. 2).

В системе ТГ – ИГБ (шлак) в течение эксперимента наблюдался процесс

замоноличивания шлака при повышении рН до 7,35 на фоне снижения валовых концентраций ТМ, отмечался малый объем инфильтрационных вод. Также просматривается устойчивое снижение концентрации меди и цинка в фильтрате, концентрация никеля ниже определяемых пороговых значений (табл. 3).

Выводы

Таким образом, в процессе проведения экспериментальных исследований

Таблица 2

Концентрации тяжелых металлов в модуле 1 «ТГ – ИГБ (почва + шлак)»
Concentration of heavy metals in Module 1: IS–AGCB (soil+slag); IS—industrial subsoil;
AGCB—artificial geochemical barrier

Наименование	мг/кг		
	Cu	Zn	Ni
Валовая, начало эксперимента			
Почва + шлак	1753,60	231,40	63,92
Вскрышная порода	43 934,00	2112,00	6,30
Почва	87,50	264,25	95,88
После окончания эксперимента			
Почва + шлак	1326,70	183,50	28,90
Вскрышная порода	34 710,00	2544,00	16,80
Почва	880,70	61,40	41,10
Подвижные формы, начало эксперимента			
Почва + шлак	15,04	113,92	27,14
Вскрышная порода	1308,12	248,40	47,52
Почва	17,00	168,40	40,70
После окончания эксперимента			
Почва + шлак	83,48	13,78	4,53
Вскрышная порода	1945,50	381,28	12,53
Почва	147,28	27,50	17,55
Фильтрующийся техногенный поток			
Фильтрат	1,487	28,166	0,134
Фильтрат	0,467	0,090	0,000
Фильтрат	0,112	0,062	0,000
Фильтрат	0,606	0,335	0,000
Фильтрат	0,567	0,331	0,000

Таблица 3

Концентрации тяжелых металлов в модуле 2 «ТГ – ИГБ (шлак)»
Concentration of heavy metals in Module 2: IS-AGCB (slag)

Концентрации в модели барьера Наименование	мг/кг		
	Cu	Zn	Ni
Валовая, начало эксперимента			
Шлак	410,80	15,60	0,00
Вскрышная порода	965,10	575,60	0,00
Шлак	410,80	15,60	0,00
Окончание эксперимента			
Шлак	391,00	11,20	0,00
Вскрышная порода	961,90	444,50	0,00
Шлак	363,40	13,80	0,00
Подвижные формы, начало эксперимента			
Шлак	11,13	4,95	0,00
Вскрышная порода	182,66	248,83	0,00
Шлак	11,13	4,95	0,00
После			
Шлак	56,08	7,03	0,00
Вскрышная порода	238,65	134,85	0,00
Шлак	48,90	6,43	0,00
Фильтрующийся техногенный поток			
Фильтрат	0,305	0,000	0,00
Фильтрат	0,255	0,000	0,00

принципов формирования инфильтрационного потока поллютантов в системе ТГ – ИГБ (шлак) с учетом способности шлаковых материалов к замоноличиванию при смачивании установлено устойчивое снижение концентраций подвижных форм цинка при увеличении рН среды и образовании труднорастворимых оснований.

Следовательно, выявленный характер внутригрунтовой миграции меди и цинка следует учитывать при использовании новых технологических решений при разработке природоохранных мероприятий как при отработке месторождений, так и при формировании техногенно-минеральных образований на

промплощадке. В случае складирования отходов добычи полезных ископаемых в карьерную выемку, например при формировании внутреннего отвала, наиболее оптимальным вариантом барьера, предотвращающего загрязнение окружающей среды, является формирование нижнего и ряда промежуточных слоев из маловостребованных высокоосновных мелкодисперсных шлаков конвертерного, электросталеплавильного и других производств черной металлургии. Указанный подход был рекомендован специалистами ИГД УрО РАН при ведении рекультивационных работ на Восточном карьере Магнитогорского металлургического комбината.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев В. Л., Корнилков С. В., Соколов И. В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья. — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2018. — 360 с.
2. Рыбникова Л. С., Рыбников П. А. Закономерности формирования качества подземных вод на отработанных медноколчеданных рудниках Лёвихинского рудного поля (Средний Урал, Россия) // Геохимия. — 2019. — № 3. — С. 282–299.
3. Рыбникова Л. С., Рыбников П. А. Геоэкологические проблемы отходов горного производства в старопромышленных районах Среднего Урала / Сергеевские чтения. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. — М., 2018. — С. 91–96.
4. Yazbek L. D. Hydrogeochemical factors influencing metal transport and transformation in a stream impaired by acid mine drainage. M.S. theses. Kent State University, 2019.
5. Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А. Об особенностях комплексного экологического анализа районов, испытывающих локальную техногенную нагрузку предприятий горно-металлургического комплекса // Экология и промышленность России. — 2017. — Т. 21. — № 2. — С. 52–56.
6. Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А. Возможности экологической реабилитации районов расположения золоотвалов // Экология и промышленность России. — 2019. — Т. 23. — № 3. — С. 49–53.
7. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants // Biochimie. 2006. Vol. 88. Pp. 1707–1719.
8. Bradl H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents // Journal of Colloid and Interface Science. 2004. Vol. 277. Pp. 1–18.
9. Stafilov T. Determination of trace elements in minerals by electrothermal atomic absorption spectrometry // Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 2000. Vol. 55. No 7. Pp. 893–906.
10. Горбачева Т. Т., Иванова Л. А., Макаров Д. В. Шлаки комбината «Печенганикель» в решении экологических задач // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. — 2018. — № 15. — С. 429–432.
11. Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А. Использование техногенных отходов ГМК в природоохранных целях на предприятиях ГМК // Экология и промышленность России. — 2015. — № 10. — С. 38–41.
12. Мосендз И., Кременецкая И., Дрогобужская С., Алексеева С. Сорбция тяжелых металлов фильтрующими модулями с вермикулит-сунгулитовыми продуктами // Вестник МГТУ. — 2020. — Т. 23. — № 2. — С. 182–189.
13. Rosenfeld C. E., Chaney R. L., Tappero R. V., Martínez C. E. Microscale investigations of soil heterogeneity: impacts on zinc retention and uptake in zinc-contaminated soils // Journal of Environmental Quality. 2017. Vol. 46. No 2. Pp. 373–383.
14. Rosenfeld C. E., Chaney R. L., Martinez C. E. Soil geochemical factors regulate Cd accumulation by metal hyperaccumulating *Noccaea caerulea* (J. Presl & C. Presl) Fk Mey in field-contaminated soils // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 616. Pp. 279–287. **PLoS**

REFERENCES

1. Yakovlev V. L., Kornilkov S. V., Sokolov I. V. *Innovatsionnyy bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya* [Innovative framework for the strategy of integrated management of mineral resources], Ekaterinburg, Izd-vo UrO RAN, 2018, 360 p.
2. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A. Mechanisms of groundwater quality formation at closed copper pyrite mines in Levikhin ore field, Middle Ural, Russia. *Geokhimiya*. 2019, no 3, pp. 282–299. [In Russ].

3. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A. Geoecology problems connected with mining waste in old mineral production regions in the Middle Ural. *Sergeevskie chteniya. Materialy godichnoy sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geokologii, inzhenernoy geologii i gidrogeologii* [Sergeev's Lectures: Proceedings of Annual Session of the Geoecology, Engineering Geology and Hydrogeology Science Board of the Russian Academy of Sciences], Moscow, 2018, pp. 91–96. [In Russ].

4. Yazbek L. D. *Hydrogeochemical factors influencing metal transport and transformation in a stream impaired by acid mine drainage*. M.S. theses. Kent State University, 2019.

5. Antoninova N. Yu., Shubina L. A. Features of integrated environmental analysis in the areas under induced impact of mining and metallurgy. *Ecology and Industry of Russia*. 2017, vol. 21, no 2, pp. 52–56. [In Russ].

6. Antoninova N. Yu., Shubina L. A. Potential of environmental rehabilitation in location areas of ash dumps. *Ecology and Industry of Russia*. 2019, vol. 23, no 3, pp. 49–53. [In Russ].

7. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 2006. Vol. 88. Pp. 1707–1719.

8. Bradl H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004. Vol. 277. Pp. 1–18.

9. Stafilov T. Determination of trace elements in minerals by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 2000. Vol. 55. No 7. Pp. 893–906.

10. Gorbacheva T. T., Ivanova L. A., Makarov D. V. Pechenganickel's slag in the solution of problems of ecology. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTS RAN* [Proceedings of the Fersman scientific session of the STATE research center of the Russian Academy of Sciences]. 2018, no 15, pp. 429–432. [In Russ].

11. Antoninova N. Yu., Shubina L. A. Use of mining and metallurgy waste in the environmental activities in the mining and metallurgical industries. *Ecology and Industry of Russia*. 2015, no 10, pp. 38–41. [In Russ].

12. Mosendz I., Kremenetskaya I., Drogobuzhskaya S., Alekseeva S. Absorption of heavy metals by filtering modules with vermiculite–sungulite products. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2020, vol. 23, no 2, pp. 182–189. [In Russ].

13. Rosenfeld C. E., Chaney R. L., Tappero R. V., Martinez C. E. Microscale investigations of soil heterogeneity: impacts on zinc retention and uptake in zinc-contaminated soils. *Journal of Environmental Quality*. 2017. Vol. 46. No 2. Pp. 373–383.

14. Rosenfeld C. E., Chaney R. L., Martinez C. E. Soil geochemical factors regulate Cd accumulation by metal hyperaccumulating *Noccaea caerulea* (J. Presl & C. Presl) FK Mey in field-contaminated soils. *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 616. Pp. 279–287.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Антонинова Наталья Юрьевна^{1,2} – канд. техн. наук, зав. лабораторией; доцент, e-mail: natal78@list.ru,

Собенин Артем Вячеславович^{1,2} – младший научный сотрудник; младший научный сотрудник,

Шубина Любовь Андреевна¹ – научный сотрудник,

¹ Институт горного дела Уральского отделения РАН,

² Уральский государственный горный университет.

Для контактов: Антонинова Н.Ю., e-mail: natal78@list.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

N. Yu. Antoninova^{1,2}, Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory;

Assistant Professor, e-mail: natal78@list.ru,

A.V. Sobenin^{1,2}, Junior Researcher; Junior Researcher,
L.A. Shubina¹, Researcher,
¹ Institute of Mining of Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
620075, Ekaterinburg, Russia,

² Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, Russia.

Corresponding author: N. Yu. Antoninova, e-mail: natal78@list.ru.

Получена редакцией 20.07.2020; получена после рецензии 03.09.2020; принята к печати 10.11.2020.

Received by the editors 20.07.2020; received after the review 03.09.2020; accepted for printing 10.11.2020.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

К ВОПРОСУ О МОДЕРНИЗАЦИИ КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ В ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ

(2020, № 7, СВ 25, 60 с.)

*Савич Игорь Николаевич*¹ — д-р техн. наук, профессор,

*Лифарь-Лаптев Александр Александрович*¹ — студент,

*Яковлев Антон Михайлович*¹ — студент,

*Сыренов Максим Олегович*¹ — студент,

*Карасев Геннадий Анатольевич*¹ — старший преподаватель,

*Мустафин Вадим Игоревич*¹ — канд. техн. наук,

¹ НИТУ «МИСиС», e-mail: LifarLaptevAA@edu.misis.ru.

С помощью программного обеспечения «Rocsience» выполнено математическое моделирование отработки запасов глубоких горизонтов месторождения с применением ромбовидных камер. Для полиметаллического Корбалихинского месторождения предложена система разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Исследования показали, что отдельные рудные тела выгоднее разрабатывать камерной системой разработки с закладкой. Рассмотрены и обоснованы параметры системы разработки при конструировании и адаптации технологии камерной выемки. Предложенные технологические решения унифицированы в привязке к проектным подэтажным и этажным выработкам и приняты на основе ранее проведенных инженерных изысканий, включающих в себя параметры камерной системы разработки, работы по вскрытию и порядку отработки подэтажей. Это позволит переходить от одного варианта системы разработки к другому по мере изменения условий залегания рудных тел и физико-механических характеристик руды и вмещающих пород.

ON THE ISSUE OF MODERNIZATION OF CAMERA DEVELOPMENT SYSTEM IN UNDERGROUND GEOTECHNOLOGY

*I.N. Savich*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor; *A.A. Lifar'-Laptev*¹, Student; *A.M. Yakovlev*¹, Student;

*M.O. Syrenov*¹, Student; *G.A. Karasev*¹, Lector; *V.I. Mustafin*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

Using the software «Rocsience», mathematical modeling of the development of reserves of deep horizons of the field with the use of diamond-shaped chambers was performed. For Garbalinski polymetallic deposits of the proposed system of development with backfilling the worked-out space hardening mixtures. Studies have shown that it is more profitable to develop individual ore bodies using a chamber mining system with a bookmark. The parameters of the development system for the design and adaptation of the chamber excavation technology are considered and justified. The proposed technological solutions are unified in relation to the design of sub-storey and floor workings and adopted on the basis of previously conducted engineering surveys, including the parameters of the chamber development system, work on opening and the procedure for working out the sub-floors. This will allow you to move from one version of the development system to another as the conditions of occurrence of ore bodies and the physical and mechanical characteristics of the ore and host rocks change.