

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИММОБИЛИЗАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Н. Ю. Антонинова¹, Л. А. Шубина¹, К. В. Шепель¹, А. В. Собенин¹, А. И. Усманов¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия, natal78@list.ru

Аннотация: Учитывая качественный состав месторождений полезных ископаемых Уральского региона, высока доля загрязненного тяжелыми металлами почвенного покрова в зоне активного земледелия. Задачей проведенных экспериментальных исследований является поиск эффективных «веществ-иммобилизаторов» из разряда производственных отходов, снижающих подвижность ряда тяжелых металлов. Экспериментальные исследования проводились на площадке опытной базы лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН в с. Фомино (Свердловская обл). Определение элементного состава проб проведено с использованием атомно-абсорбционного метода при помощи Spectr AA-240 FS (VarianOpticalSpectr. Instrum, Australia). Полученные результаты свидетельствуют о наличии процессов иммобилизации подвижных форм меди и цинка в исследуемых субстратах по отношению к исходному техногенному грунту, при внесении производственных отходов, образующихся на предприятиях Свердловской области: самораспадающегося сталеплавильного шлака установки печь-ковш (АО «Синарский трубный завод») и куриного помёта (АО «Птицефабрика «Рефтинская»). Наибольшее снижение подвижных форм меди и цинка фиксируется в образцах № 1, 3, 5 в пропорциях 50% грунт/50% шлак+навоз, однако в образце № 3 наблюдается увеличение подвижной формы меди до 3,8 мг/кг на дату окончания эксперимента. В образце № 6 с пропорцией 90:10 (грунт/шлак+навоз) получена урожайность картофеля в 470 г., этот результат вызывает интерес, т.к. концентрация подвижных форм цинка составила 25,8 мг/кг, хотя медь осталась на высоком уровне, что требует поиска дополнительных «веществ-иммобилизаторов» меди.

Благодарности: Статья подготовлена в рамках Госзадания №075-00412-22 ПР. Тема 2 (2022–2024). Разработка геоинформационных технологий оценки защищенности горнопромышленных территорий и прогноза развития негативных процессов в недропользовании (FUWE-2022-0002), рег. №1021062010532-7-1.5.1 и гранта РФФИ № 20-45-660014 «Исследование закономерностей миграции и накопления тяжелых металлов в природных системах, испытывающих локальную техногенную нагрузку предприятий горно-металлургического комплекса с целью разработки эффективных методов их экологической реабилитации», при финансовой поддержке Правительства Свердловской области.

Ключевые слова: иммобилизация, концентрация, техногенный грунт, тяжелые металлы, отходы производства, шлак, куриный помёт, сельскохозяйственная продукция, аккумуляция.

Для цитирования: Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А., Шепель К. В., Собенин А. В., Усманов А. И. Оценка возможности использования отходов производства при разработке мероприятий по иммобилизации тяжелых металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–1. – С. 46–55. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_46.

Assessment of the possibility of using industrial waste in the development of measures for the immobilization of heavy metals

N. Yu. Antoninova¹, L. A. Shubina¹, K. V. Shepel¹, A. V. Sobenin¹, A. I. Usmanov¹

¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract: Taking into account the qualitative composition of the mineral deposits of the Ural region, the proportion of soil contaminated with heavy metals from the area of the zone of active agriculture is high. The task of the experimental studies carried out is to search for effective “substances-immobilizers” from the category of industrial waste, which reduce the mobility of a number of heavy metals. Experimental studies were carried out at the site of the experimental base of the laboratory of mining ecology of the Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in the village of Fomino. The elemental composition of the samples was determined using the atomic absorption method using a Spectr AA-240 FS (VarianOpticalSpectr. Instrum, Australia). The results obtained indicate the presence of processes of immobilization of mobile forms of copper and zinc in the studied substrates in relation to the original technogenic soil, when introducing industrial waste generated at the enterprises of the Sverdlovsk region: litter (JSC “Poultry Farm” Reftinskaya). The largest decrease in the content of mobile forms of copper and zinc is recorded in samples No. 1,3,5 in the proportions of 50% soil / 50% slag + manure, however, in sample No. 3, an increase in the content of the mobile form of copper up to 3.8 mg / kg is observed at the date end of the experiment. Taking into account the yield of the studied agricultural crop (potato), 470 g and a ratio of 90:10 (soil / slag + manure), the result obtained in sample No. 6, in which the concentration of mobile forms of zinc was 25.8 mg / kg, is of interest, although copper remained at a high level, which requires the search for additional “substances-immobilizers” of copper.

Key words: immobilization, concentration, technogenic soil, heavy metals, industrial waste, slag, chicken manure, agricultural products, accumulation.

Acknowledgements: The article was prepared within the framework of the State Task No. 075-00412-22 PR. Topic 2 (2022–2024). Development of geoinformation technologies for assessing the security of mining territories and forecasting the development of negative processes in subsurface use (FUWE-2022-0002), reg. №1021062010532-7-1.5.1 and RFBR grant No. 20-45-660014 «Study of patterns of migration and accumulation of heavy metals in natural systems experiencing local technogenic load of mining and metallurgical complex enterprises in order to develop effective methods of their environmental rehabilitation», with financial support from the Government of the Sverdlovsk Region.

For citation: Antoninova N. Yu., Shubina L. A., Shepel K. V., Sobenin A. V., Usmanov A. I. Assessment of the possibility of using industrial waste in the development of measures for the immobilization of heavy metals. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–1):46–55. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_46.

Введение

Актуальность решения проблем предотвращения загрязнения токсичными элементами земельных ресурсов очевидна в связи развитием горнодобывающего и перерабатывающего комплексов. Не секрет, что в последнее время многие проблемы, связанные с каче-

ством жизни, возникли в связи с некорректной эксплуатацией земельных угодий. Быстрыми темпами происходят деградация и эрозия почв и разрушение природных ландшафтов [1–4].

Особую опасность составляют объекты размещения отходов добычи и обогащения цветных металлов,

в которых металлы находятся в сульфидной форме, с формированием процесса сернокислотного выщелачивания: отвалы забалансовых руд, продукты обогащения колчеданных руд и отходы металлургического передела, что обуславливает необходимость разработки мелиоративных приёмов по снижению риска миграции тяжелых металлов [5, 6]. Масштабы загрязнения почвенного покрова только в Свердловской области достигают 75% площади зоны активного земледелия. Таким образом, основная особенность экологической системы, в составе которой функционирует природно-промышленный комплекс, состоит в том, что все компоненты этой системы находятся под постоянным воздействием промышленных предприятий и испытывают на себе их влияние [7, 8]. Сельскохозяйственные, лесные и другие угодья, расположенные на территории техно-

генной системы, как правило, снижают свою продуктивность, а иногда полностью деградируют. Поэтому страдает и качество сельскохозяйственной продукции. Это и определило необходимость проведения полевых экспериментов с целью изучения закономерностей транслокации меди и цинка в системе техногенный грунт – растение и оценки возможности получения безопасной продукции на загрязненных почвах на примере картофеля путём внесения в техногенный грунт отходов производства для иммобилизации ряда тяжелых металлов.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились на опытной базе лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН в с. Фомино (Сысертский городской округ, Свердловская область, Россия). В качестве объекта

Таблица 1

Концентрации меди и цинка в исходном субстрате
Concentrations of copper and zinc in the original substrate

Наименование	мг/кг	
	Cu	Zn
Валовая		
Ф-2-Ф-В	1844,60	203,00
Подвижные формы		
Ф-2-Ф-Вв	1298,00	175,13



Рис. 1. Образцы картофеля, выращенного на техногенном грунте

Fig 1. Samples of potatoes grown on technogenic soil

исследования принимался техногенный грунт с отвалов вскрышных пород, отобранный на месторождении медноколчеданных руд (табл. 1).

Первый этап исследований проводили в 2020 году с целью оценки аккумулярующих свойств одного из наиболее распространённых сельскохозяйственных культур — картофеля.

Растения, высаженные в техногенный грунт за время проведения эксперимента, не достигли фазы зрелости, присутствовали признаки появления некроза и хлороза на стеблях, что указывает на нарушение течения метаболических процессов.

26.09.2020 из каждой грядки были отобраны все выросшие клубни картофеля для проведения химического анализа (рис. 1). Отобранные образцы были высушены (95 °С) в сушильном

шкафу (ШС-80—01-СПУ, ООО ПриборУфа, Россия) и измельчены. Кислотное разложение образцов (навеска 0,2 гр.) проводили с помощью концентрированной азотной кислоты в лабораторной микроволновой системе MARS 5 Digestion Microwave System (CEM Corporation, US) [13]. Общее содержание меди и цинка определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии в воздушно-ацетиленовом пламени (Varian AA 240 FS, Varian Australia Pty Ltd, Australia) (табл. 2).

Концентрация меди в клубнях варьируется от 1 до 9 мг/кг воздушно-сухой массы, цинка от 20 до 99,9 мг/кг, что в 10 раз превышает ПДК по цинку.

Таким образом, при значительном загрязнении почвы цинком и медью их концентрация в клубнях превышает ранее установленные нормативы, что свидетельствует о высокой погло-

Таблица 2
Содержание меди и цинка в клубнях картофеля
The content of copper and zinc in potato tubers

№	Сu, мг\кг	Содержание ПДК* тяжелых металлов в овощах, мг/кг	Zn, мг\кг	Содержание ПДК* тяжелых металлов в овощах, мг/кг
	Валовые		Валовые	
1	9	5	20	10
2	1,8		52	
3	1		45	
4	2,4		31	
5	2,6		26,7	
6	1,7		27,1	
7	3,4		58,3	
8	1,8		56,3	
9	7		49,3	
11	1,4		99,9	
12	5,1		67,3	

* МУК 4.1.1501—03. Методические указания. 4.1. Методы контроля. Химические факторы. Инверсионно-вольтамперометрическое измерение концентрации цинка, кадмия, свинца и меди в пищевых продуктах и продовольственном сырье. Дата введения 2003-06-30.

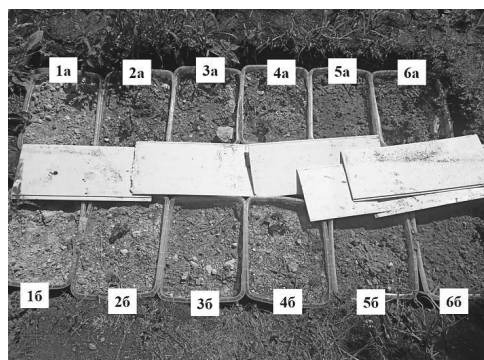
тительной способности данного вида по отношению к повышенным концентрациям токсикантов.

К сожалению, необходимо отметить, что в связи с отменой СанПиН 42-123-4089-86 «Предельно допусти-

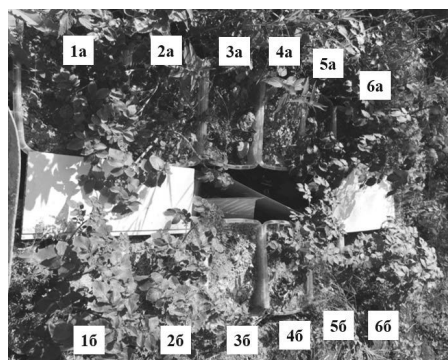
мые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах», утвержденных Главным государственным санитарным врачом СССР 31 марта 1986 г., N 4089-86, с 27.07.2020 из нормативных

Таблица 3
Перечень сформированных грядок и субстратов
List of formed beds and substrates

№ суб-страта	Шифр грядки	Состав субстрата	Пропорции грунта и отходов
1	1а, 1б	Грунт+шлак	50:50
2	2а, 2б	Грунт+ шлак	90:10
3	3а, 3б	Грунт+смесь шлака и навоза (шлак 90 : навоз 10)	50:50
4	4а, 4б	Грунт+смесь шлака и навоза (ЗШО 90 : навоз 10)	90:10
5	5а, 5б	Грунт+смесь шлака и навоза (шлак 70 : навоз 30)	50:50
6	6а, 6б	Грунт+смесь шлака и навоза (шлак 70 : навоз 30)	90:10



a



б



в

Рис 2. Динамика роста картофеля:
а – спустя месяц после посадки, 14.07.2021; *б* – спустя два месяца после посадки, 20.08.2021; *в* – спустя три месяца после посадки, 24.09.2021

Fig 2. Potato growth dynamics

документов окончательно исчезли ПДК меди и цинка; из нормируемых токсичных элементов остались только свинец, мышьяк, кадмий, ртуть (СП № 36 от 14.11.2001, п.1.6.1).

Для оценки непосредственно экологической опасности на следующем этапе анализировались подвижные формы меди и цинка.

На втором этапе исследований, проведенных в 2021 году, в качестве потенциальных рекультивантов-иммобилизаторов ТМ в грунте использовались следующие отходы производства:

1) «ШЛАК» – самораспадающийся сталеплавильный шлак установки печь-

ковш (УКП) АО «Синарский трубный завод» следующего состава: CaO (29–30%), MgO (0–18%), Al₂O₃ (5–23%) и SiO₂ (30–40%), в небольшом количестве в них содержатся оксиды железа (до 20%) и марганца (до 10%), а также сера (0,5–1,0%);

2) «НАВОЗ» – Куриный помет птицефабрики «Рефтинская».

Эксперимент проводили в двух повторностях, было сформировано 12 грядок с техногенным грунтом объемом по 25 литров, в пластиковых контейнерах с устройством дренажа и изолированных друг от друга (табл. 3). В полученные субстраты был высажен картофель (рис. 2).

Таблица 4
Урожайность картофеля в сформированных грядках
The yield of potatoes in the formed beds

Шифр грядки	Урожайность, гр	Шифр грядки	Урожайность, гр
1а	120	1б	310
2а	170	2б	180
3а	120	3б	136
4а	205	4б	190
5а	350	5б	370
6а	470	6б	435

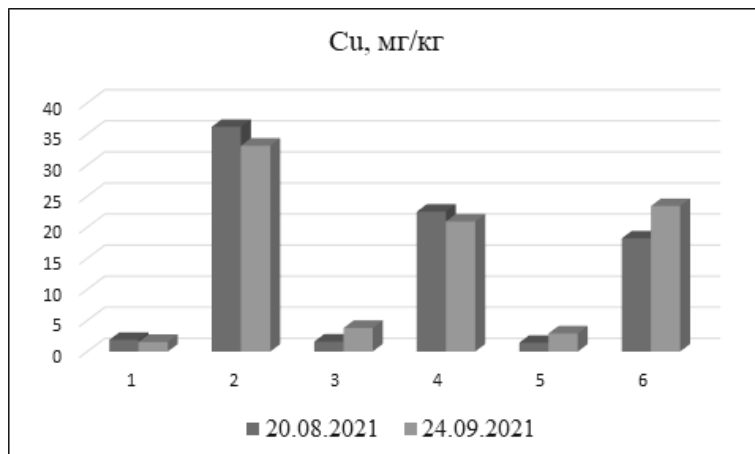


Рис. 3. Динамика содержания подвижной формы меди в исследуемом субстрате: 1 – грунт/шлак 50/50; 2 – грунт/шлак 90:10; 3 – грунт/шлак+навоз 50/50; 4 – грунт/шлак+навоз 90/10; 5 – грунт/шлак+навоз 50/50; 6 – грунт/шлак+навоз 90/10

Fig 3. Dynamics of the content of the mobile form of copper in the studied substrate: 1 – soil/slag 50/50; 2 – soil/slag 90:10; 3 – soil / slag + manure 50/50; 4 – soil / slag + manure 90/10; 5 – soil / slag + manure 50/50; 6 – soil / slag + manure 90/10

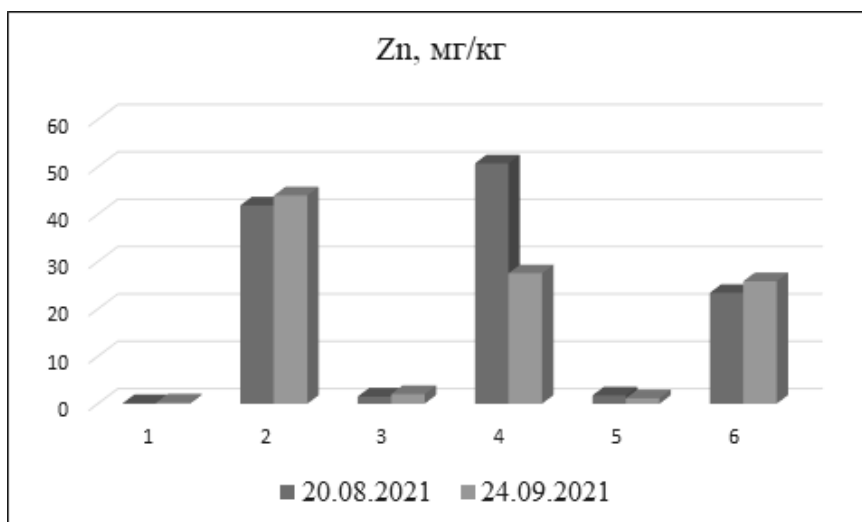


Рис. 4. Динамика содержания подвижной формы цинка в исследуемом субстрате: 1 – грунт/шлак 50/50; 2 – грунт/шлак 90/10; 3 – грунт/шлак+навоз50/50; 4 – грунт/шлак+навоз 90/10; 5 – грунт/шлак+навоз 50/50; 6 – грунт/шлак+навоз 90/10

Fig 4. Dynamics of the content of the mobile form of zinc in the studied substrate: 1 – soil/slag 50/50; 2 – soil/slag 90/10; 3 – soil / slag + manure 50/50; 4 – soil / slag + manure 90/10; 5 – soil / slag + manure 50/50; 6 – soil / slag + manure 90/10

В период проведения экспериментальных исследований пробы грунта отбирались дважды – на второй и третий месяц эксперимента.

Длительность эксперимента составила три месяца. Картофель дал плоды во всех грядках, в количестве, достаточном для проведения дальнейшего химического анализа на содержание подвижной формы цинка и меди (табл. 4).

Содержание ионов меди и цинка определяли атомно-абсорбционным методом при помощи Spectr AA-240 FS (Varian Optical Spectr. Instrum, Australia). Подвижные формы определялись в вытяжках 0,5 М HNO_3 в соотношении 1:25 (почва: раствор). За основу взяты величина ПДК подвижных форм меди – 3 мг/кг (класс опасности 2), цинка – 23 мг/кг (класс опасности 1) согласно СанПиН 1.2.3685 – 21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или)

безвредности для человека факторов среды обитания», Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы от 28.01.2021 N 1.2.3685-21.

Результаты и обсуждение

Для оценки эффективности применения отходов производства с целью иммобилизации ряда тяжелых металлов и дальнейшей оценки возможности их использования для выращивания сельскохозяйственной продукции на загрязнённых территориях был проведен анализ динамики подвижной формы меди и цинка в исследуемых образцах подготовленного субстрата (рис. 3, 4).

Следовательно, полученные результаты свидетельствуют о наличии процессов иммобилизации подвижных форм меди и цинка в исследуемых субстратах по отношению к исходному техногенному грунту. Наиболь-

шее снижение подвижных форм меди и цинка фиксируется в образцах № 1, 3, 5 в пропорциях 50% грунт/50% шлак+навоз, однако в образце № 3 наблюдается увеличение подвижной формы меди до 3,8 мг/кг на дату окончания эксперимента. Также снижение подвижной формы цинка до 27 мг/кг зафиксировано в образце № 4, однако медь остается на достаточно высоком уровне – 20,925 мг/кг, что определяет необходимость поиска дополнительных «веществ-иммобилизаторов», способных снизить концентрацию подвижных форм меди [9, 10]. С учетом урожайности картофеля интерес вызывают результаты образца № 6. Так, концентрация подвижных форм цинка на момент окончания эксперимента составила 25,8 мг/кг, что существенно ниже, чем в образце № 2 (43,98 мг/кг),

однако медь осталась на достаточно высоком уровне – 23,41 мг/кг, но это все равно ниже, чем в образце № 2 без навоза (33,13 мг/кг), что также определяет необходимость дальнейшего поиска дополнительных «веществ-иммобилизаторов» меди [11, 12].

Заключение

По результатам анализа полученных экспериментальных данных отчетливо просматриваются процессы иммобилизации подвижных форм меди и цинка при внесении самораспадающихся сталеплавильных шлаков и куриного помёта. Таким образом, используя мелиоративные приемы, можно регулировать подвижность ряда ТМ, запуская процессы иммобилизации и снижая риск аккумуляции токсикантов сельскохозяйственными растениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рыбникова Л. С., Рыбников П. А.* Геоэкологические проблемы отходов горного производства в старопромышленных районах Среднего Урала / Сергеевские чтения: Научная конференция в рамках IX Международного форума «Экология». Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. — М: РУДН, 2018. — С. 91 — 96.
2. *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.
3. *Clemens S.* Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants // *Biochimie*. 2006. Vol. 88. No 11 Pp. 1707 — 1719. DOI 10.1016/j.biochi.2006.07.003.
4. *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. DOI 10.1016/j.jcis.2004.04.005.
5. *Yurak V. et al.* Testing of Natural Sorbents for the Assessment of Heavy Metal Ions' Adsorption // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. P. 3723. DOI 10.3390/app11083723
6. *Мосендз И. А., Кременецкая И. П., Дрогобужская С. В., Алексеева С. А.* Сорбция тяжелых металлов фильтрующими модулями с вермикулит-сунгулитовыми продуктами // *Вестник МГТУ*. — 2020. — Т. 23. — № 2. — С. 182 — 189. DOI 10.21443/1560—9278—2020—23—2—182—189.
7. *Rosenfeld C. E. et al.* 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. DOI 10.2134/jeq2016.05.0184.
8. *Rosenfeld C. E., Chaney R. L., Martinez C. E.* Soil geochemical factors regulate Cd accumulation by metal hyperaccumulating *Noccaea caerulescens* (J. Presl & C. Presl) FK Mey in field-contaminated soils // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 616. Pp. 279 — 287. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.11.016.

9. Антонинова Н. Ю., Собенин А. В., Шубина Л. А. Оценка возможности использования промышленных отходов при формировании геохимических барьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2020. — № 12. — С. 78–88. DOI 10.25018/0236-1493-2020-12-0-78-88.

10. Антонинова Н. Ю., Усманов А. И., Шубина Л. А., Собенин А. В. Оценка возможности применения торфо-диатомитового мелиоранта при разработке мероприятий по экологической реабилитации нарушенных экосистем // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — Т. 12. — № 4(46). — С. 493–500. DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-4-493-500.

11. Matveeva V., Lytaeva T., Danilov A. Application of steel-smelting slags as material for reclamation of degraded lands // *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19. N. 6. Pp. 97–103. DOI 10.12911/22998993/93511.

12. Velasco-Garduno O. et al. Copper removal from wastewater by a chitosan-based biodegradable composite // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. Pp. 1–9. DOI 10.1007/s11356-019-07560-2.

13. MARS 6 Microwave Acid Digestion. Method Note Compendium URL: http://cem.com/media/contenttype/media/literature/MetNote_MARS6_Compendium.pdf (дата обращения: 09.02.2022) **МИАБ**

REFERENCES

1. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A. Geocological problems of mining waste in the old industrial areas of the Middle Urals. Sergeevskie chteniya. Materialy godichnoi sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoi 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].

2. 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.

3. Clemens S. Toxic metal accumulations, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 2006. Vol. 88. No. 11. Pp. 1707–1719. DOI 10.1016/j.biochi.2006.07.003.

4. Bradl H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of colloid and interface science*. 2004. Vol. 277. No 1. Pp. 1–18. DOI 10.1016/j.jcis.2004.04.005.

5 Yurak V. et al. Testing of Natural Sorbents for the Assessment of Heavy Metal Ions' Adsorption. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. No 8. P. 3723. DOI 10.3390/app11083723/

6. Mosendz I. A., Kremenetskaya I. P., Drogobuzhskaya S. V., Alekseeva S. A. Sorption of heavy metals by filter modules with vermiculite-sungulite products. *Vestnik of MSTU*. Proceedings of the Murmansk State Technical University. 2020, vol 23, no. 2, pp. 182–189. DOI 10.21443/1560–9278–2020–23–2–182–189. [In Russ].

7. Rosenfeld C. E. et al. 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. DOI 10.2134/jeq2016.05.0184.

8. Rosenfeld C. E., Chaney R. L., Martinez C. E. Soil geochemical factors regulate Cd accumulation by metal hyperaccumulating *Noccaea caerulescens* (J. Presl & C. Presl) FK Mey in field-contaminated soils. *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 616. Pp. 279–287. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.11.016.

9. Antoninova N. Yu., Sobenin A. V., Shubina L. A. Assessment of the possibility of using industrial waste in the formation of geochemical barriers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 12, pp. 78–88. DOI 10.25018/0236-1493-2020-12-0-78-88. [In Russ].

10. Antoninova N. Yu., Usmanov A. I., Shubina L. A., Sobenin A. V. Assessment of the possibility of using peat-diatomite ameliorant in the development of measures for the ecological rehabilitation of disturbed ecosystems. *Sustainable development of mountain territories*. 2020, vol. 12, no. 4 (46), pp. 493 – 500. DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-4-493-500. [In Russ].

11. Matveeva V., Lytaeva T., Danilov A. Application of steel-smelting slags as material for reclamation of degraded lands. *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19. No. 6. Pp. 97 – 103. DOI 10.12911/22998993/93511.

12. Velasco-Garduno O. et al. Copper removal from wastewater by a chitosan-based biodegradable composite. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. Pp. 1 – 9. DOI 10.1007/s11356-019-07560-2.

13. MARS 6 Microwave Acid Digestion. Method Note Compendium URL: http://cem.com/media/contenttype/media/literature/MetNote_MARS6_Compendium.pdf (дата обращения: 09.02.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Антонинова Наталья Юрьевна¹ – канд. техн. наук., зав. лабораторией экологии горного производства, natal78@list.ru, ORCID iD: 0000-0002-8503-639X;

Шубина Любовь Андреевна¹ – научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, las714@mail.ru, ORCID iD: 0000-0002-8596-3679;

Шепель Ксения Викторовна¹ – младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, ksenia20@yandex.ru, ORCID iD: 0000-0002-2827-8421;

Собенин Артём Вячеславович¹ – младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, arsob@yandex.ru, ORCID iD: 0000-0001-5513-5680;

Усманов Альберт Исмаилович¹ – младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, albert3179@mail.ru, ORCID iD: 0000-0002-3650-0467;

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Antoninova N. Yu.¹, Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, natal78@list.ru, ORCID iD: 0000-0002-8503-639X;

Shubina L. A.¹, research associate, las714@mail.ru, ORCID iD: 0000-0002-8596-3679;

Shepel K. V.¹, Junior Researcher, ksenia20@yandex.ru, ORCID iD: 0000-0002-2827-8421;

Sobenin A. V.¹, Junior Researcher, arsob@yandex.ru, ORCID iD: 0000-0001-5513-5680;

Usmanov A. I.¹, Junior Researcher, albert3179@mail.ru, ORCID iD: 0000-0002-3650-0467;

¹ Institute of Mining UB RAS, 620219, Russia, Ekaterinburg, Mamin-Sibiriyak st., 58.

Получена редакцией 01.11.2021; получена после рецензии 25.02.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 01.11.2021; received after the review 25.02.2022; accepted for printing 10.04.2022.

