

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОЙ ДЕГРАДАЦИИ ЭКОСИСТЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ГОРНО- МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Н. Ю. Антонинова<sup>1</sup>, Л. А. Шубина<sup>1</sup>, А. В. Собенин<sup>1</sup>, А. И. Усманов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,  
Екатеринбург, Россия

**Аннотация:** Ликвидация подземных горных выработок в недрах связана не только с возможностью использования доступных материалов для заполнения техногенных пустот, но и с общей техногенной нагрузкой на территорию. Наиболее популярные закладочные смеси содержат пустые породы, шлаки черной металлургии, золы теплоэнергетических станций, цемент. Такие технологии позволяют утилизировать часть неустраиваемых отходов разных отраслей промышленности. При этом основным требованием к закладочным смесям является достаточная прочность и химическая инертность материала. Инертность закладочной смеси является важным условием при высокой проницаемости горных пород, угрозе переноса растворимых форм токсичных элементов подземными гидротоками. При выборе компонентов закладочных смесей необходимо учитывать общий фон загрязнения территории. Исследования лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН образцов шлаков комбината «Норильский никель» показали, что несмотря на достаточно приемлемые прочностные характеристики материала, он будет потенциальным источником миграции токсичных элементов в окружающую среду. Учитывая сложную экологическую обстановку на промышленной территории, которая расположена в уязвимом с точки зрения климата регионе, использование закладочных смесей на основе шлаков никеливого производства влечет за собой дополнительные риски загрязнения.

**Ключевые слова:** ликвидация горных выработок, шлаки цветной металлургии, миграция химических соединений, стабильность закладочных смесей, экологическая безопасность.

**Благодарность:** Статья подготовлена в рамках 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» и при финансовой поддержке Правительства Свердловской области, госзадания «Методы учёта переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых» (№ АААА-А19–119020790025-4).

**Для цитирования:** Антонинова Н. Ю., Шубина Л.А., Собенин А. В., Усманов А. И. Оценка возможной деградации экосистемы при использовании промышленных отходов горно-металлургического комплекса при ликвидации горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–2. – С. 193–201. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_193.

---

## Assessment of possible ecosystem degradation during mine closure using mining and metallurgical waste

N. Yu. Antoninova<sup>1</sup>, L. A. Shubina<sup>1</sup>, A. V. Sobenin<sup>1</sup>, A. I. Usmanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

---

**Abstract:** The mine closure practice not only allows utilization of available materials to fill manmade voids but is also associated with anthropogenic load of the operation territories. The most popular backfill mixtures contain gangue, slags of ferrous metallurgy, ashes of thermal power plants and cement. Backfill technologies make it possible to use waste from various industries. The main requirement placed on a backfill mixture is its sufficient strength and chemical inertness. The latter is particularly important in case of highly permeable rock mass, when soluble toxic elements can migrate with underground hydraulic flows. When selecting backfill mixture components, it is necessary to take into account a general contamination background inside a territory. The studies of slag samples from Norilsk Nickel show that, despite the fairly acceptable strength characteristics of the material, it will be a potential source of migration of toxic elements into the environment. In view of the complex environmental situation in the industrial area vulnerable to climate changes, the use of nickel-based slag in backfill mixtures entails extra risk of pollution.

**Key words:** mine closure, nonferrous metallurgy slag, migration of chemicals, backfill mixture stability, environmental safety.

**Acknowledgements:** The studies were supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 20-45-660014 Analysis of Patterns in Migration and Accumulation of Heavy Metals in Natural Systems Exposed to Anthropogenic Load Generated by Mining and Metallurgy toward Efficient Reclamation Methods, and by the Government of the Sverdlovsk Region within the scope of the State Contract, Topic No. AAAA-A19-119020790025-4 Methods to Take into Account Transition Processes in Mining Deep-Seated Mineral Deposits of Complex Structure.

**For citation:** Antoninova N. Yu., Shubina L. A., Sobenin A. V., Usmanov A. I. Assessment of possible ecosystem degradation during mine closure using mining and metallurgical waste. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):193–201. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_193.

---

### Введение

Исследования по применению отходов металлургического производства и горелых пород при получении строительных материалов для заполнения пустот в недрах ведутся с конца 20 века. В российской практике горных работ применяется твердеющая закладка на основе портландцемента, гранулированных шлаков черной металлургии [1, 2], ведутся научные исследования и промышленные испытания использования хвостов обогащения, шлаков и шламов цветной металлургии. Анализ зарубежного опыта показывает, что для изготовления закладочных смесей

кроме цементов широко используются золы и шлаки теплоэнергетических станций, высокоосновные отходы черной металлургии, нефелиновые шламы, зола утилизации твердых коммунальных отходов и т. п. [3–7].

Практические исследования последних лет расширили диапазон вводимых компонентов закладочных смесей, широко используются различные виды отходов металлургии, ранее складирующиеся в отвалы [8]. Использование при закладочных работах цементов, даже низких марок, неизбежно приводит к повышению себестоимости работ, что стимулирует разработку составов

с применением материалов из отходов производства, обладающих вяжущими свойствами. Одной из основных проблем применения монолитных закладок является достижение необходимой прочности искусственного массива (до 7,0 МПа). [9, 10]. Одновременно отмечается необходимость дополнительных мер по предотвращению миграции растворимых форм токсических веществ в подземные воды [11].

Кроме того, в соответствии с межгосударственными стандартами ГОСТ 17.5.1.01 – 83 «Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения» и ГОСТ 17.5.1.03 – 86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель» для рекультивации карьерных выемок могут использоваться только вскрышные и вмещающие породы, не содержащие радиоактивные элементы и токсичные соединения в концентрациях, опасных для жизни человека и животных. Использование для ликвидации искусственно созданных полостей отходов производства и потребления возможно при условии, что они не содержат вредные вещества, и при этом будет обеспечено отсутствие негативного воздействия на окружающую среду.

Общие требования, предъявляемые к закладочным материалам [12], следующие:

- возможность создания устойчивого и плотного массива с минимальной усадкой;
- надёжность и безопасность транспортирования;
- устойчивость к самовозгоранию (содержание горючих примесей не должно превышать 20 %, сернистых соединений – 5–8 %);
- минимальная слеживаемость и смерзаемость при хранении на складах;
- невысокая стоимость (в связи с этим ориентируются на местные

закладочные материалы, доставка которых не требует больших транспортных затрат).

Имеется достаточное количество теоретических и лабораторных исследований по извлечению отдельных компонентов из шлаков переработки никелевых руд.

По минералогическому составу шлаки содержат специфические минералы, характерные для ультраосновных и основных пород, поэтому достаточно давно исследуется возможность применения шлаков никелевых производств (Режникель, Уфалейникель, Норникель) в качестве добавки к закладочным смесям [15, 16].

Одним из последних является испытание образцов из шлако-цементно-хвостовой смеси с добавлением цемента. Испытания показали возможность стабильного по крепости состава при расходе цемента более 150 кг на 600 кг шлака никелевого завода (молотого до крупности 600 мкм), 800 кг классифицированных хвостов и 450 л воды. При добавлении менее 150 кг цемента исследованные образцы закладки показали нестабильность в наборе прочности (часть из них деформировались или разваливались в период 120–180 сут) [17].

Однако все технические решения, предлагаемые научными исследованиями, не учитывают опасность влияния таких закладочных смесей на окружающую среду, в частности на подземные воды.

К примеру, несмотря на то, что отходы предприятия «СЕВЕРНИКЕЛЬ» Кольской ГМК дочернего предприятия ПАО ГМК «Норильский никель» в Мурманской области относятся к 4-му классу опасности, т. е. являются практически инертными, исследования их влияния доказывают необходимость повышения класса опасности отходов вследствие эрозии и гипергенных процессов, кото-

рые вызывают загрязнения вод токсичными металлами и резкое понижение уровня pH.

*Цель исследования:* анализ возможности выноса потенциальных загрязняющих компонентов (Na, Mg, Ca, Fe, Co, Ni, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, Cl) при взаимодействии с водной средой в случае использования техногенных материалов в качестве закладочных материалов в районе со сложной экологической ситуацией.

Перечень определяемых веществ составлен с учетом оценки миграционной активности (легкоподвижности) наиболее токсичных элементов в существующих территориальных гидрогеологических условиях (при высоком водонасыщении щебнистых техногенных и подстилающих пород, представленных галечными грунтами), а также на основании многолетних исследований согласно представленным отчетам по программе мониторинга.

Исходные данные: Водовмещающие породы участка работ сложены из четвертичных отложений и коренных пород. Значительный, до 11 м, массив техногенных отложений на территории представлен водонасыщенным щебенистым грунтом магматических пород с незначительным включением суглинков и песков. Водоносный горизонт приурочен к насыпным, галечниковым и гравийным грунтам. Подземные воды получают питание в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и загрязненных подотвальных вод, в значительной мере способствующих подъему уровня подземных вод. Питание водоносного горизонта осуществляется в основном техногенными потоками, способствующими повышению уровня подземных вод.

Шлаки от плавки окисленных никелевых руд по химическому составу

отвечают поликомпонентной силикатной системе CaO-MgO-FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> с небольшими количествами TiO<sub>2</sub>, MnO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, S, Cu, Ni, Co, составляющими в **сумме** до 2,5 %. Шлаки относятся к группе пироксенов и отличаются мономинеральностью (до 90 % — диопсин), промежутки между которыми заполнены стеклом. Включения сульфидов в гранулированном шлаке текущего производства распределяются неравномерно. Несмотря на то что в составе отвальных шлаков доминирует двуокись кремния и окись железа, примеси, способные при определенных обстоятельствах к миграции составляют: S — до 8 %, Cr — 0,4 %, Ni — 0,1 %, Cu — 0,2 %, Co — 0,05 %, в поверхностном слое почвы в ряде районов количество Ni достигает 2,2 %, Cu — 1,1 %, Co — 0,1 %? что превышает фоновый уровень в несколько сотен раз [13, 14].

Таким образом, складирование отходов предприятия ОАО «Североникель» ведет к возникновению на прилегающих территориях неблагоприятных экологических ситуаций. Согласно предыдущим оценкам происходит формирование кислых природных и дренажных вод и, соответственно, лито- и гидрогеохимических ореолов загрязнения с крайне низкими значениями показателя pH [18].

Для оценки опасных для окружающей среды свойств материалов, которые могут быть использованы в целях закладки подземных выработок были отобраны (в соответствии с ГОСТ 28192—89 Отходы цветных металлов и сплавов. Методы отбора, подготовки проб и методы испытаний) пробы техногенного субстрата на объекте размещения отходов (ОРО) Никелевого завода, где размещены шлаки, съёмы и пыль от шлаков при производстве цветных металлов из медно-нике-

левых сульфидных руд полуострова Таймыр (Шл-2) и на ОРО ГГС Никелевого завода, где размещены золошлаки от сжигания углей при производстве генераторного газа (Шл-1). Ввиду закрытия Никелевого завода размещение отходов на данном объекте не осуществляется с III квартала 2016 г., ОРО не эксплуатируются.

В связи с тем, что использование в целях ликвидации горных выработок на экологически неблагоприятной территории, материалов, способных привести дополнительное обогащение водных сред рядом компонентов, является недопустимым, в лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН был поставлен эксперимент по анализу загрязнения водной среды при использовании шлаков в качестве материала, для ликвидации техногенного объекта.

Было исследовано взаимодействие образцов шлака ЗП Филиала ПАО ГМК

«Норильский никель» с водной средой. Образцы шлака навеской равной 100 г были помещены в дистиллированную воду объемом 100 мл на 24 ч, 96 ч, 192 ч, 288 ч, 360 ч и 432 ч соответственно. Выбор анализируемых компонентов обусловлен потенциальной водной активностью элементов, предложенной Б. Б. Полюновым.

Полученные в результате водные вытяжки были отфильтрованы с помощью фильтров «красная лента» и проанализированы в сертифицированной лаборатории ИПЭ УрО РАН. Результаты исследования микро- и макроэлементов в водных вытяжках, полученных путём замачивания в дистиллированной воде материалов, возможных к использованию в целях ликвидации вентиляционных подземных каналов, приведены в табл. 1.

Динамику миграции элементов в водных растворах иллюстрируют рис. 1, 2.

Таблица 1

*Результаты химического анализа водных вытяжек исследуемых компонентов (мг\л)  
Results of chemical analysis of water extracts of the studied components (mg / l)*

Индекс вытяжки (по часам)	Na	Mg	Ca	Fe	Co	Ni
Шл-1 – 1	5,87	24,2	114,0	0,99	0,00085	0,047
Шл-1 – 2	6,60	26,5	132,3	1,14	0,0012	0,065
Шл-1 – 3	9,24	39,0	164,0	1,23	0,0011	0,072
Шл-1 – 4	7,59	33,9	186,0	1,42	0,0011	0,081
Шл-1 – 5	8,42	37,4	192,0	1,41	0,0022	0,078
Шл-1 – 6	9,46	45,1	268,0	1,84	0,0019	0,12
Шл-2 – 1	2,55	8,66	8,5	0,18	0,0016	0,026
Шл-2 – 2	3,22	8,76	9,70	0,089	0,0025	0,036
Шл-2 – 3	3,08	7,31	10,30	0,093	0,0024	0,033
Шл-2 – 4	2,80	6,72	10,30	0,085	0,0025	0,032
Шл-2 – 5	3,30	6,90	10,8	0,11	0,0023	0,032
Шл-2 – 6	2,72	6,33	10,4	0,15	0,0018	0,025

\*Шл-1 – пробы шлаков, отобранные на шлакоотвале ГГС Никелевого завода, где размещены золошлаки от сжигания углей при производстве генераторного газа; Шл-2 – пробы шлаков, отобранных на шлакоотвале Никелевого завода, где размещены шлаки, съёмы и пыль от шлаков при производстве цветных металлов из медно-никелевых сульфидных руд.

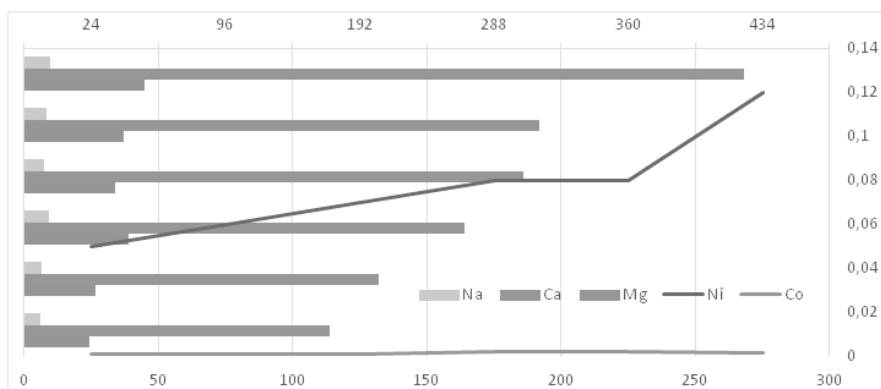


Рис. 1. Изменение содержания исследуемых элементов в образце проб (черный – угольный – шлак) при взаимодействии с водной средой  
 Fig. 1. Changes in the content of the elements under study in a sample of samples (black-coal-slag) when interacting with an aqueous medium

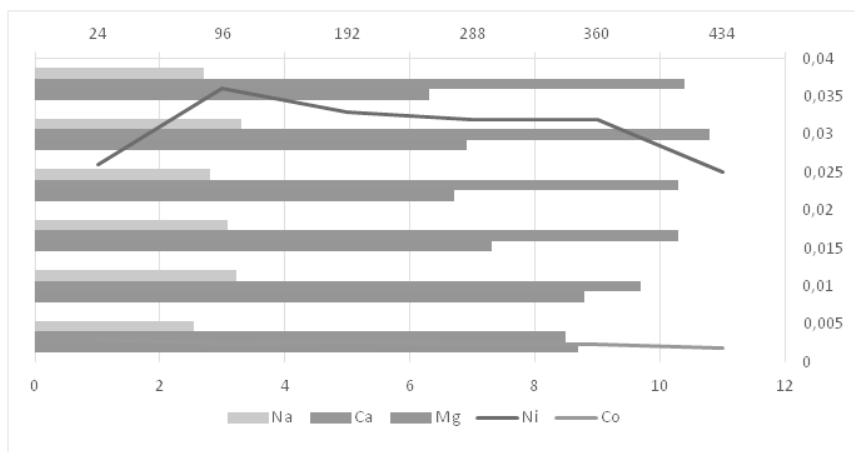


Рис. 2. Изменение содержание исследуемых элементов в образце (никелевый шлак) при взаимодействии с водной средой  
 Fig. 2. Changes in the content of the studied elements in the sample (nickel slag) when interacting with an aqueous medium

Таблица 2

Результаты химического анализа водных вытяжек исследуемых компонентов, мг/кг  
 Results of chemical analysis of water extracts of the studied components, mg / kg

№ пробы	Дата исследования	NH <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
Шл-1	02.10.2020 г.	0,99	17,8	4580	214
Шл-2	05.10.2020 г.	1,02	8,9	30,9	122

Кроме того, были проанализированы и водные вытяжки по SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, Cl, HCO<sub>3</sub> (табл. 2).

По результатам экспериментальных исследований в пробах, представлен-

ных шлаками, отобранных на шлакоотвале ГЭС Никелевого завода, где размещены золошлаки от сжигания углей при производстве генераторного газа, фиксируются повышенные

концентрации сульфат-иона, никеля и железа. В пробах, представленных шлаками, отобранных на шлакоотвале Никелевого завода, где размещены шлаки, съёмы и пыль от шлаков, при производстве цветных металлов из медно-никелевых сульфидных руд фиксируются повышенные концентрации никеля.

### **Выводы**

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют

сделать вывод о нецелесообразности использования местного шлакового материала при ликвидации горных выработок в районе со значительной техногенной нагрузкой, поскольку процесс миграции ряда компонентов их техногенного сырья повлечет за собой усиление негативного воздействия на окружающую среду при проведении работ, в том числе риск превышения ПДК для вод хозяйственно-питьевого использования в зоне влияния ликвидируемых объектов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Агеева М. С., Шаповалов С. М., Усенко М. В.* Закладочные смеси на основе техногенного сырья курской магнитной аномалии // Научные и инженерные проблемы строительной-технологической утилизации техногенных отходов. — 2014. — С. 50–53.
2. *Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А.* Использование техногенных отходов в природоохранных целях на предприятиях ГМК // Экология и промышленность России. — 2015. — Т. 19. — №. 10. — С. 38–41.
3. *Runtti H. et al.* How to tackle the stringent sulfate removal requirements in mine water treatment— A review of potential methods // Environmental research. — 2018. — Т. 167. — P. 207–222.
4. *Bian Z. et al.* The challenges of reusing mining and mineral-processing wastes // Science. — 2012. — Т. 337. — №. 6095. — P. 702–703.
5. *Nagaraj H. B., Shreyasvi C.* Compressed stabilized earth blocks using iron mine spoil waste—An explorative study // Procedia engineering. — 2017. — Т. 180. — С. 1203–1212.
6. *Gardner L. J. et al.* Characterisation of magnesium potassium phosphate cements blended with fly ash and ground granulated blast furnace slag // Cement and Concrete Research. — 2015. — Т. 74. — С. 78–87.
7. *Skrzypkowski K., Korzeniowski W., Poborska-Młynarska K.* Binding capability of ashes and dusts from municipal solid waste incineration with salt brine and geotechnical parameters of the cemented samples // Archives of Mining Sciences. — 2018. — Т. 63. — №. 4.
8. *Lottermoser B. G.* Recycling, reuse and rehabilitation of mine wastes // Elements. — 2011. — Т. 7. — №. 6. — p. 405–410.
9. Методические указания по определению нормативной прочности твердеющей закладки и оценке прочностных свойств искусственных массивов. — Л. : ВНИМИ, 1975. — 42 с.
10. *Конохов В. П. и др.* Методические рекомендации по контролю качества закладочных смесей. — 1990.
11. *Drechsler M., Graham A.* Geopolymers—an innovative materials technology bringing resource sustainability to construction and mining industries // Proceedings of the IQA Annual Conference. — 2005. — p. 12–15.
12. Закладочные материалы // Горная энциклопедия в 5 т. /гл.редактор Е. А. Козловский. — Москва: Советские энциклопедии, 1986 — т. 2 — с. 337–338
13. *Пашкевич М. А., Паршина М. В.* Оценка негативного воздействия кислых вод на компоненты природной среды в зоне воздействия ОАО «Североникель» // Записки Горного института. — 2005. — Т. 165.

14. Серга Э. Н. Тема экологии в СМИ Мурманской области и Таймыра (по материалам открытых и официальных источников и корпоративных СМИ «Норникеля» // *Applied science of today: problems and new approaches*. — 2019. — С. 114–119.

15. Овчаренко Г. И., Плотникова Л. Г. Сырьевая смесь для получения портландцементного клинкера. — 1989.

16. Синицын Д. Е. Цементы с использованием шлаков окисленных никелевых руд ОАО «Уфалейникель» в качестве активной минеральной добавки // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура*. — 2008. — №. 25 (125).

17. Айнбиндер И. И. и др. Изучение причин разрушения образцов закладочного камня сформированного из смесей на основе сульфидных хвостов обогащения // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. — 2010. — №. 1.

18. Лукашов А. А. Экологические проблемы добычи и переработки сульфидных руд на Российском Севере // *Горный журнал*. 1997. № 2. **ГИАБ**

## REFERENCES

1. Ageeva M. S., Shapovalov S. M., Usenko M. V. Filling mixtures based on technogenic raw materials of the Kursk magnetic anomaly. *Nauchnye i inzhenernye problemy stroitel'no-technologicheskoy utilizacii tehnogennyh othodov*. 2014. pp. 50–53. [In Russ]

2. Antoninova N. Ju., Shubina L. A. The use of technogenic waste for environmental purposes at MMC enterprises. *Jekologija i promyshlennost' Rossii*. 2015. T. 19. no. 10. pp. 38–41. [In Russ]

3. Runtti H. et al. How to tackle the stringent sulfate removal requirements in mine water treatment—A review of potential methods. *Environmental research*. 2018. T. 167. pp. 207–222.

4. Bian Z. et al. The challenges of reusing mining and mineral-processing wastes. *Science*. 2012. T. 337. no. 6095. pp. 702–703.

5. Nagaraj H. B., Shreyasvi C. Compressed stabilized earth blocks using iron mine spoil waste—An explorative study. *Procedia engineering*. 2017. T. 180. pp. 1203–1212.

6. Gardner L. J. et al. Characterisation of magnesium potassium phosphate cements blended with fly ash and ground granulated blast furnace slag. *Cement and Concrete Research*. 2015. T. 74. pp. 78–87.

7. Skrzypkowski K., Korzeniowski W., Poborska-Młynarska K. Binding capability of ashes and dusts from municipal solid waste incineration with salt brine and geotechnical parameters of the cemented samples. *Archives of Mining Sciences*. 2018. T. 63. no. 4.

8. Lottermoser B. G. Recycling, reuse and rehabilitation of mine wastes. *Elements*. 2011. T. 7. no. 6. pp. 405–410.

9. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu normativnoi prochnosti tverdeyushchei zakladki i otsenke prochnostnykh svoystv iskusstvennykh massivov* [Methodological guidelines for determining the normative strength of a hardening bookmark and evaluating the strength properties of artificial massifs]. Leningrad: VNIMI, 1975. 42 p. [In Russ]

10. Konokhov V. P. et al. *Metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu kachestva zakladochnykh smesei* [Methodological recommendations for quality control of filling mixes]. 1990. [In Russ]

11. Drechsler M., Graham A. Geopolymers—an innovative materials technology bringing resource sustainability to construction and mining industries. *Proceedings of the IQA Annual Conference*. 2005. pp. 12–15.

12. *Zakladochnye materialy* [Bookmark materials]. *Gornaya entsiklopediya v 5 t. gl. redaktor E. A. Kozlovskii*. Moscow: Sovetskie entsiklopedii, 1986. T. 2. pp. 337–338 [In Russ]



13. Pashkevich M. A., Parshina M. V. Assessment of the negative impact of acidic waters on the components of the natural environment in the impact zone of Severonikel OJSC. *Zapiski Gornogo instituta*. 2005. T. 165. [In Russ]

14. Serga E. N. *Tema ekologii v SMI Murmanskoi oblasti i Taimyra (po materialam otkrytykh i ofitsial'nykh istochnikov i korporativnykh SMI «Nornikelya»* [Theme of ecology in Mass media of the Murmansk Region and Taimyr (based on materials from open and official sources and corporate media of Norilsk Nickel)]. Applied science of today: problems and new approaches. 2019. pp. 114–119. [In Russ]

15. Ovcharenko G. I., Plotnikova L. G. *Syr'evaya smes' dlya polucheniya portlandsementnogo klinkera* [Raw mix for production of Portland cement clinker]. 1989. [In Russ]

16. Sinitsyn D. E. Cements using slags of oxidized nickel ores of JSC «Ufaleinikel» as an active mineral additive. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2008. no. 25 (125). [In Russ]

17. Ajnbinder I. I. et al. Study of the causes of destruction of samples of the foundation stone formed from mixtures based on sulfide tailings of enrichment. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2010. no. 1. [In Russ]

18. Lukashov A. A. Environmental problems of mining and processing of sulfide ores on the Russian North. *Gornyj zhurnal*. 1997. no. 2. [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Антонинова Наталья Юрьевна*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, заведующая лабораторией экологии горного производства, natal78@list.ru;

*Собенин Артем Вячеславович*<sup>1</sup> — младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства;

*Шубина Любовь Андреевна*<sup>1</sup> — научный сотрудник лаборатории экологии горного производства;

*Усманов Альберт Исмаилович*<sup>1</sup> — младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства;

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Antoninova N. Yu.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Mining Ecology Laboratory, natal78@list.ru;

*Sobenin A. V.*<sup>1</sup>, Junior Researcher at the Mining Ecology Laboratory, arsob@yandex.ru;

*Shubina L. A.*<sup>1</sup>, Junior Researcher at the Mining Ecology Laboratory, las714@mail.ru;

*Usmanov A. I.*<sup>1</sup>, Junior Researcher at the Mining Ecology Laboratory;

<sup>1</sup> Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 21.12.2020; получена после рецензии 29.04.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 21.12.2020; received after the review 29.04.2021; accepted for printing 10.04.2021.

