

РАЗРАБОТКА БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ, РАСШИРЯЮЩАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГОРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ

А.Н. Хатькова¹, Л.В. Шумилова¹, С.А. Патеюк¹

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, e-mail: shumilovalv@mail.ru

Аннотация: Одно из главных направлений горно-экологической концепции – совершенствование системы управления отходами, образованными в процессе получения продукции. Крупные предприятия к 01.01.2025 обязаны получить комплексные экологические разрешения, поэтому разработка технологий переработки техногенных отходов, позволяющих рационально использовать природные ресурсы, является актуальной научной задачей. Объект исследования – техногенное минеральное сырье (борогипс) производства борной кислоты из дацитовых руд, содержащее гипс, ангидрит, кремний (ООО «Дальнегорский ГОК», Приморский край). Цель исследования – разработка технологии переработки отходов производства борной кислоты из дацитовых руд, позволяющей комплексно использовать минеральное сырье. Представлены результаты исследования гранулометрического, элементного, химического, минерального составов техногенного сырья, изучен вещественный состав техногенных отходов с использованием современного инструментария, что позволяет сделать вывод о технологической возможности извлечения гипса, ангидрита и кремния в готовую продукцию, востребованную в стройиндустрии и для производства связующих веществ. Разработана технологическая схема переработки борогипса, включающая одну операцию обратной флотации с использованием для данного типа сырья нового реагента-собирающего (олеилсаркозинат натрия, $C_{17}H_{33}CON(CH_3)CH_2COONa$). Установлены рациональные режимные параметры обогащения, позволяющие исключить образование техногенных отходов и получить два готовых продукта (гипсовый и кремниевый). Показатель извлечения кремния увеличен на 30,46%. Сделан сравнительный анализ нового технологического решения с вариантом, предложенным действующим предприятием (ООО «Дальнегорский ГОК»), который подтвердил, что коэффициент комплексности использования минерального сырья увеличен в 1,52 раза (с 46,25 до 70,36%).

Ключевые слова: горно-экологическая концепция, техногенное сырье, борогипс, обратная флотация, олеилсаркозинат натрия, режимные параметры, гипс, ангидрит, диоксид кремния, коэффициент комплексности использования минерального сырья.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках выполнения гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований в 2022-2023 гг., соглашение номер 22-17-00040.

Для цитирования: Хатькова А. Н., Шумилова Л. В., Патеюк С. А. Разработка безотходной технологии переработки минерального сырья, расширяющая функциональные возможности горно-экологической концепции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 10. – С. 51–61. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_10_0_51.

Wasteless mineral processing technology to expand functional capabilities of eco mining concept

A.N. Khatkova¹, L.V. Shumilova¹, S.A. Pateiuk¹

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia, e-mail: shumilovalv@mail.ru

Abstract: One of the major trends in the eco mining concept is the improved waste management. Large mining companies are obliged to obtain ecological permits to work by 1 January 2025, and development of a mining waste processing technology toward rational natural wealth management is a relevant scientific problem therefore. The subject of the research is the manmade material (borogypsum) after production of boric acid from datolite, containing gypsum, anhydrite and silicon (Dalnegorsky GOK, Primorye). The research aims to develop a boric acid production waste processing technology to ensure multipurpose utilization of the mineral raw material. The grain-size, element, chemistry and mineralogy analyses of the waste are presented, and the material constitution of the waste is examined using modern tools, which allows drawing a conclusion on feasibility of extraction of gypsum, anhydrite and silicon as end products for manufacture of binders and for the construction industry. The developed borogypsum processing flowchart includes a reverse flotation circuit with a new collecting agent (sodium oleoyl sarcosinate, $C_{17}H_{35}CON(CH_3)CH_2COONa$). The effective operating conditions are determined for processing without generation of manmade waste and with production of two final products (gypsum and silicon). Extraction of silicon grows by 30.46%. The comparative analysis of the novel engineering solution with the scenario proposed by Dalnegorsky GOK proves that the multipurpose utilization factor of the mineral raw material has increased by 1.52 times, from 46.25% to 70.36%.

Key words: eco mining concept, manmade raw material, borogypsum, reverse flotation, sodium oleoyl sarcosinate, operating conditions, gypsum, anhydrite, silicon dioxide, multipurpose mineral utilization factor.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation in the framework of the basic and exploratory research grant for 2022–2023, Agreement No. 22-17-00040.

For citation: Khatkova A. N., Shumilova L. V., Pateiuk S. A. Wasteless mineral processing technology to expand functional capabilities of eco mining concept. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(10):51-61. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_10_0_51.

Введение

За последние десятилетия наметилась тенденция резкого опережающего роста (на порядок выше) потребления природных ресурсов по сравнению с темпами роста населения. Истощение запасов минеральных ресурсов — одна из сторон современной проблемы охраны окружающей среды. Экономическое развитие страны невозможно без изме-

нений, происходящих в окружающей природной среде.

Одна из важных научных задач, которую необходимо решить при реализации горно-экологической концепции — совершенствование системы управления рациональным ресурсопользованием на основе учета принципов организации горного производства (рациональность, цикличность, экологичность), базиру-

ющихся на четырех законах Б. Коммонера: первый — «Все связано со всем — закон внутреннего динамического равновесия»; второй — «Все должно куда-то деваться — закон развития природной системы за счет окружающей ее среды»; третий — «Природа «знает» лучше»; четвертый — «Ничто не дается даром» [21].

Актуальность исследований

При оценке деятельности предприятия не учитывают достигнутые результаты по рациональному использованию природных богатств, обращению с отходами. Предприятия не несут должной экономической ответственности за потери полезных ископаемых, которые также могут возникать из-за погрешности отбора проб, связанных с большим их количеством, не согласованным с расчетными данными [1 — 5].

Проведен анализ практики работы действующих предприятий РФ, перерабатывающих неметаллические полезные ископаемые, и установлено, что практически 100% горных предприятий складировать хвосты в отвалы. Однако следует подчеркнуть, что после незатратной переработки отходы могли бы быть потенциально востребованы в строительной и дорожной отраслях промышленности [6 — 11]. Результаты анализа позволили сделать вывод, что основными причинами, сдерживающими использование отходов, являются отсутствие рентабельных технологий (60%) и непроработанность экономических рычагов со стороны государства (40%). Ряд сдерживающих факторов обусловлены техническими (22%), организационными (25%), общественными (13%) и экономическими факторами (40%) [12 — 15].

За последнее время, в связи с изменением правовых нормативных документов по обращению с отходами и организацией надзорной деятельности, ситуация стала меняться в позитивном

направлении [16 — 19], так как на государственном уровне создаются объективные предпосылки, расширяющие функциональные возможности горно-экологической концепции [ИТС 47-2017 «Система обработки (обращения) со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности» (введен 01.08.2018); Паспорт Национального проекта «Экология», утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. № 16; Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» и др.].

Крупные предприятия, в соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», обязаны получить к 01.01.2025 комплексные экологические разрешения (КЭР) в соответствующих уполномоченных федеральных органах исполнительной власти (Росприроднадзор) для осуществления хозяйственной и (или) иной деятельности на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [Постановление Правительства РФ от 13.02.2019 № 143 «О порядке выдачи комплексных экологических разрешений, их переоформления, пересмотра, внесения в них изменений, а также отзыва»]. Предварительно в органах по сертификации на основе материалов внешнего аудита (технологии и показатели) необходимо получить сертификат соответствия. Далее информация по комплексному экологическому разрешению предприятия вносится в базу данных реестров КЭР. При последующей эксплуатации горное предприятие обязано контролировать загрязнения атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы выбросами и сбросами и обеспечивать показателем

тели, как минимум, на регламентированном уровне. В противном случае налагается штраф, доходящий до 100-кратного размера ущерба, либо у предприятия будут отозваны лицензия или КЭР.

Таким образом, разработка технологии, позволяющей рационально использовать природные ресурсы, является не только государственной, но и актуальной научной задачей.

Объект исследования — техногенное минеральное сырье (борогипс) производства борной кислоты из датолитовых руд, содержащее гипс, ангидрит, кремний (ООО «Дальнегорский ГОК», Приморский край).

Цель исследования — разработка технологии переработки отходов производства борной кислоты из датолитовых руд, позволяющей комплексно использовать минеральное сырье.

Задачи исследования:

- изучить вещественный состав техногенных отходов горноперерабатывающего производства;
- разработать технологию комплексного использования минерального сырья;
- рассчитать коэффициент комплексности использования минерального сырья;
- сделать сравнительный анализ нового технологического решения с прототипом (ООО «Дальнегорский ГОК»).

Результаты и обсуждение результатов

Для проведения экспериментальных исследований применялось сертифицированное оборудование, использовались современные методы исследований, применялись достоверные и аттестованные методики на базе аналитического испытательного центра Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского»; использовались современные приборы («Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Optima-4300 DV» («Perkin Elmer», США); весы «BP-221S» («Сартогосм», Россия); «Спектрометр ПЭ-5400В» («ПромЭкоЛаб», Россия); спектрофотометр КФК-3-1 «ЗОМЗ» («ЗОМЗ», Россия); рентгеновский дифрактометр ДРОН-3.0 с расшифровкой фазового состава проб посредством программы поиска фаз (Diffracplus, PDF-2, 2007 г.); «Рентгеновский дифрактометр X'Pert PRO MPD» (PANalytical, Нидерланды); аналитический комплекс на растворе электронном микроскопе (РЭМ) JSM-6510LV JEOL (Япония) с системой микроанализа — энергодисперсным рентгеновским спектрометром модели INCA Energy 350, Oxford Instruments (Великобритания); флотационные машины

Таблица 1

Гранулометрический состав техногенного сырья *Grain-size composition of manmade raw material*

Класс крупности частиц, мм	Выход, %	Содержание SiO ₂ , %	Извлечение SiO ₂ , %
+0,071	54,93	25,64	43,15
+0,064 – 0,071	3,54	25,82	3,76
+0,032 – 0,064	8,59	25,63	8,86
+0,016 – 0,032	17,51	27,13	20,45
+0,008 – 0,016	12,62	32,13	19,84
–0,008+0.00	2,81	42,3	3,94
Исходный	100	27,19	100

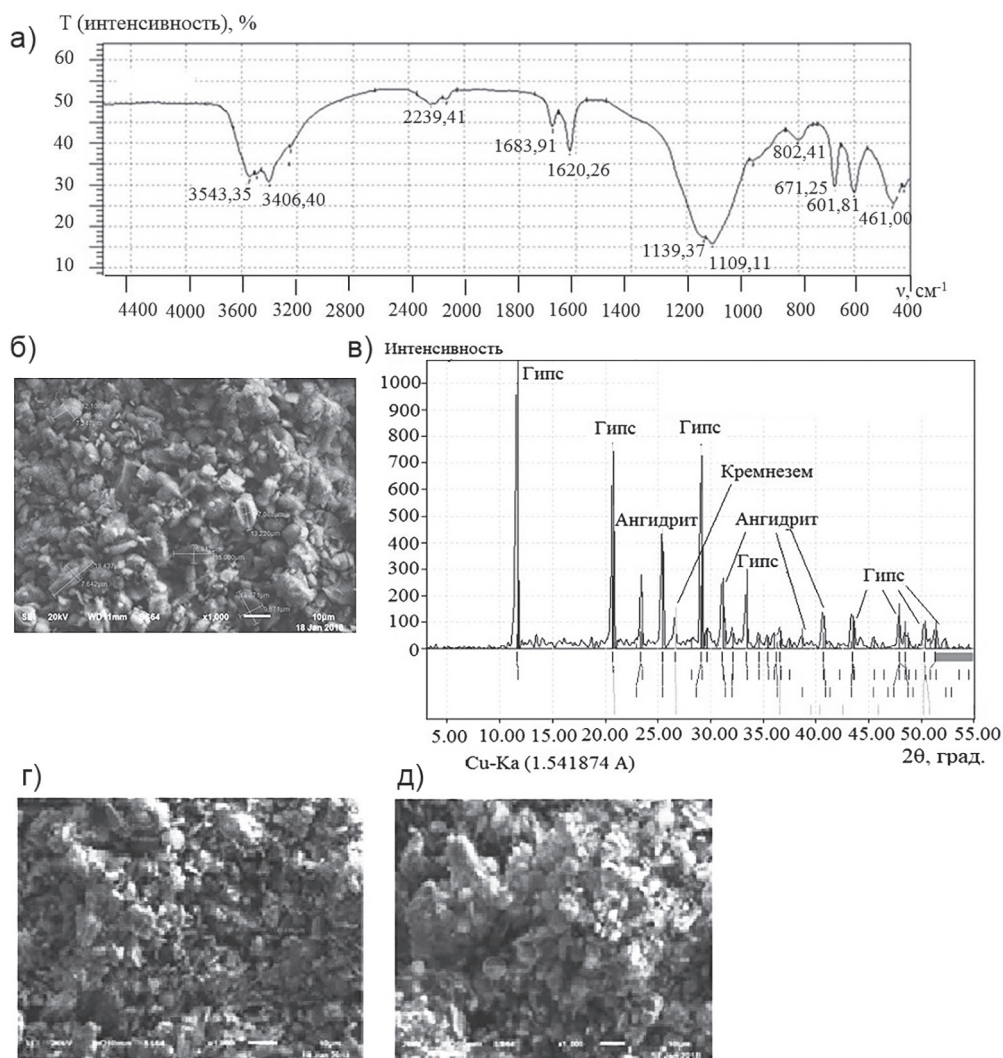


Рис. 1. Результаты изучения вещественного состава техногенного сырья: ИК-спектр (а); микрофотография РЭМ (б); минеральный состав по результатам РФА (в); микрофотография РЭМ пенного продукта (г); микрофотография РЭМ камерного продукта (д)

Fig. 1. Resultant material constitution of manmade raw material: IR spectrum (a); SEM image (b); mineral composition from X-ray phase analysis (v); SEM image of froth product (g); SEM image of middlings (d)

(«Механобртехника», Россия) «ФМЛ0,3», флотомашины ФМЛ-25 и 94 ФЛ); проводилась экспериментальная проверка в лабораторных и полупромышленных условиях.

Результаты изучения гранулометрического, элементного, химического, минерального составов техногенного сырья представлены в табл. 1, 2, 3, 4, соответ-

ственно. Результаты изучения вещественного состава с использованием современного инструментария представлены на рис. 1.

Авторами для переработки техногенных отходов предложено использовать одну операцию обратной флотации при установленных рациональных режимных параметрах обогащения (табл. 5) с ис-

Таблица 2

Элементный состав техногенного сырья
Composition of elements in manmade raw material

Элементный состав, %												
Si	S	Ca	O	B	Fe	Al	Mg	Mn	Na	K	Ti	H
9,06	7,88	12,60	61,14	0,42	1,23	0,26	0,14	0,12	0,15	0,06	0,01	6,93

Таблица 3

Химический состав техногенного сырья
Chemical composition of manmade raw material

Химический состав, %											
SiO ₂	CaO	SO ₃	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	H ₂ O
27,19	25,0	31,53	1,06	3,08	0,65	0,28	0,25	0,23	0,090	0,040	10,40

Таблица 4

Минеральный состав техногенного сырья
Mineral composition of manmade raw material

Минерал	Теоретическая формула	Массовая доля, %
Гипс	CaSO ₄ × 2H ₂ O	47
Ангидрит	CaSO ₄	14
Геденбергит	CaFeSi ₂ O ₆	1
Волластонит	CaSiO ₃	4
Гранат	Ca ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₂ (O) ₄	3
Сумма кристаллических фаз		69
Аморфный диоксид кремния		27,19
Неразложившиеся минералы		3,81

пользованием для данного типа сырья нового реагента-собиранителя (олеилсаркозинат натрия, C₁₇H₃₃CON(CH₃)CH₂COONa) [20].

Это позволило исключить образование техногенных отходов при переработке борогипса и получить два готовых продукта (гипсовый и кремниевый) (рис. 2). Лабораторные исследования позволили установить, что извлечение SiO₂ в кремниевый концентрат увеличено на 30,46% (с 33,57% по 64,03%) по сравнению с прототипом. Технология прототипа включала одну основную флотацию и одну контрольную. Реагентный режим и технологические параметры приведены в табл. 5.

Объем производства борной кислоты на ООО «Дальнегорский ГОК» по итогам января–марта 2021 г. составил 22,5 тыс. т. Хвосты обогащения, получаемые на действующей обогатительной фабрике, относятся к 5 классу опасности, поэтому предприятие может осуществлять кооперацию с дорожной промышленностью и стройиндустрией, что позволит сформировать имидж социально и экологически ответственной организации.

Разработанное новое запатентованное технологическое решение апробировано на полупромышленной установке Забайкальского государственного университета.

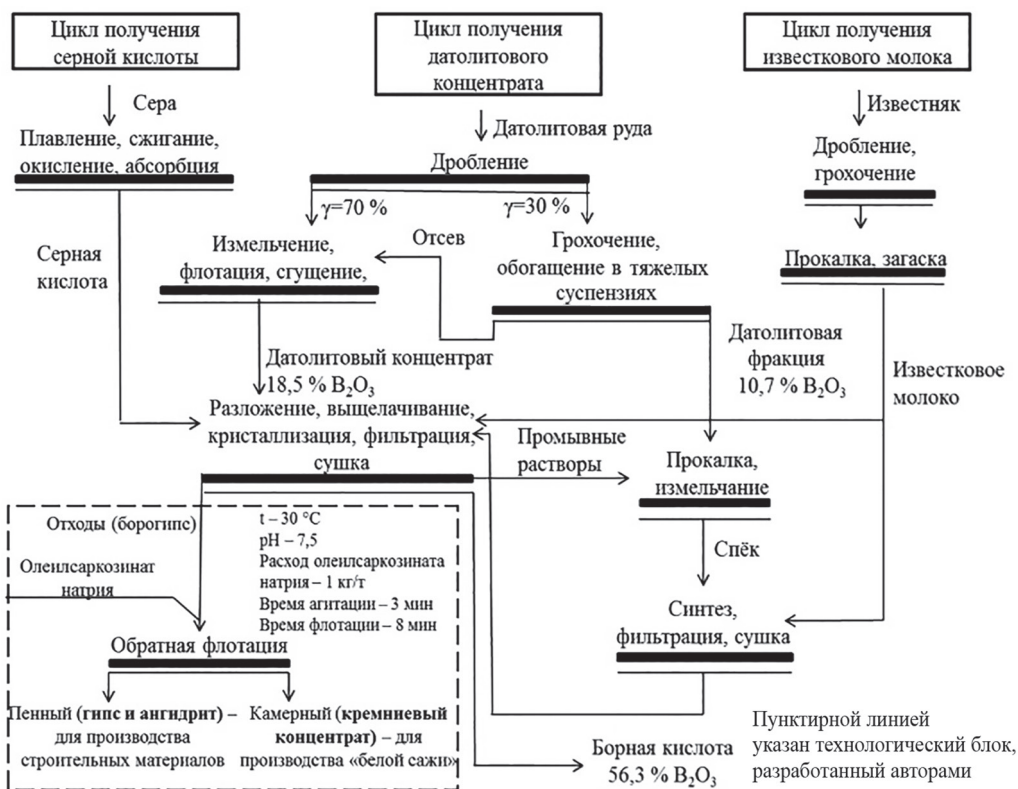


Рис. 2. Комбинированная технология рационального использования природных ресурсов

Fig. 2. Integrated technology of rational use of natural resources

Таблица 5

Сравнительный анализ нового технологического решения с прототипом
Comparative analysis of new and primary standard engineering solutions

Показатель	Технология, предлагаемая ООО «Дальнегорский ГОК» (прототип)	Технология, разработанная авторами
Флотационный реагент	жидкое мыло	перластан ON-60
Расход реагента, кг/т	1,5 кг/т	1 кг/т
Регулятор среды	сода	не требуется
Расход регулятора среды, кг/т	7–10	–
Температура, $^\circ\text{C}$	40	30
pH	8,5–9,0	7,0–7,5
Время агитации, мин	3	3
Время основной флотации, мин	9	8
Время контрольной флотации	5	нет
Выход кремниевый концентрата, %	15,11	32,50
Извлечение SiO_2 в кремниевый концентрат, %	33,57	64,03

Содержание SiO ₂ в кремниевом концентрате, % (ГОСТ 18307-78)	60,24	53,56
Выход гипсового концентрата, %	—	67,50
Извлечение SO ₃ в гипсовый концентрат, %	—	93,78
Содержание SO ₃ в гипсовом концентрате, % (ГОСТ 4013-82)	—	43,81
Коэффициент комплексности использования минерального сырья, %	46,25	70,36

Экономический эффект (55,36 млн руб. при производственной мощности по сырью 400 тыс. т/год), получаемый при увеличении уровня использования вторичных ресурсов, определяется не только реализацией дополнительной товарной продукции, но и сокращением затрат на размещение отходов производства на 1,77 млн руб./год. Снижение образования отходов при переработке борогипса до нуля позволило уменьшить площадь нарушенных земель (в 1,3 раза, с 950 до 744 га) и негативные экологические последствия на территорию близлежащих населенных пунктов.

Выводы

Результаты изучения вещественного состава техногенных отходов ООО

«Дальнегорский ГОК» позволили сделать вывод о технологической возможности извлечения гипса, ангидрита и кремния в готовую продукцию, востребованную в стройиндустрии и для производства связующих веществ.

Разработана технологическая схема (технологическая линия) флотации отходов производства, позволяющая повысить показатели извлечения на 30,46% на основе применения нового реагента-собирателя олеилсаркозината натрия.

Сделан сравнительный анализ нового технологического решения с прототипом, который показал, что коэффициент комплексности использования минерального сырья повышен в 1,52 раза (с 46,25 до 70,36%) по сравнению с действующим предприятием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николае Илиаш, Эмилия Дунка, Юлиан Оффенберг, Джордж Тешеляну Элементы геоэкологического аудита и учета объектов окружающей среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 3-1. — С. 359–371. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_359.
2. Литвинова Т. Е., Сучков Д. В. Комплексный подход к утилизации техногенных отходов минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-1. — С. 331–348. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_331.
3. Аренс В. Ж., Шумилова Л. В., Фазлуллин М. И., Хчеян Г. Х. Перспективные направления химической и микробиологической переработки минерального сырья цветных и благородных металлов // Металлург. — 2017. — № 9. — С. 82–89.
4. Крупская Л. Т., Мелконян Р. Г., Зверева В. П., Растанина Н. К., Голубев Д. А., Филатова М. Ю. Опасность отходов, накопленных горными предприятиями в Дальневосточном федеральном округе, для окружающей среды и рекомендации по снижению риска экологических катастроф // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 12. — С. 102–112. DOI: 10.25018/0236_1493_2018_12_0_102_112.
5. Козин В. З., Комлев А. С. Комбинированный высокочастотный отбор проб от продуктов обогащения руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5. — С. 142–153. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_142.

6. Li H., Watson J., Zhang Y., Lu H., Liu Z. Environment-enhancing process for algal wastewater treatment, heavy metal control and hydrothermal biofuel production. A critical review // *Bioresource Technology*. 2020, vol. 298, article 122421. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122421.
7. Alam R., Ahmed Z., Howladar M. F. Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet // *Groundwater for Sustainable Development*. 2019, vol. 10, no. 9, article 100311. DOI: 10.1016/j.gsd.2019.100311.
8. Thakare Y. N., Jana A. K. Performance of high density ion exchange resin (INDION225H) for removal of Cu(II) from waste water // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2015, vol. 3, no. 2, pp. 1393 – 1398. DOI: 10.1016/j.jece.2015.01.002.
9. Wang Y., Yu Y., Li H., Shen C. Comparison study of phosphorus adsorption on different waste solids: Fly ash, red mud and ferric – alum water treatment residues // *Journal of Environmental Sciences*. 2016, vol. 50, pp. 79 – 86. DOI: 10.1016/j.jes.2016.04.025.
10. Seredkin M., Zabolotsky A., Jeffress G. In situ recovery, an alternative to conventional methods of mining: exploration, resource estimation, environmental issues, project evaluation and economics // *Ore Geology Reviews*. 2016, vol. 79, pp. 500 – 514. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.06.016.
11. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects // *Hydrometallurgy*. 2015, vol. 157, pp. 306 – 324. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.08.022.
12. Чантурия В. А., Шадрунова И. В., Жилина В. А. и др. Экологически ориентированная переработка горнопромышленных отходов. – М.: Изд-во «Спутник+», 2018. – 199 с.
13. Шпуров И. В., Шкиль В. В., Лазарев А. Б., Саганюк В. Б. Значимость и статус проекта новой классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых РФ // *Недропользование XXI век*. – 2019. – № 2. – С. 62 – 65.
14. Патеюк С. А., Хатькова А. Н., Бурнашова Н. Н. Перспективы Забайкальских недр на борное сырье // *Вестник Забайкальского государственного университета*. – 2016. – № 4(22). – С. 22 – 28.
15. Хатькова А. Н., Никитина Л. Г., Патеюк С. А. Исследование флотуемости борогипса перластаном // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019. – № 11. – С. 160 – 171. DOI: 10.25018/0236_1493_2019_11_0_160_171.
16. 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.
17. Голик В. И., Дмитрак Ю. В., Хадзарагова Е. А., Плиева М. Т. Учет экологических аспектов при оценке влияния тяжелых металлов на здоровье работников горнодобывающих предприятий и населения // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2020. – № 11-1. – С. 106 – 117. DOI: 10.25018/0236_1493_2020_11_0_106_117.
18. Min Zhang, Jinman Wang, Yu Feng Temporal and spatial change of land use in a largescale opencast coal mine area. A complex network approach // *Land Use Policy*. 2019, vol. 86, pp. 375 – 386. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.05.020.
19. Kehui Liu, Liuqun Fan, Yi Li, Zhengming Zhou, Chaoshu Chen, Bin Chen, Fangming Yu Concentrations and health risks of heavy metals in soils and crops around the Pingle manganese (Mn) mine area in Guangxi Province, China // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018, vol. 25, no. 30, pp. 30180 – 30190. DOI: 10.1007/s11356_018_2997_8.
20. Патеюк С. А., Хатькова А. Н., Никитина Л. Г. Способ переработки гипсосодержащих отходов производства борной кислоты; Патент № 2723787 Российская Федерация, МПК В03D 1/02, В03В 9/06. № 2019139135; заявл. 29.11.2019; опубл. 17.06.2020, Бюл. № 17. – 10 с.
21. Раймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – С. 637. **ИВАБ**

REFERENCES

1. Nicolae Ilias, Emilia Duncan, Julian Offenber, George Tescheleanu. Elements of geo-ecological environmental audit and accounting. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3-1, pp. 359–371. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_359.
2. Litvinova T. E., Suchkov D. V. Comprehensive approach to the utilisation of technogenic waste from the mineral resource complex. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-1, pp. 331–348. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_331.
3. Arens V. Zh., Shumilova L. V., Fazlullin M. I., Khcheyan G. Kh. Perspective directions of chemical and microbiological processing of mineral raw materials of non-ferrous and noble metals. *Metallurg.* 2017, no. 9, pp. 82–89. [In Russ].
4. Krupskaya L. T., Melkonyan R. G., Zvereva V. P., Rastanina N. K., Golubev D. A., Filatova M. Yu. Ecological hazard of accumulated mining waste and recommendations on risk reduction in the Far Eastern Federal District. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 12, pp. 102–112. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2018_12_0_102_112.
5. Kozin V. Z., Komlev A. S. Mixed-type high-rate sampling in ore processing. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5, pp. 142–153. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_142.
6. Li H., Watson J., Zhang Y., Lu H., Liu Z. Environment-enhancing process for algal wastewater treatment, heavy metal control and hydrothermal biofuel production. A critical review. *Bioresource Technology.* 2020, vol. 298, article 122421. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122421.
7. Alam R., Ahmed Z., Howladar M. F. Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet. *Groundwater for Sustainable Development.* 2019, vol. 10, no. 9, article 100311. DOI: 10.1016/j.gsd.2019.100311.
8. Thakare Y. N., Jana A. K. Performance of high density ion exchange resin (INDION225H) for removal of Cu(II) from waste water. *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 2015, vol. 3, no. 2, pp. 1393–1398. DOI: 10.1016/j.jece.2015.01.002.
9. Wang Y., Yu Y., Li H., Shen C. Comparison study of phosphorus adsorption on different waste solids: Fly ash, red mud and ferric–alum water treatment residues. *Journal of Environmental Sciences.* 2016, vol. 50, pp. 79–86. DOI: 10.1016/j.jes.2016.04.025.
10. Seredkin M., Zabolotsky A., Jeffress G. In situ recovery, an alternative to conventional methods of mining: exploration, resource estimation, environmental issues, project evaluation and economics. *Ore Geology Reviews.* 2016, vol. 79, pp. 500–514. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.06.016.
11. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy.* 2015, vol. 157, pp. 306–324. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.08.022.
12. Chanturiya V. A., Shadrinova I. V., Zhilina V. A., etc. *Ekologicheskii orientirovannaya pererabotka gornopromyshlennykh otkhodov* [Ecologically oriented processing of mining waste], Moscow, Izd-vo «Sputnik+», 2018, 199 p.
13. Shpurov I. V., Shkil V. V., Lazarev A. B., Saganyuk V. B. Significance and status of the project of the new rf classification of reserves and possible resources of solid commercial minerals. *Nedropolzovanie XXI vek.* 2019, no. 2, pp. 62–65. [In Russ].
14. Pateiuk S. A., Khatkova A. N., Burnashova N. N. Perspectives of the Transbaikalian subsoil for boron raw materials. *Transbaikal state university journal.* 2016, no. 4(22), pp. 22–28. [In Russ].
15. Khat'kova A. N., Nikitina L. G., Pateyuk S. A. Floatability of borogypsum with perlstan. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 11, pp. 160–171. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2019_11_0_160_171.
16. 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, no. 12, pp. 78–88. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2020_12_0_78_88.

17. Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Hadzaragova E. A., Plieva M. T. Evaluation of population and mine personnel health impacts of heavy metals with regard to local ecology. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 11-1, pp. 106–117. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2020_111_0_106_117.

18. Min Zhang, Jinman Wang, Yu Feng Temporal and spatial change of land use in a large-scale opencast coal mine area. A complex network approach. *Land Use Policy.* 2019, vol. 86, pp. 375–386. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.05.020.

19. Kehui Liu, Liuqun Fan, Yi Li, Zhengming Zhou, Chaoshu Chen, Bin Chen, Fangming Yu Concentrations and health risks of heavy metals in soils and crops around the Pingle manganese (Mn) mine area in Guangxi Province, China. *Environmental Science and Pollution Research.* 2018, vol. 25, no. 30, pp. 30180–30190. DOI: 10.1007/s11356_018_2997_8.

20. Pateiuk S. A., Khatkova A. N., Nikitina L. G. Patent RU 2723787, MPK B03D 1/02, B03B 9/06, no. 2019139135, 17.06.2020. [In Russ].

21. Raymers N. F. *Prirodopol'zovanie: slovar'-spravochnik* [Nature management: dictionary-reference], Moscow, Mysl, 1990, pp. 637.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хатькова Алиса Николаевна¹ — д-р техн. наук,
профессор, проректор по научной
и инновационной работе,

e-mail: alisa1965.65@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6527-0026,

Шумилова Лидия Владимировна¹ — д-р техн. наук,
доцент, профессор,

e-mail: shumilovalv@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-5991-9204,

Патеюк Сергей Андреевич¹ — химик-эксперт,
e-mail: nesvvik@gmail.com,

ORCID ID: 0000-0002-4893-5601,

¹ Забайкальский государственный университет.

Для контактов: Шумилова Л.В., e-mail: shumilovalv@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.N. Khatkova¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Vice-Rector for Scientific and Innovation Work,

e-mail: alisa1965.65@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6527-0026,

L.V. Shumilova¹, Dr. Sci. (Eng.),
Assistant Professor,

Professor, e-mail: shumilovalv@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-5991-9204,

S.A. Pateyuk¹, Chemist-Expert,
e-mail: nesvvik@gmail.com,

ORCID ID: 0000-0002-4893-5601,

¹ Transbaikal State University,
672039, Chita, Russia.

Corresponding author: L.V. Shumilova, e-mail: shumilovalv@mail.ru.

Получена редакцией 15.07.2022; получена после рецензии 01.08.2022; принята к печати 10.09.2022.

Received by the editors 15.07.2022; received after the review 01.08.2022; accepted for printing 10.09.2022.