

КОМБИНИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ С ТРАДИЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ГОРНОГО ПЕРЕДЕЛА РУД

Н.Г. Валиев¹, Ю.И. Разоренов², В.И. Голик^{2,3}, М.С. Лебзин¹

¹ Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

² Южно-Российский государственный политехнический университет,
Новочеркасск, Россия, e-mail: v.i.golik@mail.ru

³ Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация: Рассмотрена проблема рационализации и оптимизации параметров недропользования с целью полноты использования вскрытых и извлеченных на земную поверхность минеральных ресурсов. Целью исследования является детализация методов комбинирования технологий добычи металлов при подземной разработке месторождений. Кратко характеризуется история совершенствования горных технологий как база совершенствования процессов добычи и первичной переработки руд, обобщены негативные последствия реформы 90-х годов. В качестве инструмента упрочнения ресурсной базы промышленности предложено направление комбинирования традиционных технологий и новой технологии выщелачивания металлов. Предложена типизация методов совершенствования технологии выщелачивания металлов в активаторе-дезинтеграторе. Отмечено, что выщелачивание в дезинтеграторе позволяет извлекать металлы до санитарного уровня, ликвидируя необходимость хранения хвостов традиционной переработки. Обобщены проблемы упрочнения базы горнодобывающей отрасли с приоритетом разработки новых технологий добычи и переработки руд и повышения комплексности использования металлосодержащего сырья. Рекомендована схема комбинирования процессов извлечения металлов из руд на металлургическом заводе, выщелачивания в блоках и кучах, а также из хвостов обогащения в дезинтеграторах. Предложена идея комбинирования способов руд в рамках рудного поля. Разработана экономическая модель оценки эффективности комбинирования традиционных и инновационных технологий. Показано, что комбинирование технологий добычи и обогащения руд является перспективным резервом упрочнения ресурсной базы промышленности. Новизна подхода определяется использованием в технологическом процессе принципиально нового процесса перевода металлов в жидкую фазу в скоростной мельнице с комбинированием механической и химической энергии в рамках единого процесса, а также в кучах и подземных блоках на территории рудника.

Ключевые слова: комбинирование, технология, руда, металлы, добыча, выщелачивание, дезинтегратор, извлечение, экология.

Для цитирования: Валиев Н. Г., Разоренов Ю. И., Голик В. И., Лебзин М. С. Комбинирование технологий выщелачивания с традиционными технологиями горного передела руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 4. – С. 33–43. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_4_0_33.

Combination of leaching technologies with conventional ore processing techniques

N.G.O. Valiev¹, Yu.I. Razorenov², V.I. Golik^{2,3}, M.S. Lebzin¹

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

² South Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru

³ Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Abstract: The issue of efficiency promotion and optimization of subsoil use toward the complete use of accessed and extracted mineral resources is discussed. The aim of the research is the detailed elaboration of approaches to combining metal production technologies in underground mineral mining. The history of improvement of mining technologies as a framework for the refinement of ore mining and pretreatment processes is described, and the negative aftereffects of the reforms in the 1990s are generalized. As a tool of stabilization of mineral supply in the industry, it is proposed to combine the conventional technologies and the new metal leaching technology. A type design practice is proposed for the methods of improvement of metal leaching in disintegrators-activators. It is emphasized that leaching in disintegrators allows recovery of metals down to a sanitary standard, with elimination of storage of the conventional processing tailings. The problems connected with the strengthening of the mining industry, with the prioritized technological innovation in ore mining and processing, at the enhanced comprehensiveness of metal-bearing raw material use are generalized. A combination flowsheet is proposed for metal recovery at metallurgical plants, in-situ and heap leaching, and metal extraction from tailings in disintegrators is recommended. An idea of combining ore mining and processing methods within a mine field is put forward. An economic model is developed for evaluating efficiency of combining conventional and innovative technologies. It is shown that combination of ore mining and processing technologies is a promising resource for the improved sustainability of mineral supply in the industry. The novelty of the approach is governed by the addition of the technology with a cardinal new process of transition of metals to liquid phase in high-speed mills, with integration of mechanical and chemical energies within a single process, as well in in-situ and heap leaching within a mine field.

Key words: combination, technology, ore, metals, mining, leaching, disintegrator, recovery, ecology.

For citation: Valiev N. G. O., Razorenov Yu. I., Golik V. I., Lebzin M. S. Combination of leaching technologies with conventional ore processing techniques. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(4):33-43. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_4_0_33.

Введение

Экономическая и политическая независимость, сохранение среды обитания и повышение благосостояния населения государств во многом определяется наличием минерального сырья. В настоящее время активизировалась дифференциация стран по фактору обладания

минерально-сырьевыми ресурсами, усиливается влияние крупнейших обладателей богатством недр на формирование мировой политики.

Совершенствование методов открытой и подземной добычи полезных ископаемых и рост объемов переработки техногенного сырья увеличивают масшта-

бы воздействия на недра. Приоритетным показателем эффективности недропользования становится полнота освоения запасов месторождений. Выборочная выемка руд не только уменьшает объем добычи руд в настоящее время, но и удорожает выемку в будущем.

Ущерб недрам наносит некомплексная переработка добытых руд, когда из них извлекается только малая часть металлов, а остальные в виде хвостов направляются в отвалы или сжигаются в металлургических печах. Показатели полноты использования характеризуют эффективность обеспечения экономической основы жизнедеятельности человеческого сообщества.

Экономика России во все времена развивалась за счет прогресса горного производства. Приоритетные позиции горного производства особенно проявились с XVII в. [1, 2]. Освоение водяного колеса, появление техники для измельчения руд, использование мельниц, освоение способа промывки золотоносных песков с отделением гальки и промывкой руды и многие другие усовершенствования сыграли революционизирующую роль в истории горного дела России [3, 4].

В середине XX в. обозначилась проблема источника легкодоступных для добычи ресурсов и ухудшения состояния окружающей среды горнодобывающих регионов.

Хранилища хвостов добычи и обогащения руд России занимают площадь 1300 км², при ежегодном приросте 100 км². В наиболее ранимых северо-восточных и арктических регионах, где сосредоточены основные запасы минерально-сырьевых ресурсов, это влияние существенно усиливается [5, 6]. Вопросы образования и утилизации хранения отходов в совокупности формируют основную проблему минерально-сырьевого комплекса [7, 8].

В новое время отличительным фактором является достижение предельных для открытой разработки глубин, что приближает конверсию горного производства на технологии подземной разработки месторождений [9].

Компонентами глобальной проблемы горного производства является неполное извлечение полезных компонентов из руд, слабые темпы утилизации хвостов и невыполнение требований закона по возвращению выведенных из обращения земель в хозяйственный и природный оборот после прекращения горных работ [10–12].

Неполное и выборочное извлечение полезных компонентов из добытого сырья и ориентация переработки руд на один или ограниченное количество элементов ведет к тому, что в хвостах переработки руд стоимость неизвлеченных металлов нередко превышает стоимость извлеченных компонентов [13, 14].

Многие исследования посвящены разработке методов комбинирования технологий таким образом, чтобы разработка месторождений в настоящее время готовила базу для использования сегодняшних отходов в будущем [15, 16].

Актуальность и значимость проблем обращения с минеральными ресурсами объясняется тем, что продукция горного производства формирует большую часть балансовой стоимости основных фондов экономики России [17–19].

Задаче улучшения показателей разработки месторождений путем комбинирования технологий горного передела посвящаются статьи, например, о добыче [20, 21] и переработке [22, 23] руд.

Понятие «комбинирование» включает в себя объединение возможных в данных условиях технологий добычи, технологий обогащения, а также объединение возможностей горных и обогащительных технологий. Предметом комби-

нирования может быть и объединение технологий горного и металлургического переделов.

Целью статьи является оценка приоритетных направлений комбинирования технологий добычи и обогащения руд в пределах рудничной территории.

Методы исследования

Методика достижения цели статьи включает в себя исследование истории совершенствования технологий, которое позволяет детализировать концепцию совершенствования взаимосвязанных процессов добычи и переработки в рамках единого горного передела.

Целью комбинирования технологий является максимальное извлечение металлов из добываемых руд выщелачиванием в подземных блоках и из хвостов переработки на земной поверхности. Одной из задач при этом является доказательство необходимости признания хвостов переработки в виде техногенных ресурсов и обоснование возможности извлечения металлов до уровня безотходности по санитарным условиям.

Инструментом упрочнения ресурсной базы промышленности становится комбинирование традиционных технологий с извлечением металлов на металлургическом заводе и новой технологии выщелачивания металлов в подземных блоках, кучах и активаторах типа дезинтегратор. Для достижения поставленной цели экспертно обосновывается возможность комбинирования технологий с переработкой руд и из хвостов переработки.

Полученные результаты описываются математически в виде эколого-экономической модели.

Результаты исследования

История горного дела представляет собой борьбу альтернативных направлений:

- добыча валовым способом в надежде на повышение качества разубоженной горной массы при обогащении;
- селективная выемка с минимизацией потерь и объема разубоживающих пород.

Практика горного производства показывает, что добывающие технологии развиваются быстрее, чем обогатительные, о чем свидетельствует увеличение объема хвостов переработки руд.

В XVI–XVIII вв. горная технология усилились появлением специального горного оборудования. В 1763 г. И.И. Ползунов изобрел паровую машину, которая произвела переворот в механовооруженности процессов добычи руд. Интенсивное развитие горной промышленности в последующее время связано с электрификацией производства [24].

На рубеже XX–XXI вв. горная отрасль России оказалась в сложном состоянии. Снижение расходов на разведку месторождений ослабило сырьевую базу. У горнодобывающей отрасли открылась перспектива ослабления минерально-сырьевой базы и отставания применяемых технологий от требований современности.

Как следствие реформы 1990-х годов, не развивается утилизация техногенных ресурсов, поскольку недропользователи увеличивают прибыль за счет прироста объемов основного производства, а не утилизации отходов.

Системы разработки металлических месторождений нуждаются в модернизации с учетом новых достижений науки и практики. На предприятиях КМА теряется до 60% запасов. Техническое решение о заполнении выработанного пространства хвостами обогащения без извлечения из них дорогих и редких металлов является паллиативным решением. Так, безвозвратные потери золота в отходах Лебединского ГОКа составляют около 3 т/год.

Методы совершенствования процессов выщелачивания в дезинтеграторе
Methods for improving leaching processes in a disintegrator

методы воздействия	результат воздействия	способ осуществления
вибрация в процессе выщелачивания	увеличение поверхности реагирования	повышение импульсов вибрации путем сотрясения рабочего органа
химическая обработка при подготовке	ускорение процесса извлечения металлов в раствор	обработка раствором реагентов до выщелачивания
извлечение упорных компонентов после выщелачивания в дезинтеграторе	увеличение полноты использования сырья путем дополнительного выщелачивания	обработка раствором реагентов после выщелачивания

Добычные работы отличаются выборочной отработкой богатых руд и высоким уровнем потерь. Так, при разработке калийных месторождений традиционным способом в недрах теряется до 60% полезных ископаемых.

Прорывным направлением упрочнения отечественной минерально-сырьевой базы является выщелачивание металлов, например, в подземных блоках с бесцеликовой отработкой запасов. Среди различных методов извлечения металлов из породной матрицы получает развитие метод выщелачивания металлов в скоростных мельницах, например дезинтеграторе. При переработке хвостов обогащения полиметаллических руд Садона и железистых кварцитов КМА в раствор извлечено 20...80% ранее теряемых металлов.

Методы совершенствования технологии выщелачивания металлов в дезинтеграторе обобщены в таблице.

В выщелачиваемой среде образуются окислители, переводящие металлы в мобильные формы. После активации в дезинтеграторе выщелачивание может быть продолжено за счет реализации синергетического эффекта в штабелях, кучах или траншеях.

Выщелачивание в дезинтеграторе позволяет извлекать металлы до уровня санитарной безопасности, тем самым ликвидируя необходимость хранения хвостов переработки.

Для переработки окисленных руд перспективны варианты реагентного выщелачивания с использованием автоклавов, чанов, куч и подземных блоков. К прорывным технологиям относится биовыщелачивание руд в штабелях даже при минусовой температуре, а также выщелачивание под давлением.

Можно прогнозировать, что модернизация технологий добычи металлов будет происходить не за счет увеличения масштабов применения известных технологий, а за счет новых технологий, которое улучшат показатели технологических процессов.

Проблемы упрочнения базы горнодобывающей отрасли включают в себя:

- повышенную затратность при добыче руд в районах с холодными условиями и доставку сырья к потребителям;
- необходимость освоения месторождений районов Сибири и Дальнего Востока с суровым климатом;
- создание инфраструктуры крупных добывающих предприятий: на севере США, Канады и Европы нет гигантов, подобных горным предприятиям Кольского полуострова и Таймыра;
- территориальную разобщенность горной промышленности России, что увеличивает затраты на перевозку руд, объем которых составляет половину перемещаемых в стране грузов;
- вывоз руд за границу в виде сырья, в том числе меди и олова, цинка и т.д.

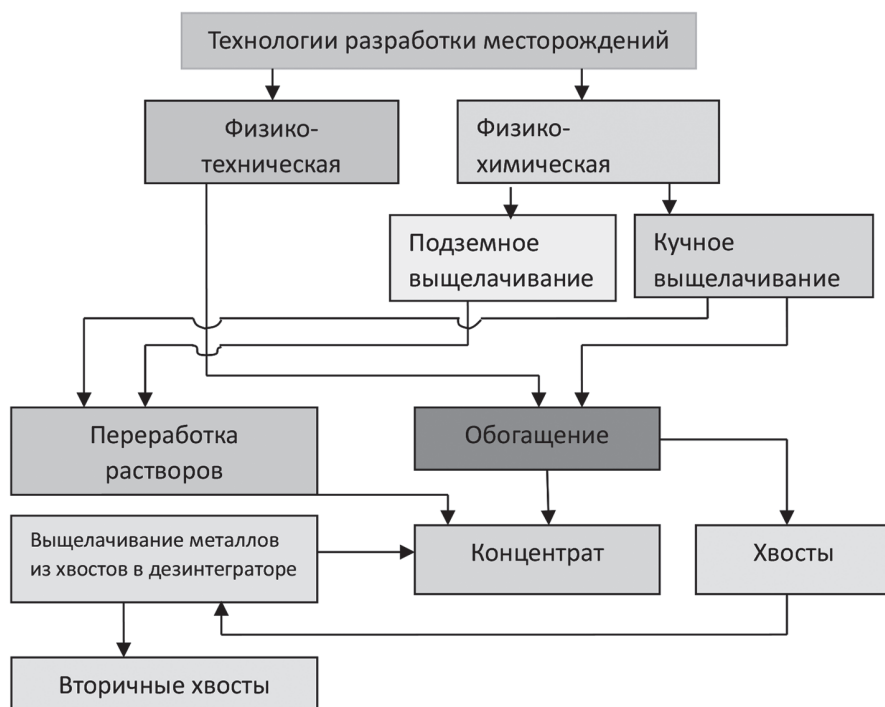
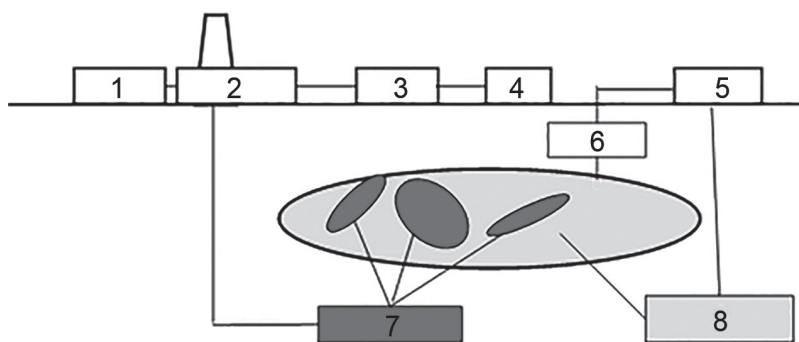


Рис. 1. Схема комбинирования технологий разработки месторождения
 Fig. 1. Scheme of combining geotechnologies of field development

Проблемы обеспечения минеральными ресурсами включают в себя разработку эффективных технологий добычи и переработки руд и безотходность использования добытого сырья.

Схема комбинирования традиционных и инновационных технологий объединяет процессы извлечения металлов из руд на металлургическом заводе, выщелачивания в блоках и кучах, а также



1 – куча выщелачивания; 2 – сортировочная станция; 3 – обогатительная фабрика;
 4 – закладочный комплекс; 5 – цех приготовления растворов реагентов; 6 – растворопроводы;
 7 – богатые руды; 8 – бедные руды

Рис. 2. Схема комбинированной разработки месторождения
 Fig. 2. Scheme of combined field development

из хвостов обогащения в активаторах-дезинтеграторах (рис. 1).

Из рис. 1 видно, как концентраты, полученные обогащением руд по традиционной технологии, и концентраты выщелачивания объединяются перед отправкой на металлургический передел, а хвосты первичной обработки поступают в переработку с доведением до безопасного по санитарным условиям состояния.

Комбинирование способов добычи руд осуществляется путем объединения возможностей технологий добычи руд с различным содержанием металлов в рамках единого рудного поля (рис. 2).

Рудное поле на рис. 2 отрабатывается комбинированно: богатые руды вынимают с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, обогащают и направляют для извлечения металлов на металлургический завод, а бедные руды выщелачивают с направлением концентрата на гидрометаллургический завод.

Обсуждение

Комбинирование традиционных и инновационных технологий в ряде случаев обеспечивает прибыль:

$$\Pi = \sum_1^n [(C_p^6 - Z_d^6 - Z_o^6 - Z_m^6) \cdot A_6 - \text{Ш}_o + (C_p^{36} - Z_d^{36}) \cdot A_{36}]$$

где Π — прибыль от комбинирования методов переработки, руб.; C_p^6 — стоимость товарных металлов из балансовых руд, руб./т; Z_d^6 — затраты на добычу балансовых руд, руб./т; Z_o^6 — затраты на обогащение балансовых руд, руб./т; Z_m^6 — затраты на металлургический передел балансовых руд, руб./т; C_p^{36} — стоимость товарных металлов из забалансовых руд, руб./т; Z_d^{36} — затраты на добычу забалансовых руд, руб./т; A_6 — объем добычи балансовых руд, т; A_{36} — объем добычи забалансовых руд, т; n — виды

извлекаемых металлов; Ш_o — штрафы за хранение техногенного сырья.

Возможности технологий с выщелачиванием металлов могут быть оценены по критерию продолжительности цикла извлечения металлов, которая при комбинируемых технологиях ориентировочно составляет:

- подземное выщелачивание в блоках 50...60 — 1 год;
- выщелачивание в штабелях 20...70 — 2...6 мес.;
- выщелачивание в дезинтеграторе 20...70 — 1...5 мин.

Используя данные о технологичности некондиционного сырья, можно утверждать, что выщелачиванием может быть переработана большая часть его объема.

Комбинирование технологий добычи и переработки влияет на состояние ресурсной базы благодаря действию следующих факторов:

- увеличение объема выпуска товарных металлов;
- повышение конкурентоспособности за счет извлекаемых при выщелачивании металлов.

Результатом комбинирования может быть снижение нагрузки на окружающую среду и возвращение в сферу производства занятых отходами земель.

Заключение

Показатели разработки рудных месторождений улучшаются путем комбинирования технологий горного передела руд по критерию извлечения металлов.

Прорывным направлением упрочнения минерально-сырьевой базы является выщелачивание металлов из некондиционных руд и хвостов первичного обогащения в подземных блоках, кучах и скоростных мельницах-дезинтеграторах.

Основу комбинирования составляет выемка богатых руд с закладкой выра-

ботанного пространства твердеющими смесями, обогащением и металлургическим переделом и выщелачивание некондиционного сырья с направлением концентрата на гидрометаллургический завод.

Модернизация технологий производства металлов за счет вовлечения в эксплуатацию некондиционного минерального сырья позволяет извлекать до 70%

ранее теряемых металлов. Комбинирование технологий добычи и переработки улучшает состояние ресурсной базы вследствие увеличения объема выпуска металлов.

Сопряженным результатом комбинирования является снижение нагрузки на окружающую среду и возвращение в сферу пользования занятых хвостохранилищами земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Половов Б. Д., Валиев Н. Г., Кокарев К. В. Особенности имитационного анализа уровней геомеханических рисков горнотехнических объектов // Горный журнал. — 2016. — № 12. — С. 8–13. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.02.

2. Голик В. И., Комащенко В. И., Урумова Ф. М. Сырье для твердеющих смесей при подземной добыче руд // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2018. — № 2. — С. 232–246.

3. Бурмистров К. В., Овсянников М. П. Обоснование параметров этапа открытых горных работ в переходные периоды разработки крутопадающих месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 6. — С. 20–28. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-20-28.

4. Азев В. А., Попов Д. В. Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения // Горные науки и технологии. — 2020. — № 5(2). — С. 119–130. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130.

5. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 1. — С. 170–182.

6. Хоменко О. Е., Кононенко М. Н., Ляшенко В. И. Повышение безопасности проходки подземных вертикальных выработок // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 2. — С. 41–48. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-2-41-48.

7. Еремеева Ж. В., Шарипзянова Г. Х. Состав диффузионных слоев и влияние типа активатора на структуру получаемых при диффузионном хромосилицировании порошковых материалов // Технология металлов. — 2007. — № 7. — С. 35–37.

8. Голик В. И., Максимов Р. Н., Игнатов В. Н., Ляшенко Ю. М. Глубокая утилизация хвостов обогащения по механохимической технологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № S25. — С. 61–71. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-25-61-71.

9. Куликова Е. Ю., Баловцев С. В., Скопинцева О. В. Комплексная оценка геотехнических рисков в шахтном и подземном строительстве // Устойчивое развитие горных территорий. — 2023. — Т. 15. — № 1. — С. 7–16. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-7-16.

10. Sitorous F., Cilliers J. J., Brito-Parada P. R. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: applications and trends // Expert Systems with Applications. 2018, vol. 121, pp. 393–417. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.12.001.

11. Li J.-G., Zhan K. Intelligent mining technology for an underground metal mine based on unmanned equipment // Engineering. 2018, vol. 4, no. 3, pp. 381–391. DOI: 10.1016/j.eng.2018.05.013.

12. Куликова А. А. Новый подход к оценке выбросов от горных предприятий с учетом углеродного следа // Устойчивое развитие горных территорий. — 2023. — Т. 15. — № 4. — С. 825–832. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-4-825-832.

13. Разоренов Ю. И., Дзеранов Б. В. Параметры породных конструкций при подземной добыче руд // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2017. — № 6. — С. 55–67. DOI: 10.22363/1815-5235-2017-6-55-67.

14. Комащенко В. И., Дзапаров В. Х., Дзеранов Б. В., Стась Г. В. Отбойка руд скважинными зарядами модернизированной конструкции // Вектор ГеоНаук. – 2019. – Т. 2. – № 3. – С. 40–46. DOI: 10.24411/2619-0761-2019-10031.
15. Дмитрак Ю. В., Цидаев Б. С., Дзапаров В. Х., Харебов Г. Х. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России // Вектор ГеоНаук. – 2019. – Т. 2. – № 1. – С. 9–18. DOI: 10.24411/2619-0761-2019-10002.
16. Fernando W. A., Ilankoon I. M., Chong M. N., Syed T. H. Effects of intermittent liquid addition on heap hydrodynamics // Minerals Engineering. 2018, vol. 124, pp. 108–115. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.05.016.
17. Емельяненко Е. А., Радченко Д. Н., Лавенков Д. Н., Гавриленко В. В. Совместная утилизация отходов обогащения при комплексном освоении месторождений многокомпонентных руд // Горный журнал. – 2016. – № 12. – С. 87–93. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.18.
18. Ефимов В. И., Хмелинский А. А., Мефодьев С. Н. Современные подходы к компоновке оборудования для добычи угля на пологих пластах // Уголь. – 2019. – № 6(1119). – С. 36–40. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-6-36-40.
19. Босиков И. И., Ключев Р. В., Силаев И. В., Стась Г. В. Комплексная оценка трудноформализуемых вентиляционно-технологических процессов на угольных шахтах // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023. – Т. 15. – № 3. – С. 516–527. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-516-527.
20. Крупская Л. Т., Орлов А. М., Голубев Д. А., Колобанов К. А., Филатова М. А. Оценка экологической опасности накопленных отходов переработки минерального сырья закрытых горных предприятий в Приамурье и Приморье // Горные науки и технологии. – 2020. – № 5(3). – С. 208–223. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-3-208-223.
21. Голик В. И., Титова А. В. Упрочнение ресурсной базы металлургии комбинированием технологий добычи руд // Горная промышленность. – 2018. – № 2. – С. 232–246.
22. Мартос В. В. Планирование работ по контролю и оценке прочности бетона // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 108–114.
23. Tolvanen A., Pilu E., Juutinen A., Kangas K., Kivinen M., Markovaara-Koivisto M., Naskali A., Salokannel V., Tuulentie S., Similä J. Mining in the Arctic environment. A review from ecological, socioeconomic and legal perspectives // Journal of Environmental Management. 2019, vol. 23, pp. 832–844. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.124.
24. Velasquez-Yevenes L., Torres D., Toro N. Leaching of chalcopyrite ore agglomerated with high chloride concentration and high curing periods // Hydrometallurgy. 2018, vol. 181, pp. 215–220. DOI: 10.1016/j.hydromet.2018.10.004. **PIAB**

REFERENCES

- Polovov B. D., Valiev N. G., Kokarev K. V. Features of simulation analysis of the levels of geomechanical risks of mining facilities. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 12, pp. 8–13. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.02.
- Golik V. I., Komashchenko V. I., Urumova F. M. Raw materials for hardening mixtures for underground ore mining. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2018, no. 2, pp. 232–246. [In Russ].
- Burmistrov K. V., Ovsyannikov M. P. Validation of open pit stage design in the transition periods of mining at steeply dipping mineral deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 6, pp. 20–28. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-20-28.
- Azev V. A., Popov D. V. Quality management of commercial products in the conditions of development of complex-structured coal deposits. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2020, no. 5(2), pp. 119–130. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130.
- Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geomechanical and aerogasdynamic consequences of undermining the territories of mining allotments of mines of Eastern Donbass. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2017, no. 1, pp. 170–182. [In Russ].
- Khomenko O. E., Kononenko M. N., Lyashenko V. I. Improving the safety of underground vertical workings. *Occupational Safety in Industry*. 2021, no. 2, pp. 41–48. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-2-41-48.

7. Ereemeeva Zh. V., Sharipzyanova G. X. Composition of diffusion layers and the influence of the type of activator on the structure of powder materials obtained by diffusion chromosilicization. *Metal technology*. 2007, no. 7, pp. 35 – 37. [In Russ].
8. Golik V. I., Maksimov R. N., Ignatov V. N., Lyashenko Yu. M. Deep utilization of enrichment tailings using mechanochemical technology. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. S25, pp. 61 – 71. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-25-61-71.
9. Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V., Skopintseva O. V. Complex estimation of geotechnical risks in mine and underground construction. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 1, pp. 7 – 16. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-7-16.
10. Sitorous F., Cilliers J. J., Brito-Parada P. R. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: applications and trends. *Expert Systems with Applications*. 2018, vol. 121, pp. 393 – 417. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.12.001.
11. Li J.-G., Zhan K. Intelligent mining technology for an underground metal mine based on unmanned equipment. *Engineering*. 2018, vol. 4, no. 3, pp. 381 – 391. DOI: 10.1016/j.eng.2018.05.013.
12. Kulikova A. A. A new approach to estimating emissions from mining enterprises, taking into account the carbon footprint. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 4, pp. 825 – 832. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-4-825-832.
13. Razorenov Yu. I., Dzeranov B. V. Parameters of rock structures during underground mining of ores. *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*. 2017, no. 6, pp. 55 – 67. [In Russ]. DOI: 10.22363/1815-5235-2017-6-55-67.
14. Komashchenko V. I., Dzaparov V. Kh., Dzeranov B. V., Stas G. V. Breaking of ores with borehole charges of a modernized design. *Vektor GeoNauk*. 2019, vol. 2, no. 3, pp. 40 – 46. [In Russ]. DOI: 10.24411/2619-0761-2019-10031.
15. Dmitrak Yu. V., Tsidaev B. S., Dzaparov V. Kh., Kharebov G. Kh. Mineral resource base of non-ferrous metallurgy in Russia. *Vektor GeoNauk*. 2019, vol. 2, no. 1, pp. 9 – 18. [In Russ]. DOI: 10.24411/2619-0761-2019-10002.
16. Fernando W. A., Ilankoon I. M., Chong M. N., Syed T. H. Effects of intermittent liquid addition on heap hydrodynamics. *Minerals Engineering*. 2018, vol. 124, pp. 108 – 115. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.05.016.
17. Emelyanenko E. A., Radchenko D. N., Lavenkov D. N., Gavrilenko V. V. Joint utilization of enrichment waste during the integrated development of multicomponent ore deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 12, pp. 87 – 93. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.18.
18. Efimov V. I., Khmelinsky A. A., Mefodiev S. N. Modern approaches to the layout of equipment for coal mining on flat seams. *Ugol'*. 2019, no. 6(1119), pp. 36 – 40. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-6-36-40.
19. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Silaev I. V., Stas G. V. Comprehensive assessment of formalized ventilation difficulty and technological processes in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 3, pp. 516 – 527. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-516-527.
20. Krupskaya L. T., Orlov A. M., Golubev D. A., Kolobanov K. A., Filatova M. A. Assessment of the environmental hazard of accumulated waste from the processing of mineral raw materials from closed mining enterprises in the Amur region and Primorye. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2020, no. 5(3), pp. 208 – 223. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-3-208-223.
21. Golik V. I., Titova A. V. Strengthening the resource base of metallurgy by combining ore mining technologies. *Russian Mining Industry Journal*. 2018, no. 2, pp. 232 – 246. [In Russ].
22. Martos V. V. Planning of work on monitoring and assessing the strength of concrete. *Construction production*. 2020, no. 1, pp. 108 – 114. [In Russ].
23. Tolvanen A., Pilu E., Juutinen A., Kangas K., Kivinen M., Markovaara-Koivisto M., Naskali A., Salokannel V., Tuulentie S., Similä J. Mining in the Arctic environment. A review from ecological, socio-economic and legal perspectives. *Journal of Environmental Management*. 2019, vol. 23, pp. 832 – 844. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.124.
24. Velasquez-Yevenes L., Torres D., Toro N. Leaching of chalcopyrite ore agglomerated with high chloride concentration and high curing periods. *Hydrometallurgy*. 2018, vol. 181, pp. 215 – 220. DOI: 10.1016/j.hydromet.2018.10.004.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Валиев Нияз Гыдым Оглы*¹ — д-р техн. наук,
профессор, зав. кафедрой,
e-mail: gtf.gd@m.ursmu.ru,
ORCID ID: 0000-0002-5556-2217,

*Разоренов Юрий Иванович*² — д-р техн. наук,
профессор, профессор, ректор,
e-mail: yiri1963@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-8171-0749,

*Голик Владимир Иванович*² — д-р техн. наук,
профессор, профессор,
Московский политехнический университет,
e-mail: v.i.golik@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-1181-8452,

*Лебзин Максим Сергеевич*¹ — младший
научный сотрудник, e-mail: science@ursmu.ru,
ORCID ID: 0000-0001-5959-135X,

¹ Уральский государственный горный университет,

² Южно-Российский государственный
политехнический университет.

Для контактов: Голик В.И., e-mail: v.i.golik@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*N.G.O. Valiev*¹, Dr. Sci. (Eng.),
Professor, Head of Chair,
e-mail: gtf.gd@m.ursmu.ru,
ORCID ID: 0000-0002-5556-2217,

*Yu.I. Razorenov*², Dr. Sci. (Eng.),
Professor, Professor, Rector,
e-mail: yiri1963@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-8171-0749,

*V.I. Golik*², Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor, Moscow Polytechnic University,
107023, Moscow, Russia,
e-mail: v.i.golik@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-1181-8452,

*M.S. Lebzin*¹, Junior Researcher,
e-mail: science@ursmu.ru,
ORCID ID: 0000-0001-5959-135X,

¹ Ural State Mining University,
620144, Ekaterinburg, Russia,

² South Russian State Polytechnic University,
346428, Novocherkassk, Russia.

Corresponding author: V.I. Golik, e-mail: v.i.golik@mail.ru.

Получена редакцией 12.01.2024; получена после рецензии 19.02.2024; принята к печати 10.03.2024.

Received by the editors 12.01.2024; received after the review 19.02.2024; accepted for printing 10.03.2024.

