

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ МЕТАЛЛОВ

Н.Г. Валиев¹, В.И. Голик², О.З. Габараев², М.С. Лебзин¹

¹ Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

² Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), Владикавказ, Россия, e-mail: v.i.golik@mail.ru

Аннотация: Изложены новые сведения по совершенствованию эффективности добычи металлов путем комбинирования геотехнологий путем оптимального сочетания их возможностей. Целью исследования является формализация процесса комбинирования традиционных технологий и новых технологий с выщелачиванием некондиционных руд и отходов обогащения. Основные методы исследования включают в себя расчеты в обобщенном виде, построение алгоритма обоснования и инженерный прогноз рентабельности комбинированной технологии. Разработана технологическая схема комбинирования геотехнологий. Формализованы расчеты дохода от комбинирования геотехнологий, достаточности запасов месторождения в течение всего периода освоения месторождения, продолжительности отработки месторождения каждой из применяемой геотехнологии. Предложены модели расчета суммарного дохода от разработки балансовых запасов и определения извлекаемой ценности металлов при физико-технической и физико-химической технологии. Предложены модели расчета производственной мощности при использовании технологии подземного выщелачивания и дохода от комбинирования геотехнологий. Доказано, что включение в переработку некондиционных руд и хвостов их обогащения повышает показатели применяемых технологий, особенно на участках их комбинирования. По мере уменьшения содержания металлов в запасах руд эффективность разработки месторождения может быть сохранена применением технологий с выщелачиванием. Новизна статьи заключается в обосновании такой возможности.

Ключевые слова: добыча металлов, комбинирование геотехнологий, выщелачивание металлов, некондиционное сырье, алгоритм, обоснование, прогноз, инженерный прогноз.

Для цитирования: Валиев Н. Г., Голик В. И., Габараев О. З., Лебзин М. С. Алгоритм определения эффективности комбинирования технологий добычи металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 11-2. – С. 52–62. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_112_0_52.

Algorithm for determining the efficiency of combining metamining technologies

N.G. Valiev¹, V.I. Golik², O.Z. Gabaraev², M.S. Lebzin¹

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

² North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),
Vladikavkaz, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru

Abstract: The article contains new information on improving the efficiency of metal mining by combining geotechnologies through an optimal combination of their capabilities. The aim of the study is to formalize the process of combining traditional technologies and new technologies with the leaching of substandard ores and processing waste. The main research methods include calculations in a generalized form, the construction of a justification algorithm and an engineering forecast of the profitability of the combined technology. A technological scheme for combining geo-technologies has been developed. The calculations of income from the combination of geotechnologies, the availability of reserves of the field during the development of the field, the duration of the development of the field by each of the applied geotechnologies are formalized. The methods of calculating the total income from the development of balance reserves and determining the recoverable value of metals in physico-technical and physico-chemical technology are proposed. Models for calculating production capacity using underground leaching technology and income from combining geotechnology are proposed. It is proved that the inclusion of substandard ores and tailings of their enrichment in the processing increases the indicators of the technologies used, especially in the areas of their combination. When deposits are involved in exploitation with a decrease in the content of metals in ore and an increase in losses in the subsoil and in the tailings of enrichment, technologies for leaching metals from currently substandard raw materials become promising, which is justified by the use of the proposed calculation models. The article differs from its peers by proving the possibility of making a profit from the processing of substandard raw materials according to today's ideas.

Key words: metal mining, combined geotechnologies, metal leaching, substandard raw materials, algorithm, justification, forecast.

For citation: Valiev N. G., Golik V. I., Gabaraev O. Z., Lebzin M. S. Algorithm for determining the efficiency of combining metamining technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(11-2):52-62. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_112_0_52.

Введение

В постреформенные годы параметры и структура минерально-сырьевой базы Российской металлургии изменились. Кроме закономерного ухудшения горно-технических условий с увеличением глубины отработки, снизились мощности и темпы добычи металлических руд, прежде всего, цветных металлов. Внутреннее потребление минеральных ресурсов снизилось на порядок.

В этих условиях стратегией выживания горнодобывающих отраслей может быть использование технологий извлечения металлов из некондиционных для традиционных технологий руд на месте их локализации [1, 2].

Применению таких технологий в большей мере отвечают руды цветных металлов, добываемые с комбинированием традиционных и инновационных технологий в рамках единого процесса [3–5].

Нередко содержание полезных компонент в неактивных для традиционных технологий запасах руд оказывается достаточным для рентабельной отработки месторождений более совершенными технологиями.

Существующая концепция добычи металлов из некондиционного металло-содержащего сырья включает положения:

- традиционные технологии обогащения не обеспечивают полного раскрытия минералов по причине использова-

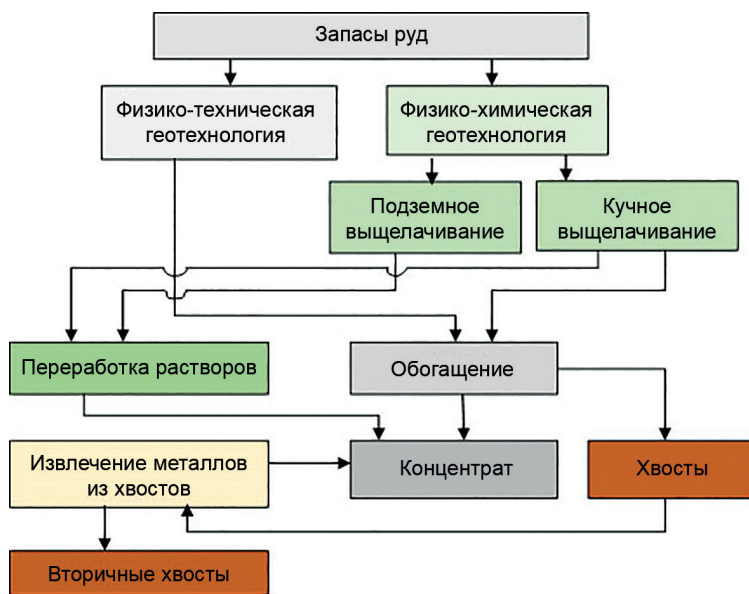


Рис. 1. Схема комбинирования геотехнологий
 Fig. 1. The scheme of combining geotechnologies

ния, преимущественно, одной механической энергии;

- совершенствование обогатительных процессов осуществляется путем привлечения операций гидрометаллургической переработки [6].

Реализация стратегии требует разработки научных основ, регламентирующих решение проблем подготовки руд, перевода металлов в мобильное состояние, извлечения металлов из раствора и обеспечения безопасности сопряженных работ [7].

Экономические перспективы подземного выщелачивания определяются возможностями извлечения полезного ископаемого из недр с наименьшими потерями и разубоживанием [8–11].

Особенности горного производства наиболее проявляются там, где погрешность может снизить показатели технологии до уровня неприемлемости. Так, при неудовлетворительном дроблении руд для выщелачивания высокоэффективная технология становится неэффективной. Первичное дробление оказывает

влияние и на эффективность использования минералов в смежных отраслях [12–14].

Целью исследования является моделирование процессов выщелачивания металлов, включающее в себя расчет, алгоритм процессов и инженерный прогноз обеспечения рентабельности выщелачивания в обобщенной форме, описывающей количественные оценки параметров выщелачивания.

Полученные результаты

Эффективность комбинирования геотехнологий обеспечивается при оптимальном сочетании технологий разработки по заданному критерию с учетом возможностей применяемого оборудования, качества руд и экономических показателей их добычи и переработки.

Схема комбинирования технологий разработки месторождений представлена на рис. 1.

Доход от комбинирования геотехнологий формируется суммированием дохода от освоения разноразных запасов,

совместная разработка которых позволяет обеспечить рентабельность добычи ранее неактивных запасов:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 \quad (1)$$

где D_1 – общая доходность, полученная при освоении балансовых запасов месторождения физико-технической геотехнологией, руб.; D_2 – общая доходность, полученная при освоении некондиционных запасов физико-химических геотехнологией, руб.; D_3 – общая доходность, полученная при освоении хвостов обогащения физико-химической геотехнологией, руб.

Предложенная геотехнология должна выполнять отработку запасов месторождения в период его освоения:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{\text{стр}} + P, \quad (2)$$

где Q_1 – балансовые запасы месторождения; Q_2 – некондиционные запасы месторождения, т; Q_3 – запасы хвостов обогащения, т; $Q_{\text{стр}}$ – запасы месторождения, т; P – потери руды, т.

Период разработки месторождения т:

$$T = T_{\text{стр}} + T_1 + T_2 + T_3, \quad (3)$$

где $T_{\text{стр}}$ – продолжительность строительства горного предприятия, лет; T_1 – продолжительность использования физико-технической геотехнологии, лет; T_2 – продолжительность отработки месторождения физико-химической геотехнологией, лет; T_3 – продолжительность отработки месторождения комбинированными геотехнологиями, лет.

Срок отработки месторождения каждой из применяемой геотехнологии:

$$T_1 = \frac{Q_1^1}{A_{1i}^t}, \quad (4)$$

где A_{1i}^t – годовая производительность разработки месторождений при отработке части балансовых запасов физико-технической геотехнологией в t -году, т/год; Q_1^1 – часть балансовых запасов, обрабатываемых физико-технической геотехнологией при достижении точки безубыточности, т/год.

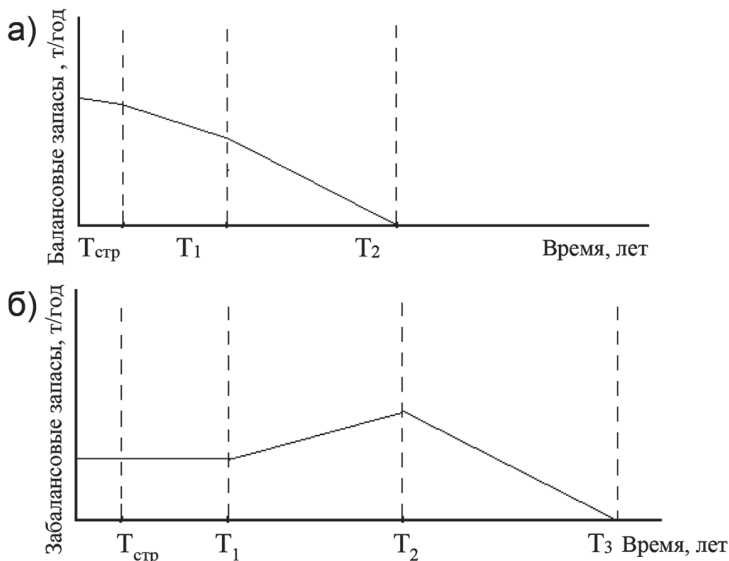


Рис. 2. Увеличение продолжительности разработки месторождения за счет вовлечения в эксплуатацию забалансовых запасов: балансовые запасы (а); забалансовые запасы (б)

Fig. 2. Increase in the duration of field development due to involvement of off-balance sheet reserves in operation: balance sheet reserves (a); off-balance sheet reserves (b)

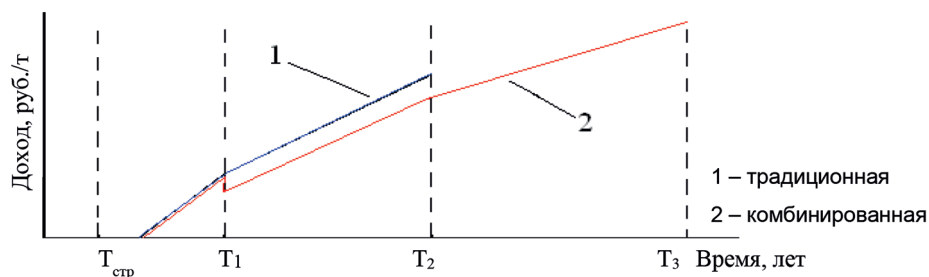


Рис. 3. Доход от применяемых технологий обработки запасов

Fig. 3. Income from the applied technologies of reserves development

$$T_2 = \frac{Q_1 - Q_1^1}{A_{1i}^t - A_{2i}^t}, \quad (5)$$

где A_{2i}^t – годовая производительность разработки месторождений при отработке запасов физико-химических геотехнологией в t -году, т/год.

$$T_3 = \frac{Q_3}{A_{3i}^t}, \quad (6)$$

где Q_3 – запасы хвостов, полученных за время T_1 и T_2 , т; A_{3i}^t – годовая производительность разработки месторождений при отработке хвостов физико-химической геотехнологией в t -году.

Зависимость продолжительности отработки месторождения от вовлечения в разработку забалансовых запасов руд показана на рис. 2.

Зависимость суммарного дохода комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологий от продолжительности отработки месторождения показана на рис. 3.

Зависимость производства металлов при комбинировании геотехнологий от времени отработки месторождения интерпретируется рис. 4.

Суммарный доход при освоении балансовых запасов физико-технической геотехнологией, (руб.):

$$\sum_{t=1}^{t_c+t_3} D_1 = \sum_{t=1}^{t_1} A_{1i} M_3 (u_{1i} M_c - c_{1i}) / (1+E)^{t-1} - \sum_{t=1}^{t_c} K_{1i} (1+E_k)^t \quad (7)$$

где A_{1i} – производственная мощность i -й физико-технической геотехнологии, т/год; u_{1i} – стоимость добываемой i -й геотехнологией руды, руб./т; c_{1i} – эксплуа-

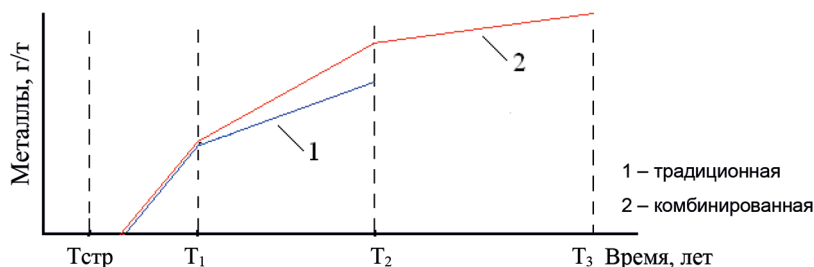


Рис. 4. Количество добываемых металлов в зависимости от технологий разработки

Fig. 4. The amount of extracted metals depending on the development technologies

тационные расходы на добычу и обогащение добываемой i -й геотехнологией руды, руб./т; K_{1i} – капитальные вложения в подготовку запасов для разработки i -й геотехнологией, руб./год; M_3 – коэффициент подтверждения запасов, доли ед.; M_c – коэффициент подтверждения содержания полезного компонента, доли ед.; E – коэффициент дисконтирования затрат; E_k – коэффициент процентной ставки за кредит; t_1 – срок отработки физико-технической геотехнологией, лет; t_c – срок строительства горного предприятия, лет.

Доход при физико-технической технологии:

$$u_{1i} = \sum_{i=1}^n c_{13} M_c (1 - P_i) \sum_{i=1}^n \varepsilon_{1i} u_3 \quad (8)$$

где C_{13} – содержание металлов в руде балансовых запасов, г/т; ε_{1i} – извлечение полезных компонентов при переработке добытой рудной массы, доли ед.; P_i – разубоживание полезного ископаемого, доли ед.; n – число физико-технических геотехнологий, ед.; u_3 – рыночная цена металлов в конечной продукции, руб./г, i -геотехнологией.

Капиталовложения на освоение месторождения при физико-технической технологии:

$$c_{1i} = \frac{1 - P}{1 - \Pi} (A_1 + A_2 + A_3) \frac{1}{M_3} + A_4 + A_5 \quad (9)$$

где капиталовложения A_1, A_2, A_3 – на геофизические исследования, износ основных средств, подготовительные работы, руб./т балансовых запасов; A_4 – капиталовложения на добычу руды, руб./т; A_5 – капиталовложения на переработку 1 т рудной массы, руб./т; P – разубоживание руд; Π – потери руд.

Суммарный доход от отработки месторождения полезных ископаемых физико-химической геотехнологией, (руб.):

$$\sum_{t=1}^{t_2} D_2 = \sum_{t=1}^{t_2} A_{2i} (u_{2i} - c_{2i}) / (1 + E)^{t_2 - 1} - \sum_{t=1}^{t'_c} K_{2i} (1 + E_k)^t \quad (10)$$

где A_{2i} – производственная мощность i -й физико-химической геотехнологии, т/год; u_{2i} – стоимость добываемой i -й геотехнологией руды, руб./т; c_{2i} – капиталовложения на обогащение добываемой i -й геотехнологией руды, руб./т; K_{2i} – затраты на процессы выщелачивания i -й геотехнологией, руб./год; t_2 – период разработки некондиционных запасов физико-химической геотехнологией, лет; t'_c – период строительства необходимых объектов технологий, лет.

Стоимость руды при физико-химической геотехнологии:

$$u_{2i} = \sum_{i=1}^n c_3 (1 - P_i) \sum_{i=1}^n \varepsilon_{2i} u_3 \quad (11)$$

где C_3 – концентрация металлов в руде; ε_{2i} – извлечение металлов при переработке, доли ед.; P_i – разубоживание, доли ед.; n – число физико-химических геотехнологий, ед.; u_3 – рыночная цена металлов в готовой продукции, руб./г.

Производительная мощность разработки месторождений полезных ископаемых при использовании подземного выщелачивания проверяется по горным возможностям:

$$A_{2i} = \sum_{i=1}^n \frac{1 - \Pi_2}{1 - P_2} S_2 h_2 \gamma_{6i} K_{y62} K_{m62} \quad (12)$$

где n — число систем разработки; P_2 и P_2 — потери и разубоживание, доли ед.; S_2 — средняя площадь горизонтального сечения рудных тел, разрабатываемых выщелачиванием, м²; h_2 — годовое понижение уровня горных работ при подземном выщелачивании, м/год; γ_{6i} — объемная масса добываемой руды, доли ед.; K_{y62} и $K_{м62}$ — коэффициенты, учитывающие угол падения и мощность залежей, соответственно.

Суммарный доход при освоении месторождений полезных ископаемых от разработки физико-химической геотехнологией:

$$\sum_{t=1}^{t_3} D_3 = \sum_{t=1}^{t_3} A_{3i} (u_{3i} - c_{3i}) / (1+E)^{t_3-1} - \sum_{t=1}^{t_c''} K_{3i} (1+E_k)^{t_c''} \quad (13)$$

где A_{3i} — производственная мощность отработки хвостов i -й физико-химической геотехнологии, т/год; u_{3i} — стоимость металлов из хвостов, i -й геотехнологии, руб./т; c_{3i} — затраты на процессы переработки хвостов, i -й геотехнологии, руб./т; K_{3i} — расходы для осуществления процессов выщелачивания i -й геотехнологии, руб./год; t_c'' — период строительства необходимых объектов технологий, лет; t_3 — период переработки хвостов, лет.

Суммарный доход при освоении месторождений полезных ископаемых от разработки комбинированной геотехнологией:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^{t_c+t_p} D = & \sum_{t=1}^{t_1} A_{1i} (u_{1i} - c_{1i}) / (1+E)^{t_1-1} - \sum_{t=1}^{t_c} K_{1i} (1+E_k)^{t_c} + \\ & + \gamma_H \left[\sum_{t=1}^{t_2} A_{2i} (u_{2i} - c_{2i}) / (1+E)^{t_2-1} - \sum_{t=1}^{t_c'} K_{2i} (1+E_k)^{t_c'} \right] +, \\ & + \gamma_X \left[\sum_{t=1}^{t_3} A_{3i} (u_{3i} - c_{3i}) / (1+E)^{t_3-1} - \sum_{t=1}^{t_c''} K_{3i} (1+E_k)^{t_c''} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

где γ_H — доля подающихся на переработку некондиционных запасов; γ_X — доля хвостов в объеме производства.

Суммарная стоимость при комбинировании геотехнологий подразделяются на виды:

- от использования физико-технической геотехнологии;
- от использования комбинированной геотехнологии;
- от использования в период применения физико-химической геотехнологии.

Окупаемость вскрытия и подготовки запасов для традиционной i -й геотехнологии (руб./год³), необходимо решить относительно времени (t) уравнение, приравнявая его к нулю:

$$\sum_{t=1}^{t_1} A_{1i} M_3 (u_{1i} M_c - c_{1i}) / (1+E)^{t_1-1} - \sum_{t=1}^{t_c} K_{1i} (1+E_k)^{t_c} = 0 \quad (15)$$

Выполненные расчеты и их графическая интерпретация показывают, что включение в переработку ранее теряемых некондиционных руд и хвостов их обогащения комплексно повышает показатели применяемых технологий, особенно на участках их комбинирования, что формирует экономический эффект.

Моделирование технологий добычи металлов, включающее в себя расчет, алгоритм процессов и инженерный прогноз обеспечения рентабельности инновацион-

Применение технологий выщелачивания металлов
Application of metal leaching technologies

Металл	Регион	Название месторождения	Тип месторождения	Технология
медь	Свердловская обл.	Гумешевское	коренное	подземное выщелачивание
никель-кобальт	Мурманская обл.	Аллареченское	техногенное	кучное биологическое выщелачивание
	Красноярский край	Хвостохранилище № 1	техногенное	автоклавное окислительное выщелачивание
		Озеро Барьерное	техногенное	автоклавное окислительное выщелачивание
цинк	Свердловская обл.	Шлакоотвал	техногенное	автоклавное окислительное выщелачивание
вольфрам	Бурятия	Барун-Нарынское	техногенное	кучное выщелачивание
	Забайкальский край	Спокойнинское	техногенное	кучное выщелачивание
молибден с ураном	Читинская обл.	Стрельцовское	коренное	подземное блоковое выщелачивание
			техногенное	кучное выщелачивание
титан	Забайкальский край	Кручининское	коренное	скважинное выщелачивание

ной технологии выщелачивания в обобщенной форме, описывающей параметры выщелачивания, позволяет обосновать возможность разработки ранее считавшегося непригодным для эксплуатации месторождения.

Увеличение объема добычи металлов выщелачиванием подтверждает устойчивость тенденцией освоения месторождений цветных и редких металлов технологиями с выщелачиванием (таблица).

Результаты исследования корреспондируют с выводами специалистов зарубежных авторов [15 – 19].

Выводы

Реальные перспективы развития минеральной основы горной промышленности указывают, что в производство будут

вовлекаться месторождения с меньшим содержанием металлов в руде. Отставание традиционных технологий извлечения металлов от требований современности будет увеличивать запасы техногенного сырья в виде потерь в недрах и в хвостах обогащения руд.

При использовании новых технологий выщелачивания металлов из вскрываемых руд в настоящее время некондиционных запасов могут быть извлечены ранее теряемые металлы, что упрочнит сырьевую основу горнометаллургической отрасли.

Перспективы технологий выщелачивания металлов из некондиционного в настоящее время сырья могут быть оценены с использованием предлагаемой методики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельяненко Е. А., Горбатова Е. А. Переработка окисленных медных руд, как фактор развития и расширения минерально-сырьевой базы ЗАО «Михеевский ГОК» / Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения–2016). — Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2016. — С. 276 – 277.

2. *Комащенко В. И.* Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2015. — № 4. — С. 23–30.

3. *Голик В. И.* Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. — 2013. — № 5. — С. 93–97.

4. *Голик В. И., Валиев Н. Г., Белодедов А. А., Версилов С. О.* Экологические особенности добычи руд в горах Кавказа // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2022. — № 2. — С. 3–13.

5. *Душин А. В., Валиев Н. Г., Лагунова Ю. А., Шорин А. Г.* Уральский горный и московский горный: взаимодействие вузов // Горный журнал. — 2018. — № 4. — С. 4–10.

6. *Евдокимов С. И., Евдокимов В. С.* Повышение извлечения золота на основе совместной переработки руды и отходов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 2. — С. 154–160.

7. *Волков Ю. В., Соколов И. В.* Подземная геотехнология при комбинированной разработке рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 1. — С. 41–47.

8. *Клюев Р. В., Босиков И. И., Майер А. В.* Комплексный анализ генетических особенностей минерального вещества и технологических свойств полезных компонентов Джебказганского месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 3(41). — С. 321–330. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-321-330.

9. *Лизункин В. М., Лизункин М. В., Беидина В. И.* Подземные геотехнологии подземной разработки рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 1. — С. 78.

10. *Рыжова Л. П., Носова Е. В.* К вопросу эколого-экономической эффективности освоения техногенных месторождений рудных полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 9. — С. 79–85.

11. *Секисов А. Г., Шевченко Ю. С., Лавров А. Ю.* Перспективы использования шахтного выщелачивания при разработке золоторудных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 1. — С. 110–116.

12. *Еремеева Ж. В., Шарипзянова Г. Х., Ниткин Н. М., Крихтин В. В., Тер-Ваганяц Ю. С., Дахнова Т. В.* Влияние технологических факторов смешивания и природы наноразмерных частиц на механические свойства порошковой легированной стали СП60ХГС // Нанотехнологии: наука и производство. — 2016. — № 3. — С. 57–76.

13. *Иванов С. А., Ниткин М. Н., Шарипзянова Г. Х.* Изучение влияния природы наноразмерных частиц и способа смешивания на механические свойства порошковой легированной стали ПК70Х3 // Нанотехнологии: наука и производство. — 2015. — № 6. — С. 36.

14. *Петров Ю. С., Хадзарагова Е. А., Соколов А. А., Шарипзянова Г. Х., Таскин А. В.* Основные принципы получения, передачи и хранения информации о параметрах техногенного цикла горно-металлургического предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11-1. — С. 178–188. DOI: 10.25018/0236-1493-2020111-0-178-188.

15. *Manning T. J., Kappes D. W.* Heap leaching of gold and silver ores / Gold ore processing: project development and operations. 2nd edition. Chapter 25, NV, USA: Elsevier, 2016, pp. 413–428. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00025-6.

16. *Cepeda-Pérez E., de Jonge N.* Dynamics of gold nanoparticles at the solid: Liquid interface studied by liquid-phase electron microscopy // Microscopy and Microanalysis. 2019, vol. 25, no. S1, pp. 43–44.

17. *Ming Xu, Soliman M. G., Xing Sun, Pelaz B., Torres N. F., Parak W. J., Sijin Liu* How entanglement of different physicochemical properties complicates the prediction of in vitro and in vivo interactions of gold nanoparticles // ACS Nano. 2018, vol. 12, no. 10, pp. 10104–10113.

18. *Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A.* Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations // Minerals. 2019, vol. 9, pp. 1–13.

19. 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*. 2019, vol. 121, pp. 393 – 417. [PUB](#)

REFERENCES

1. Emelianenko E. A., Gorbatova E. A. Processing of oxidized copper ores as a factor in the development and expansion of the mineral resource base of CJSC Mikheevsky GOK. *Sovremennye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskie chteniya–2016)* [Modern problems of theoretical, 6. experimental and applied mineralogy (Yushkin readings–2016)], Syktyvkar: IG Komi NTs UrO RAN, 2016, pp. 276 – 277. [In Russ].

2. Komashchenko V. I. Ecological and economic feasibility of utilization of mining waste for the purpose of their processing. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2015, no. 4, pp. 23 – 30. [In Russ].

3. Golik V. I. Conceptual approaches to the creation of low- and waste-free mining production based on the combination of physico-technical and physico-chemical geo-technologies. *Gornyi Zhurnal*. 2013, no. 5, pp. 93 – 97. [In Russ].

4. Golik V. I., Valiev N. G., Belodedov A. A., Versilov S. O. Ecological features of ore mining in the Caucasus Mountains. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2022, no. 2, pp. 3 – 13. [In Russ].

5. Dushin A. V., Valiev N. G., Lagunova Yu. A., Shorin A. G. Ural mining and Moscow mining: interaction of universities. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 4, pp. 4 – 10. [In Russ].

6. Evdokimov S. I., Evdokimov V. S. Increasing gold extraction based on joint processing of ore and waste. *Fiziko-tehnicheskkiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2017, no. 2, pp. 154 – 160. [In Russ].

7. Volkov Yu. V., Sokolov I. V. Underground geotechnology in the combined development of ore deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2013, no. 1, pp. 41 – 47. [In Russ].

8. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Mayer A. V. Complex analysis of genetic features of mineral matter and technological properties of useful components of the Dzhezkaz-gansky deposit. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019, vol. 11, no. 3(41), pp. 321 – 330. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-321-330.

9. Lizunkin V. M., Lizunkin M. V., Beidina V. I. Underground geotechnologies of underground mining of ore deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 1, pp. 78. [In Russ].

10. Ryzhova L. P., Nosova E. V. Eco-economic efficiency of metal mine waste management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 9, pp. 79 – 85. [In Russ].

11. Sekisov A. G., Shevchenko Yu. S., Lavrov A. Yu. Prospects for the use of mine leaching in the development of gold deposits. *Fiziko-tehnicheskkiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2016, no. 1, pp. 110 – 116. [In Russ].

12. Ereemeeva Zh. V., Sharipzyanova G. H., Nitkin N. M., Krikhtin V. V., Ter-Vaganyants Yu. S., Dakhnova T. V. The influence of technological factors of mixing and the nature of nanoscale particles on the mechanical properties of powder alloy steel SP60HGS. *Nanotekhnologii: nauka i proizvodstvo*. 2016, no. 3, pp. 57 – 76. [In Russ].

13. Ivanov S. A., Nitkin M. N., Sharipzyanova G. H. Studying the influence of the nature of nanoscale particles and the mixing method on the mechanical properties of powder alloyed steel PK70X3. *Nanotekhnologii: nauka i proizvodstvo*. 2015, no. 6, pp. 36. [In Russ].

14. Petrov Yu. S., Khadzaragova E. A., Sokolov A. A., Sharipzyanova G. Kh., Taskin A. V. Acquisition, transmission and storage of information on production-induced cycle in mining and metallurgy: Outlines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 11-1, pp. 178 – 188. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020111-0-178-188.

15. Manning T. J., Kappes D. W. Heap leaching of gold and silver ores. *Gold ore processing: project development and operations*. 2nd edition. Chapter 25, NV, USA: Elsevier, 2016, pp. 413 – 428. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00025-6.

16. Cepeda-Pérez E., de Jonge N. Dynamics of gold nanoparticles at the solid: Liquid interface studied by liquid-phase electron microscopy. *Microscopy and Microanalysis*. 2019, vol. 25, no. S1, pp. 43–44.

17. Ming Xu, Soliman M. G., Xing Sun, Pelaz B., Torres N. F., Parak W. J., Sijin Liu How entanglement of different physicochemical properties complicates the prediction of in vitro and in vivo interactions of gold nanoparticles. *ACS Nano*. 2018, vol. 12, no. 10, pp. 10104–10113.

18. Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A. Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*. 2019, vol. 9, pp. 1–13.

19. 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*. 2019, vol. 121, pp. 393–417.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Валиев Нияз Гадым оглы*¹ — д-р техн. наук, профессор, проректор, зав. кафедрой, e-mail: niyaz.valiev@m.ursmu.ru, ORCID ID: 0000-0002-5556-2217,

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

*Габараев Олег Знаурович*² — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: gabaraev59@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4823-1559,

*Либзин Максим Сергеевич*¹ — преподаватель СПО, e-mail: az_ma@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5959-135X,

¹ Уральский государственный горный университет,

² Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет).

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

*O.Z. Gabaraev*², Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair, e-mail: gabaraev59@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4823-1559,

*M.S. Lebzin*¹, Lecturer, e-mail: az_ma@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5959-135X,

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

² North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), 362021, Vladikavkaz, Russia.

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

Получена редакцией 16.06.2022; получена после рецензии 01.10.2022; принята к печати 10.10.2022.

Received by the editors 16.06.2022; received after the review 01.10.2022; accepted for printing 10.10.2022.