

К условиям применения выщелачивания металлов

В. И. Голик^{1✉}, В. Х. Дзапаров¹, С. Г. Страданченко²,

Ю. В. Дмитрак³, С. А. Масленников⁴

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)», г. Владикавказ,

Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет», г. Новочеркасск,

Российская Федерация

³ ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н. В. Мельникова»

Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

⁴ Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал ДГТУ), г. Шахты, Российская Федерация

✉ v.i.golik@mail.ru

Резюме. Дефицит отраслей отечественной промышленности в металлах может быть минимизирован или преодолен путем освоения новых перспективных технологий их добычи из потерянных и считающихся недоступными для традиционной технологии запасов минерального сырья. Цель статьи состоит в детализации условий эффективного применения вариантов технологии с выщелачиванием металлов из руд на основе экспериментально полученных лабораторных и промышленных исследований параметров извлечения металлов в рамках единого производственного комплекса. Методы исследования включают в себя обобщение материалов выполненных исследований, критический анализ с применением приемов математико-статистической обработки результатов исследований, моделирование возможных вариантов подземного, скважинного, кучного выщелачивания, выщелачивания в мельницах-активаторах и др., а также инженерное прогнозирование. Определены оптимальные условия применения технологий разработки выщелачиванием, обеспечивающие надежный режим движения раствора для создания оптимальных условий для окисления рудных минералов. Даны результаты анализа элементов механизма выщелачивания, в том числе определения неоднородности выщелачиваемых массивов по скорости распространения волн напряжений. Приведены результаты моделирования отдельных элементов процесса выщелачивания в модели и рудном массиве с анализом амплитуды сигналов. Представлены результаты исследования поглощения упругих колебаний методом межскважинного акустического прозвучивания. Рекомендуются положения и выводы статьи могут быть востребованы в процессах модернизации производства на действующих предприятиях и оптимизации проектов разработки новых месторождений.

Ключевые слова: выщелачивание, извлечение металлов, анализ, моделирование, движение растворов, окисление минералов, руды

Для цитирования: Голик В.И., Дзапаров В.Х., Страданченко С.Г., Дмитрак Ю.В., Масленников С.А. К условиям применения выщелачивания металлов *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(6):46-51. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-46-51>.

To the conditions of application of metal leaching

V. I. Golik^{1✉}, V. Kh. Dzaparov¹, S. G. Stradanchenko², Yu. V. Dmitrak³, S. A. Maslennikov⁴

¹ North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation

² South Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation

³ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁴ Institute of Service and Entrepreneurship Branch, DSTU, Shakhty, Russian Federation

✉ v.i.golik@mail.ru

Abstract. The shortage of domestic industries in metals can be minimized or overcome by developing new promising technologies for their extraction from lost and considered inaccessible to traditional technology reserves of mineral raw materials. The purpose of the article is to detail the conditions for the effective use of variations of the technology with metal leaching from ores based on experimentally obtained laboratory and industrial studies of metal extraction parameters within the framework of a single production

complex. The research methods include an overview of the materials of the performed studies, critical analysis using mathematical and statistical processing of research results, modeling of possible options for underground, borehole, heap leaching, leaching in activator mills, etc., as well as engineering forecasting. Optimal conditions for the use of leaching development technologies have been determined, providing a reliable mode of solution movement to create optimal conditions for the oxidation of ore minerals. The results of the analysis of the elements of the leaching mechanism are given, including the determination of the heterogeneity of the leached arrays by the propagation velocity of stress waves. The results of modeling individual elements of the leaching process in the model and the ore massif with an analysis of the amplitude of the signals are presented. The results of a study of the absorption of elastic vibrations by the method of downhole acoustic sounding are presented. The recommended provisions and conclusions of the article may be in demand in the processes of modernization of production at existing enterprises and optimization of projects for the development of new deposits.

Keywords: leaching, metal extraction, analysis, modeling, movement of solutions, oxidation of minerals, ores

For citation: Golik V.I., Dzaparov V.Kh., Stradanchenko S.G., Dmitrak Yu.V., Maslennikov S.A. To the conditions of application of metal leaching. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(6):46-51. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-46-51>.

Введение

В результате изменения стратегии добычи и переработки минерального сырья металлургические комплексы России испытывают дефицит в рудах, что определяет необходимость упрочнения минерально-сырьевой базы с учетом современности [1–3]. Резервом увеличения производства руд является освоение считавшихся ранее непригодными для разработки участков эксплуатируемых месторождений выщелачиванием [4–6].

Выбор схемы подземного выщелачивания производится на основе определенных экспериментально параметров оптимизации процессов извлечения металлов в рамках единого производственного комплекса [7–9].

Среди исходных данных приоритетную роль играет выбор схемы движения выщелачивающего раствора реагента: фильтрационной, инфильтрационной и пульсационно-статической.

В расчетах оценивается возможность интенсификации процессов выщелачивания химическим и физическим воздействием, а также подача пиритного концентрата или пирролизита, способствующих образованию серной кислоты. Проникновение выщелачивающего раствора сквозь руду с естественной проницаемостью или искусственной проницаемостью определяет показатели растворения металлов с поверхности куска и включает в себя основные процессы: транспорт веществ к поверхности вещества, изменение фазового состояния и перемещение растворенных металлов.

Основные условия применения технологии выщелачивания включают в себя возможность дробления руд для обеспечения проницаемости их для растворов реагентов, несклонность к самовозгоранию, высокое содержание сульфидов и низкое содержание карбонатов.

К настоящему времени накоплен опыт выщелачивания металлов в добывающих отраслях, позволяющий делать выводы о перспективах развития новых технологий [10–12].

Технологии выщелачивания заслуживают расширения ареала использования, поскольку являются одновременно и ресурсо- и природо-сберегающими [13–15]. Они подлежат контролю методами шахтной геофизики [16–17].

Развитие методов выщелачивания металлов из недоступных для традиционных технологий запасов является неотъемлемым элементом программ совершенствования горного производства [18–21].

Цель исследований: детализация требований к условиям эффективного применения технологии с выщелачиванием.

Методы исследования

Методы исследования включают в себя обобщение материалов, критический анализ с применением приемов математико-статистической обработки, моделирование возможных вариантов подземного скважинного выщелачивания.

На основе результатов опытно-промышленных и эксплуатационных работ и комплексной модели «Геотехнология полиэлементных руд» создается модель отработки месторождения.

Методом итерационного моделирования сравниваются варианты добычи металлов и создаются комбинированные варианты, позволяющие увеличить обмен веществ в ходе реакций.

Результаты исследований

Параметры системы разработки выщелачиванием должны соответствовать режиму пленочно-капельного движения раствора и создавать оптимальные условия для окисления рудных минералов.

Зависимость извлечения металлов в раствор от продолжительности выщелачивания характеризуется графиком (рис. 1).

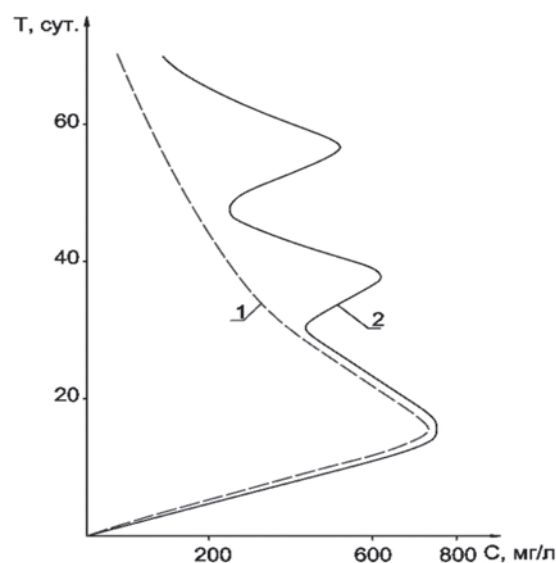


Рис. 1. Зависимость извлечения металлов от времени выщелачивания: 1 – по традиционной технологии; 2 – по технологии с интенсификацией процессов /

Fig. 1. Dependence of metal extraction on the time of leaching: 1 – according to traditional technology; 2 – according to technology with intensification of processes

Количество переведенных в раствор металлов:

$$Q_0 = T_0 g_0,$$

где T_0 – время контакта раствора с рудой.

Производительность блока выщелачивания:

$$Q_m = S V c \gamma,$$

где S – выщелачиваемая площадь блока, м²;

V – скорость выщелачивания, м/с;

c – содержание металла в руде, %;

γ – объемный вес руды, кг/м³.

Для определения неоднородности выщелачиваемых массивов исследуют зависимость скорости звуковых упругих волн от плотности и крупности руд (рис. 2).

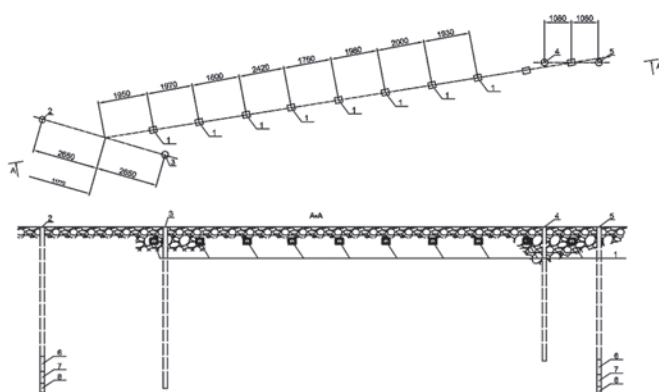


Рис. 2. Схема исследования неоднородности массива /
Fig. 2. The scheme of studying the heterogeneity of the array

Генерируемые взрыванием заряда взрывчатых веществ (ВВ) волны напряжений регистрировали осциллографами и датчиками. Произведено два взрыва в скважине № 4 на глубинах 6,7 и 4,7 м и один – в скважине № 1 на глубине 3,0 м.

Вместе с зарядом ВВ в скважине размещали датчики отметки момента взрыва. По времени движения волн и расстоянию от заряда до датчика определяли скорость распространения волн и судили об однородности среды. Например, для руд с коэффициентом разрыхления $K_p = 1,6 \dots 1,7$ скорость распространения волн напряжений составила 507 м/с (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Скорость распространения звуковых волн /
The speed of propagation of sound waves

Скважина / Boreholes	Датчик / Sensor	Расстояние, м / Distance, m	Время, с / Time, s	Скорость, м/с / Speed, m/s
№ 1 длина 6,7 м	20	7,0	0,013	538
	18	7,6	0,014	540
	16	8,4	0,0151	556
№ 2 длина 4,7 м	20	5,3	0,012	442
	18	5,8	0,013	446
	16	6,7	0,018	372
№ 3 длина 3,0 м	2	4,8	0,008	600
	7	8,0	0,015	533
	10	10,7	0,0214	500

Те же параметры, исследованные на модели с масштабom крупности материала 1:50, приведены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

Крупность породных частиц /
Size of rock particles

В отвале / In the dump		В модели / In the model	
Класс, мм / Class, mm	Выход класса, % / Class Output, %	Класс, мм / Class, mm	Выход класса, % / Class Output, %
0 – (-25)	22	0 – (-0,5)	24
(+25) – (-50)	23	(+0,5) – (-1,0)	20
(+50) – (-100)	21	(+1,0) – (-2,0)	22
(+100) – (-150)	19	(+2,0) – (-3,0)	23
(+150) – (-200)	15	(+3,0) – (-4,0)	11

Для модели с коэффициентом разрыхления 1,2...1,3 и диаметром куска 2...4 мм скорость распространения фронта волн напряжений составила 640 м/с (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Скорость распространения звуковых волн в модели /
The speed of propagation of sound waves in the model

Эксперимент / Experiment	Датчик / Sensor	Расстояние, м / Distance, m	Время, с / Time, s	Скорость, м/с / Speed, m/s
№ 1	1	0,32	0,0006	533
	3	0,91	0,0015	606
	5	1,4	0,0022	645
№ 2	1	0,3	0,0005	600
	3	0,9	0,0014	652
	5	1,5	0,0025	600
№ 3	1	0,3	0,0004	705
	3	0,9	0,0013	750
	5	1,5	0,0022	680
№ 4	1	0,3	0,0004	695
	3	0,9	0,0013	682
	5	1,5	0,0026	571
№ 5	1	0,3	0,0005	600
	3	0,9	0,0015	600
	5	1,5	0,0028	535

Оценку фильтрационной неоднородности руд производили на основе измерения амплитуды сигналов (рис. 3).

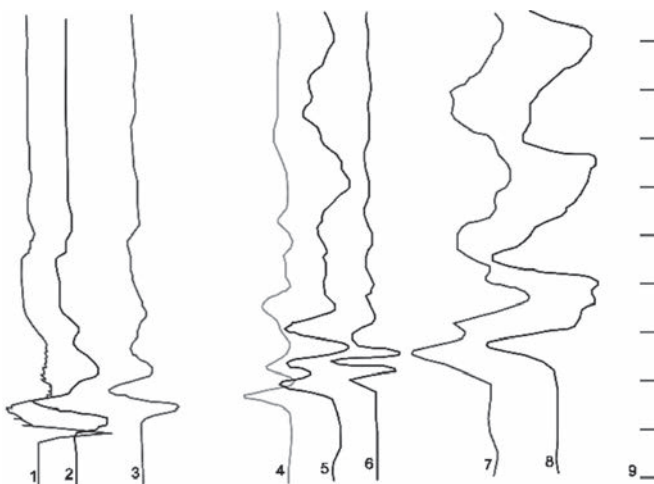


Рис. 3. Осциллограмма скорости распространения звуковых волн:

1-8 – запись датчиков; 9 – запись отметки времени /

Fig. 3. Waveform of sound wave propagation velocity: 1-8 – sensor recording;
9 – time stamp recording

Поглощение упругих колебаний в зависимости от плотности среды измеряли методом межскважинного акустического прозвучивания. Измеряя амплитуду звука, выявляли структурную неоднородность массива (рис. 4).

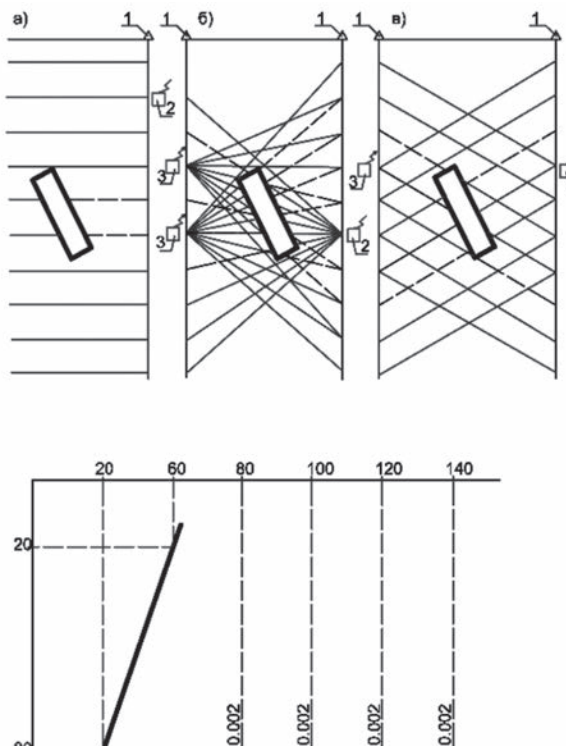


Рис. 4. Схема прозвучивания: сверху – схема съемок; внизу – обработка данных /
Fig. 4. The sounding scheme: above is the filming scheme; below is the data processing;
Sounding scheme: a – shooting scheme; b – data processing

Значения уровней звукового давления L_s приводили к абсолютным значениям L относительно нуля шкалы анализатора спектра:

$$L = L_s + \delta_s^1;$$

$$L = L_s + \delta_s^2,$$

где δ_s^1 98 дБ - поправка приведения при коэффициенте усиления звукоприемника при $K_y = 10000$;
 δ_s^2 118 дБ – при $K_y = 1000$.

Методика исследований, определяющих эффективность выщелачивания металлов, позволяет снизить затраты на ее реализацию и в конечном счете расширить диапазон применения этой ресурсо- и природосберегающей технологии.

Выводы

1. Эффективность применения технологии с выщелачиванием повышается при учете экспериментально полученных параметров извлечения металлов в рамках производственного комплекса.
2. Интегрирующим условием применения технологий разработки подземным выщелачиванием является создание оптимальных условий для окисления рудных минералов растворами реагентов.
3. Элементы механизма выщелачивания детализируются путем определения неоднородности выщелачиваемых массивов по скорости распространения волн напряжений, моделирования процесса изменения фазового состояния модели и рудного массива, а также поглощения упругих колебаний при межскважинном акустическом прозвучивании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Дмитрак Ю.В., Цидаев Б.С., Дзапаров В.Х., и др. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России. *Вектор ГеоНаук*. 2019; 2 (1): 9-18. <https://doi.org/10.24411/2619-0761-2019-10002>.
Dmitrak Yu.V., Tsidaev B.S., Dzaparov V.Kh., et al. The mineral resource base of non-ferrous metallurgy in Russia. *Vector of GeoSciences*. 2019; 2 (1): 9-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2619-0761-2019-10002>.
2. Bloodworth A., Gunn G. The future of the global minerals and metals sector: issues and challenges out to 2050. *Geosciences*. 2012; 15: 90-97.
3. Каплунов Д.Р., Юков В.А., Лавенков В.С. О влиянии годовой производительности на эффективность методов подземного выщелачивания медных руд. *ГИАБ*. 2017; 10: 5-11.
Kaplunov D.R., Yukov V.A., Lavenkov V.S. On the effect of annual productivity on the effectiveness of methods of underground leaching of copper ore. *GIAB*. 2017; 10: 5-11. (In Russ.)
4. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В., Гаврина О.А. Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2020; 12 (2(44)): 283-290. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290>.
Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V., Gavrina O.A. A comprehensive analysis of the use of effective technologies to enhance the sustainable development of the natural and technical system. *Sustainable development of mountainous territories*. 2020; 12 (2 (44)): 283-290. (In Russ.). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290>.
5. Parameswaran K. Sustainability considerations in innovative process development. V.I. Lakshmanan and all. (eds.). *Innovative Process Development in Metallurgical Industry*. Switzerland, 2016: 257-280. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21599-0_18.
6. Ляшенко В.И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых. *Маркиейдерский вестник*. 2015; 1: 10-15.
Lyashenko V.I. Environmental protection technologies for the development of complex-structured mineral deposits. *Surveying Bulletin*. 2015; 1: 10-15. (In Russ.)
7. Adero N.J., Drebenstedt C., Prokofeva E.N., et al. Spatial data and technologies for geomonitoring of land use under aspect of mineral resource sector development. *Eurasian Mining*. 2020; 1: 69-74. <https://doi.org/10.17580/em.2020.01.14>.
8. Гавришев С.Е., Корнилов С.Н., Пыталев И.А. и др. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов. *Горный журнал*. 2017; 12: 46-51. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.12.09>.
Gavrishev S.E., Kornilov S.N., Pytalev I.A., et al. Improving the economic efficiency of mining enterprises by involving technological geo-resources in the exploitation. *Mining Journal*. 2017; 12: 46-51. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.12.09>.

9. Авдеев П.Б., Овешников Ю.М. Опыт применения кучного выщелачивания на рудных карьерах Забайкалья. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2014; 4: 15-25.
Avdeev P.B., Oveshnikov Yu.M. The experience of using heap leaching in the ore quarries of Transbaikalia. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 4: 15-25. (In Russ.)
10. Minagawa M., Hisatomi S., Kato T., et al. Enhancement of copper dissolution by mechanochemical activation of copper ores: Correlation between leaching experiments and DEM simulations. *Advanced Powder Technology*. 2018; 29 (3): 471-478. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2017.11.03>.
11. Аренс В.Ж., Гридин О.М., Дербунувич Н.Н. и др. Опыт подземного выщелачивания желваковых фосфоритов. *Горный журнал*. 2016; 6: 56-63. <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.06.06>.
Arens V.Zh., Gridin O.M., Derbunovich N.N., et al. Experience of underground leaching of nodular phosphorites. *Mining Journal*. 2016; 6: 56-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.06.06>.
12. Морозов А.А., Смагин А.П., Безносков Г.Ф. и др. Технико-экономическая оценка эффективности блочного подземного выщелачивания урана из бедных руд Стрельцовского рудного поля. *Горный журнал*. 2013; 8-2.
Morozov A.A., Smagin A.P., Beznosov G.F., et al. Technical and economic assessment of the effectiveness of block underground leaching of uranium from poor ores of the Streltsovsky ore field. *Mining Journal*. 2013; 8-2. (In Russ.)
13. Голик В.И., Полухин О.Н. Природоохранные геотехнологии в горном деле. Белгород, 2013.
Golik V.I., Polukhin O.N. Environmental geotechnologies in mining. Belgorod, 2013. (In Russ.)
14. Chen G., Chen J., Peng J. Effect of mechanical activation on structural and microwave absorbing characteristics of high titanium slag. *Powder Technology*. 2015; 286: 218-222. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.08.021>.
15. Абрамов Б.Н., Еремин О.В., Филенко Р.А., и др. Оценка потенциальной экологической опасности природно-техногенных комплексов рудных месторождений Восточного Забайкалья. *Геосферные исследования*. 2020; 2: 64-67. <https://doi.org/10.17223/25421379/15/5>.
Abramov B.N., Eremin O.V., Filenko R.A., et al. Assessment of the potential ecological danger of natural and man-made complexes of ore deposits in Eastern Transbaikalia. *Geospheric research*. 2020. No. 2. pp. 64-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/25421379/15/5>.
16. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Комашченко В.И. и др. Геофизические методы контроля руд при выщелачивании. *Геофизика*. 2018; 1: 85-91.
Golik V.I., Dmitrak Yu.V., Komashchenko V.I., Burdzieva O.G. Geophysical methods of ore control during leaching. *Geophysics*. 2018; 1: 85-91. (In Russ.).
17. Hulelidze K.K., Kondratyev Yu.I., Betzov Z.S., et al. Evaluation of original and technogenic deposits of the republic of north Ossetia-Alania as possible objects of application of underground and heap leaching technology. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2016; 8 (1): 46-51. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2016-8-1-46-51>.
18. Валиев Н.Г., Головырин С.С., Макаров В.В. К вопросу об использовании систем искусственного интеллекта в процедурах аудита современного горного производства (проблематика решения задач современного горного производства с использованием мультиагентных систем). *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017; S23: 134-139.
Valiev N.G., Golovyurin S.S., Makarov V.V. On the issue of using artificial intelligence systems in audit procedures of modern mining production (the problem of solving problems of modern mining production using multi-agent systems. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; S23: 134-139. (In Russ.)
19. Бунин И.Ж., Рязанцева М.В., Самусев А.Л. и др. Теория и практика применения комбинированных физико-химических и энергетических воздействий на геоматериалы и водные суспензии. *Горный журнал*. 2017; 11: 77-83. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.11.14>.
Bunin I.Zh., Ryazantseva M.V., Samusev A.L., et al. Theory and practice of combined physico-chemical and energy effects on geomaterials and aqueous suspensions. *Mining Journal*. 2017; 11: 77-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.11.14>.
20. Моргоева А.Д., Манджиева С.С., Киричков М.В., и др. Исследование моделей машинного обучения для оценки влияния угольных горно-энергетических предприятий на экосистемы. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024; 16 (3): 1130-1143. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-1130-1143>.
Morgoeva A.D., Mandzhieva S.S., Kirichkov M.V., et al. Research of machine learning models for assessing the impact of coal mining and energy enterprises on ecosystems. *Sustainable development of mountainous territories*. 2024; 16 (3): 1130-1143. (In Russ.). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-1130-1143>.
21. Кожиев Х.Х., Босиков И.И. Комплексный показатель перспективности разработки участков месторождений полезных ископаемых. *Горный журнал*. 2017; 2: 30-32. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.02.05>.
Kojiev Kh.Kh., Bosikov I.I. A comprehensive indicator of the prospects for the development of mineral deposits. *Mining magazine*. 2017; 2: 30-32. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.02.05>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Владимир Иванович Голик –

д-р техн. наук, профессор, Геофизический институт
Владикавказского научного центра РАН, 362002, г.
Владикавказ, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>; e-mail: v.i.golik@yail.ru

Вячеслав Хаматканович Дзапаров –

канд. техн. наук, доцент Северо-Кавказского горно-
металлургического института (ГТУ), 362021, г.
Владикавказ, Российская Федерация; e-mail: dzapa64@
yandex.ru

ABOUT THE AUTHOR

Vladimir I. Golik –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Geophysical Institute of the
Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of
Sciences, 362002, Vladikavkaz, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>; e-mail: v.i.golik@yail.ru

Vyacheslav H. Dzaparov –

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the North Caucasus
Mining and Metallurgical Institute (GTU), 362021, Vladikavkaz,
Russian Federation; e-mail: dzapa64@yandex.ru

Сергей Георгиевич Страданченко –

д-р техн. наук, профессор, ректор Южно-Российского государственного политехнического университета, 346428, г. Новочеркасск, Российская Федерация; e-mail: ssg72@mail.ru

Sergey G. Stradanchenko –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector of the South Russian State Polytechnic University, 346428, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation; e-mail: ssg72@mail.ru

Юрий Витальевич Дмитрак –

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, начальник отдела моделирования и управления горнотехническими системами, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, 111020, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-1278-4845>; e-mail: dmitrak@yandex.ru

Yuri V. Dmitrak –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Head of the Department of Modeling and Management of Mining Systems, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-1278-4845>; e-mail: dmitrak@yandex.ru

Станислав Александрович Масленников –

канд. техн. наук, заведующий кафедрой строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал ДГТУ), 346500, г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: mail@sssu.ru

Stanislav A. Maslennikov –

Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Construction and Technosphere Safety, Institute of Service and Entrepreneurship (branch), DSTU, 346500, Shakhty, Russian Federation; e-mail: mail@sssu.ru

Вклад авторов:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 08.08.2025

Поступила после рецензирования: 30.11.2025

Принята к публикации: 06.12.2025

Article info

Received: 08.08.2025

Revised: 30.11.2025

Accepted: 06.12.2025