

## Моделирование показателей разработки рудных месторождений Садона

В.И. Голик<sup>1, 2</sup>✉, А.В. Титова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Северо-Кавказский государственный технологический университет, г. Владикавказ, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский государственный политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

✉ vi.golik@mail.ru

**Резюме:** Актуальность. Эффективность горного производства зависит от уровня потерь и разубоживания руд и может быть улучшена путем совершенствования способов добычи и переработки руд, поэтому исследования по этому направлению являются своевременными и актуальными.

Целью исследований является повышение показателей добычи минерального сырья путем моделирования параметров технологий.

Объектом исследования являются рудные месторождения скального типа, разрабатываемые горными предприятиями различных горнодобывающих отраслей народного хозяйства.

Методы. Систематизация и системный анализ показателей разработки месторождений, экономико-математическое моделирование с оценкой технологий и инженерное прогнозирование перспектив решения проблемы на основе комбинирования традиционных способов разработки месторождений.

Результаты. Приведены результаты моделирования показателей разработки месторождения на примере конкретного горного предприятия. Выполнен системный анализ показателей разработки металлических месторождений и критериев эффективности деятельности предприятий. Сформулированы принципы комбинирования традиционных способов разработки месторождений исходя из минимизации объемов технологически необусловленных объемов пород. Дана методика оптимизации вариантов комбинирования технологий. Установлен механизм корреляции качества добываемых руд с геодинамическими процессами. Предложена концепция оптимального управления и модель твердой дискретной среды, позволяющая управлять напряжениями с помощью технологических приемов.

**Ключевые слова:** подземная разработка, горное давление, качество руд, геодинамические процессы, моделирование, технология

**Для цитирования:** Голик В.И., Титова А.В. Моделирование показателей разработки рудных месторождений Садона. *Горная промышленность*. 2022;(4):82–87. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-82-87>

## Modelling of mining performance indicators for the Sadon ore deposits

V.I. Golik<sup>1, 2</sup>✉, A.V. Titova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Nord-Caucasian State Technological University, Vladikavkaz, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow State Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> V.I. Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ vi.golik@mail.ru

**Abstract:** *Relevance.* The efficiency of mining operations depends on the level of ore losses and dilution and it can be increased by improving the mining and ore processing methods, therefore research in this area is both timely and relevant.

*The purpose* of this study is to improve the performance indicators of mining of minerals by modelling the technological parameters.

The subject of the research are hard rock ore deposits developed by mining companies in various sectors of the national economy.

*Methods.* Systematization and system analysis of the mining performance indicators, economic and mathematical modeling with technology assessment as well as engineering predictions of the prospects to solve the challenge based on the combination of traditional mining systems.

*Results.* The paper presents the results of modelling mining performance indicators using a specific mining operation as an example. A system analysis of mining performance indicators has been performed for metal deposits as well as for performance criteria of the mining companies. Principles for combining traditional mining systems are formulated based on minimization of technologically unconditioned volumes of rocks. A methodology to optimize the options for combining technologies is presented. A correlation mechanism has been established between the quality of mined ores and geodynamic processes. A concept of optimum control is proposed as well as a solid discrete medium model which allows to control the stresses using technological techniques.

**Keywords:** underground mining, rock pressure, ore quality, geodynamic processes, modeling, technology

**For citation:** Golik V.I., Titova A.V. Modelling of mining performance indicators for the Sadon ore deposits. *Russian Mining Industry*. 2022;(4):82–87. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-82-87>

## Введение

Уровень развития стран определяется базовым ресурсным потенциалом и полнотой использования ресурсов, а технологический уровень производства обуславливает динамику их экономического развития [1–3]. Для экономического развития необходимо решение теоретических и практических задач горного производства, особенно стран со специализацией на добычу и переработку определенных ресурсов. Со временем часть месторождений с уменьшением содержания полезных компонентов в добываемой руде становится нерентабельной для современных технологий разработки, но прогресс горной науки позволяет продлить их жизнь при условии освоения инновационных способов добычи [4–6].

Инновационные технологии позволяют вовлекать в сферу производства становящиеся неактивными запасы, решая не только технолого-экономические проблемы, но и снижая опасность техногенного влияния на окружающую среду [7–10].

Обладая некондиционными запасами и развитой инфраструктурой, горные предприятия могут модернизировать производство. Подземным способом добывают большую часть цветных и редких металлов, химического сырья, угля и других минеральных ресурсов. Он наиболее затратен и трудоемок, но ценность добываемого сырья при этом вчетверо больше, чем у добытого карьером сырья. Усилия ученых направлены на поиски новых способов повышения эффективности добычи металлов, в том числе вовлечение в производство ранее некондиционного сырья [11–14].

Безопасность горного производства обеспечивается комбинированием способов добычи и переработки руд разного качества с целью уменьшения потерь и разубоживания добываемых руд.

Ранее выполненными исследованиями установлено:

- технологическая отсталость горнодобывающих предприятий является основной причиной неполного использования недр;
- выборочная отработка наиболее богатых руд формирует техногенные запасы в недрах, которые нередко сопоставимы с запасами первичных ресурсов;
- вовлечение в разработку месторождений с низким содержанием руд увеличивает объемы отходов горного производства, что повышает угрозу деградации окружающей среды.

Многолетнее неконтролируемое и неуправляемое погашение пустот способствовало росту напряжений и деформаций, что выразилось в увеличении потерь и разубоживания до уровня нерентабельности производства. Разработка способов повышения эффективности добычи руд на основе учета эквивалентности технико-экономических показателей – важная и актуальная задача.

**Цель исследования:** рационализация использования запасов руд путем учета эквивалентности показателей эффективности факторов производства – может быть достигнута с использованием возможностей экономико-математического моделирования.

## Методы исследования

Задача решается экономико-математическим моделированием. Состояние напряженно-деформированного сложноструктурного массива описывается моделью твердой дискретной среды с переменными параметрами. Корреляция показателей качества добываемых руд и повышения полноты извлечения запасов недр с геодина-

мическими процессами доказываетя феноменом трехмерного вероятностного распределения. Исследование осуществляется по плану Бокса с расчетами в Maple. При определении свойств материалов использованы стандартные методики.

## Результаты и обсуждение

Эквивалентность соотношений между качественными и экономическими показателями производства металлов определяется моделированием по данным практики Садонского полиметаллического месторождения (РСО-Алания) [15–17]. Данные для моделирования эквивалентных соотношений взаимодействующих факторов сведены в табл. 1 и интерпретированы рис. 1.

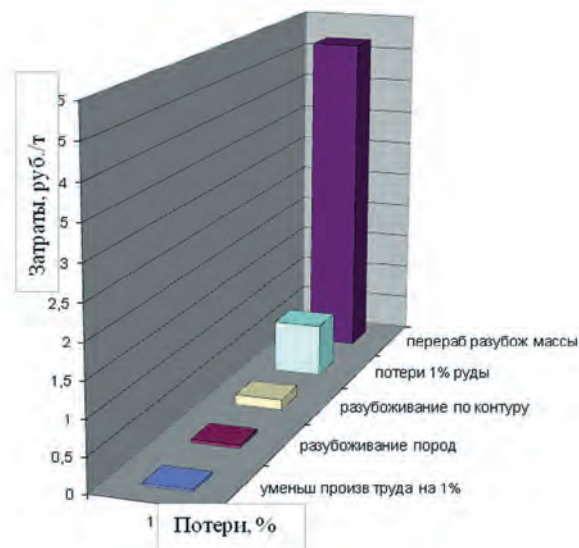
**Таблица 1**  
Параметры моделирования эквивалентных соотношений Критические важные сырьевые материалы для ЕС в 2020 г.

**Table 1**  
Parameters for modelling equivalent correlations

Показатели	Значение
Себестоимость руды, руб/т	75,4
Ущерб от потерь руды, руб/т, %	0,75
Ущерб от разубоживания руды, руб/т	4,69
Ущерб от уменьшения производительности труда, руб/т, %	0,03

Примечание: расчеты в ценах по состоянию на 1990 г. сделаны для содержания металлов в руде 10 кг/т.

Эквивалентность показателей для случая потери 1% руды показана на рис. 1.



**Рис. 1**  
Эквивалентные соотношения между параметрами добычи металлов

**Fig. 1**  
Equivalent correlations between the metal extraction parameters

Данные для определения корреляции между качеством руды и стоимостью ее добычи представлены в табл. 2.

Результаты моделирования эквивалентных соотношений параметров разработки руд различной ценности представлены в табл. 4.

**Таблица 2**  
Данные для экономико-математического моделирования

Показатели	Варианты	
	Без закладки	С закладкой смесями
Стоимость руды, руб/т	75,6	75,5
Условно-переменные эксплуатационные затраты, руб/т	5,7	7,2
Ущерб от потерь руды, руб/т	5,4	1,8
Ущерб от переработки 1 т пород, руб/т	3,7	3,7
Ущерб от переработки разубоженной руды, руб/т	0,8	0,2
Условно-переменные затраты с учетом ущерба от потерь, разубоживания и изменения стоимости руды, руб/т	11,9	9,4
Экономический эффект, руб/т запасов	–	2,6
Экономический эффект, тыс. руб.	–	135

**Table 2**  
Data for economic and mathematical modelling

**Таблица 3**  
Показатели вариантов технологий

Показатели	Варианты	
	Без закладки	С закладкой смесями
Запасы руды, тыс. т	50	50
Содержание металла в руде, кг/т	20	20
Потери руды, доли	0,09	0,03
Содержание металла в потерянной руде, кг/т	20	20
Разубоживание руды, доли	0,3	0,1
Металла в разубоживающей горной массе, кг/т	5	5
Условно-переменные затраты на добычу, руб/т	5,7	7,2

**Table 3**  
Indicators of the mining system options

**Таблица 4**  
Результаты моделирования эквивалентных соотношений параметров разработки

Показатели	Минимум	Среднее	Максимум	Интервал
Ценность руды, руб/т	50	75	100	25
Ущерб от потерь руды, руб/т, %	0,25	0,75	1,00	0,25
Ущерб от разубоживания руды, руб/т	2,5	5,0	7,5	2,5
Ущерб от уменьшения производительности труда без изменения срока отработки, руб/т, %	0,01	0,03	0,05	0,02

**Table 4**  
Results of modelling the equivalent correlations for mining parameters

Модель для определения прибыли от использования вариантов технологии:

$$P_{y_t} = C_{T_{\text{бу}}} - \frac{1 - \Delta \gamma_T}{1 - R} Z_{T_{\text{б}}} - V_{T_{\text{бу}}} - \frac{1 - \Delta \gamma_T}{1 - R} R V_{T_{\text{н}}}$$

где  $Z_{T_{\text{б}}}$  – затраты на добычу руды, руб/т;  
 $R V_{T_{\text{н}}}$  – ущерб от разубоживания руды, руб/т;  
 $V_{T_{\text{бу}}}$  – ущерб от потерь руды, руб/т.

Расчетом в Maple определена величина прибыли для каждого из вариантов:

– при минимальной ценности:

$$P_{y_t \text{ min}} = 43.535, \text{ руб/т;}$$

– при средней ценности:

$$P_{y_t \text{ средн}} = 67.117, \text{ руб/т;}$$

– при максимальной ценности:

$$P_{y_t \text{ max}} = 86.715, \text{ руб/т;}$$

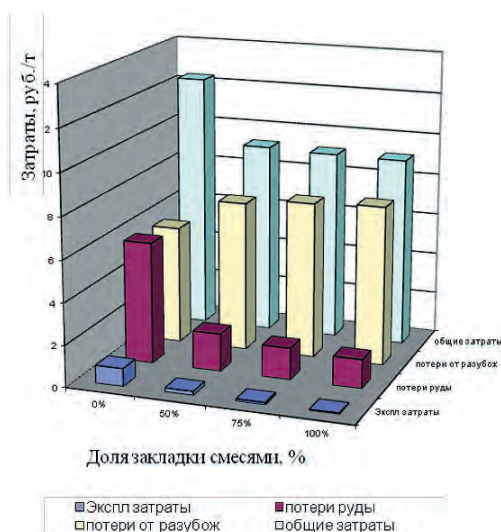
Результаты экономико-математического моделирования вариантов технологии, различающихся объемом закладки твердеющими смесями при добыче руды 200 тыс. т/год и сохранении прочих условий, приведены в табл. 5.

**Таблица 5**  
Результаты моделирования эффективности вариантов технологии

Показатели	Заполнение пустот, %			
	0	50	65	80
Ценность руды, руб/т	75,64	75,49	75,42	75,38
Эксплуатационные затраты, руб/т	5,68	7,21	7,50	7,64
Ущерб от потерь руды, руб/т	5,84	1,81	1,52	1,38
Ущерб от внешнего разубоживания, руб/т	3,75	3,75	3,75	3,75
Ущерб от внутреннего разубоживания, руб/т	0,85	0,19	0,10	0,05
Затраты на погашение пустот	–	50	65	80
Затраты с учетом ущерба и погашения, руб/т	11,97	9,36	8,94	8,81
Экономический эффект удельный, руб/т	–	2,61	3,03	3,16
Экономический эффект, тыс. руб/т	–	522	606	632

**Table 5**  
Results of modelling the efficiency of mining system options

Результаты моделирования эффективности закладки пустот интерпретируются рис. 2.



**Рис. 2**  
Показатели эффективности в зависимости от доли твердеющей закладки

**Fig. 2**  
Performance indicators depending on the share of solidifying backfill



Напряженно-деформированное состояние скальных рудовмещающих массивов зависит от соотношения глубины работ и высоты зоны влияния очистных выработок. Прочность системы «массив – выработка» и качественные показатели добычи руд взаимосвязаны:

$$\sigma k_m = \int_{l_{min}}^{l_{max}} f(x(dx_1, dx_2, \dots, dx_n)) \rightarrow \Pi, P = \int_{l_{min}}^{l_{max}} x d_s$$

где  $\sigma$  – напряжения в породах, МПа;

$k_m$  – коэффициент корректировки напряжений природного и техногенного характера;

$l_{max}, l_{min}$  – пролеты обнажения пород выработками, м;

$x_1, \dots, x_n$  – технологические, физико-механические и иные характеристики руд и пород;

$\Pi$  – потери руд, доли ед.;

$P$  – разубоживание руд породами, доли ед.;

$d_s$  – размер элементарных породных блоков, м.

Разубоживание руды зависит от самозаклинивания элементарных структурных блоков пород с созданием несущей конструкции.

Минимизированная по величине потерь и разубоживания модель управления эффективностью добычи руд имеет вид:

$$\Pi_{y_t} = \Pi_{T_s} - 3_T - Y_{T_{от}} - Y_{T_{вкс}} - Y_{T_{впр}}$$

где

$\Pi_{y_t}$  – прибыль от добычи и переработки руды, руб/т;

$\Pi_{T_s}$  – ценность добытой руды, руб/т;

$3_T$  – затраты на добычу и переработку руды, руб/т;

$Y_{T_{от}}$  – ущерб от разубоживающих пород по контуру блока, руб/т;

$Y_{T_{впр}}$  – ущерб от переработки разубоживающей массы, руб/т;

Варианты добычи руд сравниваются по величине прибыли от их применения:

$$\Pi_{y_{пр}} = \left[ 3_{T_{от}} \cdot \left( 1 - \frac{Q_{от} + Q_{в}}{Q_s} \right) + \frac{3_{в}}{\rho} \left( 1 + \frac{Q_{в} - Q_{от}}{Q_s} \right) + 3_{T_{в}} \cdot \frac{Q_{от} + Q_{в}}{Q_s} + 3_{T_{в}} \cdot \frac{Q_{от} + Q_{в}}{Q_s} \right] \cdot \Delta \gamma_{T_{вкс}} - \frac{R_s}{(1 - R_s)P} \cdot \left[ \left( 3_{T_{от}} + \frac{3_{в}}{\rho} \right) + (1 - \Delta \gamma_{T_{в}}) \cdot Y_{T_{от}} \right] - \frac{(1 - P)}{P} \cdot \left[ 3_{T_{в}} - B \left( 3_{T_{от}} + \frac{3_{в}}{S} \right) \right] + \frac{(1 - P)(1 - B)(1 - \delta)}{P} (1 - \Delta \gamma_{T_{в}}) Y_{T_{в}}$$

где  $\Pi_{T_s}$  – ценность добытой руды, руб/т;

$\Pi_{T_{от}}$  – ценность теряемой руды, руб/т;

$3_{T_{от}}$  – затраты на отбойку, выпуск и транспортировку руды, руб/т;

$3_{T_{в}}$  – затраты на нарезные работы, руб/т;

$3_{T_{в}}$  – затраты на подготовительные работы, руб/т;

$3_{в}$  – затраты на закладку твердеющими смесями, руб/м<sup>3</sup>;

$Q_s$  – объем руды и пород в границах рудного тела, м<sup>3</sup>;

$Q_{от}$  – объем нарезных работ по руде, м<sup>3</sup>;

$Q_{в}$  – объем нарезных работ по породе, м<sup>3</sup>;

$Q_{от}$  – объем подготовительных работ по руде, м<sup>3</sup>;

$Q_{в}$  – объем подготовительных работ по породе, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – объемный вес руды, т/м<sup>3</sup>;

$Y_{T_{в}}$  – ущерб от переработки разубоживающей массы, руб/т.

Выбор технологии повышения эффективности горного производства путем регулирования напряжений за заполнением выработанного пространства твердеющими смесями осуществляется с использованием алгоритма (рис. 3).



Рис. 3  
Алгоритм повышения эффективности производства руд

Fig. 3  
An algorithm to enhance the efficiency of ore production

Результаты исследования подтверждаются данными российских и зарубежных специалистов в области производства металлов [18–20].

### Выводы

Потери и разубоживание руд являются следствием недостаточной управляемости напряжениями в природных и естественных массивах. Высокие и стабильные показатели эффективности производства обеспечивают технологии с рациональным использованием эквивалентных показателей. Стоимость товарных руд адекватно зависит от соотношения показателей разработки месторождений. Затраты материальных и трудовых ресурсов и полнота использования запасов недр могут быть оптимизированы с применением метода экономико-математического моделирования, потому что их параметры, в том числе потери и разубоживание руд, определяют способ управления горным давлением. Показатели качества добываемых руд и повышения полноты извлечения запасов недр с достаточной сходимостью коррелируют с геодинамическими процессами, провоцируемыми технологическими процессами добычи руд.

## Список литературы

1. Малышев Ю.Н., Титова А.В. Твердые отходы горной промышленности – как основа формирования дополнительной минерально-сырьевой базы стратегического сырья РФ. *Маркшейдерия и недропользование*. 2014;(1):23–32.
2. Валиев Н.Г., Пропп В.Д., Вандышев А.М. Кафедре горного дела УГТУ – 100 лет. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2020;(8):130–143. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-130-143>
3. Гавришев С.Е., Корнилов С.Н., Пыталев И.А., Гапонова И.В. 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>
4. Espinoza R.D., Rojo J. Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector. *Resources Policy*. 2017;52:7–18. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.01.011>
5. Малышев Ю.Н., Ряховский В.М., Банников В.Ф., Ряховская С.К. Минералого-геохимические исследования – действенный инструмент совершенствования технологии переработки техногенных отходов. *Горный журнал*. 2016;(1):73–76. <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.01.15>
6. Лискова М.Ю., Стась В.П., Стась П.П., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Разоренова Е.Ю. Особенности приготовления строительных смесей для горного производства. *Технологии бетонов*. 2021;(5):73–78.
7. 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):170–182.
8. Лискова М.Ю. Негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду предприятиями по добыче и обогащению калийно-магниевых солей. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. 2017;16(1):82–88. <https://doi.org/10.15593/2224-9923/2017.1.9>
9. Титова А.В., Наумов Г.Б. Экологические проблемы современности. *Горная промышленность*. 2018;(2):75–78. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-2-138-75-78>
10. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov V.V., Morozov F.S., Tuaeve G.E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. *International Journal of GEOMATE*. 2018;15(47):158–163. <https://doi.org/10.21660/2018.47.20218>
11. Ляшенко В.И. Экологическая безопасность уранового производства в Украине. *Горный журнал*. 2014;(4):113–116. Режим доступа: <https://rudmet.ru/journal/1297/article/22110/>
12. Кожиев Х.Х., Босиков И.И. Комплексный показатель перспективности разработки участков месторождений полезных ископаемых. *Горный журнал*. 2017;(2):30–32. Режим доступа: <https://rudmet.ru/journal/1602/article/27515/>
13. Ключев Р.В., Голик В.И., Босиков И.И. Комплексная оценка гидрогеологических условий формирования ресурсов минеральных вод Нижне-Кармадонского месторождения. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021;332(8):206–218. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/8/3319>
14. Vrancken C., Longhurst P.J., Wagland S.T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management*. 2017;61:40–57. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.019>
15. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maysuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory. *International Journal of GEOMATE*. 2016;10(1):1693–1697. Available at: [https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/1693-1697-5327-Zaalishvili\\_Feb-2016.pdf](https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/1693-1697-5327-Zaalishvili_Feb-2016.pdf)
16. Дмитрак Ю.В., Дзапаров В.Х., Стась В.П., Стась П.П. Коррекция свойств бетонов в горном производстве. *Технологии бетонов*. 2020;(9-10):39–43.
17. Душин А.В., Валиев Н.Г., Лагунова Ю.А., Шорин А.Г. Уральский горный и московский горный: взаимодействие вузов. *Горный журнал*. 2018;(4):4–10. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.04.01>
18. Cardu M., Seccatore J., Vaudagna A., Rezende A., Galvão F., Bettencourt J. S., Tomi de G. Evidences of the influence of the detonation sequence in rock fragmentation by blasting. Part I. *REM: Revista Escola de Minas*. 2015;68(3):337–342. <https://doi.org/10.1590/0370-44672014680218>
19. Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A. Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*. 2019;9(5):1–13. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
20. Разоренова Е.Ю., Бабкин А.В. Предложения по расширению минерально-сырьевой базы угледобывающих предприятий. В сб.: Гасумянц В.Э. (ред.) *Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, г. Санкт-Петербург, 18–23 ноября 2019 года*. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС; 2019. С. 687–690. Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/i20-14.pdf/info>

## References

1. Malyshev Yu.N., Titova A.V. Solid mine wastes as a foundation of the supplementary mineral and raw materials base of strategic materials in Russia. *Marksheideriya i nedropolzovanie*. 2014;(1):23–32. (In Russ.)
2. Valiev N.G., Propp V.D., Vandyshev A.M. The 100<sup>th</sup> anniversary of the department of mining engineering of ursmu. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2020;(8):130–143. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-130-143>
3. Gavrishev S.E., Kornilov S.N., Pytalev I.A., Gaponova I.V. Enhancing mine production efficiency through waste management. *Gornyi Zhurnal*. 2017;(12):46–51. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.12.09>
4. Espinoza R.D., Rojo J. Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector. *Resources Policy*. 2017;52:7–18. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.01.011>
5. Malyshev Yu.N., Ryakhovskiy V.M., Bannikov V.F., Ryakhovskaya S.K. Mineralogy and geochemistry research – An efficient tool of improvement of mining waste processing technology. *Gornyi Zhurnal*. 2016;(1):73–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.01.15>
6. Liskova M.Yu., Stas V.P., Stas P.P., Kongar-Syuryun Ch.B., Razorenova E.Yu. Features of building mixtures preparation for mining. *Tekhnologii betonov*. 2021;(5):73–78. (In Russ.)
7. Kachurin N.M., Stas G.V., Korchagina T.V., Zmeev M.V. GEomechanical and aerogasodynamical consequences of underworking mining leases territories of Eastern Donets basin mines. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2017;(1):170–182. (In Russ.)
8. Liskova M.Yu. Negative impact on the environment caused by companies that mine and process potassium and magnesium salts. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*. 2017;16(1):82–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/2224-9923/2017.1.9>

9. Titova A.V., Naumov G.B. Environmental problems of the present. *Russian Mining Industry*. 2018;(2):75–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-2-138-75-78>
10. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Morozov F.S., Tuaeve G.E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. *International Journal of GEOMATE*. 2018;15(47):158–163. <https://doi.org/10.21660/2018.47.20218>
11. Lyashenko V.I. Ecological safety of uranium production in Ukraine. *Gornyi Zhurnal*. 2014;(4):113–116. (In Russ.) Available at: <https://rudmet.ru/journal/1297/article/22110/>
12. Khozhiev Kh.Kh., Bosikov I.I. Integrated exploitability index for mineral deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2017;(2):30–32. (In Russ.) Available at: <https://rudmet.ru/journal/1602/article/27515/>
13. Klyuev R.V., Golik V.I., Bosikov I.I. Comprehensive assessment of hydrogeological conditions for formation of mineral water resources of the Nizhne-Karmadon deposit. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021;332(8):206–218. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/8/3319>
14. Vrancken C., Longhurst P.J., Wagland S.T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management*. 2017;61:40–57. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.019>
15. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maysuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory. *International Journal of GEOMATE*. 2016;10(1):1693–1697. Available at: [https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/1693-1697-5327-Zaalishvili\\_Feb-2016.pdf](https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/1693-1697-5327-Zaalishvili_Feb-2016.pdf)
16. Dmytruk Y.V., Dzaparov V.H., Stas V.P., Stas P.P. Correction properties of concrete in the mining industry. *Tekhnologii betonov*. 2020;(9-10):39–43. (In Russ.)
17. Dushin A.V., Valiev N.G., Lagunova Yu.A., Shorin A.G. Ural Mining University and Moscow Mining University: interaction of higher education institutions. *Gornyi Zhurnal*. 2018;(4):4–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.04.01>
18. Cardu M., Seccatore J., Vaudagna A., Rezende A., Galvão F., Bettencourt J. S., Tomi de G. Evidences of the influence of the detonation sequence in rock fragmentation by blasting. Part I. *REM: Revista Escola de Minas*. 2015;68(3):337–342. <https://doi.org/10.1590/0370-44672014680218>
19. Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A. Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*. 2019;9(5):1–13. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
20. Razorenova E.Yu., Babkin A.V. Proposals for expanding the mineral resource base of coal mining enterprises. In: Gasumyants V.E. (ed.) *Week of Science SPbPU: materials of a scientific conference with international participation, St. Petersburg, 18–23 November 2019*. St. Petersburg: POLITEKh-PRESS; 2019, pp. 687–690. (In Russ.) Available at: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/i20-14.pdf/info>

#### **Информация об авторах**

**ГолИК Владимир Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Горное дело», Северо-Кавказский государственный технологический университет, г. Владикавказ, Российская Федерация; профессор кафедры «Металлургия», Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: [v.i.golik@mail.ru](mailto:v.i.golik@mail.ru)  
**Титова Ася Владимировна** – доктор технических наук, заместитель директора по развитию, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [vikt\\_s@mail.ru](mailto:vikt_s@mail.ru)

#### **Информация о статье**

Поступила в редакцию: 08.07.2022  
Поступила после рецензирования: 25.07.2022  
Принята к публикации: 26.07.2022

#### **Information about the authors**

**Vladimir I. Golik** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mining, North Caucasus State Technological University, Vladikavkaz, Russian Federation; Professor of the Department of Metallurgy of Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation, e-mail: [v.i.golik@mail.ru](mailto:v.i.golik@mail.ru)  
**Asya V. Titova** – Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Development, V.I. Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: [vikt\\_s@mail.ru](mailto:vikt_s@mail.ru)

#### **Article info**

Received: 08.07.2022  
Revised: 25.07.2022  
Accepted: 26.07.2022