

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ СКАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В.И. Голик<sup>1</sup>, И.А. Алексеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский политехнический университет, Москва, Россия,  
e-mail: v.i.golik@mail.ru

<sup>2</sup> Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный  
технологический университет), Владикавказ, РСО-Алания, Россия

**Аннотация:** Тема исследования – поиски неиспользуемых резервов повышения эффективности подземной разработки месторождений минерального сырья. Неопределенность методики выбора способов погашения выработанного пространства при отработке рудных тел малой и средней мощности в скальных породах не дает возможности использовать этот феномен с получением экономического эффекта при сохранении безопасности работ. Целью исследования является научное и экспериментальное обоснование возможности использования остаточной прочности разрушенных пород для оптимизации процессов погашения выработанного пространства. С использованием положений строительной механики исследован феномен реализации остаточной прочности дискретных пород в результате их заклинивания для оптимизации параметров управления состоянием рудовмещающего массива. Комплексными исследованиями уточнена концепция погашения выработанного пространства при подземной разработке структурно нарушенных месторождений. Приведены сведения о конкретном месторождении скальных руд и роли тектонических структур в поведении его массива при разработке. Обобщены результаты исследования состояния массива с выделением инженерно-геологических участков. Приведена методика расчета параметров погашения выработанного пространства мало-затратными технологиями изоляции и закладки твердеющими смесями, отличающаяся от известных определением количественных показателей дифференцированно для различающихся условий локализации руд. По результатам исследования сделан вывод о возможности реализации остаточной прочности разрушенных пород в результате их заклинивания при погашении выработанного пространства, что в соответствующих условиях способствует оптимальному решению исследуемой проблемы горного производства с получением комплексного эффекта. Научная новизна исследования состоит в детализации известных положений механики применительно к напряженно-деформированным породным массивам.

**Ключевые слова:** порода, прочность, выработанное пространство, заклинивание, управление, безопасность, эффективность.

**Для цитирования:** Голик В. И., Алексеев И. А. Использование породных конструкций при подземной разработке скальных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 5. – С. 57–67. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_5\_0\_57.

---

## Usage of rock structures in underground mining of hard-rock mineral deposits

V.I. Golik<sup>1</sup>, I.A. Alekseev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru

<sup>2</sup> North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

---

**Abstract:** The research aims to search out idle resources to enhance efficiency of underground mineral mining. The procedure of selecting a method of withdrawal of mined-out areas from operation in thin and average thickness ore body cutting in hard rock mass is ambiguous, which disables the economic benefit of the phenomenon at the preserved operational safety. The objective of the research is the theoretical and experimental validation of usability of the retained strength of fractured rocks in optimized withdrawal of mined-out areas from operation. The structural mechanics provisions are used to examine the phenomenon of the retained strength actualization in discrete rocks as a result of their wedging up with a view to optimizing ground control parameters in rock mass surrounding an ore body. The integrated studies have amended the concept of withdrawal of mined-out areas from operation in underground mining of structurally damaged deposits. The information on a specific strong ore body and the role of tectonics in its behavior during mining is given. The rock mass research data are generalized with delineation of geotechnical sites. The design procedure is presented for withdrawal of mined-out areas from operation using the low-cost technologies of underground excavation isolation and cemented paste backfill; as against the known methods, the proposed procedure provides the quantitative indicators on a case-by-case basis for different conditions of ore localizations. The studies allow drawing conclusion on feasible actualization of the retained strength in fractured rocks given their wedging up in withdrawal of mined-out areas from operation, which, in proper conditions, can lead to an optimized solution for the test problem with integrated effect produced. The scientific novelty of this research consists in the circumstantiation of the known mechanics provisions relative to the stress-strain rock mass.

**Key words:** rock, strength, mined-out area, wedging up, control, safety, efficiency.

**For citation:** Golik V. I., Alekseev I. A. Usage of rock structures in underground mining of hard-rock mineral deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(5):57-67. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_5\_0\_57.

---

### Введение

Сохранение природных ландшафтов в зоне деятельности горных предприятий имеет глобальную значимость, поэтому исследования закономерностей развития негативных последствий технологий для окружающей среды актуальны. Актуальность проблемы увеличивается в условиях регионов, где добыча руд в течение многих лет характеризуется наличием погашенных выработок,

воронками провалов и отвалами пород и хвостов обогащения.

Разработка месторождений подземным способом сопряжена с риском из-за многообразных негативно воздействующих факторов [1]. При проектировании параметров управления массивом увеличение коэффициента надежности увеличивает потери в целиках. В большинстве случаев при этом не учитывается влияние динамических напряжений при-

родного и техногенного происхождения. Состояние разрабатываемых массивов принимается статическим, а влияние сейсмических процессов признается несущественным или непрогнозируемым.

Многовековой практикой добычи минералов подтверждена возможность применения метода погашения выработанного пространства изоляцией без заполнения выработанного пространства. Определение безопасных параметров очистных выработок нуждается в корректном обосновании метода погашения выработанного пространства.

Эффективность подземной разработки пологих маломощных месторождений металлов зависит от возможности сохранения плоской формы кровли очистных выработок путем обеспечения геомеханической сбалансированности массивов.

Минимизация затрат на управление состоянием массива с сохранением приемлемого качества руд и безопасности работ обеспечивается неперевышением безопасных по уровню напряжений обнажений пород.

Среди методов решения пространственно-временных задач добычи руд получает развитие междисциплинарный подход [2, 3], в основе которого заложен комплексный учет свойств минералов и слагаемых ими массивов [4, 5].

Приоритетным условием применения технологии разработки становится предотвращение деформаций земной поверхности вследствие подработки территорий горных отводов [6, 7], а также развитие напряжений под влиянием горных работ [8, 9].

При оценке технологий большее внимание уделяется особенностям вовлекаемых в разработку месторождений, например, водообильности [10].

Неотъемлемой частью проекта разработки становится мониторинг геоэкологической опасности при геодинамиче-

ском взаимодействии объектов освоения недр [11, 12].

Уточняется методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке на уровнях вплоть до регионального [13–15].

Получает развитие направление корректировки свойств хвостов переработки руд для использования их в подземном строительстве [16–18], а также расширения минерально-сырьевой базы предприятий [19].

Разрабатывается новый подход к оценке влияния технологических воздействий на динамику напряжений горных пород [20].

Развиваются методы совершенствования системы разработки с заполнением выработанного пространства твердеющими смесями или затвердевшими хвостами выщелачивания руд [21, 22].

### **Методы**

Методы расчета устойчивых обнажений пород, при которых массив является дискретным с разнородным полем напряжений, даны в трудах А.А. Борисова, Г.Н. Кузнецова, С.В. Ветрова и развиты работами М.Т. Алимжанова, Б.З. Амузина, Н.В. Баклашова и др. Остаточная несущая способность дискретных пород исследована в работах М.М. Протодьяконова, А.А. Борисова, В.Д. Слесарева и др.

Закономерности взаимодействия природных и технических систем при разработке рудных месторождений исследуют преимущественно путем геофизического контроля состояния массива с регистрацией количественных показателей напряжений, формируемых совокупностью геостатического давления, природных и техногенных сейсмотектонических воздействий.

Оценка и прогноз состояния массива осуществляется на основе инженерно-

Таблица 1

**Инженерно-геологическая характеристика месторождения**  
**Engineering and geological characteristics of the deposit**

Характеристика участка	Объемный вес, т/м <sup>3</sup>	Прочность, кг/см <sup>2</sup>	Размер отдельности, м	Коэффициент ослабления
Узлы сопряжений разломов с контактной зоной	2,65	639	0,4x0,4	0,37
Зоны крупных разломов и контактные зоны	2,65	587	0,8x1,6	0,43
Внутренние части тектонических блоков между разломом и контактной зоной	2,65	570	1,8x4,0	0,62

геологического районирования путем, например, численного моделирования с построением физико-математической модели природно-техногенной системы.

### Результаты

При выборе способа погашения исходят из того, что даже устойчивые во время отработки породы со временем обрушаются, в зависимости от их размеров или до предельного свода естественного равновесия, или до определяемой коэффициентом обрушения пород высоты.

В геологическом строении месторождения Ишимское принимают участие осадочные породы кембрия-ордовика и девона, а также магматические образования верхнего ордовика и девона. Ведущая роль в структуре и рудоносности месторождения принадлежит разломам.

Рудные тела локализируются в породах кембрия-ордовика и среднего верхнего девона, удельная трещиноватость в которых одинакова и составляет 4...6 трещины. Вблизи тектонических разломов трещиноватость увеличивается и составляет в полосе разлома 10...19, а в рудных телах достигает 50. Наиболее интенсивно трещиноватость развита в зоне опережающих тектонических нарушений.

Вывалы происходят при пересечении сопряжений крутых и пологих зон, а также в случае, когда один из швов тектонического нарушения, со стороны его

лежащего бока, является стенкой выработки.

Комплексные исследования состояния массива позволяют выделить в его составе различные инженерно-геологические участки (табл. 1).

При образовании выработанного пространства при отбойке руд возможно самозаклинивание разрушенных пород с образованием несущей конструкции в пределах свода естественного равновесия, параметры которого могут быть определены с достаточной точностью.

Способ погашения пустот при заклинении пород в пределах свода:

$$\alpha = d_1 \times \left( \frac{10 \times R_{\text{сжк}}}{k \times H \times \gamma} - 1 \right),$$

где  $\alpha$  — полупролет свода заклинения, м;  $d_1$  — горизонтальный размер отдельностей пород, м;  $R_{\text{сжк}}$  — сопротивление пород сжатию, кг/см<sup>2</sup>; 10 — коэффициент перевода кг/см<sup>2</sup> в т/м<sup>2</sup>;  $\gamma$  — объемный вес пород, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  — глубина расположения пяты свода заклинения от земной поверхности, м;  $K$  — коэффициент запаса.

Самозаклинивание пород может произойти, если пролет зоны обрушения меньше предельного свода:

$$2 \times a \geq B.$$

При обрушении пород с образованием свода дневная поверхность сохраняется, если

$$H^1 > h_c,$$

Таблица 2

**Исходные данные для расчета**  
**Initial data for the calculation**

Параметр	Обозначение	Единицы	Значение
Глубина границы выработанного пространства	$H'$	м	60
Высота выработанного пространства	$h$	м	15
Ширина рудного тела	$L_{\phi}$	м	225
Угол падения рудного тела	$\alpha$	град.	80
Угол обрушения пород	$\varphi$	град.	50
Горизонтальный размер породной отдельности	$d_1$	м	1,0
Вертикальный размер отдельности пород	$d_2$	м	1,0
Сопrotивление горных пород сжатию	$R_{\text{сж}}$	МПа	60
Объемный вес пород	$\gamma$	т/м <sup>3</sup>	2,7

где  $H^1$  – расстояние по вертикали между верхней границей выработанного пространства и границей выветрелых пород, м;  $h_{\xi}$  – высота зоны обрушения пород, м.

Условие устойчивого состояния земной поверхности по ВНИМИ:

$$H^1 > H_p^1 = K_1 \times l_{\text{экв}},$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий прочность пород;  $l_{\text{экв}}$  – эквивалентный пролет выработки, м.

Количественные параметры погашения выработанного пространства месторождения Ишимское определяются расчетом по экспериментально полученным данным (табл. 2).

Размер горизонтальной поверхности выработанного пространства вкrest простирания:

$$l^1 = \frac{m}{\sin \alpha} + \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{6}{0,98} + \frac{15}{5,67} = 8,8 \text{ м.}$$

Объем выработанного пространства:

$$v_1 = L \times \frac{m}{\sin \alpha} \times h = 25 \times \frac{6}{0,98} + 15 = 2296 \text{ м}^3.$$

Площадь выработанного пространства:

$$s_{\text{пл}} = l^1 \times L = 8,8 \times 25 = 220 \text{ м}^2.$$

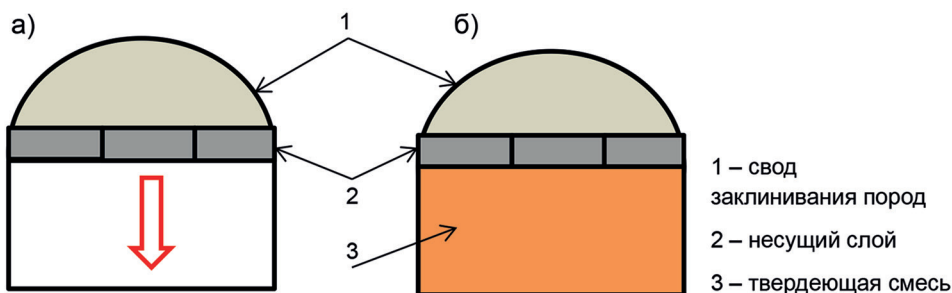
Пролет предельного свода самозаклинивания пород:

$$2a = 2 \times d_1 \left( \frac{10R_{\text{сж}}^1}{K \times H \times \gamma} - 1 \right) = 2 \times 1,0 \left( \frac{10 \times 600}{2 \times 80 \times 2,7} - 1 \right) = 25,8 \text{ м.}$$

Высота искусственного массива:

$$h_3 = \frac{k \times h \times m \times \operatorname{tg} \alpha - H^1 \times (K_p - 1) \times (m \times \operatorname{tg} \alpha + h \times \sin \alpha)}{k \times m \times \operatorname{tg} \alpha - H^1 \times (K_p - 1) \times \sin \alpha} =$$

$$= \frac{1,5 \times 15 \times 6 \times \operatorname{tg} 80^\circ - 60 \times (1,2 - 1) \times (6 \times \operatorname{tg} 80^\circ + 15 \times \sin 80^\circ)}{15 \times 6 \times \operatorname{tg} 80^\circ - 60 \times (1,2 - 1) \times \sin 80^\circ} = \frac{765 - 585}{39} = 4,6 \text{ м}$$



Условие применения малозатратных технологий погашения: открытое выработанное пространство (а); заложённое твердеющей смесью выработанное пространство (б)

The condition for the use of low-cost repayment technologies: open worked-out space (a); worked-out space laid down by a hardening mixture (b)

Для дальнейших расчетов высота искусственного массива принимается 7 м, а оставшаяся пустота высотой 8 м погашается методом изоляции.

Высота изолируемого участка:

$$H' = h_{oc}^1 \times 60 = \frac{1,5 \times 1224}{0,2 \times 188} = 49 \text{ м.}$$

Проверка по ВНИМИ, м:

$$H^1 > H_p^1 = K_1 \times l_{экр.}$$

При табличном значении  $K_1 = 9,0$  высота закладываемого смесью участка:

$$\frac{L \times l_1}{\sqrt{(L^2 + l_1^2)}} = \frac{25 \times 8,8}{\sqrt{(25^2 + 8,8^2)}} = 8,3 \text{ м.}$$

Результат проверки:

$$H^1 = 60 < H_p^1 = 9 \times 8,3 = 75.$$

Из двух значений высоты участков 49 и 75 м принимается более безопасная — 49 м.

При выборе способа погашения выработанного пространства в окрестностях зоны нарушенных пород мощностью 3 м с углом наклона нарушения 80°, способных течь в выработку:

$$H^1 = \frac{5 \times \sin \alpha_n}{m_n} = \frac{5 \times 6,12 \times 15 \times \sin 80^\circ}{3} = 150 \text{ м.}$$

### Обсуждение результатов

Извлечение руды из недр происходит в условиях наложенного воздействия природных и техногенных полей напряжений, которые проявляются не только в форме механических разгрузок, но и в изменении параметров окружающей среды.

Увеличение глубины горных работ и объемов добычи усиливает воздействие на геомеханическую систему, что делает необходимым учет сейсмической составляющей, в том числе техногенного характера.

Исследованием доказано, что одним из важных направлений совершенствования горных технологий является рациональное использование остаточной прочности разрушенных пород, которое способствует получению эколого-экономического эффекта добычи руд при обеспечении безопасности горных работ.

Совершенствование параметров технологий разработки маломощных месторождений, основанное на учете закономерностей стохастического взаимодействия геологических, горнотехнических и геомеханических факторов, подтверждает свою актуальность, в том числе при освоении малозатратных технологий, (например, использование малоактивных компонентов твердеющих смесей из утилизируемых хвостов горного

и металлургического циклов) [17, 23, 24].

В случае образования несущей конструкции из заклинившихся пород сохранность земной поверхности обеспечивается при использовании технологий с изоляцией или с закладкой смесями малой прочности (см. рисунок).

В развитие результатов настоящего исследования можно добавить, что вероятность образования несущих породных конструкций повышается при разделении массива на такие участки, где условия устойчивости соблюдаются, на стадиях проектирования и эксплуатации.

Полученные результаты исследований согласуются с существующими представлениями об управлении состоянием массива ограничением размеров горных выработок как средством минимизации напряжений в природных и искусственных массивах [25, 26] и детализируют принципы получения, передачи и хранения информации о параметрах горно-металлургического предприятия [27, 28].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пелипенко М. В., Баловцев С. В., Айнбиндер И. И. К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 11. — С. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

2. Бригада В. С., Кожиев Х. Х., Сарян А. А., Джиоева А. К. Пространственно-временные задачи геоэкологии — междисциплинарный подход // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 4. — С. 20–32. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32.

3. Клюев 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. — Т. 12. — № 2. — С. 283–290. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290.

4. Naithani A. K. Rock mass classification and support design using the Q-system // Journal of the Geological Society of India. 2019, vol. 94, pp. 443. DOI: 10.1007/s12594-019-1336-0.

5. Fanzhen Meng, Gui Yuan, Wang L., Hui Zhou Rock brittleness indices and their applications to different fields of rock engineering. A review // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2021, vol. 13, no. 1, pp. 221–247. DOI: 10.1016/j.jrmge.2020.06.008.

6. Белодедов А. А., Должигов П. Н., Легостаев С. О. Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 1. — С. 160–169.

## Выводы

1. Использование остаточной прочности разрушенных пород для оптимизации процессов погашения выработанного пространства является резервом повышения эффективности подземной разработки месторождений.

2. Остаточная прочность дискретных пород реализуется путем создания условий для их заклинивания в процессе отделения от массива и дробления.

3. Выделение в пределах рудного поля инженерно-геологических участков, разгруженных от высоких напряжений, позволяет применить менее затратные технологии погашения изоляцией выработок или закладки менее прочными и более экономичными твердеющими смесями.

4. Реализация остаточной прочности разрушенных пород в результате их заклинивания в соответствующих условиях способствует оптимальному решению снижения затрат на добычу руд при обеспечении безопасности горных работ.



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

8. Sepehri M., Apel D. B., Adeeb S., Leveille P., Hall R. A. Evaluation of mining-induced energy and rockburst prediction at a diamond mine in Canada using a full 3D elastoplastic finite element model // Engineering Geology. 2020, vol. 266, pp. 105–117. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.105457.

9. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З. Повышение безопасности подземной добычи руд учетом геодинамики массива // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 8. — С. 36–42. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-8-36-42.

10. Дмитрак Ю. В., Голик В. И., Вернигор В. В. Геомеханические предпосылки сохранения устойчивости выработок при разработке водообильных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2018. — № 1. — С. 218–229.

11. Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Кокарев К. В. Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации рудных месторождений // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2018. — № 2. — С. 4–9. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-2-4-9.

12. Батугин А. С., Шевчук С. В., Шерматова С. С., Головки И. В., Бямбасурэн Зундуйжамц К вопросу мониторинга геоэкологической опасности при геодинамическом взаимодействии объектов освоения недр // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10-1. — С. 63–73. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_101\_0\_63.

13. Протосеня А. Г., Куранов А. Д. Методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Коашвинского месторождения // Горный журнал. — 2015. — № 1. — С. 67–71. DOI: 10.17580/gzh.2015.01.03.

14. 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, vol. 15, no. 47, pp. 158–163. DOI: 10.21660/2018.47.20218.

15. Aizhong Lu, Ning Zhang, Guisen Zeng An extension failure criterion for brittle rock // Deep Rock Behaviour in Engineering Environments. 2020, vol. 8, pp. 1–12. DOI: 10.1155/2020/8891248.

16. Golik V. I., Klyuev R. V., Martyushev N. V., Brigida V., Efremenkov E. A., Sorokova S. N., Mengxu Q. Tailings utilization and zinc extraction based on mechanochemical activation // Materials. 2023, vol. 16, no. 2, article 726. DOI: 10.3390/ma16020726.

17. Дзапаров В. Х., Харебов Г. З., Стась В. П., Стась П. П. Исследование сухих строительных смесей на основе отходов производства для подземного строительства // Сухие строительные смеси. — 2020. — № 1. — С. 35–38.

18. Голик В. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З., Зассеев И. А. Перспективы разработки месторождений Осетии // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — Т. 13. — № 1. — С. 103–111. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-103-111.

19. Rybak J., Gorbatyuk S., Bujanovna-Syuryun K., Khairutdinov A., Tyulyaeva Y., Makarov P. Utilization of mineral waste: a method for expanding the mineral resource base of a mining and smelting company // Metallurgist. 2021, vol. 64, pp. 851–861. DOI: 10.1007/s11015-021-01065-5.

20. Li C. C. Dynamic rock support in burst-prone rock masses / Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium. Chapter 5. London: Taylor & Francis Group. 2018, pp. 47–62.

21. Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Боровиков Е. В. Практика совершенствования системы разработки горизонтальными слоями с гидрозакладкой при отработке крутопадающего жильного месторождения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2020. — № 1. — С. 171–182.



22. Huang P., Zhang J., Spearing A. J. S., Li M., Yan X., Liu S. Deformation response of roof in solid backfilling coal mining based on viscoelastic properties of waste gangue // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021, vol. 31, no. 2, pp. 279–289. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.01.004.

23. Рыбак Я., Хайрутдинов М. М., Конгар-Сюрюн Ч. Б., Тюляева Ю. С. Ресурсосберегающие технологии освоения месторождений полезных ископаемых // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2021. — Т. 13. — № 3. — С. 406–413. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-406-415.

24. Куликова А. А., Ковалева А. М. Применение хвостов обогащения в качестве закладки выработанного пространства рудников // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 2-1. — С. 144–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-144-154.

25. Габараев О. З., Зассеев И. А., Майстров Ю. А., Габараева А. О. Исследование процесса деформирования массива горных пород в предохранительном целике // *Труды СКГМИ (ГТУ)*. — 2021. — № 28. — С. 5–9.

26. Габараев О. З., Абдулхалимов А. Г., Келехсаев В. Б., Дзапаров В. Х. Методика расчета нагрузки на вновь возводимую крепь при реконструкции горных выработок // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. — 2020. — № 7. — С. 54–58. DOI: 10.26160/2658-3305-2020-7-54-58.

27. 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: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-178-188.

28. Зиновьева О. М., Кузнецов Д. С., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 2-1. — С. 113–123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123. **МИАБ**

## REFERENCES

1. Pelipenko M. V., Balovtsev S. V., Aynbinder I. I. Integrated accident risk assessment in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 11, pp. 180–192. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

2. Brigida V. S., Kozhiev Kh. Kh., Saryan A. A., Dzhioeva A. K. Time-space problems in geology: An inter-disciplinary approach. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 4, pp. 20–32. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32.

3. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Mayer A. V., Gavrina O. A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, vol. 12, no. 2, pp. 283–290. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290.

4. Naithani A. K. Rock mass classification and support design using the Q-system. *Journal of the Geological Society of India*. 2019, vol. 94, pp. 443. DOI: 10.1007/s12594-019-1336-0.

5. Fanzhen Meng, Gui Yuan, Wang L., Hui Zhou Rock brittleness indices and their applications to different fields of rock engineering. A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2021, vol. 13, no. 1, pp. 221–247. DOI: 10.1016/j.jrmge.2020.06.008.

6. Belodedov A. A., Dolzhikov P. N., Legostaev S. O. Analyzing mechanism of forming earth surface deformations over liquidated mines mining workings. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2017, no. 1, pp. 160–169. [In Russ].

7. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeyev M. V. Geomechanical and aerogasodynamic consequences of mining the territories of mining branches of the mines of Eastern Donbass. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2017, no. 1, pp. 170–182. [In Russ].

8. Sepehri M., Apel D. B., Adeeb S., Leveille P., Hall R. A. Evaluation of mining-induced energy and rockburst prediction at a diamond mine in Canada using a full 3D elastoplastic finite element model. *Engineering Geology*. 2020, vol. 266, pp. 105–117. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.105457.

9. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Dmitrak Yu. V., Gabaraev O. Z. Improving the safety of underground ore mining taking into account the geodynamics of the massif. *Occupational Safety in Industry*. 2019, no. 8, pp. 36–42. DOI: [In Russ]. 10.24000/0409-2961-2019-8-36-42.

10. Dmitrak Yu. V., Golik V. I., Vernigor V. V. Geomechanical prerequisites for maintaining the stability of workings during the development of water-rich deposits. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2018, no. 1, pp. 218–229. [In Russ].

11. Valiev N. G., Berkovich V. Kh., Propp V. D., Kokarev K. V. Problems of working off of protective targets during the exploitation of ore deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2018, no. 2, pp. 4–9. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-2-4-9.

12. Batugin A. S., Shevchuk S. V., Shermatova S. S., Golovko I. V., Byambasuren Zunduizhamts. Geocological hazard monitoring in geodynamic interaction of subsoil use objects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10-1, pp. 63–73. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_149\_3\_2021\_101\_0\_63.

13. Protoseny A. G., Kuranov A. D. Methodology for predicting the stress-strain state of a mountain massif in the combined development of the Koa-Shvinsky deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2015, no. 1, pp. 67–71. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2015.01.03.

14. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Dzeranov B. V., Morozov F. S., Tuaev G. E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. *International Journal of GEOMATE*. 2018, vol. 15, no. 47, pp. 158–163. DOI: 10.21660/2018.47.20218.

15. Aizhong Lu, Ning Zhang, Guisen Zeng An extension failure criterion for brittle rock. *Deep Rock Behaviour in Engineering Environments*. 2020, vol. 8, pp. 1–12. DOI: 10.1155/2020/8891248.

16. Golik V. I., Klyuev R. V., Martyushev N. V., Brigida V., Efremenkov E. A., Sorokova S. N., Mengxu Q. Tailings utilization and zinc extraction based on mechanochemical activation. *Materials*. 2023, vol. 16, no. 2, article 726. DOI: 10.3390/ma16020726.

17. Dzaparov V. Kh., Kharebov G. Z., Stas V. P., Stas P. P. Investigation of dry construction mixtures based on industrial waste for underground construction. *Sukhie stroitel'nye smesi*. 2020, no. 1, pp. 35–38. [In Russ].

18. Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Gabaraev O. Z., Zassev I. A. Prospects for the deposits development in Ossetia. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 1, pp. 103–111. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-103-111.

19. Rybak J., Gorbatyuk S., Bujanovna-Syuryun K., Khairutdinov A., Tyulyaeva Y., Makarov P. Utilization of mineral waste: a method for expanding the mineral resource base of a mining and smelting company. *Metallurgist*. 2021, vol. 64, pp. 851–861. DOI: 10.1007/s11015-021-01065-5.

20. Li C. C. Dynamic rock support in burst-prone rock masses. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium*. Chapter 5. London: Taylor & Francis Group. 2018, pp. 47–62.

21. Valiev N. G., Berkovich V. H., Propp V. D., Borovikov E. V. Practice of improving the system of development by horizontal layers with hydraulic lining during the development of a steep-yielding vein deposit. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2020, no. 1, pp. 171–182. [In Russ].

22. Huang P., Zhang J., Spearing A. J. S., Li M., Yan X., Liu S. Deformation response of roof in solid backfilling coal mining based on viscoelastic properties of waste gangue. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021, vol. 31, no. 2, pp. 279–289. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.01.004.

23. Rybak Ya., Khairutdinov M. M., Kongar-Syuryun Ch. B., Tyulyaeva Yu. S. Resource-saving technologies for the development of mineral deposits. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 3, pp. 406–413. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-406-415.

24. Kulikova A. A., Kovaleva A. M. Use of tailings of enrichment for laying of the developed space of mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 144–154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-144-154.

25. Gabaraev O. Z., Zasseev I. A., Maistrov Yu. A., Gabaraeva A. O. Investigation of the deformation process of a rock mass in a safety tselik. *Trudy Severo-Kavkazskogo gorno-metallurgicheskogo instituta (Gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta)*. 2021, no. 28, pp. 5–9. [In Russ].

26. Gabaraev O. Z., Abdulkhalimov A. G., Kelekhsaev V. B., Dzaparov V. H. Methodology for calculating the load on newly erected supports during the reconstruction of mine workings. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2020, no. 7, pp. 54–58. [In Russ]. DOI: 10.26160/2658-3305-2020-7-54-58.

27. 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: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-178-188.

28. Zinovieva O. M., Kuznetsov D. S., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Digitalization of industrial safety management systems in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 113–123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Голик Владимир Иванович — д-р техн. наук,  
профессор, e-mail: v.i.golik@mail.ru,

Московский политехнический университет,  
Алексеев Игорь Александрович — канд. юрид. наук,  
доцент, профессор, ректор, Северо-Кавказский  
горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет).

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

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.I. Golik, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

Moscow Polytechnic University,

107023, Moscow, Russia,

e-mail: v.i.golik@mail.ru,

I.A. Alekseev, Cand. Sci. (Jurid.),

Assistant Professor, Professor, Rector,

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 13.01.2023; получена после рецензии 13.02.2023; принята к печати 10.04.2023.

Received by the editors 13.01.2023; received after the review 13.02.2023; accepted for printing 10.04.2023.

