

Перспективы доработки Садонских месторождений

В.И. Голик¹✉, А.В. Титова²

¹Московский государственный политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация

²Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

✉ v.i.golik@mail.ru

Резюме: Статья посвящена актуальной проблеме прогнозирования величины горного давления на основе выявления закономерностей изменения состояния массива горных пород при техногенном вмешательстве в процессе подземной разработки месторождений. Методика исследований объединяет методы установления связей между свойствами и нарушенностью пород, определения критериев оценки прочности массивов и установления критических значений напряжений. Сформулирована проблема доработки Садонских месторождений с обеспечением устойчивости горных пород и безопасности работающих. Дана справка о геологическом строении месторождений с детализацией условий перспективного Джимидонского месторождения. Приведены результаты измерений трещиноватости пород, скорости упругих волн в породах и свойств пород. Установлена закономерная взаимосвязь прочности на сжатие и скорости распространения волн, а также степени развития упругих деформаций и пористости. Приведены сведения о крепости и структурном ослаблении наиболее представительных пород месторождения. Подтверждено, что сцепление пород возрастает по параболическому закону от минимального на контуре шпура до максимального значения в ненарушенном массиве, на основе чего производится оценка устойчивости обнажений пород. Предложена типизация пород с дифференциацией на категории и указаны примерные значения напряжений и смещения частиц. Построен график зависимости зоны неупругих деформаций от глубины заложения выработки дифференцированно для пород различной устойчивости. Показано, что освоение новых технологий с выщелачиванием нуждается в геомеханическом обосновании. Отмечено, что результаты исследования могут быть востребованы при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Сделан вывод, что возобновление или активизация добычных работ возможны при модернизации теории и практики управления массивами.

Ключевые слова: горная порода, подземная разработка, месторождение, Садонские месторождения, Джимидонское месторождение, нарушенность породы, прочность породы, безопасность труда работников

Для цитирования: Голик В.И., Титова А.В. Перспективы доработки Садонских месторождений. *Горная промышленность*. 2024;(5S):177–183. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-177-183>

Towards the prospects of refining the Sadon deposits

V.I. Golik¹✉, A.V. Titova²

¹ Moscow State Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

² Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ v.i.golik@mail.ru

Abstract: The article discusses the urgent problem of forecasting the magnitude of rock pressure based on the identified patterns of changes in the state of the rock mass during man-made intervention in the process of underground mining. The research methodology combines methods for establishing correlations between the properties and disturbance of rocks, determining criteria for assessing the strength of rock masses and identifying the critical stress values. The problem of refining Sadon deposits while ensuring the stability of rocks and the safety of workers is formulated. A reference is given on the geological structure of the deposits with details of the conditions of the promising Jimidon deposit. The results of measuring rock fracturing, elastic wave velocity in rocks and rock properties are presented. The natural interdependence of the compressive strength and wave propagation velocity has been established, as well as the degree of elastic deformations and porosity. Information is provided on the strength and the structural degradation of the most representative rocks of the field. It is confirmed that the adhesion of rocks increases according to the parabolic law from the minimum value at the hole boundaries to the maximum value in the undisturbed rock mass, on the basis of which the stability of rock outcrops is assessed. A typification of rocks with differentiation by category is proposed and approximate values of stresses and displacements of particles are indicated. A dependence graph of the zone of inelastic deformations on the depth of the excavation is constructed differentially for rocks of different stability.

It is shown that the development of new technologies with leaching needs a geo-mechanical justification. It is noted that the results of the study can be applied in underground mining of mineral deposits. It is concluded that resuming or activation of mining operations is possible with the modernization of the theory and practice of the rock mass management.

Keywords: rock, underground mining, deposit, Sadon deposits, Jimidon deposit, rock fracture, rock strength, labour safety

For citation: Golik V.I., Titova A.V. Towards the prospects of refining the Sadon deposits. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):177–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-177-183>

Введение

Реформы 1990-х годов сделали нерентабельными многие горнодобывающие предприятия и породили проблему восстановления их потенциала в новых условиях хозяйствования, актуальность которой увеличивается по мере отработки месторождений полезных ископаемых. Проблема решается в ходе оптимизации технологических процессов по критерию экономической целесообразности.

При определении перспектив доработки Садонских месторождений (Республика Северная Осетия – Алания) важным вопросом оценки, прогноза и обеспечения устойчивости горных пород, окружающих выработку подземного и наземного назначения, является состояние горных выработок, от которого зависят эффективность работы механизмов и безопасность работающих [1; 2]. Продуктивная часть Северо-Кавказского полиметаллического пояса включает в себя Садонское свинцово-цинковое месторождение, отработанное за 200 лет на 1200 м по падению, и ряд других месторождений. Комплекс работ по поддержанию выработок должен ограничить во времени и пространстве динамику роста напряжений. Горная промышленность осваивает новые технологии с реагентным выщелачиванием магазинированных руд, что ставит нетрадиционные задачи геомеханического и обогащительного характера.

Цель работы состоит в детализации методики прогнозирования зон проявления горного давления на основе выявления закономерностей изменения состояния массива горных пород при техногенном вмешательстве.

Диверсификация технологий добычи руд из недр и методов извлечения металлов из хвостов обогащения инновационными методами осуществляется в первую очередь за счет использования физико-химических процессов выщелачивания [3; 4]. При модернизации горного производства используются достижения и передовой опыт добычи полезных ископаемых в добывающих отраслях России и зарубежья [5; 6]. С учетом прошлого совершенствуются и методы комплексного учета генетических особенностей месторождений и технологических свойств руд осваиваемых месторождений [7]. Трудными специалистами горного производства детализируется концепция механизма природных и техногенных динамических явлений для основных типов месторождений [8–10]. Видное место в комплексе решаемых проблем занимает применение геоинформационных технологий при решении геоэкологических задач, а также прогнозирование геомеханического состояния массива при отработке месторождений с закладкой выработанного пространства [11–13]. Аспекты рассматриваемой проблемы нашли отражение в трудах современных зарубежных исследователей [14; 15].

Методы

Применяемые методы исследования являются инструментом установления связей между физико-механическими и иными свойствами и тектонической нарушенностью

рудовмещающих пород, определения критериев оценки прочности структурно-нарушенных массивов, разработки схем повышения устойчивости выработок и установления критических значений, определяющих размеры зон деформации напряжений.

Они включают в свой состав анализ и обобщение результатов изучения геомеханических процессов для использования в моделях и расчетах, опыта практического применения положений горной геомеханики и механики твердого тела для управления напряженным породным массивом, моделирование с использованием возможностей информационных технологий и опытно-промышленную проверку результатов исследований.

Описание материалов, приборов, оборудования, выборка и условия проведения экспериментов и наблюдений приведены в соответствующих разделах статьи.

Результаты

В геологическом строении месторождений, эксплуатируемых участками Садонского рудоуправления, принимают участие кристаллические сланцы, граниты, нижне- и среднеюрские вулканогенно-осадочные породы и четвертичные образования, интенсивно разбитые многочисленными трещинами тектонического и техногенного происхождения. Наиболее перспективное для восстановления жизнеспособности предприятие – Джимидонское месторождение, локализованное в восточной части Садонского рудного района.

Основным видом крепи выработок является дерево. В зонах разлома и тектонических нарушений выработки закреплены монолитным бетоном и металлическими арками. В устойчивых породах кровле выработок придают сводчатую форму. Результаты измерений трещиноватости пород представлены в табл. 1; скорости упругих волн в образцах пород – в табл. 2. Свойства пород определены на прессе (табл. 3).

Таблица 1
Параметры трещиноватости пород

Table 1
Rock fracturing parameters

Показатели	Единица измерения	Степень трещиноватости пород		
		слабая	средняя	сильная
Трещины: поперечные	шт.	2...3	4...5	5...8
продольные	шт.	1...2	3...4	4...5
Средняя ширина трещин	мм	1,32	1,50	2,4
Средняя длина трещин	м	1,96	1,73	1,64
Площадь трещин	м ²	0,0019	0,0042	0,0074
Удельная трещиноватость	%	0,19	0,42	0,74

Таблица 2
Скорость упругих волн

Table
Elastic wave velocity

Породы	Размеры образца		Время прохождения волны, мкс	Скорость упругих волн	
	диаметр, см	длина, см		продольных, м/с	поперечных, м/с
Среднезернистые граниты	4,1	15,3	32,4	4720	2890
	4,18	14,9	30,8	4840	2900
	4,23	15,8	35,0	4512	2690
Окварцованные сланцы	4,0	15,2	26,6	5715	3300
	4,13	16,2	28,4	5736	3338
	4,08	15,1	26,5	5697	3204

Таблица 3
Упругие и прочностные свойства пород

Table 3
Elastic and strength properties of rocks

Породы	Плотность, т/м ³	Коэффициент Пуассона	Модуль, МПа		Прочность, МПа	
			упругости E·10 ⁵	сдвига G·10 ⁵	на сжатие	на растяжение
Песчаники	2,65...2,75	0,24	0,51...0,67	0,14...0,12	62...45,3	5,3...8,5
Порфириды	2,69...2,70	0,20	0,41...0,79	0,15...0,27	35,2...69,0	6,1...9,8
Окварцованные сланцы	2,76-2,82	0,23	0,71...0,81	0,16...0,22	93,2	6,2...10,4
Алевролиты	2,72	0,20	0,43	0,15	25,0	3,8...4,2
Граниты	2,78	0,22	0,39	0,25	69,0...85,0	4,8...5,4

Статистическим анализом с коэффициентом корреляции R₃, равным 0,88, получена формула:

$$\lg \sigma_{сжк} = 0,361PgII + 3,344 \pm 0,315.$$

Коэффициент крепости пород, определенный по формуле Л.И. Барона, приведен в табл. 4.

Измерением расстояний между поверхностями ослабления пород и структурных блоков определены коэффициенты структурного ослабления (табл. 5).

Таблица 4
Шкала крепости некоторых пород

Table 4
Scale of strength of some rocks

Наименование пород	Скорость упругих продольных волн V _п , м/с	Коэффициент крепости, f
Граниты	4500...4840	8...12
Песчаники	4971...5067	7
Алевролиты	4191	6
Окварцованные сланцы	5715...5737	7...8
Порфириды	5475	9...10

Таблица 5
Значения коэффициентов структурного ослабления ряда пород

Table 5
Values of structural degradation coefficients of some rocks

Наименование пород	Прочность пород, МПа	Размер структурного блока, м	Коэффициент структурного ослабления
Окварцованные сланцы	58	0,4x0,4	0,29
Алевролиты	105	0,9x0,4	0,60
Порфириды	65	0,1x0,5	0,47
Песчаники	53	0,6x0,4	0,38
Граниты	95	1,2x1,0	0,58

Условие сохранения связей между структурными блоками описывается критерием Кулона-Мора:

$$\tau_{сж} > \tau_n + \sigma_n \lg \varphi_{мп}$$

где τ_{сж} – касательные напряжения, МПа; τ_n – сцепление пород, МПа; σ_n – нормальные напряжения, МПа; φ_{мп} – угол внутреннего трения, град.

Зависимость между касательными и нормальными напряжениями показана на рис. 1.

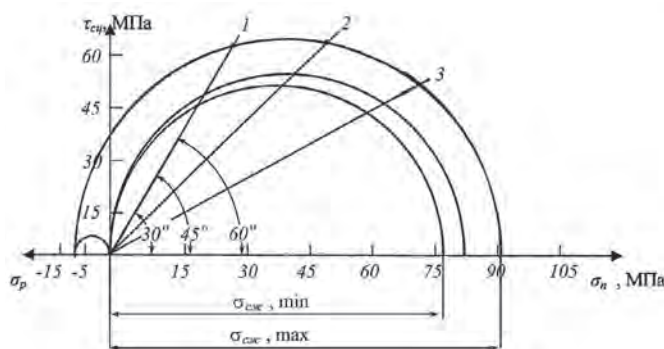


Рис. 1
Паспорт прочности сланцевых пород

Fig. 1
Certificate of shale rock strength

Таблица 6
Коэффициент хрупкости и углы внутреннего трения пород

Table 6
The brittleness index and internal friction angles of rocks

Наименование пород	Угол внутреннего трения $\phi_{гр}$, град	Величина сцепления $\tau_{сц}$, МПа	Коэффициент хрупкости $k_{хр}$
Граниты	48–49	50–70	11,1–18,3
Сланцы	50–51	43–50	5,6–6,0
Порфириды	53–54	34–36	12,1–17,3
Алевролиты	55–56	13–14	6,8
Песчаники	52–53	30–31	7,3–17,0

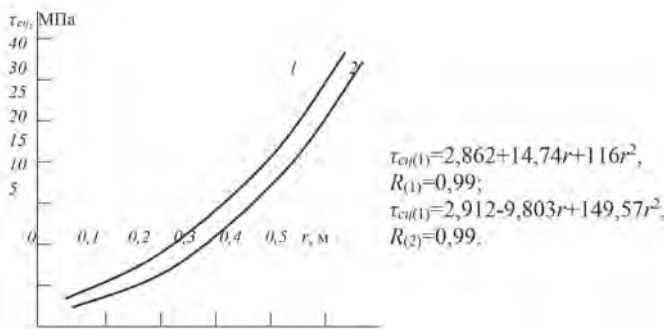


Рис. 2
График изменения сцепления пород гранита (1) и сланца (2) при проходке выработок динамическим способом

Fig. 2
Graph of changes in the cohesion of granite (1) and shale (2) rocks during dynamic tunnelling of mine workings

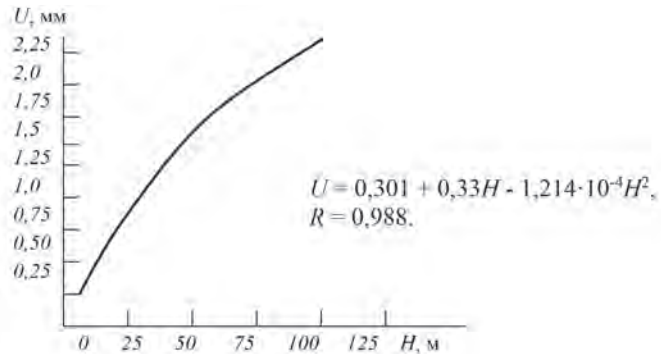


Рис. 3
Зависимость смещения пород от глубины заложения выработки

Fig. 3
Dependence of the rock displacement on the mine depth

Между работой, затраченной на деформацию до предела упругости, к общей работе разрушения образца существует корреляция (табл. 6).

При оценке возможности разрушения пород в зоне влияния выработки определено, что сцепление пород возрастает по параболическому закону от минимального на контуре шпура до максимального значения в ненарушенном массиве с углом внутреннего трения $\phi = 32$ и 36° (рис. 2).

На рис. 3 приведена зависимость смещений пород U' , мм, на контуре выработки от глубины ее заложения H' , м. По абсолютной величине их максимальных смещений производится оценка категории устойчивости пород.

Породы Садонского месторождения по признаку устойчивости могут быть дифференцированы на 4 категории (табл. 7).

Породы, представленные на участке, относятся к линейно-деформируемым (раздельно-зернистые, блочные и трещиноватые Джимидонского участка) в области сжимающих напряжений под действием сил тяжести горных пород. В табл. 8 приведены расчетные значения нормальных, тангенциальных напряжений и смещения частиц для незакрепленной выработки в доломитовых породах на глубине 100 м от поверхности при коэффициенте бокового распора (λ) 0,3.

Таблица 7
Классификация пород по устойчивости

Table 7
Classification of the rocks by stability

Категория	Прогнозная оценка	Общая характеристика пород	
		Опасные по вывалам	Опасные по разрушению
1	Устойчивые	Незначительные локальные отслоения	Зона неупругих деформаций 0,2...0,3 м вследствие технологической трещиноватости
2	Средней устойчивости	Вывалообразование осуществляется из кровли выработки	Образование ослабленной зоны обрушения до 0,5–0,7 м
3	Неустойчивые	Образование вывалов происходит сразу же после обнажения как в своде, так и боках выработки	Зона разрушения охватывает большую часть сечения выработки на глубину до 1,0 м
4	Весьма неустойчивые	Обрушение пород вслед за обнажением	Интенсивное развитие зоны разрушения, особенно в зонах тектонических нарушений, охватывающей весь контур сечения выработки. Максимальная зона возможного обрушения по нормали к контуру выработки более 1,0 м

Таблица 8
Значения напряжений и смещение частиц

Безразмерное смещение	Радиальные напряжения, σ_r , МПа	Тангенциальные напряжения, σ_θ , МПа	Вертикальное напряжение, σ_z , МПа	Безразмерные смещения	
				радиальное, ϵ_r	тангенциальное, ϵ_θ
1	0	5,3	2,65	0,0000265	-0,0000265
2	1,89	3,97	2,65	0,0000066	-0,0000066
3	1,99	3,25	2,65	0,0000029	-0,0000029
4	2,36	2,84	2,65	0,0000016	-0,0000016
5	2,54	2,76	2,65	0,0000010	-0,0000010
6	2,58	2,72	2,65	–	–
7	2,59	2,69	2,65	–	–
8	2,65	2,67	2,65	–	–

Table 8
Stress and particle displacement values

Таблица 9
Напряжения и смещения пород

Угол, определяющий положения точек на контуре выработки θ , град	Радиальные напряжения, σ_r , МПа	Тангенциальные напряжения, σ_θ , МПа	Коэффициент концентрации напряжений, K_σ	Радиальные смещения, U
0	0	0,812	0,29	0,000016
15	0	1,24	0,44	0,000018
30	0	2,4	0,857	0,000022
45	0	4,0	1,43	0,000027
60	0	5,6	2,0	0,000032
75	0	6,77	2,4	0,000036
90	0	7,19	2,57	0,000038

Table 9
Rock stresses and displacements

Расчетные максимальные тангенциальные напряжения и радиальные смещения на контуре выработки представлены в табл. 9 для выработки свода круглой формы, проводимой на глубине 100 м в окварцованных сланцах.

По мере удаления в массив концентрация напряжений снижается и стремится к напряжениям в нетронутом массиве. Деформирование массива проявляется в виде вывалов пород и деформирования без разрыва сплошности. Разрушения на участках месторождения имеют хрупкий характер и проявляются в виде трещин, условие разрушения:

$$\tau_{xy} \geq \sigma_y \cdot \tan \varphi_n + \tau_n$$

При образовании вокруг выработки зоны неупругих деформаций опасно обрушение в вертикальной плоскости:

$$p_b = \rho R_\beta (r_p - 1)$$

где $\rho R_\beta (r_p - 1)$ – высота свода обрушения, м; r_p – радиус зоны неупругих деформаций в долях радиуса выработки.

Параметры зон неупругих деформаций $l_{з.н.д.}$, м:

$$l_{з.н.д.} = r_0 \left(\frac{4\rho H}{\sigma_{сж}^M} + 0,15 \right),$$

$$\sigma_{сж}^M = K_{со} \sigma_{сж}$$

где $\xi_{дн}$ – прочность пород в массиве, МПа; $K_{со}$ – коэффициент структурного ослабления; $\sigma_{сж}$ – кубиковая прочность пород, МПа; $\xi_{дл}$ – коэффициент длительной прочности; r_0 – радиус поперечного сечения выработки, м; ρ – плотность пород, кгс/см³.

По данным измерений построен график увеличения зоны неупругих деформаций от глубины заложения выработки (рис. 4) дифференцированно для пород различной

устойчивости, из которого видно, что увеличение глубины зоны неупругих деформаций осуществляется по нелинейному закону.

Породы Джимидонского месторождения представлены среднеустойчивыми, местами склонными к вывалам. Угол отслоения пород по отношению к оси штольни 9–13°.

Выделяются три типа пород:

1 – сравнительно устойчивые с наличием трещин 8–13 шт/м², имеющие следующие параметры: азимут падения $A_3 = 22-46^\circ$ и угол падения $\alpha = 25-40^\circ$;

2 – малоустойчивые повышенной трещиноватости до 15 шт/м² с $A_3 = 30-70^\circ$ и $\alpha = 40-50^\circ$;

3 – слабоустойчивые в зонах разлома с параметрами: количество трещин – более 15 шт/м², $A_3 > 104^\circ$ и $\alpha = 44-79^\circ$.

График зависимости факторов представлен на рис. 4.

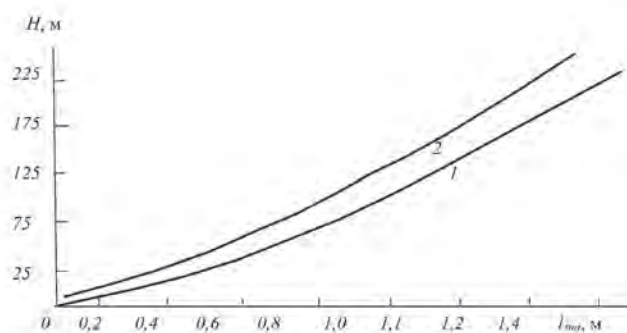


Рис. 4. График зависимости глубины заложения выработки на изменение распространения зоны неупругих деформаций: 1 – сланцы; 2 – граниты (доломиты)

Fig. 4 A dependence diagram of the excavation depth on the changes of the inelastic deformation zone area: 1 - shales; 2 - granites (dolomites)

Конверсия на новые технологии с выщелачиванием требует корректировки способов управления напряжениями в массиве в связи с ослаблением пород в процессе магазинирования руд для выщелачивания.

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Для пород Садонского месторождения приемлемы основанные на теории упругости и пластичности методы расчета по заданной нагрузке.
2. Направление наибольших смещений в крепких породах преимущественно горизонтальное, в слабых – вертикальное, а в выработках по простиранию – перпендикулярно напластованию.
3. Результаты исследования могут быть востребованы при подземной разработке преимущественно рудных месторождений в прочных и среднепрочных рудовмещающих породах.

4. При осуществлении дальнейших исследований целесообразно вместе с прочностью и сейсмостойкостью пород давать оценку их способности к фильтрации растворов реагентов при разработке методами блокового и скважинного выщелачивания.
5. При решении геомеханических вопросов возникает необходимость корректировки подходов к управлению массивом, поскольку для технологии с выщелачиванием характерна подработка налегающих пород на значительной площади при магазинировании руд.
6. Изученность геомеханических условий частично нарушенного горными работами массива позволяет утверждать, что возобновление или активизация добычных работ могут иметь место с обеспечением безопасности работающих.

Список литературы / References

1. Каунг П.А., Исаков А.Е., Панфилов И.А., Тынченко В.В., Ступина А.А. Принципы формирования экологически безопасного и экономически эффективного устойчивого освоения георесурсов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(7-1):159–175. Режим доступа: <https://giab-online.ru/catalog/principyu-formirovaniya-ekologicheskii-bezopasnogo-i-ekonomicheskii> (дата обращения: 10.08.2024).
Kaung P.A., Isakov A.E., Panfilov I.A., Tynchenko V.V., Stupina A.A. Principles for forming environmentally safe and economically effective sustainable development of geo resources. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(7-1):159–175. (In Russ.) Available at: <https://giab-online.ru/catalog/principyu-formirovaniya-ekologicheskii-bezopasnogo-i-ekonomicheskii> (accessed: 10.08.2024).
2. Ключев Р.В., Мартюшев Н.В., Кукарцев В.В., Кукарцев В.А., Бригида В.С. Анализ геологической информации для обеспечения устойчивого функционирования горнотехнических систем. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(5):144–157. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_5_0_144
Klyuev R. V., Martyushev N. V., Kukartsev V. V., Kukartsev V. A., Brigida V. Analysis of geological information toward sustainable performance of geotechnical systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(5):144–157. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_5_0_144
3. Golik V.I., Khasheva Z.M., Galachieva S.V. Diversification of the economic foundations of depressive mining region. *The Social Sciences*. 2015;10(6):746–749.
4. Голик В.И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации. *Обогащение руд*. 2010;(5):38–40. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/458/article/4129/> (дата обращения: 10.08.2024).
Golik V.I. Metals recovery from mineral processing tailings by combined activation methods. *Obogashchenie Rud*. 2010;(5):38–40. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/458/article/4129/> (accessed: 10.08.2024).
5. Пивень Г.Ф., Титова А.В. Достижения и пути развития Академии горных наук. *Горный журнал*. 2023;(9):108–113. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/2246/article/37158/> (дата обращения: 10.08.2024).
Piven G.F., Titova A.V. Achievements and ways of development of the Academy of Mining Sciences. *Gornyi Zhurnal*. 2023;(9):108–113. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/2246/article/37158/> (accessed: 10.08.2024).
6. Simser B.P. Rockburst management in Canadian hard rock mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019;11(5):1036–1043. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.07.005>
7. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В. Комплексный анализ генетических особенностей минерального вещества и технологических свойств полезных компонентов Дзержкаганского месторождения. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2019;11(3):321–330. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2019-11-3-321-330>
Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V. Complex analysis of genetic features of mineral substance and technological properties of useful components of Dzhezkazgan deposit. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019;11(3):321–330. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2019-11-3-321-330>

8. Ловчиков А.В. Новая концепция механизма горно-тектонических ударов и других динамических явлений для условий рудных месторождений. *Горные науки и технологии*. 2020;5(1):30–38. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-1-30-38>
Lovchikov A.V. A New Concept of the Mechanism of Rock-Tectonic Bursts and Other Dynamic Phenomena in Conditions of Ore Deposits. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(1):30–38. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-1-30-38>
9. Wen J., Li H., Jiang F., Yu Z., H. Ma, Yang X. Rock burst risk evaluation based on equivalent surrounding rock strength. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019;29(4):571–576. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.06.005>
10. Liang W., Zhao G., Wang X., Zhao J., Ma C. Assessing the rockburst risk for deep shafts via distance-based multi-criteria decision making approaches with hesitant fuzzy information. *Engineering Geology*. 2019;260:105211. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105211>
11. Яицкая Н.А., Бригида В.С. Геоинформационные технологии при решении трехмерных геоэкологических задач: пространственная интерполяция данных. *Геология и геофизика Юга России*. 2022;12(1):162–173. <https://doi.org/10.46698/VNC.2022.86.27.012>
Yaitskaya N.A., Brigida V.S. Geoinformation technologies in solving three-dimensional geoeological problems. Spatial data interpolation. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022;12(1):162–173. (In Russ.) <https://doi.org/10.46698/VNC.2022.86.27.012>
12. Рыбак Я., Хайрутдинов М.М., Кузиев Д.А., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Бабырь Н.В. Прогнозирование геомеханического состояния массива при отработке соляных месторождений с закладкой. *Записки Горного института*. 2022;253:61–70. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.2>
Rybak J., Khayrutdinov M.M., Kuziev D.A., Kongar-Syuryun C.B., Babyr N.V. Prediction of the geomechanical state of the rock mass when mining salt deposits with stowing. *Journal of Mining Institute*. 2022;253:61–70. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.2>
13. Куликова Е.Ю., Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Комплексная оценка геоэкологических рисков при ведении открытых и подземных горных работ. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(1):205–216. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-1-205-216>
Kulikova E.Yu., Balovtsev S.V., Skopintseva O.V. Comprehensive assessment of geoeological risks in conducting open and underground mining. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(1):205–216. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-1-205-216>
14. Tuokuu F.X., Kpinpuo S.D., Hinson R.E. Sustainable development in Ghana's gold mines: Clarifying the stake-holder's perspective. *Journal of Sustainable Mining*. 2019;18(2):77–84. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.02.007>
15. 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>

Информация об авторах

Голик Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры металлургии, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>; e-mail: vi.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

Information about the authors

Vladimir I. Golik – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Metallurgy of Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>; e-mail: vi.golik@mail.ru

Asya V. Titova – Dr. Sci. (Eng.), 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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 04.09.2024

Поступила после рецензирования: 23.10.2024

Принята к публикации: 28.10.2024

Article info

Received: 04.09.2024

Revised: 23.10.2024

Accepted: 28.10.2024