

И.И. Айнбиндер, О.В. Овчаренко, П.Г. Пацкевич

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КУПОЛ», ОТРАБАТЫВАЕМОГО ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Аннотация. Анализ геологического строения, структурной нарушенности горного массива, физико-механических свойств горных пород, изменения напряженно-деформированного состояния горного массива при выемке запасов месторождения «Купол» системами разработки с закладкой выработанного пространства показал отсутствие удароопасности на месторождении на проектируемых глубинах отработки (до 600 м), проявления горного давления в динамических формах не прогнозируются. Массив горных пород месторождения «Купол» до глубины 600 м от поверхности при соблюдении принятой в проекте технологии отработки системами разработки с закладкой выработанного пространства может быть отнесен к безопасным по горным ударам.

Ключевые слова: горные удары, удароопасность месторождения, напряженно-деформированное состояние горного массива, склонность руд и вмещающих пород к горным ударам, физико-механические свойства пород, системы разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-118-127

Введение

Месторождение «Купол» расположено на Крайнем Северо-Востоке Российской Федерации, в Чукотском автономном округе, в зоне распространения многолетнемерзлых пород до глубин 500–800 м.

Месторождение «Купол» — типичный представитель близповерхностных золотосеребряных месторождений. Основным продуктивным типом на золото и серебро являются мало-сульфидные жилы и прожилки выполнения кварцевого и адуляр-кварцевого составов. Обычно это жилы крутого падения (75–90°), протяженностью 50–2300 м, мощностью от первых десятков сантиметров до 5,0–7,0 м (в раздувах — до 21,2 м). По падению оруденение распространяется на глубину более 430 м. Все прожилково-жильные образования сгруппированы в единую зону субмеридионально-

го простирания, протяженностью более 3500 м, шириной в плане от первых метров до 100 м.

Вмещающие породы — преимущественно кислые и средние вулканогенные породы: андезиты, андезито-базальты, их туфы, прорванные малыми интрузиями и дайками габбро, диоритов, андезитов, базальтов.

Рудовмещающие породы сильно трещиноватые. Модуль трещиноватости достигает 6–10 трещин на 1 м, расстояния между трещинами 0,1–0,65 м. Породы за контуром рудовмещающей структуры слабо трещиноваты, модуль трещиноватости не более 1–2.

Оценка потенциальной возможности проявления в данных условиях горного давления в динамических формах и необходимости отнесения месторождения «Купол» к опасным по горным ударам проведена в соответствии с требовани-

ями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности [1].

Основные оцениваемые факторы, определяющие потенциальную возможность возникновения удароопасных ситуаций, следующие:

- способность массива горных пород к упругому деформированию и накоплению потенциальной энергии упругих деформаций;
- склонность руд (пород) к хрупкому разрушению;
- уровень действующих вблизи горных выработок напряжений, близкий к пределу прочности горных пород и достаточный для провоцирования горного удара.

Результаты оценки потенциальной удароопасности основных типов руд и пород месторождения «Купол»

Для выяснения склонности основных типов руд и вмещающих пород месторождения «Купол» к горным ударам проанализированы результаты исследований физико-механических свойств пород, выполненных в лабораториях ООО «Дальсельхоз» (г. Магадан). Кроме того, учтены результаты исследований физико-механических свойств руд и вмещающих пород рудоуправления «Морошка», предоставленные Национальным минерально-сырьевой университетом «Горный», поскольку этот участок также относится к рудному полю «Купол» и находится всего в 4,5 км по прямой к востоку от рудника «Купол».

Исследования показали, что вмещающие породы месторождения «Купол» представлены, в основном, плотными и очень плотными, прочными, крепкими разновидностями с коэффициентом крепости 6,52–10,71. Оценка склонности пород к горным ударам не проводилась.

Следует отметить, что андезиты и базальты рассматриваются «Положением

по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам» [1] как потенциально удароопасные, а месторождения, рудовмещающая толща которых сложена этими породами, включены в «Перечень месторождений, склонных и опасных по горным ударам» (например, «Стрельцовское» рудное поле, критическая глубина по условию удароопасности — 500 м [1, Приложение № 2]).

По этой же причине в перечень пород месторождения «Купол», склонных к горным ударам, должен быть включен жильный кварц — основной минерал в руде (его доля — 72%), также рассматриваемый как потенциально удароопасный (например, кварцевые жилы «Кочкарского» месторождения, критическая глубина по условию удароопасности — 190 м).

В лаборатории ИПКОН РАН проведены дополнительные исследования механических свойств образцов керна горных пород месторождения «Купол».

Цель этих исследований — определение деформационно-прочностных свойств горных пород в опытах на одноосное сжатие и построение полной диаграммы «напряжение–деформация» ($\sigma \sim \varepsilon$), включающей находящуюся за пределом прочности ниспадающую (запредельную) ветвь, что позволяет достаточно обоснованно выявить породы, склонные к горным ударам. Определение свойств пород производилось согласно Стандартам [2, 3], распространяющимся на твердые (скальные и полускальные) горные породы с пределом прочности при одноосном сжатии не менее 5 МПа.

Испытания механических свойств образцов керна проводились на сервогидравлическом прессе INSTRON 8802, обеспечивающем мягкий (программа нагружения задается по нагрузкам) и жесткий (программа нагружения задается по перемещению захватов) ре-

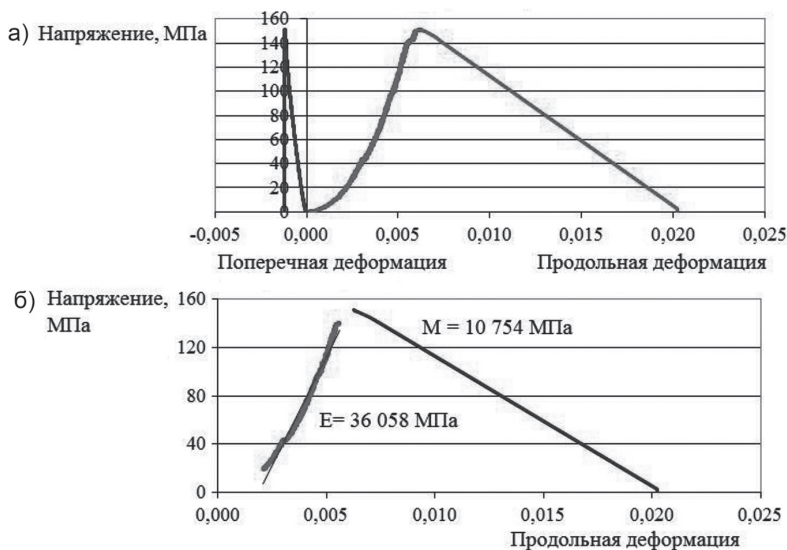


Рис. 1. Данные испытаний образца: диаграмма «напряжение – деформация» (а); определение модуля Юнга E и модуля спада M (б)

Fig. 1. Specimen test data: a—stress–strain diagram; b—determination of the Young modulus E and decline modulus M

жимы нагружения с автоматической записью в память компьютера результатов эксперимента и построением полных диаграмм деформирования в координатах «нагрузка – продольная и поперечная деформация», а при трехосном сжатии – дополнительно «боковое давление – изменение внешнего диаметра».

Использованное оборудование, соответствующее требованиям международных стандартов, позволяет получать прочностные, деформационные характеристики на всех стадиях нагружения образцов вплоть до их разрушения.

По результатам определения деформационно-прочностных характеристик построен атлас кривых по каждому образцу керна, включающий в себя пол-

ные диаграммы «напряжение-деформация», графики для определения модуля Юнга и модуля спада образцов. Характерные результаты и графики приведены на рис. 1 и в табл. 1.

Хрупкость и удароопасность горных пород оценивались коэффициентами хрупкости K_1 и K_2 [4]:

$$K_1 = E/M_{\text{сп}}, K_2 = \varepsilon_y / (\varepsilon_{\text{общ}}),$$

где E – модуль деформации, МПа; $M_{\text{сп}}$ – модуль спада запредельной ветви диаграммы «напряжение–деформация», МПа, ε_y , $\varepsilon_{\text{общ}}$, ε_n , ε_3 – соответственно, упругие, общие (полные) деформации образца остаточные деформации на пределе прочности, необратимые деформации в запредельной области; $\varepsilon_{\text{общ}} = \varepsilon_y + \varepsilon_n + \varepsilon_3$,

Таблица 1

Результаты определения деформационно-прочностных характеристик образца
Results of determination of strength and deformation properties in specimen

№ пп	Геологическое описание	Предел прочности при сжатии, $\sigma_{\text{сж}}$, МПа	Модуль деформации E , ГПа	Модуль спада $M_{\text{сп}}$, ГПа	Упругая деформация, ε_y	Общая деформация, $\varepsilon_{\text{общ}}$	$K_1 = E/M$	$K_2 = \varepsilon_y / \varepsilon_{\text{общ}}$	Сред. знач. K_1	Сред. знач. K_2
1	Андезиты	151,6	36,058	10,754	0,004	0,02	3,35	0,21	3,35	0,21

Таблица 2

Результаты исследования удароопасности пород месторождения «Купол»
Results of rockburst-hazard studies at the Kupol deposit

№ пп	Геологическое описание	$K_1 = E/M$	$K_2 = \varepsilon_y/\varepsilon_{общ}$	Сред. знач. K_1	Сред. знач. K_2	Степень удароопасности пород
1	Андезиты порфировые, милонитизированные	0,94	0,42	0,715 $K_1 < 1$	0,54 $K_2 < 0,7$	склонные к горным ударам
2		0,49	0,65			
3	Андезитобазальты	0,41	0,48	0,455 $K_1 < 1$	0,45 $K_2 < 0,7$	склонные к горным ударам
4		0,5	0,42			
5	Андезиты	3,35	0,21	3,35 $K_1 > 1$	0,21 $K_2 < 0,7$	неудароопасные
6	Андезитобазальты	1,34	0,3	1,34 $K_1 > 1$	0,3 $K_2 < 0,7$	неудароопасные
7	Андезиты	0,96	0,2	0,625 $K_1 < 1$	0,445 $K_2 < 0,7$	склонные к горным ударам
8		0,29	0,69			
9	Андезитобазальты	3,69	0,18	3,69 $K_1 > 1$	0,18 $K_2 < 0,7$	неудароопасные
10	Андезиты	0,88	0,5	0,88 $K_1 < 1$	0,5 $K_2 < 0,7$	склонные к горным ударам
11	Туфы андезитов, порфировые	1,46	0,34	1,365 $K_1 > 1$	0,34 $K_2 < 0,7$	неудароопасные
12		1,27	0,34			

и критериев удароопасности пород. При $K_1 \leq 1$ порода считается удароопасной; при $K_1 > 1$ — неудароопасной.

Руда (порода) считается склонной к горным ударам, если при нагружении ее в штатных условиях до нагрузки, составляющей 80% от разрушающей (до уровня $0,8 \sigma_{сж}$, где $\sigma_{сж}$ — предел прочности образца на одноосное сжатие), доля упругих деформаций составляет не менее 70% полных деформаций (суммы упругих и необратимых деформаций), т.е. при $K_2 \geq 0,7$ порода считается удароопасной; при $K_2 < 0,7$ — неудароопасной [5, 6].

Горная порода считается удароопасной, если хотя бы один из коэффициентов подтверждает ее удароопасность.

В табл. 2 приводятся результаты выполненной оценки степени удароопасности горных пород месторождения «Купол» и выделены типы пород, склонных к горным ударам.

Таким образом, в результате проведенных исследований и обобщения

имеющихся данных, на месторождении «Купол» выявлены следующие породы, относящиеся к склонным к горным ударам: жильный кварц, андезиты, андезитобазальты, андезиты порфировые, милонитизированные, метасоматиты.

Оценка уровня природных напряжений в горном массиве месторождения «Купол»

В пределах рудного поля «Купол» горизонтальные напряжения тектонического происхождения не зафиксированы, а гравитационные напряжения на рассматриваемых глубинах не могут вызвать динамические процессы даже в породах, склонных к динамическому разрушению.

Это подтверждается опытом освоения месторождений рудного поля «Купол» («Купол», «Морошка») и месторождения «Двойное», расположенного в 150 км от них: никаких проявлений горного давления в динамической форме зафиксировано не было.

Анализ структурной нарушенности горного массива месторождения «Купол»

Оценка структурной нарушенности вмещающего массива и рудопроявления на месторождении «Купол» проведена на основе анализа кернов, полученных при колонковом бурении скважин в интервале глубин 330–600 м.

Рассчитанный индекс качества пород — RQD [7, 9], который определяется как отношение суммы длины кусков керна длиной более 10 см (I_{10}) к общей длине керна (L)

$$RQD = (\sum I_{10} / L) 100\%$$

позволяет классифицировать качество трещиноватого массива горных пород следующим образом:

- RQD < 25% — очень низкое (очень сильнотрещиноватые породы);
- RQD = 25–50% — низкое (сильнотрещиноватые породы);
- RQD = 50–75% — хорошее (среднетрещиноватые породы);
- RQD = 75–90% — высокое (слаботрещиноватые породы).
- RQD = 90–100% — отличное (монокристаллические породы).

Для исследованных кернов индекс RQD изменялся от 47 до 96% (среднее значение 77%), т.е. керна горных пород (руд) относятся к категории среднетрещиноватых и слаботрещиноватых пород.

Горные удары в основном происходят в очень слаботрещиноватых породах, реже в слаботрещиноватых породах — монокристаллических массивах (RQD = 80–100%), поэтому в среднетрещиноватом рудном массиве динамические проявления горного давления не прогнозируются в пределах проектируемых глубин отработки.

Рудовмещающие породы характеризуются сравнительно высокой трещиноватостью и не относятся к удароопасным массивам. Оставшаяся часть горного массива — это рыхлые неудароопасные глинистые породы и туфовые лавы.

Дискообразования при бурении кернов не наблюдались, т.е. значительных напряжений на участке бурения скважин нет. Метод дискования керна — это базовый метод, рекомендуемый, нормативными документами [1, 10], поэтому с достаточной степенью надежности можно констатировать отсутствие удароопасности на месторождении.

Математическое моделирование изменения НДС отработываемого горного массива при применении системы разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства

На месторождении «Купол» предусмотрено применение системы разработки горизонтальными слоями с восходящим порядком выемки и закладкой выработанного пространства. Шахтное поле, размерами по простиранию не более 420 м и по падению — 180–240 м, разделено на этажи высотой по 60 м, по 4 блока длиной 100 м в каждом этаже. Отработка запасов ведется 3–4 этажами последовательно в нисходящем порядке.

В пределах этажа, разделенного на четыре подэтажа, высотой по 15 м, очистная выемка ведется в одном подэтаже последовательно в восходящем порядке. Выработанное пространство закладывается пустыми породами, полученными от горнопроходческих работ. Закладочные работы проводятся путем наращивания слоя пустой породы по простиранию выемочной единицы (блока) вслед за очистной выемкой с отставанием от фронта отбойки массива не более 30 м, т.е. длина очистной камеры (незаложенного пространства между рудным забоем и закладкой) не превышает 30 м.

Принятые в проекте параметры конструктивных элементов системы разработки обеспечивают их устойчивость и безопасность ведения горных работ.

Оценка удароопасности должна осуществляться на наиболее нагруженных участках рудного и породного массивов, в частности, в зоне опорного давления от очистных работ [1].

Надежной количественной характеристикой при оценке опасности возникновения динамических явлений в горных породах служит предел прочности пород на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$) [4–6, 11]. Так, массив пород, склонных к горным ударам, считается опасным по горным ударам, если действующие в нем максимальные напряжения (σ^{max}) составляют $\sigma^{max} \geq 0,8 \sigma_{сж}$. [4, 6].

Коэффициент, характеризующий удароопасность массива (K), равен:

$$K = \sigma^{max} / \sigma_{сж}$$

Тогда критерий удароопасности массива: $K \geq 0,8$.

Для выявления опасности провоцирования горных ударов напряжениями, действующими в массиве вблизи горных выработок и обусловленными ведением очистных работ, математически моделировалась геомеханическая ситуация, складывающаяся при отработке горного массива горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства на глубинах 300–600 м.

Для расчетов использовался программный комплекс ANSYS.

Физико-механические характеристики горного массива, принятые в расчетах, приведенные в табл. 3. В расчетах приняты усредненные параметры вы-

Таблица 3

Физико-механические характеристики горного массива
Physical and mechanical characteristics of rock mass

№	Породы	Модуль деформации, $E \times 10^{-3}$, МПа	Коэффициент Пуассона, ν	Удельный вес, r , г/см ³	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа
1	Жильный кварц (руда)	96	0,08	2,69	105,0–120,0	6,5–8,0
2	Вмещающие породы (лавы андезитов, андезито-базальтов, их туфы)	60	0,23	2,5	80,0	7,4–11,3

мочных единиц: ширина выемочных камер 5 м, длина выемочного блока – 100 м, высота выемочного блока – 15 м, мощность жил – 4,5 м. Глубина отработки – 300 – 600 м.

Влияние породной закладки моделировалась приложением на дно и борта камеры распределенной нагрузки, определяемой весом 15-метрового слоя отсыпки (удельный вес породной закладки ($\rho = 2,2$ г/см³) и коэффициентом бокового отпора ($\lambda = 0,24$).

По результатам расчетов построена зависимость от глубины отработки (H) максимальных горизонтальных и вертикальных напряжений в рудном массиве и во вмещающих породах в зоне опорного давления от очистных работ (рис. 2).

Как следует из рисунков, в рассматриваемом интервале глубин разработки (до 600 м) максимальные горизонтальные напряжения σ_x^{max} и σ_y^{max} в массиве в бортах выемочных камер не превышают 5,0 МПа, а в рудном массиве, в торцах камер – 6,5 МПа (σ_y^{max}). Максимальные значения вертикальных напряжений (σ_z^{max}) во вмещающих породах в бортах камер увеличиваются с глубиной от 10,0 МПа (на глубине 300 м) до 12,0 МПа (на глубине 600 м), а в рудном массиве в торцах камер – соответственно, от 12,0 МПа до 22,0 МПа.

Оценка удароопасности массива месторождения «Купол», приведенная в табл. 4, проводилась по критерию:

$$K = \sigma^{max} / \sigma_{сж} \geq 0,8.$$

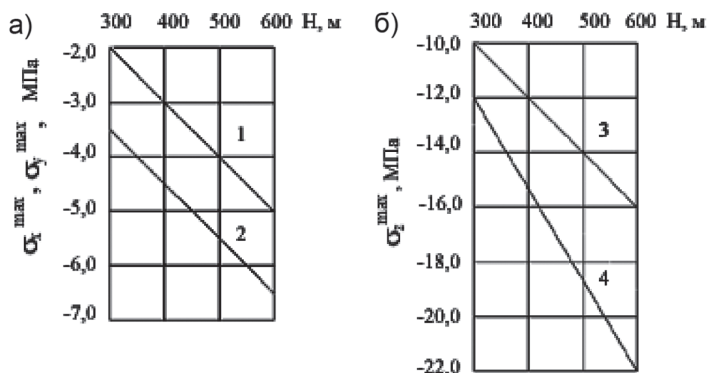


Рис. 2. Зависимость максимальных горизонтальных (а) и вертикальных (б) напряжений в рудном и вмещающем массивах в зоне опорного давления от очистных работ от глубины отработки (H) при системе разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства: 1 – σ_x^{\max} , σ_y^{\max} – во вмещающих породах; 2 – σ_y^{\max} – в рудном массиве; 3 – σ_z^{\max} – во вмещающих породах; 4 – σ_z^{\max} – в рудном массиве

Fig. 2. Relationship between the maximum horizontal (a) and vertical (b) stresses in ore and enclosing rocks in abutment pressure zone and the stoping depth (H) in the system of horizontal slice mining with backfill: 1—enclosing rocks; 2—ore

При этом учтены прочностные свойства склонных к горным ударам пород и полученные зависимости максимальных напряжений в зоне опорного давления от глубины отработки.

Для всех типов склонных к горным ударам пород в интервале рассматриваемых глубин (до 600 м) значения коэф-

фициента K , характеризующего удароопасность массива, находятся в интервале 0,02–0,53, т.е. меньше критического значения, равного 0,8.

Следовательно, уровень максимальных напряжений, действующих вблизи горных выработок месторождения «Купол» и обусловленных отработкой запа-

Таблица 4

Результаты исследования удароопасности месторождения «Купол» в интервале глубин до 600 м

Results of rockburst-hazard studies at the Kupol deposit in the depth interval down to 600 m

№ п/п	Порода	Степень удароопасности пород	$\sigma_{сж}^*$, МПа	$K = \sigma^{\max} / \sigma_{сж}$		Степень удароопасности месторождения
				оценка по σ_x^{\max} и σ_y^{\max}	оценка по σ_z^{\max}	
1	Андезиты порфиоровые милонитизированные	склонные к горным ударам	30,12	0,07 – 0,17	0,33–0,53	неопасное $K = \sigma^{\max} / \sigma_{сж} \leq 0,8$
2	Андезиты		70,29	0,03 – 0,07	0,14–0,23	
3	Андезитобазальты		80,14	0,02 – 0,06	0,12–0,2	
4	Туфы андезитов		46,74	0,04 – 0,11	0,21–0,34	
5	Андезиты порфиоровые		56,33	0,04 – 0,09	0,18–0,28	
6	Жильный кварц		105,0	$K = \sigma_x^{\max} / \sigma_{сж}^* = 0,01$ $K = \sigma_y^{\max} / \sigma_{сж}^* = 0,04–0,06$	0,12–0,22	

сов на глубинах 300–600 м системой разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства, не достаточен для провоцирования динамических проявлений горного давления, в том числе горных ударов. Поэтому для рассматриваемых условий участки горного массива вокруг очистных камер можно отнести к категории «Неопасно», соответствующей неудароопасному состоянию и не требующей проведения противоударных мероприятий.

Таким образом, массив горных пород месторождения «Купол» может быть отнесен к неопасным по горным ударам.

Выводы

Анализ геологического строения, физико-механических свойств горных пород, напряженно-деформированного состояния горного массива, изменяющегося при отработке запасов месторождения «Купол» системой разработки с закладкой выработанного пространства, показал:

1. В основном, породы и руды месторождения «Купол», упругие и хрупкие, не способны к накоплению потенциальной энергии упругих деформаций и не склонны к горным ударам. Исключение составляют некоторые разности (андезиты, андезито-базальты во влагонасыщенном и воздушно-сухом состоянии и метасоматиты влагонасыщенные), классифицированные как склонные к горным ударам.

2. Естественное поле напряжений в массиве на глубинах до 600 м не может провоцировать динамические процессы даже в породах, проявляющих упругие свойства и склонных к динамическому разрушению.

3. Оценка качества массива — структурной нарушенности пород месторождения с помощью индекса качества пород RQD (RQD = 47–96%), позволила классифицировать горный массив месторождения «Купол» в основном как

среднетрещиноватый, реже слаботрещиноватый, в котором динамические проявления горного давления не отмечаются и не прогнозируются в пределах проектируемых глубин отработки.

4. Для всех типов склонных к горным ударам пород месторождения «Купол», во всем интервале рассматриваемых глубин отработки (300–600 м) уровень максимальных напряжений в зоне опорного давления от очистных работ при применении системы разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства, не достаточен для провоцирования динамических проявлений горного давления, в том числе горных ударов.

5. Анализ основных факторов, определяющих возможность возникновения удароопасных ситуаций при выемке запасов месторождения «Купол» на глубинах 300–600 м системой разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства, показал отсутствие удароопасности на месторождении, т.е. отсутствуют основания и необходимость отнесения месторождения «Купол» к опасным по горным ударам.

Таким образом, массив горных пород месторождения «Купол» до глубины 600 м от поверхности при соблюдении принятой в проекте технологии отработки системами разработки с закладкой выработанного пространства может быть отнесен к неопасным по горным ударам.

6. Методика исследования удароопасности горного массива, включающая в себя анализ геологического строения, структурной нарушенности, лабораторные определения механических характеристик образцов горных пород, математическое моделирование геомеханической ситуации, изменяющейся в результате отработки запасов, позволяет достаточно обоснованно оценивать удароопасность горного массива месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам». Приказ Ростехнадзора от 02.12.2013 № 576. Зарегистрировано в Минюсте России 04.04.2014 № 31822.
2. ГОСТ 28985-91 Породы горные. Методы определения деформационных характеристик при одноосном сжатии.
3. ГОСТ 21153.2-84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии.
4. *Ставрогин А. Н., Протосеня А. Г.* Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. — М.: Недра, 1985.
5. *Бронников Д. М., Кузнецов С. В.* Основы прогноза напряженного состояния и поведения массивов горных пород в связи с разработкой месторождений полезных ископаемых / Горные науки в СССР. — М.: Недра, 1985.
6. *Замесов Н. Ф., Айнбиндер И. И.* Горные удары и стратегия разработки рудных месторождений на больших глубинах. — М.: ИПКОН АН СССР, 1984.
7. *Еременко В. А., Рыльникова М. В., Есина Е. Н., Лушников В. Н.* Обоснование способа оценки зон распространения и величины концентрации напряжений в условиях подземной разработки рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 5. — С. 5–12.
8. *Кузьмин Е. В., Узбекова А. Р.* Рейтинговые классификации массивов горных пород: предпосылки создания, развитие и область применения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2004. — № 4. — С. 201–203.
9. *Кузьмин Е. В., Узбекова А. Р.* Рейтинговые классификации массивов горных пород и их практическое применение // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. — № 5. — С. 181–185.
10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 2013 г. № 599).
11. *Замесов Н. Ф., Айнбиндер И. И., Бурцев Л. И., Родионов Ю. И., Овчаренко О. В., Аршавский В. В.* Развитие интенсивных методов добычи руд на больших глубинах. — М.: ИПКОН АН СССР, 1990. **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Айнбиндер Игорь Израилевич*¹ — доктор технических наук, профессор, зав. отделом, e-mail: geoexpert@yandex.ru,
*Овчаренко Оксана Васильевна*¹ — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: geoexpert@yandex.ru,
*Пацкевич Петр Геннадиевич*¹ — кандидат технических наук, зав. лабораторией, e-mail: ppg1975@hotmail.ru,
¹ ИПКОН РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 9, pp. 118–127.

Analysis of rockburst hazard at the Kupol deposit under underground mining

*Aynbinder I.I.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Department, e-mail: geoexpert@yandex.ru,
*Ovcharenko O.V.*¹, Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, e-mail: geoexpert@yandex.ru,
*Patskevich P.G.*¹, Candidate of Technical Sciences,
Head of Laboratory, e-mail: ppg1975@hotmail.ru,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

Abstract. Analysis of geological structure, structural damage of rock mass, physical and mechanical properties of rocks, alteration of stress state of rocks in the course of underground mining with backfill at the Kupol deposit shows no rockburst hazard at the planned mining depth (down to 600 m), and no dynamic phenomena of rock pressure are anticipated. Rock mass of the Kupol deposit down to the depth of 600 m below the ground surface, subject to the accepted technology of mining with backfill, can be assumed rockburst-nonhazardous.

Key words: rock bursts, rockburst hazard of deposit, stress state of rock mass, ore and enclosing rock mass tendency to rock bursts, physical and mechanical properties of rocks, mining systems with horizontal slicing and backfill.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-118-127

REFERENCES

1. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Polozhenie po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram»*. Prikaz Rostekhnadzora ot 02.12.2013 № 576. Zaregistrirovano v Minyuste Rossii 04.04.2014 № 31822 [Federal norms and regulations on industrial safety: Regulations on safe mining at rockburst-hazardous deposits. Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia, Order No. 576 dated 12 Dec 2013. Registered in Ministry of justice of Russia 04.04.2014 no 31822].
2. *Porody gornye. Metody opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik pri odnoosnom szhatii. GOST 28985-91* [Rocks. Methods to determine deformation characteristics under uniaxial compression. State standart 28985-91].
3. *Porody gornye. Metody opredeleniya predela prochnosti pri odnoosnom szhatii. GOST 21153.2-84*. [Method to determine uniaxial compression strength limit. State standart 21153.2-84].
4. Stavrogin A. N., Protosenya A. G. *Prochnost' gornykh porod i ustoychivost' vyrabotok na bol'shikh glubinakh* [Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах], Moscow, Nedra, 1985.
5. Bronnikov D. M., Kuznetsov S. V. *Osnovy prognoza napryazhennogo sostoyaniya i povedeniya massivov gornykh porod v svyazi s razrabotkoy mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Fundamentals of forecasting the stress state and behavior of rock massifs in connection with the development of mineral deposits], *Gornye nauki v SSSR*, Moscow, Nedra, 1985.
6. Zamesov N. F., Aynbinder I. I. *Gornye udary i strategiya razrabotki rudnykh mestorozhdeniy na bol'shikh glubinakh* [Mining strikes and the strategy of development of ore deposits at greater depths], Moscow, IPKON AN SSSR, 1984.
7. Eremenko V. A., Ryl'nikova M. V., Esina E. N., Lushnikov V. N. *Obosnovanie sposoba otsenki zon rasprostraneniya i velichiny kontsentratsii napryazheniy v usloviyakh podzemnoy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy* [Substantiation of the method of estimation of distribution zones and stress concentration in the conditions of underground mining of ore deposits]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 5, pp. 5–12. [In Russ].
8. Kuz'min E. V., Uzbekova A. R. *Reytingovye klassifikatsii massivov gornykh porod: predposylki sozdaniya, razvitiya i oblast' primeneniya* [Rating classification of rock massifs: prerequisites for creation, development and scope]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2004, no 4, pp. 201–203. [In Russ].
9. Kuz'min E. V., Uzbekova A. R. *Reytingovye klassifikatsii massivov gornykh porod i ikh prakticheskoe primeneniye* [Rating classifications of rock massifs and their practical application]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2005, no 5, pp. 181–185. [In Russ].
10. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh»* (Prikaz Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 11 dekabrya 2013 g. № 599) [Federal norms and regulations on industrial safety: Safety rules for hard mineral mining and processing. Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia, Order No. 599 dated 11 Dec 2013].
11. Zamesov N. F., Aynbinder I. I., Burtsev L. I., Rodionov YU. I., Ovcharenko O. V., Arshavskiy V. V. *Razvitiye intensivnykh metodov dobychi rud na bol'shikh glubinakh* [Development of high-intensity deep-level mining methods], Moscow, IPKON AN SSSR, 1990.

