

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ПРОЕКТИРУЕМЫХ ГЛУБИНАХ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ВАЛУНИСТОЕ»

И.И. Айнбиндер¹, О.В. Овчаренко¹

¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН, e-mail: geoexpert@yandex.ru

Аннотация: Приведены результаты анализа геологического строения кварцево-жильных зон месторождения «Валунистое», физико-механических свойств руд и скальных пород рудного поля, изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива при выемке запасов принятой в проекте системой разработки на глубинах до 440 м. В результате анализа экспериментальных кривых деформирования образцов установлена склонность большинства пород месторождения (жильный кварц, туфы, андезиты, дацит, риодацит) к горным ударам. Для определения удароопасности месторождения в целом проведено математическое моделирование изменения НДС массива при выемке запасов системами разработки с закладкой выработанного пространства с учетом исходного поля напряжений, относящегося к гравитационному типу. Показано, что гравитационные напряжения на рассматриваемых глубинах, невелики, поэтому естественное поле напряжений в массиве не может инициировать проявления горного давления в динамической форме. Выявлено, что при ведении горных работ на глубинах до 440 м значения максимальных сжимающих напряжений в массиве, обусловленных очистной выемкой, не превышают 0,10–0,43 от предела прочности пород на одноосное сжатие, что существенно меньше критического значения, провоцирующего горные удары. Установлено отсутствие удароопасности месторождения на глубинах до 440 м от поверхности. На основании проведенных исследований, сделан вывод о том, что массив горных пород месторождения «Валунистое» на глубинах до 440 м при соблюдении принятой в проекте технологии отработки может быть отнесен к неопасным по горным ударам.

Ключевые слова: Горные удары, удароопасность месторождения, напряженно-деформированное состояние горного массива, система разработки с закладкой выработанного пространства, математическое моделирование.

Для цитирования: Айнбиндер И. И., Овчаренко О. В. Исследования потенциальной удароопасности массива горных пород на проектируемых глубинах отработки месторождения «Валунистое» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6. – С. 35–45. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_35.

Potential rockburst hazard research at the project mining depth at the Valunistoe deposit

I.I. Aynbinder¹, O.V. Ovcharenko¹

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: geoexpert@yandex.ru

Abstract: The article describes the analytical results on the geological structure of quartz veins, physical and mechanical properties of ore and hard barren rocks and the stress–strain behavior of rock mass of the Valunistoe deposit within the project mining depth range down to 440 m. The analysis of the strain–stress curves obtained in testing of different rock samples shows that many types of rocks (vein quartz, tuff, andesite, dacite and rhiodacite) are susceptible to rock bursting. For the rockburst hazard assessment at the deposit, the mathematical modeling of the stress–strain behavior of rock mass is undertaken as a case-study of the cut-and-fill method of mining with regard to the natural stress state of the gravity type. The gravity stresses are low at the depths under analysis, and the natural stresses are therefore incapable to initiate rock bursts. The maximal compressive stresses induced by stoping at the depths down to 400 m are not higher than 0.10–0.43 of the uniaxial compressive strength, which is much lower than the critical stress capable to provoke rock bursts. Thus, it is found that the deposit is beyond the rockburst hazard at the depths down to 400 m below ground surface. The research allows drawing a conclusion that the Valunistoe deposit subjected to mining operations using the adopted geotechnology in the depth range down to 440 m is rockburst nonhazardous.

Key words: rock bursts, rockburst hazard, stress–strain behavior, cut-and-fill methods, mathematical modeling.

For citation: Aynbinder I. I., Ovcharenko O. V. Potential rockburst hazard research at the project mining depth at the Valunistoe deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6):35-45. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_35.

Введение

Золотосеребряное месторождение «Валунистое» расположено, в Анадырском районе Чукотского АО [1, 2].

Рельеф района месторождения представляет собой расчлененное низкогорье с абсолютными отметками 600–800 м и относительными превышениями 150–200 м.

Месторождение относится к золото-серебряному типу малоглубинной формации убогосульфидных руд. Оруденение связано с метасоматическими породами, вмещающими кварцевые, кварц-адуляровые и кварц-карбонатные жилы золотосеребряной минерализации.

Месторождение включает в себя две сложно построенные кварцево-жильные зоны — «Главную» и «Новую», в которых выявлены и разведаны основные стволые жилы и жильные зоны (пять в «Главной» и восемь в «Новой»). Зоны «Главная» и «Новая» разбиты разрывны-

ми нарушениями различного порядка на отдельные структурные блоки, в которых локализованы рудные тела.

В рудной зоне «Главная» рудные тела падают на юго-восток под углами 70–85°. Длина зоны составляет около 1000 м, при северо-восточном простирании (50°). Мощности рудных тел изменяются от 0,2 до 15,4 м (в среднем 4,6 м). Падение рудных тел зоны «Новой» — северо-западное под углами 60–85°, мощности — 0,2–17,0 м, (в среднем 3,9 м).

Запасы зоны «Главная» частично отработаны двумя карьерами до горизонтов +362 м (карьер глубиной 90 м) и +438 м (глубина 82 м). Запасы зоны «Новая» частично отработаны карьером до горизонтов +380 м, +400 м, +415 м (70–80 м от дневной поверхности).

Основная часть промышленных запасов месторождения сосредоточена в пределах зоны «Новая» северо-северо-

восточного (около 15°) простирания, протяженностью 3300 м, характерный геологический разрез которой по одной из профильных линий показан на рис. 1.

Основные породообразующие минералы — кварц, калиевой полевой шпат (ортоклаз, адуляр), глинисто-гидроslюдистые минералы (серицит, гидрослюда, каолинит), в незначительных количествах — кальцит, хлорит. Главные рудные минералы — пирит, акантит, халькопирит, галенит, сфалерит, второстепенные — самородное золото и серебро.

Скальные породы рудного поля — магматические вулканические породы кислого состава (андезит, дацит, риолит, риодацит, туфы псефитовые), характеризуются различной степенью трещиноватости.

Проектируемые подземные выработки располагаются полностью во весьма устойчивых многолетнемерзлых породах, водопритоки отсутствуют.

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

Приповерхностная часть золотосеребряного месторождения «Валунистое» отработана открытым способом. Переход к подземному способу выемки пла-

нируется на глубинах до 440 м, что, в соответствии с нормативными документами в области промышленной безопасности [3], требует оценки удароопасности массива горных пород.

Основные определения, факторы, влияющие на формирование удароопасных ситуаций, критерии возникновения горных ударов, используемые методики представлены в выполненных ранее работах [4].

Для выяснения потенциальной удароопасности месторождения «Валунистое» требуется оценить [5–9]:

- 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 (природных и техногенных, вызванных перераспределением напряжений в массиве в результате ведения горных работ), близких к пределу прочности горных пород и достаточных для провоцирования горного удара.

Руды и вмещающие породы месторождения (кварц жильный, туфы андезитов псефитовые, андезиты, дациты, риодациты) представлены, в основном, плотными, прочными, крепкими разноста-

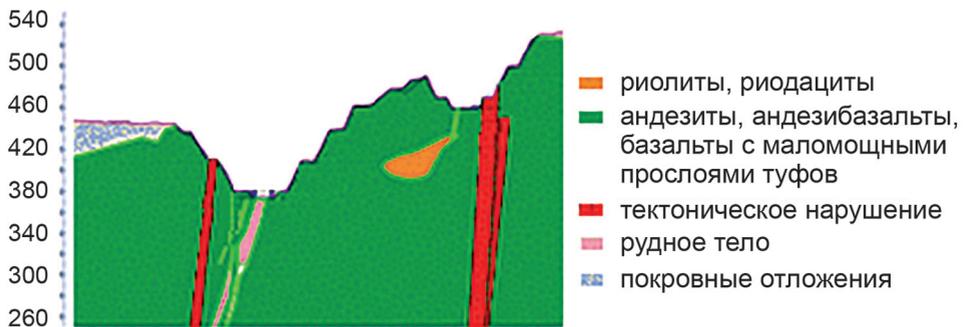


Рис. 1. Геологический разрез рудной зоны «Новая»

Fig. 1. Geological section of Novaya ore-bearing zone

Таблица 1

Прочностные и деформационные характеристики руд и вмещающих пород месторождения «Валунистое»
Deformation and strength characteristics of ore and enclosing rock mass in the Valunistoe deposit

№ п/п	Интервал отбора, м	Литотип	Среднее значение показателей (коэффициент вариации, %)						
			Плотность, ρ , кг/м ³	Модуль деформации, E_n , ГПа	Модуль упругости, E_y , ГПа	Коэффициент Пуассона, ν	Коэффициент крепости по Протодьяконову	Предел прочности на одноосное сжатие, $\sigma_{ск}$, МПа	Предел прочности на растяжение, σ_p , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	21,90 – 63,20	Туф псефитовый	2380 (5)	15,4 (83)	18,1 (73)	0,15 (23)	7,2 (16)	52,64 (51)	4,83 (67)
2	62,80 – 100,50	Туф псефитовый	2390 (4)	12,1 (69)	15,3 (69)	0,14 (45)	5,3 (11)	73,87 (97)	3,85 (60)
3	104,70 – 151,69	Туф псефитовый	2480 (5)	23,9 (77)	27,3 (67)	0,12 (59)	6,9 (14)	96,24 (51)	5,43 (35)
4	161,22 – 207,68	Туф псефитовый	2460 (3)	21,1 (48)	25,9 (55)	0,13 (37)	5,5 (8)	60,17 (57)	4,44 (66)
5	22,84 – 247,23	Риодацит	2430 (4)	26,2 (55)	32,2 (58)	0,16 (38)	7,2 (16)	61,26 (23)	6,16 (52)
6	74,46 – 258,80	Дацит, дацит миндалекаменный	2560 (3)	29,6 (47)	33,6 (40)	0,12 (15)	10,0 (6)	83,40 (47)	7,06 (42)
7	143,64 – 209,12	Карбонат-кварцевая жила, кварц-карбонатная жила, карбонат-кварцевая брекчия	2570 (4)	23,2 (66)	28,0 (57)	0,11 (34)	4,00 (24)	37,26 (55)	3,56 (33)

Физико-механические характеристики горных пород месторождения получены при испытаниях в Санкт-Петербургском Горном университете.

Таблица 2

Оценка склонности руд и пород месторождения «Валунистое» к горным ударам
Assessment of rockbursting susceptibility of Valunistoe ore and enclosing rock mass

№ п/п	Интервал отбора, м	Литотип	Коэффициент удароопасности $K_2 = \varepsilon_y / \varepsilon_{общ}$	Степень удароопасности пород
1	2	3	4	5
1	30,06 – 207,68	Туф псефитовый	0,70 – 0,95	Склонные к горным ударам
2	241,74 – 242,03	Туф алевро-псаммитовый	0,90	
3	133,02 – 133,58	Метасоматит по туфу	0,78	
4	67,61 – 234,93	Риодацит	0,72 – 0,92	
5	127,90 – 258,80	Дацит	0,73 – 0,94	
6	75,25 – 75,54	Андезит	0,71 – 0,73	
7	143,64 – 166,82	Карбонат-кварцевая жила	0,71 – 0,79	
8	160,03 – 161,60	Кварц-карбонатная жила	0,70 – 0,75	

ми с коэффициентом крепости 5,9–9,3 (табл. 1). Деформационные и прочностные свойства горных пород месторождения крайне изменчивы, коэффициенты вариации среднестатистических значений их физико-механических характеристик, в основном, превышают 33% и даже в ряде случаев составляют 66 – 97%.

Порода считается склонной к горным ударам, если при нагружении ее в штатных условиях до нагрузки, составляющей 80% от разрушающей, доля упругих деформаций составляет не менее 70% полных деформаций [5, 6].

Допредельные и запредельные необратимые деформации определяются ростом трещин, между параметрами, характеризующими эти этапы нагружения существует корреляционная зависимость, что позволяет обосновать предположение о корреляции между поведением образцов на начальном участке нагружения и при повышении нагрузки до максимальной. Поэтому, даже если не показан интервал нагрузок, близких к пределу прочности пород, анализ имеющихся участков диаграмм, достаточного четких и информативных, позволяет

судить о склонности пород к хрупкому разрушению.

Оценка удароопасности проводилась по коэффициенту K_2 , характеризующему склонность породы к хрупкому разрушению и равному отношению упругой деформации (ε_y), определяемой по кривой деформирования образца в диапазоне частичной разгрузки, к общей деформации ($\varepsilon_{общ}$) при наибольшем значении напряжения ($K_2 = \varepsilon_y / \varepsilon_{общ}$).

При $K_2 \geq 0,7$ порода считается удароопасной; при $K_2 < 0,7$ – неудароопасной [10–12]. В результате анализа экспериментальных кривых деформирования образцов (табл. 2) установлено, что способность накапливать потенциальную энергию упругих деформаций проявляют практически все породы месторождения «Валунистое» на всех разведанных интервалах глубин. Показатель склонности пород к горным ударам в большинстве случаев превышает критическое значение (0,7) и равен $K_2 = 0,70 – 0,94$. Следовательно, необходимо считать жильный кварц и вмещающие породы месторождения (туфы, андезиты, дацит, риодацит и др.) склонными к горным ударам.

Выявленная склонность горных пород месторождения к горным ударам — это необходимое условие возникновения горного удара. Второй важный фактор, определяющий возможность возникновения горного удара, т.е. удароопасность месторождения в целом, — это действие провоцирующих разрушение дополнительных внешних нагрузок, природного и техногенного характера.

Естественное поле напряжений на месторождении «Валунистое» относится к гравитационному типу, причем на рассматриваемых глубинах величина гравитационных напряжений недостаточна для провоцирования горных ударов.

Горные удары обычно происходят в очень слаботрещинчатых породах. Скальные породы рудного поля месторождения «Валунистое», разбитые системами разрывных нарушений, вблизи литологических и тектонических контактов характеризуются как слаботрещинчатые, а на удалении от приконтактных зон — как среднетрещинчатые.

Кроме того, горные работы ведутся в многолетнемерзлых пластичных по-

родах, не способных накапливать энергию упругого сжатия.

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

На подземных горных работах на месторождении «Валунистое» предполагается применение системы разработки с закладкой и выемкой запасов по простиранию узкими блоками высотой 20 м, шириной, равной мощности жил, и длиной по простиранию — 120 м. Между блоками оставляются временные целики шириной 20 м, а сами блоки после выемки запасов заполняются закладкой. Порядок выемки — восходящий.

Для оценки удароопасности месторождения математически моделировалась геомеханическая ситуация, возникающая на наиболее нагруженных участках горного массива [3], а именно, при отработке находящихся в самых неблагоприятных условиях нижних бло-

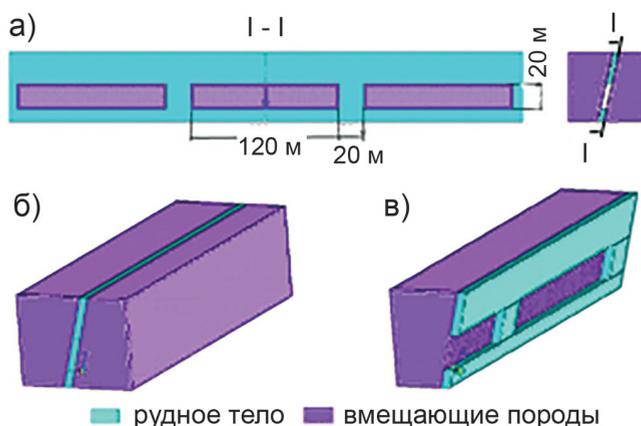


Рис. 2. Моделирование НДС горного массива при системе разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства: сечения по простиранию и вкрест простирания рудного тела (а); объемная модель выемочного участка (б); сечение по лежащему боку залежи (в)

Fig. 2. Stress-strain behavior modeling in case of cut-and-fill method of mining: sections along and across the ore body strike (a); 3D model of extraction panel (b); section in footwall of ore body (v)

Таблица 3

Физико-механические свойства руд и пород месторождения «Валунистое»
Physical and mechanical properties of Valunistoe ore and enclosing rocks

№ п/п	Породы	Модуль деформации, E_d , ГПа	Коэффициент Пуассона, ν	Удельный вес, ρ , кг/м ³	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа
1	Жильный кварц (руда)	23,2	0,11	2570	37,26
2	Вмещающие породы	21,1	0,13	2460	60,17

ков (гор. +80 м, глубина от дна карьера 360 м, от поверхности — 440 м, отметка поверхности +520 м). При моделировании не учитывались особенности рельефа местности и принимались усредненные нагрузки, незначительно превышающие величины компонент исходного поля напряжений.

Схема выемочного участка показана на рис. 2. С учетом симметрии задачи, моделировалась часть выемочного участка, ограниченная сечением, проходящим через его ось (секущая плоскость XZ). При моделировании использовался метод конечных элементов и программный комплекс ANSYS [13–15].

В связи с большим разбросом значений физико-механических характеристик горного массива (см. табл. 1), в расчетах использовались средние значения показателей, принятые в Проекте отработки месторождения «Валунистое», приведенные в табл. 3.

Исходные данные: мощность рудного тела — 5 м, угол падения — 75°; параметры очистного блока — высота 20 м, длина по простиранию рудного тела — 120 м, ширина вкрест простирания 5 м; ширина целиков между блоками — 20 м; глубина ведения очистных работ — до 440 м; исходное поле напряжений: $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma H$.

Оценка опасности массива по горным ударам проводилась по критерию удароопасности: $K = \sigma^{\max} / \sigma_{\text{сж}} \geq 0,8$, где σ^{\max} — максимальные напряжения сжатия, $\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности пород на одноосное сжатие.

Как следует из полученных распределений напряжений в массиве при выемке запасов нижних блоков (рис. 3), на рассматриваемых глубинах в зоне опорного давления максимальные напряжения сжатия в рудном теле составляют: горизонтальные σ_x , — не более 20 МПа в локальных зонах в кровле отработанных блоков, σ_y — не более

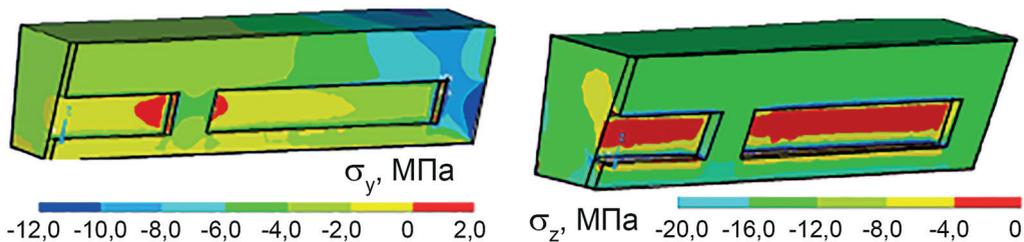
Таблица 4

Результаты исследования удароопасности месторождения «Валунистое» в интервале глубин до 440 м

Rockburst hazard studies at the Valunistoe deposit in the depth range down to 440 m

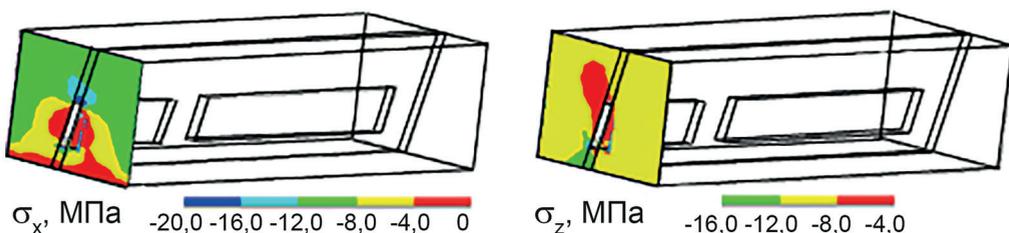
№ п/п	Породы, склонные к горным ударам	$\sigma_{\text{сж}}$, МПа	$K = \sigma^{\max} / \sigma_{\text{сж}}$		Степень удароопасности месторождения
			оценка по σ_x^{\max} и σ_y^{\max}	оценка по σ_z^{\max}	
1	2	4	5	6	7
1	Вмещающие породы	60,17	0,20–0,27	0,20–0,27	Неопасное $K = \sigma^{\max} / \sigma_{\text{сж}} < 0,8$
2	Жильный кварц	37,26	$K = \sigma_x^{\max} / \sigma_{\text{сж}} = 0,32–0,54$ $K = \sigma_y^{\max} / \sigma_{\text{сж}} = 0,16–0,32$	0,32–0,43	

а) Разрез по лежащему боку

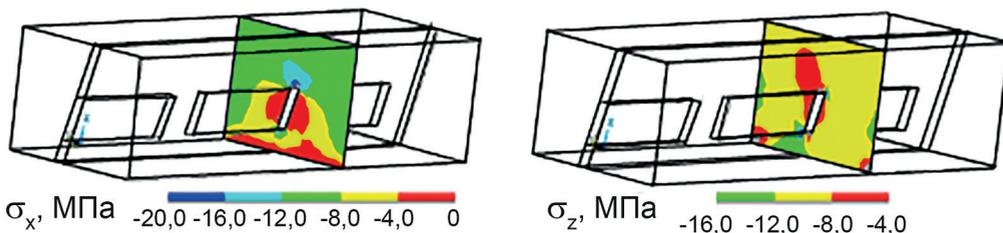


Сечения вкрест простирания рудного тела

б) сечение по оси центрального блока



в) сечение по оси второго (или симметричного третьего) блока



г) сечение по оси междублокового целика

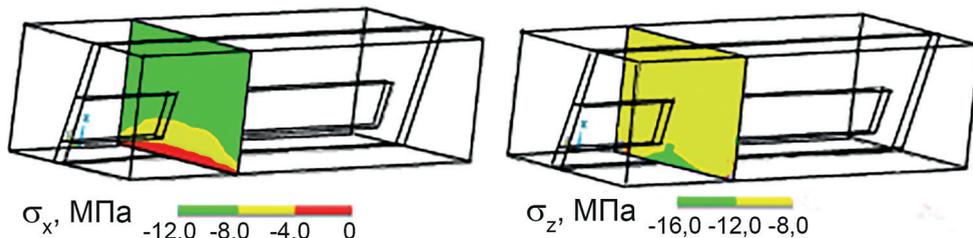


Рис. 3. Моделирование НДС горного массива на нижних горизонтах месторождения «Валунистое»: распределение горизонтальных (σ_x , σ_y) и вертикальных (σ_z) напряжений

Fig. 3. Fig. 3. Stress-strain behavior modeling on lower horizons of the Valunistoye deposit: distribution of horizontal (σ_x , σ_y) and vertical (σ_z) stresses

6 МПа; вертикальные σ_z — не более 12–16 МПа. В междублоковых целиках и во вмещающих породах напряжения не превышают 12–16 МПа.

Результаты расчетов (табл. 4) показали, что для всех склонных к горным ударам пород месторождения при ведении горных работ на глубинах до 440 м, значения коэффициента удароопасности массива K находятся в интервале 0,16–0,54, т.е. существенно меньше критического значения, при котором возможны горные удары. Уровень максимальных напряжений, действующих вблизи горных выработок месторождения «Валунистое» и обусловленных отработкой запасов на глубинах до 440 м системой разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства, не достаточен для провоцирования динамических проявлений горного давления, в том числе горных ударов. Поэтому участки горного массива

вокруг очистных камер можно отнести к категории «Неопасно», соответствующей неудароопасному состоянию и не требующей проведения противоударных мероприятий.

Выводы

Анализ условий залегания месторождения «Валунистое», характеристик горного массива, особенностей принятой в проекте технологии отработки запасов, основных факторов, определяющих возможность возникновения удароопасных ситуаций, показал отсутствие удароопасности на месторождении «Валунистое».

Таким образом, массив горных пород месторождения «Валунистое» до глубины 440 м от поверхности при соблюдении принятой в проекте технологии отработки системами разработки с закладкой выработанного пространства может быть отнесен к неопасным по горным ударам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Русанов Р. В., Янникова Ю. Ю., Янникова Л. Ю.* Платиноносность Au-Ag формации на примере месторождения «Валунистое» (Чукотский автономный округ) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. — 2019. — № 4. — С. 71–78.
2. *Волков А. В., Прокофьев В. Ю., Винокуров С. Ф., Андреева О. В., Киселева Г. Д., Галямов А. Л., Мурашов К. Ю., Сидорова Н. В.* Эпитермальное Au-Ag месторождение «Валунистое» (Восточная Чукотка, Россия): геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудных месторождений. — 2020. — Т. 62. — № 2. — С. 107–133.
3. *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых».* Серия 03. Вып. 78, 3-е изд. перераб. — М.: НТЦ ПБ, 2021. — 520 с.
4. *Айнбиндер И. И., Овчаренко О. В., Пацкевич П. Г.* Исследования потенциальной удароопасности массива горных пород на нижних горизонтах месторождения «Шануч» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 12. — С. 30–40. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-30-40.
5. *Петухов И. М., Линьков А. М.* Механика горных ударов и выбросов. — М.: Недра, 1983. — 280 с.
6. *Ставрогин А. Н., Протосеня А. Г.* Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. — М.: Недра, 1985. — 271 с.
7. *Malkowski P., Niedbalski Z.* A comprehensive geomechanical method for the assessment of rockburst hazards in underground mining // International Journal of Mining Science and Technology. 2020, vol. 30, no. 3, pp. 345–355.

8. Simser B. P. Rockburst managements in Canadian hard rock mines // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019, vol. 11, no. 5, pp. 1036 – 1043.

9. Jinglin Wen, Husheng Li, Fuxing Jiang Rock burst risk evaluation based on equivalent surrounding rock strength // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, no. 4, pp. 571 – 576.

10. Козырев А. А., Каспарьян Э. В., Федотова Ю. В., Кузнецов Н. Н. Оценка степени удароопасности скальных горных пород на основе результатов лабораторных испытаний // *Вестник МГТУ*. — 2019. — Т. 22. — № 1. — С. 138 – 148.

11. Козырев А. А., Кузнецов Н. Н., Федотова Ю. В., Шоков А. Н. Определение степени удароопасности скальных горных пород по результатам испытаний при одноосном сжатии // *Известия вузов. Горный журнал*. — 2019. — № 6. — С. 41 – 50.

12. Методические рекомендации по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам. Приказ Ростехнадзора от 23 мая 2013 г. № 216.

13. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Fox D. D. The finite element method for solid and structural mechanics. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013, 672 p.

14. Морозов Е. М., Муйземек А. Ю., Шадский А. С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. — М.: Изд. ЛЕНАНД, 2021.

15. Каплун А. Б., Морозов Е. М., Шамраева М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. — М.: Изд. ЛЕНАНД, 2021. **ПЛАТ**

REFERENCES

1. Rusanov R. V., Yannikova Yu. Yu., Yannikova L. Yu. Platinum-bearing Au-Ag formations on the example of the Valunistoe deposit (Chukotka Autonomous Okrug). *Proceedings of Voronezh State University. Geology*. 2019, no. 4, pp. 71 – 78. [In Russ].

2. Volkov A. V., Prokof'ev V. Yu., Vinokurov S. F., Andreeva O. V., Kiseleva G. D., Galyamov A. L., Murashov K. Yu., Sidorova N. V. Epithermal Au-Ag Valunistoe deposit (Eastern Chukotka, Russia): geological structure, mineralogical and geochemical features and conditions of ore formation. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*. 2020, vol. 62, no. 2, pp. 107 – 133. [In Russ].

3. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh»*. Seriya 03. Vyp. 78, 3-e izd. [Federal norms and rules in the field of industrial safety «Safety rules for mining and processing of solid minerals». Series 03. Issue 78, 3rd edition], Moscow, NTTs PB, 2021, 520 p. [In Russ].

4. Aynbinder I. I., Ovcharenko O. V., Patskevich P. G. Potential rockburst hazard on lower levels of the Shanuch deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 12, pp. 30–40. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-30-40.

5. Petukhov I. M., Lin'kov A. M. *Mekhanika gornykh udarov i vybrosov* [Mechanics of mining impacts and emissions], Moscow, Nedra, 1983, 280 p.

6. Stavrogin A. N., Protosenya A. G. *Prochnost' gornykh porod i ustoychivost' vyrabotok na bol'shikh glubinakh* [Rock strength and stability of workings at great depths], Moscow, Nedra, 1985, 271 p.

7. Malkowski P., Niedbalski Z. A comprehensive geomechanical method for the assessment of rockburst hazards in underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020, vol. 30, no. 3, pp. 345 – 355.

8. Simser B. P. Rockburst managements in Canadian hard rock mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019, vol. 11, no. 5, pp. 1036 – 1043.

9. Jinglin Wen, Husheng Li, Fuxing Jiang Rock burst risk evaluation based on equivalent surrounding rock strength. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, no. 4, pp. 571 – 576.

10. Kozyrev A. A., Kaspar'yan E. V., Fedotova Yu. V., Kuznetsov N. N. Assessment of the degree of impact hazard of rocky rocks based on the results of laboratory tests. *Vestnik Murmanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2019, vol. 22, no. 1, pp. 138–148. [In Russ].

11. Kozyrev A. A., Kuznetsov N. N., Fedotova Yu. V., Shokov A. N. Determination of the degree of impact hazard of rocky rocks based on the results of tests with uniaxial compression. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2019, no. 6, pp. 41–50. [In Russ].

12. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke sklonnosti rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy k gornym udaram. Prikaz Rostekhnadzora ot 23 maya 2013 g.* [Metodicheskie rekomendatsii po otsenke sklonnosti rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy k gornym udaram. Rostekhnadzor Order dated May 23, 2013, no. 216. [In Russ].

13. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Fox D. D. *The finite element method for solid and structural mechanics*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013, 672 p.

14. Morozov E. M., Muzyemnek A. Yu., Shadskiy A. S. *ANSYS v rukakh inzhenera: Mekhanika razrusheniya* [ANSYS in the hands of an engineer: The mechanics of destruction], Moscow, Izd. LENAND, 2021.

15. Kaplun A. B., Morozov E. M., Shamraeva M. A. *ANSYS v rukakh inzhenera: Prakticheskoe rukovodstvo* [ANSYS in the hands of an engineer: A practical guide], Moscow, Izd. LENAND, 2021.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Айнбиндер Игорь Израилевич*¹ — д-р техн. наук,
профессор, заведующий отделом,

e-mail: geoexpert@yandex.ru,

*Овчаренко Оксана Васильевна*¹ — канд. техн. наук,

старший научный сотрудник,

e-mail: geoexpert@yandex.ru,

¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

Для контактов: Овчаренко О.В., e-mail: geoexpert@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*I.I. Aynbinder*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

Head of Department, e-mail: geoexpert@yandex.ru,

*O.V. Ovcharenko*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences,
11020, Moscow, Russia.

Corresponding author: O.V. Ovcharenko, e-mail: geoexpert@yandex.ru.

Получена редакцией 23.08.2021; получена после рецензии 15.04.2022; принята к печати 10.05.2022.

Received by the editors 23.08.2021; received after the review 15.04.2022; accepted for printing 10.05.2022.

