

ПРОГНОЗ ПОЛОЖЕНИЯ ГРАНИЦ ЗОНЫ ОПАСНЫХ СДВИЖЕНИЙ ПРИ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ОТРАБОТКЕ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ «МИР»

И. Б. Бокий¹, О. В. Зотеев¹, В. В. Пуль¹

¹ Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия

Аннотация: Приведена характеристика геологического строения кимберлитовой трубки «Мир», отработку которой осуществляет акционерная компания «АЛРОСА», представлены варианты дальнейшей послеаварийной отработки глубоких горизонтов месторождения. Описаны способы оценки параметров зоны сдвижения, развивающейся в окрестности выработанного пространства, заполненного твердеющей смесью. Обоснована актуальность прогнозирования положения границ зоны опасных сдвижений при применении систем с твердеющей закладкой выработанного пространства. Это обусловлено тем, что действующие нормативные документы позволяют оценить параметры процесса сдвижения только для систем отработки с обрушением, несмотря на то, что в условиях неполной подработки с увеличением глубины углы сдвижения становятся более крутыми. Показана разработанная методика расчета параметров зон сдвижения на примере отработки глубоких запасов подземного рудника «Мир» АК «АЛРОСА» (ПАО). Проведена параллель между результатами натурных маркшейдерских измерений, полученных на подземном руднике «Интернациональный», и результатами расчетов границы зоны опасных сдвижений на подземном руднике «Мир». Оба месторождения находятся в одном кимберлитовом поле и обрабатываются системами с твердеющей закладкой выработанного пространства. Представленная методика расчетов позволяет существенно уменьшить границы зоны опасных сдвижений, что, в свою очередь, положительно сказывается при проектировании подземных выработок в части их расположения в околорудном пространстве.

Ключевые слова: кимберлитовая трубка, выработанное пространство, процесс сдвижения, твердеющая закладка, деформации, зона опасных сдвижений, коэффициент запаса, околорудное пространство, нормативные документы, система отработки месторождения.

Для цитирования: Бокий И. Б., Зотеев О. В., Пуль В. В. Прогноз положения границ зоны опасных сдвижений при дальнейшей отработке кимберлитовой трубки «Мир» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–2. – С. 48–57. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_48.

Forecast of the position of the displacement zone when using systems with a fixed space

I. B. Bokiya¹, O. V. Zoteev¹, V. V. Pulya¹

¹ Yakutnioproalmaz Institute of OJSC ALROSA (JSC), Mirny, the Republic of Sakha (Yakutia), Russia

Abstract: The characteristics of the geological structure of the Mir kimberlite pipe, which being developed by the JSC ALROSA, are presented, options for further post-emergency mining of

deep horizons of the field are presented. Methods for estimating the parameters of the shear zone developing near the mined-out space filled with the hardening mixture are described. The relevance of predicting the position of the boundaries of the zone of hazardous displacements when using systems with a hardening backfill of mined out is substantiated, due to the fact that the current regulatory documents allow assessing the parameters of the displacement process only for mining systems with collapse, despite the fact that with depth (in conditions of incomplete underworking) the angles of movement become steeper. The developed methodology for calculating the parameters of displacement zones shown on the example of the development of deep reserves of the «Mir» underground mine of PJSC ALROSA. Parallel drawn between the results of field surveying measurements obtained at the «Internatsionalny» underground mine and the results of calculations of the boundary of the hazardous movement zone at the «Mir» underground mine, both deposits are located in the same kimberlite field and are developed by systems with hardening backfill of mined-out space. The presented calculation methodology significantly reduces the boundaries of the zone of hazardous displacements, which, in turn, has a positive effect in the design of underground workings in terms of their location in the near-ore space.

Key words: kimberlite pipe, mined-out space, displacement process, hardening backfill, deformations, zone of dangerous displacements, safety factor, near-ore space, regulatory documents, deposit mining system.

For citation: Bokiy I. B., Zoteev O. V., Pul V. V. Forecast of the position of the displacement zone when using systems with a fixed space. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–2):48–57. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_48.

Введение

В современных реалиях развития добычи полезных ископаемых и активного перехода от открытой разработки к строительству подземных предприятий наблюдается ухудшение горно-технических условий, сдвижение горных пород и, как следствие, нарушение геомеханической безопасности ведения работ. В этой связи проведение прогноза геомеханического состояния массива на стадии проектирования и эксплуатации месторождений является архиважной задачей, выполнение которой обусловлено необходимостью обеспечения промышленной безопасности в регионах, где производится добыча полезных ископаемых.

Изученность сдвижения горных пород и действующие в данное время нормативные документы позволяют оценивать положение границ зоны сдвижения только для случаев ведения очистных работ системами с обрушением руды и вмещающих пород [1, 2].

Наука об изучении сдвижения горных пород постоянно развивается, привлекая внимание горняков уже на протяжении нескольких столетий. Первые публикации, в которых освещались вопросы и научные объяснения сдвижений горного массива, приходятся на 1838 год (теория Туайе-Гоно).

Методология и маркшейдерский инструментарий уже длительное время активно применяются при изучении сдвижения горных пород. Однако немалую роль в исследовании данного вопроса играет его тесная связь с изучением напряженно-деформируемого состояния массива горных пород, позволяющего проводить анализ полученных при измерениях данных и делать прогнозы [3–20].

Интенсивность и характер сдвижений зависят от различных факторов, в том числе от геологии и системы разработки месторождения. Проблема сдвижения горных пород тесным образом связана с вопросами охраны недр

и безопасности горных работ, разработкой мер охраны.

Системы разработки с полной закладкой выработанного пространства характеризуются полным отсутствием или медленным, плавным развитием процесса сдвижения земной поверхности. Провалы и крупные трещины при этом не образуются, а величины сдвижений и деформаций земной поверхности невелики и определяются усадкой закладки, степенью заполнения выработанного пространства и мощностью обрабатываемых рудных тел.

При полной закладке выработанного пространства твердеющими смесями деформации земной поверхности обычно не превышают допустимых значений для большинства охраняемых объектов, и поэтому такие системы относят к основным горным мерам охраны сооружений.

Определение положения зон опасных деформаций для систем разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства устанавливается с большим запасом, что приводит к повышению затрат на проходку и поддержание подземных горных выработок.

В работе [3] был предложен подход для решения этой задачи, основанный на последовательном объединении положения границ зоны сдвижения, возникающих в ходе отработки каждой элементарной выемочной единицы.

В настоящей статье рассматривается развитие предложенного подхода на примере проектирования глубоких горизонтов месторождения трубки «Мир».

Общая характеристика объекта исследования

Доработка запасов трубки «Мир» будет осуществляться в следующем порядке:

Схема вскрытия глубоких горизонтов подземного рудника "Мир – Глубокий"

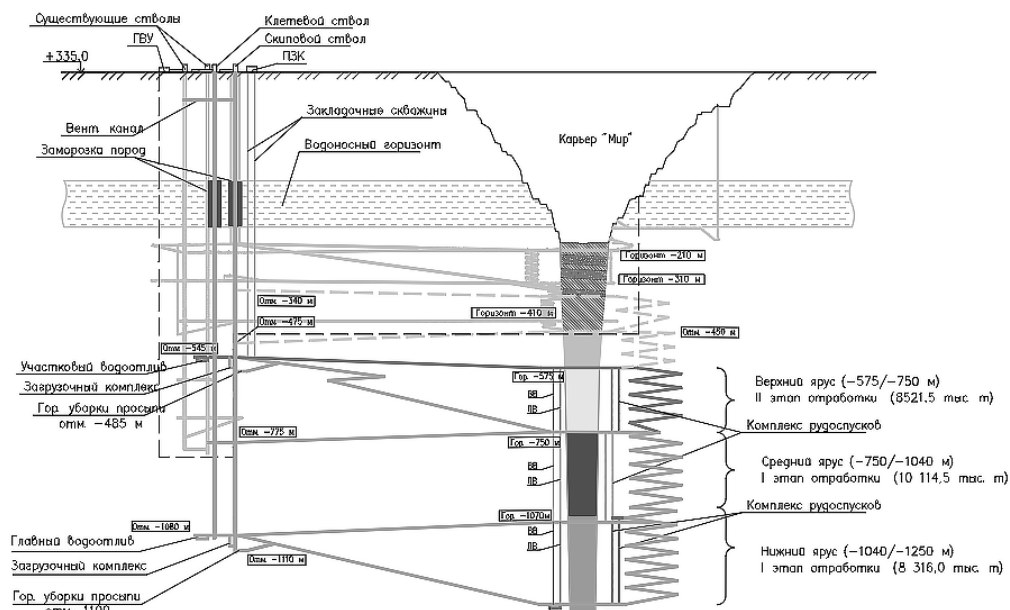


Рис. 1. Схема вскрытия глубоких горизонтов рудника «Мир»
Fig.1. The scheme of opening the deep levels of the «Mir» mine

1. Будет построен рудник «Мир-Глубокий», отрабатывающий запасы в интервале отметок –575/–1250 м. Оработка будет вестись в нисходящем порядке камерной системой разработки с последующей закладкой камер твердеющими смесями. Высота камер от 20 до 50 м в зависимости от горнотехнических условий, которые будут уточняться по мере вскрытия и подготовки запасов.

2. После начала обработки запасов в отм. –575/–1250 м будет произведена разноска бортов карьера до отм. –140 м с расширением границ карьера по верхней бровке на 50–60 м. При этом на поверхности дайки долеритов (отм. –140 м) будет оставлена широкая берма для сбора рассолов, поступающих из МИВК, и атмосферных осадков.

После организации нормального открытого водоотлива начнется откачка рассолов из затопленной части рудника «Мир».

3. По окончании осушения затопленной части рудника подземные горные работы начнут развиваться в восходящем порядке в отм. –190/–575 м. Работы будут вестись камерной или слоевой системой с заполнением выработанного пространства твердеющими смесями.

Таким образом, большая часть запасов будет отрабатываться системами с твердеющей закладкой, т.е. развитие процессов сдвижения будет менее интенсивным, чем при системе с обрушением руды и вмещающих пород.

Методика расчета

Основное предположение, на котором базируется предлагаемая методика расчета, заключается в том, что необходимо интерпретировать дополнительные деформации, определяемые именно процессами обработки полезных ископаемых. Деформации разгрузки, возник-

ающие при этом, на 80–85% реализуются за счет раскрытия существующих трещин, что приводит к разрыхлению и разрушению массива (деформации макроуровня) [3–5]. При этом положение границ зон опасных деформаций может быть оценено по величине дополнительных деформаций. Полные же деформации будут характеризовать изменение вмещающего массива, т.е. его формы и объема, а также возможность образования новых трещин.

Правомерность такого подхода доказывается и существующим подходом к инструментальному наблюдению за сдвижением (фиксируются только перемещения точек массива, вызываемые обработкой запасов).

Применение закладки выработанного пространства ограничивает возможные смещения и деформации, т.е. углы опасных сдвижений должны быть круче, чем при системах с обрушением вмещающих пород. Оценить величину этих углов можно исходя из следующих соображений [6].

При обработке выемочной единицы (камеры) в ее окрестности начинаются деформации массива на выработанное пространство. Границы зоны опасных сдвижений в окрестности выработанной камеры определяются углами сдвижения (рис. 1) в соответствии с [1, 2]. Верхняя граница зоны деформаций (рис. 2) может быть определена исходя из условий устойчивости подработанной толщи [2]:

$$H_6 \geq k \sqrt{l_2 \cdot \frac{L \cdot l'}{\sqrt{L^2 + (l')^2}}}, \quad (1)$$

где H_6 – безопасная глубина залегания верхней кромки камеры (высота зоны деформаций); L – размер выработанного пространства по простиранию (в нашем случае – длина камеры); l' – размер горизонтальной проекции выра-

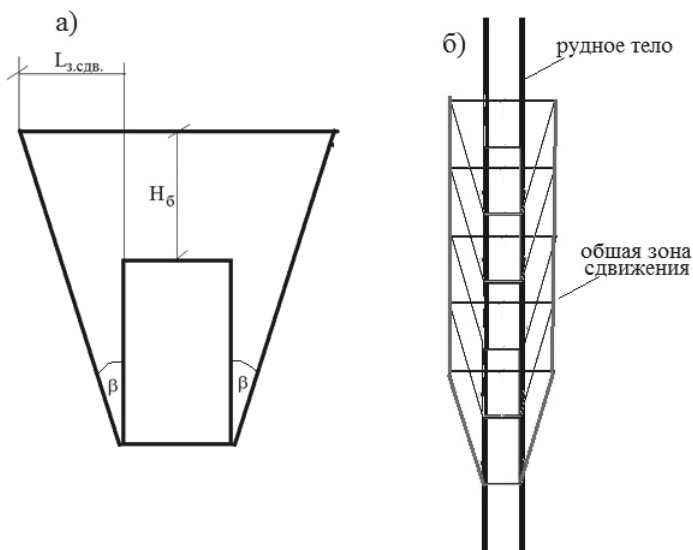


Рис. 2. Развитие зоны сдвижений при отработке единичной камеры (а) и 5 камер (б): $L_{з.сдв.}$ — ширина зоны сдвижения; H_6 — высота зоны сдвижения над камерой; β — угол сдвижения
 Fig. 2. Development of the zone of displacements during the development of a single chamber (a) and 5 chambers (b)

ботанного пространства вкрест простирания (пролет камеры); l_2 — высота выработанного пространства (высота камеры); k — коэффициент, зависящий от крепости пород, для пород с прочностью менее 6 по Протождяконову и для объектов 3-й категории охраны $k = 6$ [2].

После заполнения камеры твердеющей смесью деформации массива практически прекращаются.

Обобщенная зона опасных сдвижений получается объединением локальных зон от каждой отдельной камеры.

Результаты расчетов

Поскольку верхняя часть трубки «Мир» (выше отм. -575 м) будет отработываться в восходящем порядке, увеличения высоты зоны сдвижения свыше расчетной величины не будет происходить.

Применение камерно-целиковых систем предполагает обеспечение устойчивости камер на весь период их

отработки и заполнения твердеющей смесью. Поэтому предлагаемый подход реализует наиболее пессимистичный сценарий и приводит к определенному завышению объемов массива, вовлекаемого в активные деформации.

Предлагаемая методика хорошо согласуется с результатами наблюдений по глубинным горизонтальным реперам, установленным на трубке «Интернациональная» на горизонтах -145 м, -159 м и -690 м.

В соответствии с результатами измерений зоны растягивающих деформаций формируются только в массиве вмещающих пород, в массиве же кимберлитов, а также в закладочном массиве формируются сжимающие деформации. Расстояние от контура рудного тела до зоны, в которой величина растягивающих деформаций превышает $2 \cdot 10^{-3}$, составляет $10-16$ м при расчетной ширине зоны деформаций $127-146$ м.

Положение зоны опасных сдвижений на земной поверхности определя-

ется как граница оползневой призмы, имеющей нормативный коэффициент запаса 1,3.

Для условий рудника «Мир»:

– горизонтальная мощность в среднем не превышает 200 м (длинная ось трубки);

– длина камеры не более 150 м, высота не более 50 м, пролет не более 20 м.

Подставляя эти числа в (1), получаем предельную высоту зоны деформаций от одиночной камеры, равную 188,9 м:

$$H_6 \geq 6 \sqrt{50 \cdot \frac{150 \cdot 20}{\sqrt{150^2 + 20^2}}} = 188,9 \text{ м.}$$

Угол сдвига в соответствии с [1] может быть оценен по прочностным характеристикам массива:

$$\delta = 55^\circ + 1,5f_{cp};$$

$$\beta = \delta - (0,30 + 0,01f_{cp})\alpha, \quad (2)$$

где f_{cp} – средняя прочность массива по Протодьяконову; α – угол падения слоистости вмещающих пород, $\alpha = 1,5^\circ$; δ – угол сдвига от торцевой части месторождения, β – угол сдвига со стороны лежащего бока.

Для условий рудника «Мир» $\delta = 61,6^\circ$, $\beta = 61,1^\circ$.

Ширина зоны опасных деформаций от единичной камеры определяется, исходя из геометрических соображений (рис. 1):

$$L_{з.сдв} \geq (H_6 + l_2) / \operatorname{tg}\beta = \\ = (189,9 + 50) / 1,81 \approx 132 \text{ м.}$$

Таким образом, зона сдвига в окрестности трубки «Мир», образо-

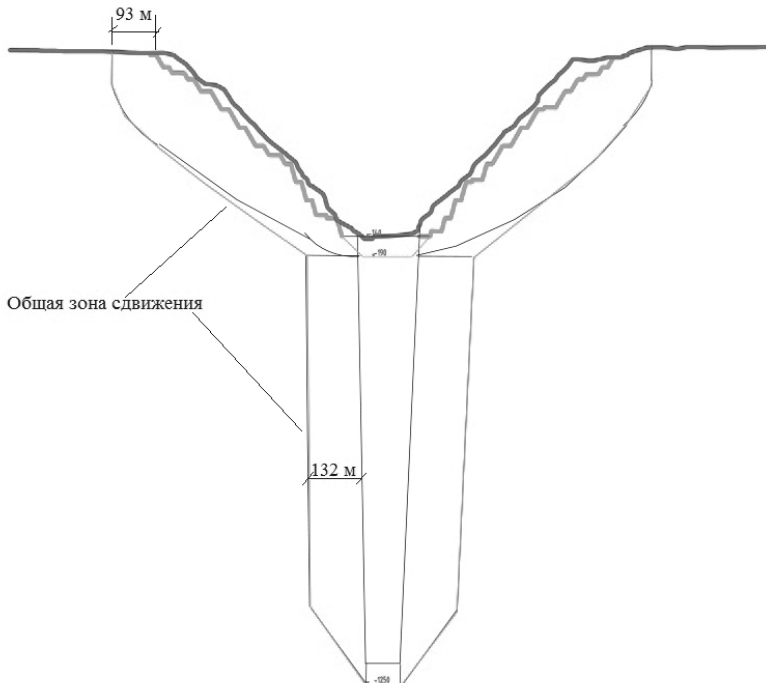


Рис. 3. Зона сдвига от отработки запасов и разноски бортов карьера

Fig.3. The zone of movement from the development of reserves and the posting of the sides of the open pit

вавшаяся при отработке запасов подземным способом, будет представлять собой слой шириной 132 м, повторяющий очертания трубки.

Размер зоны сдвига по поверхности оценивается через расчет устойчивости борта разнесенного карьера. Расчеты устойчивости проводились по схеме изотропного откоса со средневзвешенными характеристиками массива: сцепление $C = 0,59$ МПа, угол внутреннего трения $\phi = 30,1^\circ$, плотность $\rho = 2,52$ т/м³.

Расчет показал, что ширина призмы активного давления (ширина зоны возможных деформаций) на поверхности составляет 93 м. Положение объединенной границы зоны сдвига представлено на рис. 3.

Выводы

Представленные расчеты параметров зон опасных сдвижений позволяют учесть влияние заполнения выработанного пространства твердеющими смесями за счет объединения локальных зон сдвижений, формирую-

щихся при отработке каждой камеры. При этом предполагается, что после набора твердеющей закладкой нормативной прочности в окрестности заполненной камеры не развивается существенных деформаций, что позволяет существенно уменьшить границы зон опасных сдвижений.

Вклад авторов

Бокий Игорь Борисович — разработка методики расчета параметров зон сдвига при отработке месторождений с твердеющей закладкой выработанного пространства.

Зотеев Олег Вадимович — разработка методики расчета параметров зон сдвига при отработке месторождений с твердеющей закладкой выработанного пространства.

Пуль Виктория Витальевна — разработка методики расчета параметров зон сдвига при отработке месторождений с твердеющей закладкой выработанного пространства. Реализация и анализ результатов.

Конфликт интересов отсутствует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок месторождений цветных металлов с неизученным процессом сдвига горных пород. — Л.: ВНИМИ, 1986.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ при разработке меднорудных месторождений Урала. — М.: МЦМ СССР, 1978.
3. *Прочухан Д. П.* Остаточные напряжения в скальных массивах и возникающие при их разгрузке деформации // Формирование и изменение физико-механических свойств пород под влиянием естественных и искусственных факторов. Тезисы докладов к III регион. совещанию по инж. геологии. 27–29 окт. 1966 г. — Л.: НТО горное, 1966. — С. 41–59.
4. Исследование сопротивляемости скального массива сдвигу по трещинам бортового отпора в основании плотины Токтогульской ГЭС // Научные исследования по гидротехнике в 1974 г. — Л.: ВНИИГ, 1975. — С. 122–124.
5. *Лыкошин А. Г.* Трещины бортового отпора // Бюллетень МОИП, отдел геологический. — 1963. — Том 28. — №4. — С. 53–60.
6. *Бокий И. Б., Зотеев О. В., Пуль В. В., Федянин А. С.* Методология определения параметров зоны сдвига при отработке алмазоносных месторождений Якутии при системах с закладкой выработанного пространства

твердеющими смесями // Горный журнал. — 2020. — № 1. — С. 91 — 97. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.18.

7. *Xiao Y. X., Feng X. T., Li S. J., Feng G. L., Yu Y.* Rock mass failure mechanisms during the evolution process of rockbursts in tunnels // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2016, vol. 262, pp.174–181.

8. *Poulsen B. A., Adhikary D. P., Elmoutie M. K., Wilkins A.* Convergence of synthetic rock mass modelling and the Hoek–Brown strength criterion // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2015, vol. 438, pp.171–180. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2015.09.022.

9. *Villaescusa E.* Geotechnical Design for Sublevel Open Stopping. Boca Raton, CRC Press, 2014. — 481 p.

10. *Rafet Rafi Zeqiri, Jahir Gashi, Festim Kutllovci.* Stability analysis of security pillars with di-mension 10 x 10 m formed by ore of mineral body during the exploitation of the “Trepça” mine in Stantërg // Mining Science Journal. 2019, pp. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.37190/msc192603>

11. *Sebastian Chęciński, Andrzej Witt.* Modeling and simulation analysis of mine production in 3D environment // Mining Science. 2015, pp 181–189. DOI: <https://doi.org/10.5277/msc152215>.

12. *Семенова И. Э., Аветисян И. М.* Оценка параметров взаимного влияния открытых и подземных горных работ в сложных геомеханических условиях // Горный журнал. — 2021. — № 1. — С. 71–73.

13. *Быкадоров А. И., Дегтярев Д. Н., Смирнов С. А., Печенегов О. Ю.* Определение мульды сдвижений при отработке прибортовых запасов комплексом глубокой разработки пластов Талдинского месторождения Кузбасса // Горный журнал. — 2020. — № 4. — С. 84–87.

14. *Мажитов А. М., Корнеев С. А., Пыталев И. А., Кравчук Т. С.* Обоснование устойчиво-безопасных параметров откосов бортов карьера «Камаган» при подземной доработке месторождения // Горный журнал. — 2018. — № 2. — С. 42–44.


15. *Зырянов И. В., Зотеев О. В., Барышников В. Д., Пуль В. В.* Выбор и обоснование состава наблюдений и критериев безопасности при геомеханическом мониторинге на руднике «Интернациональный» // Горный журнал. — 2019. — № 2. — С. 67–69.

16. *Коваленко А. А., Захаров Н. Е., Пуль Э. К., Золотин В. Г.* Геомеханические аспекты разработки кимберлитового месторождения трубки «Интернациональная» // Горный журнал. — 2019. — № 2. — С. 70–73.

17. *Laubscher D., Guest A., Jakubec J.* Guidelines on Caving Mining Methods: The Underlying Concepts. Queensland, The University of Queensland. 2017, pp. 282.

18. *Wang Jin-an, Jiao Jun-ling.* Criteria of support stability in mining of steeply inclined thick coal seam // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2016, vol. 82, pp. 22–35.

19. *Judeel G., Swanepoel T., Holder A., Swarts B., van Strijp T., Cloete A.* Extension of the Cullinan Diamond Mine No. 1 Shaft underneath the existing operating shaft, with emphasis on rock engineering considerations // Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016, vol. 116, no. 8, pp. 745–752. <http://dx.doi.org/10.17159/2411–9717/2016/v116n8a6>

20. *Tukker H., Holder A., Swarts B., van Strijp T., Grobler E.* The CCUT block cave design for Cullinan Diamond Mine // Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016, vol. 116, no. 8, pp. 715–722. DOI:10.17159/2411–9717/2016/V116N8A2. 

REFERENCES

1. Vremennyye pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh ob"yektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornykh razrabotok mestorozhdeniy tsvetnykh metallov s neizuchennyi protsessom sdvizheniya gornykh porod. Leningrad., VNIMI, 1986. [In Russ].

2. Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh ob"yektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornyykh rabot pri razrabotke mednorudnykh mestorozhdeniy Urala. Moscow, MTSM SSSR, 1978. [In Russ].

3. *Prochukhan D. P.* Ostatochnyye napryazheniya v skal'nykh massivakh i voznikayushchiye pri ikh razgruzke deformatsii. *Formirovaniye i izmeneniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv porod pod vliyaniem yestestvennykh i iskusstvennykh faktorov.* Тезисы докладов к III регион. совещанию по инж. геологии. 27–29 окт. 1966 г. Leningrad, NTO Gornoye, 1966, pp. 41–59. [In Russ].

4. Issledovaniye soprotivlyayemosti skal'nogo massiva sdvigu po treshchinam bortovogo otpora v osnovanii plotiny Toktogul'skoy GES *Nauchnyye issledovaniya po gidrotekhnike v 1974 g.* Leningrad, VNIIG, 1975, pp. 122–124. [In Russ].

5. *Lykoshin A. G.* Treshchiny bortovogo otpora. *Byullyuten' MOIP, Otdel geologicheskoy.* 1963, vol. 28, no. 4, 53 p. [In Russ].

6. *Bokiy I. B., Zoteyev O. V., Pul V. V., Fedyanin A. S.* Metodologiya opredeleniya parametrov zony sdvizheniya pri otrabotke almazanosnykh mestorozhdeniy Yakutii pri sistemakh s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva tverdeyushchimi smesyami. *Gornyy zhurnal.* 2020. no. 1. pp. 91 – 97 pp. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.18

7. *Xiao Y. X., Feng X. T., Li S. J., Feng G. L., Yu Y.* Rock mass failure mechanisms during the evolution process of rockbursts in tunnels. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2016, vol. 262, pp.174 – 181.

8. *Poulsen B. A., Adhikary D. P., Elmoultie M. K., Wilkins A.* Convergence of synthetic rock mass modelling and the Hoek–Brown strength criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2015, vol. 438, pp. 171 – 180. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2015.09.022.

9. *Villaescusa E.* Geotechnical Design for Sublevel Open Stopping. Boca Raton, CRC Press, 2014, 481 p.

10. *Rafet Rafi Zeqiri, Jahir Gashi, Festim Kutllovci.* Stability analysis of security pillars with di-mension 10 x 10 m fromed by ore of mineral body during the exploitation of the "Trepça" mine in Stantërg. *Mining Science Journal.* 2019, pp. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.37190/msc192603>.

11. *Sebastian Chęciński, Andrzej Witt.* Modeling and simulation analysis of mine production in 3D environment. *Mining Science Journal.* 2015, pp. 181–189. DOI: <https://doi.org/10.5277/msc152215>.

12. *Semenova I. E., Avetisyan I. M.* Otsenka parametrov vzaimnogo vliyaniya otkrytykh i podzemnykh gornyykh rabot v slozhnykh geomekhanicheskikh usloviyakh. *Gornyy zhurnal.* 2021, no 1, pp. 71 – 73. [In Russ].

13. *Bykadorov A. I., Degtyarev D. N., Smirnov S. A., Pechenegov O. YU.* Opredeleniye mul'dy sdvizheniy pri otrabotke pribortovykh zapasov kompleksom glubokoy razrabotki plastov Taldinskogo mestorozhdeniya Kuzbassa. *Gornyy zhurnal.* 2020, no. 4, pp. 84 – 87. [In Russ].

14. *Mazhitov A. M., Korneyev S. A., Pytalev I. A., Kravchuk T. S.* Obosnovaniye ustoychivo-bezopasnykh parametrov otkosov bortov kar'yera «Kamagan» pri podzemnoy dorabotke mestorozhdeniya. *Gornyy zhurnal.* 2018, no. 2, pp. 42 – 44. [In Russ].

15. *Zyryanov I. V., Zoteyev O. V., Baryshnikov V. D., Pul' V. V.* Vybor i obosnovaniye sostava nablyudeniye i kriteriyev bezopasnosti pri geomekhanicheskom monitoringe na rudnike «Internatsional'nyy». *Gornyy zhurnal.* 2019, no. 2, pp. 67 – 69. [In Russ].

16. *Kovalenko A. A., Zakharov N. Ye., Pul' E. K., Zolotin V. G.* Geomekhanicheskiye aspekty razrabotki kimberlitovogo mestorozhdeniya trubki «Internatsional'naya». *Gornyy zhurnal.* 2019, no. 2, pp. 70–73. [In Russ].

17. Laubscher D., Guest A., Jakubec J. Guidelines on Caving Mining Methods: The Underlying Concepts. Queensland, The University of Queensland. 2017, 282 p.

18. Wang Jin-an, Jiao Jun-ling. Criteria of support stability in mining of steeply inclined thick coal seam. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2016, vol. 82, pp. 22 – 35.

19. Judeel G., Swanepoel T., Holder A., Swarts B., van Strijp T., Cloete A. Extension of the Cullinan Diamond Mine No. 1 Shaft underneath the existing operating shaft, with emphasis on rock engineering considerations. *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2016, vol. 116, no. 8, pp. 745 – 752. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n8a6>.

20. Tukker H., Holder A., Swarts B., van Strijp T., Grobler E. The CCUT block cave design for Cullinan Diamond Mine. *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2016, vol. 116, no. 8, pp. 715 – 722. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/V116N8A2.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бокий Игорь Борисович¹ – канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий лабораторией геомеханики, bokiyib@alrosa.ru;

Зотеев Олег Владимирович¹ – докт. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории геомеханики, zoteev.o@mail.ru;

Пуль Виктория Витальевна¹ – главный специалист лаборатории геомеханики, pulvv@alrosa.ru;

¹ Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), 678174, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, улица Ленина д. 39, Россия.

Для контактов: Бокий И. Б., bokiyib@alrosa.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bokiy I. B.¹, Cand. Sci. (Phys. Mathem.), head of the laboratory of Geomechanics, bokiyib@alrosa.ru;

Zoteev O. V.¹, Dr. Sci. (Tekh), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Geomechanics, zoteev.o@mail.ru;

Pul V. V.¹, Chief Specialist of the Laboratory of Geomechanics, pulvv@alrosa.ru;

¹ Yakutnioproalmaz Institute of OJSC ALROSA (JSC), Mirny, the Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Corresponding author: Bokiy I. B., email: bokiyib@alrosa.ru.

Получена редакцией 01.10.2021; получена после рецензии 15.03.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 01.10.2021; received after the review 15.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.

