

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-1-64-72

УДК 622.274.54

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

ORGANIZATION OF MINING OPERATIONS DURING UNDERGROUND DEVELOPMENT OF DIAMOND-CONTAINING DEPOSITS OF THE FAR NORTH

Анисимов Кирилл Артемович,
аспирант, e-mail: anisimov.kirill.95@list.ru
Kirill A. Anisimov, Postgraduate

Санкт-Петербургский горный университет, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, 2
Saint-Petersburg Mining University, 21st Line, St. Petersburg, 199106, Russian Federation

Аннотация:

В представленной ниже научной статье рассматриваются основные технические параметры предохранительного рудопородного массива при ведении разработки подкарьерных запасов алмазосодержащих месторождений Крайнего Севера. В данной научной статье изучены вопросы неконтролируемого обрушения горных пород во время ведения подземных работ при отработке подкарьерных запасов системами разработки с массовым обрушением руды. Для данной научной статьи все материалы, касающиеся различных геологических, горнотехнических, экономических, геомеханических и прочих параметров были получены из различных открытых источников информации – опубликованных научных статей и исследований, размещенных в научных журналах и материалах конференций, а также открытых материалов горнодобывающих компаний сектора добычи алмазов. На основе собранных данных и проведенной работы были сформированы и предложены рекомендации по изменению параметров подземных и комбинированных горных работ для дальнейшей эффективной и безопасной деятельности при разработке подкарьерных запасов на месторождениях Крайнего Севера..

Ключевые слова: Кимберлитовая трубка, геотехнология, геомеханические параметры, подкарьерные запасы, предохранительный массив.

Abstract:

In the scientific article presented below, the main technical parameters of the protective ore-rock mass during the development of pit reserves of diamond-bearing deposits in the Far North are considered. This scientific article studies the issues of uncontrolled collapse of rock during underground operations when mining the pit reserves by mining systems involving massive ore caving. For this scientific article, all materials related to various geological, mining, economic, geomechanical and other parameters were obtained from various open sources of information - published scientific articles and studies posted in scientific journals and conference materials, as well as open materials from mining companies in the diamond mining sector. On the basis of the collected data and the work carried out, recommendations were formed and proposed for changing the parameters of underground and combined mining operations ensuring further efficient and safe activities in the development of pit reserves at the fields of the Far North.

Key words: Kimberlite pipe, geotechnology, geomechanical parameters, pit reserves, safety rock mass.

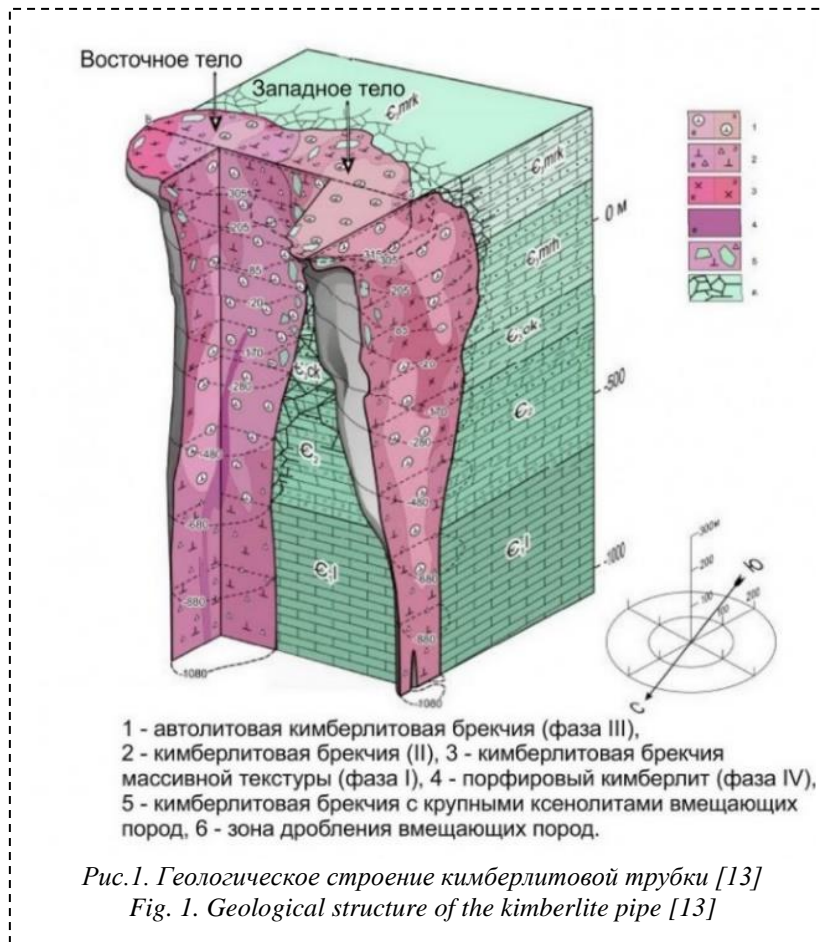
Введение

Объектом данного исследования является кимберлитовая трубка «Удачная», расположенная в Северо-Восточной части Сибири, в Далдыно-Алаkitском алмазоносном районе, недалеко от одноименного города Удачный Республики Саха (Якутия). Кимберлитовая трубка отработывалась открытым способом с 1982 года, достигнув проектной глубины карьера в 640

метров, с 2014 года введен в эксплуатацию подземный рудник им. Ф.Б. Андреева «Удачный».

Данное месторождение выбрано объектом настоящего исследования по следующим факторам:

1. Удаленное расположение месторождения усложняет инфраструктурные возможности и вопросы завоза материально-технических ресурсов;



работают на газовом топливе, поставляемом через ветку газопровода Мирный-Айхал-Удачный [1].

Возможные климатические риски при подземной отработке трубки были предварительно решены подготовленным Техническим проектом специалистами профильных проектных институтов. Также текущие возникающие нештатные ситуации на функционирующем руднике оперативно решаются действующим персоналом. Для откачки шахтных и поступающих карьерных вод в подземные горные выработки создан отдельный горизонт водооткачки, обеспечены меры по защите горных выработок от внезапного затопления. Усиленные вентиляционные и калориферные установки позволяют обеспечивать допустимый температурный режим и режим проветривания подземного рудника без реверса воздушной струи и

2. Климатические условия являются серьезным фактором, усложняющим ведение горных работ;

3. Геологические и горнотехнические параметры трубки Удачная предъявляют повышенные требования к параметрам отработки данного месторождения с использованием нестандартных и нетиповых технологий;

4. Применяемая система разработки на подземном руднике отличается от всех стандартных технологий ведения горных работ на алмазосодержащих месторождениях Крайнего Севера.

Анализ технических параметров разработки месторождения

В первую очередь возможные риски, связанные с экстремальными климатическими условиями расположения города Удачный и сложной транспортной схемой завоза материально-технических ресурсов, на данный момент оцениваются специалистами как минимальные. Транспортная схема завоза грузов и материалов работает бесперебойно в летнее и зимнее время. Отправка грузов производится по железнодорожным и автомобильным путям сообщения, круглогодично функционирует аэропорт, принимающий воздушные суда любых типов. Бесперебойная подача электроэнергии обеспечивается Вилюйским каскадом ГЭС, электрические котельные города Удачный

задувания холодного атмосферного воздуха из карьерного пространства [2, 3, 4].

На горно-обогатительном комбинате постоянно функционирует служба геомеханического мониторинга, обеспечивая круглосуточное наблюдение за ситуацией на объектах комбината. В карьере рудника «Удачный» установлены наблюдательные станции реперов, отслеживающие сдвиги бортов карьера, в подземных выработках подземного рудника на различных горизонтах и подэтажах также установлены реперы для оперативного и долговременного контроля смещения бортов подземных выработок [5, 6, 7].

Геологическое строение трубки Удачная отличается от традиционной формы, характерной для кимберлитовых рудных тел: на абсолютной отметке -320 м трубка разделяется на два самостоятельных овальных рудных тела – «Восточное» и «Западное» (ВРТ и ЗРТ), которые в дальнейшем прослеживаются до глубины свыше -1080 метров. При подземной разработке месторождения одновременное ведение работ в Западном и Восточном рудных телах сильно влияет друг на друга, что также необходимо учитывать во время очистных работ и при планировании подземных горных работ. Специалистами отмечена высокая трещиноватость массивов руд и вмещающих пород, особенно в

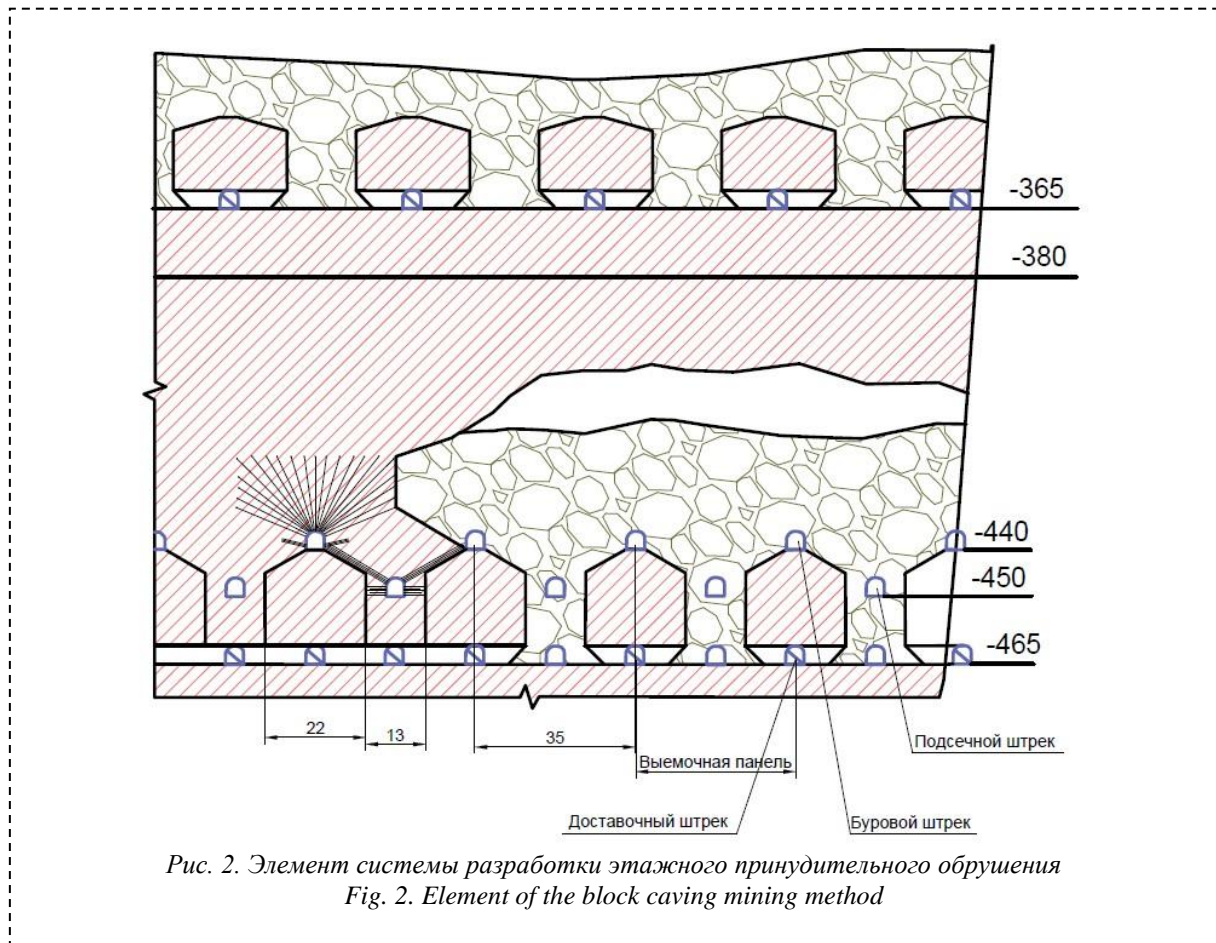


Рис. 2. Элемент системы разработки этажного принудительного обрушения
 Fig. 2. Element of the block caving mining method

зонах контакта с рудными телами и в породном массиве, расположенном между ВРТ и ЗРТ [8, 9, 10, 11, 12].

Рудник является опасным по газовыделению, коллекторами газа выступают шахтные воды и различного рода полости в породных массивах, подземные шахтные воды крайне агрессивны – хлоридно-кальциевые рассолы с минерализацией до 420 г/л крайне негативно влияют на производительность и срок службы горнодобывочного оборудования, а также серьезно ослабляют крепь подземных горных выработок, сокращая срок службы нарезных штреков до 6-12 месяцев [3, 14, 15, 16, 17, 18]. Одним из параметров, которые делают отработку данной кимберлитовой трубки, сильно отличающейся от остальных, является система разработки месторождения. Для обеспечения эффективного функционирования подземного рудника «Удачный» была введена в эксплуатацию система разработки с принудительным обрушением руды [1, 4, 19, 20, 21, 22, 23]. Применение данной системы разработки широко распространено в мировой практике, данная система разработки зачастую применяется на месторождениях с большими объемами бедной легкообрушаемой руды [2, 24, 25]. Трубка Удачная в среднем содержит 1,27 кг/т алмазов, что делает эту трубку неоптимально эффективной для отработки месторождения стандартными

методами, характерными для Крайнего Севера – системами с закладкой выработанного пространства (на примере функционирования рудников Интернациональный и Айхал).

При ведении подземных горных работ системами разработки с самообрушением и принудительным обрушением руд на подземном руднике планируется обеспечить производственную мощность в 4 миллиона тонн горной массы в год. Рудник Удачный должен был выйти на данную мощность к концу 2018 года, однако по результатам 2018 года и затем 2019 года не удалось обеспечить заданную производительность, остановившись на отметке 2,6 миллиона тонн за три квартала 2020 года [1].

Формирование концепции безопасного ведения горных работ

Для безопасной отработки кимберлитовых тел, расположенных ниже уровня дна карьера, на руднике «Удачный» была применена инновационная технология с формированием предохранительного рудопородного подвижного массива – «предохранительной подушки» [26, 27, 28]. Данный массив сформирован из заранее обрушенных бортов карьера, из привезенных пустых пород и из рудной массы разрушенного дна карьера. Предполагается, что предохранительная подушка будет плавно и постепенно опускаться при понижении фронта горных работ, формируя

защитный слой от негативного влияния карьерного пространства для подземных горных выработок, обеспечивая стабильную термоизоляцию подземных горных выработок, фильтрацию карьерных вод и их защиту от динамических горных ударов обрушающихся пород карьера. Однако на данный момент подушка понижается не плавно, а воронкообразно, вслед за выпуском горной массы через точки выпуска руды [29, 30, 31, 32]. Некоторые специалисты отмечают опасность в виде возможного обледенения и смерзания пород предохранительной подушки, что может в дальнейшем привести к ее зависанию над рудным массивом и затем (с достижением критической массы) резким обрушением на нижележащий рудный массив, что может сформировать горный удар по подземным горным выработкам. Однако на данный момент случаи промерзания и зависания подушки не отмечаются, даже несмотря на то, что подушка через себя фильтрует карьерные воды и подвергается воздействию суровых климатических условий Крайнего Севера [26, 30, 31, 32, 33, 34].

По нашему мнению, породный массив, расположенный между Восточным и Западным рудными телами, является одним из факторов, который будет серьезно влиять на ведение подземных горных работ. Через данный междурубчатый породный массив пройдены основные вскрывающие горные выработки на откаточных подземных горизонтах (-380, -480 и -580 м.), а также нарезные горные выработки на добычных подэтажах. Данный породный массив в зонах контакта с кимберлитом имеет нарушенную структуру, в самом массиве отмечены множественные трещины и различного типа нарушения с частотой 0,4-0,7 метра, длинами до 50

метров [3, 9, 10, 14, 16, 28, 35, 36]. При дальнейшем ведении горных работ с применением систем разработки с обрушением руды при соответствующем понижении фронта очистной выемки и опускании предохранительной подушки данный массив будет постепенно обнажаться. При этом очевидно, что горизонтальные напряжения в массиве будут постепенно снижаться, а трещины, расположенные в массиве, будут подвергаться процессам релаксации с дальнейшим их раскрытием, что способно привести к нарушению прочности и целостности данного породного массива [15, 28, 35, 36]. При достаточной высоте обнажения массива и его сильной нарушенности существует вероятность начала протекания процессов неконтролируемого обрушения пород данного массива на нижележащий рудопородный предохранительный массив.

При неконтролируемом обрушении междурудного массива основная масса пород будет обрушаться на нижележащую предохранительную подушку, создавая динамические напряжения разной силы воздействия. При проведении комплекса научно-исследовательских работ по определению рекомендованной толщины подушки [22, 23, 24, 36] нам известно, что предохранительная рудопородная подушка рассчитана для обрушения бортов карьера заданного геометрического размера и объема. При этом расчет точных параметров обрушения междурудного породного массива представляется сложной задачей ввиду влияния многих независимых переменных в процессе обрушения массива. Однако, стоит учитывать, что неконтролируемое массовое обрушение породного массива способно создать опасную ситуацию на

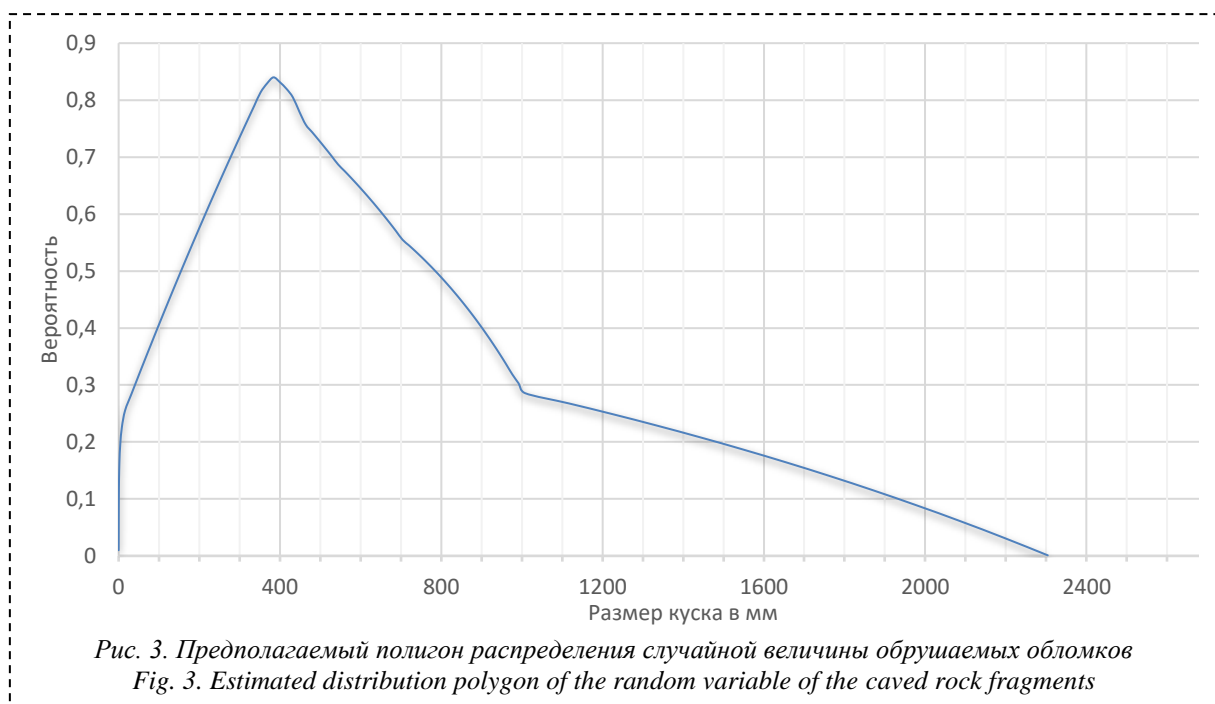


Рис. 3. Предполагаемый полигон распределения случайной величины обрушаемых обломков
Fig. 3. Estimated distribution polygon of the random variable of the caved rock fragments

подземном руднике. Приблизительный объем данного массива высотой около 250 метров может достигать свыше 12,5 млн куб. м, что сопоставимо с объемом одного из рудных тел трубки Удачная [16, 26, 37]. Размеры возможных для обрушения кусков породы могут варьироваться от нескольких сантиметров или куб. см до десятков метров и до тыс. куб. м, которые могут неконтролируемо обрушиться на предохранительный массив. Кимберлитовая руда разбита системами трещин на естественные отдельности [9, 14, 35]. Мы ожидаем, что более крепкие вмещающие породы междурудного массива могут неконтролируемо обрушаться на отдельные куски размерами более метра.

Заключение

Представленный анализ предполагаемого распределения размеров возможных обрушаемых кусков породы показывает, что с учетом сети трещин в междурудном массиве [9, 10, 15], существуют куски породы достаточно больших размеров, которые имеют небольшой шанс обрушиться. Однако при сроке работы рудника, ориентировочно составляющем около 34 лет, из них около 14 лет на отработку запасов от отм. -260 до -580 м, можно с уверенностью утверждать и практически гарантировать обрушение данных

кусков породы большого объема вплоть до размеров двухэтажного дома.

При этих параметрах предполагаемого распределения размеров обрушаемых кусков междурудного массива рекомендуется дополнительно провести расчеты для определения и уточнения мощности предохранительной подушки с учетом возможности обрушения данных кусков породы большой массы. В этом случае, мы можем говорить о дальнейших рекомендациях по изменению ее высоты в большую или меньшую сторону, либо же по изменению структуры подвижного предохранительного массива.

Обеспечение экономически эффективной и безопасной выемки запасов кимберлитовой трубки «Удачная» является задачей сложновыполнимой без разработки специальных мероприятий по исключению опасных геомеханических и геотехнических ситуаций, обусловленных постоянным увеличением глубины разработки вследствие углубления фронта горных работ. Анализ горно-геологических условий и геотехнических параметров отработки кимберлитовой трубки «Удачная» позволяет сделать вывод о необходимости дальнейших исследований и корректировки параметров подвижной предохранительной рудопородной подушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С.С. Отчет эмитента (Ежеквартальный отчет) за 3 квартал 2020 г. / Иванов С.С., Стасенко А.В. // АК «АЛРОСА» (ПАО). 2020. Режим доступа: <http://www.alrosa.ru/wp-content/uploads/2020/11/3-квартал-2020-года-Отчет-эмитента.pdf> [01.12.2020].
2. Tishkov M. Evaluation of caving as mining method for the Udachnaya underground diamond mine project // *Caving* 2018 – 2018. – P. 835-846.
3. Ильин А. Попутное использование природных высокоминерализованных рассолов глубоких горизонтов при отработке подземным способом кимберлитовой трубки Удачная в качестве гидроминерального сырья / Ильин А., Синчук Е. // материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова. – 2020 – С.469-474.
4. Коваленко А.А. Оценка подземного способа отработки месторождения трубки «Удачная» с применением системы с самообрушением / Коваленко А.А., Тишков М.В. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2017. – № 4. – С.117-128.
5. Балек А.Е. Проблема оценки природного напряженно-деформированного состояния горного массива при освоении недр / Балек А.Е. Сашурин А.Д. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2016. – спец.выпуск. – С. 9-23.
6. Измерительный комплекс для контроля геомеханического состояния массивов горных пород / Востриков В.И., Полотнянко Н.С., Трофимов А.С., Потака А.А. // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2017. – Т.2. – №2. – С.169-174.
7. Геотермический контроль грунтов основания копров и устьевой части вертикальных стволов на примере алмазодобывающего рудника «Удачный» (Якутия) / Курилко А.С., Хохолов Ю.А., Дроздов А.В., Соловьев Д.Е. // *Криосфера Земли*. – 2017. – №21. – С.82-91.
8. Глаголев П.М. Технологии отработки подкарьерных запасов трубки «Удачная» / Глаголев П.М., Савич И.Н. // *ГИАБ*. – 2007. – Семинар №17. – С.281-285.
9. Дроздов А.В. Геотехнологические проблемы освоения глубоких горизонтов трубки Удачной // *Проблемы недропользования: вопросы комплексного освоения глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых*. – 2009. – С.110-121.

10. Дроздов А.В. Горно-геологические особенности глубоких горизонтов трубки Удачной // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №1. – С.153-165.
11. Коваленко А.А. Оценка отработки месторождения трубки «Удачная» / Коваленко А.А., Тишков М.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №12. – С.134-135.
12. Особенности отработки коренных месторождений алмазов в сложных горно-геологических условиях восточного сектора Арктики / Скляр Е.В. [и др.]// РАН. – 2014. – С.1-14.
13. Костровицкий С.И. Что такое кимберлиты? // Материалы VI международной школы по наукам о Земле ISES-2010 (г. Одесса, Украина, 03-08 сентября 2010 г.). – Одесса: Изд-во I.S.E.S. – 2010. – С. 77-79.
14. Балек А. Е. Обоснование геомеханических условий подземной разработки алмазного месторождения «Трубка Удачная» / Балек А. Е., Ефремов Е. Ю. // Инновационные геотехнологии при разработке рудных месторождений – 2016. – С.173-174.
15. Дроздов А.В. Горно-геологические и технологические проблемы при строительстве подземного рудника «Удачный» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С.125-131.
16. Краткий отчет независимых экспертов о запасах и ресурсах месторождений алмазов группы компаний «АЛРОСА» // Micon International Co Limited. 2018. Режим доступа: <http://www.alrosa.ru/wp-content/uploads/2013/11/Alrosa-Summary-Report-Final-RUS.pdf> [01.12.2020].
17. Zuev V.Yu. Application prospects for models of equivalent materials in studies of geomechanical processes in underground mining of solid minerals / Zuev V.Yu., Zubov V.P., Fedorov A.S. // Eurasian mining, № 1 – 2019. – P. 8-12.
18. Прогноз температурно-влажностного состояния предохранительной подушки при отработке подкарьерных запасов руды в условиях криолитозоны / Заровняев Б.Н., Шубин Г.В., Курилко А.С., Хохолов Ю.А. // Горный журнал. – 2016. – №9. – С.33-36.
19. Никитин И.В. Оптимизация параметров вскрытия при подземной разработке подкарьерных запасов кимберлитового месторождения // Проблемы недропользования. – 2017. – № 1. – С.21-28.
20. Зуев Б.Ю. Определение статических и динамических напряжений в физических моделях слоистых и блочных горных массивов / Зуев Б.Ю., Зубов В.П., Смычник А.Д. // Горный журнал. – 2019. – № 7. – С.61-66.
21. Пивень Г.Ф. Технологии отработки подкарьерных запасов трубки «Удачная» // Записки Горного института. – 2011. – № 1. – С.359-361.
22. Соколов И.В. Инновационные технологии подземной разработки рудных месторождений / Соколов И.В., Антипин Ю.Г. // Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции в области теории и практики добычи и переработки минерального и техногенного сырья». – 2019. – С.27-31.
23. Опыт разработки инновационных подземных геотехнологий освоения рудных месторождений / Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Гобов Н.В., Никитин И.В. // ГИАБ. 2020. №3-1. С.338-350.
24. Соколов И.В. Принципы формирования и критерий оценки геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений подземным способом / Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. // ГИАБ. – 2017. – №9. – С.151-160.
25. Underground mining at Ekati and Diavik diamond mines / Jakubec J., Legace D., Boggis B., Clark L.M., Lewis P.A. // Caving 2018. – 2018 – P. 73-88.
26. Киселев В.В. К вопросу возведения, эксплуатации и обеспечения подвижности породных предохранительных подушек при подземной доработке подкарьерных запасов алмазосодержащих трубок в условиях криолитозоны / Киселев В.В., Хохолов Ю.А. // Евразийское научное объединение. – 2019. – С.1-4.
27. Хохолов Ю.А. Особенности процессов тепло- и массообмена, происходящих в предохранительной подушке при подземной доработке подкарьерных запасов // ГИАБ. – 2020. – С.13-21.
28. Анисимов К.А. Геомеханические проблемы при разработке подкарьерных запасов алмазосодержащих месторождений в условиях рудника "Удачный" // Успехи современного естествознания. – 2020. – №5. – В.29-36.
29. Drilling and blasting design based on invariable mining parameters. / Yakubovskiy M.M., Sankovsky A.A. // Journal of Industrial Pollution Control. – 2017. – (Vol. 33) – P.931-936.
30. Бокий И.Б. Анализ процесса оседаний породной подушки при отработке запасов западного рудного тела трубки «Удачная» по системе с обрушением / Бокий И.Б., Зотеев О.В., Пуль В.В. // Горный журнал. – 2019. – № 2. – С.43-46.
31. Слышенко И.И. Причины деформирования породного массива при подземной разработке рудника «Удачный» АК Алроса / Слышенко И.И., Мишедченко О.А. // Маркшейдерия и недропользование. – 2018. – №1 (93). – С.24-31.
32. Натурные исследования сыпучих свойств руд и вскрышных пород для их использования при создании предохранительной «подушки» на дне карьера «Удачный» АК «Алроса» / Шубин Г.В., Заровняев Б.Н., Бондаренко И.Ф., Курилко А.С. // Горный журнал. – 2015. – №4. – С.15-19.

33. Неустров А.П. Обзор методов прогноза температурно-влажностного состояния предохранительной подушки при отработке подкарьерных запасов руды месторождений криолитозоны. Наука и образование сегодня. – 2016. – № 6 (7). – С. 45-47.
34. Trushko V.L. Prospects of geomechanics development in the context of new technological paradigm. / Trushko V.L., Protosenya A.G. // Journal of Mining Institute. – 2019. – (Vol. 236) – P.162-166.
35. Kovalsky, E.R. Evaluation of displacements of the mine workings contour in abutment pressure zones. / Kovalsky E.R., Leisle A.V., Karpov G.N. // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – (Vol 29) – P.1951-1959.
36. Обоснование толщины предохранительной подушки при отработке подкарьерных запасов трубки «Удачная» системами с обрушением / Соколов И.В., Смирнов А.А. Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Тишков М.В. // Технология добычи полезных ископаемых. – 2018. – № 2. – С.52-62.
37. Assessment of Stress-Strain and Shock Bump Hazard of Rock Mass in the Zones of High-Amplitude Tectonic Dislocations. / Kosukhin N.I., Sidorov D.V., Beloglazov, I.I. & Timofeev, V.Y. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – (Vol 224) – P.1-5.

REFERENCES

1. Ivanov S.S. Otchet emitenta (kvartalnyy otchet) dlya 3 kvartala 2020 [Issuer report (Quarterly report) for the 3rd quarter of 2020] / Ivanov S.S., Stasenko A.V. // PJSC ALROSA. 2020. Access mode: <http://www.alrosa.ru/wp-content/uploads/2020/11/3-квартал-2020-года-Отчет-эмитента.pdf> [01.12.2020]. (rus)
2. Tishkov M. Evaluation of caving as mining method for the Udachnaya underground diamond mine project // Caving 2018 – 2018. – Pp. 835-846.
3. Ilyin A. Poputnoe ispolzovanie prirodnyuh vysokomineralizovannyuh rassolov glubokih gorizontov pri otrabotke podzemnym sposobom kimberlitovoy trubki udachnaya v kachstve mineralnogo syrya [Accompanying use of natural highly mineralized brines of deep horizons in the underground mining of the Udachnaya kimberlite pipe as a hydromineral raw material] / Ilyin A., Sinchuk E. // materials of the X All-Russian scientific and practical conference with international participation. / North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. – 2020 – P.469-474. (rus)
4. Kovalenko A.A. Otsenka podzemnogo sposoba otrabotki mestorozhdeniya trubki «Udachnaya» s primeneniym sistemy s samoobrusheniym [Assessment of the underground mining method of the Udachnaya pipe deposit using a self-caving system] / Kovalenko A.A., Tishkov M.V. // Mining information and analytical bulletin. – 2017. – No. 4. – С.117-128. (rus)
5. Balek A.E. Problema otsenki prirodnogo napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva pri osvoyenii nedr [The problem of assessing the natural stress-strain state of a rock mass in the development of subsoil] / Balek A.E. Sashurin A.D. // Mining information and analytical bulletin. – 2016. – special edition. – С.9-23. (rus)
6. Izmeritel'nyy kompleks dlya kontrolya geomekhanicheskogo sostoyaniya massivov gornykh porod [Measuring complex for monitoring the geomechanical state of rock massifs] / Vostrikov V.I., Polotnyanko N.S., Trofimov A.S., Potaka A.A. // Interexpo Geo-Siberia. – 2017. – T.2. – No. 2. – S. 169-174. (rus)
7. Geotermicheskiy kontrol' gruntov osnovaniya koprov i ust'yevoy chasti verti-kal'nykh stvolov na primerealmazodobyvayushchego rudnika «Udachnyy» (Yakutiya) [Geothermal control of the soils of the base of the headframes and the mouth of vertical shafts on the example of the Udachny diamond mine (Yakutia)] / Kurilko AS, Khokholov Yu.A., Drozdov AV, Soloviev DE. // Cryosphere of the Earth. – 2017. – No. 21. – S.82-91. (rus)
8. Glagolev P.M. Tekhnologii otrabotki podkar'yernykh zapasov trubki «Udachnaya» [Technologies for mining under-pit reserves of the Udachnaya pipe] / P.M. Glagolev, I.N. Savich. // GIAB. – 2007. – Seminar No. 17. S. 281-285. (rus)
9. Drozdov A.V. Geotekhnologicheskiye problemy osvoyeniya glubokikh gorizontov trubki Udachnoy [Geotechnological problems of the development of deep horizons of the Udachnaya pipe] // Problems of subsoil use: issues of complex development of deep-lying mineral deposits. – 2009. – С.110-121. (rus)
10. Drozdov A.V. Gorno-geologicheskiye osobennosti glubokikh gorizontov trubki Udachnoy [Mining and geological features of the deep horizons of the Udachnaya pipe] // Gorny information-analytical bulletin. – 2011. – No. 1. – С.153-165. (rus)
11. Kovalenko. A.A. Otsenka otrabotki mestorozhdeniya trubki «Udachnaya» [Evaluation of development of

the Udachnaya pipe deposit] / Kovalenko. A.A., Tishkov M.V. // Mining information and analytical bulletin. – 2016. – No. 12. – С.134-135. (rus)

12.Osobnosti otrabotki korennykh mestorozhdeniy almazov v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh vostochnogo sektora Arktiki [Features of the development of primary diamond deposits in difficult mining and geological conditions of the eastern sector of the Arctic] / Sklyarov E.V. [and others] // RAS. – 2014. – P.1-14. (rus)

13.Kostrovitsky S.I. Chto takoye kimberlity? [What are kimberlites?] // Materials of the VI International School of Earth Sciences ISES-2010 (Odessa, Ukraine, September 03-08, 2010). – Odessa: Publishing house I.S.E.S. – 2010. – P. 77-79. (rus)

14.Balek A.E. Obosnovaniye geomekhanicheskikh usloviy podzemnoy razrabotki al-maznogo mestorozhdeniya «Trubka Udachnaya» [Substantiation of the geomechanical conditions of underground development of the Udachnaya pipe diamond deposit] / Balek A.E., Efremov E.Yu. // Innovative geotechnologies in the development of ore deposits – 2016. – P.173-174. (rus)

15.Drozdov A.V. Gorno-geologicheskiye i tekhnologicheskiye problemy pri stroitel'stve podzemnogo rudnika «Udachnyy» [Mining-geological and technological problems during the construction of the underground mine «Udachnyy»] // Mining information and analytical bulletin. – 2015. – No. 2. – S.125-131. (rus)

16. Kratkiy otchet nezavisimyykh ekspertov o zapasakh i resursakh mestorozhdeniy al-mazov gruppy kompaniy «ALROSA» [A brief report of independent experts on the reserves and resources of diamond deposits of the ALROSA group of companies] // Micon International Co Limited. 2018. Access mode: <http://www.alrosa.ru/wp-content/uploads/2013/11/Alrosa-Summary-Report-Final-RUS.pdf> [01.12.2020]. (rus)

17.Zuev B. Yu. Application prospects for models of equivalent materials in studies of geomechanical processes in underground mining of solid minerals / Zuev B.Yu., Zubov V.P., Fedorov A.S. // Eurasian mining, № 1 – 2019. – P. 8-12.

18.Prognoz temperaturno-vlazhnostnogo sostoyaniya predokhranitel'noy podushki pri otrabotke podkar'yernykh zapasov rudy v usloviyakh kriolitozony [Forecast of the temperature and humidity state of the safety cushion during the development of sub-pit ore reserves in permafrost conditions] / Zarovnyayev B.N., Shubin G.V., Kurilko A.S., Khokholov Yu.A. // Mining journal. – 2016. – No. 9. – S.33-36. (rus)

19.Nikitin I.V. Optimizatsiya parametrov vskrytiya pri podzemnoy razrabotke podkar'yernykh zapasov kimberlitovogo mestorozhdeniya [Optimization of the opening parameters during underground development of sub-pit reserves of a kimberlite deposit] // Problems of subsoil use. – 2017. – No. 1. – C.21-28. (rus)

20.Zuev B.Yu. Opredeleniye staticheskikh i dinamicheskikh napryazheniy v fizicheskikh modelyakh sloistykh i blochnykh gornykh massivov [Determination of static and dynamic stresses in physical models of layered and block rock massifs] / Zuev B.Yu., Zubov V.P., Smychnik A.D. // Mining journal. – 2019. – No. 7. – C.61-66. (rus)

21.Piven G.F. Tekhnologii otrabotki podkar'yernykh zapasov trubki «Udachnaya» [Technologies for mining under-pit reserves of the Udachnaya pipe] // Notes of the Mining Institute. – 2011. – No. 1. – C.359-361. (rus)

22.Sokolov I.V. Innovatsionnyye tekhnologii podzemnoy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy [Innovative technologies for underground mining of ore deposits] / Sokolov I.V., Antipin Yu.G. // International scientific-practical conference «Modern trends in the theory and practice of mining and processing of mineral and technogenic raw materials». – 2019. – P.27-31. (rus)

23.Opyt razrabotki innovatsionnykh podzemnykh geotekhnologiy osvoyeniya rudnykh mestorozhdeniy [Experience in the development of innovative underground geotechnologies for the development of ore deposits] / Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Gobov N.V., Nikitin I.V. // GIAB. 2020. No. 3-1. S.338-350. (rus)

24.Sokolov I.V. Printsipy formirovaniya i kriteriy otsenki geotekhnologicheskoy strategii osvoyeniya perekhodnykh zon rudnykh mestorozhdeniy podzemnym sposobom [The principles of formation and the criterion for assessing the geotechnological strategy for the development of transition zones of ore deposits by underground method] / Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Nikitin I.V. // GIAB. – 2017. – No. 9. – S. 151-160. (rus)

25.Underground mining at Ekati and Diavik diamond mines / Jakubec J., Legace D., Boggis B., Clark L.M., Lewis P.A. // Caving 2018. – 2018 – P. 73-88.

26.Kiselev V.V. K voprosu vozvedeniya, ekspluatatsii i obespecheniya podvizhnosti porodnykh predokhranitel'nykh podushek pri podzemnoy dorabotke podkar'yer-nykh zapasov almazosoderzhashchikh trubok v usloviyakh kriolitozony [On the issue of construction, operation and mobility of rock safety cushions during

underground reworking of subsurface reserves of diamond-bearing pipes in permafrost conditions] / Kiselev V.V., Khokholov Yu.A. // Eurasian Scientific Association. – 2019. – P.1-4. (rus)

27. Khokholov Yu.A. Osobennosti protsessov teplo- i massoobmena, proiskhodyashchikh v predokhranitel'noy podushke pri podzemnoy dorabotke podkar'yernykh zapasov [Features of the processes of heat and mass transfer occurring in the safety cushion during underground reworking of sub-pit reserves] // GIAB. – 2020. – P.13-21. (rus)

28. Anisimov K.A. Geomekhanicheskiye problemy pri razrabotke podkar'yernykh zapa-sov almazosoderzhashchikh mestorozhdeniy v usloviyakh rudnika "Udachnyy" [Geomechanical problems in the development of subsurface reserves of diamond-bearing deposits in the conditions of the «Udachny» mine] // Successes of modern natural science. – 2020. – No. 5. – P. 29-36. (rus)

29. Drilling and blasting design based on invariable mining parameters. / Yakubovskiy M.M., Sankovskiy A.A. // Journal of Industrial Pollution Control. – 2017. – (Vol. 33) – P.931-936.

30. Bokiyy I.B. Analiz protsessa osedaniy porodnoy podushki pri otrabotke zapasov zapadnogo rudnogo tela trubki «Udachnaya» po sisteme s obrusheniyem [Analysis of the process of sedimentation of the rock cushion during the development of reserves of the western ore body of the Udachnaya pipe according to the system with caving] / Bokiyy I.B., Zoteyev O.V., Pul V.V. // Mining journal. – 2019. – No. 2. – С. 43-46. (rus)

31. Slyshenko I.I. Prichiny deformirovaniya porodnogo massiva pri podzemnoy razrabotke rudnika «Udachnyy» AK Alrosa [Reasons for rock mass deformation during underground mining of the Udachny mine AK Alrosa] / Slyshenko II, Mishedchenko OA // Mine survey and subsoil use. – 2018. – No. 1 (93). – P. 24-31. (rus)

32. Naturnyye issledovaniya sypuchikh svoystv rud i vskryshnykh porod dlya ikh is-pol'zovaniya pri sozdanii predokhranitel'noy «podushki» na dne kar'yera «Udachnyy» AK «Alrosa» [Field studies of bulk properties of ores and overburden rocks for their use when creating a safety «cushion» at the bottom of the open pit «Udachny» AK «Alrosa»] / Shubin G.V., Zarovnyaev B.N., Bondarenko I.F., Kurilko A.S. // Mining journal. - 2015. - No. 4. - pp. 15-19. (rus)

33. Neustroev A.P. Obzor metodov prognoza temperaturno-vlazhnostnogo sostoyaniya predokhranitel'noy podushki pri otrabotke podkar'yernykh zapasov rudy mestorozhdeniy kriolitozony [A review of methods for predicting the temperature and humidity state of the safety cushion during the development of under-pit ore reserves of permafrost deposits] // Science and education today. – 2016. – No. 6 (7). – S. 45-47. (rus)

34. Trushko V.L. Prospects of geomechanics development in the context of new technological paradigm. / Trushko V.L., Protosenya A.G. // Journal of Mining Institute. – 2019. – (Vol. 236) – P. 162-166.

35. Kovalsky, E.R. Evaluation of displacements of the mine workings contour in abutment pressure zones. / Kovalsky E.R., Leisle A.V., Karpov G.N. // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – (Vol 29) – P. 1951-1959.

36. Obosnovaniye tolshchiny predokhranitel'noy podushki pri otrabotke podkar'yernykh zapasov trubki «Udachnaya» sistemami s obrusheniyem [Justification of the thickness of the safety cushion during the development of under-pit reserves of the Udachnaya pipe by systems with collapse] / Sokolov I. V., Smirnov A. A. Antipin Yu. G., Nikitin I. V., Tishkov M.V. // Mineral extraction technology. – 2018. – No. 2. – С. 52-62. (rus)

37. Assessment of Stress-Strain and Shock Bump Hazard of Rock Mass in the Zones of High-Amplitude Tectonic Dislocations. / Kosukhin N.I., Sidorov D.V., Beloglazov, I.I. & Timofeev, V.Y. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – (Vol 224) – P. 1-5.

Поступило в редакцию 10.01.2021

Received 10 January 2021