

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-133-139

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ДЕГРАДИРУЮЩЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Константинов Илья Александрович¹, Тальгамер Борис Леонидович²,
Старков Анатолий Евгеньевич²

¹ Компания Востсибуголь

² Иркутский национальный исследовательский технический университет

*для корреспонденции: ilya-konst@rambler.ru



Информация о статье

Поступила:

02 октября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 ноября 2024 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2024 г.

Опубликована:

05 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

Деградирующая мерзлота, вскрыша, экскаваторно-отвальный технологический комплекс, экскаваторно-автомобильно-отвальный технологический комплекс, буровзрывные работы, регулирование степени дробления горных пород взрывом

Аннотация.

Актуальность работы заключается в том, что в условиях деградирующей многолетней мерзлоты традиционный подход к управлению качеством буровзрывных работ (БВР), основанный на управлении параметрами БВР, оказался малоэффективным вследствие стихийного нарушения структуры заряда взрывчатых веществ (ВВ) в буровзрывных скважинах, и потребовалась апробация в производственных условиях принципиально нового подхода к управлению качеством БВР в данных условиях.

Целью данной работы является оценка в производственных условиях зависимости качества взрывной подготовки вскрышных пород, находящихся в условиях деградирующей многолетней мерзлоты, от высоты обрабатываемого уступа (то есть параметра основного выемочно-погрузочного процесса).

При выполнении работы была проведена экспериментальная проверка в условиях производства зависимости качества взрывной подготовки вскрышных пород, находящихся в условиях деградирующей многолетней мерзлоты, от высоты обрабатываемого уступа. Также были выявлены параметры, количественно характеризующие вскрышные работы в условиях деградирующей многолетней мерзлоты по разным вариантам разработки.

В результате выполнения работы была подтверждена установленная ранее зависимость качества взрывной подготовки пород от высоты обрабатываемого уступа в условиях деградирующей многолетней мерзлоты, а также обоснована оптимальная технология разработки вскрышных пород в данных условиях.

Для цитирования: Константинов И.А., Тальгамер Б.Л., Старков А.Е. Повышение эффективности вскрышных работ в условиях деградирующей мерзлоты // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 6 (166). С. 133-139. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-133-139, EDN: XUVNNU

Введение. В России на 65% территории фиксируются многолетнемерзлые породы, максимальная мощность которых достигает 1370 м. Наиболее распространена мерзлота в Арктической зоне, Северных территориях, Дальневосточном регионе и на всей территории

Республики Саха (Якутия). В нетронутых техногенным воздействием районах процессы дегградации (таяния) мерзлоты происходят со скоростью примерно 2-3% в год. В регионах, нарушенных техногенным воздействием, скорость дегградации мерзлоты увеличивается,

что вызывает необратимые процессы, такие как обрушение бортов карьера, образование провалов в выработанном пространстве и на отвалах, разрушение зданий и сооружений, расположенных в зоне таяния мерзлых горных пород и т. д. [1].

Месторождения, расположенные в условиях деградирующей мерзлоты, с одной стороны, невозможно успешно разрабатывать без предварительного рыхления горных пород [2], а с другой стороны, проведение буровзрывных работ осложняется наличием плывунов и воды [3, 4, 5]. Предварительное осушение массива горных пород с деградирующей или островной многолетней мерзлотой, как правило, малоэффективно из-за льдистых прослоек или глинистых отложений, большая часть воды в которых является капиллярной, что обуславливает их низкую водоотдачу [6].

В результате предыдущих исследований [7-9] было установлено, что качество взрывной подготовки горных пород, охваченных деградирующей многолетней мерзлотой, в значительной степени зависит от высоты обрабатываемого уступа. С уменьшением высоты обрабатываемого уступа качество взрывной подготовки пород повышается (объем плохо разрушенных взрывом пород снижается до минимума). Вместе с тем с уменьшением высоты уступа сгущается сетка скважин и, соответственно, увеличивается их количество, что приводит к увеличению объема буровых работ и повышенному расходу взрывчатых материалов. Кроме того, увеличивается количество обрабатываемых уступов, что сдерживает подготовку запасов полезного ископаемого (вследствие того, что первые их объемы появляются только после отработки самого последнего, нижнего уступа и из-за увеличения количества ходов выемочного оборудования), что может привести к снижению производственной мощности предприятия. То есть при более низких уступах на вскрышных работах в условиях деградирующей многолетней мерзлоты качество взрывной подготовки пород повышается, однако снижается экономичность разработки.

Целью данного исследования является оценка в производственных условиях зависимости качества взрывной подготовки вскрышных пород, находящихся в условиях деградирующей многолетней мерзлоты, от высоты обрабатываемого уступа, а также иных изменяющихся при этом параметров разработки.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Определение объемов некачественно взорванной горной массы и выявление их зависимости от высоты уступа по разным вариантам разработки.

- Расчет удельной себестоимости вскрышных работ (с учетом буровзрывных работ), обуславливающей их экономичность по разным вариантам разработки.

- Выявление и расчет иных показателей, определяющих эффективность разработки по каждому из вариантов.

Методы исследования

Для достижения поставленной цели и решения перечисленных выше задач применялись следующие методы:

- Экспериментальная проверка в условиях производства зависимости качества взрывной подготовки вскрышных пород, находящихся в условиях деградирующей многолетней мерзлоты, от высоты обрабатываемого уступа.

- Выявление параметров, количественно характеризующих вскрышные работы в условиях деградирующей многолетней мерзлоты, по разным вариантам разработки.

Результаты исследования

Для апробации технологии вскрышных работ с уменьшением высоты уступов было выбрано месторождение, на котором отмечалось низкое качество взрывной подготовки вскрышных пород с деградирующей многолетней мерзлотой.

На одном из эксплуатационных участков этого месторождения, характеризующегося наличием деградирующей многолетней мерзлоты, в процессе ведения горных работ были последовательно отработаны (в числе прочих) две смежных панели-заходки (панель-заходка №1 – в 2019-2020 годах, панель-заходка №2 – в 2023 году). Горные работы осуществлялись от выходов залежи полезного ископаемого под реголитовые (четвертичные) отложения с продвижением фронта работ вдоль длинной оси карьерного поля по направлению западения обоих (верхнего и нижнего) пологопадающих пластов полезного ископаемого (с увеличением мощности вскрышных пород), обрабатываемых по сплошной системе разработки. Вскрышные породы верхнего пласта полезного ископаемого (внешняя вскрыша) были охвачены островной деградирующей многолетней мерзлотой, в то время как породы междупластья пластов полезного ископаемого (внутренняя вскрыша) были практически тальми.

Вскрышные породы панели-заходки №1 были отработаны с применением буровзрывных работ (БВР) по бестранспортной системе разработки собственным экскаваторно-отвальным технологическим комплексом (ЭО) драглайном ЭШ-20.90 с непосредственной перевалкой пород во внутренние отвалы, причем внешняя вскрыша была отработана в основном относительно низкими уступами, а внутренняя вскрыша – на всю мощность междупластья. Реголитовые породы обрабатывались отдельно собственным

Таблица 1. Показатели отработки двух смежных панелей-заходок с частично мерзлыми породами по разным технологическим схемам
Table 1. Indicators of mining of two adjacent panels with partially frozen rocks according to different technological schemes

Показатель	Панель-заходка	
	№1	№2
Вскрыша реголитовых (четвертичных) пород		
Мощность отложений, м	7-12	7-12
Высота уступа, м	5-7	5-7
Объем некачественно взорванной вскрыши, м ³	0	0
Внутренняя вскрыша		
Мощность отложений, м	13,0-19,5	15,0-19,0
Высота уступа, м	13,0-19,5	7,0
Объем некачественно взорванной вскрыши, м ³	0	0
Внешняя вскрыша		
Мощность отложений, м	18-27	16-29
Высота уступа, м	От 7-12 до 31 *	7-9
Объем некачественно взорванной вскрыши, м ³	378 000 **	0
Внешняя и внутренняя вскрыша		
Объем пород в заходке, м ³	2 139 000	2 794 780
Объем переэкскавированных пород, м ³	2 218 659	0
Общий объем отработанных пород, м ³	4 357 659	2 794 780
Коэффициент переэкскавации	1,03	-
Продолжительность отработки панели, сут.	468	187
Скорость отработки панели, м ³ /сут	4 570	14 945
Удельная себестоимость вскрышных работ (с учетом проведения БВР), %	100 ***	116

Примечания.

* – на полную мощность уступа с перебуром междупластий через верхний пласт полезного ископаемого

** – из них 287 000 приходится на буровые блоки высотой 31 м.

*** – в ценах 2023 года с учетом уровня инфляции.

экскаваторно-автомобильно-отвальным технологическим комплексом (ЭАО) по транспортной системе разработки с вывозкой пород во внутренние отвалы.

Вскрышные породы панели-заходки №2 (как реголитовые породы, так и внешняя и внутренняя вскрыша) были отработаны с применением БВР по транспортной системе разработки технологическим комплексом ЭАО подрядной организации, состоящим из 1-4 маломощных гидравлических экскаваторов и 2-14 автосамосвалов, низкими уступами с вывозкой пород во внутренние отвалы на среднее расстояние 1,5 км.

Отработка этих двух панелей-заходок с использованием разных технологических схем была принята для оценки влияния высоты уступов при разработке вскрышных пород в условиях деградирующей многолетней мерзлоты на качество и экономичность подготовки пород к выемке.

При апробации в производственных условиях технологии отработки вскрышных пород, находящихся в условиях деградирующей многолетней мерзлоты, низкими уступами как по транспортной, так и по бестранспортной

системам разработки, были получены результаты, представленные в Таблице 1.

Как следует из этой таблицы:

1. При использовании технологического комплекса ЭАО отсутствует переэкскавация. При отработке вскрыши технологическим комплексом ЭО коэффициент переэкскавации превышает 1,0.

2. Разработка панели №1 производилась технологическим комплексом ЭО в течение 468 сут. (около 15 мес.), а разработка панели №2 – технологическим комплексом ЭАО в течение 187 сут. (около 6 мес.), то есть в 3 раза быстрее. Производительность отработки панели-заходки №1 составила 4 570 м³/сут, а панели №2 – 14 945 м³/сут. Объясняется это большей мобильностью автосамосвалов по сравнению с драглайном большой единичной мощности и отсутствием повторно отрабатываемых и некачественно взорванных пород.

3. При отработке вскрышных реголитовых отложений, охваченных деградирующей многолетней мерзлотой, низкими уступами, в обоих вариантах разработки качество взрыва было высоким (незначительные объемы некачественно взорванных пород).

4. При обработке внутренней вскрыши, не охваченной мерзлотой, качество взрыва также было высоким, вне зависимости от высоты обрабатываемого уступа.

5. При обработке внешней вскрыши, охваченной деградирующей многолетней мерзлотой, качество взрыва снижается по мере увеличения высоты обрабатываемого уступа и повышается по мере ее уменьшения.

6. Удельная себестоимость вскрышных работ (с учетом БВР) при обработке низких уступов технологическим комплексом ЭАО превысила соответствующую себестоимость технологического комплекса ЭО на 16%. Объясняется это увеличением объема бурения и расхода взрывчатых материалов из-за сгущения сетки скважин при уменьшении высоты обрабатываемого уступа, а также более высокими затратами на дизельное топливо автосамосвалов и гидравлических экскаваторов (по сравнению с более дешевой электрической энергией драглайнов) и на зарплату (из-за увеличения численности рабочих).

Обсуждение результатов исследований

В процессе апробации используемых технологических схем и обработки полученных результатов были сформулированы следующие выводы:

1. Увеличение затрат на применение технологического комплекса ЭАО может быть компенсировано ростом прибыли предприятия (при наличии дополнительных рынков сбыта продукции полезного ископаемого) за счет интенсификации вскрытия и подготовки запасов полезного ископаемого. При этом годовая прибыль предприятия в данных условиях может быть увеличена в 3 раза за счет соответствующего увеличения скорости подготовки запасов, что многократно перекроет дополнительные затраты.

2. При отсутствии дополнительных рынков сбыта продукции полезного ископаемого снизить дополнительные затраты на реализацию технологии вскрышных работ с использованием низких уступов с применением технологического комплекса ЭАО можно следующими мерами:

- сокращением расстояния перевозки вскрышных пород из забоя в отвал (в этом случае уменьшаются затраты на топливо и фонд заработной платы);

- переводом технологического комплекса ЭАО с более дорогого дизельного топлива на более дешевый и экологичный газ.

3. В пределах островов деградирующей многолетней мерзлоты осуществлять вскрышные работы целесообразно низкими уступами с применением технологического комплекса ЭАО по транспортной системе разработки с небольшими гидравлическими экскаваторами по следующим причинам:

- рабочие параметры небольших гидравлических экскаваторов будут больше соответствовать высоте низких уступов, чем параметры черпания и разгрузки мощных драглайнов;

- гидравлические экскаваторы и автосамосвалы обладают большей мобильностью при перемещении по оттаивающей мерзлоте, чем драглайны большой единичной мощности;

- применение технологического комплекса ЭАО при обработке деградирующей многолетней мерзлоты вследствие его большей мобильности и маневренности, в отличие от технологического комплекса ЭО, дает возможность обработки без применения БВР тех частей уступа, которые не являются мерзлыми или литифицированными;

- проведение вскрышных работ в описанных условиях технологическим комплексом ЭАО производится значительно быстрее, чем при обработке драглайнами, что дает возможность интенсифицировать подготовку запасов полезного ископаемого и увеличить прибыль предприятия.

4. Технологический комплекс ЭО при разработке месторождений с деградирующей многолетней мерзлотой целесообразно использовать для:

- отвалообразования;

- вспомогательных работ (формирование технологических автомобильных спусков и переездов из вскрышной заходки в отвал, оконтуривание и зачистка откосов пластов полезного ископаемого и т. д.);

- вскрышных работ по бестранспортной системе разработки на максимальную высоту уступов в породах, не охваченных мерзлотой («межостровного» пространства многолетней мерзлоты).

- Вскрышных работ по бестранспортной системе разработки пониженными уступами в породах, охваченных многолетней мерзлотой, в зимний период года.

5. При подготовке вскрышных пород с использованием БВР уменьшение высоты уступа влечет за собой не только сгущение сетки скважин и, соответственно, увеличение объема бурения и расходуемых взрывчатых материалов, но и изменение режима работы предприятия, сопряженного с задержкой вскрытия и подготовки запасов полезного ископаемого. Указанную задержку можно исключить делением обрабатываемой панели-заходки на две части, на первой из которых запасы полезного ископаемого уже готовы к выемке, а на второй – готовятся к выемке. Технологию в данном случае предлагается построить таким образом, чтобы темп подготовки запасов полезного ископаемого на одной части панели-заходки был равен темпу отгрузки готовых к выемке запасов полезного ископаемого на другой. После этого готовые к

выемке запасы второй части панели-заходки отгружаются, одновременно готовятся к выемке запасы полезного ископаемого первой части следующей панели и т. д. (последнее было реализовано при разработке панели №2. Отгрузка вскрытого полезного ископаемого началась уже через две недели после начала вскрышных работ).

Технология взрывных работ устанавливается на основе свойств горных пород, а также горно-геологических условий их залегания, которые, однако, трудно учесть на стадии проектирования. Проектный удельный расход ВВ иногда не соответствует фактическому, что приводит к увеличению расхода ВВ [10, 11]. На данный момент разработано значительное количество способов управления качеством БВР, которые основаны на управлении параметрами процесса БВР, и ни один из которых не является универсальным, в связи с чем для условий каждого конкретного месторождения необходима разработка мероприятий по повышению качества БВР [12, 13, 14]. Как показывает практика, проблема управления качеством БВР по-прежнему является недостаточно изученной применительно к конкретным горнотехническим условиям [15]. Оценка качества подготовки горной породы к выемке является важной частью горного производства, которой, однако, на предприятиях нередко уделяется недостаточно внимания [16], не в последнюю очередь потому, что процесс оценки нередко невозможен, поскольку сразу после проведения взрывных работ выемочно-погрузочная техника уже разрабатывает массив взорванной породы, так как простой оборудования горно-технического комплекса невозможен для горнодобывающей компании [17].

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В производственных условиях на участке месторождения с частично мерзлыми породами была подтверждена установленная ранее зависимость качества взрывной подготовки пород от высоты обрабатываемого уступа.

2. В условиях деградирующей мерзлоты высоту вскрышных уступов, несмотря на рост затрат на БВР, следует уменьшать, что позволит повысить качество подготовки пород взрывом, производительность выемочно-транспортного оборудования и в итоге снизить себестоимость вскрышных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заровняев Б. Н. Совершенствование сплошных систем разработки в условиях криолитозоны // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 6 (148). С. 63–69. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-63-69.

2. Заровняев Б. Н., Киприянов Г. О., Сорокин В. С. Особенности взрывного разрушения вскрышных многолетнемерзлых горных пород // Записки Горного института. 2001. Т. № 1(148). С. 123–126.

3. Лещинский А. В., Шевкун Е. Б. Буровзрывные работы в сложных геокриологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 5. С. 341–343.

4. Атласов Р. А., Скрябин Р. М., Туги Э. Р., Николаева М. В., Иванов А. Г., Бердыев С. С. Пути совершенствования строительства скважин в многолетнемерзлых породах // Наука и образование. 2015. № 3. С. 54–58.

5. Жариков С. Н., Шеменев В. Г., Кутуев В. А. Об особенностях производства буровзрывных работ в условиях Севера // Проблемы недропользования. 2017. № 3. С. 30–36.

6. Ржевский В. В. Открытые горные работы. Часть I. Производственные процессы: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1985. 509 с.

7. Константинов И. А., Тальгамер Б. Л. Повышение эффективности взрывного дробления осадочных пород, охваченных островной мерзлотой. // Перспективы развития горно-металлургической отрасли. Материалы XXIII Всероссийской научно-практической конференции «Игошинские чтения». Иркутск, 2023. С. 37–42.

8. Константинов И. А., Тальгамер Б. Л. Нарушение структуры заряда ВВ в скважинах при разработке месторождений в условиях криолитозоны. // Взрывное дело. 2024. № 142/99. С. 20–35.

9. Константинов И. А., Тальгамер Б. Л., Старков А. Е. Оценка эффективности взрывных работ на осадочных месторождениях с островной мерзлотой и заболоченностью // Взрывное дело. 2022. № 137/94. С. 80–91.

10. Умаров Ф. Я., Махмудов Д. Р. Исследования методов управления дроблением горных пород взрывом скважинных зарядов взрывчатых веществ на глубоких карьерах // Горный вестник Узбекистана. 2017. № 2. С. 30–33.

11. Shishkin E. A., Smoliakov A. A. Assessing the explosion effect on rock mass pre-destruction // Minerals and Mining Engineering. 2022. № 1. Pp. 23–33. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-23-33.

12. Викторов С. Д., Закалинский В. М., Шиповский И. Е., Мингазов Р. Я. Новый аспект развития и применения взрывных работ в современных условиях разработки месторождений полезных ископаемых // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 6. С. 5–13. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-5-13.

13. Катанов И. Б., Сысоев А. А. Буровзрывные работы на карьерах. Кемерово: КузГТУ, 2019. 202 с.

14. Белин В. А., Кутузов Б. Н., Ганопольский М.И., Оверченко М.Н. Технология и безопасность взрывных работ / Под ред. проф. В. А. Белина. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2016. 424 с.

15. Симонов П. С. Особенности определения размера среднего куска и выхода негабарита при взрывных работах на карьерах // ГИАБ. 2017. № 4. С. 320–327.

16. Shehu S. A., Mohd Hashim M. H. Evaluation of blast fragmentation and its benefits: a review of the paradigm and ambiguity // International Journal of Mining and Mineral Engineering. 2020. No. 11(4). P. 338–358. DOI: 10.1504/IJMM.2020.111939.

17. Mohamed F., Riadh B., Abderazzak S., Radouane

N., Mohamed S., Ibsa T. Distribution analysis of rock fragments size based on the digital image processing and the kuz-ram model cas of jebel medjounes quarry // Aspects in

Mining & Mineral Science. 2019. Vol. 2. Iss. 4. P. 325–329. DOI: 10.31031/AMMS.2019.02.000545.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Константинов Илья Александрович, горный инженер, ООО «Компания Востсибуголь», (664007, Россия, г. Иркутск, ул. Советская, 55), e-mail: ilya-konst@rambler.ru

Тальгамер Борис Леонидович, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, Иркутский национальный исследовательский технический университет (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83), доктор технических наук, профессор, e-mail: talgamer@istu.edu

Старков Анатолий Евгеньевич, соискатель, Иркутский национальный исследовательский технический университет (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83), e-mail: anatoliy.starkov94@istu.edu

Заявленный вклад авторов:

Константинов Илья Александрович – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Тальгамер Борис Леонидович – научный менеджмент, концептуализация исследования.

Старков Анатолий Евгеньевич – обзор соответствующей литературы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

INCREASING THE EFFICIENCY OF STRIPPER OPERATIONS IN DEGRADING PERMALFROST CONDITIONS

Ilya A. Konstantinov ¹,
Boris L. Talgamer ², Anatoly E. Starkov ²

¹ LLC "Vostsibugol Company"

² IRNTU

*for correspondence: ilya-konst@rambler.ru



Article info

Received:

02 October 2024

Accepted for publication:

22 November 2024

Accepted:

02 December 2024

Published:

05 December 2024

Keywords: Degraded permafrost, overburden, excavator-dumping technological complex, excavator-vehicle-dumping technological complex, drilling and blasting operations, regulation of the degree of crushing of rocks by explosion.

Abstract.

The relevance of the work lies in the fact that in the conditions of degrading permafrost, the traditional approach to managing the quality of drilling and blasting operations (D&B), based on managing the D&B parameters, turned out to be ineffective due to spontaneous disruption of the structure of the explosive charge (EC) in drilling and blasting holes, and it was necessary to test a fundamentally new approach to managing the quality of D&B in these conditions.

The purpose of this work is to assess, in production conditions, the dependence of the quality of blasting preparation of overburden rocks in degrading permafrost conditions on the height of the bench being mined (i.e., the parameter of the main, excavation and loading process).

During the work, an experimental test was carried out under production conditions of the dependence of the quality of blasting preparation of overburden rocks in degrading permafrost conditions on the height of the bench being mined. Parameters were also identified that quantitatively characterize stripping operations in degrading permafrost conditions for different development options. As a result of the work, the previously established dependence of the quality of blast preparation of overburden rocks on the height of the bench being mined in conditions of degrading permafrost was confirmed, and the optimal technology for developing overburden rocks in these conditions was substantiated.

For citation: Konstantinov I.A., Talgamer B.L., Starkov A.E. Increasing the efficiency of stripper operations in degrading permalfrost conditions. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 6(166):133-139. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-133-139, EDN: XUVNNU

REFERENCES

- Zarovnyayev B.N. Sovershenstvovaniye sploshnykh sistem razrabotki v usloviyakh kriolitozony. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2021; 6(148):63–69. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-63-69.
- Zarovnyayev B.N., Kipriyanov G.O., Sorokin V.S. Osobennosti vzryvnogo razrusheniya vskryshnykh mnogoletnemerzlykh gornykh porod. *Zapiski Gornogo instituta*. 2001; 1(148):123–126.
- Leshchinskiy A.V., Shevkun Ye.B. Burovzryvnyye raboty v slozhnykh geokriologicheskikh usloviyakh. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009; 5:341–343.
- Atlasov R.A., Skryabin R.M., Tugi E.R., Nikolayeva M.V., Ivanov A.G., Berdyayev S.S. Puti sovershenstvovaniya stroitel'stva skvazhin v mnogoletnemerzlykh porodakh. *Nauka i obrazovaniye*. 2015; 3:54–58
- Zharikov S.N., Shemenov V.G., Kutuyev V.A. Ob osobennostyakh proizvodstva burovzryvnykh rabot v usloviyakh Severa. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2017; 3:30–36.
- Rzhevskiy V.V. Otkrytyye gomye raboty. Chast' I. Proizvodstvennyye protsessy: Uchebnik dlya vuzov. 4-ye izd., pererab. i dop. M.: Nedra; 1985. 509s.
- Konstantinov I.A., Talgamer B.L. Povysheniye effektivnosti vzryvnogo drobleniya osadochnykh porod, okhvachennykh ostrovnnoy merzlotoy. *Perspektivy razvitiya gorno-metallurgicheskoy otrasli. Materialy XXIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Igoshtinskiye chteniya"*. Irkutsk, 2023. Pp. 37–42.
- Konstantinov I.A., Talgamer B.L. Narusheniye struktury zaryada VV v skvazhinakh pri razrabotke mestorozhdeniy v usloviyakh kriolitozony. *Vzryvnoye delo*. 2024; 142/99:20–35.
- Konstantinov I.A., Talgamer B.L., Starkov A.Ye. Otsenka effektivnosti vzryvnykh rabot na osadochnykh mestorozhdeniyakh s ostrovnnoy merzlotoy i zabolochennost'yu. *Vzryvnoye delo*. 2022; 137/94:80–91.
- Umarov F.Ya., Makhmudov D.R. Issledovaniya metodov upravleniya drobleniyem gornykh porod vzryvom skvazhinnykh zaryadov vzryvchatykh veshchestv na amerikanskikh kar'yerakh // *Gornyy vestnik Uzbekistana*, 2017. №2. S. 30-33.
- Shishkin Ye.A., Smolyakov A.A. Otsenka vliyaniya vzryva na predrazrusheniye gornogo massiva. *Mineraly i gornoye delo*. 2022; 1:23–33. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-23-33.
- Viktorov S.D., Zakalinskiy V.M., Shipovskiy I.Ye., Mingazov R.Ya. Novyy aspekt razvitiya i primeneniya vzryvnykh rabot v sovremennykh usloviyakh razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2020; 6:5–13. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-5-13.
- Katanov I. B., Sysoyev A. A. Burovzryvnyye raboty na kar'yerakh. Kemerovo: KuzGTU; 2019.
- Belin V.A., Kutuzov B.N., Ganopol'skiy M.I., Overchenko M.N. Tekhnologiya i bezopasnost' vzryvnykh rabot / Pod red. prof. V.A. Belina. M.: Izd-vo «Gornoye delo» OOO «Kimmeriyskiy tsentr»; 2016.
- Simonov P. S. Osobennosti opredeleniya razmera srednego kуска i negabarita vykhoda pri vzryvnykh rabotakh na kar'yerakh. *G.I.A.B.* 2017; 4:320–327.
- Shekhu S.A., Mokhd Khashim M. Kh. Otsenka drobleniya vzryva i yego preimushchestv: obzor paradigmy i neodnoznachnosti. *Mezhdunarodnyy zhurnal gornogo dela i mineral'nogo mashinostroyeniya*. 2020; 11(4):338–358. DOI: 10.1504/IJMMME.2020.11.1939.
- Mokhamed F., Riad B., Abderazzak S., Raduan N., Mokhamed S., Ibsa T. Analiz raspredeleniya razmerov fragmentov gornykh porod na osnove tsifrovoy obrabotki izobrazheniy i modeli kuz-ram kar'yera Dzhebel'-Medzhunes. *Aspekty gornogo dela i mineralogii*. 2019; 2(4):325–329. DOI: 10.31031/AMMS.2019.02.000545.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Ilya A. Konstantinov, mining engineer, Vostsibugol Company LLC, (664007, Russia, Irkutsk, Sovetskaya St., 55), e-mail: ilya-konst@rambler.ru

Boris L. Talgamer, Head of the Department of Development of Mineral Deposits, Irkutsk National Research Technical University (664074, Russia, Irkutsk, Lermontova St., 83), Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: talgamer@istu.edu

Anatoly E. Starkov, applicant, Irkutsk National Research Technical University (664074, Russia, Irkutsk, Lermontov St., 83), e-mail: anatoliy.starkov94@istu.edu

Contribution of the authors:

Ilya A. Konstantinov – formulation of the research problem, review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, writing the text.

Boris L. Talgamer – scientific management, conceptualization of the study.

Anatoly E. Starkov – review of relevant literature.

All authors have read and approved the final manuscript.

