

# ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ОТБИТОГО СЛОЯ РУДЫ, СКЛОННОЙ К СМЕРЗАНИЮ, НА ПОТЕРИ ПРИ ТОРЦЕВОМ ВЫПУСКЕ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ОЧИСТНОГО ПРОСТРАНСТВА

В. П. Зубков<sup>1</sup>, Д. Н. Петров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия

**Аннотация:** Исследовано влияние различных углов наклона отбиваемого слоя при системе подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды на потери рудной массы от смерзания при подземной разработке рудных месторождений криолитозоны. Приведены основные положения методики физического моделирования торцевого выпуска руды при отрицательном температурном режиме, различной степени увлажнения и углах наклона отбиваемого слоя для оценки влияния на потери полезного ископаемого от смерзания. Выпуск руды производился в криокамере при температуре, аналогичной условиям подземной разработки рудного месторождения криолитозоны, на специально разработанном стенде до достижения предельного разубоживания в дозе 50%. Были проведены четыре серии экспериментов при углах наклона слоя 90°, 85°, 80° и 75° при различном увлажнении. Результаты экспериментов показали, что незначительное изменение угла наклона отбиваемого слоя руды (с 90° до 85°) и ее влажности (от 0 до 0,5%) практически не увеличивает потери. Существенный рост потерь вследствие смерзания руды при выпуске (до 12,5%) отмечен при угле наклона 80 град и ниже (до 75 град). Экспериментальными исследованиями установлено, что наилучшие показатели полноты извлечения при торцевом выпуске в условиях отрицательных температур очистного пространства достигаются при вертикальном угле наклона отбиваемого слоя руды.

**Ключевые слова:** подземная разработка, рудные месторождения, криолитозона, подэтажное обрушение, выпуск руды, отбитый слой руды, смерзание, потери.

**Для цитирования:** Зубков В. П., Петров Д. Н. Влияние угла наклона отбитого слоя руды, склонной к смерзанию, на потери при торцевом выпуске в условиях отрицательных температур очистного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 85–94. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_85.

## Effect exerted by tilt angle of broken layer of freezing ore on production losses in sublevel stoping under negative temperatures

V. P. Zubkov<sup>1</sup>, D. N. Petrov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

**Abstract:** The article presents studies into the influence exerted by tilt of a broken ore layer on the production losses due to ore freezing in sublevel stoping under negative temperatures in the permafrost zone. The effect of the broken ore layer tilt on the ore loss due to freezing was investigated in physical modeling of ore drawing on a special test bench, in a cryocell which reproduces negative temperature conditions at a deposit in Yakutia. The tests were carried out at the broken layer tilts of 90°, 85°, 80° and 75° and at different moisture contents. The test samples were prepared, treated, placed in the cell and drawn under negative temperatures. The experimental ore drawing from a single drawpoint lasted until the limit dilution of 50 % was reached in a sample dose. The loss was determined as the mass difference between the ore fill in the cell and the ore drawn from it. The experimental research has found out that the most complete extraction of ore in sublevel stoping under the temperature of minus 5° and at the moisture content of 1 % is achieved at the vertical ore-rock mass contact. The decrease in the ore-rock interface angle to 75 % results in the higher ore loss due to freezing. The obtained qualitative relations can be used to develop recommendations on enhancing sublevel stoping efficiency in the permafrost zone.

**Key words:** underground mining, ore deposit, permafrost zone, sublevel caving, ore drawing, broken ore layer, freezing, loss.

**For citation:** Zubkov V. P., Petrov D. N. Effect exerted by tilt angle of broken layer of freezing ore on production losses in sublevel stoping under negative temperatures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12-1):85–94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_85.

## Введение

При освоении рудных месторождений Якутии практически полное отсутствие развитой инфраструктуры в несколько раз повышает затраты на подземные горные работы. Одним из путей решения этой проблемы является применение систем разработки с минимальными затратами на доставку и управление горным давлением. Системы разработки подэтажного обрушения с выпуском руды благодаря своей высокой производительности, низким затратам на поддержание очистного пространства, возможности применения мобильного, мощного самоходного оборудования получили широкое распространение при подземной разработке руд во всем мире [1–7].

Вместе с тем указанный класс систем имеет существенный недостаток, выражающийся в довольно высоких показателях потерь и разубоживания.

Выбор оптимальных конструктивных параметров систем разработки подэтажного обрушения с выпу-

ском руды, изменение угла наклона отбиваемых слоев позволяет существенно повысить показатели извлечения. По данным некоторых исследователей [8–10], отклонение угла наклона отбиваемых слоев от вертикали на  $10\div 20^\circ$  в сторону обрушения существенно влияет на характер движения кусков выпускаемой руды и величину зоны выпуска, позволяя снизить потери.

В условиях подземной разработки месторождений, расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты, еще одним фактором, существенно осложняющим применение технологии подэтажного обрушения с выпуском руды, является возможность смерзания рудной массы в очистном пространстве в случае контакта с водой или теплым воздухом.

Однако какие-либо данные, позволяющие оценить, каким образом угол наклона отбиваемого слоя влияет на потери руды от смерзания в очистном пространстве при выпуске в условиях отрицательных температур,

в научно-технической литературе практически отсутствуют.

### Методы

Чтобы определить влияние изменения угла наклона отбиваемого слоя на потери рудной массы от смерзания при выпуске в условиях отрицательных температур очистного пространства, были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях с учётом горно-геологических условий подземной разработки Нежданинского

золоторудного месторождения в Республике Саха (Якутия).

В качестве натурального объекта, как и при ранее выполненных исследованиях [11], был принят вариант системы подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды, примененный на руднике Нежданинский при отработке рудных тел мощностью 15 м и более. Выбор данного объекта связан с тем, что при опытно-промышленных испытаниях указанной системы разработки на руднике Нежданинский был уста-

Таблица 1  
Масштабы подобия  
Scales of similarity

№ п/п	Характеристика	Формула расчета	Единица измерения	Значение
1	Геометрический масштаб подобия	$C_L = L_n / L_m$	—	50
2	Масштаб моделирования ускорений	$C_a = C_L / C_t^2$	—	1
3	Масштаб моделирования времени	$C_t = \sqrt{C_L} = 7_t$	—	7
4	Масштаб моделирования скорости	$C_v = C_L / C_t$	—	
5	Величина дозы выпуска	$Q_m = Q_n / C_L^3$	гр	50

Таблица 2  
Прочие характеристики модели  
Other characteristics of the model

№ п/п	Характеристика	Единица измерения	Показатель	
			в натуре	в модели
1	Температура рудничного воздуха	°С	-5,0	-5,0
2	Температура отбитой руды	°С	-5,0	-5,0
3	Температура обрушенных налегающих пород	°С	-5,0	-5,0
4	Температура воды для увлажнения	°С	+3,0 ÷ +5,0	+3,0 ÷ +5,0
5	Гранулометрический состав отбитой руды	мм	≤250	1 мм ÷ 5 мм
6	Гранулометрический состав обрушенных налегающих пород	мм	≤750	1 мм ÷ 15 мм
7	Степень увлажнения	%	—	0 ÷ 1
8	Предельное разубоживание в дозе выпуска	%	—	50

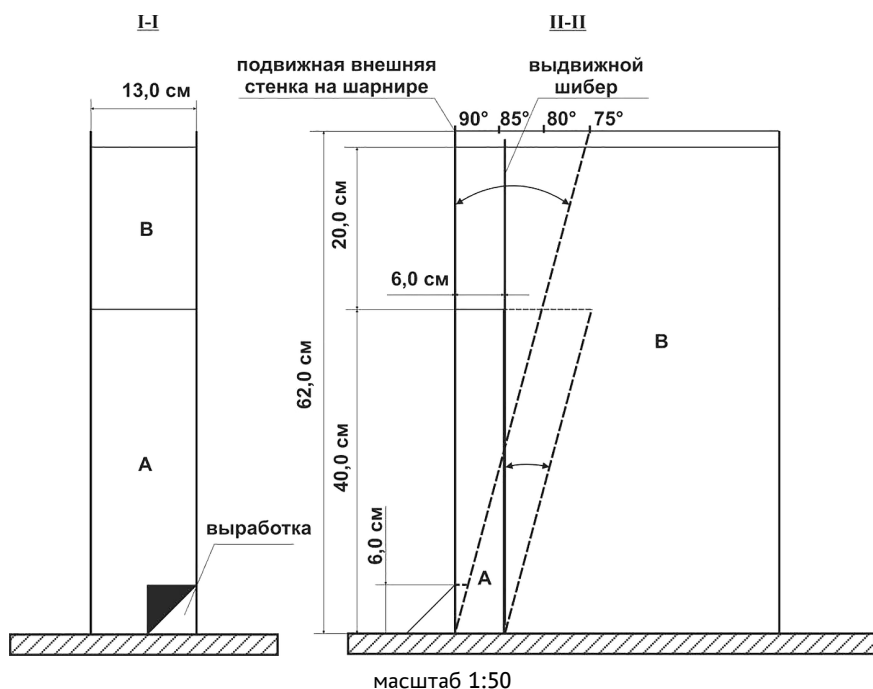


Рис. 1. Схема стенда для моделирования торцевого выпуска: А — выпускаемый слой мраморной крошки, В — объем стенда, занимаемый железистым кварцитом  
 Fig. 1. The scheme of the stand for modeling the end outlet: А — the released layer of marble chips, В — the volume of the stand occupied by ferruginous quartzite

новлен факт смерзания отбитой руды при выпуске [12, 13].

Методика физического моделирования торцевого выпуска руды, учитывающая влияние на показатели ее извлечения отрицательного температурного режима, различной степени увлажнения и изменения угла наклона выпускаемых слоев рудной массы, была разработана на основе известных положений теории подобия, данных научно-технической литературы [14–18] и результатов собственных предыдущих исследований [11].

При моделировании с использованием известных формул [15, 17, 18] были рассчитаны и приняты следующие масштабы подобия и прочие характеристики модели, приведенные в табл. 1 и 2.

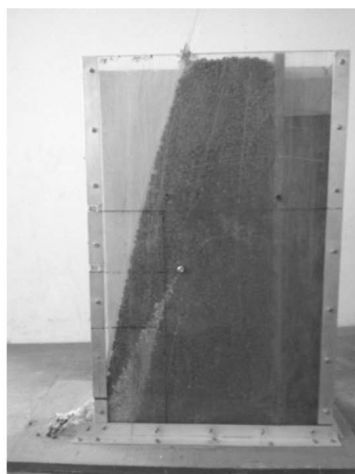
С учетом цели и задач проводимых исследований был сконструирован

стенд для физического моделирования торцевого выпуска (рис. 1). Стенд аналогичен применявшимся ранее при моделировании торцевого выпуска [11], отличием является возможность изменить угол наклона фронтальной торцевой стенки и извлекаемого шибера-заслонки, что позволяет сформировать выпускаемый слой руды под необходимым углом.

Фронтальная торцевая и одна из боковых стенок изготовлены из прозрачного пластика для визуального наблюдения за выпуском руды. Задняя торцевая и боковые стенки скреплены между собой неподвижно металлическими уголками и закреплены на днище стенда из листа ДСП. Фронтальная торцевая стенка, которая позволяет изменять угол наклона отбиваемого слоя, закреплена на шарнир и оснащена



а



б

Рис. 2. Проведение эксперимента по торцевому выпуску руды в криокамере: а — взвешивание дозы выпуска; б — завершение выпуска

Fig. 2. Conducting an experiment on the end release of ore in a cryochamber: a — weighing the release dose; b — completion of the release

фиксатором в верхней части, закрепляемый в нужном положении к верхним кромкам боковых стенок. Раздельное размещение руды и породы и необходимый угол наклона выпускаемого слоя в стенде обеспечивается соответствующим положением извлекаемого шибера-заслонки.

При проведении экспериментов применялись мраморная крошка и дробленый железистый кварцит требуемого грансостава. Материал, имитирующий руду, в количестве, необходимом для эксперимента, отбивался на геологических ситах с диаметром отверстий 5 мм, вмещающие породы — на ситах с диаметром отверстий 15 мм.

Поскольку на данном этапе исследований прочность смерзания материала не являлась измеряемой характеристикой, нарушение динамического подобия не учитывалось. Для обеспечения соблюдения геометрического подобия движения из материала были исключены частицы диаметром менее 1 мм [18]. Использование в лабораторных

исследованиях натурального материала позволило принять углы внутреннего трения и термодинамические характеристики материала модели и природы постоянными и равными.

Подготовка материала и экспериментальные выпуски руды выполнялись аналогично предыдущим исследованиям и подробно расписаны в работе [12]. Отличительной особенностью описываемых экспериментов по физическому моделированию торцевого выпуска являлось изменение наклона выпускаемых слоев руды относительно горизонтальной плоскости (рис. 2).

При проведении эксперимента выпуск прекращали при разубоживании более 50% в дозе выпуска. Были проведены четыре серии экспериментов при углах наклона слоя 90°, 85°, 80° и 75° при различном увлажнении. Случаев остановки выпуска от зависания руды при изменении угла наклона выпускаемого слоя зафиксировано не было.

## Результаты

Обработка результатов, полученных во время моделирования торцевого выпуска руды, позволила установить качественные зависимости изменения показателей извлечения рудной массы при изменении угла наклона отбиваемого слоя и увлажнения. По усредненным данным экспериментов были построены графики влияния изменения угла наклона отбиваемого слоя и увлажнения выпускаемой руды на ее потери от смерзания в очистном пространстве (рис. 3).

В результате проведенных исследований установлено, что изменение угла наклона отбиваемого слоя руды с  $90^\circ$  до  $85^\circ$  и ее влажности от 0 до 0,5% не оказывает существенного влияния на увеличение потерь, резкое повышение потерь руды вследствие ее смерзания при выпуске (до 12,5%) отмечено при угле наклона 80 град и ниже (до 75 град).

## Обсуждение результатов

Таким образом, результаты физического моделирования торцевого выпуска руды показали, что изменение угла наклона выпускаемого слоя отбитой руды в условиях отрицательных температур очистного пространства не только не оказывает положительного эффекта на показатели извлечения, но и приводит к значительному возрастанию потерь вследствие смерзания рудной массы.

Наиболее вероятной причиной возрастания потерь руды вследствие смерзания при изменении угла наклона отбиваемого слоя руды с  $90^\circ$  до  $75^\circ$  является снижение объема отбитой руды, находящейся в движении, что, в свою очередь, вызывает возникновение спаек льда между кусками. Причем прочность смерзания не является определяющим фактором, негативное влияние оказы-

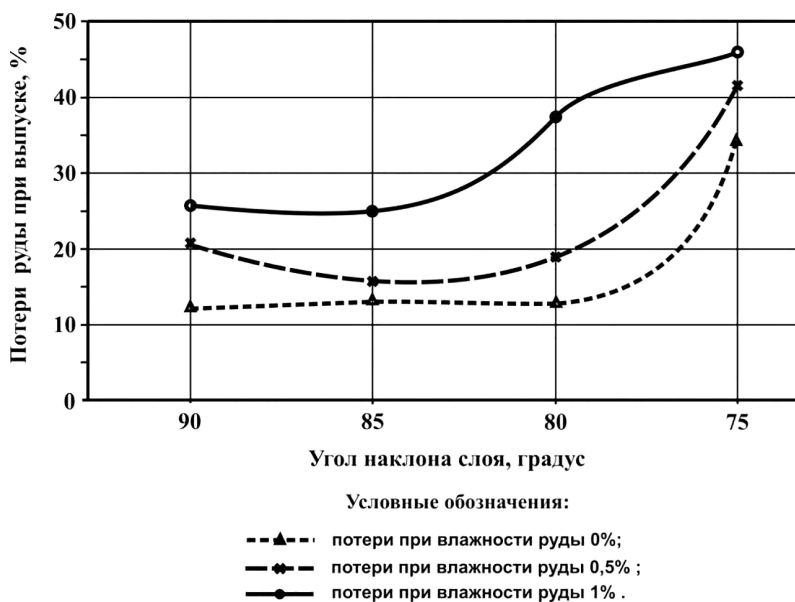


Рис. 3. Влияние изменения угла наклона отбиваемого слоя и увлажнения выпускаемой руды на ее потери от смерзания при торцевом выпуске

Fig. 3. The effect of the change in the angle of inclination of the beaten layer and the wetting of the ore produced on its losses from freezing during the end release

вает потеря сыпучих свойств отбитой руды, для чего достаточно увеличения влажности рудной массы на 1% при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Очевидно, что установленные зависимости справедливы только для конкретных термовлажностных условий эксперимента, и для получения точных данных о показателях извлечения необходимо проведение натурных испытаний по выпуску с учетом конкретных горно-геологических, горнотехнических и термомеханических условий подземной разработки. Однако полученные результаты позволяют качественно оценить влияние изменения угла наклона отбиваемых слоев на потери отбитой руды от смерзания в подземных условиях при отрицательных температурах рудничного воздуха и вмещающих горных пород.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shekhar G, Gustafson A, Schunnesson H*. Draw control strategy and resource efficiency in sublevel caving. State-of-the-art. Research report. Luleå University of Tecnology, Luleå 2017, 96 p.
2. *Nordqvist A, Wimmer X*. Holistic approach to study gravity flow at the Kiruna sublevel caving mine. In Seventh International Conference and Exhibition on Mass Mining (Mass Min 2016). Sydney: The Australian Institute of Mining and Metallurgy. p. 401–414.
3. *Савич И. Н.* Перспективы применения и обоснование проектных решений при этажном и подэтажном торцевом выпуске руды / И. Н. Савич, В. И. Мустафин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – Отд. вып.1. – С. 419–429.
4. *Zong-Xian Zhang*. Failure of hanging roofs in sublevel caving by shock collision and stress superposition. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2016, № 8, pp. 886–895.
5. *Yu K, Ren F, Chitombo G, Puscasu R, Kang L*. Optimum sublevel height and drift spacing in sublevel cave mining based on random medium theory. Mining, Metallurgy & Exploration: An Official International Peer-reviewed Journal of the Society. 2020, №37(2), pp. 681–690.
6. *Skawina B., Greberg J., Salama A., Gustafson A*. The effects of orepass loss on loading, hauling, and dumping operations and production rates in a sublevel caving mine. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. April 2018, Vol. 118, pp 409–418.
7. *Марысюк В. П., Дарбинян Т. П., Андреев А. А., Носков В. А.* Оценка эффективности изменения системы разработки при выемке сульфидных медно-никелевых

## Заключение

Таким образом, экспериментальными исследованиями установлено, что наилучшие показатели полноты и качества извлечения руды при торцевом выпуске достигаются при вертикальном контакте отбитой руды и вмещающей породы, уменьшение угла наклона контакта до 75% приводит к возрастанию потерь рудной массы в связи с тем, что увеличивается объем смерзшейся руды в очистном пространстве.

Результаты исследований послужат основой для рекомендаций по разработке оптимальных параметров технологии выпуска руды из блока в условиях отрицательных температур очистного пространства.

## Благодарности

Авторы статьи выражают признательность коллегам, принимавшим участие в проведении исследований.

руд на руднике «Октябрьский» // Горный журнал — 2019 — №11. — С. 19–23. DOI: 10.17580/gzh.2019.11.02

8. *Шиляев Н. С.* Физическое моделирование торцевого выпуска руды. / Н. С. Шиляев, Э. И. Богуславский. // Успехи современного естествознания. — 2007. — № 4. — С. 17–20.

9. *Романько Е. А.* Методика определения потерь и разубоживания руды при освоении запасов подземной геотехнологией системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section09.html>, свободный.

10. *Вольфсон П. М.* Подэтажное обрушение. — М.: Недра. — 1968. — С.183.

11. *Зенько Д. К.* Закономерности движения руды при выпуске под обрушенными породами. / Д. К. Зенько, В. И. Мустафин, В. А. Романов, Д. И. Сухов, И. А. Смирнов. // Материалы 10 международной научной школы «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». — Изд. ИПКОН РАН. — 2013. — № 1. — С. 237–240.

12. *Зубков В. П.* Влияние интенсивности торцевого выпуска руды из блока на потери запасов при подземной отработке месторождений криолитозоны системами с подэтажным обрушением / В. П. Зубков, Д. Н. Петров // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 8 — С. 5–13. DOI: 10.25018/0236–1493–2019–08–0-5–13.

13. Технологический регламент для разработки технического проекта Нежданинского ГОКа в Якутской АССР по технологии подземных горных работ / ВНИПИГорцветмет; рук. Бахмутов В. М. — Чита: ЧФ ВНИПИГорцветмет, 1986. — 76 с.

14. Разработка эффективной технологии отработки рудных тел Нежданинского месторождения: отчет о НИР / ГИПРОЦВЕТМЕТ; рук. *Бечаев М. Д.*; исполн. *Артемюнов С. В.* [и др.]. — Чита, 1989. — 120 с.

15. *Голик В. И.* Совершенствование параметров выпуска руд при подэтажном обрушении с торцовым выпуском / В. И. Голик, А. А. Белодедов, А. В. Логачев, Д. Н. Шурыгин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2018. — № 1. — С. 150–159.

16. *Шеховцов В. С.* Основы научных исследований в горном деле: учеб. пособие / *Шеховцов В. С.* Изд.2-е, перераб. и доп.; СибГИУ.—Новокузнецк, 2006.—136с.

17. *Башков В. И.* Расчет параметров и конструктивное оформление варианта системы разработки подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды / В. И. Башков, А. И. Копытов // Вестник Кузбасского государственного технического университета — 2015. — № 2. — С. 75–77.

18. *Именитов В. Р.* Моделирование обрушения и выпуска руды / В. Р. Именитов, И. А. Ковалев, В. С. Уралов. М. : МГИ, 1961. — 151 с.

19. *Савич И. Н.* Обоснование параметров системы разработки с подэтажным обрушением при торцевом выпуске руды / И. Н. Савич, Д. К. Зенько // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2004 — № 4. — С. 219–221. **ТАБ**

## REFERENCE

1. Shekhar G, Gustafson A, Schunnesson H. Draw control strategy and resource efficiency in sublevel caving. State-of-the-art. Research report. Luleå University of Tecnology, Luleå 2017, 96 p.



2. Nordqvist A, Wimmer X. Holistic approach to study gravity flow at the Kiruna sublevel caving mine. In Seventh International Conference and Exhibition on Mass Mining (Mass Min 2016). Sydney: *The Australian Institute of Mining and Metallurgy*. pp. 401–414.
3. Savich I. N., Mustafin V. I. Prospects of application and substantiation of design solutions for level and sublevel discharge. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. Issue 1. pp. 419 – 429. [In Russ].
4. Zong-Xian Zhang. Failure of hanging roofs in sublevel caving by shock collision and stress superposition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2016, № 8, pp. 886 – 895.
5. Yu K, Ren F, Chitombo G, Puscasu R, Kang L. Optimum sublevel height and drift spacing in sublevel cave mining based on random medium theory. *Mining, Metallurgy & Exploration: An Official International Peer-reviewed Journal of the Society*. 2020, №37(2), pp. 681 – 690.
6. Skawina B., Greberg J., Salama A., Gustafson A. The effects of orepass loss on loading, hauling, and dumping operations and production rates in a sublevel caving mine. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. April 2018, Vol. 118, pp 409 – 418.
7. Marysyuk V. P., Darbinyan T. P., Andreev A. A., Noskov V. A. Efficiency of modification of the copper–nickel sulfide ore mining system in the Oktyabrsky mine. *«Gornyi zhurnal»*, 2019, no. 11, pp. 19–23 DOI: 10.17580/gzh.2019.11.02
8. Shilyayev N. S., Boguslavsky E. I. Physical simulation of end ore drawing, *Uspekhi-sovremennogo-estestvoznaniya*. 2007, no. 4, pp. 17 – 20 [In Russ]
9. Romanko E. A. *Metodika opredeleniya poter' i razubozhivaniya rudy pri osvoenii zapasov podzemnoj geotekhnologii sistemami razrabotki s obrusheniem rudy i vmeshchayushchih porod* [Methodology for determining the loss and dilution of ore during the development of reserves by underground geotechnology by systems of mining with the caving of ore and enclosing rocks]. Youth and Science: Collection of materials of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, dedicated to 155 anniversary of the birth of K. E. Tsiolkovsky [Electronic resource]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012. Access mode: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section09.html>, free. [In Russ].
10. Volfson P. M. *Podetazhnoe obrushenie* [Sublevel caving], Moscow, Nedra, 1968, 183 p. [In Russ].
11. Zenko D. K., Mustafin V. I., Romanov V. A., Suhov D. I., Smirnov I. A. *Zakonomernosti dvizheniya rudy pri vypuske pod obrushennymi porodami* [Regularities of ore movement during draw under broken rocks]. *Materialy 10 mezhdunarodnoj nauchnoj shkoly Problem osvoeniya nedr v XXI veke glazami molodyh*. Moscow, Izdatelstvo-IPKON RAN, 2013, no. 1 pp. 237 – 240 [In Russ]
12. Zubkov V. P., Petrov D. N. Influence of intensity of ore drawing on losses in sublevel caving in permafrost zone. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019. no. 4. pp. 5 – 13 [In Russ].
13. Bakhmutov V. M. *Tekhnologicheskij reglament dlya razrabotki tekhnicheskogo proekta Nezhdaninskogo GOKa v YAkutskoj ASSR po tekhnologii podzemnyh gornyh rabot* [Technological regulations for the development of a technical project for Nezhdaninskiy GOK in the Yakut ASSR on the technology of underground mining] (Chita: CHF VNIPIGortsvetmet, 1986) [In Russ].
14. Artemonov S. V. [and others] *Razrabotka effektivnoj tekhnologii otrabotki rudnyh tel Nezhdaninskogo mestorozhdeniya: otchet o NIR* [Development of an effective technology for mining ore bodies at the Nezhdaninskoe deposit: Research report] (GIPROTSVETMET; Chita, 1989) [In Russ].

15. Golik V. I., Belodedov A. A., Logachev A. V., Shurygin D. N. Improvement of parameters of production of ores at the sublevel caving with face ore drawing. *News of the Tula State University. Sciences of Earth*. 2018. no. 1. pp. 150–159. [In Russ].

16. Shekhovtsov V. S. *Osnovy nauchnyh issledovaniy v gornom dele* [Fundamentals of scientific research in mining]: textbook. SibSIU. Novokuznetsk, 2006. 136 p. [In Russ].

17. Bashkov V. I., Kopitov A. I. Calculation of parameters and constructive design options of developing sublevel caving with mechanical release of ore. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2015. no. 2. pp. 75–77 [In Russ].

18. Imenitov V. R., Kovalev I. A., Uralov V. S. *Modelirovanie obrusheniya i vypuska rudy* [Simulation of the caving and ore drawing]. Moscow, MGI, 1961. [In Russ].

19. Savich I. N., Zenko D. K. Substantiation of the parameters of the development system with a sub-storey collapse at the end release of ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2004, no. 4, pp. 219–221. [In Russ].

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Зубков Владимир Петрович*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, зам. директора по научной работе, ст. науч. сотрудник, zubkov@igds.ysn.ru;

*Петров Дмитрий Николаевич*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, зав. лабораторией, petrovdn74@mail.ru;

<sup>1</sup> Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Zubkov V. P.*<sup>1</sup>, Deputy Director for Science, Senior Researcher, Cand. Sci. (Eng.), zubkov@igds.ysn.ru;

*Petrov D. N.*<sup>1</sup>, Head of the Laboratory, Cand. Sci. (Eng.), petrovdn74@mail.ru;

<sup>1</sup> Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 08.11.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 08.11.2021; accepted for printing 10.11.2021.

