

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-5-5-9

УДК 622'1:622.142.2[551.34]

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ ОТБИТОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА ЕЕ СМЕРЗАНИЕ ПРИ ВЫПУСКЕ

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE MOISTURE DEGREE OF THE BROKEN ROCK MASS ON ITS CONGELATION AT DRAWING

Необутов Геннадий Павлович,

кандидат техн. наук, старший научный сотрудник

Neobutov Gennadiy P., C. Sc. (Engineering), Senior Researcher

Зубков Владимир Петрович,

кандидат техн. наук, заместитель директора по научной работе

Zubkov Vladimir P., C. Sc. (Engineering), Deputy Director of Science

Петров Дмитрий Николаевич,

кандидат техн. наук, научный сотрудник, e-mail: petrovdn74@mail.ru

Petrov Dmitriy N., C. Sc. (Engineering), researcher

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук (ИГДС СО РАН). Адрес: 677018, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, проспект Ленина, 43.

N. V. Chersky Institute of Mining of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Yakutsk, Russia). Address: 43 Lenin avenue, Yakutsk, 677018, Russian Federation.

Аннотация. Применение систем разработки с обрушением и выпуском руды имеет ряд преимуществ перед другими системами, особенно в труднодоступных районах Республики Саха (Якутия), для которых характерны большие затраты на транспорт материалов. Особенностью разработки месторождений в этих условиях является наличие криолитозоны, что обуславливает отрицательный температурный режим сети горных выработок.

Одним из основных факторов, осложняющих выпуск руды в этих условиях, является возможность смерзания руды в очистном пространстве в случае контакта с водой или теплым воздухом. В настоящее время эффективным способом предотвращения смерзаемости обрушенной руды в блоке является регулирование температуры воздуха в горных выработках и повышение интенсивности выпуска. Для разработки мероприятий по предотвращению смерзания руды в очистном пространстве необходимо определить критические значения влажности и температуры при различных конструктивных параметрах применяемой системы разработки.

Приведены методика и результаты физического моделирования процесса донного выпуска горной массы из модельного блока при геометрическом подобии элементов модели и натуре на специальном стенде, имитирующем добычный блок крутопадающей жилы средней мощности и представляющем собой сварную металлическую конструкцию с прозрачными стенками. Установлено значительное влияние влажности на потери руды вследствие ее смерзания – при увлажнении руды от 0,3 до 3% от его объема и промораживании при температурах -3, -4, -5 и -7°C потери составляют от 1,5 – 3 до 50 – 55%. При этом, снижение температуры в указанном интервале не вызывает резких изменений при одинаковом увлажнении.

Полученные результаты позволяют представить качественную характеристику влияния термо-влажностных условий подземной разработки месторождений криолитозоны на показатели извлечения руды при выпуске, что является основой для разработки рекомендаций по повышению эффективности их освоения.

Abstract. The use of development systems with caving and drawing of ore has a number of advantages over other systems, especially in remote areas of the Republic of Sakha (Yakutia), which are characterized by high materials transportation costs. Development of deposits in these conditions is characterized by the presence of cryolite zone, which causes a negative temperature regime of the mine workings network.

One of the main factors complicating drawing of ore under these conditions is the possibility of ore freezing in the mining area in case of contact with water or warm air. At present, an effective way to prevent broken ore freezing in the block is to control the air temperature in the mine workings and increase the discharge intensity. To develop measures preventing freezing of ore in the mine working, it is necessary to determine the critical values of moisture and temperature for various design parameters of the mining method used.

The method and results of physical modeling of the process of bottom drawing of the rock mass from the block model with geometric similarity of the model elements and the nature on a special stand, simulating mining unit of steeply dipping veins with an average thickness. The stand presents a welded metal structure with transparent walls. The significant influence of the moisture on ore losses due to its freezing has been established. When the ore moisture is from 0.3 to 3% of its volume and it is frozen at temperatures of -3, -4, -5 and -7 °C, its losses amount to 1.5 - 3 and to 50 - 55%. In this case, a decrease in temperature in the indicated range does not cause abrupt changes with the same moisture.

The obtained results make it possible to present a qualitative characteristic of the influence of the thermal and moisture conditions of underground mining of permafrost deposits on the ore recovery indicators at its drawing, which is the basis for developing recommendations for increasing the efficiency of their development.

Ключевые слова: Криолитозона; подземная разработка; смерзаемость пород; выпуск руды; физическое моделирование; эксперимент; потери руды.

Keyword: Permafrost, underground mine, rock freezing, ore drawing, physical modeling; experiment, ore losses.

Системы с массовым обрушением и выпуском руды получили широкое распространение во всем мире, что главным образом, связано с низкими затратами на подготовку и поддержание очистного пространства при высокой производительности горных работ [1 - 5]. Применение различных вариантов данного класса систем в труднодоступных районах Республики Саха (Якутия), характеризующихся отсутствием постоянных транспортных коммуникаций, неразвитой инфраструктурой и как следствие, большими затратами на крепежные и закладочные материалы, позволило бы эксплуатировать месторождения, разработка которых другими системами нерентабельна [6, 7, 8]. Однако при использовании систем с обрушением следует учитывать климатические условия, прежде всего наличие многолетней мерзлоты и экстремально низкие температуры воздуха в зимний период.

Почти все рудные месторождения Якутии расположены в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты, температура пород которых вблизи поверхности составляет от -4 – -5 до -10 – -12°C. Наличие криолитозоны обуславливает постоянный отрицательный температурный режим подземных горных выработок и оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на различные процессы горного производства, его безопасность и эффективность. Одним из основных факторов, осложняющих работу рудников в этих условиях, является смерзание руды в очистном пространстве, в бункерах и транспортных сосудах в случае контакта с водой или теплым воздухом.

Проблемы смерзаемости полезного ископаемого на рудных месторождениях Севера возникают, главным образом, при переходе горных работ на подмерзлотные горизонты [9, 10, 11]. В основном, прочность смерзания горных пород зависит от влажности и величины отрицательной темпера-

туры рудничного воздуха и горных пород, их химического и гранулометрического состава. Смерзание полезного ископаемого возможно на трех стадиях ведения горных работ:

а) при нахождении отбитой руды в очистном пространстве;

б) при транспортировании полезного ископаемого по выработкам верхних горизонтов с отрицательной температурой воздуха;

в) при промежуточном складировании ископаемого на поверхности и перевозке на обогатительные фабрики.

Если в двух последних случаях известны меры предотвращения смерзания путем механической перевалки и обработки различными реагентами [12], то при выпуске этот путь практически неприемлем. В настоящее время эффективным способом предотвращения смерзаемости обрушенной руды в блоке является регулирование температуры воздуха в горных выработках и повышение интенсивности выпуска. Для разработки мероприятий по регулированию температурного режима шахты необходимо определить критические значения влажности и температуры при различных конструктивных параметрах применяемой системы разработки.

Исследование выпуска руды в натурных условиях связано с большими трудностями как производственного, так и организационного характера. В связи с этим моделирование процесса выпуска получило широкое распространение. Для выявления закономерностей движения и истечения руды при выпуске под обрушенными породами в основном пользуются методом моделирования в поле силы тяжести [13, 14, 15].

В лаборатории ПРОМСР ИГДС СО РАН на примере подземной разработки золоторудного месторождения Нежданинское (незначительные водопритоки, отрицательная температура очистного пространства) были проведены эксперимен-

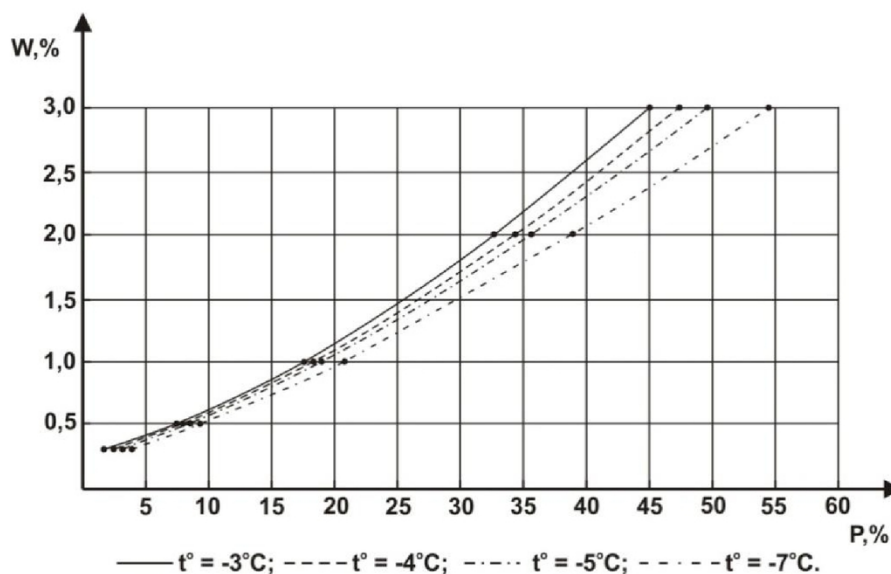


Рисунок 1 - Зависимость потерь руды P при выпуске вследствие ее смерзания при отрицательных температурах t от степени увлажнения рудной массы в блоке W

Figure 1 - Dependence of losses of ore P at the drawing due to its freezing at negative temperatures t on the degree of moistening of the ore mass in the block W

тальные исследования в лабораторных условиях влияния увлажнения обрушенной руды в очистном блоке на потери при ее выпуске вследствие смерзания при отрицательных температурах рудничного воздуха.

Точность воспроизведения процесса на модели и пересчета результатов на натуру зависит от выбранных критериев подобия. Физическое моделирование процесса донного выпуска горной массы из модельного блока во всех экспериментах проводилось с соблюдением геометрического подобия элементов модели и натуре (1:50) на специальном стенде, имитирующем добычный блок крутопадающей жилы средней мощности и представляющем собой сборную металлическую конструкцию с прозрачными стенками.

Для проведения исследований применялись следующие оборудование и материалы: специальный стенд, имитирующий добычный блок крутопадающей рудной залежи средней мощности; холодильная камера; щебенистый породный материал с Неждановского месторождения; весы технические; поддон; сосуд мерный для насыщения горной массы водой; фотоаппарат; инструменты и приборы для измерения температуры и линейных размеров.

Возможность непрерывного истечения частиц кусковатого материала через отверстия оценивается показателем проходимости, который равен отношению диаметра выпускного отверстия к максимальному размеру частицы выпускаемого материала [13, 14]. Образование специфических фигур вторичного разрыхления зависит от правильного выбора соотношений между крупностью частиц, размерами и формой выпускных отвер-

стий, а от рациональной величины этого соотношения – непрерывность процесса истечения материала. Наиболее распространенная форма отверстий – круглая. Расчетную площадь отверстия истечения определяли по формуле, предложенной Р. Дюрандом и Е. Кондолиосом [13].

Для определения исходного значения потерь руды был проведен выпуск руды из стенда при положительной комнатной температуре $+21^\circ\text{C}$.

Экспериментальные исследования закономерностей выпуска обрушенной руды из блока в условиях отрицательных температур и влияния влажности на потери руды вследствие ее смерзания проводились при отрицательных температурах, близких к реальным условиям разработки месторождений криолитозоны: -3°C ; -4°C ; -5°C ; -7°C в холодильной камере. При каждой из указанных температур проводилась серия опытов с различной степенью увлажнения руды. Перед промораживанием при каждой из указанных температур рудная масса в модельном блоке увлажнялась до следующих значений объемной влажности – 0,3; 0,5; 1,0; 2,0; и 3,0%. При каждом из указанных температурном режиме имитационный блок с рудой выдерживался в холодильной камере не менее 6 ч.

Затем производился выпуск руды. Величина потерь P определялась взвешиванием стенда с остатками смерзшейся руды.

Во время проведения эксперимента измерялись: температура воздуха в комнате и холодильной камере; высота руды над выпускными отверстиями; вес руды в стенде, вес выпущенной руды; время и производительность выпуска. Конечный определяемый параметр – вес смерзшейся руды

(потери руды, склонной к смерзанию) является разницей между весом руды в блоке и весом выпущенной руды. Результаты измерений сводились в журнал.

По полученным данным были построены графики изменения значений потерь руды P при выпуске вследствие ее смерзания, в зависимости от степени увлажнения рудной массы в блоке W , а также от температурных режимов промораживания руды в модельном блоке (Рисунок 1).

Результаты экспериментов показали, что при увеличении влажности руды от 0,3 до 3% от ее объема при температурах от -3 , до -7°C , потери возрастают с 1,5 – 3 до 50 – 55%. При этом снижение температуры в указанном интервале не вызывает резких изменений при одинаковом увлажнении. Следовательно, при выпуске обрушенной руды из блока в условиях отрицательных температур определяющим фактором, оказывающим влияние на потери руды вследствие ее смерзания, является изменение влажности рудной массы даже в незначительных пределах.

Хотя полученные результаты не отражают точную количественную картину потерь руды вследствие ее смерзания в пределах очистного блока, но позволяют представить качественную

характеристику влияния термовлажностных условий подземной разработки месторождений криолитозоны на показатели извлечения при выпуске руды, склонной к смерзанию.

Научное и практическое значение результатов исследований заключается в выявлении качественной характеристики влияния влажности на показатели извлечения при выпуске руды, склонной к смерзанию, что является основой для разработки рекомендаций по повышению эффективности освоения рудных месторождений криолитозоны подземным способом.

Для решения проблемы смерзаемости полезных ископаемых при их извлечении из недр, складировании и перевозке, необходимы комплексные усилия как научных работников, так и проектировщиков, которые должны акцентировать усилия не только на разработке новых способов и средств борьбы со смерзаемостью талых переувлажненных руд, но и рассмотреть возможность принципиальных изменений в технологии ведения горных работ на подмерзлотных горизонтах, позволяющих свести к минимуму отрицательное влияние смерзаемости руд на эффективность горного производства

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Viewpoint Mining Magazine - Automation keeping underground workers safe at LKAB Malmberget Mine. URL: <http://viewpointmining.com/article/automation-keeping-underground-workers-safe-at-lkab-malmberget-mine#> (дата обращения 04.04.2017)
2. Rana Gruber. Sublevel caving. URL: <http://www.ranagruber.no/index.php?id=40> (дата обращения 03.04.2017).
3. Coil D, Lester E, Higman B. Gold mining methods. URL: <http://www.groundtruthtrekking.org/Issues/MetalsMining/GoldMiningMethods.html> (дата обращения 16.12.2015).
4. Эвертовский В.М. Системы подземной отработки с массовым обрушением руды. Золотодобыча, №193, 2014 URL: <http://zolotodb.ru/news/11164> (дата обращения: 17.03.2017).
5. New Afton project. URL: <http://www.newgold.com/careers/new-afton-project/careers/default.aspx> (дата обращения 29.03.2017).
6. Петров А. Н. Опыт подземной разработки золотосурьмяного месторождения Сентачан / А. Н. Петров, Л. А. Никифоров // Отдельный выпуск 10. - Горн. информ. - аналит. бюллетень. – 2011. – С. 185-191.
7. Тапсиев А. П., Усков В. А. Развитие систем разработки для условий таликовой зоны Нежданинского месторождения. Интерэкспо Гео-Сибирь Выпуск № 4. Том 2. 2014. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-sistem-razrabotki-dlya-usloviy-talikovoy-zony-nezhdaninskogo-mestorozhdeniya#ixzz43bh7luxr> (дата обращения 30.03.2017).
8. Глаголев П. М. Савич И. Н. Технология отработки подкарьерных запасов трубки «Удачная».- М.: Горн. информ.-аналит. бюллетень. – 2007. – №12. – С. 281 – 285.
9. Проблемы смерзания и липкости минерального сырья в процессах его добычи, транспортировки и переработки: материалы постоянно действующего Российского заочного семинара. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1994. – Вып. 1. – 108 с.
10. Необутов Г. П. Проблемы смерзаемости полезных ископаемых и методы профилактики, борьбы или учета ее влияния в процессах добычи. /Г. П. Необутов // Труды Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти чл.-кор. РАН Новопашина М. Д. (г. Якутск, 17 – 19 сентября 2013 г.). – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2013. – С. 144 – 148.
11. Зубков, В. П. Исследование и разработка технологии добычи руды с применением гибких синтетических перекрытий в условиях неустойчивых пород крутопадающих месторождений [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.02: / Зубков Владимир Петрович. – Якутск: Ин-т горн. дела Севера, 1990. - 200 с.

12. Зырянцев О. А. Исследование теплофизических свойств сыпучих материалов при размораживании / О. А. Зырянцев, В. А. Гольцев // Творческое наследие В. Е. Грум-Гржимайло: история, современное состояние, будущее: сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения Владимира Ефимовича Грум-Гржимайло (Екатеринбург, 27–29 марта 2014 г.). — Екатеринбург : УрФУ, 2014. — Ч. 2. — С. 42-47.

13. Балхавдаров Х. А. Движение и истечение руды при выпуске / Х. А. Балхавдаров. — Л.: Наука, Ленингр. отд., 1975 — 108 с.

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

15. Куликов В. В. Выпуск руды / В. В. Куликов // М.: Недра, 1980. — 303 с.

REFERENCES

1. Viewpoint Mining Magazine - *Automation keeping underground workers safe at LKAB Malmberget Mine*. URL: <http://viewpointmining.com/article/automation-keeping-underground-workers-safe-at-lkab-malmberget-mine#> (date of the application 04.04.2017)

2. Rana Gruber. *Sublevel caving*. URL: <http://www.ranagruber.no/index.php?id=40> (date of the application 03.04.2017).

3. Coil D, Lester E, Higman B. *Gold mining methods*. URL: <http://www.groundtruthtrekking.org/Issues/MetalsMining/GoldMiningMethods.html> (date of the application 16.12.2015).

4. EHvertovskij V.M. *Sistemy podzemnoj otrabotki s massovym obrusheniem rudy. (Underground mining method with bulk caving ore)* Zolotodobycha, №193, 2014 URL: <http://zolotodb.ru/news/11164> (date of the application: 17.03.2017).

5. *New Afton project*. URL: <http://www.newgold.com/careers/new-afton-project/careers/default.aspx> (date of the application 29.03. 2017).

6. Petrov A. N. Opyt podzemnoj razrabotki zolotosur'myanogo mestorozhdeniya Sentachan / A. N. Petrov, L. A. Nikiforov // Otdel'nyy vypusk 10. - Gorn. inform. - analit. byulletenya. — 2011. — pp. 185-191.

7. Tapsiev A. P., Uskov V. A. Razvitie sistem razrabotki dlya usloviy talikovoy zony Nezhdaninskogo mestorozhdeniya. Interkespo Geo-Sibir' Vypusk № 4. Tom 2. 2014. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-sistem-razrabotki-dlya-usloviy-talikovoy-zony-nezhdaninskogo-mestorozhdeniya#ixzz43bh7luxr> (data obrashcheniya 30.03.2017).

8. Glagolev P. M. Savich I. N. Tekhnologiya otrabotki podkar'ernykh zapasov trubki «Udachnaya».- M.: Gorn. inform.-analit. byulleten'. — 2007. — №12. — pp. 281 — 285.

9. Problemy smerzaniya i lipkosti mineral'nogo syr'ya v protsessakh ego dobychi, transportirovki i pererabotki: materialy postoyanno deystvuyushchego Rossiyskogo zaochnogo seminara. — Yakutsk: YaNTs SO RAN, 1994. — Vyp. 1. — 108 s.

10. Neobutov G. P. Problemy smerzaemosti poleznykh iskopaemykh i metody profilaktiki, bor'by ili ucheta ee vliyaniya v protsessakh dobychi. / G. P. Neobutov // Trudy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati chl.-kor. RAN Novopashina M. D. (g. Yakutsk, 17 — 19 sentyabrya 2013 g.). — Yakutsk: Izd-vo Instituta merzlotovedeniya im. P. I. Mel'nikova SO RAN, 2013. — pp. 144 — 148.

11. Zubkov, V. P. Issledovanie i razrabotka tekhnologii dobychi rudy s primeneniem gibkikh sinteticheskikh perekrytiy v usloviyakh neustoychivykh porod krutopadayushchikh mestorozhdeniy [Tekst]: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.15.02: / Zubkov Vladimir Petrovich. — Yakutsk: In-t gorn. dela Severa, 1990. — p.200.

12. Zyryantsev O. A. Issledovanie teplofizicheskikh svoystv sypanykh materialov pri razmorazhivanii / O. A. Zyryantsev, V. A. Gol'tsev // Tvorcheskoe nasledie V. E. Grum-Grzhimaylo: istoriya, sovremennoe sostoyanie, budushchee: sbornik dokladov III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya Vladimira Efimovicha Grum-Grzhimaylo (Ekaterinburg, 27–29 marta 2014 g.). — Ekaterinburg : UrFU, 2014. — Ch. 2. — pp. 42-47.

13. Balkhavdarov Kh. A. Dvizhenie i istechenie rudy pri vypuske / Kh. A. Balkhavdarov. — L.: Nauka, Leningr. otd., 1975 — p.108.

14. Imenitov V. R. Modelirovanie obrusheniya i vypuska rudy / V. R. Imenitov, I. A. Kovalev, V. S. Uralov // M.: MGI, 1961. — p.151.

15. Kulikov V. V. Vypusk rudy / V. V. Kulikov // M.: Nedra, 1980. — p.303.

Поступило в редакцию 14.09.2017
Received 14.09.2017