УДК 551.34:622.34:622.413.6

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ОТБИТОЙ РУДЫ НА ПОТЕРИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ЕЕ НАХОЖДЕНИЯ В БЛОКЕ ДО ВЫПУСКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

Зубков В.П., Петров Д.Н., Необутов Г.П.

ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: zubkov@igds.ysn.ru

Подземная разработка месторождений полезных ископаемых в условиях Якутии требует высоких затрат, что значительно снижает рентабельность освоения месторождений полезных ископаемых. Одним из путей решения является применение технологий разработки, не требующих высоких затрат на доставку отбитой руды и управление горным давлением, к которым относятся системы с обрушением руды и вмещающих пород. Однако их применение в условиях Якутии требует учета различных факторов, усложняющих подземную разработку месторождений, таких как смерзание отбитой руды в очистном пространстве. Для оценки влияния термовлажностных условий на показатели полноты извлечения запасов были проведены исследования зависимости объема потерь отбитой руды, склонной к смерзанию, от продолжительности нахождения в неподвижном состоянии в очистном пространстве при различной степени ее увлажнения. Экспериментальные исследования проводились методом физического моделирования в криокамере на лабораторном стенде. Выпуск руды производился в равномерно-последовательном режиме при температуре очистного пространства минус 5 °С. Конечный определяемый параметр – потери руды, склонной к смерзанию, определялся как разница между весом руды в блоке и весом выпущенной руды. Установлено, что потери отбитой руды в блоке вследствие ее смерзания значительно возрастают при изменении весовой влажности отбитой горной массы от 0,5 до 1,0 % и времени нахождения ее в неподвижном состоянии более 1 суток. При всех значениях продолжительности смерзания рудной смеси ее потери начинают возрастать в интервале влажностей 0,2–0,6 %, который можно считать оптимальным условием для благоприятного выпуска руды. Полученные качественные зависимости влияния изменения весовой влажности на потери рудной массы будут использованы при разработке рекомендаций по технологии выпуска руды, склонной к смерзанию в условиях отрицательного теплового режима подземных рудников криолитозоны.

Ключевые слова: подземная разработка, рудные месторождения, криолитозона, обрушение руды и пород, выпуск, смерзание, потери

THE INFLUENCE OF MOIST FREED ORE ON LOSSES COMPARED TO ITS TIME IN THE BLOCK BEFORE DISCHARGE DURING MINING DEPOSITS OF CRYOLITHOZONE

Zubkov V.P., Petrov D.N., Neobutov G.P.

Cherskiy Institute of Mining of the North of the Russian Academy of Science Siberian Branch Federal State Budget Research Institution, Yakutsk, e-mail: zubkov@igds.ysn.ru

The underground mining of mineral deposits in Yakutia requires high costs, which significantly reduces the profitability of the mineral deposits exploitation. One of the solutions is the use of extraction technologies that do not require high costs for the delivery of the muck and roof control, which include mining methods with caving. However, their application in the conditions of Yakutia requires consideration of various factors conflicting with underground mining, such as the freezing of muck in the open-face. We conducted a research to assess the influence of thermal and moisture conditions on the indicators of the complete reserves extraction and studied the dependence of the volume of muck loss, which is prone to freezing, the duration of immobility in the open-face at different degrees of its moisture. We held experimental analyses using physical modeling method in a cryogenic freezer on a laboratory bench. The discharge produced in a uniformly-sequential mode at a open-face temperature minus 5 °C. The final determinable parameter – loss of ore prone to freezing, was defined as the difference between the weight of ore in the block and the weight of the discharged ore. We revealed that losses of freed ore in the block due to its freezing significantly increase in case of the weight moisture changes of the muck from 0.5 to 1.0 % and its time in the stationary for more than 1 day. For all values of the duration of the freezing of the ore mixture, its losses begin to increase in the moisture range of 0.2-0.6 %, which can be considered the optimal condition for favorable ore discharge. The obtained qualitative dependences of the influence of weight moisture changes on the losses of freed ore will be used in developing recommendations on the technology of discharge, which is prone to freezing in conditions of negative thermal conditions of underground cryolithozone mines.

Keywords: underground mining, ore deposits, cryolithozone, caving, discharge, freezing, losses

Затраты на подземную разработку рудных месторождений Якутии в несколько раз превышают аналогичные в более благоприятных условиях, например в центральных регионах России. При этом зачастую применяемые варианты технологий подземной разработки не позволяют обеспечить высокие показатели извлечения. Так, например, при разработке крутопадающих рудных тел в основном используются различные модификации системы разработки с магазинированием руды, при этом показатели потерь

достигают 16 %, разубоживания – 45 %, при отработке пологих и наклонных – камерно-столбовая и сплошная системы разработки (потери и разубоживание достигают соответственно 28–31 % и 32–35 %) [1]. Подобные показатели извлечения, в сочетании с высокими затратами на разработку, значительно снижают рентабельность освоения месторождений полезных ископаемых.

В похожих географических и климатических условиях Аляски, Канады и Норвегии эффективность подземной разработки рудных месторождений обеспечивается применением различных вариантов систем разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства [2]. Однако использование данных систем в условиях Якутии затруднительно, а зачастую невозможно в связи с практическим отсутствием регулярного транспортного снабжения и инфраструктуры и соответственно, дороговизны рабочей силы, энергии и материалов.

Одним из путей решения является применение систем разработки, не требующих высоких затрат на доставку отбитой руды и управление горным давлением, к которым относятся системы с обрушением руды и вмещающих пород. Как известно, системы этих классов широко применяются в нашей стране и за рубежом и позволяют снизить потери руды в целиках и расходы, связанных с поддержанием очистного пространства, при относительно небольшом объеме горно-подготовительных работ [3, 4]. Еще одним преимуществом данного класса систем является возможность без существенного роста затрат оперативно реагировать на изменения условий разработки месторождения и возможность комбинированного применения с системами других классов.

В республике Саха (Якутия) расположен ряд рудных месторождений, горно-геологические условия залегания которых позволяют применить различные варианты систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород. Наиболее перспективными в плане применения данной технологии являются золоторудное Нежданинское, золотосурьмяные Сарылах и Сентачан, а также серебро-свинцово-цинковое Верхнее Менкече.

Цель исследования: применение систем с обрушением руды и вмещающих пород в условиях Якутии требует учета различных факторов, усложняющих подземную разработку месторождений. Так, например, исследования, выполненные при ведении опытно-промышленных испытаний системы подэтажного обрушения на Нежданинском месторождении в Якутии, показали, что при низкой интенсивности выпуска отбитой руды наблюдается её смерзание [5].

Смерзание отбитой руды в очистном пространстве обусловлено наличием многолетней мерзлоты. Причинами смерзания рудной массы могут быть как попадание в нее воды с поверхности или водоносных горизонтов, так и контакт с теплым воздухом. В условиях подземной разработки рудных месторождений криолитозоны смерзание рудной массы в очистном пространстве приводит к потере сыпучести и, как следствие, росту потерь отбитой руды и аварийной остановке ее выпуска.

Для оценки влияния термовлажностных условий подземной разработки рудных месторождений криолитозоны на показатели полноты извлечения запасов были проведены исследования зависимости объема потерь отбитой руды, склонной к смерзанию, от продолжительности нахождения в неподвижном состоянии в очистном пространстве при различной степени ее увлажнения.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились методом физического моделирования в криокамере на лабораторном стенде. В соответствии с задачами исследований была разработана методика физического моделирования выпуска руды, основанная на известных положениях теории подобия и методик моделирования и учитывающая результаты, полученные другими исследователями [3].

Главным требованием при проведении исследований выпуска методом физического моделирования являлось соблюдение подобия конструктивных элементов, гранулометрического состава, равенство углов внутреннего трения материала и температурных условий в модели и натурных условиях.

При разработке методики учитывались горно-геологические и термовлажностные условия, физико-механические характеристики руд и пород, а также конструктивные параметры технологии подземной разработки Нежданинского золоторудного месторождения в Республике Саха (Якутия). Выпуск руды предусматривался в равномерно-последовательном режиме, как наиболее оптимальном для данных условий разработки.

Линейные размеры (геометрическое подобие) модели обычно определяются кон-

структивными соображениями. Оптимальный геометрический масштаб подобия C_L был определен из выражения:

$$C_l = L_н/L_м = 100,$$

где $L_н$ и $L_м$ – линейные размеры в натурных условиях и в модели соответственно.

Кинематическое подобие процесса выпуска руды обеспечивалось масштабом моделирования времени

$$C_t = \sqrt{C_l},$$

где C_l – линейный масштаб модели.

Соблюдение температурных условий процесса выпуска руды обеспечивалось проведением экспериментов в криокамере объемом 30,0 м^3, оснащенной среднетемпературной сплит-системой «Polaris» при постоянной температуре минус 5 °С, что соответствует средней температуре рудничного воздуха и массива горных пород в натурных условиях.

В качестве материала использовалась дробленая кварцевая руда Нежданинского месторождения грансоставом от 1 до 5 мм. Для обеспечения соблюдения геометрического подобия движения из материала были исключены частицы диаметром менее 1 мм. Использование в лабораторных исследованиях натурного материала позволило принять углы внутреннего трения и термодинамические характеристики материала модели и натуры постоянными и равными.

В соответствии с принятой методикой был изготовлен стенд для физического моделирования площадно-фронтального выпуска руды, имитирующий добычной блок крутопадающего рудного тела мощностью 9 м, высотой 50 м и шириной 50 м.

Стенд представляет собой конструкцию в виде призмы, состоящую из двух боковых, двух торцевых стенок и основания. Для обеспечения возможности визуального наблюдения боковые и фронтальная стенки выполнены из прозрачного пластика, задняя стенка из многослойной фанеры, основание – из листа ДСП. Стенки стенда и выпускной выработки скреплены между собой неподвижно металлическими уголками и закреплены на основании стенда. Фронтальная стенка стенда имеет 6 отверстий, размерами 30×30 мм, выполняющих функции ортов-заездов для выпуска руды. Расстояние между выпускными выработками составляет 50 мм, горизонт выпуска оформлен в виде траншеи с углом наклона борта 60 град. Принципиальная схема и размеры стенда приведены на рис. 1.

Проведение экспериментов для каждой серии проводилось в следующем порядке. Методом рассева на геологических ситах отбирался необходимый объем рудного материала, определялся его вес, затем руда в пластиковой емкости и стенд размещались в криокамере и охлаждались. После набора дробленой руды необходимой отрицательной температуры минус 5 °С производилось ее размещение в стенде. Заполненный стенд выдерживался в криокамере.

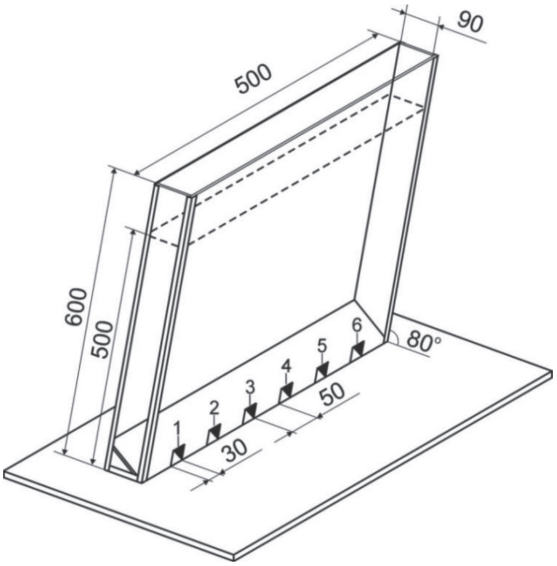

Рис. 1. Лабораторный стенд для моделирования площадно-фронтального выпуска рудной смеси в равномерно-последовательном режиме (размеры приведены в миллиметрах)

По истечении требуемого промежутка времени выполнялись замеры температуры рудного материала и производился площадно-фронтальный выпуск руды в равномерно-последовательном режиме с фиксированием времени начала и конца выпуска. Выпуск осуществлялся до прекращения поступления руды из выпускных выработок. Производилось взвешивание выпущенной рудной массы и определялись потери руды при выпуске.

Затем, в аналогичном порядке, проводились эксперименты по выпуску руды с различной весовой влажностью. Необходимый объем рудного материала охлаждался в криокамере до отрицательной температуры минус 5 °С, затем производилось его увлажнение. Изменение весовой влажности рудного материала достигалось орошением водой в требуемом количестве с одновременным тщательным перемешиванием в криокамере. После этого материал размещался в стенде. Заполненный стенд выдерживал-

ся в криокамере в неподвижном состоянии расчетный промежуток времени, затем выполнялся замер температуры и выпуск рудной массы. Выпуск руды производился до прекращения поступления руды из выпускных выработок вследствие смерзания.

Все результаты, полученные в ходе экспериментов, фиксировались в журнале наблюдений. Конечный определяемый параметр – потери руды, склонной к смерзанию, определялся как разница между весом руды в блоке и весом выпущенной руды.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные полученные результаты представлены в виде графиков, позволяющих представить качественные характеристики изменения показателей потерь руды, вследствие ее смерзания, от времени нахождения в неподвижном состоянии и влажности отбитой рудной массы (рис. 2).

Экспериментальные исследования показали, что изменение весовой влажности при продолжительности смерзания от 6 ч до одних суток приблизительно одинаково. Очевидно, что при больших значениях весовой влажности и при меньшей продолжительности промораживания рудная смесь не успевает смерзнуться.

Исследованиями площадно-фронтального выпуска руды в равномерно-последовательном режиме также установлено, что вследствие ее смерзания значительное увеличение потерь в блоке (с 5 до 99,0%, при температуре очистного пространства –5 °С) происходит при изменении весовой влажности отбитой горной массы от 0,5 до 1,0% (рис. 2, кривая I). В интервале от 0 до 0,5% влажность не оказывает существенного влияния на показатели полноты извлечения запасов руды в блоке.

Резкое увеличение потерь (от 5 до 92%), при изменении влажности от 0,5 до 0,7% позволяет сделать вывод, что указанный интервал влажностей является наиболее опасным в отношении смерзания пород при данных условиях промораживания.

Проведенный эксперимент показал, что чем больше время пребывания руды в блоке в неподвижном состоянии, тем выше потери руды от ее смерзания. При весовой влажности 0,8%, температуре рудничного воздуха –5,0 °С и продолжительности смерзания от 6 ч до одних суток потери руды достигают ~10%, а при продолжительности смерзания от 2 до 8 сут – 99%.

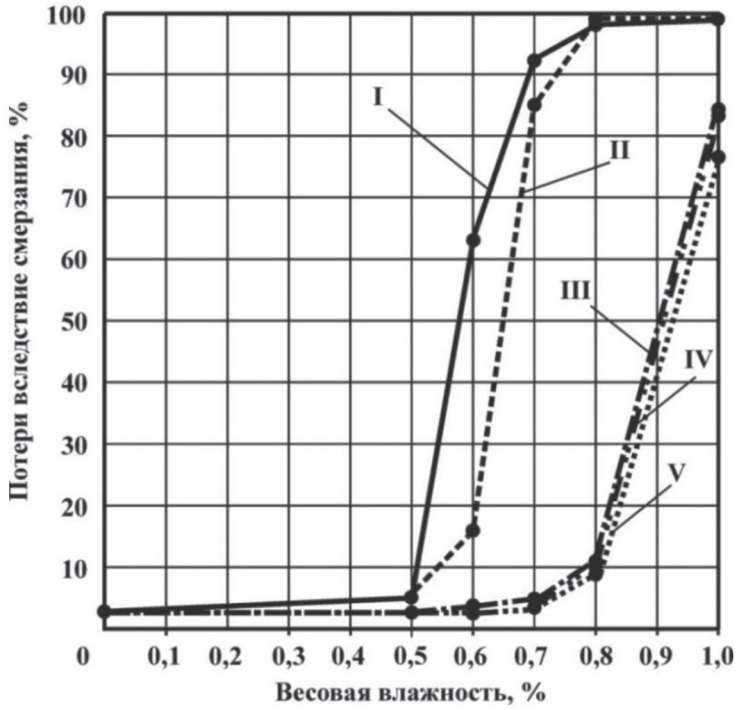

Рис. 2. Влияние изменения весовой влажности на потери разрыхленной рудной массы при температуре –5 °С в зависимости от продолжительности ее пребывания в очистной камере до выпуска (смерзания): I – 8 сут; II – 2 сут; III – 1 сут; IV – 12 ч; V – 6 ч

При всех значениях продолжительности эксперимента потери начинают возрастать в интервале влажностей 0,2–0,6 % (рис. 2), который можно считать оптимальным условием для благоприятного выпуска руды.

При смерзании с 6 ч до одних суток как изменение потерь, так и зависимость от весовой влажности приблизительно одинаковы (рис. 2, кривые III, IV, V), следовательно при соблюдении указанных условий можно говорить об оптимальной продолжительности пребывания рудной смеси в очистной камере до выпуска (смерзания) при температуре рудничного воздуха –5,0 °C не более 1 суток.

Необходимо отметить, что при продолжительности смерзания 1 сутки и более и влажности более 0,5 % в течение выпуска наблюдались кратковременные зависания руды, в реальных условиях горного производства представляющие серьезную угрозу безопасности горнорабочих.

Заключение

Таким образом, установлено, что потери отбитой руды в блоке вследствие ее смерзания значительно возрастают при изменении весовой влажности отбитой горной массы от 0,5 до 1,0 % и времени нахождения ее в неподвижном состоянии более 1 суток. Следовательно, на данном этапе исследований установлена возможность решения проблемы смерзания отбитой руды в очистном пространстве, например путем сокращения времени ее нахождения в неподвижном состоянии.

Полученные результаты показывают необходимость разработки профилактических и оперативных мероприятий уже на стадии проектирования подземной разработки рудных месторождений системами с обрушением руды и пород в условиях криолитозоны. Установленные зависимости влияния изменения весовой влажности на потери рудной массы будут использованы при разработке рекомендаций по технологии выпуска руды, склонной к смерзанию в условиях отрицательного теплового режима подземных рудников криолитозоны.

Список литературы

1. Зубков В.П. Повышение полноты и качества извлечения запасов при подземной разработке золоторудных месторождений Республики Саха (Якутия) / В.П. Зубков, Г.П. Необутов, Д.Н. Петров // Горный журнал – 2017. – № 4. – С. 53–56. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.10.

2. Scales M. One of a kind. Lac des iles palladium mine expands. Canadian Mining Journal, 2012, February/March, pp. 22–24.

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. Ridgeway Gold and Copper Mine, New South Wales [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mining-technology.com/projects/cadiavalley (дата обращения: 05.02.2018).

5. Бахмутов В.М. Технологический регламент для разработки технического проекта Нежданинского ГОКа в Якутской АССР по технологии подземных горных работ / В.М. Бахмутов [и др.] // ВНИПИГорцветмет, – Чита, 1986. – 125 с.

References

1. Zubkov V.P., Neobutov G.P., Petrov D.N. Enhancing completeness and quality of underground gold ore extraction in the Republic of Sakha (Yakutia) [Povyshenie polnoty i kachestva izvlecheniia zapasov pri podzemnoi razrabotke zolotorudnykh mestorozhdenii Respubliki Sakha (Iakutiia)]. Gornyi zhurnal – Mining journal, 2017, no. 4, pp. 53–57. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.10.

2. Scales M. One of a kind. Lac des iles palladium mine expands. Canadian Mining Journal, 2012, no. 2, pp. 22–24.

3. Savich I.N., Mustafin V.I. Perspective of use and rationale design solutions of block (level) and sublevel face draw [Perspektivy primeneniia i obosnovanie proektnykh reshenii pri etazhnom i podetazhnom tortsevom vypuske rudy]. Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' – Mining informational and analytical bulletin, 2015, no. 1, pp. 419–429.

4. McPaul T. Ridgeway Gold and Copper Mine, New South Wales. Available at: https://www.mining-technology.com/projects/cadiavalley (accessed 05.02.2018).

5. Bakhmutov V.M. Tekhnologicheskii reglament dlia razrabotki tekhnicheskogo proekta Nezhdaninskogo GOKa v Iakutskoi ASSR po tekhnologii podzemnykh gornykh rabot, Chita, VNIPIGortsvetmet, 1986, 125.