

УДК 622'1:622.142.2[551.34]

**ЗАВИСИМОСТЬ ПОТЕРЬ РУДЫ ПРИ ВЫПУСКЕ  
ВСЛЕДСТВИЕ ЕЕ СМЕРЗАНИЯ ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА  
И ПАРАМЕТРОВ ОЧИСТНОГО ПРОСТРАНСТВА**

**DEPENDENT ORE LOSSES IN DISCHARGE AS A RESULT  
OF ITS FREEZING SIZE DISTRIBUTION AND PARAMETERS  
OF WORKING EXCAVATION**

**Необутов Геннадий Павлович,  
канд. техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: g.p.neobutov@igds.ysn.ru**

**Gennady P. Neobutov, Cand.Sc. (Engineering),, Senior Researcher**

**Зубков Владимир Петрович,  
канд. техн. наук, зам. директора по научной работе, e-mail: zubkov@ igds.ysn.ru.**

**Vladimir P. Zubkov, Cand. Sc.in Engineering, Deputy Director for Science**

**Петров Дмитрий Николаевич,  
канд. техн. наук, научный сотрудник, e-mail: petrovdn74@mail.ru**

**Dmitry N. Petrov, Cand. Sc.in Engineering, Researcher**

Институт горного дела Севера им.Н.В. Черского СО РАН, 677018, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, пр. Ленина, 43;

Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenin avenue, Yakutsk, 677018, Russian Federation.

**Аннотация.**

*Криолитозона обуславливает отрицательный температурный режим сети горных выработок, при этом возможность смерзания руды в очистном пространстве в случае контакта с водой или теплым воздухом является одним из основных факторов, осложняющих работу рудников в этих условиях.*

*В связи с ростом добычи минерального сырья на Севере решение проблемы смерзаемости полезных ископаемых при их извлечении из недр приобретает особую актуальность, однако в научно-технической литературе не имеется публикаций, посвященных потерям руды при выпуске вследствие ее смерзания.*

*Объектом исследований выбрано Нежданинское рудное месторождение, на котором многие годы проводили научно-исследовательские работы по внедрению новых технологических схем добычи руды разные научно-исследовательские институты и где наблюдалось смерзание горной массы в очистном пространстве при выпуске руды.*

*Приведены методика и результаты моделирования процесса донного выпуска горной массы из модельного блока на специальном стенде, имитирующем добывающей блок крутопадающей жилы средней мощности.*

*Установлено, что при выпуске руды из блока вследствие ее смерзания, при увеличении средней крупности отбитой горной массы потери возрастают до 65%, а при увеличении высоты блока от 10 до 17,5 м – с 6 до 27%. Изменение ширины блока в пределах 3 – 9 м приводит к возрастанию потерь с 21 до 26%.*

*Результаты работы являются основой при выборе рациональных параметров системы разработки и технологии выпуска руды, обеспечивающих минимальные показатели полноты и качества извлечения запасов при освоении месторождений криолитозоны в аналогичных условиях.*

**Annotation.**

*Permafrost causes negative temperature regime of mine workings, with the possibility of freezing the ore in the working excavation in the case of contact with water or warm air is one of the main factors complicating the work of mines in these conditions.*

*In connection with the growth of mining in the northern regions to solve regulation minerals during their extraction is of particular relevance, however, in the scientific literature there are no publications dealing with the issue of loss of ore due to its freezing.*

*The object of research is selected Nezhdaninskoe ore deposit, which for many years carried out research work on the introduction of new technological schemes of extraction of ore different research institutions, and where there was freezing together of the rock mass in the working excavation with the discharge of the ore.*

*The method and the results of the simulation of the of the rock mass discharge of model block on a special*

*stand, simulating stope block steeply dipping veins of medium ore body thickness.*

*It was found that with the discharge of a block of ore due to its freezing, with an increase in the average size of a freed rock mass losses increase to 65%, while increasing the stack height from 10 to 17.5 m - from 6 to 27%. Changing the width of the block within 3 - 9 m leads to increased losses from 21 to 26%.*

*The results will be the basis in selecting rational parameters of mining method and discharge of technologies ore, ensuring minimal performance completeness and quality of reserves extraction during the opening of the permafrost zone deposits in similar conditions.*

**Ключевые слова.** Криолитозона; подземная разработка; Нежданинское месторождение; выпуск руды; смерзаемость горной массы; моделирование выпуска; потери руды; гранулометрический состав; параметры очистной камеры.

**Keywords.** Permafrost; underground mining; Nezhdaninskoye deposit; ore discharge; freezing rock mass; simulation discharge; loss of ore; grading; stope parameters.

Рудные месторождения области распространения многолетней мерзлоты характеризуются отрицательным температурным режимом сети подземных горных выработок, который оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на различные процессы горного производства, его безопасность и эффективность [1]. Возможность смерзания отбитой руды в очистном пространстве, в бункерах и транспортных сосудах в случае контакта с водой или теплым воздухом является одним из основных факторов, осложняющих работу рудников в этих условиях.

В настоящее время в связи с ростом добычи минерального сырья на Севере решение проблемы смерзаемости полезных ископаемых при их извлечении из недр приобретает особую актуальность [2 – 3], однако в научно-технической литературе не имеется публикаций, посвященных указанной теме, в частности потерям руды при выпуске вследствие ее смерзания, поэтому необходимость исследований в данном направлении несомненна.

В лаборатории Проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов Института горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН (ПРОМСР ИГДС СО РАН) ведутся комплексные исследования влияния термовлажностных условий подземной разработки рудных месторождений криолитозоны и технологии выпуска руды из блока на показатели полноты извлечения руды, склонной к смерзанию для обоснования и разработки эффективных мер борьбы со смерзаемостью.

Объектом исследований влияния изменения гранулометрического состава отбитой мерзлой руды и параметров очистного пространства на показатели извлечения горной массы вследствие смерзания выбрано Нежданинское рудное месторождение, на котором многие годы проводили научно-исследовательские работы по внедрению новых технологических схем добычи руды как Читинский филиал (ЧФ) института ВНИПИГОР-ЦВЕТМЕТ, так и ИГДС СО РАН, и где наблюдалось смерзание горной массы в очистном пространстве при выпуске руды.

Рудный тип оруденения месторождения при относительно простой морфологии рудных тел,

кругом падении залежей, высокой крепости руды и вмещающих пород (устойчивых обнажениях массива пород) предрасполагают к применению систем разработки с открытым очистным пространством (подэтажные штреки) и с магазинированием руды (блоками) [4].

Месторождение расположено в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, мощность которых колеблется от 120 до 350 м.

По отношению к слою многолетнемерзлых пород выделяются надмерзлотные и подмерзлотные подземные воды.

Опытная разработка Нежданинского месторождения и выполненные исследования показали, что руды месторождения слеживаемости не подвержены, однако при отработке блоков в зоне многолетней мерзлоты при низкой интенсивности выпуска отбитой руды наблюдалось ее смерзание.

В период эксплуатационных работ на руднике наблюдалось наличие наледей, что говорит о возможности увлажнения поверхности обрушенной горной массы при отработке верхних горизонтов системой подэтажных штреков и привести к смерзанию руды.

По отношению к теме наших исследований особый интерес представляли результаты работ, в которых отмечалось, что использование в лабораторных исследованиях натурного материала (руд и пород Нежданинского месторождения) позволило упростить процесс моделирования, т.е. достаточно соблюдения геометрических размеров блока в модели (геометрического подобия), а также времени воздействия окружающей среды на массив отбитой руды в масштабе моделирования.

В исследованиях ЧФ определялись показатели извлечения руды из блока в зависимости от интенсивности выпуска и изучались геокриологические условия.

Установлено, что время нахождения руды в очистном пространстве зависит от высоты выпускаемого слоя руды, интенсивности выпуска и площади блока, с которой производится выпуск. Согласно ранее проведенным ими исследованиям, время нахождения отбитой руды в очистном пространстве определяет величину смерзания руды, т.е. потери. Для проведения моделирования выпуска руды в условиях многолетней мерзлоты бы-

ла изготовлена модель блока в масштабе 1:50, что в натуре соответствует блоку высотой 100 метров и мощности рудного тела 15 м, длине 30 м. В днище блока были оборудованы выпускные отверстия, расстояние между которыми изменялось от 200 до 300 мм, что соответствует в натуре 10–15 м.

Для недопущения возможных осложнений при выпуске руды из-за ее смерзания, было рекомендовано отбойку производить не более 10 тыс.т и время нахождения отбитой руды в неподвижном состоянии не более 10 – 20 суток, поскольку несоблюдение данных рекомендаций привело бы к значительным потерям рудной массы и трудностям при последующем выпуске вследствие смерзания руды.

Проведение значительной серии циклов выпуска рудной массы в лабораторных условиях (на модели) с изменением высоты выпускаемого слоя рудной массы, а также расстояния между выпускными выработками и сопоставления результатов моделирования с результатами при обычных условиях позволило определить зависимость величины потерь рудной массы от смерзания.

Полученные в ходе опытно-промышленных испытаний системы разработки качественные и количественные показатели извлечения рудной массы с достаточной надежностью подтвердили результаты лабораторных исследований. Отклонение не превысило 15%. Следовательно, можно утверждать о том, что потери рудной массы при выпуске ее из блока в значительной степени зависят от высоты выпускаемого слоя рудной массы и температуры горного массива.

Следует отметить, что мы не располагали материалами ЧФ ВНИПИГОРЦВЕТМЕТ, где были бы приведены методики, последовательность проведения физического моделирования процессов смерзания отбитой руды

Коротко представлены материалы о смерзании руды в монографии д.т.н. Г.А.Курсакина [5]. Испытанию на смерзаемость подвергали как талую, так и мерзлую руду. При этом выявляли качественную характеристику – способность смерзаться вообще при отрицательных температурах, и количественную – изменение прочности после замораживания.

В лаборатории ПРОМСР ИГДС СО РАН проведены исследования влияния гранулометрического состава отбитой мерзлой руды и параметров очистного пространства на показатели полноты и качества отработки запасов блока в условиях отрицательных температур при подземной разработке рудных месторождений криолитозоны.

На примере подземной разработки золоторудного месторождения Нежданинское (незначительные водопритоки, отрицательная температура очистного пространства) показано, что при выпуске руды из блока вследствие ее смерзания, при

увеличении средней крупности отбитой горной массы с 10 до 35 см потери возрастают с 12% до 65% (рис. 1), а высоты блока от 10 до 17,5 м – с 6 до 27% (рис. 2). Изменение ширины блока в пределах 3 – 9 м приводит к возрастанию потерь с 21 до 26%, в дальнейшем, при увеличении ширины блока до 12,5 м потери снижаются до 23% (рис. 3), что является основой при выборе рациональных параметров системы разработки и технологии выпуска руды, обеспечивающих минимальные показатели полноты и качества извлечения запасов при освоении месторождений криолитозоны в аналогичных условиях.

Физическое моделирование процесса донного выпуска горной массы из модельного блока во всех экспериментах проводилось при температуре -50°C, увлажнении в количестве 1% от ее веса и с соблюдением геометрического подобия элементов модели и натуры (1:50) на специальном стенде, представляющем собой сварную металлическую конструкцию с прозрачными стенками, имитирующем добывающей блок крутопадающей жилы мощностью 6 м.

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

Серия опытов по выпуску руды проводилась при каждом значении крупности пород и изменения высоты и мощности блока.

Наиболее показательные моменты с точки зрения смерзания руды в блоке фиксировались фотографированием.

Измеряемыми величинами являлись: температура воздуха в комнате и холодильной камере; высота руды над выпускными отверстиями; мощность руды в модельном блоке; размеры фракций испытуемых пород; вес руды в модели блока и произведенной выпуску; диаметр выпускных отверстий; весовая влажность руды; время и производительность выпуска руды. Конечный определяемый параметр – вес смерзшейся руды (потери руды, склонной к смерзанию), является разницей между весом руды в блоке и весом выпущенной руды. Результаты измерений сводятся в журнал.

По полученным данным значений потерь руды Р при выпуске вследствие ее смерзания строятся графики их зависимости от гранулометрического состава выпускаемой руды, высоты выпускаемого слоя руды и изменения мощности очистных блоков

Ниже приводятся результаты проведенных экспериментов.



Рис. 1. Зависимость потерь руды при выпуске вследствие ее смерзания от гранулометрического состава выпускаемой руды

Повышение потерь горной массы с увеличением размеров пород (рис. 1) можно объяснить тем, что у крупных кусков пород при их соприкосновении при данной весовой влажности образуются «манжеты» влаги, которые увеличивают силы сцепления между кусками, что и приводит к увеличению объема смерзшихся пород (потерям) при больших размерах фракций.

Наблюдения за выпуском руды в лабораторных условиях показали, что при открывании затвора, перекрывающего выпускные отверстия, в начальный период происходит динамичный вы-

пуск горной массы, при котором происходит «встряска» всего объема засыпанных пород, которая обусловливает отрыв большего объема смерзшихся пород, т.е. меньшие потери, при меньшей высоте выпускаемого слоя руды. При большой высоте «встряска» меньше влияет на отрыв смерзшихся пород, т.е. большие потери (рис. 2).

В результате исследований зависимости потерь горной массы при выпуске вследствие ее смерзания при изменении мощности очистных блоков установлено наличие некоторой критической мощности рудной зоны, при которой ее уве-

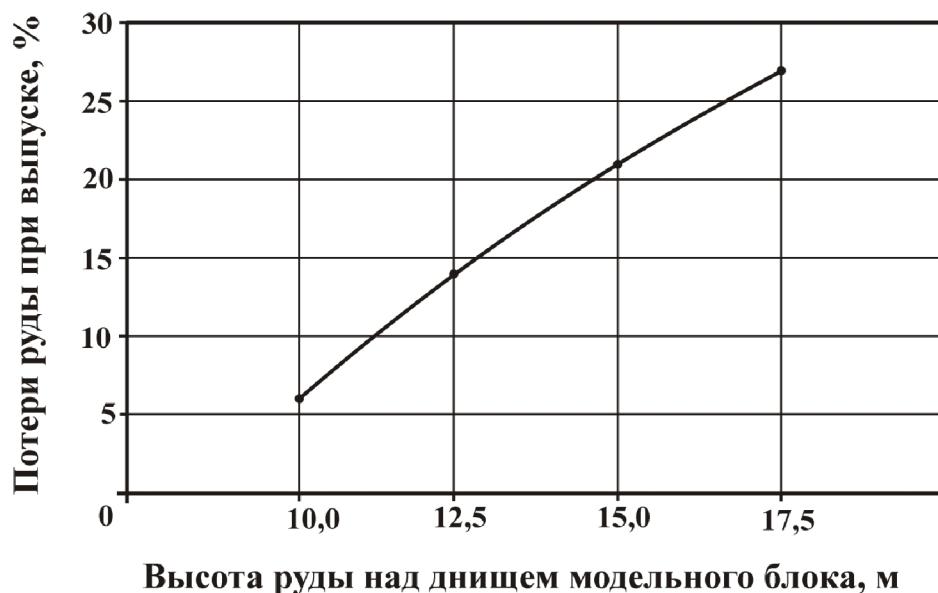


Рис. 2. Зависимость потерь руды при выпуске вследствие ее смерзания от высоты выпускаемого слоя руды.

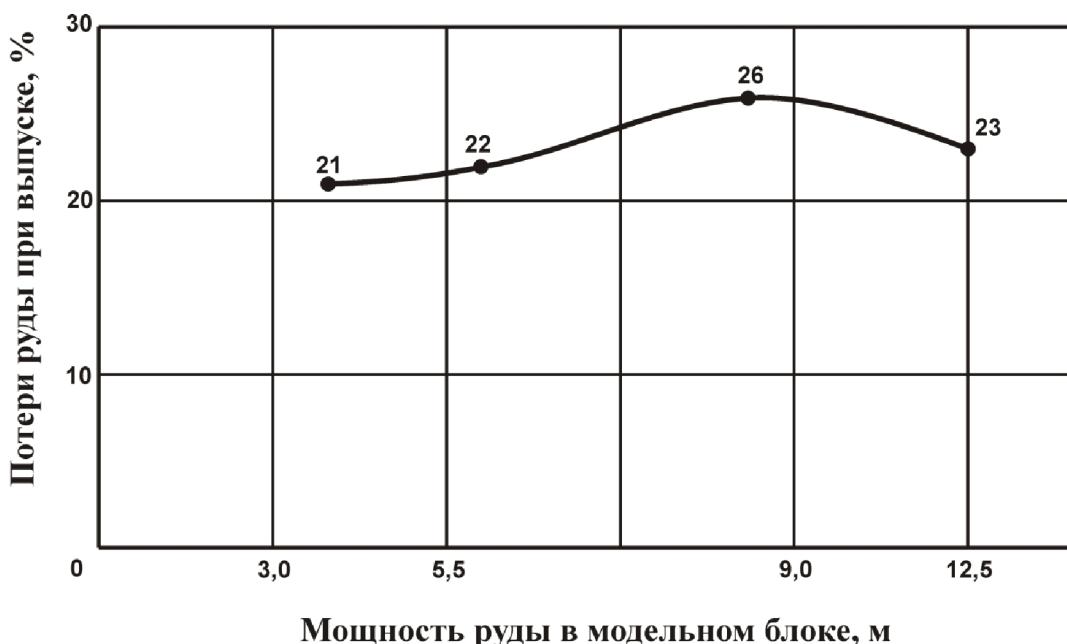


Рис. 3. Изменение потерь горной массы при выпуске вследствие ее смерзания при изменении мощности очистных блоков.

личение не приводит к повышению потерь руды (рис. 3).

Данное обстоятельство, по всей видимости, можно объяснить тем, что при увеличении мощности блока с 9 до 12,5 м увеличивается площадь обнажения кровли очистного блока, представленной смерзшимися породами, и растягивающие напряжения в них начинают превышать предельно допустимые, которые приводят к обрушению части кровли и снижению потерь.

Некоторое повышение потерь горной массы (с 21 до 26%) при увеличении мощности очистного блока с 3 до 9 м (увеличении веса смерзшихся пород) при высоте засыпаемых пород 17,5 м связано, по всей видимости, с возрастанием давления горной массы на стенки модельного блока, вследствие которого увеличиваются силы сцепления

смерзшихся пород с боками стендса.

Научное и практическое значение результатов исследований заключается в выявлении качественной характеристики влияния гранулометрического состава выпускаемой руды, высоты выпускемого слоя и мощности очистных блоков на показатели извлечения при выпуске руды, склонной к смерзанию, и являются основой при выборе рациональных параметров системы разработки и технологии выпуска руды, обеспечивающих минимальные показатели полноты и качества извлечения запасов при освоении месторождений криолитозоны в аналогичных условиях, а в конечном итоге — основными положениями в обосновании разработки рекомендаций для обоснования и разработки эффективных мер борьбы со смерзаемостью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Необутов Г. П. Состояние, перспективы и особенности эксплуатации рудных месторождений Якутии / Г. П. Необутов, Д. Н. Петров, А. Ю. Черепанов // Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны: Труды Междунар. научно-практической конф. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2005. – С. 192–199.
2. 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.
3. 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.
4. Зубков, В.П. Исследование и разработка технологии добычи руды с применением гибких синтетических перекрытий в условиях неустойчивых пород кругопадающих месторождений [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.02: / Зубков Владимир Петрович. – Якутск: Ин-т горн. дела Севера, 1990. - 200 с.
5. Курсакин, Г.А. Технология разработки золоторудных жильных месторождений / Г.А.Курсакин. – Владивосток: Дальнаука, 2002. –240 с.

## REFERENCES

1. Neobutov G. P. Sostojanie, perspektivy i osobennosti jeksploatacii rudnyh mestorozhdenij Jakutii / G. P. Neobutov, D. N. Petrov, A. Ju. Cherepanov // Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoenija mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh kriolitozony: Trudy Mezhdunar. nauchno-praktich. konf. – Jakutsk: Izd-vo Instituta merzlotovedenija SO RAN, 2005. – S. 192–199.
2. Problemy smerzanija i lipkosti mineral'nogo syr'ja v processah ego dobychi, transportirovki i pererabotki: materialy postojanno dejstvujushhego Rossijskogo zaochnogo seminara. – Jakutsk: JaNC SO RAN, 1994. – Vyp. 1. – 108 s.
3. Neobutov G.P. Problemy smerzaemosti poleznyh iskopaemyh i metody profilaktiki, bor'by ili ucheta ee vlijanija v processah dobychi. / G.P. Neobutov // Trudy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashchennoj pamjati chl.-kor. RAN Novopashina M.D. (g.Jakutsk, 17 – 19 sentjabrja 2013 g.). – Jakutsk: Izd-vo Instituta merzlotovedenija im. P.I.Mel'nikova SO RAN, 2013. – S. 144 – 148.
4. Zubkov, V.P. Issledovanie i razrabotka tehnologii dobychi rudy s primeneniem gibkih sinteticheskikh perekrytij v uslovijah neustojchivyh porod krutopadajushhih mestorozhdenij [Tekst]: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.15.02: / Zubkov Vladimir Petrovich. – Jakutsk: In-t gorn. dela Severa, 1990. - 200 s.
5. Kursakin, G.A. Tehnologija razrabotki zolotorudnyh zhil'nyh mestorozhdenij / G.A.Kursakin. – Vladivostok: Dal'nauka, 2002. –240 s.

Поступило в редакцию 22 октября 2016/

Received 22 October 2016