

На правах рукописи

Райс Виктор Владимирович



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ С
ЗАМОРАЖИВАЕМОЙ ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО
ПРОСТРАНСТВА ПРИ ОТРАБОТКЕ ЦЕННЫХ РУД
ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ**

*Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая
и строительная)*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Ковалев Олег Владимирович

Официальные оппоненты:

Айбиндер Игорь Израилевич

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова» Российской Академии Наук, отдел №3 «Освоение месторождений твердых полезных ископаемых на больших глубинах» (г. Москва), заведующий отделом;

Билин Андрей Леонидович

кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской Академии Наук» (г. Апатиты), ведущий научный сотрудник.

Ведущая организация - федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

Защита диссертации состоится 10 сентября 2020 г. в 13 ч 00 мин на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.06 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 10 июля 2020 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



СИДОРОВ
Дмитрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Добыча полезных ископаемых в криолитозоне, инфраструктура которой зачастую развита очень слабо, обходится в несколько раз дороже, чем в других районах. Суммарная площадь территории криолитозоны на планете составляет около 40 % (включая Гренландию и Антарктиду), а территория Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) составляет около 10,5 млн. км². При этом сырье, добываемое в данном регионе РФ, имеет значительный экспортный спрос (около 12 % ВВП). Ведение горных работ в условиях криолитозоны характеризуется рядом природных факторов, определяющих технологию разработки, основные из которых: суровые климатические условия и мерзлое состояние вмещающих пород; сложный и труднодоступный рельеф местности; снижение прочности породы при оттаивании; существенные особенности при организации вентиляции и пылеподавления (смерзание руды, заполнение старых выработок льдом и т.д.).

В настоящее время запасы минеральных образований жильных месторождений приурочены к крутопадающим рудным телам малой мощности (до 3 м), среди которых преобладают крутопадающие жилы с углом падения более 60°. Основное количество руды сегодня добывается из таких жил, и в перспективе эта тенденция не изменится. Развитие науки и техники существенно изменяет окружающий мир и технологический уклад многих производств, но повышение эффективности горных предприятий наряду с внедрением новой техники, всегда базировалось на совершенствовании существующих и создании новых технологий, в том числе и при разработке жильных месторождений.

Начиная с 30-х годов следующие организации проводили исследования эффективности систем разработки с ледяной закладкой: ВНИИ-1, ВНИМИ, ЛГИ, МГОУ, ИГД СО РАН, Канадский центр минеральных и энергетических технологий (CANMET), Лаврентийский университет (г. Большой Садбери, Канада) и др. В работах Ю.В. Михайлова, В.И. Емельянова, Г.А. Каткова, Г.П. Необутова, В.Г. Гринева, Дж. Найта, М. Гарриса, В. Горски, Д. Казакидиса и др. приведён детальный обзор и анализ

практического применения технологии с использованием смерзающейся закладки. Данные технологии целесообразны к использованию только при отрицательных температурах вмещающих пород, что соответствует верхним горизонтам разрабатываемых месторождений, поэтому зачастую они используются ограниченный период работы горных предприятий на начальных этапах их эксплуатации. При этом многообразие факторов, которые оказывают влияние на время замораживания закладочного массива, таких как: горно-геологические условия, температура и скорость движения рудничного воздуха, начальная температура и количество жидкого и твёрдого материала, температура вмещающих пород, закладки и площадь контакта между ними, являются причиной отсутствия четкого практического механизма формирования замораживаемого массива в течение технологически заданного периода времени. В связи с этим требуется дальнейшее изучение указанных аспектов и настоящая работа, направленная на создание технологических схем разработки крутопадающих жильных месторождений с льдопородной закладкой и обоснование их параметров, является актуальной.

Цель работы. Создание эффективной технологии подземной добычи ценных руд в условиях криолитозоны, обеспечивающей снижение потерь и разубоживания руды, на базе разработки методики для расчета параметров технологических схем отработки жильных крутопадающих месторождений малой и средней мощности с использованием льдопородной (льдокомпозиционной) закладки выработанного пространства.

Идея работы. Повышение эффективности отработки крутопадающих ценных рудных жил должно базироваться на внедрении бесцеликовой отработки запасов, за счет использования льдопородных закладочных массивов при послойном их намораживании, которое должно совмещаться с другими операциями технологического цикла.

Основные задачи исследований:

1. Проанализировать природно-климатические условия и особенности разработки месторождений полезных ископаемых в зоне развития многолетнемерзлых пород.

2. Определить основные требования к порядку отработки подземных выемочных участков при разработке месторождений ценных руд в условиях многолетней мерзлоты.

3. Установить причины низкого извлечения и высокого разубоживания руды в определенных горно-геологических условиях и предложить решения, направленные на повышение показателей отработки запасов.

4. Установить факторы, влияющие на скорость кристаллизации закладочного материала применительно к условиям горных выработок, а именно: рациональные соотношения объёмов воды и заполнителя из пустых пород и различных добавок (в том числе отходов производств), при различных температурах указанных компонентов и влияние климатических факторов (температуры и скорости воздуха) на скорость охлаждения закладочного массива.

5. Исследовать зависимость прочностных свойств закладочного массива от гранулометрического и вещественного состава слагающих его компонентов.

6. Разработать новые технологические схемы, а также модернизировать и адаптировать существующие для добычи подземным способом ценных руд основных месторождений криолитозоны при различной их мощности с применением прогрессивного оборудования.

Методология и методы исследований. Для решения поставленных задач использовался комплексный метод исследований, включающий: анализ и обобщение практического опыта отработки жильных месторождений криолитозоны; лабораторные эксперименты по механическим испытаниям замороженных льдопородных смесей различного гранулометрического состава и с использованием различных укрепляющих и теплоизоляционных добавок; физическое моделирование процессов образования намораживаемой породной закладки из местных материалов и отходов производства; натурные производственные эксперименты по внедрению новых технологических схем и обоснованию их параметров; опытно-промышленное испытание разработанной технологии.

Научная новизна работы:

1. Установлена зависимость разубоживания руды от изменения пролета выработанного пространства, мощности жилы и изменения угла ее наклона в пределах отбиваемого веера.
2. Установлены закономерности прочностных свойств закладки от их гранулометрического состава при использовании укрепляющих компонентов и теплоизоляционных отходов производств (резинокордовых отходов) позволяющие рассчитывать параметры технологических схем в условиях конкретных производств.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Повышение технико-экономических показателей отработки тонких крутопадающих жил ценных руд с полной закладкой выработанного пространства необходимо осуществлять на базе внедрения мелкошпуровой вместо скважинной отбойки руды и технологических схем с льдопородной закладкой с заданными технологическими, прочностными и теплоизоляционными параметрами.
2. Расчет технологических параметров, мощности и устойчивости закладочных массивов необходимо вести с использованием полученных зависимостей прочности закладочного льдокомпозиционного массива от его состава и содержания различных компонентов.
3. Разработанная технологическая схема отработки ценных руд с частичной закладкой выработанного пространства послойным намораживанием с обоснованным составом по содержанию и крупности компонентов позволяет повысить извлечение, снизить разубоживание руды и сократить время отработки блока.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработана методика обоснования рациональных параметров скважинной или мелкошпуровой отбойки руды при отработке тонких и маломощных жил в зависимости от горно-геологических условий их залегания.
2. Разработаны способы возведения закладочного массива различного гранулометрического состава и при использовании различных (укрепляющих или теплоизоляционных) добавок.

3. Обоснованы требования к технологическим схемам отработки крутопадающих жильных месторождений малой мощности в условиях криолитозоны.

4. Сформулированы требования к вещественному и гранулометрическому составу закладки при использовании послойного намораживания закладочного массива при заданной мощности слоя или технологически обусловленном времени замораживания.

5. Разработана технологическая схема отработки рудной жилы мощностью до 3,0 м с льдопородной закладкой выработанного пространства, позволяющая перейти к бесцеликовой отработке, снизить потери и разубоживание руды.

6. Разработаны различные варианты технологических схем и определены требования к порядку отработки подземных выемочных участков (с применением прогрессивного оборудования) при разработке месторождений ценных руд из тонких и маломощных жил в условиях многолетней мерзлоты.

7. Разработаны и защищены патентами способы возведения закладочного массива при разработке месторождений в условиях многолетней мерзлоты.

8. Разработанная схема принята к экспериментальному внедрению и получено положительное заключение о результатах внедрения.

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций. С целью испытаний по проверке технологических параметров с применением замораживаемой закладки выработанного пространства был проведён ряд экспериментальных работ в условиях месторождения Лунное на одном из участков VII рудной зоны, были установлены оптимальные составы закладочного материала (мерзлая порода и вода), определения устойчивости и температурного режима замороженного породного массива и вмещающих пород.

Реализация результатов исследований. Результаты, полученные при подготовке диссертации, рекомендуются к применению при ведении подземных горных работ на месторождениях, расположенных в условиях многолетней мерзлоты. Полученные результаты исследований и разработанные

технологические схемы обработки крутопадающих рудных жил с использованием льдопородной (льдокомпозитной) закладки могут быть использованы для решения проблемы повышения показателей эффективности подземных горных работ, а также снижения техногенной и антропогенной нагрузки на окружающую среду. Результаты исследований предложены компаниям, осуществляющим разработку месторождений в условиях действия отрицательных температур.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях: «Проблемы недропользования» («Горный университет», Санкт-Петербург, 2015 г.), «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (Санкт-Петербург, 2015 г.), «Innovations in Mineral Ressource Value Chains - Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management» (TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany, 2015 г.), «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2016 г.), «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (Санкт-Петербург, 2017 г.), а также на заседаниях кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Горного университета (Санкт-Петербург, 2014-2018 гг.).

Личный вклад автора. Сформулированы цель и задачи исследований, разработана методика и проведены лабораторные и натурные исследования, сформулированы основные научные положения и выводы.

Публикации по работе. Результаты диссертации отражены в 11 опубликованных работах, 3 из которых в журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки России; получено 2 патента.

Объем и структура работы. Текст диссертационной работы состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения, изложенных на 216 страницах машинописного текста, и содержит 79 рисунков, 38 таблиц и список литературы из 189 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность за неоценимую помощь и поддержку на всех этапах подготовки диссертационной работы научному руководителю д.т.н., проф. О.В.

Ковалеву. Автор благодарит зав. кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых д.т.н., проф. В.П. Зубова, преподавателей и сотрудников кафедры за обсуждение материалов диссертации и критические замечания к работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основные результаты исследований отражены при доказательстве следующих защищаемых научных положений.

1. Повышение технико-экономических показателей отработки тонких крутопадающих жил ценных руд с полной закладкой выработанного пространства необходимо осуществлять на базе внедрения мелкошпуровой вместо скважинной отбойки руды и технологических схем с льдопородной закладкой с заданными технологическими, прочностными и теплоизоляционными параметрами.

По основным показателям вклада в экономику страны минерально-сырьевой комплекс арктической зоны представляет собой один из самых богатых регионов, в том числе и при отработке ценных руд жильных месторождений, которые зачастую обрабатываются с закладкой ВП. Данная технология позволяет минимизировать потери и разубоживание добываемой руды, повысить безопасность ведения горных работ и утилизировать часть отходов производства. Вместе с тем, технология весьма дорогостоящая и, как правило, она используется при добыче ценного минерального сырья. Следует отметить, что использование в криолитозоне опыта из других регионов страны затруднено и не нашло практической значимости. Закладка цементными смесями при отрицательных температурах практически не используется, поэтому была выдвинута идея применения замораживаемой закладки, в которой лёд выступает в качестве основного или связующего элемента. Благоприятными климатическими условиями для применения замораживаемой закладки можно считать территорию с устойчивыми холодными зимами, где число дней с температурой ниже -10°C составляет более 100 дней в году. Такими районами Российской Федерации являются: Магаданская область, Республика Саха (Якутия), Чукотский автономный округ,

Забайкалье, Амурская область, Заполярье, Алтай, Сибирь, Полярный и Приполярный Урал.

Впервые закладка заготовленным льдом была предложена Артуром Лангерфельдом (США), а закладка намораживанием льда непосредственно в выработке П.А. Леоновым. В достаточно крупном промышленном объёме ледяная/льдопородная закладка применялась на Норильском ГМК, на комбинате Печенганикель, на месторождении Бадран (Якутия) и на рудниках Дукат (Магаданская область), «Рэнкин» (Швеция), Полярис (Канада) и показала достаточную экономическую эффективность.

В настоящей работе подробно рассмотрена технология отработки золотосеребряного месторождения Лунное, которое расположено в Магаданской области в 105 км от пос. Дукат. Климат района резко континентальный с продолжительной (7,5 месяцев), очень морозной зимой. Рудное тело представлено сульфид-родонит кварцевой жилой, мощностью 0,9-2,5 м. Вмещающие породы представлены сильнотрещиноватыми уплотнёнными алевролитами. Угол падения рудного тела 80-90 град. Крепость руды по шкале проф. Протодяконова 16-18, пород 9-11. Объёмный вес руды 2,7 т/м³. Технологическая схема представлена на рисунке 1.



Горно-геологические условия залегания жильных месторождений ценных руд характеризуются значительной изменчивостью как угла падения, так и мощности рудной жилы. При этом зачастую меньшей мощности соответствует более высокой содержание полезного ископаемого. Данное обстоятельство обуславливает необходимость построения объемных геометрических моделей рудной жилы и обоснованного подхода при расчете параметров добычных скважин, как по углу заложения, так и по месту заложения относительно контура рудной жилы в отбиваемом блоке. Увеличение длины скважин позволяет увеличить высоту подэтажа и нагрузку на выемочный блок, но при этом в отбиваемый объем попадает значительная присечка пустых пород, что приводит к разубоживанию руды и необходимости утилизации значимо большего объема отходов обогащения. Анализ горно-геологических условий залегания жилы в 6 выемочном блоке VII р.з. показал, что угол залегания жилы изменяется от 70° до 99° , а мощность изменяется от 0,2 м до 2,8 м. При этом в пределах одного веера скважин (по его высоте) угол падения может изменяться на величину от 3° до 22° , а мощность изменяется на величину от 0,3 м до 1,1 м. Необходимо отметить, что наибольшие значения изменения мощности характерны для небольшой мощности жилы (в местах их «выклинивания»).

Анализ геометрии вееров показал, что «чистая геометрическая присечка» пустых пород составляет от 30 % до 60 % по площади контура ограниченного скважинами. Но при взрыве скважин отбивается еще до 10-15 см пустой породы. Таким образом, суммарные объемы присечки боковых пород увеличиваются на полосу суммарной шириной 20-30 см. Если же контур скважин размещать на некотором расстоянии внутри контура жилы, то это приводит к снижению извлечения руды.

Для инженерных расчетов величины засорения руды от пролета выработанного пространства была разработана следующая зависимость (1):

$$V_{\text{пород}} = (A-m) \cdot \exp(0.02 \cdot L_{\text{вп}}), \text{ м}^3 \quad (1)$$

где A – коэффициент (равен 4,2 при мощности жилы до 1,2 м; равен $(m+1)$ при мощности жилы более 2 м); m – мощность жилы, м; $L_{\text{вп}}$ – пролет выработанного пространства, м

Разубоживание руды является функцией от полной присечки и мощности рудной жилы. Зависимость разубоживания от полной присечки боковых пород для различных мощностей рудной жилы приведена на рисунке 2. Как видно из приведенного графика, при мощности пласта менее 2 м объем присечки пустых пород составляет 30-70 %, а при мощности 0,5 м этот объем может достигать 150-300 %. Это свидетельствует о том, что при мощности рудной жилы менее 2 м, целесообразно переходить на шпуровую отбойку, что позволит повысить извлечение и снизить разубоживание руды.

Основные параметры технологических схем, требующие обоснования при внедрении технологии создания льдопородных целиков: наличие полевой подготовки; высота этажа; количество и высота подэтажей (или их отсутствие), и соответственно объем нарезных работ; паспорт БВР; количество забоев в одном выемочном блоке (и нагрузка на забой и весь выемочный блок); геометрия и несущая способность льдопородных потолочин; обеспечение заданного температурного режима выработок и массива; объем подготовительных работ (съезды-заезды).

Таким образом, внедрение технологий (как с мелкошпуровой, так и со скважинной отбойкой) с возведением льдопородной закладки позволяет повысить извлечение руды из жильных месторождений малой мощности, а зачастую и снизить разубоживание. Основным технологическим аспектом, оказывающим определяющее значение на все остальные из рассмотренных параметров, является состав, мощность и технология возведения льдопородного целика (потолочины).

2. Расчет технологических параметров, мощности и устойчивости закладочных массивов необходимо вести с использованием полученных зависимостей прочности закладочного льдокомпозитного массива от его состава и содержания различных компонентов.

Как отмечалось выше, вовлечение в технологический процесс закладки отходов местных производств (с учетом возможности их утилизации) является актуальной проблемой для рассматриваемых предприятий региона. В связи с тем, что естественный лед обладает сравнительно низкой прочностью и разрушается при температуре около нуля, усилия ученых и инженеров направлены на разработку методов упрочнения льда путем его армирования или добавки инертных материалов (древесной массы, стекловолокна и пр.), т.е. создания льдокомпозитных материалов. В качестве наполняющих лёд материалов в разное время исследовался большой спектр добавок от бумажной пульпы до высокомолекулярных соединений. Использование материала зависит от конкретных экономических и эксплуатационных факторов, характеризующих применение льдокомпозита.

Основной механической характеристикой определяющей безопасность использования того или иного варианта закладочной смеси (льдокомпозита) является мгновенная прочность, от величины которой зависит устойчивость потолочины. Поэтому в работе проведены исследования по определению механических характеристик (мгновенной прочности, длительной прочности, модуля деформаций и т.д.) смесей, использование которых может быть целесообразным в рассматриваемых условиях. Исходные инертные материалы были выбраны для лабораторных исследований исходя из их доступности в условиях криолитозоны – стеклобой, опилки и древесная пыль, металлическая фибра, резинокорд.

Прочность на сжатие определялась для кубических образцов 10х10х10 см. Скорость нагружения $\omega=60$ мм/мин. Температура замораживания образцов -20 °С (сутки), температура проведения экспериментов 0°C . Состав по массе: дроблённое стекло от 5 до 30% (гранулы >5 мм и мелкодисперсное порошкообразного стекло

диаметром $0,1 \div 1$ мм, содержание от 1 до 5 %) и песок от 1 до 7 %. Результаты испытаний представлены на рисунке 3. Получена эмпирическая формула для определения прочности на сжатие стеклобоя (достоверность аппроксимации 0,84):

$$\sigma_{сж} = 0,0078\rho - 2,75\sigma_0, \text{ МПа}, \quad (2)$$

где σ_0 – прочность льда без добавок для конкретных условий (в данном случае 2,1 МПа); ρ – плотность не замороженного состава, кг/м^3 .

На многих горных предприятиях существует проблема утилизации резинокордовых материалов (отработанные шины и др.), в связи с большими расходами по сбору и транспортировке к месту утилизации. В работе были проведены лабораторные исследования, целью которых являлось формирование замораживаемой закладки с использованием резинокордовой крошки, и дальнейшее испытание полученных образцов на предел прочности при одноосном сжатии. Необходимо отметить, что теплоизоляционные свойства такого материала значительно выше, чем у обычной льдопородной закладки. Скорость нагружения $\omega = 1$ мм/мин. Температура замораживания образцов -20°C (сутки). Размер образцов $10 \times 10 \times 10$ см. Результаты исследований представлены на графике (рисунок 4). Зависимость показывает, что резиновая крошка значительно уменьшает прочность по сравнению с замороженной смесью песка и воды. Главное преимущество использования такого льдокомпозиата – возможность утилизации резинокордовых отходов и значительно меньшая скорость таяния по сравнению с льдом.

Образцы льдокомпозиата на основе металлической фибры, при скорости нагружения $\omega = 3$ мм/мин имели прочность при сжатии от 2,5 до 4,4 МПа (при 14,5 % наполнителя по весу), от 2,2 до 3,6 (при 8% наполнителя), от 1,7 до 2,8 (при наполнителе от 1 до 4%). Прочность чистого льда для серии этих опытов равна 1,8 МПа.

Для уточнения данных по использованию различных составов для получения льдопородной закладки был проведен ряд опытов. Обобщая полученные данные, укажем средние результаты прочности на сжатие. По составу 1: $2,0 \div 5,3$ МПа; по составу 2: $2,1 \div 6,1$ МПа; по составу 3: $3,2 \div 5,0$ МПа; по составу 4: $1,8 \div 4,3$ МПа. Состав компонентов можно увидеть в таблице 1. Полученные

значения хорошо согласуются с результатами, полученными ранее другими исследователями.

Таблица 1 - Содержание компонентов в образцах(порода, песок, лёд)

Компоненты	Состав 1		Состав 2		Состав 3		Состав 4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Порода	70	2120	72	2050	75	1990	80	1960
Песок	20		20		14		-	
Лёд	10		8		11		20	

Примечание: 1 - содержание компонента по весу, %; 2 - плотность для всего не замороженного состава, кг/м³.

Полученные результаты позволяют обосновать геометрические параметры (высоту закладки с заданными свойствами слоя) закладочного массива, разработать новые технологические схемы отработки крутопадающих рудных жил малой мощности и обосновать их параметры. При этом разнородность и соотношение компонентов, входящих в состав промороженного закладочного слоя, позволяют управлять теплопроводностью, временем кристаллизации и физико-механическими свойствами при создании слоевых разнопрочных закладочных массивов в зависимости от геотехнологического назначения.

3. Разработанная технологическая схема отработки ценных руд с частичной закладкой выработанного пространства послойным намораживанием с обоснованным составом по содержанию и крупности компонентов позволяет повысить извлечение, снизить разубоживание руды и сократить время отработки блока.

Анализ и обобщение проведенных исследований позволило разработать технологическую схему отработки крутопадающей жилы малой мощности в условиях VII р.з. месторождения Лунное.

В период 2015/2017 гг. на VII р.з., проходили опытно-промышленные работы по применению слоевой системы отработки, в том числе с применением замораживаемой закладки (камера №2, гор. +872-886 м, блок 3С2-1). Целью опытно-промышленных работ стало определение технической возможности и экономической

целесообразности применения системы разработки горизонтальными слоями с льдопородной и породной закладкой выработанного пространства с селективной отбойкой руды в условиях VII р.з. месторождения Лунное. Подробная технологическая схема представлена на рисунке 5. Использование замораживаемой закладки позволило в дальнейшем отработать нижележащий междуэтажный целик (потолочину) при наименьших потерях и разубоживании. Также были испытаны следующие схемы формирования закладочного массива:

1) укладка слоя породной закладки с гранулометрическим составом ≤ 70 мм; упрочнение катком ДУ-26; отсыпка мелочи и упрочнение катком; слой породной закладки с фракцией 70 мм; упрочнение катком; отсыпка и уплотнение песка; проливка холодной водой;

2) укладка погрузочно-доставочной машиной прослоя из щебня; его уплотнение катком; отсыпка и уплотнение песка и так далее до образования закладочного слоя на всю мощность; прослой проливают охлаждённой водой таким образом, чтобы образовать льдопородную закладку на всю мощность слоя.

3) данный способ идентичен предыдущим, с той только разницей, что последний слой формируется из песка, на который укладываются теплоизолирующие вещества, а затем новый слой песка; мелкие фракции теплоизолятора заполняют свободное пространство между отдельностями и препятствуют дальнейшему распространению воды, что позволяет формировать упрочненный слой в заданном объёме.

Применение конкретного способа зависит от горно-геологической специфики и применяемого оборудования, и выбирается индивидуально для каждого месторождения. Разработанная технологическая схема по сравнению с ранее применявшейся подэтажной отбойкой руды, позволила снизить потери в 2 раза (с 8% до 4%), разубоживание в 1,5 раза (с 56% до 37%).

Поскольку отработка запасов крутопадающих жил зачастую производится под карьерами, то вопрос отработки подкарьерного целика является актуальным для существенного числа

рассматриваемых предприятий. Применение замораживаемой закладки будет способствовать снижению потерь и разубоживания руды при отработке подкарьерных запасов, исключит возможность проникновения поверхностных вод на нижележащие горизонты и в дальнейшем предохранит месторождения от сдвижения горных пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи создания эффективной ресурсосберегающей схемы отработки ценных руд крутопадающих жильных месторождений с закладкой выработанного пространства в условиях криолитозоны, позволяющей повысить извлечение руды (с 92% до 96%) при одновременном снижении ее разубоживания на 19 % (с 57% до 36%) и улучшении экологической ситуации в регионах отработки ценных рудных жил за счет уменьшения площади отвалов.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований:

1. Анализ направлений совершенствования технологических схем отработки ценных крутопадающих рудных жил с закладкой выработанного пространства показал, что наиболее целесообразно внедрять модернизацию используемых на конкретном месторождении технологий на базе использования послойного намораживания закладочного массива с заданными параметрами (мощность, несущая способность, используемые материалы, гранулометрический состав, теплоизоляционная способность и др.), что позволяет повысить извлечение ценных руд.

2. Повышение эффективности показателей рассматриваемых технологических схем наиболее существенно можно достичь при исключении межэтажных целиков путем внедрения льдопородной закладки с заданными свойствами и переходе на слоевую отбойку (и закладку) руды вместо подэтажной выемки (закладки).

3. Повышения эффективности отработки крутопадающих ценных рудных жил мощностью до 3 м необходимо осуществлять на базе внедрения закладки с новыми свойствами (прочностными и

теплоизоляционными) с обеспечением условий позволяющих интенсифицировать процессы намораживания до требуемых временных диапазонов, обусловленных принятой технологией и климатическими, горно-геологическими и горно-техническими условиями.

4. Замораживаемую закладку следует применять при возможности использования природного криоресурса. Наиболее целесообразно применять замораживаемую закладку при отработке целиков и подкарьерных запасов, при этом доставку руды из очистного пространства осуществлять ПДМ с дистанционным управлением.

5. При добавлении в дробленую породу песка уменьшается объем пустот в смеси и повышается её плотность, снижается коэффициент фильтрации, соответственно, повышается её водоудерживающая способность. Так, при введении в дробленую породу (со средним гранулометрическим составом - 25 мм) песка в количестве 17,5 % (по объёму), суммарная площадь поверхности компонентов в смеси увеличивается примерно в 6 раз. Прочность таких слоев в зависимости от их состава может быть рассчитана по разработанным зависимостям и может составить от 2,5 до 6 МПа.

6. В качестве теплоизолирующего слоя можно использовать песок с органическими соединениями (например, древесными опилками) или резинокордовой крошкой (отработанных покрышек), а прочностные свойства таких смесей необходимо рассчитывать по разработанным зависимостям.

8. Разработанная технологическая схема была рекомендована к внедрению, внедрена и получено положительное заключение о результатах внедрения: «применение системы разработки горизонтальными слоями с льдопородной закладкой, по сравнению с ранее применявшейся подэтажной отбойкой руды, позволило снизить потери в 2 раза (с 8% до 4%), разубоживание в 1,5 раза (с 56% до 37%)».

9. Разработанная в процессе выполненных исследований технологическая схема отработки ценных крутопадающих жил с закладкой ВП защищена 2 патентами на изобретения.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК

1. **Райс, В. В.** Исследование материалов и выбор оптимального состава закладочной смеси / **В. В. Райс**, О. В. Ковалёв // Естественные и технические науки. – Москва, 2018 – №8. – Вып.122.– С. 60-65.
2. **Райс, В.В.** Опыт разработки рудных месторождений Магаданской области с использованием замораживаемой закладки / **В. В. Райс**, О. В. Ковалёв // Естественные и технические науки. – Москва, 2018 – №8. – Вып.122.– С. 66-72.
3. **Райс, В.В.** Пайкерит в качестве строительного и закладочного материала / **В. В. Райс**, О. В. Ковалёв // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование-1. Материалы Международной научно-практической конференции. Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва, 2015. – Отдельный выпуск № 60-1. – С. 202-211.

Публикации в прочих изданиях:

4. **Райс, В.В.** Анализ прочностных свойств льда (тезисы) / **В. В. Райс**, О. В. Ковалёв // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: Тезисы докладов. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – С. 47-48.
5. **Райс, В.В.** Особенности создания геомеханической трехмерной модели месторождения криолитозоны / **В. В. Райс**, О. В. Ковалёв, А. А. Санковский // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва, 2017. – С. 205-211.
6. **Райс, В.В.** Особенности создания геомеханической трехмерной модели месторождения криолитозоны (тезисы) / **В. В. Райс**, А. А. Санковский // Промышленная безопасность предприятий

минерально-сырьевого комплекса в XXI веке: Тезисы докладов. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2016. – С.106.

7. **Райс, В.В.** Пайкерит в качестве закладочного материала (тезисы) / **В. В. Райс** // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: Тезисы докладов. – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С.36.

8. **Райс, В.В.** Пайкерит в качестве закладочного материала для рудников, расположенных в криолитозоне (тезисы) / **В. В. Райс**, О. В. Ковалёв // Полезные ископаемые России и их освоение: Тезисы докладов. – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С.17.

9. **Райс, В.В.** Пайкерит – льдокомпозит Второй мировой войны / **В. В. Райс**, О. В. Ковалёв, М. Н. Андреев // Лёд и Снег. – Москва, 2016. – №1. – Вып.56. – С. 119-127.

10. **Райс, В.В.** Пайкерит – строительный и закладочный материал для арктических территорий (тезисы) / **В. В. Райс**, О. В. Ковалёв // Труды XXI Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2017. – Том 2. – С. 590-591.

11. **Rays, V. V.** Pykrete as backfill material / **V. V. Rays** // Scientific Reports on Resource Issues. – Freiberg, 2015. – V.1. – P. 175-177.

Патенты:

12. Патент №2570698 Российская Федерация МПК Е 21 F 15/08, Способ возведения закладочного массива при разработке месторождений в условиях многолетней мерзлоты / С. П. Мозер, О. В. Ковалев, **В. В. Райс**, К. В. Созонов; заявл. 18.11.2014; опубл. 10.12.2015, бюл. № 34. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – № 2014146323/03. – 7 с.

13. Патент №2602565 Российская Федерация МПК Е 21 F 15/08, Способ возведения закладочного массива / О. В. Ковалев, А. Ф. Галкин, **В. В. Райс**; заявл. 16.11.2015; опубл. 20.11.2016, бюл. № 32. Санкт-Петербургский Горный университет. – № 2015149099/03. – 5 с.

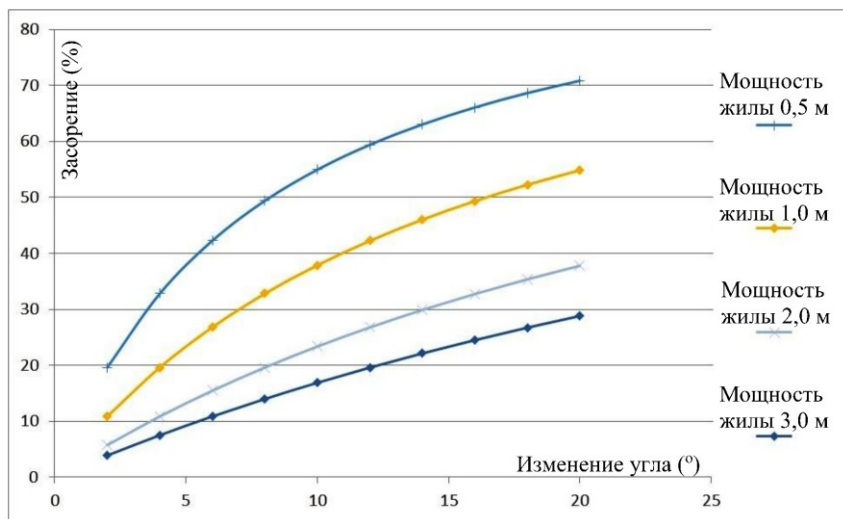


Рисунок 2 - Зависимость засорения руды (%) от изменения угла (°) залегания жилы в пределах взрываемого веера (при длине веера 14 м)

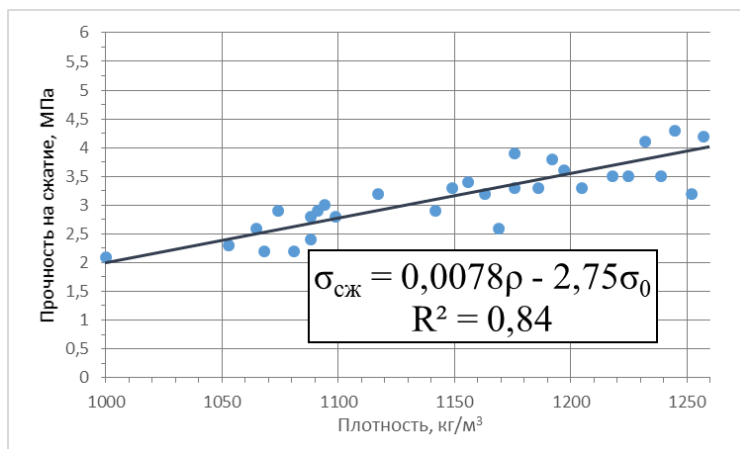


Рисунок 3 - Прочность на сжатие замороженного стеклобоя с добавками песка

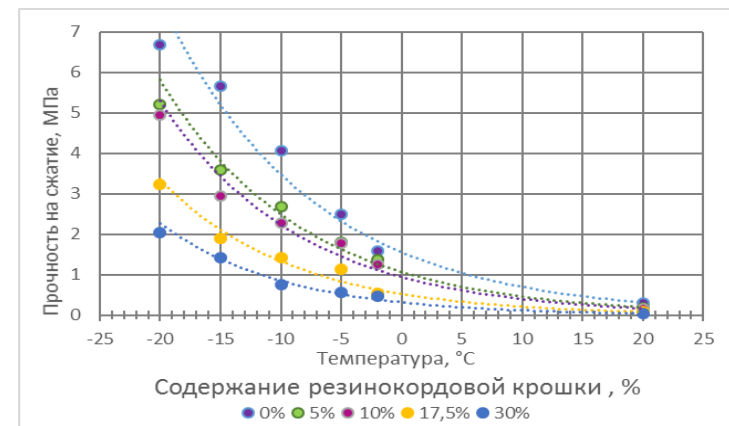


Рисунок 4 – Прочность на сжатие замороженной смеси песка и резинокордовой крошки

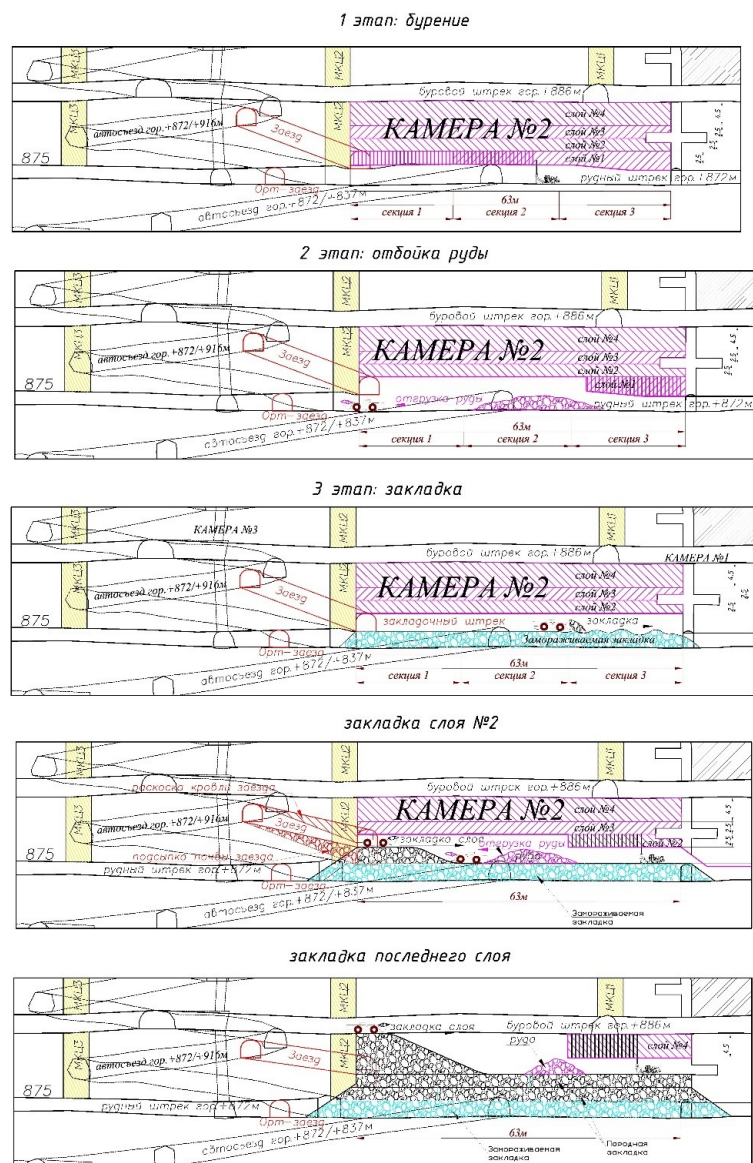


Рисунок 5 - Система разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства с селективной отбойкой руды