

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской  
академии наук

На правах рукописи

ПЕТРОВ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ФОРМИРОВАНИЯ ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ  
РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

Специальность 25.00.22

«Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
Необутов Геннадий Павлович,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

Якутск – 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр
Введение .....	4
1. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ РУДЫ С ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКОЙ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	
1.1. Состояние, перспективы и особенности эксплуатации рудных месторождений Якутии .....	10
1.2. Анализ и обобщение опыта использования льдопородной закладки при разработке месторождений полезных ископаемых криолитозоны .....	19
1.3. Краткая характеристика изученности вопроса исследования структуры и свойств льдопородных материалов .....	26
1.4. Цель и задачи исследований .....	33
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКИ И ДИНАМИКИ ЕЁ ПРОМЕРЗАНИЯ.	
2.1. Исследование особенностей применения льдопородной закладки на руднике Бадран.....	36
2.2 Экспериментальные исследования формирования структуры льдопородной закладки и динамики ее промерзания на образцах .....	51
2.3. Экспериментальные исследования изменения прочностных свойств льдопородной закладки в зависимости от условий ее формирования .....	58
Выводы .....	80
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И	

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕНЯЕМОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ.

3.1. Выбор параметров конструктивных элементов системы разработки и определение нормативной прочности льдопородной закладки.....	84
3.2. Прогноз продолжительности формирования льдопородного целика в зависимости от горно-геологических условий, температуры промораживания и его конструктивных параметров .....	95
3.3. Рекомендации по выбору оптимальных параметров формирования льдопородной закладки.....	104
Выводы .....	114
4. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБОСНОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ДОБЫЧИ РУДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКИ.	
4.1. Рекомендации по повышению эффективности применения льдопородной закладки .....	116
4.2. Практические рекомендации по совершенствованию технологических схем отработки рудных тел с использованием льдопородной закладки.....	125
Выводы .....	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	135
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	137
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	152

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** Одним из перспективных направлений совершенствования геотехнологий, обеспечивающих рациональное освоение месторождений криолитозоны, является повышение эффективности систем разработки с управлением горным давлением закладкой из льдопородных смесей. К основным преимуществам технологии относятся: высокое извлечение минерального сырья при эффективном поддержании выработанного пространства, не требующего затрат на дорогостоящие материалы; возможность ее комбинирования с оптимальными вариантами других систем для отработки участков месторождений с относительно низким содержанием полезного ископаемого; снижение ущерба окружающей среде за счет использования пустых пород в качестве закладки, что способствует уменьшению площадей, занятых отвалами горных пород.

В Якутии технология добычи руды с заменой рудных целиков на искусственные из льдопородной закладки с использованием переносного оборудования, разработанная Институтом горного дела Севера им. Н.В.Черского СО РАН, в промышленных масштабах внедрена на золоторудном месторождении Бадран, где значительно улучшены показатели извлечения руды по сравнению с ранее применявшейся камерно-столбовой системой разработки.

Анализ результатов научно-исследовательских работ, посвященных вопросам совершенствования технологии подземной разработки месторождений криолитозоны с применением льдопородной закладки, свидетельствует о недостаточном уровне изученности вопросов ее формирования, зависимости прочностных характеристик льдопородных целиков от термовлажностных условий и технологии их возведения и, как следствие, необходимости создания научно обоснованных рекомендаций по повышению эффективности использования данной технологии для различных термомеханических условий ведения горных работ.

В связи с вышеизложенным, обоснование рациональных параметров формирования льдопородных целиков требуемой нормативной прочности, способствующих повышению эффективности применения технологии добычи руды с льдопородной закладкой, является актуальным.

Исследования по теме проводились в рамках этапов плановых научно-исследовательских тем ИГДС СО РАН – «Обоснование и разработка концепции и основ конструирования мобильных геотехнологий рационального освоения недр криолитозоны, адаптированных к кластерной организации рудного вещества (2004 – 2006 гг., № гос. рег 01.20.0408610)», «Разработка концепции и основ конструирования эффективных геотехнологий освоения и сохранения недр криолитозоны, в том числе адаптированных к кластерной организации рудного вещества (2007 – 2009 гг., № гос.рег. 01.2.00706516)», гранта РФФИ р98 Арктика №03-05-96023 «Закономерности нагружения и нелинейного деформирования искусственных целиков при подземной отработке месторождений криолитозоны Арктики», а также ряда хоздоговорных работ.

**Объект исследования** – подземная разработка рудных месторождений криолитозоны с льдопородной закладкой.

**Основная идея работы** заключается в использовании закономерностей изменения прочностных свойств льдопородного закладочного материала и особенностей его формирования при обосновании конструктивных параметров системы разработки в зависимости от различных геомеханических, геокриологических и климатических условий отработки месторождения.

**Целью работы** является обоснование рациональных параметров формирования льдопородных целиков требуемой нормативной прочности при подземной разработке месторождений криолитозоны, обеспечивающих повышение производительности и безопасности горных работ.

Для достижения поставленной цели предусматривается решение следующих **основных задач**:

- оценить опыт применения систем разработки с смерзающей закладкой и установить ее преимущества и недостатки;

- выявить особенности формирования структуры льдопородной закладки и изменения ее прочностных свойств в зависимости от конструкции, крупности фракций, формы частиц твердого заполнителя, а также термовлажностных условий разработки;

- выполнить математическое моделирование тепловых процессов в закладочном массиве при различной степени его увлажнения, толщине слоя и температуре воздуха для горно-геологических условий разработки месторождения Бадран;

- с использованием установленных зависимостей разработать методические рекомендации по выбору рациональных параметров технологии формирования льдопородной закладки для различных геомеханических и геокриологических условий разработки месторождения и технологических параметров применяемой системы разработки;

- разработать практические рекомендации по применению технологических схем отработки рудных тел криолитозоны с льдопородной закладкой, с учетом горно-геологических и горнотехнических условий их разработки, обеспечивающие повышение производительности и безопасности горных работ.

**Методы исследований.** В работе использован комплекс методов, включающий анализ и обобщение результатов ранее выполненных исследований, лабораторные и натурные исследования процессов возведения льдопородной закладки; математическое моделирование, статистическую и аналитическую обработку полученных результатов.

**На защиту выносятся:**

- результаты экспериментальных исследований прочностных свойств льдопородной закладки в зависимости от ее конструкции (количество намораживаемых слоев), технологии возведения, водопородного соотношения, гранулометрического состава и формы частиц наполнителя, температуры и естественной влажности горных пород и очистного пространства;

- методические рекомендации по обоснованию конструктивных параметров и технологии возведения льдопородной закладки при различных геомеханических

и температурных условиях разработки месторождений криолитозоны, отличающиеся учетом ее свойств, закономерностей формирования и взаимодействия с массивом многолетнемерзлых пород, позволяющие обеспечить нормативную прочность закладки, сократить продолжительность закладочных работ в 1,5 – 2 раза, повысить производительность труда и безопасность горных работ.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- экспериментально установлено, что применение конструкции льдопородной закладки, формируемой послойным намораживанием пород, позволяет повысить ее нормативную прочность в 2 – 2,5 раза;

- установлено, что увеличение содержания частиц дробленых горных пород лещадной и игловатой формы в смерзающейся закладке с 10% до 40% снижает ее прочностные характеристики в 1,5 раза;

- по результатам математического моделирования тепловых процессов при послойном намораживании закладки в наклонной подземной горной выработке с учетом ее конструктивных характеристик, обоснованы рациональные режимы и параметры закладочных работ (мощность слоя 0,4 - 0,5 м, водопородное соотношение 1 : 3);

- экспериментальными исследованиями установлено, что оптимальное (равномерное) распределение льда-цемента в льдопородной закладке достигается при температуре очистного пространства блока минус 20°C;

- разработаны рекомендации по повышению эффективности применения технологии с льдопородной закладкой на основе использования новых способов: выемки междукамерных рудных целиков (патент РФ на изобретение №2249112); сокращения продолжительности промораживания закладки; повышения устойчивости искусственных целиков; снижения трудо-материалоемкости крепления очистных камер.

**Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций**, сформулированных в диссертации, подтверждается сходимостью результатов экспериментов и аналитических расчетов с фактическими данными производства

подземных горных работ, представительным объемом исследований, выполненных в лабораторных и натурных условиях по апробированным методикам.

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач, проведении натурных и лабораторных исследований закономерностей изменения структуры и прочностных характеристик льдопородного материала в зависимости от конструкции, состава и термовлажностных условий его формирования, обработке результатов экспериментов и разработке методических рекомендаций по повышению эффективности применения льдопородных целиков при разработке месторождений криолитозоны.

**Практическая значимость диссертационной работы** заключается в том, что разработанные рекомендации по повышению эффективности применения технологии добычи руды с закладкой из промораживаемых водопородных смесей с использованием самоходного оборудования позволят расширить область ее применения, повысить производительность труда и безопасность ведения горных работ, уменьшить потери и разубоживание при разработке месторождений полезных ископаемых криолитозоны при минимальном расходе дорогостоящих материалов и снижении ущерба окружающей среде за счет сокращения объема пустых пород, складироваемых в отвалы.

Разработанные рекомендации в виде отчетов о НИР переданы для дальнейшего использования институту Якутнипроалмаз и руднику «Айхал» Айхальского ГОКа «АК АЛРОСА» для отработки слепого рудного тела месторождения трубки «Айхал»; ЗАО ГРК «Западная» для повышения эффективности отработки рудных столбов месторождения «Бадран» с использованием льдопородной закладки (Приложение А).

**Апробация результатов работы.** Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на IV Евразийском симпозиуме «Тепломассоперенос и термомеханика дисперсных сред» (г. Якутск, 2008); международных научно-практических конференциях: «Мирный 2001» (г. Мирный, 2001), «Проблемы и перспективы комплексного освоения



месторождений полезных ископаемых криолитозоны» (г. Якутск, 2005), «Проблемы и перспективы развития горных наук» (г. Новосибирск, 2005); российских: «Безопасность горного производства в Республике Саха (г. Якутия)» (г. Якутск, 2008), «Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная памяти чл.-кор. РАН Новопашина М.Д.» (г. Якутск 2011); региональных: «Исследования по инженерно-физическим проблемам Севера» (г. Якутск, 2002), Конференция молодых ученых и аспирантов, посвященная 370-летию г. Якутска (г. Якутск, 2002), «Минерально-сырьевые ресурсы и освоение недр Якутии» (г. Якутск, 2007); на научных семинарах лаборатории ПРОМСР ИГДС СО РАН и расширенных заседаниях Ученого совета Института горного дела им Н.В.Черского СО РАН (г. Якутск, 2009-2014).

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 32 работах, из них 14 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получен 1 патент РФ на изобретение.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 154 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка, 11 таблиц, 2 приложения, список литературы из 125 наименований.

Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю, сотрудникам Института горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, работникам ЗАО «Горно-рудная компания «Западная» и Айхальского ГОКа АК «АЛРОСА», а также всем коллегам, оказавшим консультации и помощь при выполнении работы.

# 1. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ РУДЫ С ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКОЙ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1. Состояние, перспективы и особенности эксплуатации рудных месторождений Якутии

Криолитозона – верхняя часть литосферы, характеризующаяся отрицательной температурой пород, содержащих ледяные включения. Нижняя граница многолетнемерзлых горных пород криолитозоны может достигать до 1,5 км. Эта территория, занимающая 25% площади суши земного шара, характеризуется экстремальными климатическими условиями, малой плотностью населения, слабо развитой инфраструктурой и транспортной сетью.

В криолитозоне сосредоточены значительные запасы полезных ископаемых - золота, серебра, платины, вольфрама, олова, молибдена, меди, цинка, свинца, алмазов, редких земель, оптического кварца, угля, железа и других. При этом месторождения характеризуются высоким качеством, комплексным составом полезных ископаемых и небольшой глубиной залегания [1, 2]. Промышленное освоение месторождений полезных ископаемых криолитозоны имеет сравнительно короткую историю и связано с бурным развитием промышленности в 20-м веке.

Якутия, территория которой на 80% расположена в криолитозоне, была и остается крупнейшим минерально-сырьевым регионом России. Освоение и сохранение ее недр представляют собой совокупность важнейших технических, социально-экономических и экологических проблем.

Анализ различных геологических материалов [1, 2, 3, 4, 6] показывает, что на начало 2001 года государственным балансом полезных ископаемых по республике учитывалось 39 видов минерального сырья в 1145 месторождениях.

Сырьевая база алмазов сосредоточена в западной части республики, в Якутской алмазонасной провинции, и представлена 13 коренными и 21 россыпными месторождениями. При общей хорошей обеспеченности запасами алмазодобывающих предприятий на основных коренных месторождениях достигнуты предельные глубины для открытой добычи, что предопределяет переход на подземную добычу и решение связанных с этим усложняющихся технологических и экономических вопросов.

Минерально-сырьевая база Якутии по золоту является одной из наиболее крупных и освоенных в России. Сырьевая база представлена 786 месторождениями, в том числе 733 россыпными, содержащими 41,0 % запасов, 51 коренным золоторудным — 59,0 % запасов и 2 комплексными с небольшими запасами попутного золота. Имеющаяся сырьевая база, при сохранении положительных тенденций в развитии экономики Российской Федерации, позволяет наращивать объемы добычи в 2-3 раза к уровню 1998 г. Важным условием её роста является вовлечение в полноценное освоение Куранахского, Нежданинского и Кючусского золоторудных месторождений.

Республика Саха (Якутия) располагает самой крупной и высококачественной сырьевой базой олова в России, представленной 10 коренными и 39 россыпными месторождениями, содержащими, соответственно, 28 % и 72 % запасов олова Российской Федерации, а также крупнейшим прогнозным потенциалом.

Якутия располагает самой крупной и богатой сырьевой базой по сурьме в России и является монополистом по добыче этого сырья. По экономическим и организационным причинам добыча сурьмы снизилась с 13–15 тыс. т сурьмы в концентрате в 1993 г. до 4,5 тыс. т. в 2000 году.

На базе разведанных и утвержденных в 1999 г. ГКЗ России запасов ниобия и редкоземельных элементов по Томторскому месторождению, расположенному

на северо-западе Якутии, подготовлена к промышленному освоению крупная богатая минерально-сырьевая база по ниобию и редким землям иттриевой группы, способная, при полноценном освоении, обеспечить потребности России и стран СНГ на длительную перспективу. Имеются перспективы расширения масштабов сырьевой базы, которые целесообразны к реализации после вовлечения Томтора в освоение.

В Якутии расположены крупные запасы урановых руд, сосредоточенные в Южно-Якутском районе. Руды труднообогатимы, что сдерживало вовлечение их в промышленную отработку, однако в настоящее время ведутся геологоразведочные работы по освоению Эльконского месторождения ураносодержащих руд.

Все месторождения (кроме Лебединского) расположены в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты. Температура пород составляет от минус 4 – минус 5°С (Юрское, Дуэтское месторождения) до минус 10 – минус 12°С (Кыллахское месторождение). Наличие криолитозоны обуславливает постоянный отрицательный температурный режим подземных горных выработок.

Криолитозона оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на различные процессы горного производства, его безопасность и эффективность [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Большинство рудных тел представлены крутопадающими маломощными жилами. Нередко на одном месторождении (Нежданинское, Лебединское, залежи Дуэтского типа) имеется несколько типов рудных тел, горно-геологические условия которых в значительной степени отличаются друг от друга. В больших пределах различаются физико-механические свойства руд и пород и, как следствие, устойчивость руд и вмещающих пород. На жильных месторождениях наблюдаются четкие контакты по висячему и лежащему бокам руды с вмещающими породами, рудные зоны ограничены расплывчатыми, нечеткими контактами.

Краткая характеристика ряда рудных месторождений Якутии представлена в таблице 1.1 [11].

Таблица 1.1. – Краткая горно-геологическая характеристика некоторых месторождений руд цветных и благородных металлов Якутии [11].

Месторождение, рудник	Тип руд	Форма рудных тел	Угол падения, град.	Мощ- ность м	Кoeff. крепости		Устойчивость		Система разработки	Потери разубож %
					руды	вмещаю- щих пород	руды	вмещаю- щих пород		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Бадран	Золоторудный	Рудные зоны (столбы)	21-34	0,5-3,6	14-16	от 3-4 до 14	Средней устойчи- вости	Неустой- чивые.	Камерная с льдопородной закладкой	<u>0-3</u> 17-21
Булар	Золоторудный	Жильная	75-80	0,5-1,2	13-16	13-16	Устойч.	Устойч.	С магазинированием	<u>5-7</u> 44,5
Дуэт	Золоторудный	Жильные сложного залегания (кулисо- образные)	0-45	0,2-3	12-18	10-16	Устойч.	Средней устойч.	Длинными панелями по простиранию, с магазинированием	<u>5-11</u> 57-63
Депугатское	Оловорудный	Рудные зоны с жилами	50-85	0,3-4,5	8-20	14-15	Устойч.	Неуст..	С магазинированием руды, под этажными штреками	<u>22,3</u> 35,0
Задержнинское	Золоторудный	Жильные	60-70	0,1-2	10-12	10-12	Устойч.	Устойч.	С магазинированием руды блоками	<u>6,3</u> 45
Лебединское	Золоторудный	Жилы и метасомати- ческие залежи	70	0,4-1 реже 6-8	3-5	7-8	Неуст..	Средне устойч.	Сплошным забоем по простиранию вертика- льными слоями с креплением	<u>30</u> 50,2
Малтан	Золоторудный	Жильные	55-70 до 85	0,5-2 до 5,5	8-14	8-15	Средней устойч.	Устойч.	Комбинированный способ	<u>2,8</u> 13,1
Нежданинское	Золото- серебряный	Рудные зоны с прожилко- ванием	55-80	0,2-4,8	15-16	15-16	Неуст.	Средней устойч.	С магазинированием руды блоками, под этажными штреками	<u>8-12,5</u> 17-19

Продолжение таблицы 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Оночалах	Золоторудный	Жилы сложные с разрывами и разветвлениями	0-90	0,2-3	10-14	10-14	Устойч.	Устойч.	Сплошная при отработке пологой части блока и с магазинированием руды	<u>7-8</u> 32-37
Сарылах	Сурьмяно-золотой	Жильные рудные тела	60-70	0,2-5,2	9	7	Неуст.	Неуст.	С магазинированием руды блоками, с закладкой	<u>4,6-6,5</u> 30,4
Чурпунья	Оловорудный	Жилообразная с невыдержанной мощностью с частыми раздувами	65-80	3,5-4	12-18	12-18	Устойч.	Устойч.	С магазинированием руды и отбойка с подэтажных штреков глубокими скважинами	<u>8-10</u> 28-30
Юрский	Золоторудный	Мелкоскладчатые кварцевые жилы ленточной формы	0-80	0,2-0,3 до 2,5	16-20	17-18	Устойч.	Устойч.	Сплошная, узкими длинными панелями по простиранию	<u>8-12</u> 49-63
Сентачанское	Золото-сурьмяной	Кварц-антимонитовые жилы	50-80		12-14	12	Устойч.	Устойч.	С магазинированием руды	Временно законсервировано
Верхнее Менкече	Серебро-свинцовый	Рудные зоны	80-85	2-8,5	16-18	от 6-10 до 16-18	Устойч.	Устойч.	–	–
Кючюс	Золоторудный	Жильные кулисообразные	60-80	1,1-4,5	8-10	10-12	Устойч.	Средней устойчив.	–	–
Сардана	Свинцово-цинковый	Форма рудных тел субпластовая	70-80	1-6 до 21	8-12	10-12	Устойч.	Устойч.	–	–
Якутское	Золоторудный	Рудные зоны, жилы	60-85 до 40-45	0,64-1,81 до 3-4	10-12	10-12	Устойч.	Устойч.	–	–

К условиям, облегчающим подземную разработку рудных месторождений, относятся:

- повышенная несущая способность и устойчивость мерзлых пород;
- отсутствие притоков воды в горные выработки в пределах мерзлой породной толщи;
- весьма малая газоносность и низкая газопроницаемость пород в мерзлом состоянии;
- низкая интенсивность окислительных процессов в выработках с отрицательной температурой воздуха и окружающего породного массива.

Условия, осложняющие работу рудников в криолитозоне, следующие:

- низкие температуры в выработках, ухудшающие санитарно-гигиенические условия труда и затрудняющие борьбу с интенсивным пылеобразованием;
- слабая устойчивость пород в переходной и подмерзлотной зонах месторождения;
- опасность оледенения выработок при проникновении поверхностных вод по трещинам и ореолам оттаивания пород, а также заиндевение поверхности выработок при прохождении по ним теплого воздуха;
- возможность смерзания руды в очистном пространстве, в бункерах и транспортных сосудах в случае контакта с водой или теплым воздухом;
- повышенная энергоемкость разрушения мерзлых пород;
- очень низкая электропроводность мерзлых пород, исключая возможность обычных способов заземления электрооборудования;
- повышенная газоносность, обводненность и трещиноватость пород ниже границы мерзлой толщи;
- неравномерное распространение мерзлых горных пород.

Кроме того, в связи с увеличением глубины разработки, переходом горных работ из зоны многолетнемерзлых горных пород в зону с положительной температурой, ожидается ухудшение устойчивости вмещающих горных пород, значительное увеличение разубоживания руды вмещающими породами.

Экспериментальными исследованиями [11] установлено, что на месторождении Бадран с понижением глубины разработки и переходом массива мерзлых пород в талое состояние предел прочности образцов вмещающих пород на одноосное растяжение существенно возрастает при неизменных средних значениях пределов прочности на одноосное сжатие, при этом устойчивость обнажений в горных выработках значительно снижается (рисунок 1.1). Сравнение полученных результатов с ранее установленными данными показало, что, например, предел прочности на растяжение на глубине 400 м (температура массива пород  $0 \div$  плюс  $2^\circ\text{C}$ ) у песчаника в 2 раза, у милонита в 4,8 раза выше, чем аналогичные параметры на глубине 50 м (температура массива пород минус  $7 \div$  минус  $8^\circ\text{C}$ ). Увеличения средних значений пределов прочности на сжатие не выявлено.

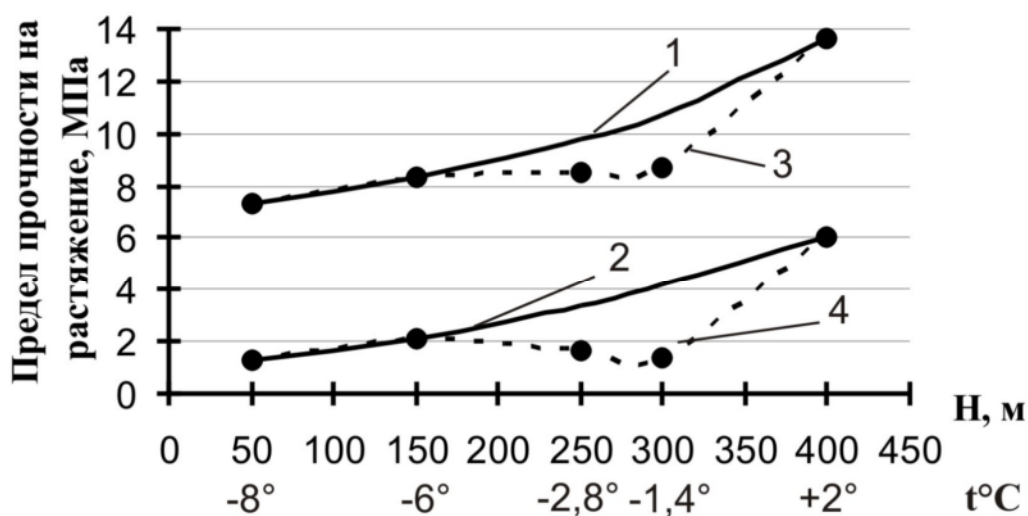


Рисунок 1.1. – Зависимость предела прочности на растяжение образцов вмещающих пород месторождения Бадран от температуры массива и глубины разработки: 1, 2 – по предварительным данным соответственно для песчаника и милонита; 3, 4 – по уточненным данным соответственно для песчаника и милонита.

При этом визуальными обследованиями обнажений в горных выработках установлено, что милониты на горизонтах, расположенных в многолетнемерзлой



зоне, относятся к неустойчивым, а в подмерзлотной – весьма неустойчивым. Данное обстоятельство обусловлено снижением естественной влажности (в ~4 раза), растеплением массива пород, их блочностью и высокой трещиноватостью, отсутствием в порах и трещинах пород подмерзлотных горизонтов льда, как цементирующего материала.

Одним из основных путей повышения эффективности комплексного освоения недр является совершенствование систем эксплуатационного опробования, управления запасами и качеством полезных ископаемых, технологий добычи и глубокой переработки минерального сырья. В связи с этим возникает необходимость научного обоснования перспективных ресурсосберегающих технологий нового качественного уровня для освоения месторождений криолитозоны, позволяющих рационально использовать недра с минимальным экологическим ущербом [8].

Проведенный анализ научно-технической литературы позволяет сделать следующие выводы.

Рудные месторождения Якутии, разрабатываемые подземным способом и имеющие перспективы к разработке системами с использованием льдопородной закладки, по горно-геологическим условиям можно разделить на три основных типа.

Первый тип – рудные тела малой мощности с крутым углом падения. К этому типу относятся большинство разрабатываемых золоторудных месторождений в восточной части республики, а также золото-сурьмяные и оловорудные месторождения.

Второй тип – кимберлитовые трубки Западной Якутии и их спутники, мощные и весьма мощные рудные тела, также с крутым углом падения.

Третий тип – рудные тела средней мощности, имеющее наклонное залегание. В настоящее время разрабатывается только одно такое месторождение – Бадранское золоторудное, расположенное в северо-восточной части региона.

Большинство месторождений первого типа разрабатываются вариантами системы с магазинированием руды. В небольшом объеме при отработке раздувов применяется система подэтажных штреков.

Месторождения второго типа разрабатываются системами с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями и системой с подэтажной отбойкой и обрушением вмещающих пород.

Бадранское золоторудное месторождение разрабатывается камерной системой с льдопородной закладкой и камерно-столбовой системой.

Все месторождения расположены в труднодоступных районах республики с неразвитой транспортной сетью. Стоимость завоза больших объемов материалов и оборудования существенно влияет на себестоимость добычи. В связи с этим многие предприятия вынуждены применять системы разработки не позволяющие минимизировать потери и разубоживание ценных и весьма ценных руд.

Вместе с тем, как показал обзор и анализ литературы, [6, 8, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 46] в мировой и отечественной практике разработки месторождений криолитозоны существует опыт решения этих проблем применением вместо твердеющих закладочных материалов льдопородной закладки. Применение камерных систем разработки с смерзающейся закладкой на руднике Поларис в Северо-Западной Канаде и на руднике Бадран в Якутии показало не только техническую возможность, но и экономическую эффективность использования льдопородной закладки.

## 1.2 Анализ и обобщение опыта использования льдопородной закладки при разработке месторождений полезных ископаемых криолитозоны

В настоящее время количество месторождений ценных руд разрабатываемых подземным способом с управлением горным давлением закладкой выработанного пространства, неуклонно увеличивается. Это связано как с стремлением снизить потери полезных ископаемых, возрастающих по мере осложнения геомеханической обстановки, так и с другими факторами – обеспечением безопасности ведения работ, необходимостью сохранения земной поверхности и утилизацией отходов горного производства.

Системы разработки с закладкой в полной мере позволяют обеспечить безопасность ведения горных работ, достаточную полноту извлечения полезных ископаемых при минимальном их разубоживании, сохранности земной поверхности, утилизации части отходов производства складированием в подземных емкостях [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

На горных предприятиях в основном применяют закладку твердеющим закладочным материалом на основе цемента и других вяжущих, однако его использование в отдаленных районах Северо-Востока России связано со значительными материальными и трудовыми затратами. Большинство рудников Якутии размещаются в малообжитых районах в стороне от централизованных источников энергоснабжения, в районах Крайнего Севера или приравненных к таковым [6, 8, 11]. Это затрудняет материально-техническое снабжение предприятий, комплектацию производства квалифицированным персоналом, предопределяет необходимость иметь собственные источники электроэнергии, теплоснабжения, лесозаготовительные участки. Все это отражается не только на структуре предприятий и показателях их работы, но в определенной степени и на

технологии горных работ. Например, отсутствие в регионе дешевых компонентов для приготовления твердеющих смесей зачастую не позволяет применять системы разработки с твердеющей закладкой. Поэтому ряд горнодобывающих предприятий, ведущих подземную разработку месторождений криолитозоны, вынуждены применять системы разработки, не позволяющие избежать значительных потерь и разубоживания.

Одним из путей решения данной проблемы в условиях криолитозоны является применение в качестве закладки промораживаемых водопородных закладочных смесей (льдопородная закладка). В мировой и отечественной практике разработки месторождений криолитозоны существует опыт применения вместо твердеющих смерзающихся закладочных материалов [6, 8, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 46]. Данная технология предусматривает использование в качестве материала закладки отходы горного производства – в основном вмещающие породы от проходческих работ. Процесс затвердевания закладки производится за счет отрицательных температур воздуха и массива горных пород. Ввиду этого себестоимость льдопородной закладки значительно ниже, чем у аналогичных закладочных составов, например на цементной основе.

Промышленные испытания по использованию льда и льдопородной закладки наиболее интенсивно начали производиться в сороковые годы. Анализ и обобщение практического применения в горной промышленности технологии с замораживаемой закладкой впервые были проделаны В.П. Бакакиным [18].

Исследования института ВНИИ-1 в 1981 – 1986 гг. позволили установить, что для рудников Северо-Востока приемлемы системы разработки с закладкой замораживаемыми закладочными смесями, при этом полностью исключается необходимость применения дорогостоящего и дефицитного цемента и других вяжущих [19].

Детальный обзор и анализ практического применения в горной промышленности технологии с смерзающейся закладкой приведен в работах Ю.В. Морозова [20] и Г.П. Необутова, В.Г. Гринева [8], где в частности показано, что

при низкой себестоимости системы разработки и возможности разрабатывать даже бедные руды, производительность закладочных работ довольно невысокая и отстает от очистных работ. Причинами этого являются сложность создания плотного контакта закладки с массивом вмещающих пород, длительность набора льдопородным массивом нормативной прочности и возрастание трудоемкости производства закладочных работ с понижением горных работ. В связи с этим в работе [20] предложены технологические схемы, предполагающие широкое внедрение самоходной техники, включая и комплексы машин с монорельсовым перемещением, а также криогенной техники, передвижных замораживающих установок.

В монографии Г.П. Необутова, В.Г. Гринева [8], являющейся обобщением результатов многолетних исследований, проведенных ИГДС СО РАН, сделан вывод, что в современных условиях, когда экономическая целесообразность является важнейшим критерием оценки технологии, создание и обоснование новых вариантов систем подземной разработки месторождений полезных ископаемых с смерзающейся закладкой выработанного пространства должно основываться на максимальном учете северной специфики.

Особая ценность указанных работ состоит в детальном анализе патентных и литературных источников до 1986 г. с глубиной поиска 50 лет.

Научными организациями, доминирующими в решении комплекса задач рационального применения данной технологии, являются ВНИИ-1, ВНИМИ, ЛГИ, ВНИПИГорцветмет, ИГДС СО РАН.

Промораживание закладочной смеси, смоченной водой, основано на использовании энергии естественного холода и осуществляется за счет отвода тепла кристаллизации в воздух, в предварительно охлажденную смесь и окружающий горный массив.

По данным М.Н. Цыгалова и П.Э. Зуркова, достаточная прочность материала искусственных целиков должна быть не менее 2 – 3 МПа. [22]

По данным ВНИИ-1 прочность замороженного массива в зависимости от состава смеси 2 – 6 МПа, что вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к закладочному материалу [23].

Опытно-промышленные испытания на руднике им. А. Матросова [23, 24] показали, что, несмотря на существование у рассматриваемой технологии определенных узких мест, в целом удорожание работ в 1,1 раза по сравнению с применяемой системой разработки с магазинированием является незначительным.

При разработке Наталкинского месторождения (рудник им. А. Матросова) по мере углубления и перемещения горных работ на фланги отказ от перехода на системы разработки с закладкой институт ВНИИ-1 мотивировал влиянием следующих основных горно-технических факторов:

- возможность использования сыпучего закладочного материала существенно осложнена условиями нагорного типа месторождения, отличающегося к тому же значительной разбросанностью очистных блоков, что вызывает необходимость организации подъема и транспортирования закладочного материала по вентиляционным горизонтам, как правило, находящимся в неудовлетворительном состоянии;

- неизбежность при системе разработки горизонтальными слоями с закладкой обнажения боков очистного пространства на высоту до двух слоев (около 5 м).

Основным результатом экспериментальных работ является доказательство возможности применения льдопородной закладки в условиях рудника.

В Якутии послойное намораживание закладочного материала из пустых пород с применением самоходной техники с целью поддержания массива пород проводилось в небольшом объеме на руднике Нежданинском ПО "Якутзолото"[25].

В работах В.И. Емельянова, Г.А. Каткова и Ю.В. Михайлова [26, 27] приведены сведения о технологических вариантах добычи ценных руд в условиях криолитозоны, разработанных применительно к маломощным (0,8 – 3 м), средней

мощности (3 – 20 м) и мощным (более 20 м) рудным, а также многолетнемерзлым россыпным месторождениям с глубиной залегания продуктивного пласта свыше 15 м и прошли опытно-промышленную проверку на Дукатском ГОКе, Калгутинском вольфрамо-молибденовом руднике, при разработке россыпных месторождений Полярнинского ГОКа. Отдельные технологические процессы испытаны в натуральных условиях Норильского ГМК, Ловозерского ГОКа, комбината «Апатит», рудника «Холтосон» Джидинского ВМК, Текелийского ГОКа и др.

Ю.В. Михайлов в своей работе [27] в частности отмечает, что опытно-промышленное внедрение вариантов систем разработки с применением льдопородной и ледяной закладки на Дукатском ГОКе, Калгутинском вольфрамо-молибденовом руднике и Полярнинском ГОКе (при разработке россыпных месторождений) позволило:

увеличить в 1,5 – 2 раза производительность труда забойного рабочего;  
снизить с 30 до 2,9 % эксплуатационные потери руды и с 40 до 22 % ее разубоживание;

увеличить до 0,95 – 1 коэффициент использования шпура;

улучшить условия и качество эксплуатационной разведки, позволившей дополнительно получить ценную руду из присечек;

обеспечить безопасность ведения горных работ благодаря улучшению вентиляции рабочих мест и снижению пожароопасности;

повысить уровень механизации основных технологических процессов и сократить объем ручного труда;

улучшить экологическую обстановку за счет снижения объема отвалов пустых пород, используемых для формирования закладочного массива.

Практический опыт применения смерзающихся закладок при разработке месторождений полезных ископаемых в криолитозоне имеется и за рубежом.

На свинцово-цинковом руднике Полярис в северной Канаде использовалась подэтажная система разработки с замораживаемой закладкой [28].

Разрабатываемое рудное тело имело мощность свыше 90 м и обширное простирание. Оно отрабатывалось 30-ти метровыми подэтажами шириной 15 м параллельно по падению рудного тела. Каждый подэтаж закладывался перед отработкой следующего. Каждый закладываемый подэтаж имел оставленный перед отработкой предохранительный целик шириной 18 м. Целик отрабатывался по всей высоте этажа, оставляя обнаженной льдопородную закладку высотой 90 м. Мощность предприятия по добыче составляла 1 млн. т руды в год.

Несмотря на успешное применение искусственных целиков из замороженной смеси пород, хвостов обогащения и воды, позволившее отработать месторождение, было установлено, что формирование целиков происходит медленно, наблюдался разброс прочностных и технологических свойств закладки в одной камере. Специалистами Лаборатории исследований горного дела Канадского Центра по минералам и энергетическим технологиям были сделаны выводы о необходимости разработки дополнительных мероприятий по отводу латентного тепла из льдопородной закладки. Также было установлено, что обнажение закладки на границах с первичными камерами имеет весьма низкую устойчивость, что приводит к повышению разубоживания.

ИГДС СО РАН был предложен качественно новый закладочный материал, в котором уникальные физические свойства льда, как, например, образование квазижидкого поверхностного слоя при соприкосновении смачивающей воды с закладочными породами, нетипичные упругие и пластические свойства, используются для образования породного скелета, скрепляемого минимальным количеством воды [8, 29, 30, 31, 32].

По результатам проведенных исследований на наклоннозалегающем золоторудном месторождении Бадран в Якутии внедрена в промышленных масштабах нетрадиционная ресурсосберегающая технология добычи руды с льдопородной закладкой. По рекомендациям ИГДС СО РАН и проекту ГУП «Сибгипрозолото» по указанной технологии разработку золоторудного месторождения осуществляет ЗАО ГРК «Западная».



Система разработки предусматривает добычу руды в две стадии. В первую – производится выемка и закладка первичных камер с оставлением междукамерных целиков (вторичных камер). Закладочные работы заключаются в доставке пустых пород, укладке их послойно в выработанном пространстве, пропитке водой и естественном или принудительном промораживании вентиляторами местного проветривания. После промерзания заложенных смежных первичных камер во вторую стадию вынимаются междукамерные целики.

Потери и разубоживание при ранее применявшейся на руднике камерно-столбовой системе разработки составляли соответственно 28-30% и 30-35%, при системе разработки с камерной выемкой руды и льдопородной закладкой – 3 и 21%. В настоящий период добыча руды составила порядка 700 тыс. т.

В ИГДС СО РАН с учетом опыта работ на месторождении Бадран разработаны варианты использования льдопородной закладки при разработке месторождений ценных полезных ископаемых с небольшой производственной мощностью, выемке отдельных участков карьеров, предохранительных целиков и т. д., расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты с применением самоходной техники.

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показывает техническую возможность и экономическую целесообразность применения замораживаемого закладочного материала при разработке месторождений подземным способом в условиях отрицательных температур горного массива. Вместе с тем выявлены недостатки, присущие рассматриваемым схемам ведения горных работ. Прежде всего, к ним относится сложность формирования льдопородных целиков с требуемыми прочностными характеристиками, низкая технологичность создания закладки, трудоемкость закладочных работ, сложность с доставкой воды и ее хранением в незамерзшем состоянии в зимний период. Также проблемой использования замораживаемой

закладки является удаление латентного тепла из замораживаемого массива и развитие требуемой прочности.

Недостаточно изучены вопросы оттаивания мерзлого закладочного массива, влияния на него взрывных работ, но главным фактором, оказывающим отрицательное действие на горные работы, является длительный процесс промерзания льдопородного массива. Колебания температуры подаваемого с поверхности холодного воздуха в довольно широких пределах (от минус 12 до минус 32°С) оказывает существенное влияние на продолжительность процесса промораживания. Это приводит к некоторым трудностям в планировании работ и их увязке с основными техническими процессами.

### 1.3. Краткая характеристика изученности вопроса исследования структуры и свойств льдопородных материалов

Геомеханическими явлениями, закономерностями изменения физических свойств льдопородных закладочных массивов с учетом конструкции, технологии возведения и термовлажностных условий подготовки занимается весьма незначительный круг исследователей. Некоторая информация об основных механических характеристиках промораживаемой закладки имеется, в основном, в публикациях таких отечественных научных организаций, как ВНИИ-1, ВНИМИ, ЛГИ, МГОУ, ИГДС СО РАН. За рубежом интерес представляют работы Лаборатории исследований горного дела Канадского Центра по минералам и энергетическим технологиям (CANMET).

Исследования, закономерностей поведения искусственных льдопородных опор тесно связаны с основными теоретическими положениями механики

мерзлых пород и грунтов (Н.А. Цытович, М.И. Сумгин, С.С. Вялов) и методики испытаний крупнообломочных пород (В.Н. Тайбашев), широкое развитие которых имеется во многих трудах как отечественных, так и зарубежных ученых [33, 34, 35, 36, 37, 22 и др.].

Исследования условий и прочности образцов смерзающейся закладочной смеси, проведенные в Ленинградском горном институте [24, 25, 44], позволили выявить некоторые закономерности, связанные с влиянием температуры, влажности и гранулометрического состава. Испытания проводились на образцах кубической формы, с ребром 7,07 см. Образцы формировались в диапазоне температур от минус 3 до минус 21°C, при влажности от 2 до 10% из дробленых филлитов с добавлением песка. Было установлено, что при данном интервале температуры промораживания влажность оказывает большее влияние на прочность, чем температура. Кроме того, результаты испытаний показали, что смерзшийся закладочный материал из филлитов и воды обладает гораздо меньшей прочностью на сжатие, чем аналогичный материал с добавлением песка.

В 1981 – 1985 гг. ВНИИ-1 были проведены исследования возможности применения различных составов замораживаемых смесей для закладки выработанного пространства применительно к рудным месторождениям [45].

Испытания проводились на образцах кубической формы размерами 20×20×20 см. Охлажденный материал засыпался в короб со стальными стенками и дном, выполненным из металлической сетки, через который вытекала не задержавшаяся в порах закладки вода. Смоченный образец выдерживался в морозильной камере при температуре минус 5°C до полного промораживания.

В результате проведенных исследований были определены простейшие составы смесей для замораживаемой закладки, основными компонентами которых являются местные дешевые материалы: породы от вскрышных и проходческих работ, песок, песчано-гравийные смеси, дробленый лед и шлаки котельных. Прочность замороженных образцов в зависимости от состава компонентов в смеси составляла 2 – 6 МПа, что соответствует необходимой прочности,

предъявляемой к закладочному массиву. При этом было установлено, что наибольшей прочностью (4 – 6 МПа) обладает замораживаемая закладочная смесь из дробленой породы, песка и воды.

Лабораторией исследований горного дела Канадского Центра по минералам и энергетическим технологиям в начале 90-х годов были проведены исследования различных типов смерзающихся закладочных материалов: льда, смеси воды с песком, смеси воды с хвостами обогащения и смеси дробленой породы, инертной пыли и воды [46]. Испытания проводились на образцах цилиндрической формы длиной 200 мм, диаметром 100 мм.

Лабораторные испытания показали, что наибольшей скоростью промерзания отличается смесь дробленых пород, инертного заполнителя и воды, а наличие породы в твердом льде повышает прочность и пластичность. Прочность замораживаемой закладки (от 2,7 МПа до 4 МПа) сравнима с прочностью твердеющей закладки с низким содержанием цемента.

В 2007-2008 годах в Канаде Северным Центром Прогрессивных Технологий (NORCAT) в экспериментальной шахте на образцах были проведены исследования возможности использования смеси пустых пород и хвостов обогащения с охлажденной водой для закладки выработанного пространства на руднике Раглан компании «Икстрата Никель» в северном Квебеке [47, 48].

Изучались прочностные и теплофизические свойства материала закладки при отрицательных температурах, распределение компонентов в смеси и время формирования при различных условиях. Образцы смерзающейся закладки из смеси пустых пород, хвостов обогащения и охлажденной воды, замороженные на поверхности, были размещены в экспериментальной шахте.

Испытания на прочность на одноосное сжатие проводились на образцах с различным соотношением пород, хвостов обогащения, льда и воды непосредственно в шахте (рисунки 1.2 и 1.3).



Рисунок 1.2 – Образец смерзшейся смеси, размещенный в нише экспериментальной шахты NORCAT.

Были созданы температурные и влажностные условия аналогичные тем, которые были установлены в месте предполагаемого применения – никелевой шахте Раглан на севере Канады.



Рисунок 1.3. – Образец смерзшейся смеси перед испытанием на прочность.

Результаты проведенных испытаний приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. – Результаты испытаний образцов смерзающейся закладки

Номер теста	Содержание породы, %	Содержание хвостов обогащения, %	Содержание добавленного льда, %	Содержание добавленной воды, %	Влажность хвостов обогащения, %	Влажность породы, %	Общая влажность смеси, %	Предел прочности на одноосное сжатие (МПа)
2	60	26.7	0	6	17	3	13.3	1.2-1.4
2	57	25	5 (фирн)	6	17	3	18	1.1
1	53.5	23	5 (фирн)	12	17	3	23.5	1.6
2	0	77	0	6	17	0	23	> 1.8
1	0	80	0	3	17	0	20	> 1.8

Как видно из таблицы, наибольшей прочностью на одноосное сжатие обладают образцы смеси из хвостов обогащения и воды.

Исследования характера деформирования льдопородной закладки, проведенные д.т.н. проф. Г.А. Катковым [49] показали, что их развитие включает несколько стадий: стадию первичной, неустановившейся ползучести; стадию вторичной, условно установившейся ползучести с минимальной скоростью течения и стадию ползучести с постоянной наибольшей скоростью течения. Ползучесть льдопородного материала во многом зависит от показателя льдистости (соотношения твердых породных включений и льда) и величины нагрузки.

Исследования зависимости прочностных свойств смерзшегося материала от гранулометрического состава минеральных частиц проводились в основном в связи с изучением смерзаемости отбитой горной массы при выпуске руды и инженерно-геологических свойств мерзлых крупнообломочных горных пород.

Наибольший интерес вызывают работы, проведенные лабораторией Горной теплофизики ИГДС СО РАН по изучению смерзаемости и слеживаемости отбитой горной массы при отработке рудных месторождений криолитозоны [50, 51, 52]. В ходе этих работ были экспериментально исследованы зависимости прочностных характеристик смерзшихся горных пород от влажности и плотности упаковки частиц. Исследования прочностных и деформативных свойств смерзшихся горных пород выполнялись на искусственно замороженных образцах грунтовых смесей: щебне 2-х фракций  $0,5\div 1,0$  см и  $1,0\div 2,0$  см, а также речном песке при различной влажности и плотности упаковки частиц материала.

По результатам исследований были сделаны следующие выводы. Смерзание отдельных зерен происходит при минимальной весовой влажности модельного материала  $\approx 2\div 3\%$  и при этом сила смерзания может достигать 0,5 МПа. При повышении влажности сила смерзания увеличивается линейно, а при уплотнении материала за счет его более плотной упаковки (увеличении числа контактов между частицами материала) сила смерзания возрастает не менее чем на 10%. При уменьшении размера зерен модельного материала прочность смерзания увеличивается с 11 МПа до 17 МПа при полном влагонасыщении и с 0,4 МПа до 2,1 МПа при весовой влажности  $\approx 2,5\%$ .

В работе [50] показано, что прочность замороженных образцов возрастает с увеличением влажности и уменьшением размера зерен испытываемых горных пород. Прочность песка при полном влагонасыщении составляет 16 МПа, прочность щебня фракции  $5\div 10$  мм – 10 МПа, фракции  $10\div 20$  мм – 7,5 МПа. При этом прочность образцов из чистого льда, приготовленного аналогичным методом, не превышала 8 МПа.

По данным В.Н. Тайбашева [53], крупнообломочные многолетнемерзлые породы с содержанием льда от 20 до 30% (имеется возможность сравнения с льдопородой) имеют предел прочности на сжатие от 2,5 до 4 МПа. Это вполне обеспечивает необходимую устойчивость целиков.

Анализ работ, проведенных исследователями разных стран, показывает, что прочностные характеристики смерзающейся закладки зависят от состава смеси, содержания воды и температурного режима формирования.

Установленные зависимости довольно точно отражают изменения прочности смерзшегося породного материала, при формировании которого производилось предварительное смешивание наполнителя и воды перед промораживанием. Тогда как, при возведении льдопородной закладки в натуральных условиях предварительное смачивание и перемешивание закладочного состава перед размещением в камере может привести к аварийным остановкам закладочных работ вследствие преждевременного смерзания закладочного материала и примерзания его к рабочим органам горных машин. Кроме того, сам процесс перемешивания в условиях ведения подземных горных работ весьма трудоемок и требует применения ручного труда. Бесперебойное смачивание и перемешивание закладочной смеси перед размещением в закладываемой выработке в условиях криолитозоны возможно только при предварительном растеплении рудничного воздуха и наполнителя закладки. Это в свою очередь, приведет не только к дополнительным трудовым и материальным затратам, но и значительно увеличит срок смерзания до набора нормативной прочности льдопородной закладки.

Избежать вышеперечисленных затруднений можно, если при производстве льдопородной закладки на руднике дробленые горные породы размещаются в камере в условиях естественной влажности и естественной отрицательной температуре, и только после этого производится смачивание водой. Однако исследований структуры и свойств смерзающейся закладки сформированной указанным образом, проводилось очень мало и в основном они были связаны с определением времени смерзания [46].

Также, общим признаком анализируемых работ является недостаточный диапазон отрицательных температур, влияющих на прочность промороженных



образцов, что в условиях Северо-Востока России, где отрицательные температуры достигают больших значений, также представляется весьма важным.

Кроме того, недостаточно изученным является вопрос влияния формы и размеров кусков (частиц) закладочного материала, от которых зависит как пустотность (плотность укладки), так и внешняя удельная поверхность закладки [54], в значительной степени влияющие на скорость протекания воды и водовместимость закладочного массива, процессы ее промерзания и последующие свойства смерзающейся закладки [55].

#### 1.4. Цель и задачи исследований

Анализ технико-экономических показателей разработки месторождений с применением льдопородной закладки в различных горно-геологических условиях показывает, что в рассматриваемой технологии они лучше показателей, сложившихся при традиционных системах разработки с закладкой выработанного пространства. При этом областью благоприятных климатических условий, для рекомендуемой технологии, следует считать территориальные зоны, в которых более 100 дней в году температура атмосферного воздуха ниже минус  $10^0$  С.

К первоочередным объектам для внедрения новой технологии следует отнести: золоторудные месторождения Южно-Верхоянской горнодобывающей компании, Дукатское месторождение серебра, месторождения олова Депутатское и Чурпунья, месторождения вольфрама и молибдена с попутным содержанием свинца, цинка, меди, висмута, редких земель Джидинского рудного района, алмазные месторождения Якутии, Удоканское месторождение меди и др.

Однако, применение льдопородной закладки при отработке месторождений криолитозоны не получило широкого распространения ввиду низкой технологичности ее возведения, значительных затрат времени на набор нормативной прочности и сезонного ограничения при ее формировании.

Все эти причины связаны с недостаточной изученностью процессов, происходящих при формировании и функционировании смерзающейся закладки, и как следствие, с отсутствием обоснованных, технически осуществимых рекомендаций по возведению льдопородных целиков для различных горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации месторождений криолитозоны.

**Основная идея работы** заключается в использовании закономерностей изменения прочностных свойств льдопородного закладочного материала и особенностей его формирования при обосновании конструктивных параметров системы разработки в зависимости от различных геомеханических, геокриологических и климатических условий отработки месторождения.

**Целью работы** является обоснование рациональных параметров формирования льдопородных целиков требуемой нормативной прочности при подземной разработке месторождений криолитозоны, обеспечивающих повышение производительности и безопасности горных работ.

Для достижения поставленной цели предусматривается решение следующих **основных задач**:

- оценить опыт применения систем разработки с смерзающейся закладкой и установить ее преимущества и недостатки;
- выявить особенности формирования структуры льдопородной закладки и изменения ее прочностных свойств в зависимости от конструкции, крупности фракций, формы частиц твердого заполнителя, а также термовлажностных условий разработки;
- выполнить математическое моделирование тепловых процессов в закладочном массиве при различной степени его увлажнения, толщине слоя и

температуре воздуха для горно-геологических условий разработки месторождения Бадран;

- с использованием установленных зависимостей разработать методические рекомендации по выбору рациональных параметров технологии формирования льдопородной закладки для различных геомеханических и геокриологических условий разработки месторождения и технологических параметров применяемой системы разработки;

- разработать практические рекомендации по применению технологических схем отработки рудных тел криолитозоны с льдопородной закладкой, с учетом горно-геологических и горнотехнических условий их разработки, обеспечивающие повышение производительности и безопасности горных работ.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКИ И ДИНАМИКИ ЕЁ ПРОМЕРЗАНИЯ.

### 2.1. Исследование особенностей формирования льдопородной закладки на руднике Бадран

Исследования по изучению инженерно-геологических условий разработки месторождения Бадран, под которыми подразумевается система взаимообусловленных признаков, характеризующих его природную обстановку и возможные изменения в связи с выемкой полезного ископаемого, были начаты ИГДС СО РАН в 1989 г. и проводятся по настоящее время. Исследуются геолого-петрографическая характеристика руды и вмещающих пород месторождения, состояние горных работ и устойчивость конструктивных элементов подземных выработок, температурный режим сети горных выработок и массива горных пород, а также физико-механических свойства руды и вмещающих пород.

В данном разделе использованы материалы научно-исследовательских работ ИГДС СО РАН, в том числе выполненных с участием автора [56, 57, 58, 59].

Месторождение Бадран представлено группами сближенных промышленных рудных тел, залегающих внутри минерализованной зоны «Надвиговая», которые названы рудными столбами №1, 2 и 3, и представлены кварцевыми жилами переменной мощности, сопровождаемые оруденелыми окварцованными милонитами и милонитизированными породами.

Все рудные тела месторождения по падению отнесены к наклонным – угол падения их изменяется от 21° до 34°. Длина рудных столбов по падению составляет: первого – 690 м, второго – 390 м, третьего – 250 м.

Основной объём в материале рудной зоны Надвиговой месторождения Бадран занимают рассланцованные, развальцованные и милонитизированные породы со стержневой кварцевой жилой (кварцевым телом мощностью от 1 до 4 – 5 м) в пределах рудного столба и с прожилковым окварцеванием в остальной части (за пределами рудного столба). Зона над кварцевым телом мощностью от 1,5 до 3,5 – 6,0 метров характеризуется большим количеством тектонических трещин, располагающихся по падению рудной зоны (в целом параллельно ее контакту), залеченных кварцем, гипсом, эпсомитом и льдом (на верхних горизонтах). В связи с этим устойчивость выработок, находящихся в пределах рудной зоны, весьма различна.

Породы зоны представлены милонитизированными, интенсивно смятыми алевролитами и песчаниками с редкими включениями неизмененных пород. Мощность зоны составляет 5 – 8 метров. При таком состоянии вмещающих пород в кровле выработок отмечаются вывалы отдельных будин различных размеров в зависимости от площади обнажения. Контакты зоны четкие, волнистые. Породы лежащего контакта представлены алевролитами, всячего – интенсивно дислоцированными алевропесчаниками и песчаниками.

Подземные горные выработки пройдены на уровне горизонтов 1040 – 660 м (абсолютные отметки).

По данным эпизодических геотермических исследований в скважинах колонкового бурения, мощность криолитозоны колеблется от 200 до 350 м. Глубина сезонного протаивания криолитозоны составляет от 0,5 м на северных склонах до 2,0 м на южных. Максимальная глубина влияния рельефа на температуру горных пород составляет 230 и более метров при относительном превышении рельефа 350 метров. Геотермический градиент, по данным поисково-оценочных работ, в зоне влияния рельефа изменяется от 1,2°C до 2,2°C на 100 м, в зоне отсутствия влияния рельефа – 2,5°C на 100 м.

По условиям залегания подземных вод в районе выделены водоносные комплексы четвертичных рыхлых образований и триасовых терригенных

отложений. Водовмещающими породами являются трещиноватые и интенсивно трещиноватые песчаники, алевролиты и их переходные разновидности. Мощность водовмещающего горизонта колеблется от 1 – 2 до 15 м. Химический состав и другие характеристики этих вод не изучены. Воды отнесены к трещинным.

Для оценки состояния температурного режима на руднике сотрудниками ИГДС СО РАН периодически проводились исследования [56, 57, 58, 59], заключающиеся в замерах температуры воздуха по длине вентиляционного пути и в очистных камерах, а также температуры породных стенок и массива на различном расстоянии от бортов выработок. Измерение температуры воздуха производилось мультитермометрами «Digital» с точностью до 0,1°C. Температура поверхности кровли, боков и почвы выработок измерялась инфракрасным неконтактным термометром «Raynger ST» производства фирмы Raytek. Замеры температуры массива горных пород проводились в шпурах, пробуренных в боках выработок на глубину 0,7 – 1 м электронным прибором для измерения температур «Amadigit».

Анализ результатов проведенных измерений температуры воздуха и массива пород на месторождении позволяет сделать следующие выводы:

- минимальные значения температур массива пород приходятся на февраль – апрель месяцы, которые и являются наиболее подходящими для эффективного промораживания закладочного материала;

- температура воздуха в период наибольшего растепления (сентябрь – октябрь) в выработках изменяется от минус 4°C на горизонте 960 м до плюс 0,5°C на горизонте 680 м.

- температура массива горных пород с понижением горных работ изменяется от минус 11,9 С на верхних горизонтах до плюс 2,6 С на горизонте 640 м;

- установлено, что нулевые изотермы на 1 рудном столбе проходят в интервале добычных горизонтов 680 – 660 м.

Исследование физико-механических свойств многолетнемерзлых вмещающих пород месторождения Бадран в зависимости от глубины залегания, проведенное в течение ряда лет сотрудниками ИГДС СО РАН с участием автора позволило получить следующие данные, сведенные в таблицу базовых свойств.

Таблица 2.1. – Показатели основных базовых физических свойств горных пород месторождения Бадран

показатели	кварц	милонит	алевролит	песчаник
объемная масса, т/м <sup>3</sup>	2,7-2,9	2,2-2,5	2,5-2,7	2,3-2,5
влажность, %	1,8-2,1	2,1-2,3	2,3-2,4	1,9-2,2
предел прочности на одноосное сжатие, МПа	80-130	4-60	50-70	80-140
предел прочности на одноосное растяжение, МПа	4-6	0,4-6	4,2-6,14	6-13,6

Экспериментальные исследования показали, что повышение влажности милонитов в результате ведения горных работ приводит к снижению их прочностных свойств. При этом снижение прочностных свойств песчаников и алевролитов не выявлено.

Отработка приповерхностной части месторождения «Бадран» начата в 1984 году по проекту института «Средазнипицветмет» и осуществлялась с бессистемным оставлением целиков, что обуславливало большие потери руды и значительные по площади обнажения кровли.

С целью снижения потерь и разубоживания добываемой руды на руднике с 1990 года для отработки применяется камерная система разработки с льдопородной закладкой.

По рекомендациям ИГДС СО РАН и проекту ГУП «Сибгипрозолото» [60] по указанной технологии разработку золоторудного месторождения «Бадран» осуществляет ЗАО ГРК «Западная».

Схема технологии производства закладочных работ приведена на рисунке 2.1.

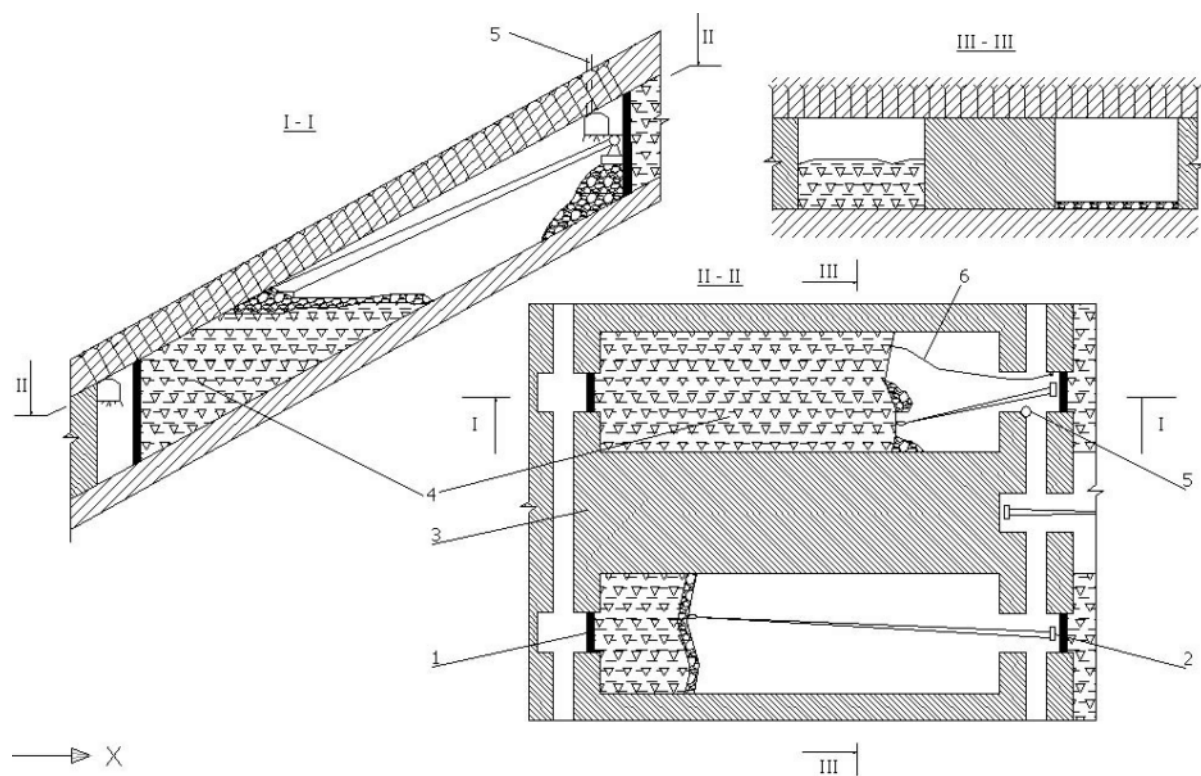


Рисунок 2.1. – Технология добычи руды с использованием льдопородной закладки на руднике Бадран: 1 – перемычка; 2 – скреперная лебедка; 3 – междуканальные целики (вторичные камеры); 4 – первичные камеры; 5 – породоспуск; 6 – водоводный шланг.

При отработке стержневой зоны первого рудного столба ниже горизонта 820 м выявилось значительное снижение устойчивости кровли и бортов первичных камер. Данное обстоятельство обусловлено снижением естественной влажности пород (в ~4 раза), растеплением массива (температура пород выше минус 3°C), его блочной структурой и высокой трещиноватостью.

Фактические данные по технологическим параметрам очистных работ и производства закладочных работ приведены на основе анализа рабочих проектов, выполненных проектно-техническим отделом ГРК «Западная» в 2006 г. по участку №2 (III рудный столб) [59].

Принципиальная схема технологии производства горных работ камерной системой разработки с льдопородной закладкой выглядит следующим образом.



Добычной горизонт оконтуривается доставочным и вентиляционным штреками, соединенными доставочно-вентиляционными уклонами, и делится на камеры первой и второй очереди, расположенные через одну. Выемка руды на добычном горизонте производится камерами-заходками шириной 3 м в один слой при выемочной мощности до 3 м и почвоуступно при мощности более 3 м. Число и высота уступов зависят от мощности залежи. После проходки передового уступа на несколько метров в почве засекают последующие уступы. Очистной забой верхнего уступа опережает нижний не менее чем на 5 м, что соответствует суточной (двухсменной, четырехцикловой) работе одного звена.

На бурении массива применяются перфораторы ПП-63, на доставке - скреперные лебедки 30ЛС-2С и 55ЛС-2С, тип ВВ – аммонит №6 ЖВ, взрывание электрическое и электроогневое. Уходка за взрыв составляет 1,3 м, расход ВВ - 1,9 кг/м<sup>3</sup>.

Камеры проходятся прямоугольного сечения шириной-3,0 м и высотой-3,0 м и крепятся рамами НДО выполненными из спецпрофиля СВП-17. Расстояние между рамами 1,2 м. Кровля камеры затягивается лесом тонкомером 100-150мм сплошную, борта - обаполлом толщиной не менее 40 мм в разбежку через 300мм.

После производства взрывных работ производится осмотр, оборка и установка временной подвесной крепи. Временная крепь устанавливается следующим образом: выдвигаются на подвесных крючьях два прогона из спецпрофиля СВП -17 длиной не менее четырёх метров до груди забоя, затем производится перетяжка кровли поверх прогонов доской с толщиной не менее 50 мм, с установкой сразу на прогоны подвесного крепления верхняков рамного крепления, соединённых межрамными стяжками с ранее установленной рамой. После установки временной подвесной крепи производится зачистка забоя от горнорудной массы.

После осмотра и оборки породы по периметру выработки, в забое находясь под защитой временной крепи проходчики делают прямки для установки стоек рамного крепления. Подводят стойки, более широкой открытой частью

спецпрофиля в сторону породы, под верхняки крепи. Верхние торцы стоек должны иметь оголовья (сжатые концы или специальный готовый замок), на которые опирается верхняк и скрепляют межрамными стяжками с ранее установленной рамой.

Во время перетяжки пустоты тщательно подбучиваются, рамное крепление расклинивается.

К закладочным работам приступают после зачистки почвы отработанной камеры. Исходным материалом для закладочных работ является пустая порода (большой частью милониты минерализованной зоны), доставляемая с обрабатываемых ближних камер, либо выдаваемая с проходческих работ. Частично закладочный материал подается с поверхности через породоспуск и рудоспуск. Крупные куски породы, негабариты размером более 400×400 мм предварительно дробятся перед загрузкой в камеру.

Закладочные работы производятся в соответствии с установленным графиком после обследования геологической службой артели полноты выемки и качества активировочных работ и производства маркшейдерской съёмки истинного положения выработанного пространства, подлежащего закладке. На основе полученных данных составляется паспорт на закладочные работы, который включает данные об объемах выработанного пространства; схемах крепления отработанной камеры; потребном количестве материалов и оборудования; схемах закладочных работ; маршруте доставки закладочного материала; сроках закладочных работ.

Работы по закладке проводятся круглосуточно в период наиболее низких отрицательных температур атмосферного воздуха (с середины сентября до середины апреля - 7 мес/год). Объем большинства камер составляет 320 – 560 м<sup>3</sup>, продолжительность закладки которых принимается равным месяцу, по опыту закладочных работ при эксплуатации месторождения.

По окончании очистной выемки в нижней части камеры первой очереди сооружается деревянная перемычка. Перемычка устанавливается в двух метрах от устья камеры – ее сопряжения со штреком нижележащего горизонта.

Установка перемычки производится в следующем порядке. Почва выработки в месте установки перемычки зачищается до рудного целика. Затем устанавливаются три расстрела диаметром не менее 200 мм в разделанные в почве и кровле выработки лунки глубиной не менее 200 мм. При высоте перемычки более 2,5 м вертикальные расстрелы усиливаются горизонтальным расстрелом, устанавливаемым в средней части перемычки в лунки бортов камеры глубиной не менее 200 мм. Со стороны камеры расстрелы отшиваются обрезной доской толщиной не менее 40 мм. Далее дощатое перекрытие обвешивается (закрывается) материалом из вентиляционных рукавов или плотным брезентом с напуском не менее 100 мм на борта, кровлю и почву выработки. Стыки перемычки с выработкой по всему периметру обмазываются глиной. Расчетный расход материалов на 1 м<sup>2</sup> перемычки составляет: доски обрезные - 0.06 м<sup>3</sup>, стоек деревянных диаметром 0.2 м - 0.031 м<sup>3</sup>.

Далее производится установка скреперной лебедки в лебедочной нише закладочного штрека напротив закладываемой камеры. Ниша крепится рамами НДО из спецпрофиля СП-17.

К закладываемой камере по закладочному штреку подводится водяной шланг диаметром 50 мм для смачивания закладочного материала.

Закладочный материал перед укладкой в камеру складировается на штреке. Закладка камер осуществляется скреперными лебедками 2 (2ЛС-30С или 2ЛС-55С) обратным скреперованием закладочного материала в камеру из штрека вышележащего горизонта скрепером, изготовленным по типу «бульдозер». Для крепления концевых блоков в камере устанавливаются деревянные стойки или бурятся шпур в кровле. В зависимости от грансостава и температуры пород количество заливаемой воды изменяется в пределах 11-23% от объема закладки. Для качественного смерзания пород их закладка производится слоями мощностью

0,4 – 0,6 м равномерно по всей площади выработки и подбивается плотно под кровлю камеры.

После окончания указанных работ производится дозаливка воды в приконтактную часть закладки.

Вода для закладочных работ подается из стационарной накопительной ёмкости в 4,0 м<sup>3</sup> по трубопроводу, проложенному по стволу, далее по шлангам диаметром 50 мм по закладочному штреку к месту ведения закладочных работ. По всей длине водовода имеются врезки для продувки шлангов сжатым воздухом, продувка способствует удалению остатков воды в трубопроводе и шлангах. Вода подвозится, в основном, с зумпфа, находящегося в 5 км от рудника. По команде с места ведения закладочных работ рабочий на поверхности осуществляет подачу воды самотёком из ёмкости и по команде прекращает. Заполненность пустот контролируется визуально.

С целью интенсивного промораживания устьевой части закладки, а также просочившейся через перемычку воды на штреке нижележащего горизонта устанавливается вентилятор местного проветривания, который обдувает перемычку холодным воздухом. На первом этапе закладки заполняется устьевая (нижняя) часть камеры мокрым закладочным материалом до уровня, превышающего на 2,0 м верхнюю часть перемычки.

В исключительных случаях допускается локализация пустот другими способами по специальному проекту, согласованному с органами Госгортехнадзора.

Камеры второй очереди (междукамерные целики) отрабатываются после набора искусственными целиками необходимой нормативной прочности на сжатие 3-5 МПа.

Прочность льдопородного массива определяется косвенным методом, заключающимся в определении глубины проникновения металлических штырей при их забивании в закладочный массив и испытаниях смерзшихся пород на откалывание.

Наличие незамерзшей воды контролируется в начальный период бурением шпуров сквозь перемычки, в последующем бурением шпуров в закладочный массив при обнажении ее боков.

На рабочем месте ведения закладочных работ устанавливается связь с поверхностью (ПГС) – с людским ходком у наклонного ствола, где находится ёмкость с водой, предназначенной для орошения закладки.

Основные технико-экономические показатели по системам разработки, принятые в проекте [60], приведены в таблице 2.2. Все показатели рассчитаны для условий первого рудного столба и распространены на все месторождение.

Таблица 2.2. – Техничко-экономические показатели по системам разработки

п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Система разработки	
			Камерная система с льдопородной закладкой	Камерно-столбовая система разработки
	2	3	4	5
	Длина блока по простиранию	м	100	100
	Ширина камеры	м	до 3,0	до 3,0
	Ширина целика	м	3,0	3,0
	Высота камеры	м	1,6 – 3,0*	1,6 – 3,0*
	Длина камеры	м	45	45
	Объем ГПР и нарезных на 1000 т добычи	м <sup>3</sup>	48,3	96,6
	Потери руды	%	9,4	56,9
	Разубоживание	%	21,8	33,8
	Производительность блока:			
	Суточная	т	58,5	58,5
	Месячная	т	1463	1463
0	Производительность труда забойного рабочего	м <sup>3</sup> /чел. см.	1,7	1,95

\*При мощности рудного тела более 3-х м отработка его осуществляется слоями до 3 м.

Наблюдения за технологией производства закладочных работ, проморозкой, работоспособностью льдопородных опор были начаты в 1992 году при закладке первичных камер 7 и 9 гор. 940 м 1 –го рудного столба месторождения. Температурный режим закладочного массива контролировался с использованием

гирлянд терморезисторных датчиков. Прочность льдопородного массива и наличие незамерзшей воды определялась методами, приведенными выше.

На рисунке 2.2. приведена фотография контакта льдопородного целика с кровлей камеры на гор.920 – 940м рудного столба №1.

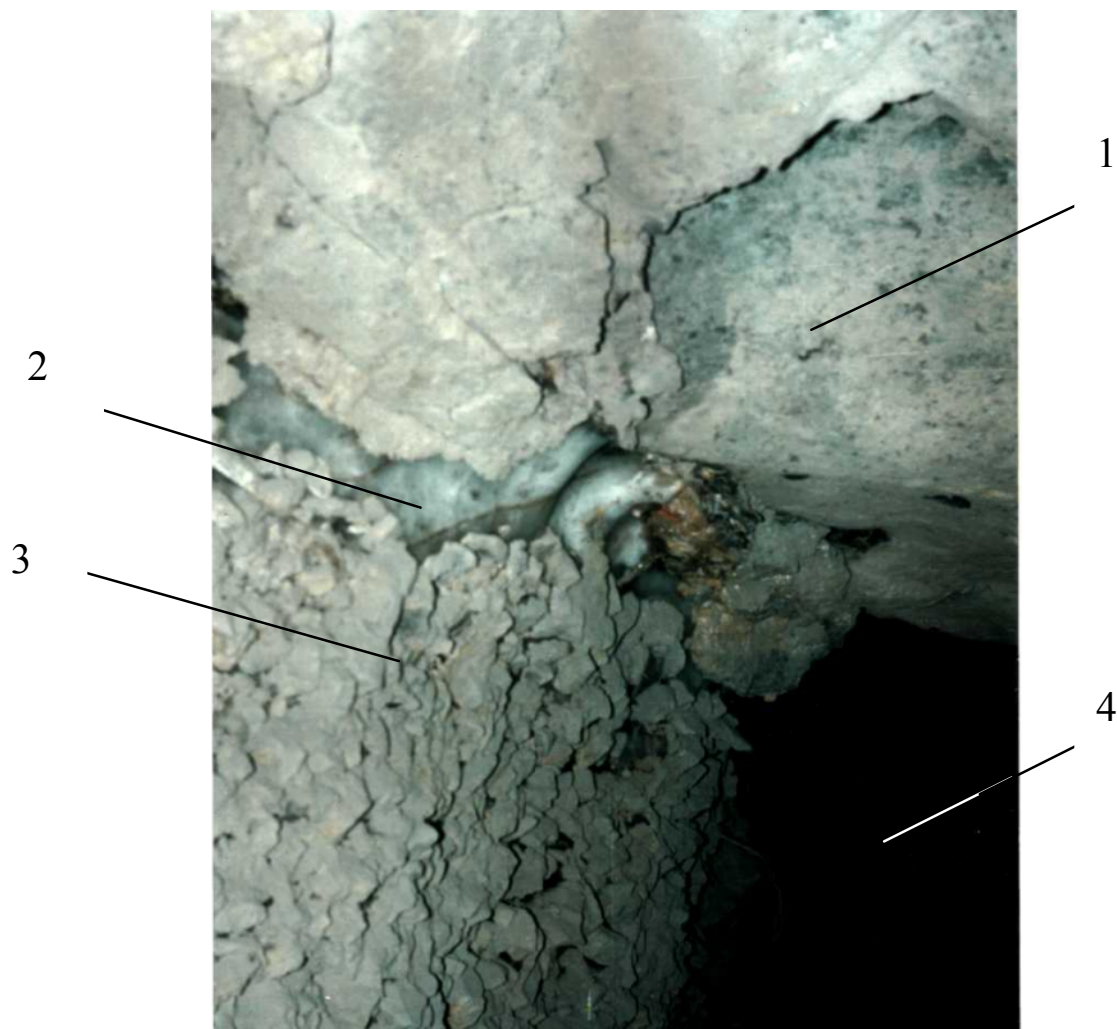


Рисунок 2.2. – Боковое обнажение льдопородного целика после выемки междукамерного: 1 – кровля междукамерного целика; 2 – ледяная прослойка, образованная промораживанием дополнительно заливаемой воды; 3 – льдопородная закладка; 4 – выработанное пространство вторичной камеры.

Визуальное обследование боковых обнажений смерзшихся пород в заложенных камерах показывает на их высокую устойчивость, плотные контакты закладки с налегающими породами.

Исследования методом георадиолокационного зондирования [61] позволили визуализировать динамику промерзания закладки и определить талые зоны в массиве промораживаемой закладки. Например, в промораживаемом целике камеры 37 рудного столба I месторождения по результатам зондирований установлена область низких скоростей (таялая зона) в центральной части целика (рисунок 2.3.).

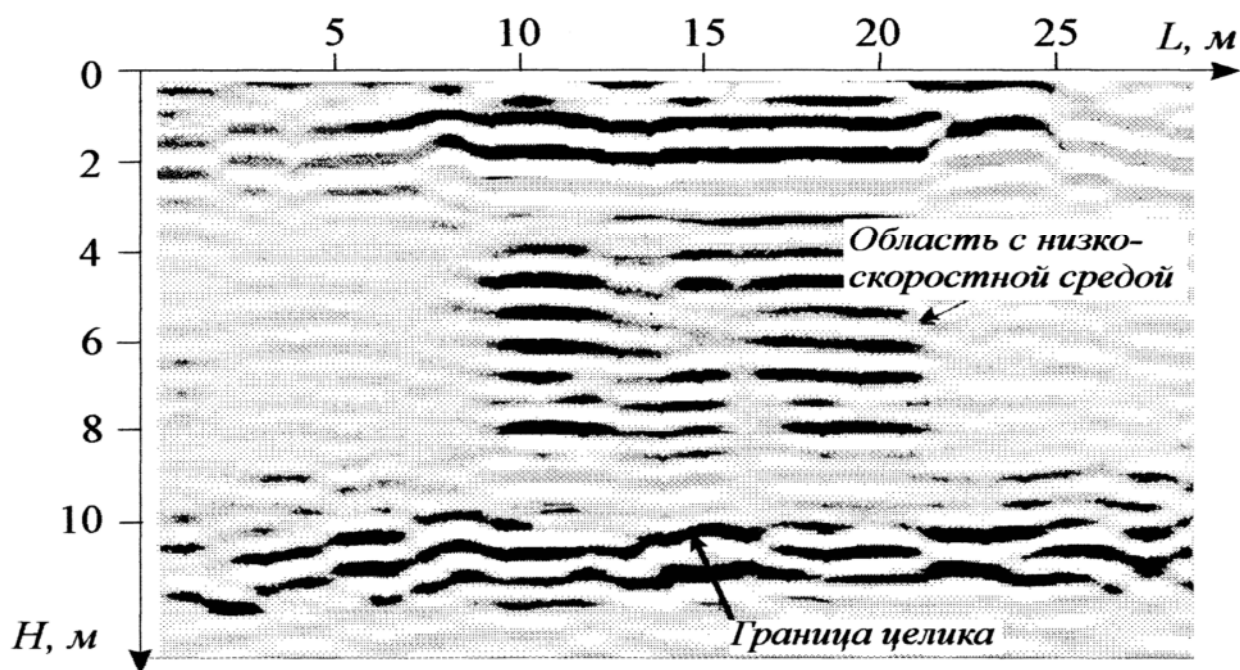


Рисунок 2.3. – Горизонтальный разрез по центру льдопородного целика, полученный методом георадиолокационного зондирования

Известно, что степень влияния горного давления на конструктивные элементы подземных горных выработок зависит от устойчивости и свойств руд и вмещающих пород, а также от площади обнажения. Наблюдениями установлено, что величина пролета кровли камер, при которой происходит увеличение прогиба, появление трещин, заколов и отслоений, для различных участков Бадранского месторождения не является постоянной.

В данное время устойчивое положение кровли очистных выработок на месторождении достигается за счет небольших пролетов вынимаемых камер – до 3 м, и небольшой выемочной мощности – в основном до 3 м, а также использования как искусственных, так и рудных целиков.

Анализ фактических данных производства показал, что возведение льдопородной закладки при температуре рудничного воздуха выше минус 10°C и температуре горных пород выше минус 3°C неэффективно, значительно удлиняет сроки проморозки каждого слоя, в особенности последнего.

Для выявления закономерностей деформирования и работоспособности целиков, включавшие визуальные наблюдения за поведением конструктивных элементов системы разработки и периодические измерения относительных смещений (конвергенции) в обнажениях целиков, на одном из нижних горизонтов (гор.820 – 840 м, глубина от поверхности ~150 м) центральной части рудного столба №2 месторождения Бадран заложены три замерные станции в бортах льдопородного целика К-1160 (возведение закладки – конец 2004 года) длиной, шириной и высотой соответственно 32, 3 и 2,1 м и две замерные станции в бортах «тумбового» рудного целика над штреком №60 размерами порядка 2,5×2,5×2,0 м<sup>3</sup>. Расчетная нормативная прочность льдопородного целика К-1160, сформированного послойным намораживанием, составила 3,2 МПа.

Измерения относительных смещений проводились между парами контурных реперов, установленных в шпурах у кровли и почвы в боковые поверхности целика с вторичных камер (междукамерных целиков К-1159 и К-1161), образованных выемкой междукамерных целиков в конце 2006 г.

Анализ результатов наблюдений (измерения проводились ст. маркшейдером рудника М. И. Кругляковым) показал, что в период с марта по октябрь месяцы 2007 г. смещения практически отсутствовали (рисунок 2.4, 2.5).

Данное обстоятельство указывает на установившееся горное давление и работоспособность искусственного целика на данном этапе развития горных



работ. Наблюдающиеся смещения реперов в пределах 1 – 2 мм, относятся к пределу погрешности измерений.

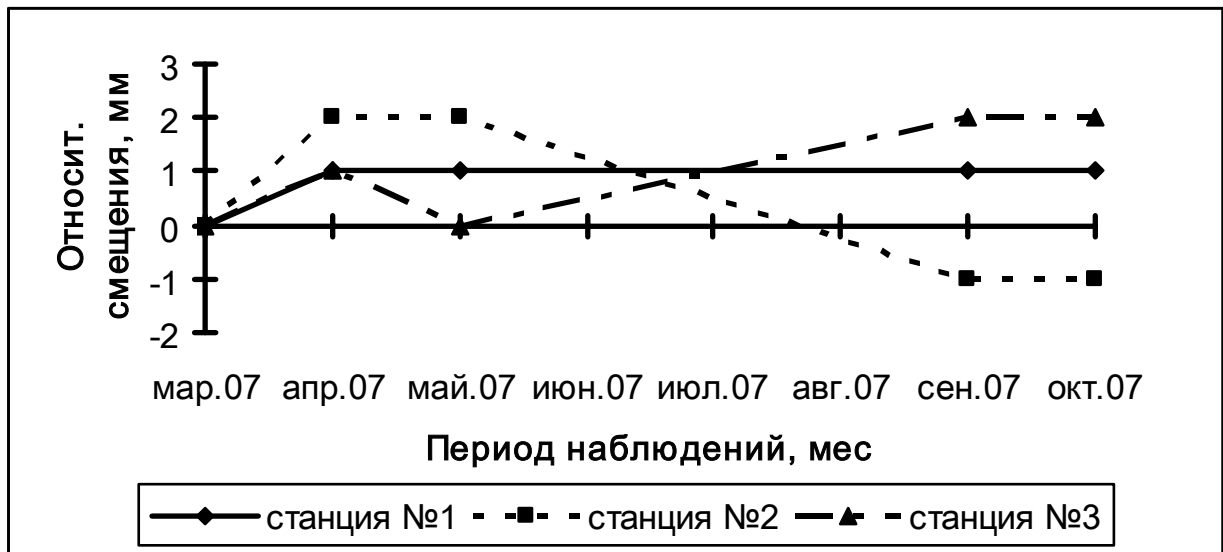


Рисунок 2.4. – Относительные смещения льдопородных целиков

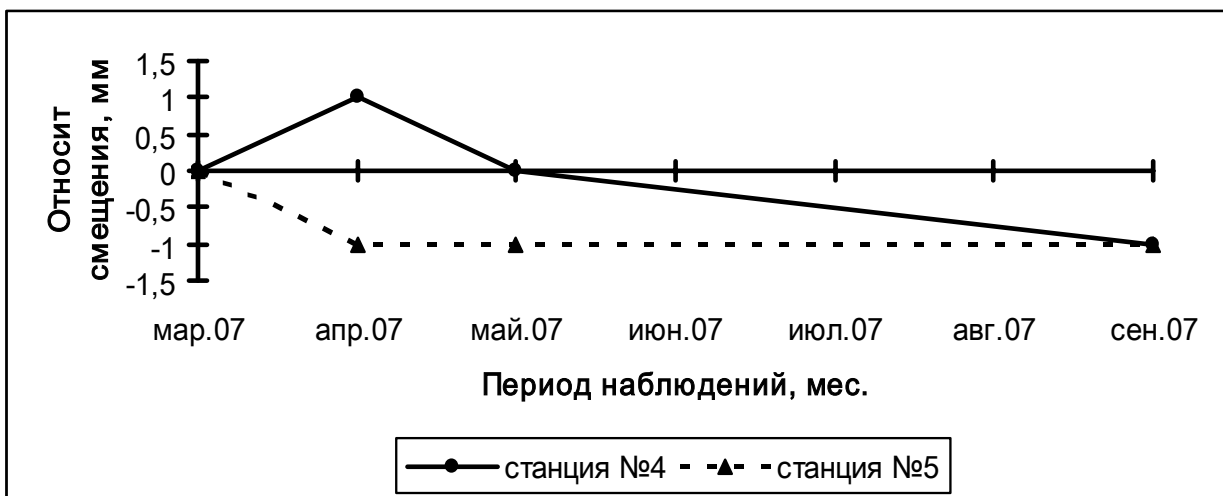


Рисунок 2.5. – Относительные смещения рудных тумбовых целиков

Результаты наблюдений за смещениями в обнажениях целиков также подтверждают установленное исследованиями взаимодействия массива вмещающих пород с смерзающей закладкой практически отсутствие у льдопородной закладки усадки.

Отсутствие усадки можно объяснить тем, что при формировании целиков незаполненное подкровельное пространство заливается водой, которая при замерзании увеличивается в объеме и создает дополнительный подпор налегающих пород.

Наблюдения за технологией производства закладочных работ показали, что принудительное промораживание закладочных пород дает возможность работать на поверхности закладки уже через 2 – 3 часа: проходить выработки в висячем и боковом массивах пород, проводить какие-либо работы по укреплению возводимой закладки и т.д. Данное обстоятельство является существенным отличием от закладки выработок твердеющими смесями на цементной основе.

Также, опыт разработки месторождения Бадран с льдопородной закладкой показывает, что проведение выработок в искусственном массиве менее трудоемко, чем по породному.

Наблюдения за процессом формирования целиков позволили установить, что применение милонитов в качестве заполнителя льдопородной закладки позволяет формировать льдопородный целик с монолитной структурой. При применении песчаника в качестве заполнителя возрастает количество пустот, в результате чего увеличивается расход воды, возрастает время промораживания целика, формируется структура с неравномерным распределением льда-цемента и нечеткий контакт с рудными целиками и кровлей камеры.

Для выяснения причин этого было проведено изучение форм частиц дробленной породы обоих литотипов (песчаник и милонитизированный алевролит), используемых в качестве заполнителя закладки на руднике.

Методом визуальной разборки определялись формы кусков взорванной горной породы в проходческих забоях, применяемой в качестве заполнителя льдопородной закладки. Результаты определения показали, что содержание кусков пластинчатой и игловатой форм в отбитой горной массе составляет в среднем 38% у милонитов и 70% у песчаников.

Это связано в первую очередь с физико-механическими характеристиками основных литотипов вмещающих пород месторождения. Менее крепкие милониты ( $f = 2-2,5$ ) в процессе транспортировки, размещения дробятся и измельчаются. Затем под воздействием воды, подаваемой в закладываемую камеру, и планировки скреперным ковшом происходит заполнение пустот между крупной фракцией раствором мелких пылеватых частиц и воды. Песчаники, обладающие намного большей прочностью ( $f = 8-14$ ) не измельчаются в процессе транспортировки и закладочных работ, сохраняя форму и размеры частиц.

Полученные данные были использованы при исследовании влияния формы частиц породного материала пластинчатой (лещадной) и игловатой форм на предел прочности льдопородного материала.

Натурные исследования не позволяют в полной мере оценить степень влияния температуры воздуха и дробленых пород, гранулометрического состава и конструктивных особенностей целиков на прочностные характеристики льдопородной закладки ввиду сложности и дороговизны экспериментальных исследований в подземных условиях на действующем руднике. Данное обстоятельство предопределяет необходимость изучения характера влияния основных факторов в лабораторных условиях.

## 2.2 Экспериментальные исследования формирования структуры льдопородной закладки и динамики ее промерзания на образцах.

С целью определения качественных характеристик изменения свойств льдопородной закладки при ее возведении, была проведена серия экспериментов

по исследованию режимов формирования льдопороды в зависимости от температуры окружающего воздуха.

При планировании экспериментов учитывался опыт проведения аналогичных исследований и основные теоретические положения механики мерзлых пород. Формирование образцов осуществлялось на основе известных положений теории подобия и методик моделирования, предусматривающих геометрическое подобие модели и натуры, геометрическое подобие гранулометрических составов, равенство объемных весов и углов внутреннего трения материалов модели и натуры.

Льдопородные образцы изготавливали намораживанием смесей из дробленых пород и воды в морозильной камере. Для образования льдопородного образца использовались металлические разборные формы с внутренними размерами, соответствующими размерам образцов проводимой серии опытов.

Гранулометрический состав дробленой породы (алевролит), использовавшейся при изготовлении образцов, определялся методом сита и составил:

5 мм	25 – 30%
5 – 10 мм	40 – 45%
10 – 15 мм	15 – 20%
15 мм	5 – 10%

Перед началом эксперимента дробленая порода и формы охлаждались до требуемой температуры. Охлажденная порода засыпалась в металлические формы размерами 10×10×10 см и 15×15×15 см (для лучшей визуализации исследуемых процессов). Исследовались два типа льдопородных конструкций – пятислойная (мощность слоя 2 см) и однослойная, образованная водонасыщением и проморозкой всей заполненной породой формы.

Каждый слой равномерно наполнялся водой, охлажденной до температуры плюс 4 ÷ плюс 5°С. После смерзания слоя операция повторялась до полного заполнения формы. Полученные кубические образцы промораживались до

полного смерзания породного материала – до достижения им температур промораживания, контролируемых показаниями термодатчиков, вставленных в засыпаемые слои.

Лабораторное определение объемного веса образцов льдопородной закладки – наиболее часто используемой плотностной характеристики, зависящей от их состава и структуры, производилось волюмометрическим методом. Среднее значение объемного веса образцов льдопородного материала составило  $2,4 \text{ Н/м}^3$  при среднем объемном весе алевролита  $2,74 \text{ Н/м}^3$ .

Было изготовлено по 9 одинаковых образцов для каждой серии, отличающейся количеством слоев. Образцы каждой серии идентичного состава формировались при различной температуре окружающего воздуха. Интервал температур, при которых производилось смораживание находился в пределах от минус  $5^\circ\text{C}$  до минус  $24^\circ\text{C}$ .

Исследования формирования структуры льдопородного закладочного материала в зависимости от конструкции (числа намораживаемых слоев) показало следующее. При температуре окружающего воздуха минус  $24^\circ\text{C}$  и аналогичных параметрах испытаний в пятислойной конструкции вода замерзает на поверхности каждого слоя и цементирует  $1/3$  его мощности (рисунок 2.6), при



Рисунок 2.6. – Кассета с образцами, сформированными при температуре  $-24^\circ\text{C}$  послойным намораживанием.

однослойной конструкции основной объем воды замерзает не проникая вглубь образца, цементируя лишь 1/5 часть его объема (рисунок 2.7).

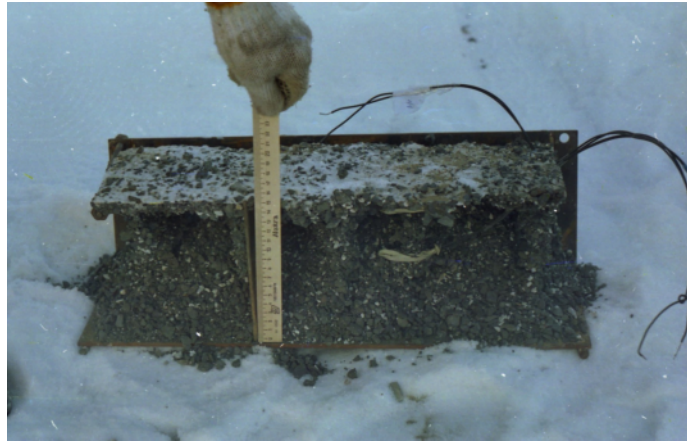


Рисунок 2.7. – Кассета с образцами, сформированными при температуре  $-24^{\circ}\text{C}$  намораживанием в один слой.

Исследование процессов промораживания и формирования закладочного материала, образуемого послойным намораживанием, показали, что при температуре воздуха минус  $5^{\circ}\text{C}$ , воды – плюс  $5^{\circ}\text{C}$  (при ее количественном соотношении 20% от общего объема образца) вода при кристаллизации цементирует нижнюю часть закладочных слоев (рисунок 2.8, а).

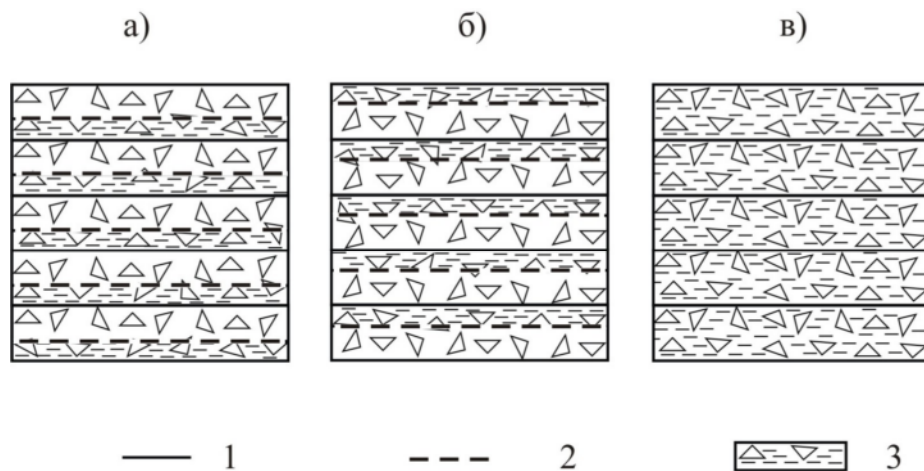


Рисунок 2.8. – Изменение структуры льдопородной закладки в зависимости от температуры промораживания: а) при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$ , б) при  $-24^{\circ}\text{C}$ , в) при  $-20^{\circ}\text{C}$ ; 1 – границы слоев, 2 – границы прослоя непромороженных пород, 3 – промороженные породы.

При температуре окружающего воздуха минус  $24^{\circ}\text{C}$  и аналогичных параметрах испытаний в пятислойной конструкции вода замерзает на поверхности каждого слоя и цементирует  $1/3$  его мощности (рисунок 2.8, б). При температуре промораживания минус  $20^{\circ}\text{C}$  вода при кристаллизации цементирует весь закладочный материал при его послойном возведении (рисунок 2.8, в).

Исследованиями также выявлено, что при температуре воздуха минус  $5^{\circ}\text{C}$  процесс промораживания закладки значительно продолжительнее, чем при температуре воздуха минус  $24^{\circ}\text{C}$ , но в первом случае формируется относительно монолитный закладочный массив, во втором – закладочный массив с каркасом из льдопородных корок.

Экспериментальные лабораторные исследования динамики промерзания образцов льдопороды, при температуре воздуха минус  $24^{\circ}\text{C}$ , с использованием датчиков температур, показали (рисунки 2.9 и 2.10) следующее.

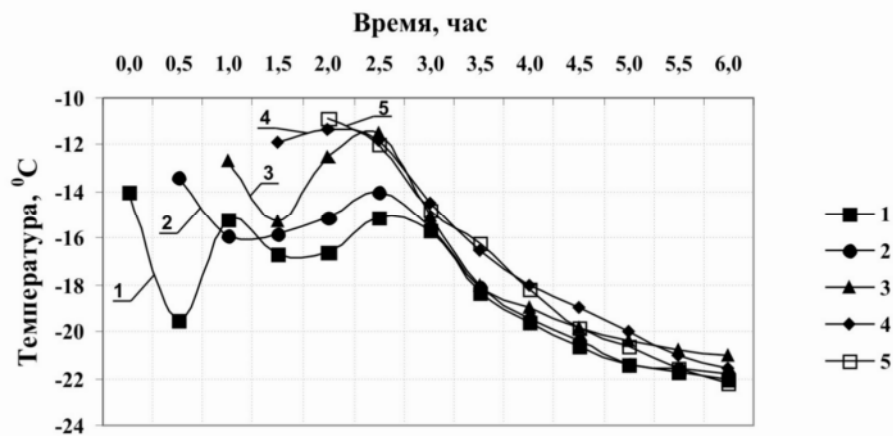


Рисунок 2.9. – Динамика промерзания закладочного материала образуемого намораживанием 5 ти слоев при температуре воздуха  $-24^{\circ}\text{C}$ : 1 - показания термодатчика в первом (нижнем) слое; 2 – то же во втором слое; 3 – то же в третьем слое; 4 – то же в четвертом слое; 5 - то же в пятом (верхнем) слое.

Процесс заливки каждого последующего слоя, как четко видно по кривым изменения температуры в нижеследующих слоях (рисунок 2.9), сопровождался

повышением температуры в этих слоях. При этом наибольшее временное понижение (образование локального минимума) наблюдалось в слое первом перед заливкой второго слоя (кривая 1, рисунок 2.9).

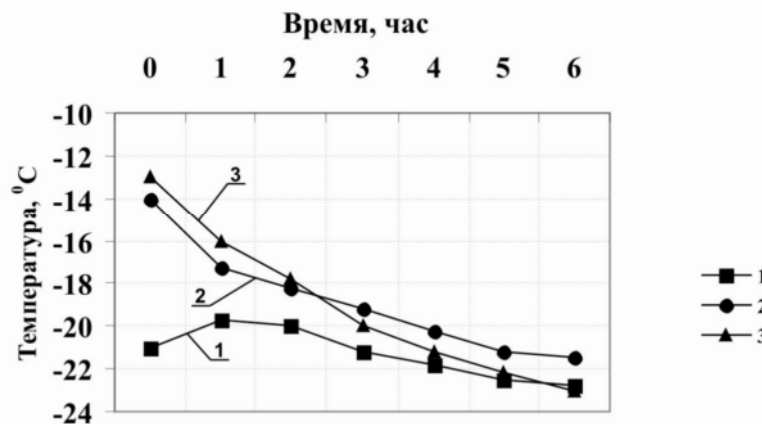


Рисунок 2.10. – Динамика промерзания однослойного льдопородного образца при температуре воздуха  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ : 1 – температура в нижней части образца; 2 – то же в средней части; 3 – то же в верхней части.

При формировании и проморозке пятислойного образца, в соответствии с технологией и порядком последовательного возведения слоев и промораживанием, первый слой, в целом, находился в подморозке около 6 часов под периодическим воздействием процесса заливки водой вышеформируемых четырех слоев (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11. – Схема динамики формирования и промораживания пятислойного образца.



Данный результат показал главный недостаток подобного эксперимента: сложность управления процессом начального структурообразования льдопородной закладки даже в лабораторных условиях.

Установлено, что принятое постоянным количественное соотношение воды 20% от общего объема образца при одной и той же технологии залива слоев во всех сериях без достаточного контроля скорости ее протекания, выбора начальной температуры воды, выбора времени промораживания слоев, привело в вариантах а и б (рисунок 2.8) только к частичному промораживанию образцов.

При описанном в начале этого раздела характере промерзания образцов при разных температурах их промораживания и выявленной динамике промерзания цельного (однослойного) образца (рисунок 2.10), возникает вопрос о необходимом и достаточном объеме расхода воды на заливку каждого слоя и образца в целом, т.е. вопрос о водоемкости использованного закладочного материала или плотности его укладки.

В последующих экспериментах были внесены некоторые коррективы и полученные в следующих разделах этой главы результаты дали возможность разрешить отмеченное здесь противоречие. В то же время, установленные выше закономерности показывают, что при применении льдопородной закладки в реальных условиях необходимо обращать самое пристальное внимание к температурным условиям возведения смерзающейся закладки. Установленное влияние конструкции закладочного материала на ее свойства дает возможность изменять технологические качества закладки, создавая массив требуемой прочности путем изменения его конструкции.

### 2.3. Экспериментальные исследования изменения прочностных свойств льдопородной закладки в зависимости от условий ее формирования.

К основным физико-механическим и структурным характеристикам закладочного массива относятся: прочностные и деформационные свойства, структура закладочного массива и динамика набора прочности. Прочность массива определяют при сжатии, растяжении, изгибе и т. д., однако для простоты и удобства контроля эти показатели приводят к показателю прочности при одноосном сжатии.

Льдопородная закладка по своим прочностным свойствам, структуре и составу весьма близка к мерзлым крупнообломочным породам. Один из основных классификационных показателей мерзлых грунтов – криогенная текстура, формирующаяся в зависимости от условий промерзания, главным образом величины температурных и влажностных градиентов. Исследования характера деформирования льдопородного массива [44, 45, 48] показали, что его криогенная текстура определяется формой, величиной и расположением ледяных включений.

Как известно, характеристики механических свойств мерзлых грунтов и льдов определяются в лабораторных и натуральных условиях.

Натурные испытания выполняются непосредственно в горных выработках. Они позволяют более достоверно определить физико-механические и структурные характеристики закладочного массива, чем подобные исследования в лабораторных условиях. При подобных испытаниях учитывается влияние структурной неоднородности по глубине и площади их простираения.

Однако натурные испытания льдопородной закладки весьма трудоемкие и дорогостоящие, их проведению должны предшествовать лабораторные эксперименты, позволяющие качественно определить характер основных процессов и разработать предварительные рекомендации. Практически

невозможно в натуральных условиях выполнить количество экспериментов, необходимое для статистической обработки, а также для установления зависимости механических свойств от температуры, физических показателей и т.д. Кроме того, в полевых условиях возникает зависимость от климатических условий, чего можно избежать при проведении лабораторных экспериментов.

Наиболее полно и достоверно значения характеристик смерзающейся закладки могут быть определены при сочетании натуральных и лабораторных испытаний.

Лабораторией Проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов ИГДС СО РАН с участием автора были проведены лабораторные исследования режимов формирования льдопороды, изменения прочностных свойств образцов льдопородного материала в зависимости от термовлажностных условий их подготовки [65, 66, 67, 65, 68 и др.].

Работы проводились по методике, разработанной на основе анализа опыта проведения аналогичных исследований с учетом основных теоретических положений механики мерзлых пород [34, 35, 36, 39 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 51, 52, 62, 63, 64 и др.].

Льдопородный материал в элементах систем разработки используется для возведения опорных целиков и воспринимает сжимающие напряжения. Поэтому за основную характеристику (эталон) прочностных и деформационных свойств льдопородной закладки принята ее прочность на осевое сжатие. Все другие характеристики (на растяжение, изгиб и др.) и модуль деформаций зависят от прочности льдопороды на одноосное сжатие и могут быть определены по эмпирическим формулам с помощью экспериментальных коэффициентов, получаемых в конкретных условиях использования льдопородных опор.

Испытания льдопородных образцов на одноосное сжатие проводились на прессе универсальной испытательной машины UTS-250 со стандартным блоком измерения и управления (компьютерное оснащение), укомплектованной холодильной установкой NOSKE-KAESER, при скорости нагружения образца 2

мм/мин до разрушения, после которого машина выдавала результаты в графоцифровом виде.

Наименьшее число образцов – 6, которое должно быть исследовано в одной серии опытов, выбиралось с учетом неоднородности состава горных пород, оцениваемых коэффициентом вариации, прочности при повторных испытаниях и желаемой точности значения средней прочности и основывалось на общеизвестных положениях математической статистики и рекомендациях по ее применению в горном деле.

Для определения оптимальных размеров образцов были проведены исследования влияния масштабного эффекта на прочность льдопородного материала. Основной задачей изучения влияния масштабного эффекта на прочность образцов льдопородного материала является оценка прочности льдопородной закладки в натуральных условиях. Такая оценка имеет большое теоретическое и практическое значение, так как она необходима для расчета и конструирования технологических параметров системы разработки с смерзающейся закладкой, определения оптимальных размеров и положения льдопородных целиков. Степень влияния прочности от размера также необходимо учитывать при разработке рекомендаций по возведению закладочного массива.

Для выбора оптимальных размеров образцов, характеризующих изменение прочностных свойств льдопородной закладки, было проведено сравнение пределов прочности на одноосное сжатие по трем сериям испытаний, проведенных на однотипных образцах кубической формы с размерами ребер 100, 150 и 200 мм, изготовленных намораживанием пяти слоев пород при температуре минус 20<sup>0</sup>С и объемном содержании воды 20%, которое соответствует реальным условиям влагонасыщения в производственных условиях.

Основной состав породного материала составляли фракции размером 5 – 10 мм. Перед формированием образцов дробленые горные породы и металлические формы охлаждались в морозильной камере до температуры минус 20<sup>0</sup>С.

Результаты испытаний сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3. – Пределы прочности на одноосное сжатие при различных размерах образцов льдопороды

№№ образцов	Размеры, мм	Предел прочности на сжатие, МПа
1	2	3
1.	100×100×100	3,45
2.	100×100×100	4,1
3.	100×100×100	4,74
4.	100×100×100	4,84
5.	100×100×100	3,4
6.	100×100×100	3,75
7.	100×100×100	4,34
8.	100×100×100	4,52
9.	100×100×100	3,64
$\bar{\sigma}_{\bar{n}\bar{\sigma}} = 3,98 \text{ МПа}$ $\Delta = 0,55$ $\nu = 13,8\%$		
1.	150×150×150	2,81
2.	150×150×150	3,39
3.	150×150×150	2,6
4.	150×150×150	2,31
5.	150×150×150	2,26
6.	150×150×150	3,04
$\bar{\sigma}_{\bar{n}\bar{\sigma}} = 2,73 \text{ МПа}$ $\Delta = 0,54$ $\nu = 16\%$		
1.	200×200×200	2,15
2.	200×200×200	2,5
3.	200×200×200	2,57
4.	200×200×200	2,25
5.	200×200×200	2,57
6.	200×200×200	2,11
$\bar{\sigma}_{\bar{n}\bar{\sigma}} = 2,36 \text{ МПа}$ $\Delta = 0,51$ $\nu = 21,6\%$		

Данные экспериментов показали (рисунок 2.12), что предел прочности образцов льдопородного материала на одноосное сжатие при увеличении стороны их ребра с 100 до 200 мм уменьшается с 3,98 до 2,36 МПа, асимптотически приближаясь к 2 МПа. При этом коэффициент вариации показателей увеличивается соответственно с 13,8 до 21,6%, что указывает на большую

достоверность результатов проведения испытаний с образцами со стороной ребра в 100 мм.

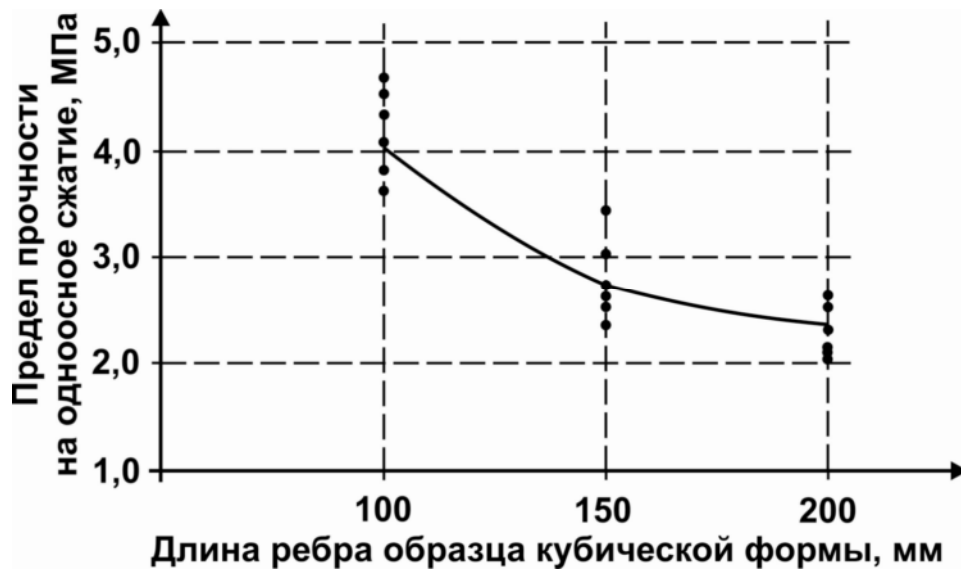


Рисунок 2.12. – Зависимость предела прочности льдопородного материала на одноосное сжатие  $\sigma$  от его размеров  $L$ .

По результатам экспериментов, с учетом минимальной вариации показателей, для дальнейших испытаний на изменение прочности на сжатие был принят образец кубической формы с размером ребра 100 мм.

Основным требованием, предъявляемым к закладочным материалам, является возможность создания устойчивого и плотного массива с минимальной усадкой. При этом важное значение имеет плотность укладки кусков дробленой породы. От данной характеристики зависят плотность, пористость и характер распределения замерзшей воды, что в конечном итоге влияет на прочностные свойства закладочного массива.

При изучении процессов формирования, разнообразных свойств и интерпретации результатов лабораторных и натурных измерений любых видов твердеющей закладки, в том числе и смерзающейся, необходимо использовать достижения современных теоретических основ укладки твердых частиц разнообразной формы, их гранулометрии и важнейших гранулометрических

характеристик. Как известно, пустотность и другие характеристики заполнителя в значительной степени определяются формой его зерен [54, 55, 77].

Льдопородная закладка представляют собой двухкомпонентную среду, состоящую из дробленых пород определенной крупности и замерзшей воды, которая играет роль цементирующего материала. По своим физико-механическим свойствам промораживаемая водопородная смесь, используемая в качестве закладки, весьма схожа с крупнообломочными мерзлыми горными породами [53, 73, 79].

Минеральные зерна и обломки, слагающие горные породы, могут иметь весьма разнообразную форму и характер поверхности. Морфология обломков оказывает определенное влияние на многие инженерно-геологические свойства грунтов [81].

Основной объем льдопородной закладки занимают дробленые горные породы, форма частиц которых близка к щебню, используемому например, при создании твердеющей закладки с цементным связующим [83, 84]. При формировании твердеющих закладочных массивов к их составу предъявляются требования, аналогичные требованиям, предъявляемым к бетонным смесям [85, 86, 87, 89 и др.].

Как известно, форма частиц заполнителя играет важную роль при формировании бетонных смесей. Одной из важнейших характеристик щебня, используемого для создания бетонов, является содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы [87, 88, 89, 90].

Щебень в зависимости от содержания зерен пластинчатой и игловатой формы подразделяют на четыре группы [87].

Смесь зерен щебня кубовидной формы дает наиболее плотную упаковку. Наличие в щебне зерен пластинчатой и игловатой форм приводит к увеличению межзерновой пустотности в смеси. Кроме того, кубовидные зерна обладают большей прочностью, чем зерна пластинчатой и игловатой форм (таблица 2.4.) [91].

Таблица 2.4. – Сравнительные физико-механические свойства щебня различной лещадности.

Свойства	Щебень лещадный	Щебень кубовидный
Содержание зерен лещадной и игловидной формы, %	89	0
Предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии (в цилиндре), МПа	40–60	120
Дробимость при сжатии в цилиндре, %	15–22	2–5
Показатель сопротивления щебня удару на копре ПМ	41–152	120–370
Износ в полочном барабане, %	18–29	15–20

Для определения влияния формы частиц на прочность льдопородной закладки с различным содержанием частиц пластинчатой (лещадной) и игловатой форм нами была проведена серия экспериментов на образцах [93, 94].

Из дробленых горных пород, служащих наполнителем льдопородной закладки, методом отсева на ситах соответствующего диаметра отбирался необходимый для формирования образцов объем. Гранулометрические размеры фракций дробленой породы, использовавшиеся при изготовлении образцов, составили 5 – 10 мм

Далее производилось определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм методом визуальной разборки [95]. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм оценивалось количеством зерен, толщина которых менее длины в три и более раза.

Соотношение размеров зерен определяли при помощи штангенциркуля. Частицу дробленой породы вкладывали наибольшим размером между губками, положение шаблона фиксировали стопорным шилом и измеряли размер зерна. Затем частицу пропускали наименьшим размером между губками штангенциркуля, установленными на расстоянии в три раза меньшем. Результаты определений сведены в таблицу 2.5.



Таблица 2.5. – Результаты определения формы частиц заполнителя

№ пробы	Вес общий, г	Вес зерен кубической формы, г	Вес зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, г.	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, %
1	1592	1340	295	18
2	1599	1215	295	18
3	1590	1255	335	21
4	1595	1356	239	15
5	1595	1310	285	18
6	1585	1295	290	18
7	1595	1115	225	30
8	1595	1370	210	13
9	1590	1200	390	24

Среднее содержание частиц пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в пробах составило 20 %.

Для определения влияния содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм на прочность льдопородной закладки формировались серии образцов с различным содержанием частиц.

Для изготовления образцов использовались металлические разборные формы размерами 100×100×100 мм. Перед формированием образцов дробленые горные породы и металлические формы охлаждались в морозильной камере до температуры минус 20<sup>0</sup>С.

Затем, охлажденная порода слоями мощностью 2 см засыпалась в металлические формы. Каждый слой равномерно орошался водой, охлажденной до температуры плюс 4 ÷ плюс 5<sup>0</sup>С (20% от объема слоя). Формы выдерживались в морозильной камере с температурой минус 20<sup>0</sup>С до полного промораживания слоя. После смерзания слоя операция повторялась до полного заполнения формы. Заполненные формы выстаивались в морозильной камере в течение суток.

Затем производилось определение предела прочности образцов на одноосное сжатие на прессе при скорости нагружения образца 2 мм/мин до разрушения. Результаты определений сведены в таблицу 2.6.

Таблица 2.6. – Результаты определения предела прочности на сжатие образцов льдопородной закладки с различным содержанием частиц пластинчатой (лещадной) и игловатой форм

№№ образцов	Размеры, мм	Содержание частиц пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, %	Предел прочности на сжатие, МПа
1	2	3	4
Серия №1			
1.	100×100×100	10	1,57
2.	100×100×100	10	1,39
3.	100×100×100	10	0,97
4.	100×100×100	10	1,14
5.	100×100×100	10	1,08
6.	100×100×100	10	0,95
Среднее значение предела прочности на сжатие 1,18 МПа			
Серия №2			
1.	100×100×100	20	1,53
2.	100×100×100	20	1,06
3.	100×100×100	20	1,12
4.	100×100×100	20	0,83
5.	100×100×100	20	1,35
6.	100×100×100	20	0,86
Среднее значение предела прочности на сжатие 1,13 МПа			
Серия №3			
1.	100×100×100	30	1,03
2.	100×100×100	30	0,91
3.	100×100×100	30	0,93
4.	100×100×100	30	0,86
5.	100×100×100	30	0,91
6.	100×100×100	30	0,83
Среднее значение предела прочности на сжатие 0,91 МПа			
Серия №4			
1.	100×100×100	40	0,84
2.	100×100×100	40	0,69
3.	100×100×100	40	0,97
4.	100×100×100	40	0,59
5.	100×100×100	40	0,72
6.	100×100×100	40	0,78
Среднее значение предела прочности на сжатие 0,76 МПа			

Результаты экспериментов показали, что предел прочности образцов льдопородного материала на одноосное сжатие при увеличении содержания

частиц пластинчатой и игловатой форм в наполнителе с 10% до 40% снижается в 1,5 раза (с 1,18 МПа до 0,76) (рисунок 2.13).

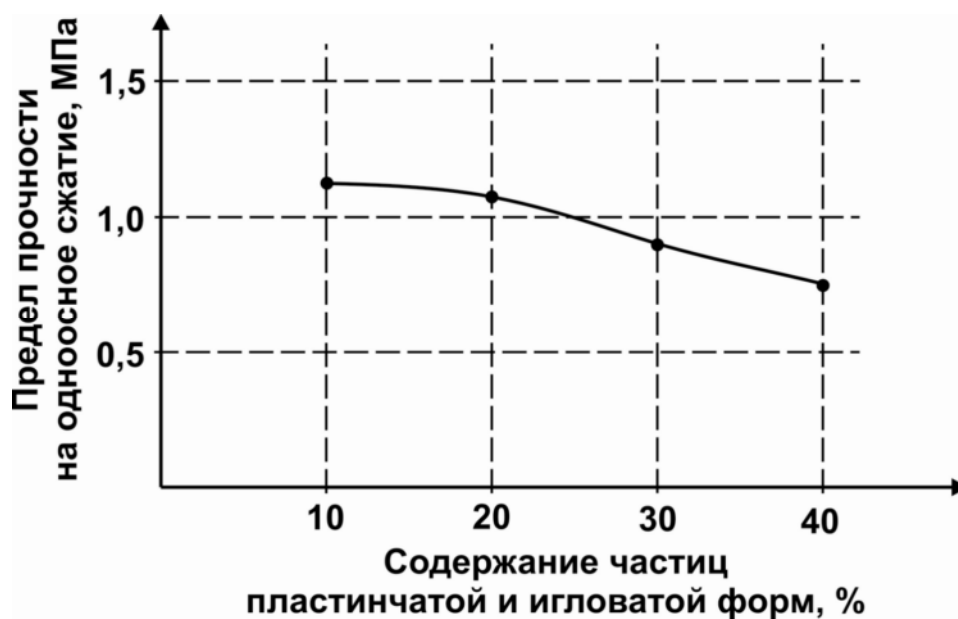


Рисунок 2.13. – Зависимость предела прочности образцов льдопородного материала на одноосное сжатие от содержания частиц пластинчатой и игловатой форм

Снижение предела прочности льдопородного материала можно объяснить тем, что наличие большего количества частиц пластинчатой и игловатой форм приводит к увеличению пустотности, что вызывает снижение площади контактов между кусками промораживаемого породного материала. Кроме того, как было отмечено выше, частицы пластинчатой и игловатой форм обладают меньшей прочностью, чем материал кубовидной формы.

Установленная зависимость имеет важное прикладное значение для оптимизации технологических параметров систем разработки рудных месторождений области криолитозоны с использованием льдопородной закладки. При формировании льдопородных целиков необходимо минимизировать содержание частиц породы пластинчатой и игольчатой форм. Добиться этого можно, включив в закладочный комплекс бункер-питатель, грохот, дробилку. Как известно, даже однократное применение дробилок позволяет снизить содержание

частиц лещадной и игольчатой форм в дробленых горных породах в 2 и более раза [90, 91].

Для определения влияния конструкции льдопородного материала на прочность на одноосное сжатие были проведены исследования на образцах кубической формы со стороной 100 мм, отличающихся типом конструкции – количеством намораживаемых слоев пород (2, 3, 4 и 5).

Формирование образцов производилось в морозильной камере по вышеприведенной методике. Определение предела прочности на одноосное сжатие проводилось нагружением образца на прессе до разрушения.

Результаты испытаний изменения прочностных характеристик льдопородной закладки в зависимости от количества намораживаемых слоев, показали, что образцы льдопородного материала, образованные многослойным намораживанием, прочнее льдопороды с меньшим количеством слоев – предел прочности на одноосное сжатие пятислойной конструкции в 2,5 – 2,7 раза выше, чем, например, двухслойной.

Осредненный график зависимости предела прочности образцов на сжатие от количества слоев приведен на рисунке 2.14.

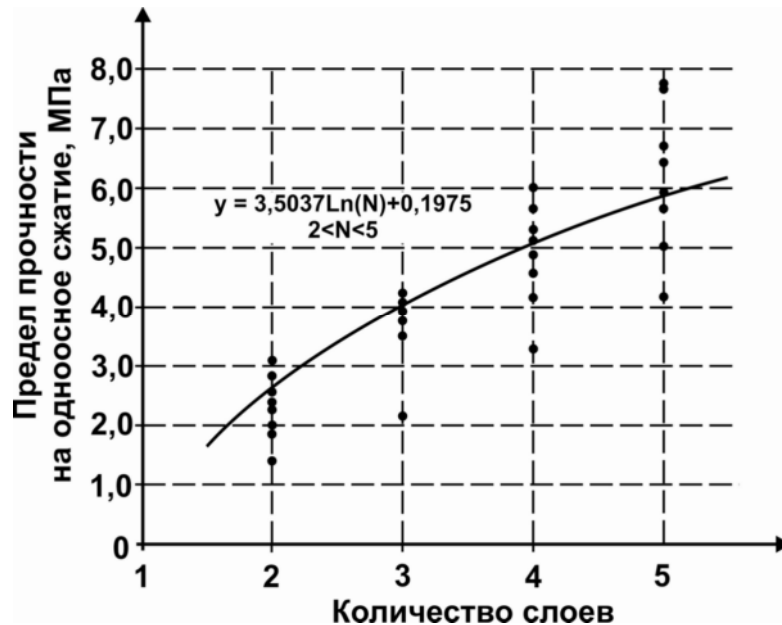


Рисунок 2.14. – Зависимость предела прочности льдопородной закладки на одноосное сжатие от количества намораживаемых слоев.

Установленное увеличение прочности льдопородного материала можно объяснить тем, что в многослойной конструкции лед-цемент равномерно распределен по всему объему образца. Следовательно, при формировании конструкции с большим числом слоев компоненты закладки распределяется более равномерно, что в свою очередь приводит к увеличению числа смерзшихся контактов.

Кроме того, послойное размещение смерзшегося материала затрудняет распространение трещин разрушения в вертикальной плоскости, хрупкое разрушение происходит только в пределах одного слоя, при этом нагрузка равномерно распределяется по всей площади образца.

Определение изменения предела прочности образцов льдопороды в зависимости от гранулометрического состава твердого заполнителя также проводилось путем сравнения результатов испытаний.

Серия экспериментов проводилась на льдопородном материале, сформированном в морозильной камере при температуре минус 20°C, содержание воды составляло 20% от объема образца. Условия формирования образцов оставались неизменными, варьировался только гранулометрический состав твердого заполнителя – дробленой породы.

В качестве основного компонента закладочного материала использовалась горная порода – алевролит. Для получения состава требуемой фракции алевролит был раздроблен и отсортирован на 5 фракций: 10 мм, 5 мм, 2,5 мм, 1 мм и 0,5 мм.

При изготовлении образцов последовательность операций была аналогична производству закладки в натуральных условиях. Предварительно охлажденная порода требуемой фракции размещалась в металлических формах размером 100×100×100 мм слоями по 20 мм, и смачивалась водой равномерно распределяемой по поверхности слоя. Количество воды составляло 20% от объема льдопородного образца. Затем формы с закладочной смесью выдерживались в морозильной камере до смерзания 1,5 часа. Указанное время было принято по результатам ранее проведенных исследований по определению времени

смерзания. После смерзания слоя операция повторялась до заполнения форм. Заполненные формы выдерживались в морозильной камере в течении суток.

Определение прочности на одноосное сжатие осуществлялось нагружением образцов на прессе «Тони-Норм» со скоростью 0,08 мм/сек до разрушения.

Было проведено пять серий испытаний при разном размере фракций заполнителя: 10 мм, 5 мм, 2,5 мм, 1 мм и 0,5 мм. Испытывалось по 9 образцов в каждой серии, коэффициент вариации при этом колебался в пределах 10 – 19% при надежности результатов испытаний 94% и более.

Результаты проведенных испытаний показали, что предел прочности образцов на сжатие увеличивается при уменьшении размера фракций твердого заполнителя. Характер изменения приведен в виде осредненного графика (рисунок 2.15).

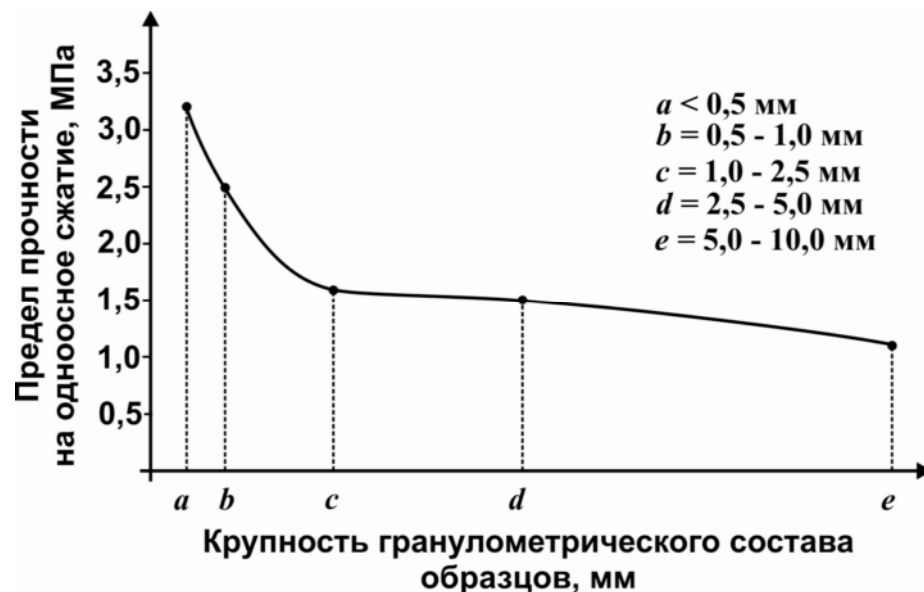


Рисунок 2.15. – Изменение средних значений предела прочности на одноосное сжатие в зависимости от грансостава твердого компонента.

Исследования позволили установить зависимость прочности льдопородного материала на сжатие от размера фракций дробленой породы, при этом характер изменений совпадает с данными, полученными ранее проведенными экспериментами и результатами других исследователей [20, 25, 41, 44, 49].

Явление увеличения предела прочности образца льдопородной закладки с уменьшением размера фракций ее заполнителя может быть объяснено тем, что с увеличением количества частиц заполнителя увеличивается число смерзшихся контактов между частицами дробленой горной породы.

Определение характера изменения прочности замороженных водопородных смесей от влагонасыщения проводилось на образцах льдопороды кубической формы, изготовленных аналогично предыдущим испытаниям.

Проведению испытаний предшествовало определение объема пустот между кусками закладываемых пород. Так как основной объем льдопородной закладки занимают дробленые горные породы, были подобраны сведения по влагоемкости натуральных разрушенных взрывом и в ряде случаев дополнительно раздробленных руд при подготовке их к кучному выщелачиванию (таблица 2.7.) [96]. Как известно, процесс кучного выщелачивания основан на просачивании растворителя через рудный штабель и поэтому оценка удельной водоемкости руды в насыпи (штабеле) является одной из важных операций технологического процесса в целом. Как правило, в кучах обрабатывают материал крупностью от 5 до 100 мм, чаще всего с размером куска от 10 до 40 мм, иногда естественной или забойной крупности [96].

Отмеченные в первой колонке таблицы примечания свидетельствуют об осложнениях при оценке влагоемкости дробленой рудной массы, к тому же с целью воздействия на фильтрационную способность руды различной крупности дробления в выщелачиваемый раствор добавляли разного рода коагулянты (известь, цемент) в количестве от 1 до 8 кг/т.

Чрезвычайная сложность геометрии пустотного пространства и условий протекания растворов не позволяет оценить характер и степень заполнения пустот раствором. Видимо, при этом приведенные оценки влагоемкости занижены. При использовании формального метода оценки пустотности приравнением ее влагоемкости, оценки получаются еще более заниженными. Такое заключение подтверждается экспериментальными исследованиями, свидетельствующими о

Таблица 2.7. – Влагоемкость руды золоторудных месторождений разной крупности [96].

Месторождения, примечания	Крупность руды, мм	Влагоемкость руды, кг/т	Пустотность руды, %
1	2	3	4
Золоторудное «Якокутское», содержание глинистой фракции, (класса -0,074 мм) в руде составляло 25,5%	-100	240	24
	-50	289	29
	-25	294	29
	-10	314	31
Золоторудное «Чозы-Гол», в составе глинистой фракции присутствуют тонкоизмельченные минералы: гидрослюда, коалинит, гидрокоалинит, хлорит.	-20	163	16
	-20	159	16
	-20	155	16
	-20	168	16
	-20	162	16
	-20	161	16
	-20	160	16
	-10	223	22
Монтмориллонит, гидрохлорит и др., что приводит к набуханию глин и затрудненной фильтрации растворов через рудный штабель. Скорость просачивания в пределах от 0,001 – 0,005 м/сут.	-5	232	23
	-2	283	28
	-5	225	22
	-5	202	20
	-5	232	23
	-5	221	22

том, что при обычных технологиях укладки большого штабеля происходит уплотнение рудной массы и как следствие, уменьшение пустотности, увеличение насыпной плотности этой массы и рост числа и площади контактов частиц руды в единице объема. При этом наличие мелких и тонких фракций, частиц пластинчатого и игольчатого типов даже незначительной массовой (объемной)



доли (3 - 5%) на несколько порядков увеличивает удельную внешнюю поверхность частиц руды.

Последнее крайне важно для понимания природы как процессов кучного выщелачивания руд в условиях отрицательных температур, так и процессов формирования и промораживания закладочного материала в рассматриваемой научно-технической задаче.

Подготовка материала и формирование образцов производилось по методике, приведенной выше. Отличительной особенностью было то, что образцы смерзающейся закладки формировались в холодильной установке при температуре минус 20<sup>0</sup>С при объемной влажности 15, 20, 22, 25, 30 и 35%. На промораживание каждого слоя отводилось от 1,5 до 2,5 ч в зависимости от степени влагонасыщения.

Изменение прочности образцов от содержания воды показано на графике приведенном на рисунке 2.16.

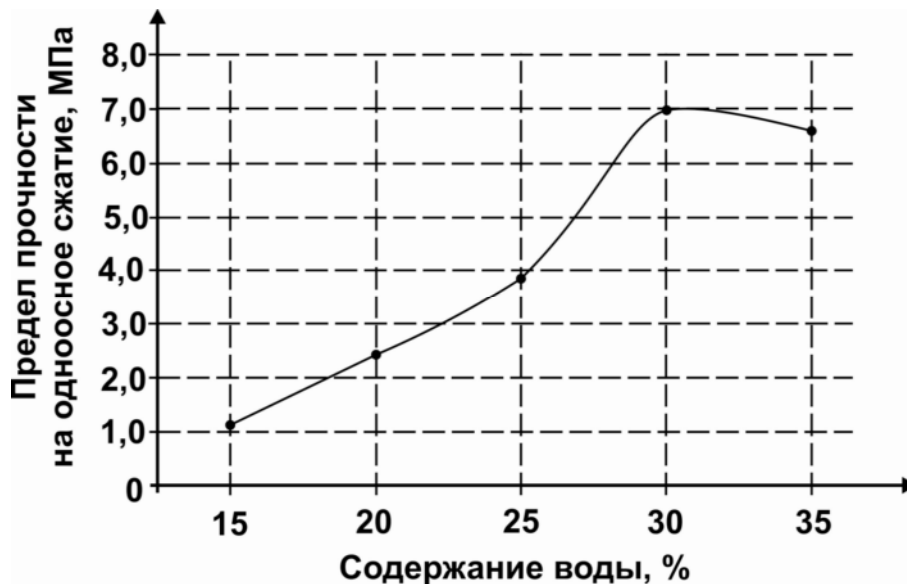


Рисунок 2.16. – Изменение средних значений предела прочности образцов льдопородного материала на одноосное сжатие в зависимости от содержания воды.

Результаты испытаний показали, предел прочности на одноосное сжатие льдопороды возрастает при изменении содержания воды от 15 до 30% объема

образца, при дальнейшем увеличении содержания воды происходит небольшое снижение прочностных свойств.

Возрастание сопротивления мерзлых пород с льдом-цементом внешней нагрузке с увеличением льдистости до полного заполнения пор, а затем его снижение является известным фактом в механике мерзлых грунтов [33, 34, 36 38, 42], однако характер рассматриваемых в этих работах явлений более сложен из-за влияния физико-химических процессов в тонкодисперсной среде.

При данных испытаниях исходили из следующих установленных фактов (дополнительно к уже отмеченным в предыдущих разделах работы):

- пустотность закладочного материала образцов составит не менее 15%;
- вода, при заливке образцов, просачиваясь по сложнейшим «каналам», смачивая шероховатые поверхности частиц и продвигаясь под собственным весом и незначительным напором вышележащей воды по зонам с наилучшими условиями фильтрации, может не полностью заполнять пустотное пространство и смачивать площадь внешней поверхности рудных частиц даже при удельных расходах воды, значительно превышающих объем пустот;
- в процессе промерзания уже при небольших значениях отрицательной температуры происходит кристаллизация свободной влаги; вода, связанная с поверхностью частиц руды (пород), кристаллизуется при более низких температурах; при этом, чем больше влияние сил, удерживающих связанную воду, тем ниже температура ее кристаллизации;
- тонкодисперсные глинистые породы, особо прочно удерживают связанную воду, вследствие чего промерзают при отрицательных температурах в несколько десятков градусов [86];
- при постепенном замораживании смораживающейся породы происходит миграция воды и местами могут возникнуть ледяные перемычки в каналах протекания и миграции воды.

С учетом этих и ранее отмеченных фактов, можно дать следующую интерпретацию полученной зависимости прочности мерзлых образцов от

содержания в них воды, введя широко известный в научной литературе, а в данной работе пока не использованный, термин: коэффициент насыщения или степень влажности, определяемые как доля объема всех пустот в закладочном материале, которую составляют пустоты, заполненные водой. Этот коэффициент изменяется от 0 до 1.

С повышением содержания в образце воды (следовательно, и коэффициента насыщения) увеличивается и доля внешней поверхности породных частиц увлажненной и смерзшейся в контактах частиц. Как следствие этого явления будет повышаться и прочность испытываемых образцов. При дальнейшем увеличении содержания воды происходит небольшое снижение прочностных свойств, что связано с возникновением ледяных прослоев, обладающих меньшей прочностью, чем льдопородный материал

В рамках описанного подхода и полученных результатов в данной главе диссертации и этот вопрос (как и ряд других) находят хорошее объяснение.

Анализ исследований основных механических характеристик промораживаемой закладки показывает, что температурный режим формирования является одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на ее прочностные характеристики.

Изучение свойств различных составов замораживаемых закладочных смесей, проведенные в 80-е годы в нашей стране Р.Н. Сальмановым, С.Н. Красных, К.С. Симоновым и другими [44, 45], Дж. Найтом, М. Харрисом, в 90-е годы в Канаде [46] показали увеличение прочности в зависимости от снижения температуры формирования образцов. Однако полученные ими зависимости справедливы для льдопородного материала, при формировании которого производилось предварительное смешивание наполнителя и воды перед промораживанием и небольшого диапазона отрицательных температур (от минус 5°C до минус 20 °C).

Для уточнения характера влияния температуры на прочность льдопородной закладки, возводимой послойным намораживанием, были проведены

лабораторные исследования изменения прочности на одноосное сжатие образцов льдопородного материала сформированного при различных значениях отрицательных температур.

Образцы с объемным содержанием воды 20% формировались в холодильной установке при различных температурных режимах – минус 5, 10, 15, 18, 20, 23 и 25°C по методике, приведенной выше. При каждом из семи значений температуры испытывалось по 9 образцов. Коэффициент вариации при этом колебался в пределах 10 – 18% при надежности результатов испытаний 96% и более.

Исследованиями установлено что средние значения предела прочности на одноосное сжатие образцов льдопородного материала (кубиков со стороной в 100 мм) возрастают при их промораживании при температуре от минус 5°C до минус 20°C и снижаются при температуре от минус 20°C до минус 25°C (рисунок 2.17.).

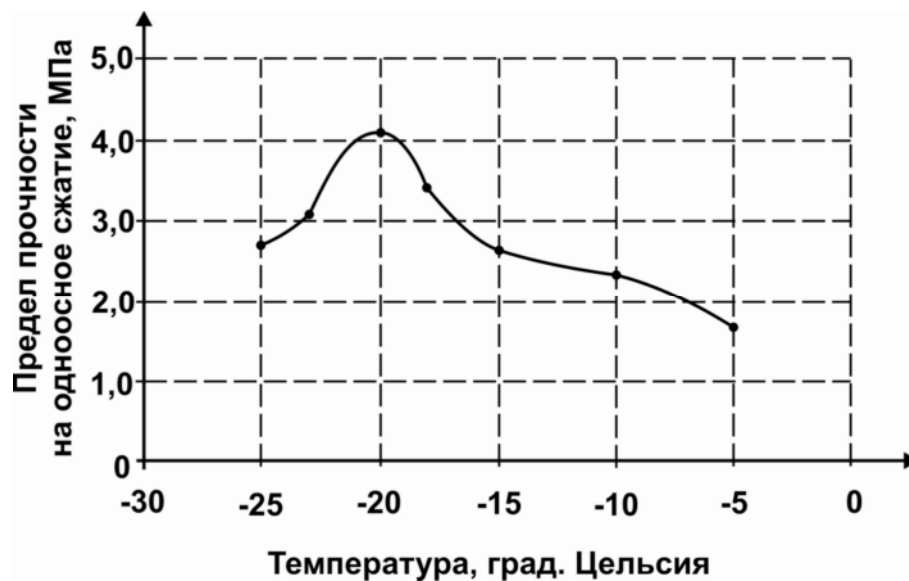


Рисунок 2.17. – Изменение средних значений предела прочности на одноосное сжатие в зависимости от температуры формирования образца

Возможными причинами установленного изменения прочности льдопородного материала в зависимости от температуры его промораживания являются условия и процесс формирования многослойного образца. Как показали предыдущие эксперименты (глава 2, раздел 2.2.) при температуре пород до минус

15°C вода, в основном, проникает в нижнюю часть слоев. При температуре существования локального максимума прочности вода увлажняет весь объем пород, цементируя их при проморозке. А при формировании образцов при температуре ниже минус 20°C вода замерзает на поверхности слоев, не успевая смочить весь прослой, вследствие чего образуются участки сухой породы, что ведет к снижению структурных связей и соответственно, прочности льдопородного материала.

Для выявления качественной характеристики развития разрушения опор из промораживаемых пород проведены лабораторные исследования деформируемости льдопородного материала. Образцы формировались в холодильной установке при объемной влажности ~20% аналогично вышеописанным. Исследования проводились одноосным сжатием на кубических образцах со стороной 100 мм, сформированных последовательным намораживанием слоев при различных режимах нагружения (рисунок 2.18).

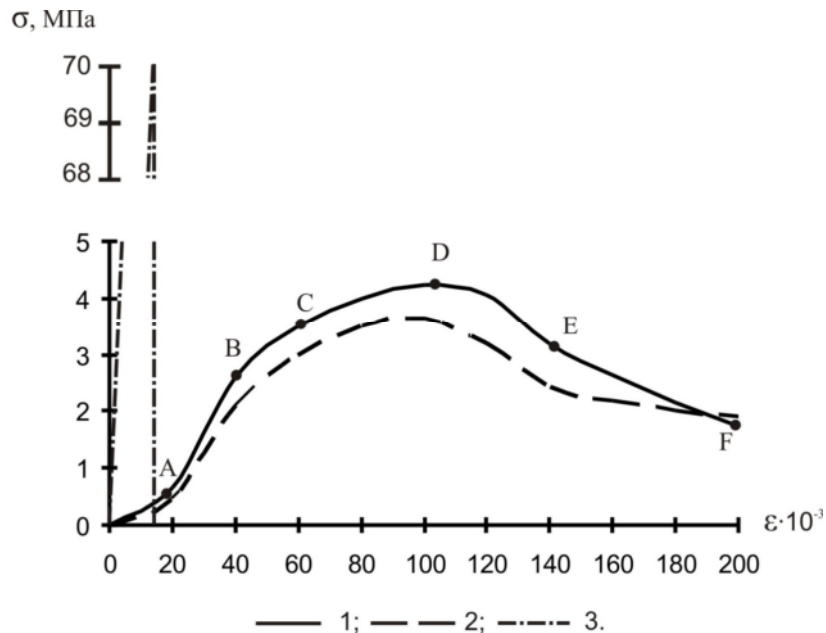


Рисунок 2.18. – Диаграммы деформирования образцов: 1 – льдопородного материала при заданной скорости нагружения; 2 – то же при заданной скорости деформации; 3 – кварцевой руды при заданной скорости деформации.

Анализ зависимостей деформирования серии образцов-близнецов льдопородного материала при одноосном сжатии на прессе, полученных при

различных режимах нагружения – статическом с равномерно возрастающими нагрузками, равными 0,02 МПа/с (рисунок 2.18, кривая 1), и кинематическом с постоянной скоростью деформации, равной 2,5 мм/мин, (рисунок 2.18, кривая 2), позволяет сделать вывод о наличии явно выраженных реологических свойствах, обуславливающих вязкий характер его деформирования.

Весь процесс деформирования льдопородных образцов можно разделить на шесть характерных областей (рисунок 2.18): область OA – стадия снятия неровностей в контактных поверхностях на торцах образца и на контактах породных частиц;

область AB – стадия упругих деформаций на контактах породных частиц;

область BC – стадия зарождения и развития трещин и разрушений на контактах породных частиц;

область CD – стадия неуправляемого роста удельной площади контактов породных частиц и достижения напряжений, соответствующих предельной прочности образца. На данной стадии начинается разрушение и верхнего промерзшего слоя;

область DE – стадия развития деформаций во времени, вязкого разрушения, падение напряжения при возрастающих деформациях, но локальная потеря устойчивости не вызывает исчерпания устойчивости и несущей способности образца породы в целом вследствие наличия связей между отдельными его частями. Это приводит к появлению ниспадающей ветви на диаграмме.

область EF – стадия прогрессирующих деформаций, «бочкообразное» расплющивание образца.

Образцы кварцевой руды подвержены хрупкому разрушению (рисунок 2.18, кривая 3) и при переходе в предельное состояние полностью утрачивают связность.

На основании лабораторных исследований можно предположить, что переход образцов льдопороды в предельное состояние характеризуется высокой

степенью ползучести и расчет предельных зон для целиков из льдопородной закладки должен производиться по огибающей на пределе ползучести.

При обработке и интерпретации результатов экспериментов, приведенных в данном разделе необходимо учитывать случайный характер процесса формирования закладки. Случайность (стохастичность) процесса формирования льдопородной закладки не проверялись ранее экспериментально в работах исследователей ни в натуральных, ни в лабораторных условиях. Между тем, прямым следствием случайности является пространственная изменчивость основных свойств смерзающейся закладки как в натуральных условиях, так и в лабораторных образцах любого размера при одном и том же составе и технологии их подготовки.

Например, каким бы образом не готовился дробленый породный материал, в натуральных или лабораторных условиях, технологически невозможно добиться постоянства его минералогического и гранулометрического состава и одинаковых, идентичных удельной внешней поверхности, показателя пустотности (плотность укладки частиц породы), условий распределения воды и прочего в каждом единичном объеме. Также практически невозможно обеспечить идентичные (по многим критериям) условия промораживания и формирования льдопороды в каждой единице объема, каждом слое.

Практически все рассмотренные и полученные в предыдущем и данном разделах работы экспериментальные результаты подтверждают вышеотмеченные соображения и позволяют сделать по этому разделу следующее заключение: сложность процесса деформирования горного массива, вызываемого ведением горных работ, и большое число влияющих на него факторов обуславливают необходимость в проведении широких теоретических и экспериментальных исследований по его изучению.

## Выводы к 2 главе.

Исследование особенностей формирования структуры, свойств и динамики промерзания льдопородной закладки позволили выявить ее основные отличительные особенности.

Периодическими измерениями конвергенции в обнажениях льдопородного целика К-1160 на руднике Бадран, сформированного послойным намораживанием (гор.820 – 840 м, глубина от поверхности ~150 м), установлено отсутствие относительных смещений. Расчетная нормативная прочность целика составила 3,2 МПа. Данный факт свидетельствует о наборе целиком нормативной прочности и отсутствии усадки, которое объясняется тем, что при формировании целиков незаполненное подкровельное пространство заливается водой, увеличивающейся при замерзании в объеме и создающей дополнительный подпор налегающих пород.

Анализ фактических данных производства показал, что возведение льдопородной закладки при температуре рудничного воздуха выше минус 10°С, горных пород минус 3°С неэффективно, значительно удлиняет сроки проморозки каждого слоя, в особенности последнего.

Исследование процесса формирования целиков позволили установить, что применение милонитов в качестве заполнителя позволяет формировать льдопородный целик с монолитной структурой. При применении песчаника возрастает расход воды (более 30% от объема закладываемой камеры), увеличивается продолжительность промораживания в 2 и более раза, формируется структура с неравномерным распределением льда-цемента и нечеткий контакт с рудными целиками и кровлей камеры. Изучение форм частиц дробленной породы обоих литотипов, используемых в качестве заполнителя закладки на руднике, показало, что содержание кусков пластинчатой и игловатой



форм в отбитой горной массе составляет в среднем 38% у милонитов и 70% у песчаников.

Установлены факторы, снижающие эффективность применения замораживаемой закладки: трудоемкость производства закладочных работ при доставке породного материала с поверхности и длительный процесс промораживания больших объемов закладочного материала.

Исследования структуры закладочного материала в зависимости от температуры формирования позволили установить зависимость, проявляющуюся в неравномерном распределении льда-цемента в материале, как при снижении, так и при повышении температуры. Оптимальное равномерное распределение замерзшей воды достигалось при температуре минус 20°C.

Определение пределов прочности на одноосное сжатие образцов, сформированных с различным количеством слоев, показали возрастание прочности при увеличении их количества – например, предел прочности пятислойной конструкции в 2,5 раза выше, чем двухслойной.

Испытания на прочность образцов льдопородной материала с различным содержанием частиц пластинчатой (лещадной) и игловатой форм проведенные на образцах, подтвердило полученные данные натуральных наблюдений о существенном влиянии формы частиц заполнителя на прочность закладки. Предел прочности образцов льдопородного материала на одноосное сжатие при увеличении содержания частиц пластинчатой и игловатой форм в наполнителе с 10% до 40% снижался в 1,5 раза (с 1,18 МПа до 0,76).

Определение изменения предела прочности образцов льдопороды в зависимости от гранулометрического состава твердого заполнителя показало, что предел прочности образцов на сжатие увеличивается при уменьшении размера фракций. При этом характер изменений совпадает с данными, полученными ранее проведенными экспериментами и результатами других исследователей.

Экспериментальными исследованиями установлено, что предел прочности на одноосное сжатие льдопородного материала при изменении содержания воды

от 15 до 30% возрастает, так как увеличивается количество смерзшихся контактов, а при дальнейшем увеличении содержания воды происходит снижение прочностных свойств, что связано с возникновением ледяных прослоев, обладающих меньшей прочностью, чем льдопородный материал.

Установлено возрастание предела прочности при изменении температуры промораживания от минус 5 °С до минус 20 °С, так как температуре минус 20°С достигается равномерное распределение замерзшей воды и формируется льдопородный материал максимальной прочности. При дальнейшем понижении температуры происходит снижение прочностных свойств, связанное с тем что при температуре ниже минус 20°С вода замерзает на поверхности слоев, не успевая смочить весь прослой, вследствие чего образуются участки с слабыми структурными связями.

Хотя, установленный нелинейный характер изменения прочности льдопородного материала в зависимости от количества воды и температуры промораживания справедлив лишь для условий эксперимента, но при выборе оптимальных параметров возведения льдопородной закладки в натуральных условиях необходимо учитывать полученные данные.

Анализ данных, полученных при одноосном сжатии на прессе образцов льдопородной закладки при различных режимах, позволяет сделать вывод о наличии у данного материала явно выраженных реологических свойств, обуславливающих вязкий характер его деформирования.

В целом результаты исследований, приведенные во второй главе, показывают необходимость учета таких факторов как температура рудничного воздуха, вмещающих горных пород, конструктивных особенностей горных выработок и льдопородных целиков, а также состава и соотношения компонентов закладочного материала. Результаты натуральных наблюдений, полевых и лабораторных экспериментов позволяют определить следующие направления оптимизации возведения льдопородной закладки:

1) Выбор времени отработки и проведения закладочных работ должен производиться с учетом конкретных климатических, горно-геологических и горнотехнических условий разработки.

2) При разработке состава льдопородной закладки особые требования следует предъявлять к подбору количества воды и твердого заполнителя, грансоставу и соотношению частиц дробленых пород различной формы.

3) Выбор оптимальных конструктивных элементов системы разработки, таких как размеры очистных выработок, направление их заложения, размеры очистного блока, количество слоев при формировании льдопородного целика и т.д. позволит в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий влиять на нормативную прочность закладки.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕНЯЕМОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ

#### 3.1. Выбор параметров конструктивных элементов системы разработки и определение нормативной прочности льдопородной закладки

Разработка рекомендаций по повышению эффективности отработки месторождений криолитозоны с использованием льдопородной закладки должна основываться на наиболее полном использовании ее выявленных специфических особенностей и преимуществ перед другими способами управления горным давлением закладкой выработанного пространства [45, 49, 65].

Закладка выработанного пространства – универсальный способ управления горным давлением. Ее основное назначение – уменьшить перемещения и деформации вмещающих пород, чтобы последние сохраняли устойчивость при обнажении в рабочем пространстве очистной выработки на участке между целиками.

Одним из определяющих факторов, позволяющих эффективно и безопасно отрабатывать месторождения подземным способом с применением закладки выработанного пространства, является устойчивость искусственных целиков при ведении горных работ [98]. Сохранение устойчивости закладочного массива зависит в основном, от нагрузки на закладочный массив в окрестности обнажения. Величина нагрузки зависит от угла падения и мощности залежи,

физико-механических свойств руд и пород, размеров выработанного пространства, системы разработки и порядка выемки, времени стояния обнажения и т.д. При применении льдопродной закладки решающее влияние на устойчивость оказывает также температура массива и рудничного воздуха. Температура массива закладки и рудничного воздуха зависит от естественной температуры массива горных пород, сезонных колебаний температуры атмосферного воздуха, применяемой технологии вентиляции и проветривания.

Следовательно, влиять на устойчивость смерзшегося закладочного массива возможно выбором оптимальных параметров и места заложения выработок, а также повышением интенсивности отработки достигая, таким образом, снижения нагрузки и сокращения времени стояния обнажения. Сохранение отрицательного температурного режима можно осуществить путем проведения мероприятий по теплоизоляции и оптимизации режима проветривания и вентиляции, а также с помощью принудительного промораживания.

Кроме вышеперечисленных факторов, устойчивость закладочного массива зависит от его свойств. Изменяя физико-механические свойства и структурные характеристики закладочного массива можно также влиять на устойчивость искусственных целиков.

Правильный выбор размеров конструктивных элементов применяемых систем разработки является основой безопасной и экономичной эксплуатации месторождения. Сохранение устойчивости закладочного массива при ведении горных работ обуславливают две группы факторов: 1 – горно-геологические и горнотехнические; 2 – зависящие от свойств закладочного массива.

Напряженно-деформированное состояние горного массива определяется исходным полем напряжений, обусловленных очистными работами, а искусственного массива – оседаниями налегающих пород. Порядок отработки рудной залежи (поля, месторождения, участка) выбирают, соблюдая основной принцип – минимальное взаимное влияние выемочных единиц [98]. Схема разработки залежи с углом до  $10^\circ$  или расположения очистных выработок по

простирацию при большом угле падения (рисунок 3.1, а) наиболее часто встречается, причем линия фронта очистных работ может быть близка к прямой. Расстояние по горизонтали между очистными выработками соседних панелей, считая по кровле рудного тела, обычно принимают не более 30 м.

Допускается делить залежь на группы панелей (не менее двух в каждой). Опережение в группе панелей зависит от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий, а между группами панелей может быть любым (рисунок 3.1, б). При этом следует иметь в виду, что условия отработки панели, граничащих с выработанным пространством опережающих панелей, будут неблагоприятными (рисунок 3.1, в).

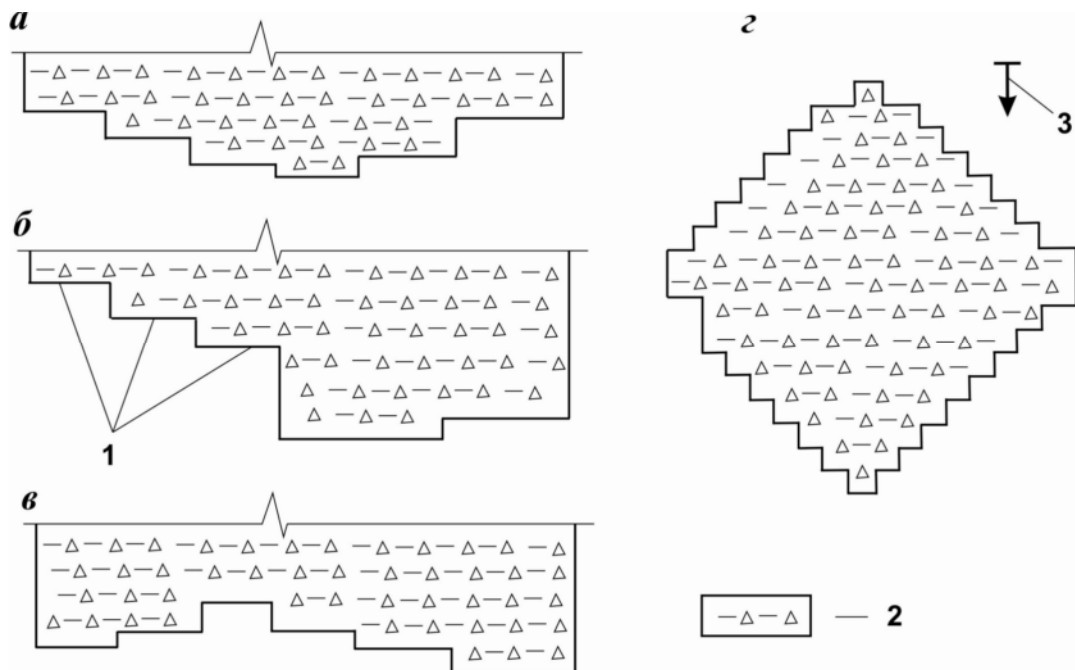


Рисунок 3.1. – Принципиальные схемы конфигурации фронтов очистных работ: а – рекомендуемая; б – возможная в особых случаях; в – не рекомендуемая; г – при отработке залежей с углом падения более  $10^{\circ}$  поперечно-наклонными слоями; 1 – панель; 2 – отработанные и заложенные участки; 3 – линия падения.

При разработке рудных залежей с углом падения более  $10^{\circ}$  очистные выработки могут располагаться вкрест простираения. В таком случае в поле по

падению целесообразно применять вариант поперечно-наклонных слоев с нисходящим порядком а по восстанию – с восходящим. Конфигурация фронта очистных работ будет иметь вид, показанный на рисунке 3.1, г.

Размеры обнажений руды, вмещающих пород и льдопородной закладки в очистных выработках следует выбирать так, чтобы обнажения, не закрепленные или закрепленные анкерами, торкретбетоном или их сочетанием, сохраняли устойчивость в течение всего срока существования очистной выработки [97].

В силу случайного распределения характеристик горного массива, мерой его устойчивости служит вероятность того, что обнажение не обрушится. При этом не исключаются мелкие отслоения и вывалы, которые могут быть частыми и должны периодически обираться, а также крупные вывалы и обрушения, встречающиеся тем реже, чем выше вероятность, характеризующая устойчивость конкретного обнажения. При вероятности  $P = 1$  обрушения исключаются полностью, а при  $P = 0,5 \div 0,6$  – обнажения неустойчивы, хотя примерно половина из них практически будет сохранять достаточную устойчивость, аварийные завалы будут примерно на  $1/5 \div 1/10$  – всех обнажений [98].

Допустимые пролеты очистных выработок на разных этапах разработки месторождения изменяются в зависимости от устойчивости окружающего массива. В настоящее время не существует пригодного для практического использования единого метода оценки устойчивости для разновидностей горных пород. Основываясь на тех или иных параметрах (факторах, свойствах), полученных в натурных или лабораторных условиях, устойчивость массивов оценивают просто по аналогии с другими месторождениями или применяют аналитические методы расчета.

Основные положения для инженерных расчетов безопасных размеров конструктивных элементов системы разработки приведены в работах [96, 97, 98, 99, 100].

Приведем эмпирические зависимости для определения пролета обрушения кровли и предельного устойчивого (безопасного) пролета камер, которые

использовались при проектировании на верхних горизонтах рудного столба №1 месторождения Бадран [8, 21, 29, 102].

Указанные зависимости основаны на формулах и методах расчета, принятых для проектирования шахт на россыпных месторождениях Северо-Востока для кровель, склонных к сводообразованию, отличающиеся учетом наклонного падения рудного столба и результатов исследований параметров физико-механических свойств горных пород [102].

Пролет камеры, при котором происходит обрушение пород, рекомендуется определять из выражения:

$$l_{i\dot{a}} = \frac{2(b+x)}{\exp\left(\frac{0,027H \cos \alpha}{2\tau_{\dot{a}\ddot{e}}} - \frac{1}{2}\right)}, \quad (3.1)$$

где выражение  $2(b+x)$  характеризует ширину области куполообразования, м;  $b$  - половина ширины основания куполообразования куполообразной области, м;  $x$  - смещение горизонтальной проекции вершины параболоида, м;  $H$  - глубина залегания камеры, м;  $\tau_{\dot{a}\ddot{e}}$  - предел длительного сопротивления пород сдвигу, МПа.

Предельно устойчивый пролет камеры при коэффициенте запаса прочности пород  $n = 2$  находится из выражения:

$$l_{i\ddot{o}} = \frac{l_{i\dot{a}}}{\exp\left(\frac{0,027H \cos \alpha}{2\tau_{\dot{a}\ddot{e}}}\right)}, \quad (3.2)$$

С учетом основных факторов, влияющих на устойчивость массива, при наличии данных о напряженно-деформированном состоянии конкретных участков месторождения можно уточнить конструктивные параметры применяемой ресурсосберегающей системы разработки, использующей льдопородную закладку, для безопасной выемки рудных запасов.

Искусственные целики различного назначения и форм являются важным элементом поддержания кровли и управления горным давлением на рудниках. При расчетах конструктивных параметров систем разработки с закладкой выработанного пространства отличительным признаком является определение



нормативной прочности искусственных целиков. Массив закладки определенным образом взаимодействует с окружающими породами, образуя сложную пространственно-временную систему «закладка – породы». Динамика нагружения искусственных целиков существенно зависит от порядка отработки залежей. Поэтому нормативная прочность закладки для одних и тех же условий будет неодинаковой при различном порядке отработки. Здесь рассматривается ситуация с двухстадийной выемкой камер – сначала отрабатывают камерные запасы под защитой рудных целиков (первая стадия), а затем извлекают целики между заложенными камерами, которая является распространенной при системах разработки с закладкой выработанного пространства.

Требуемую прочность закладки рассчитывают по одному, а чаще нескольким факторам: устойчивости вертикального обнажения, горизонтальной подработке, допустимым деформациям закладки, возможности движения по ней оборудования. В качестве нормативной прочности принимают максимальное значение, полученное при расчетах.

Прочность твердеющей закладки называют нормативной, если возможно безопасное обнажение искусственного массива горной выработки требуемых размеров в принятые проектом сроки. Нормативная прочность всегда увязывается с продолжительностью твердения. Динамика набора прочности должна обеспечивать достижение 85—95% нормативной к моменту обнажения. Для удобства определения и контроля нормативной прочности независимо от характера деформаций искусственного массива ее приводят к пределу прочности на одноосное сжатие [98, 99].

При камерной системе разработки с льдопородной закладкой сначала отрабатывают камерные запасы под защитой рудных целиков, а затем извлекают блоковые целики между заложенными камерами. В этом случае расчет нормативной прочности ведется следующим образом.

Нормативная прочность закладки на стадии отработки камер под защитой рудных целиков определяется из следующей зависимости [99, 102]:

$$\sigma_{\text{нэ}1} = \frac{n}{1000k_0k_A} \left( \frac{k_\alpha \gamma_1 H_1 S}{s} + \gamma_2 h_2 \right), \text{ МПа} \quad (3.3)$$

где  $n$  – коэффициент запаса прочности, 1,5 – 2;  $k_\phi$  – коэффициент формы целика, учитывающий влияние геометрических размеров целика на его несущую способность, при  $a > h$   $k_\phi = \sqrt{a/h}$ , при  $a < h$   $k_\phi = 0,6 + 0,4a/h$ ;  $a$  и  $h_n$  – соответственно ширина и высота льдопородного целика;  $k_d$  – коэффициент, учитывающий длительную прочность искусственного целика, равен 0,5 – 0,7 если целики работают при незаложенных камерах и  $k_d = 1$  при кратковременном нагружении искусственных целиков;  $k_\alpha$  – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона залежи на величину нагрузки,  $\hat{E}_\alpha = \cos^2 \alpha + \nu \sin^2 \alpha$ , где  $\alpha$  – угол наклона рудного тела, градус;  $\nu$  – коэффициент бокового распора, ( $\nu = 0,2 \div 0,4$ );  $\gamma_1, \gamma_2$  – удельный вес соответственно пригружающих пород и закладки, кН/м<sup>3</sup>;  $H_1$  – высота толщи, пригружающей искусственную опору, м (с известным запасом она может быть принята равной расстоянию  $L$  между осями рудных целиков, обрабатываемых в последнюю очередь);  $S$  – площадь кровли, приходящаяся на искусственную опору, м<sup>2</sup>;  $s$  – поперечная площадь искусственного целика, м<sup>2</sup>;  $h_2$  – высота обнажаемой части закладочного массива, м.

На стадии выемки рудных целиков нормативная прочность определяется из следующей зависимости:

$$\sigma_{\text{нэ}2} = \frac{n}{1000k_0k_A} \left( \frac{k_\alpha k_i \gamma_1 HL}{a} + \gamma_2 h_2 \right), \text{ МПа}, \quad (3.4)$$

где  $k_n$  – коэффициент, учитывающий степень нагружения искусственного массива налегающими породами, обычно  $k_n = 0,5L/H$ , при незаложенных вторичных камерах  $k_n = L/H$ ;  $H$  – глубина залегания от поверхности, м;  $L$  – ширина блока или расстояние между осями рудных целиков, обрабатываемых в последнюю очередь, м;  $a$  – ширина искусственного целика, м.

**Пример расчета нормативной прочности льдопородной закладки для условий месторождения Бадран.**

На рисунке 3.2 приведена схема к расчету нормативной прочности льдопородной закладки.

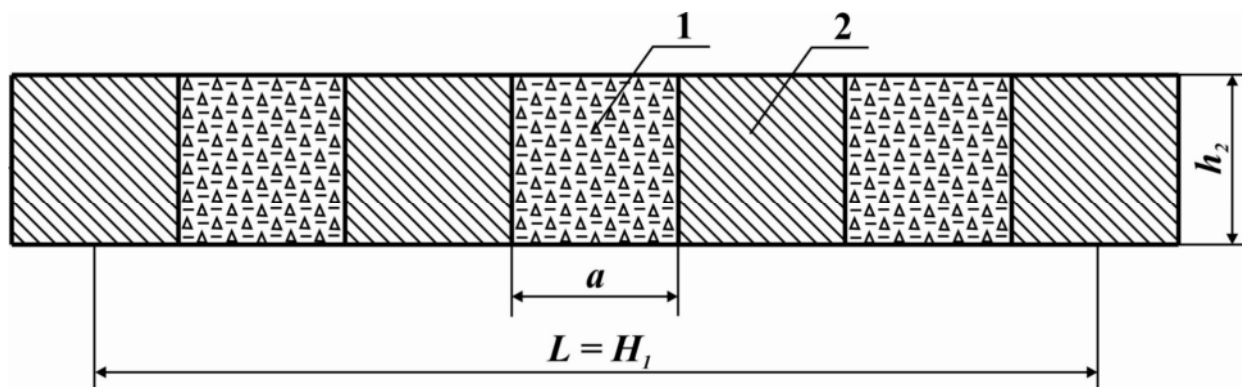


Рисунок 3.2. – Схема к расчету нормативной прочности льдопородной закладки при двухстадийной отработке запасов блока: 1 – льдопородный целик, 2 – рудный целик,  $a$  – ширина целика,  $h_2$  – высота обнажаемой части закладочного массива  $L$  – ширина блока или расстояние между осями рудных целиков, обрабатываемых в последнюю очередь.

Расчет производился по формулам (3.3, 3.4) с учетом результатов натурных и лабораторных исследований, а также фактических данных горного производства.

Для расчетов приняты следующие исходные данные:

$a$  – ширина искусственного целика, 2 м, 3 м, 4 м и 5 м;

$L$  – ширина блока или расстояние между осями рудных целиков, обрабатываемых в последнюю очередь, 20 м, 40 м, 60 м и 80 м соответственно;

$n$  – коэффициент запаса прочности, 2;

$k_\phi$  – коэффициент формы целика, в зависимости от его геометрических размеров принят 0,92; 1,1; 1,3 и 1,4 соответственно;

$k_d$  – коэффициент, учитывающий длительную прочность искусственного целика, принят равным 0,7;

$k_\alpha$  – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона залежи на величину нагрузки, для условий месторождения Бадран  $k_\alpha = 0,81$ ;

$H_1$  – принята равной расстоянию  $L$  между осями рудных целиков, обрабатываемых в последнюю очередь;

$S$  – площадь кровли, приходящаяся на искусственную опору,  $S = 160 \text{ м}^2$ ;  $240 \text{ м}^2$ ;  $320 \text{ м}^2$  и  $400 \text{ м}^2$  соответственно;

$s$  – поперечная площадь искусственного целика,  $s = 80 \text{ м}^2$ ;  $120 \text{ м}^2$ ;  $160 \text{ м}^2$  и  $200 \text{ м}^2$  соответственно;

$h_2$  – высота обнажаемой части закладочного массива, 2,5 м.

$k_n$  – коэффициент, учитывающий степень нагружения искусственного массива налегающими породами, 0,048; 0,072; 0,096 и 0,12 соответственно;

$H$  – глубина залегания от поверхности, 250 м;

Результаты расчета приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. – Нормативная прочность льдопородной закладки в зависимости от конструктивных параметров системы разработки.

№ п/п	Расстояние между осями рудных целиков, отрабатываемых в последнюю очередь $L = H_1, \text{ м}$	Нормативная прочность закладки, МПа	
		на стадии отработки камер под защитой рудных целиков	на стадии отработки рудных целиков
1	2	3	4
При ширине камеры $a = 2 \text{ м}$			
1	20	0,26	1,2
2	40	0,5	4,84
3	60	0,74	10,9
4	80	0,98	19,3
При ширине камеры $a = 3 \text{ м}$			
1	20	0,22	0,69
2	40	0,42	2,71
3	60	0,63	6,1
4	80	0,83	10,8
При ширине камеры $a = 4 \text{ м}$			
1	20	0,2	0,45
2	40	0,36	1,73
3	60	0,53	3,87
4	80	0,7	6,9

Продолжение таблицы 3.1.

1	2	3	4
При ширине камеры $a = 5$ м			
1	20	0,18	0,34
2	40	0,34	1,3
3	60	0,5	2,9
4	80	0,66	5,1

На рисунке 3.3 приведена динамика нагружения льдопородных целиков на стадии отработки камер под защитой рудных целиков  $\sigma_{сж1}$ , на рисунке 3.4 - на стадии выемки рудных целиков  $\sigma_{сж2}$  в зависимости от расстояния между осями рудных целиков  $L$ , обрабатываемых в последнюю очередь при различной ширине камер  $a$ .

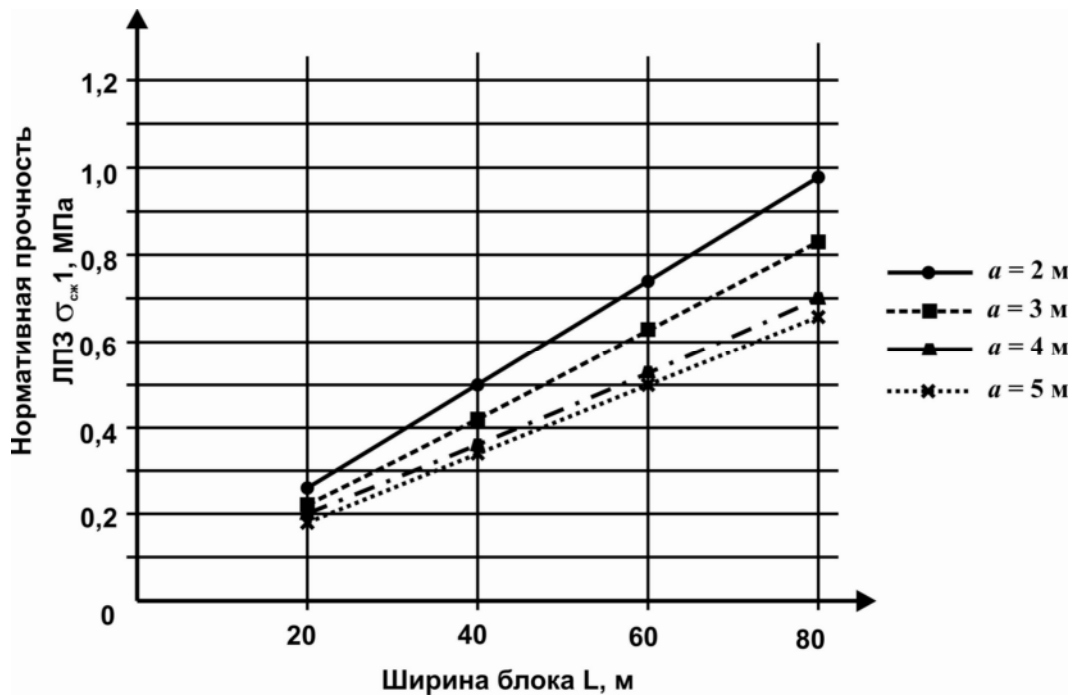


Рисунок 3.3. Нормативная прочность льдопородных целиков на стадии отработки запасов под защитой рудных целиков.

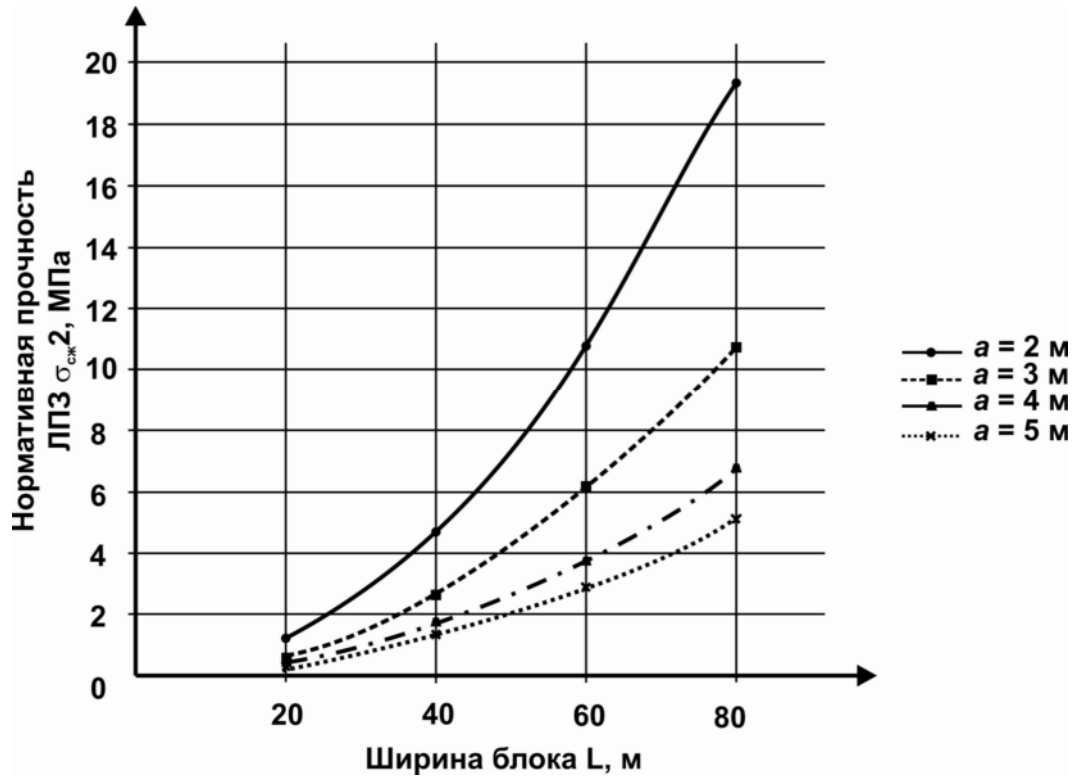


Рисунок 3.4. Нормативная прочность льдопородных целиков на стадии отработки рудных целиков.

Из приведенных графиков видно, что определяющим является нормативная прочность закладки, рассчитанная для стадии выемки рудных целиков. При увеличении высоты толщи, пригружающей искусственные опоры, нагружение закладки резко возрастает.

Полученные результаты показывают, что выборе конструктивных параметров систем разработки с льдопородной закладкой, следует принимать пролеты обнажений камер исходя из допустимых значений нормативной прочности искусственных целиков.

### 3.2. Прогноз продолжительности формирования льдопородного целика в зависимости от горно-геологических условий, температуры промораживания и его конструктивных параметров.

Оптимизация процесса формирования льдопородной закладки состоит в минимизации времени послойного замораживания увлажненной породной смеси и является нестационарной, нелинейной и многопараметрической задачей. На продолжительность замораживания влияет много факторов, которые необходимо учитывать в их взаимодействии. Это - объем и начальная температура замораживаемой воды, температура рудничного воздуха и скорость его движения, температура горного массива, температура дробленых пород, их количество и грансостав, конечная температура закладочного массива. Только при оптимальном соотношении величин всех этих параметров можно образовать монолитный искусственный целик с необходимыми прочностными свойствами за заданный период времени [104].

В зависимости от значения отрицательной температуры кусков мерзлой породы и количества заливаемой воды слой влажных горных пород может быть заморожен за счет холода, аккумулированного в мерзлых кусках. На первом этапе исследований нами было решено не учитывать исходную отрицательную температуру мерзлой породы, чтобы исключить из рассмотрения соответствующие технологические операции по охлаждению кусков мерзлой породы, а повышение интенсивности замораживания льдопородной закладки за счет этого фактора включить в запас надежности результатов расчета. Принято, что слой водонасыщенных дробленых горных пород имеет исходную температуру равную или выше  $0^{\circ}\text{C}$ .

Для определения температурного поля закладочного массива и вокруг очистной камеры для условий месторождения Бадран разработана двухмерная

математическая модель теплообмена рудничного воздуха с возводимой льдопородной закладкой и окружающим массивом горных пород [104]. Схема расчета приведена на рисунке 3.5. Закладочный материал доставляется с помощью скрепера и массив формируется послойно с последующим увлажнением и промораживанием холодным воздухом. В математической модели учитывается недоукладка закладочным материалом под потолочиной из-за невозможности доставки закладочного материала скрепером. Принято, что эта часть заполняется водой.

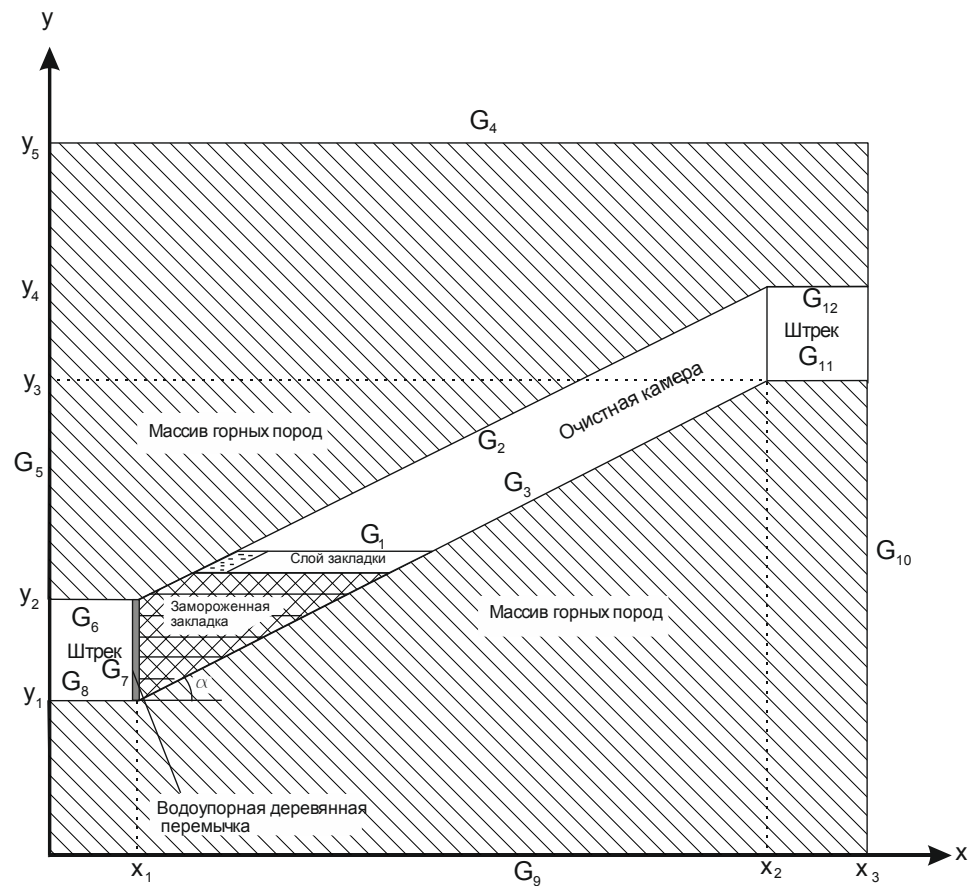


Рисунок 3.5. – Схема формирования льдопородного закладочного массива в очистной камере.

Приняты следующие упрощающие допущения:

- теплообмен на поверхности слоя закладочного массива, стенке и потолочине горной выработки с рудничным воздухом определяется по закону Ньютона с коэффициентом конвективного теплообмена  $\alpha$ ;



- теплообмен на границе соприкосновения вновь укладываемого слоя и ранее уложенного закладочного массива подчиняется условию идеального теплового контакта;
- промежуток времени, затрачиваемый на отсыпку слоя закладочного материала, не учитывается, т.е. считается, что каждый слой появляется мгновенно в момент начала этого промежутка.

Процесс распространения тепла в массиве горных пород с учетом фазовых переходов влаги описывается следующим уравнением [106]:

$$\begin{aligned} [C(T) + L_{\phi} \cdot W \cdot \rho \cdot \delta(T - T^*)] \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right], \\ C(T) &= \begin{cases} c_1 \cdot \rho_1; T < T^* \\ c_2 \cdot \rho_2; T > T^* \end{cases}, \lambda(T) = \begin{cases} \lambda_1; T < T^* \\ \lambda_2; T > T^* \end{cases} \end{aligned} \quad (3.5)$$

где  $L_{\phi}$  - скрытая теплота плавления (замерзания) льда (воды), Дж/кг;  $W$  - влажность пород, доли единиц;  $\rho$  - плотность породы, кг/м<sup>3</sup>;  $T^*$  - температура фазовых переходов влаги, °С;  $c_1, \rho_1, \lambda_1$  ( $c_2, \rho_2, \lambda_2$ ) - удельная теплоемкость (Дж/(кг·К)), плотность (кг/м<sup>3</sup>) и коэффициент теплопроводности (Вт/(м·К)), соответственно, для мерзлых (талых) пород;  $\delta(T - T^*)$  - функция Дирака.

Фазовые переходы учитываются с помощью  $\delta$ -функция Дирака.

На границе выработки задается граничное условие III рода:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_1(T_g - T), \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_1(T - T_g), \quad x, y \in G_2, \quad (3.6)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_1(T - T_g), \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_1(T_g - T), \quad x, y \in G_3, \quad (3.7)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_1(T_g - T), \quad x, y \in G_1, \quad (3.8)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_1(T - T_g), \quad x, y \in G_6, G_{12}, \quad (3.9)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_1(T_g - T), \quad x, y \in G_8, G_{11}, \quad (3.10)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_2(T - T_g), \quad x, y \in G_7, \quad (3.11)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  - коэффициенты теплообмена воздуха с горными породами, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

На внешних границах области  $G_4$  и  $G_9$  задается граничное условие I рода:

$$T = T_e, \quad x, y \in G_4 \text{ и } G_9. \quad (3.12)$$

На границах  $G_5$  и  $G_{10}$  задается граничное условие II рода:

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad x, y \in G_5 \text{ и } G_{10}. \quad (3.13)$$

Для решения двухмерной задачи теплообмена (3.5) с граничными условиями (3.6)-(3.13) применен метод суммарной аппроксимации [107, 108], который сводит исходную задачу к последовательности одномерных задач. На каждом временном слое решается последовательность одномерных задач. Для решения одномерной задачи промерзания-протаивания используются численные методы сквозного счета со сглаживанием коэффициентов.

Двухмерная область заменяется дискретной областью  $W_x \times W_y$ . Причем шаг сетки по направлению  $W_y$  задается таким образом, чтобы в каждый вновь отсыпaeмый слой попадало не менее десяти узлов сетки. Система разностных уравнений решается последовательно методом простой итерации с применением метода прогонки [107].

На основе разработанных программ для ПЭВМ были проведены численные эксперименты по расчету послыоного намораживания льдопородной закладки в подземной горной выработке [105]. Расчет проводился при следующих исходных данных: место расположения рудника – Оймяконский улус Республики Саха (Якутия), рудник «Бадран»; длина наклонной очистной камеры 40 м, угол наклона 30°; высота выработки 2 м; удельная теплоемкость мерзлой породы 900 Дж/(кг·К); плотность породы 2000 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности мерзлой породы 2,3 Вт/(м·К); естественная температура массива горных пород минус 4°С; влажность массива горных пород постоянная и равна 0,05. Исследовались способы возведения закладочного массива при различной степени увлажнения: 20%, 30%, 40% и 50%; толщине слоя: от 0,2 до 0,5 м; начальной температуре слоя

плюс 2°C. Температура воздуха, поступающего в камеру, принималась равной минус 5°C, минус 10°C и минус 20°C.

Основным управляющим параметром при оптимизации формирования льдопородного массива является время замораживания одного слоя при его заданной толщине. Время счета останавливается после укладки последнего слоя при достижении температуры закладки заданного значения (минус 1°C). Последний слой замерзает за счет аккумулированного холода в потолочине и нижних слоях закладочного массива, а также за счет теплообмена с воздухом в верхнем штреке.

На рисунках 3.6 – 3.8 приведены результаты расчетов при температуре воздуха минус 5°C, минус 10°C и минус 20°C. Из графиков видно, что для заданной толщины слоя существует оптимальное время замораживания, при котором суммарное время формирования закладочного массива минимально.

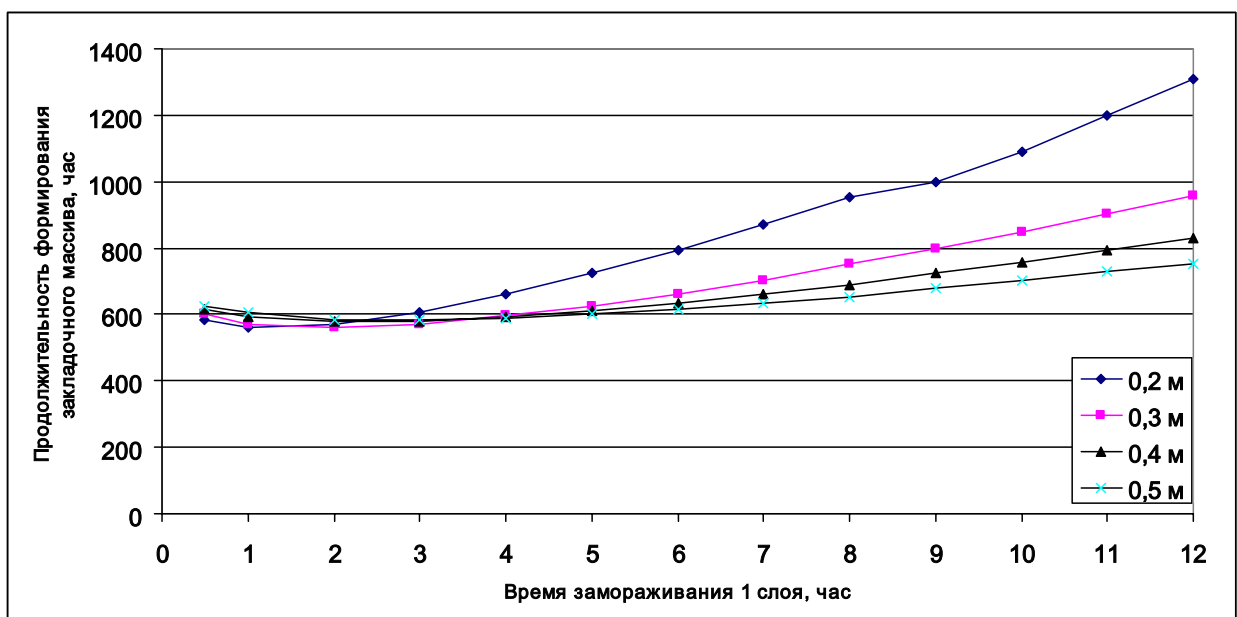


Рисунок 3.6. – Продолжительность формирования закладочного массива в зависимости от времени замораживания 1 слоя при различных толщинах и температуре воздуха -5°C.

Так, при температуре воздуха минус 5°C и минус 10 °C для толщины слоя 0,2 м, оптимальным временем замораживания 1 слоя является 2 часа, для

толщины слоя 0,3 м – 2 часа, для толщины слоя 0,4 м – 3 часа, для толщины слоя 0,5 м – 2 часа (рисунки 3.6 и 3.7). При температуре воздуха минус 20°С для толщины слоя 0,2 м оптимальным временем замораживания 1 слоя является 1 час, для толщины слоя 0,3 м – 2 часа, для толщины слоя 0,4 м – 2 часа, для толщины слоя 0,5 м – 3 часа (рисунок 3.8).

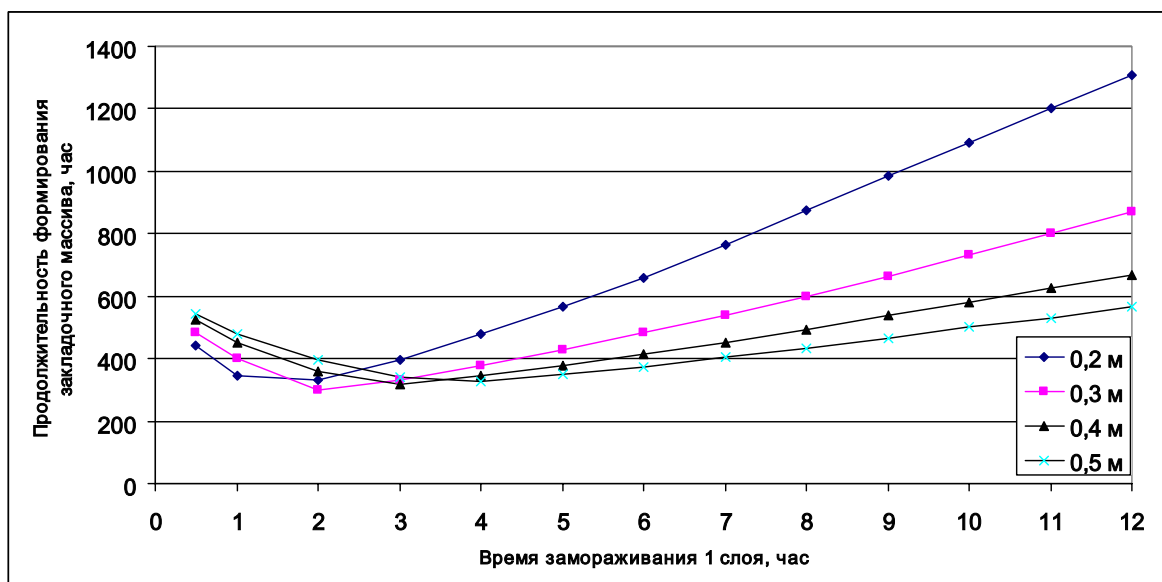


Рисунок 3.7. – Продолжительность формирования закладочного массива в зависимости от времени замораживания 1 слоя при различных толщинах и температуре воздуха -10°С.

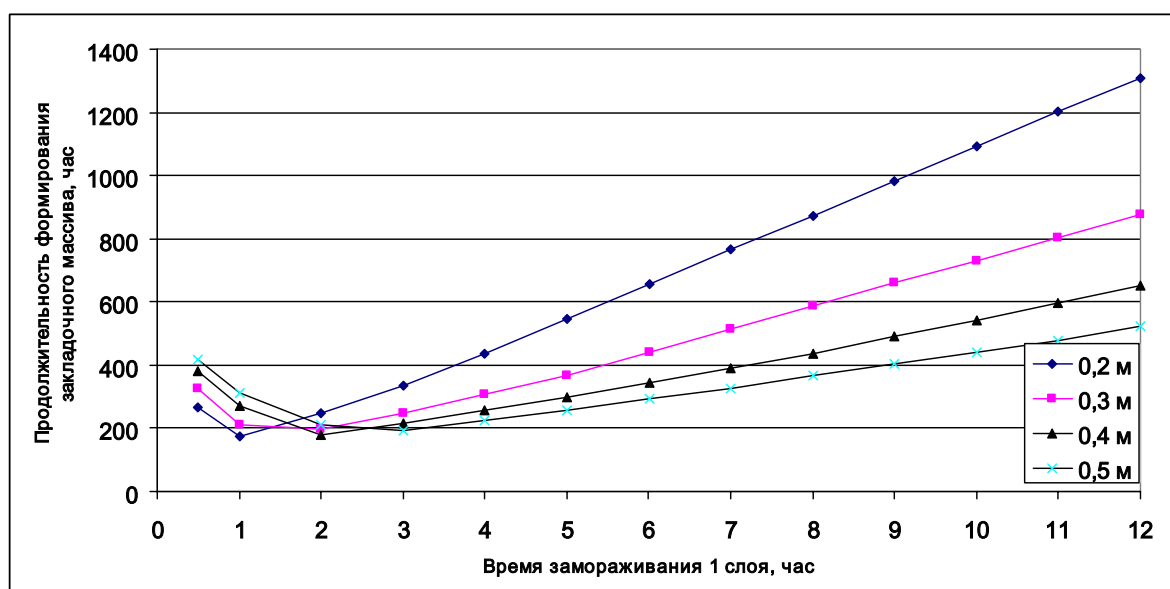


Рисунок 3.8. – Продолжительность формирования закладочного массива в зависимости от времени замораживания 1 слоя при различных толщинах и температуре воздуха -20°С.

Для каждой толщины единичного слоя существует оптимальное время его замораживания. Даже небольшое отклонение времени замораживания в сторону уменьшения ведет к резкому увеличению общего времени формирования закладочного массива. Увеличение времени проморозки каждого слоя пропорционально увеличивает общее время формирования закладки. Поэтому на практике время замораживания должно выбираться с некоторым запасом, чтобы гарантировать полное промораживание закладочного массива за заданный промежуток времени.

На рисунках 3.9 и 3.10 приведены температурные изолинии в закладке и окружающем массиве горных пород при времени замораживания, равному 0,5 ч, которое меньше его оптимального значения, и при оптимальном времени (2 ч). Толщина слоя равна 0,4 м. В первом случае закладочный массив замерзает за 381 ч, и в последнюю очередь замерзает его центральная часть (рисунок 3.9).

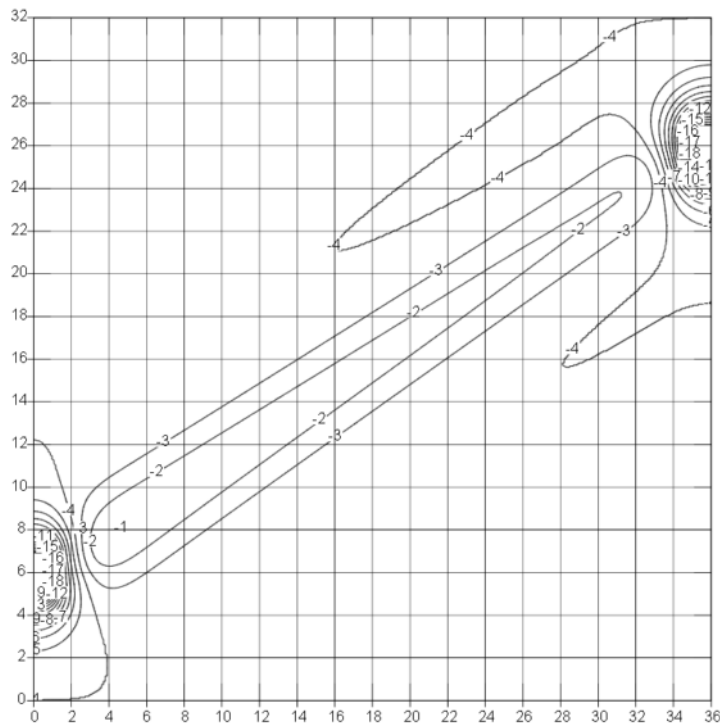


Рисунок 3.9. – Температурные изолинии в закладочных и породных массивах в конце формирования закладочного массива при времени замораживания 1 слоя, равному 0,5 ч.

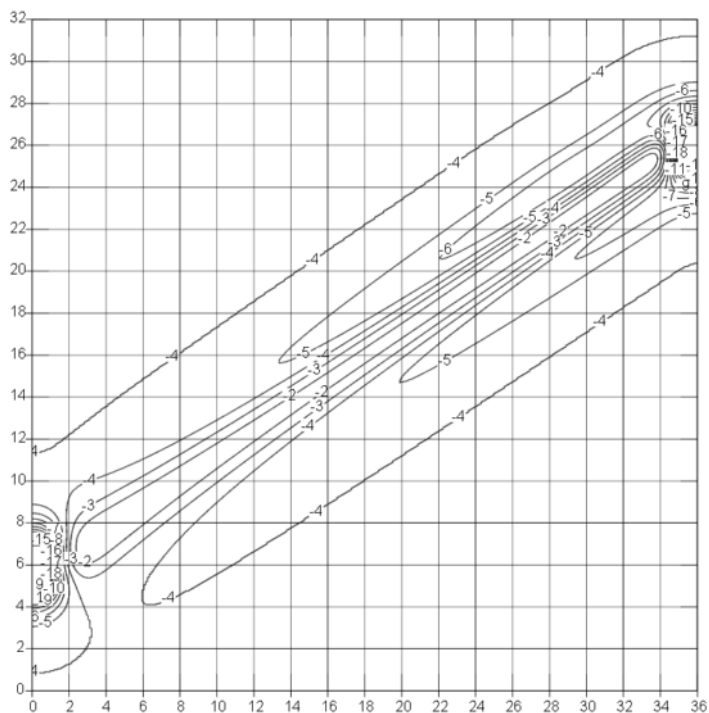


Рисунок 3.10. – Температурные изолинии в закладочных и породных массивах в конце формирования закладочного массива при оптимальном времени замораживания 1 слоя (2 часа)

При оптимальном режиме замораживания закладочного массива время его формирования равно 183 ч и температура закладки имеет более низкую температуру, что важно для обеспечения устойчивости выработок (рисунок 3.10).

Рассмотрим пример расчета параметров технологии с льдопородной закладкой на основе предложенной методики. Предположим, что закладка одного слоя осуществляется в течение одной 6 часовой смены и замораживание его осуществляется в течение 16 - 18 часов. Наиболее оптимальной толщиной слоя по результатам расчета (рисунок 3.8) является слой толщиной 0,4 – 0,5 м. Тогда общее время закладочных работ и набора необходимой прочности закладочного массива (замерзания) составит 12 - 14 суток (при температуре воздуха минус 20°C), после которого можно приступить к отработке соседних камер. А при температуре воздуха минус 10°C время формирования закладочного массива составит 15 -17 суток.

Следует отметить, что в настоящее время общая продолжительность формирования льдопородного целика на руднике Бадран составляет 1 – 4 месяца.

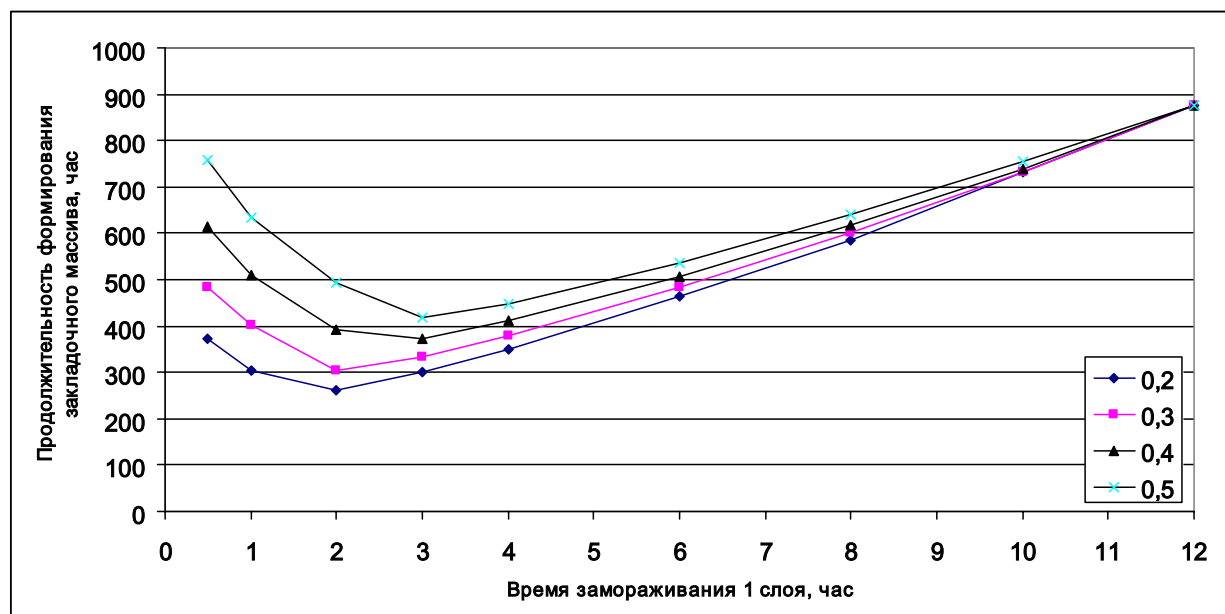


Рисунок 3.11. – Продолжительность формирования закладочного массива при разных значениях влажности укладываемого слоя

На рисунке 3.11 приведены результаты расчетов времени формирования закладочного массива при различных значениях влажности укладываемого слоя, из которых видно, что повышение влажности с 20 до 50% увеличивает оптимальное время с 260 до 418 часов

Таким образом, оптимизация технологических параметров послойного намораживания при закладке выработанного пространства позволяет формировать закладочный массив с необходимыми прочностными свойствами при сокращении продолжительности закладочных работ и набора нормативной прочности, что в итоге будет способствовать ускорению сроков отработки месторождения без ущерба безопасности ведения горных работ.

### 3.2. Рекомендации по выбору оптимальных параметров формирования льдопородной закладки

Известные способы воздействия на формируемый льдопородный закладочный массив с целью повышения эффективности его промораживания можно разделить на две группы [109]. Первая группа объединяет способы и технологические операции, направленные на создание такого термовлажностного состояния и состава смеси закладочного материала, при которых достигается максимальная прочность и минимальное время смерзания закладочного массива.

Вторая группа способов предполагает использование запаса холода окружающего выработки породного массива или применение специальных мероприятий с помощью криогенной техники.

Продолжительность пассивного смерзания больших объемов закладки занимает большое количество времени. Проморозка с помощью криогенной техники с использованием в качестве хладоносителя, например, водного раствора хлористого кальция или сжиженных газов (азот и др.) связано со значительными материально-техническими затратами и экономически нецелесообразно.

Повышение эффективности отработки месторождений с использованием льдопородной закладки должны основываться на наиболее полном использовании ее выявленных специфических особенностей и преимуществ перед другими способами управления горным давлением закладкой выработанного пространства [108, 112, 113].

Рекомендуемое промораживание закладочной смеси, смоченной дозировано подаваемой водой, основано на использовании энергии естественного холода и осуществляется за счет отвода тепла при кристаллизации воды в воздух, в предварительно охлажденную смесь и окружающий горный массив.



В общем случае, основными этапами добычи руды с льдопородной закладкой выработанного пространства являются: 1) охлаждение пород в районе закладочных работ путем циркуляции холодного воздуха с температурой от минус 15 °С и ниже, в результате чего искусственный массив набирает необходимую нормативную прочность и происходит промораживание массива вмещающих пород на расстоянии 1 – 2 м от стенки выработки; 2) образование льдопородного массива путем послойного наращивания закладки с периодическим охлаждением слоя пропусканьем холодного воздуха.

Основные положения предлагаемого подхода к конструированию технологических схем рационального освоения месторождений криолитозоны подземным способом с использованием льдопородной закладки состоят в следующем [109]:

- использование при вскрытии месторождений наклонных выработок, обеспечивающих возможность доступа на любой горизонт участка залежи;
- применение технологических схем с выемкой слоев ортами-заходками относительно небольшой длины и сечения с целью оперативного выявления участков с некондиционной рудой;
- комбинация системы разработки с льдопородной закладкой с оптимальными вариантами других систем, в частности камерно-столбовыми, для отработки участков месторождений с относительно низким содержанием полезного ископаемого;
- геомеханическое обоснование конструктивных параметров технологических схем (размеры искусственных и естественных целиков) необходимо производить с учетом фактора интенсивности отработки с целью обеспечения безопасной выемки временно оставляемой некондиционной руды в недрах;
- нормативная прочность льдопородной закладки для различных геомеханических условий разработки месторождений обеспечивается за счет

комплексного учета ее конструкции и технологии возведения, термовлажностных условий формирования и компрессионных свойств.

Данные, полученные в результате натуральных наблюдений, лабораторных экспериментов и математического моделирования возведения льдопородной закладки показывают, что существует возможность управления ее свойствами в зависимости от геомеханических условий и технологических параметров применяемой системы разработки путем выбора оптимальных параметров технологии ее формирования.

Используя полученные результаты, приведенные в предыдущих главах и разделах данной работы, были разработаны рекомендации по технологическим параметрам производства закладочных работ, позволяющие повысить несущую способность и устойчивость льдопородных целиков (таблица 3.2).

Инертными заполнителями закладочных смесей являются местные природные материалы: пустые породы с поверхности, от горных работ, песок, песчано-гравийная смесь, дробленый лед, отходы котельных. Гранулометрический состав пород – крупность до 200 мм. Такой грансостав пород можно получить, например, на установке ПДСУ-200 с производительностью 65 м<sup>3</sup>/час. Данная установка состоит из комплекса передвижных дробильных установок, применяемых в дорожном строительстве и может быть использована практически на любом предприятии. Для приготовления породных смесей сооружается закладочный комплекс, включающий бункер-питатель, грохот, дробилку, конвейер, смеситель. Технологическая схема при этом намного проще, чем схема приготовления закладочного материала на цементной основе или на основе молотых и гранулированных шлаков.

Полученную закладочную смесь транспортируют автосамосвалами и складировать и охлаждают на поверхности у места закладочных работ или породоспускной (доставочной) выработки.

Таблица 3.2. – Рекомендации по технологическим параметрам производства закладочных работ

Рекомендации	Способ осуществления
<p>Температура атмосферного воздуха и твердого заполнителя для формирования льдопородной закладки должна быть ниже <math>-15^{\circ}\text{C}</math>. Температура массива горных пород ниже <math>-3^{\circ}\text{C}</math>.</p>	<p>Перед началом работ необходимо аккумулирование холодного воздуха в горных выработках в холодные периоды года и использование различных способов теплоизоляции в теплые. Закладочные работы необходимо начинать при достижении устойчивой отрицательной температуры воздуха на поверхности ниже <math>-15^{\circ}\text{C}</math>. Для эффективного формирования льдопородной закладки оптимальным является период с начала ноября месяца по конец марта. Дробленые горные породы предварительно охлаждаются путем размещения на поверхности или на свежей струе воздуха с отрицательной температурой.</p>
<p>Увеличение количества мелких фракций 50 – 100 мм в объеме дробленых горных пород до 80%. Снижение количества частиц дробленной породы лещадной и игольчатой форм менее 40%.</p>	<p>Использование в качестве твердого заполнителя льдопородной закладки менее прочных горных пород (милониты, мергели и т.д.). Применение оптимальных параметров БВР при отбойке или дробилок в технологической цепочке закладочного комплекса обеспечивающих необходимый грансостав и соотношение частиц в заполнителе.</p>
<p>Формирование закладки в выработанном пространстве проводить слоями мощностью 0,4 – 0,5 м.</p>	<p>Размещение дробленых горных пород проводить рабочим органом машин и механизмов (ковш ПДМ, скрепера, бульдозера). После размещения в выработке дробленых пород производить их планировку и уплотнение. Укладку следующего слоя начинать после полного промерзания предыдущего.</p>
<p>Использование воды в количестве 20-30% от объема закладываемых пород, температурой не выше <math>5^{\circ}\text{C}</math> и содержанием солей не более 500 мг/л.</p>	<p>Применение при распределении воды форсунок, дождевальных установок, регулирование температуры в емкостях перед подачей, контроль химического состава воды.</p>
<p>Температура рудничного воздуха в камере при промораживании должна быть в пределах от <math>-15^{\circ}\text{C}</math> до <math>-20^{\circ}\text{C}</math>.</p>	<p>Оптимизация схемы проветривания. Принудительное проветривание вентилятором местного проветривания при температуре рудничного воздуха в пределах от <math>-15^{\circ}\text{C}</math> до <math>-30^{\circ}\text{C}</math>. Укладка труб в закладку, проведение окон-сбоек в рудных целиках</p>
<p>Основное требование — полнота заполнения выработанного объема камеры и прочность заложенного массива. Междукамерные целики отрабатываются после набора искусственными целиками требуемой нормативной прочности</p>	<p>При проведении закладочных работ особое внимание следует уделить участкам целика на контактах с кровлей и боками выработки. При необходимости после смерзания слоя применять дозаливку водой в указанных частях целика. При обнажении льдопородной закладки проводить визуальные обследования состояния выработанного пространства, периодическое снятие показаний прироста напряжений и смещения кровли при ведении горных работ и замеры температуры горных пород и воздуха в сети горных выработок.</p>

В качестве связующего компонента используется пресная вода температурой порядка  $5^{\circ}\text{C}$ , цементирующая закладочную смесь при промораживании. Для воды используют емкость вместимостью 40 – 50 м<sup>3</sup>, которую устанавливают на поверхности вблизи закладочных работ в утепленном помещении передвижного типа. В целях предотвращения замерзания воды в помещении поддерживают температуру не ниже  $2^{\circ}\text{C}$ . Для подачи воды из емкости до закладываемой камеры, используют полиэтиленовые трубы, имеющие значительно меньшую теплопроводность в сравнении с остальными. Количество смачивающей воды изменяется в пределах 20 – 30% от объема закладки.

Доставка дробленых пород до закладываемых камер и их размещение в камерах осуществляется с использованием погрузочно-доставочных машин. Закладочный массив в камере формируется слоями.

Применяется гидравлический способ распыления воды плоскоструйными и конусными форсунками серийного производства. На поверхности заложеного слоя вода также может равномерно распределяться при помощи дождевальной короткоструйной дефлекторной насадки кругового действия с расходом воды 2,3 л/с и радиусом действия до 10 м, использовавшейся при наморозке льда на россыпных шахтах Северо-Востока.

Давление воды перед форсунками изменяется в пределах 0,2 – 1 МПа. Для очистки магистрали от остатков воды используется сжатый воздух. Холодный воздух с температурой минус  $15^{\circ}\text{C}$  и ниже подается с поверхности к месту наморозки вентилятором местного проветривания по вентиляционным рукавам диаметром ~0,6 м. Направление потока воздуха должно совпадать с направлением оси факела форсунок. Важно, чтобы охлаждающий поток воздуха, имеющий температуру минус  $15^{\circ}\text{C}$  и ниже и скорость 4–5 м/сек, не смешивался и не пересекался с вентиляционной струей.

Принудительное промораживание слоев закладываемых пород дает возможность работать на поверхности закладки (рабочая платформа) уже через 2–

3 часа – проходить выработки висячем и боковом массивах пород, проводить какие-либо работы по укреплению возводимой закладки и т.д.

Камеры второй очереди обрабатываются после набора искусственными целиками необходимой нормативной прочности.

С целью обеспечения устойчивого состояния крайних целиков льдопородная закладка в первую очередь должна возводиться в центральных камерах. Отметим также, что особое внимание следует обращать на проморозку границы льдопородного целика с смежными рудными целиками.

Особенно важным звеном при данной технологии является процесс промораживания породного материала. Работы по возведению искусственных целиков из льдопородной закладки должны производиться при отрицательных температурах, что, при необходимости, может обеспечиваться подачей в камеры холодного воздуха вентиляторами местного проветривания с поверхности. Необходимо также предусматривать аккумуляцию в горных выработках воздуха с отрицательной температурой в холодные периоды года и использование различных способов теплоизоляции в теплые.

Для эффективного промораживания льдопородного массива необходимо, чтобы температура рудничного воздуха была не выше минус  $10^{\circ}\text{C}$ , руды и вмещающих пород не выше минус  $3^{\circ}\text{C}$ . Указанные параметры температурного режима в горных выработках и массиве горных пород, от которого зависит работоспособность как ранее замороженных целиков, так и устойчивость обнажений массива, необходимо выдерживать во всем горном отводе предприятия.

Перспективным направлением дальнейшего развития рассматриваемой системы разработки может явиться применение мобильного самоходного оборудования, при котором значительно повысится производительность труда и комфортность его условий.

Как известно [100, 103], использование самоходного оборудования при системах разработки с закладкой ограничивается несущей способностью

(прочностью) верхнего слоя закладки, так как горные машины передвигаются по поверхности закладки.

Необходимую прочность верхнего слоя льдопородной закладки можно определить из выражения

$$R_{\Pi} = \sqrt{F^2 + q^2} / S_{\text{вд}}, \quad (3.14)$$

где  $F$  – усилие черпания, приходящееся на одно колесо машины, Н;

$q$  – нагрузка на колесо машины, Н:

$$q = 0,7Q_{\text{гр}}, \quad (3.15)$$

где  $Q_{\text{гр}}$  – вес машины в нагруженном состоянии, Н;

$S_{\text{вд}}$  – площадь вдавливания протекторов шин, м<sup>2</sup>:

$$S_{\text{вд}} = 0,5S_{\text{сл}}, \quad (3.16)$$

где  $S_{\text{сл}}$  – площадь следа колеса машины, принимается равной площади круга с диаметром, равным диаметру шины колеса, м<sup>2</sup>.

Для нормального передвижения самоходного оборудования по поверхности закладки толщина верхнего слоя должна составлять 0,5 м, а прочность на сжатие верхнего слоя закладки при этом должна быть не ниже 0,98 МПа [103].

Данные, полученные при экспериментальных исследованиях образцов закладки из промораживаемых водопородных смесей показывают, что требуемая прочность достигается при выполнении рекомендаций, приведенных выше.

Разработка вариантов вскрытия месторождений, учитывающих ведение закладочных работ, выявило целесообразность использования наклонных выработок, например, петлевых, диагональных, спиральных съездов, преимуществом которых являются уменьшение расстояния транспортирования руды от забоев к съезду, уменьшение числа перегрузок, например, вместо двухступенчатого – одноступенчатое вскрытие, использование наклонных

выработок с самоходным транспортным или конвейерным оборудованием, применение для вентиляции отдельных стволов или шурфов, а также возможность проведения соединительных выработок на любой участок залежи.

Создана принципиальная схема технологии ведения подземных горных работ с использованием льдопородных опор и производительного самоходного оборудования (рисунок 3.12).

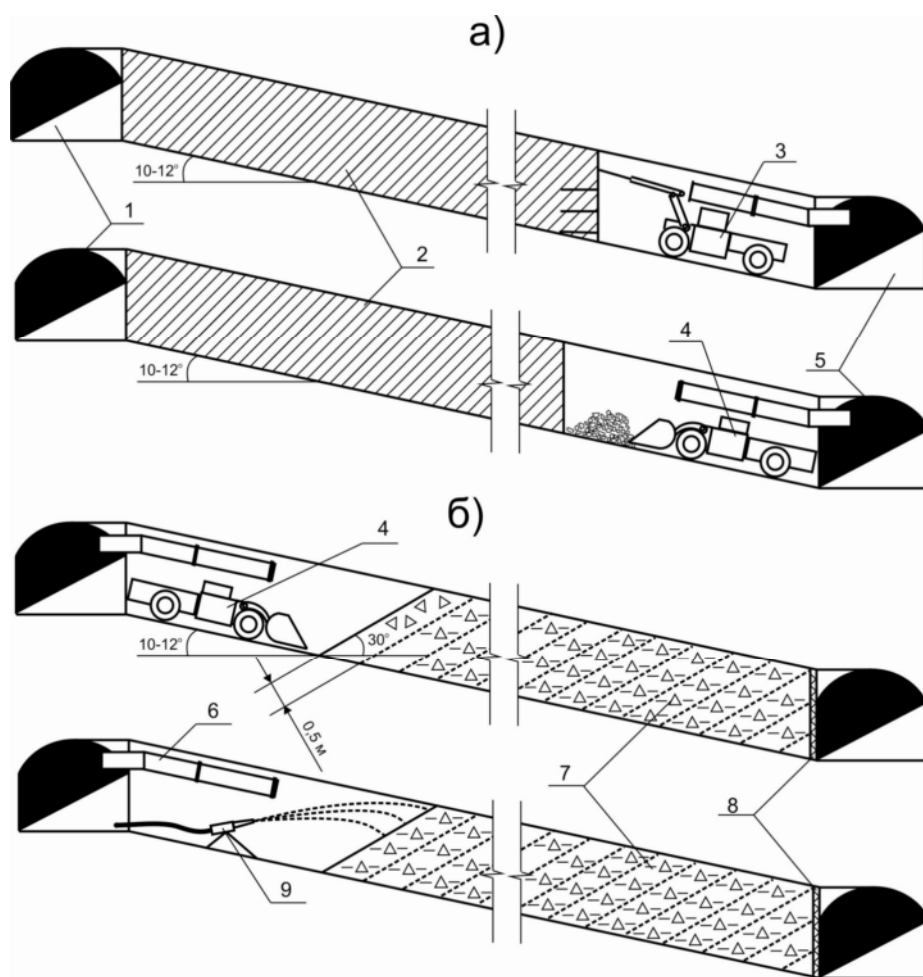


Рисунок 3.12. – Принципиальная схема подземных горных работ с использованием льдопородной закладки и самоходного оборудования: а – отбойка руды; б – закладочные работы; 1 – вентиляционный штрек; 2 – камера; 3 – самоходная бурильная установка; 4 – погрузочно-доставочная машина; 5 – откаточный штрек; 6 – вентиляционный рукав; 7 – льдопородная закладка; 8 – перемычка; 9 – форсунка.

Отработка добычного горизонта, ограниченного наклонными съездами и разделенного на камеры-заходки I и II очереди, размеры которых принимаются в

соответствии с размерами применяемого оборудования, ведется в две стадии: выемка первичных камер через одну, их закладка и проморозка, затем выемка междукамерных рудных целиков.

Вскрытие участка добычи руды заключается в проведении оконтуривающих наклонных (спиральных, диагональных – в зависимости от конкретных горно-геологических условий залегания) съездов, штреков, ортов, восстающих, обеспечивающих возможность проведения подготовительных выработок. Выемка рудных участков осуществляется в восходящем порядке.

По окончании очистной выемки и проведения работ по креплению выработок на участках с неустойчивыми обнажениями массива, в нижней части камеры сооружается перемычка, в качестве которой целесообразно применение инвентарной металлической перемычки многократного использования, после чего производятся работы по возведению льдопородного массива.

Отработка добычного горизонта, ограниченного наклонными съездами и разделенного на камеры-заходки I и II очереди, размеры которых принимаются в соответствии с размерами применяемого оборудования, ведется в две стадии: 1) выемка первичных камер через одну, их закладка и проморозка; 2) выемка междукамерных рудных целиков. В случае необходимости предупреждения сдвижения земной поверхности закладываются и вторичные камеры.

Система разработки с льдопородной закладкой с выемкой слоев ортами-заходками относительно небольшой длины и сечения обуславливает мобильность технологии, позволяет эффективно управлять кровлей. При отработке залежей заходками представляется возможным выявление участков с разнокачественной рудой. При повторной отработке залежи можно использовать выработки первой стадии разработки, заполненные смерзшимися породами, причем в качестве закладочного материала можно применять не пустые породы, а некондиционную на данный период руду. Опыт разработки месторождения Бадран с льдопородной закладкой показывает, что проведение выработок в искусственном массиве менее трудоемко, чем по породному.



Горные работы должны включать организацию периодического контроля фактических параметров теплового режима; оценку несущей способности льдопородных целиков; испытание и оценку эффективности предложенных способов упрочнения породного и закладочного массива; периодическое определение фактических значений показателей извлечения (потери и разубоживание) [113, 114].

Контроль за проморозкой закладки, фильтрацией воды осуществляется путем проведения температурных измерений с помощью гирлянды терморезисторов, устанавливаемых в шпурах длиной 2 – 3 м, пробуренных в закладочный массив из перемычки. Для измерения температуры поверхности объектов используется портативный неконтактный инфракрасный термометр с одноточечным лазерным прицелом.

Проведение контроля включает:

- визуальные обследования состояния выработанного пространства;
- периодическое снятие показаний прироста напряжений и смещения кровли при ведении горных работ.
- замеры температуры горных пород и воздуха в сети горных выработок.

Определение величины сжатия опорных целиков (как рудных, так и льдопородных) должно осуществляться путем измерения смещения кровли относительно почвы в непосредственной близости к целикам. Такие наблюдения должны быть проведены прежде всего в районах, прилегающих к участкам, в которых наблюдаются разрушения целиков и в местах, расположенных на относительно устойчивых участках.

Замеры температуры горных пород и воздуха в сети горных выработок необходимо производить с периодичностью один раз за цикл производства закладочных работ. Все данные наблюдений необходимо фиксировать в журнале наблюдений.

**Выводы к 3-й главе.**

На основе выявленных специфических особенностей и преимуществ перед другими способами управления горным давлением закладкой выработанного пространства разработаны методические рекомендации по выбору оптимальных параметров технологии формирования льдопородной закладки в зависимости от геомеханических условий и применяемой технологии.

Определены схемы расположения очистных выработок, позволяющие в зависимости от горно-геологических условий месторождения обосновать порядок его отработки системой разработки с льдопородной закладкой. Приведены эмпирические зависимости для определения пролета обрушения кровли и безопасного пролета камер, учитывающие угол падения рудного тела и параметры физико-механических свойств горных пород и льдопородного закладочного материала.

Установлен порядок расчета нормативной прочности льдопородных целиков, позволяющий учитывать влияние глубины разработки, угла падения рудного тела и конструктивных параметров системы разработки.

Расчетами, проведенными для условий разработки месторождения Бадран, установлено, что при увеличении расстояния между рудными целиками, нагружение закладки резко возрастает. При этом наименьшие значения приходятся на расстояния между осями рудных целиков, обрабатываемых в последнюю очередь, равные 20 м. Расчеты показали, что определяющим фактором при выборе конструктивных параметров системы разработки с льдопородной закладкой является нормативная прочность закладки, рассчитанная для стадии выемки рудных целиков.

На основе двумерной математической модели теплообмена рудничного воздуха с возводимой льдопородной закладкой и окружающим массивом горных

пород были проведены численные эксперименты по расчету послыного намораживания закладки для условий месторождения Бадран, показавшие, что минимальное суммарное время формирования закладочного массива достигается при мощности слоя 0,4–0,5 м

Результаты расчетов времени формирования закладочного массива при различных значениях влажности укладываемого слоя, показали, что повышение влажности с 20 до 50% увеличивает время замораживания в 2 раза

На основании данных, полученных в результате натуральных наблюдений, лабораторных экспериментов и математического моделирования, разработаны рекомендации по технологическим параметрам производства закладочных работ и предложены способы их осуществления.

Обосновано, что перспективным направлением повышения эффективности применения систем разработки с льдопородной закладкой является применение мобильного самоходного оборудования, при котором значительно повысится производительность труда и комфортность его условий. Создана принципиальная схема технологии ведения подземных горных работ с использованием льдопородных опор и производительного самоходного оборудования.

Разработана методика мониторинга устойчивости льдопородной закладки при ее обнажении, включающая визуальные обследования состояния выработанного пространства, периодическое снятие показаний прироста напряжений и смещения кровли при ведении горных работ и замеры температуры горных пород и воздуха в сети горных выработок.

Разработанные методические рекомендации по выбору оптимальных параметров технологии формирования льдопородной закладки в зависимости от геомеханических условий и применяемой технологии, отличающиеся учетом ее свойств и закономерностей формирования, позволят существенно (в 1,5 – 2 раза) сократить продолжительность закладочных работ, повысить производительность труда и безопасность горных работ.

#### 4. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБОСНОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ДОБЫЧИ РУДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКИ

##### 4.1. Рекомендации по повышению эффективности использования льдопородной закладки

Представленные практические рекомендации по технологии возведения льдопородной закладки при подземной разработке месторождений криолитозоны включают технические решения по схемам создания льдопородных закладочных массивов, эффективным способам повышения устойчивости искусственных целиков и сокращения продолжительности промерзания закладки, разработанные при участии автора на основе результатов научно-исследовательских работ, проведенных сотрудниками Института горного дела Севера им. Н.В.Черского СО РАН.

Свойство расширения водосодержащих материалов при их замерзании позволяет использовать применение следующей технологической схемы [115].

При разработке рудных тел криолитозоны с льдопородной закладкой (рисунок 4.1) в первую очередь производится выемка и закладка первичных камер 1 с оставлением междукамерных рудных целиков 2 (камер II очереди), которые отрабатываются после промерзания закладки до устойчивого состояния – набора искусственными целиками необходимой нормативной прочности на сжатие 3 – 5 МПа. Выемка камер II очереди зависит от продолжительности смерзания закладочных пород камер I очереди, которая в зависимости от условий ведения закладочных работ может достигать 12 и более месяцев.

Сущность способа заключается в отработке междукamerных целиков, ограниченных по длинной оси вентиляционным 4 и доставочным 5 штреками, таким образом, что на контактах с смежными закладочными камерами оставляются защитные рудные стенки 3 мощностью 1 – 1,5 м при высоте и ширине камер, соответственно, 2 – 4 и 3 – 5 м, предотвращающие сползание еще не смерзшейся закладки, способствующие сокращению промораживания закладки путем охлаждения окружающего ее массив горных пород пропусканьем холодного воздуха через выработанное пространство вторичной камеры и позволяющие вести контроль за смерзанием закладки через шпурсы, пробуренные в рудных стенках.

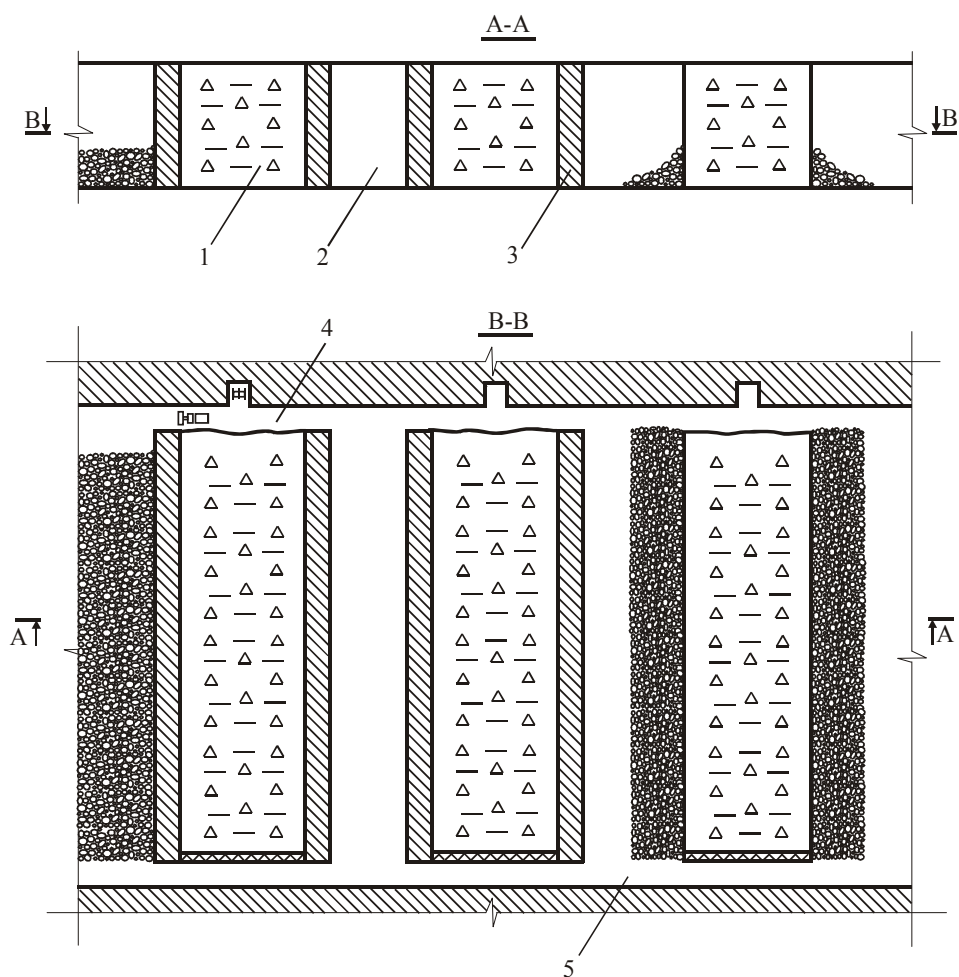


Рисунок 4.1. – Способ выемки междукamerных целиков при разработке рудных тел криолитозоны с льдопородной закладкой.

После полного смерзания закладочных пород (льдонасыщения) массив первичной камеры распирается в сторону наименьшего сопротивления и выдавливает рудные стенки. Остатки руды отбиваются механическим способом или отбиваются контурными шпурами.

К основным преимуществам приведенного способа относятся повышение интенсивности добычи за счет выемки основных запасов руды междукammerных целиков до смерзания закладки и концентрация горных работ, а также снижение трудоемкости работ и сокращение затрат на БВР.

При разработке месторождений полезных ископаемых с льдопородной закладкой в условиях, когда требуется обеспечить податливость целиков на стадии отработки первичных камер, рекомендуется следующий способ подготовки междукammerных целиков к выемке (рисунок 4.2).

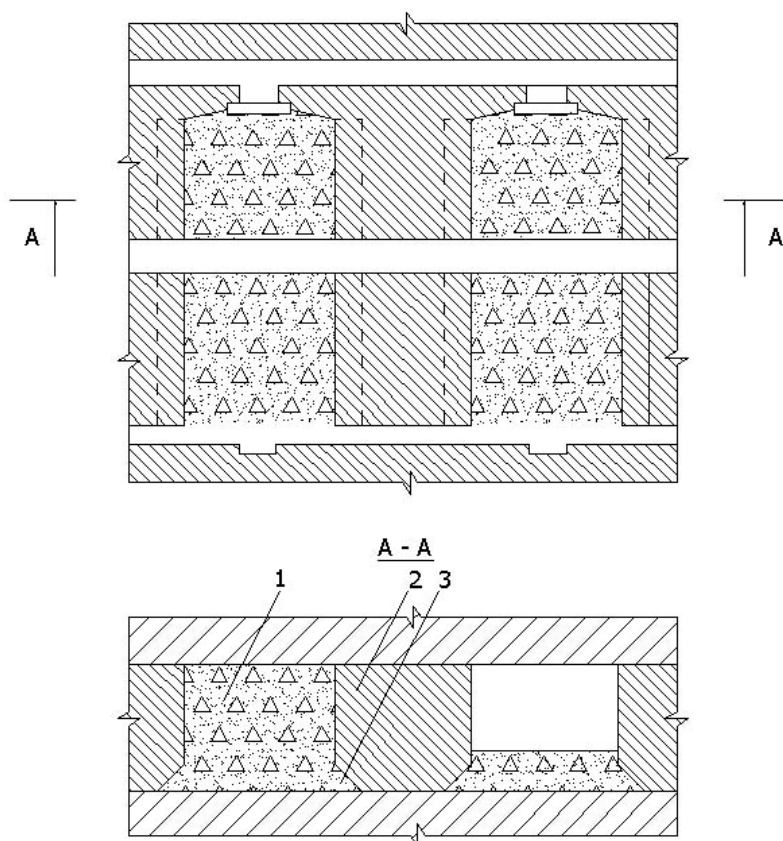


Рисунок 4.2. – Способ подготовки междукammerных целиков к выемке:  
1 – камера I очереди; 2 – междукammerный целик; 3 – клиновидная щель.

Сущность способа заключается в следующем. После отработки первичных камер 1 перед заполнением их льдопородной закладкой в междукамерных целиках 2 непосредственно у почвы залежи образуют клиновидные щели 3 на всю длину камер. Щели создают буровзрывным или механическим способом.

Льдопородную закладку в клиновидных щелях возводят одновременно с заполнением выработанного пространства камер 1. По мере выемки первичных камер и проморозки закладочного массива горное давление, воспринимавшееся междукамерными целиками 2, частично распределяется на льдопородные целики, чему способствует подготовленная податливость междукамерных целиков.

Таким образом, междукамерные целики являются подготовленными к их извлечению, поскольку роль охранных целиков, удерживающих кровлю залежи, начинает выполнять льдопородная закладка.

Основным преимуществом данного способа является относительно небольшая трудоемкость ведения горных работ, безопасное извлечение междукамерных целиков вследствие повышения их несущей способности и, в конечном итоге, исключение потерь полезных ископаемых в недрах.

Создание в междукамерных целиках клиновидных щелей обеспечивает податливость целикам на стадии отработки первичных камер, что позволяет снизить нагрузки на них от веса толщи вышележащих пород, а их расположение непосредственно у почвы залежи на всю длину камер позволяет производить их закладку и проморозку в начальной стадии закладочных работ, снизить трудоемкость их производства, дает возможность сохранять основной массив междукамерного целика в устойчивом состоянии и обеспечивать поддержание кровли при отработке первичных камер.

Клиновидная форма щелей позволяет значительно упростить их оформление и закладку, придает междукамерному целику повышенное сопротивление с нарастанием горного давления за счет увеличения площади основания камеры при смятии. Заполнение пространства щелей льдопородной

закладкой, которая является более податливой, чем рудный целик, способствует равномерному распределению горного давления.

Ширина щелей, составляющая  $1/3$  предельно допустимой ширины междукамерных целиков, позволяет придавать им необходимую податливость уже на начальной стадии отработки первичных камер.

На способ возведения льдопородной закладки в горной выработке получен патент на изобретение №2249112 [116].

С учетом прочного смерзания материалов, располагаемых в закладке, предлагаются следующие принципиальные схемы снижения трудоматериалоемкости крепления вторичных камер с использованием выработанного пространства первичных камер [119].

По первой схеме для установки верхняков при выемке междукамерных целиков используются концы, например, штанговых стержней, вмороженных в льдопородные целики (рисунок 4.3).

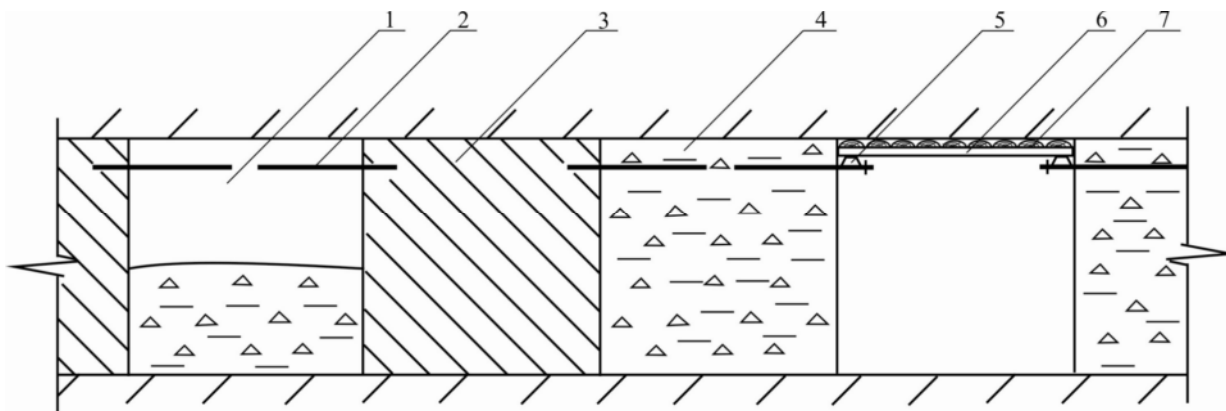


Рисунок 4.3. – Принципиальная схема возведения крепи вторичных камер:

1 – выработанное пространство камеры I очереди; 2 – штанговые стержни; 3 – междукамерный целик; 4 – льдопородный целик (заложена камера I очереди); 5 – прогон из спецпрофиля; 6 – верхняк; 7 – затяжка из распилов.

На стадии закладки камер I очереди в борта междукамерных рудных целиков забуриваются шпуров глубиной порядка 300 мм, в которые устанавливаются металлические штанги 2, затем камера закладывается в обычном



порядке. При обработке вторичных камер концы штанг замороженных в льдопородный целик, служат несущей конструкцией для прогонов из спецпрофиля 5, на которых располагаются верхняки 6 с затяжкой из распилов 7.

Принцип установки крепи по второй схеме (рисунок 4.4) заключается в том, что в массив междукамерного целика 2 с выработанного пространства первичной камеры 1 бурятся скважины, в которые вставляются металлические профили (например полосовые, круглые) 5. В последующем при отбойке руды междукамерного целика они будут служить верхняками 5 подвесной крепи с настилом, например, из распилов 6.

Основным преимуществом указанных технических решений является использование бесстоечной крепи, надежность закрепления верхняков в закладке и относительно низкая трудоемкость установки.

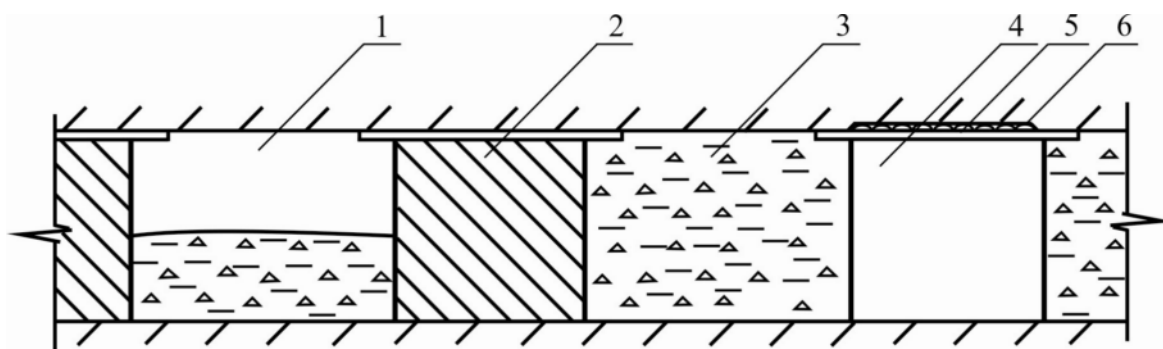


Рисунок 4.4. – Принципиальная схема установки верхняков с выработанного пространства первичных камер для крепления вторичных камер: 1 – выработанное пространство первичной камеры; 2 – вторичная камера (междукамерный целик); 3 – льдопородный целик (первичная камера); 4 – выработанное пространство вторичной камеры; 5 – верхняк подвесной крепи; 6 – настил из распилов.

При использовании закладки на цементной основе нормативная прочность всегда увязывается с возрастом твердения. Динамика набора прочности должна обеспечивать достижение 85 – 95% нормативной к моменту обнажения. При применении льдопородной закладки имеется возможность обнажать ее поверхность до полной проморозки искусственного целика – при проморозке

боков закладки на 1 – 1,5 м от поверхности обнажения, используя способы ее упрочнения. Для повышения несущей способности, устойчивости обнажений искусственных льдопородных целиков при отработке междукамерных целиков рекомендуются следующие способы упрочнения льдопородной закладки, включающих использование сетчатых материалов, установку ограждений при возведении закладочного массива, его затяжку крепежным материалом, основанные на использовании в качестве крепежных материалов вторичного сырья, как, например, отработавших свой ресурс тросов, креплеса, пиломатериалов, труб, буровой стали.

Схема упрочнения обнажений льдопородного целика при отработке смежных рудных целиков предварительной укладкой сетчатых материалов приведена на рисунке 4.5. Сетчатый материал 1, например, сети из делевых материалов или металлические сетки, укладывается при закладке первичной камеры 4 в борта рудного целика (вторичной камеры 2) и закрепляются в необходимых местах. При выемке вторичной камеры сетка будет удерживать льдопородный целик до полного смерзания закладочных слоев.

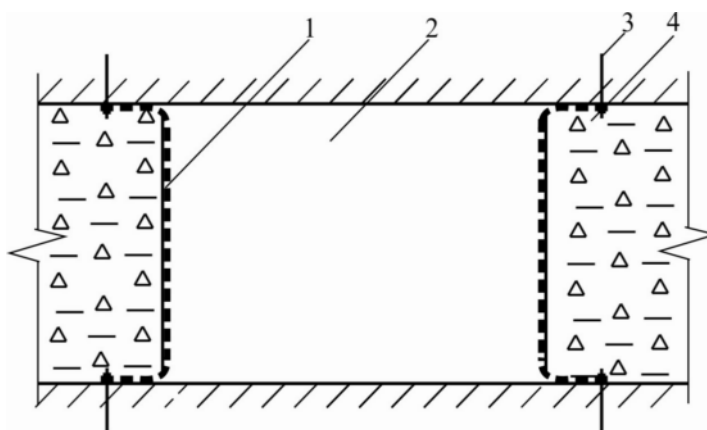


Рисунок 4.5. – Схема упрочнения обнажений льдопородной закладки предварительной укладкой сетчатых материалов: 1 – сетчатый материал; 2 – выработанное пространство вторичной камеры; 3 – поддерживающие стержни; 4 – первичная камера с льдопородной закладкой.

Следующая схема, приведенная на рисунке 4.6., преследует те же цели и отличается лишь использованием пиломатериалов при предварительной установке ограждения.

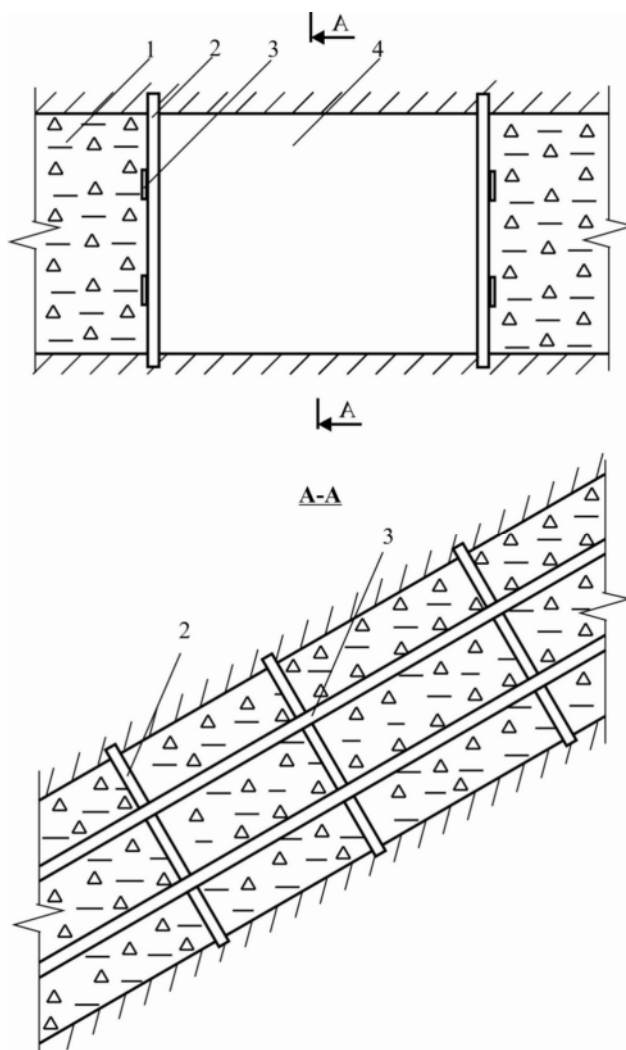


Рисунок 4.6. – Схема упрочнения обнажений льдопородной закладки предварительной установкой ограждений: 1 – первичная камера с льдопородной закладкой; 2 – стойки; 3 – распорки; 4 - выработанное пространство вторичной камеры.

Вышеприведенные технологические схемы упрочнения промораживаемых целиков отличаются тем, что при укреплении закладочного массива производится затяжка крепежных материалов, что может явиться более надежным способом повышения безопасности ведения горных работ. Также отметим, что они основаны на использовании в качестве крепежных материалов вторичного сырья,

как, например, отработавших свой ресурс тросов, креплеса, пиломатериалов, труб, буровой стали и т.д.

Одним из основных этапов добычи руды с льдопородной закладкой выработанного пространства является охлаждение слоев закладочной смеси путем циркуляции холодного воздуха с температурой от минус 15°С и ниже.

Для интенсификации промерзания льдопородных целиков разработана следующая схема (рисунок 4.7).

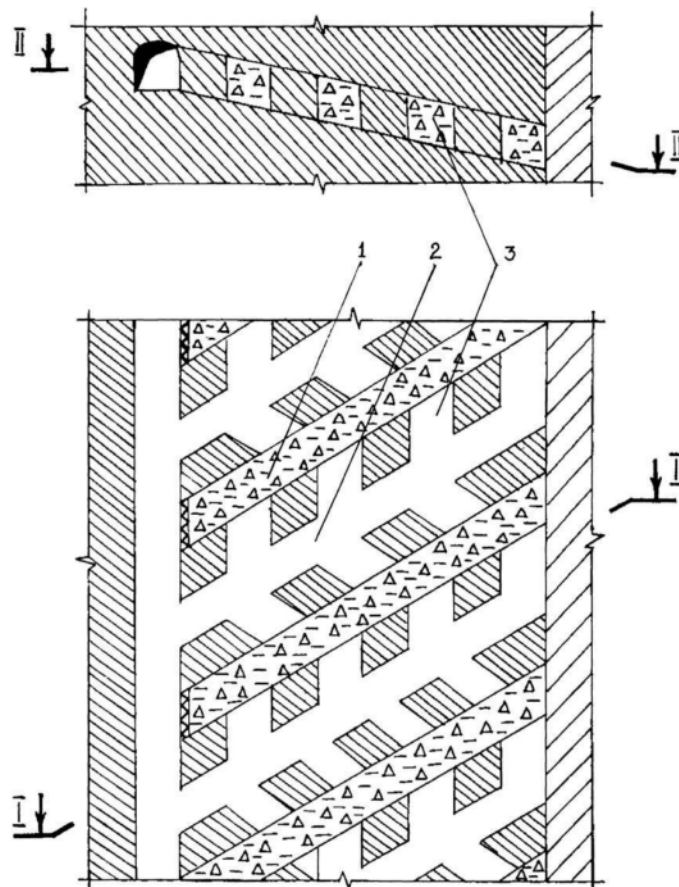


Рисунок 4.7. – Ускорение проморозки закладки ее обнажением ортами: камера-заходка в льдопородной закладке; выработанное пространство камеры-заходки I очереди; орты в междукamerных целиках (камерах-заходках II очереди).

С разрезного доставочного штрека проходятся заходки 2. Проведение ортов 3 с заходки 2 производится через одну до контакта с заложеной камерой 1. Затем образованные сечениями ортов обнажения льдопороды интенсивно омываются

холодным воздухом вентилятором местного проветривания до окончательной проморозки закладки.

Следует отметить, что общим признаком вышеприведенных технических решений и способов повышения эффективности использования льдопородной закладки является то, что они не требуют приобретения дополнительного оборудования или материалов.

Выполнение рекомендаций по технологическим параметрам производства закладочных работ, а также предложенных технологических схем эффективного применения льдопородной закладки будет способствовать повышению технико-экономических показателей работы предприятия.

#### 4.2. Практические рекомендации по совершенствованию технологических схем отработки рудных тел.

На основе многолетних исследований, проведенных в ИГДС СО РАН, при участии автора, были разработаны технологические схемы для отработки «слепого» рудного тела месторождения кимберлитовой трубки «Айхал» и наклонных рудных тел месторождения «Бадран», расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты [58, 59, 118, 119, 121, 123, 125].

Основой для внедрения технологии являются созданные ИГДС СО РАН принципы конструирования нетрадиционной ресурсосберегающей системы подземной разработки рудных месторождений криолитозоны со сплошной выемкой руды камерами и закладкой выработанного пространства промораживаемым закладочным материалом [6, 8, 11, 21, 29].

Приведенные выше принципы были использованы при разработке «Проекта возведения льдопородной закладки в очистной выработке гор.+180 м рудного

тела в борту карьера трубки «Айхал», выполненном сотрудниками ИГДС СО РАН с участием автора [120]. Опытно-промышленные испытания технологии предполагалось провести на «слепом» рудном теле месторождения кимберлитовой трубки «Айхал», расположенном в зоне распространения многолетней мерзлоты в северо-восточном борту карьера [123].

На основе анализа приемлемых к инженерно-геологическим условиям разработки «слепого» рудного тела технических решений предложены несколько вариантов послойной выемки руды снизу вверх наклонными заходками с применением самоходной техники на пневматическом ходу и с льдопородной закладкой выработанного пространства [119].

Сечения выработок в рекомендуемых технологических схемах были приняты равными  $5 \times 5$  м<sup>2</sup> и удовлетворяют максимальным габаритам применяемого оборудования – погрузочно-доставочной машины ST-1000 и требований правил безопасности.

Исходя из опыта проектирования разработки кимберлитовых месторождений [124], для отбойки руды был рекомендован комбайновый способ. Кроме того, применение комбайнов позволяет исключить негативное воздействие взрывных работ на льдопородные целики.

В отдельных случаях, например, при проходке вскрывающих выработок по крепким скальным породам было предусмотрено применение буровзрывного способа отбойки.

Для послойной отработки «слепого» рудного тела был предложен вариант системы разработки с льдопородной закладкой в восходящем порядке заходками с центральным разрезным штреком (рисунки 4.8 и 4.9) [119, 121].

Вскрытие в данном варианте производится спиральным съездом 1, (рисунок 4.8), проводимым с борта карьера в вмещающих породах и расположенном в районе наклонного съезда гор.180 – 163 м, а также вентиляционно-ходовым восстающим с отделением для подачи дробленой породы 3, расположенным в противоположном от съезда борту залежи. Выемка запасов рудного тела

начинается с проходки разрезного слоевого штрека 2 в нижней части. На разрезном слоевом штреке 2, предназначенном для вентиляции и транспортировки руды со всего слоя, рекомендуется устраивать настилы.

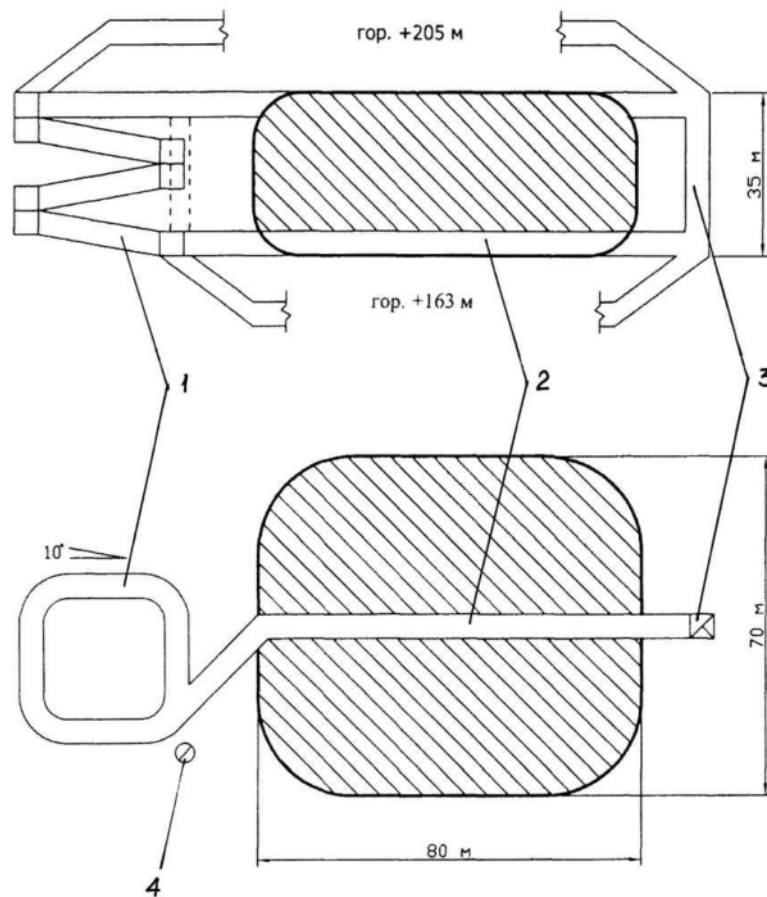


Рисунок 4.8. – Схема вскрытия рудного тела спиральным съездом и фланговым восстающим.

Отработка выемочного слоя производится заходками (рисунок 4.9) с слоевого штрека в обе стороны с наклоном к флангам залежи  $10 - 12^{\circ}$  для удобства проведения закладочных работ.

Заходки вынимаются через одну, отбитая руда доставляется к рудоспуску. Закладка отработанных заходок производится погрузочно-доставочной машиной. Закладочный материал доставляется с породоспуска.

После проморозки первичных заходок вынимаются вторичные заходки, которые можно закладывать пустыми породами без водонасыщения – сухая

закладка. При выемке заходки над сухой закладкой с целью снижения потерь и разубоживания рекомендуется использовать настилы.

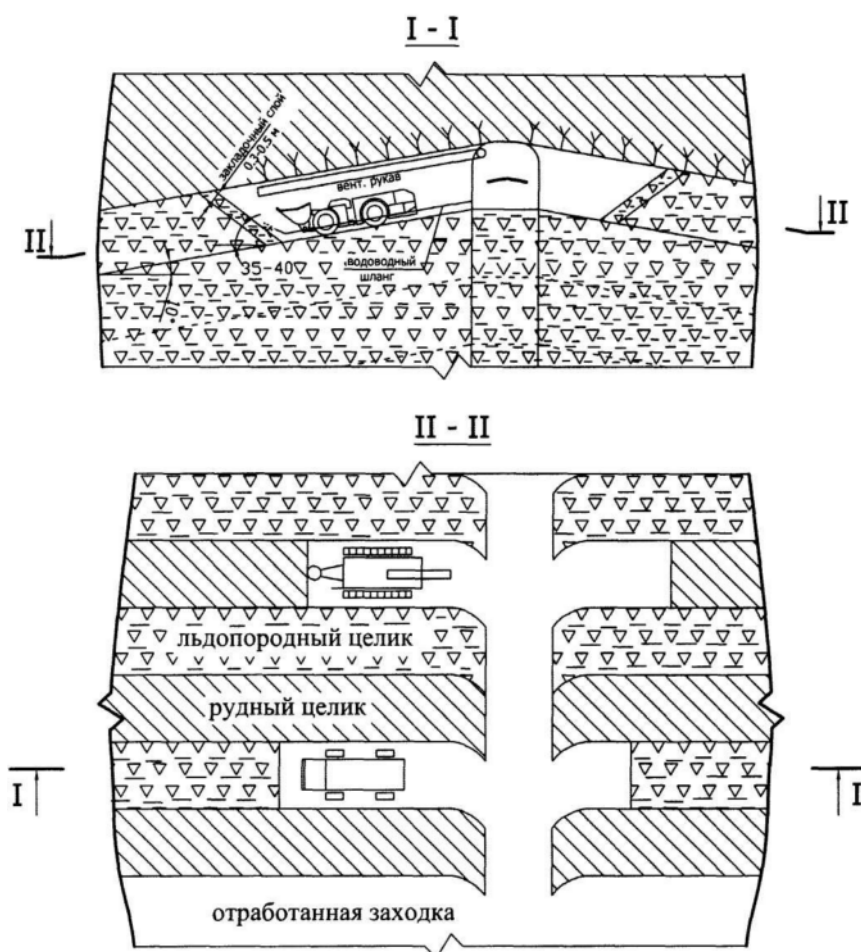


Рисунок 4.9. – Схема послойной отработки рудного тела в восходящем порядке наклонными заходками с центральным разрезным штреком и льдопородной закладкой.

Второй и следующие слои также вскрываются со спирального съезда разрезными слоевыми штреками и работы по добыче руды и закладке пустот проводятся в указанном выше порядке.

Следующий предложенный вариант выемки запасов с применением льдопородной закладки отличается тем, что вскрытие производится двумя петлевыми съездами, а отработка ведется в восходящем порядке наклонными заходками с флангового разрезного штрека (рисунок 4.10) [119, 121].



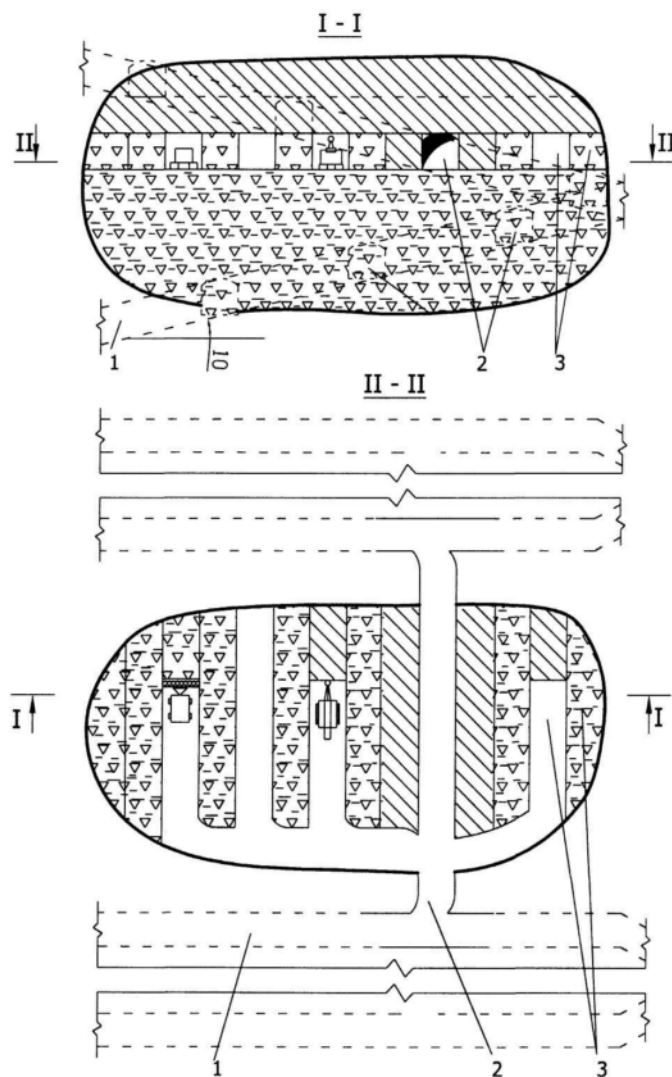


Рисунок 4.10. – Схема послойной отработки рудного тела с льдопородной закладкой при вскрытии петлевыми съездами: 1 - петлевой съезд; 2 - разрезной слоевой штрек; 3 - наклонные очистные заходки.

Рудное тело вскрывается двумя петлевыми съездами 1, расположенными по длинной оси залежи в вмещающих породах на противоположных флангах, причем один из съездов проходится с превышением в  $10-12^0$  по отношению к другому для обеспечения эффективности закладочных работ в заходках. Залежь разрезными штреками 2 делится на выемочные слои, которые отрабатываются снизу вверх. С разрезного штрека проходится слоевая рассечка, с которой производится выемка слоя наклонными заходками 3 на всю ширину слепого рудного тела. Заходки вынимаются через одну, отбитая руда доставляется к

основным действующим горизонтам через съезды, либо через рудоспуск. Закладка отработанных заходов производится погрузочно-доставочной машиной. Закладочный материал доставляется по съездам, либо через породоспуск.

Существенным преимуществом применения технологии с льдопородной закладкой является возможность ее комбинирования с другими системами разработки. В условиях неравномерного распределения полезного ископаемого и отсутствии необходимости предотвращения сдвижения вмещающего массива предлагается применение сочетания системы разработки с льдопородной закладкой с обрушением руды и вмещающих пород [120, 124].

Принципиальная схема применения системы разработки с льдопородной закладкой в сочетании с обрушением руды и вмещающих пород приведена на рисунке 4.11.

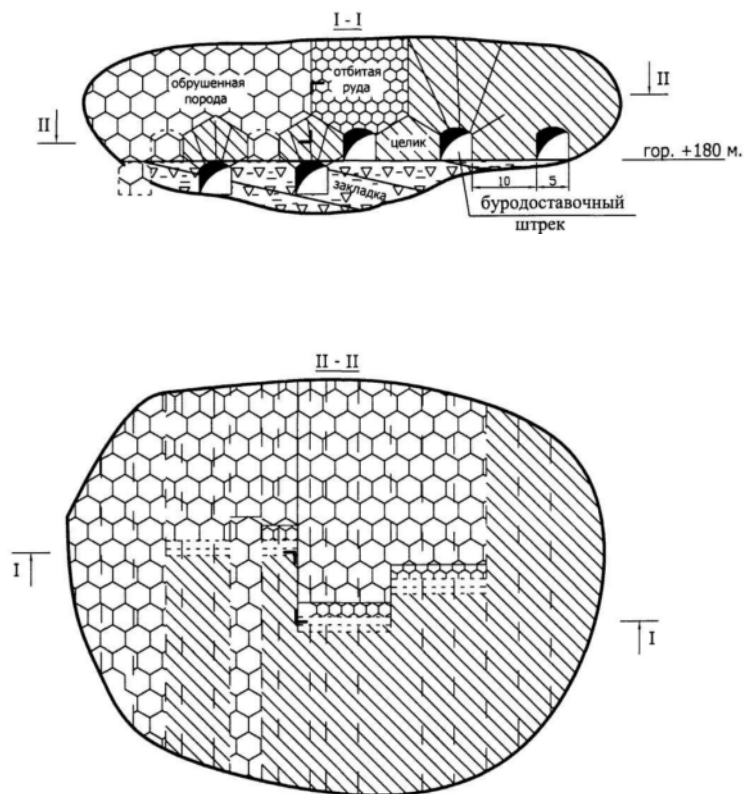


Рисунок 4.11. – Применение системы с льдопородной закладкой в сочетании с системой обрушения руды и вмещающих пород.

Нижняя часть залежи вскрывается с гор. +180 м разрезным штреком и отрабатывается аналогично второй вышеприведенной схеме. Основная верхняя часть запасов вынимается системой обрушения руды и вмещающих пород.

В заключение следует отметить, что производительность по добыче руды в приведенных рекомендуемых к применению системах отработки слепого рудного тела с льдопородной закладкой выработанного пространства регламентируется только производительностью комбайна.

Для условий эксплуатации золоторудного месторождения Бадран сотрудниками ИГДС СО РАН с участием автора были разработаны рекомендации по повышению эффективности отработки рудных столбов с использованием льдопородной закладки [59].

Анализ технико-экономических показателей эксплуатации месторождения Бадран системой разработки с льдопородной закладкой, показал, возможность применения малогабаритного самоходного оборудования для повышения производительности очистных работ.

На основе сплошной слоевой выемки руды с использованием самоходного оборудования (механизированных комплексов), была предложена принципиальная схема добычи руды с льдопородной закладкой и использованием самоходного оборудования при диагональном расположении камер, разработанная с учетом горно-геологических условий залегания рудных тел месторождения Бадран [125].

Предварительными расчетами было установлено, что при диагональном расположении камер длиной 50 м, угле падения залежи  $30^{\circ}$  и рабочем угле самоходного оборудования  $12^{\circ}$  наклон диагонали к линии простирания составит  $65^{\circ}$ . Ведение горных работ при применении самоходного оборудования аналогично применяемому при системе разработки с сплошной слоевой выемки руды.

Для укладки закладочного материала в отработанные слоевые заходки предлагается использовать самоходный закладочный комплекс (рисунок 4.12).

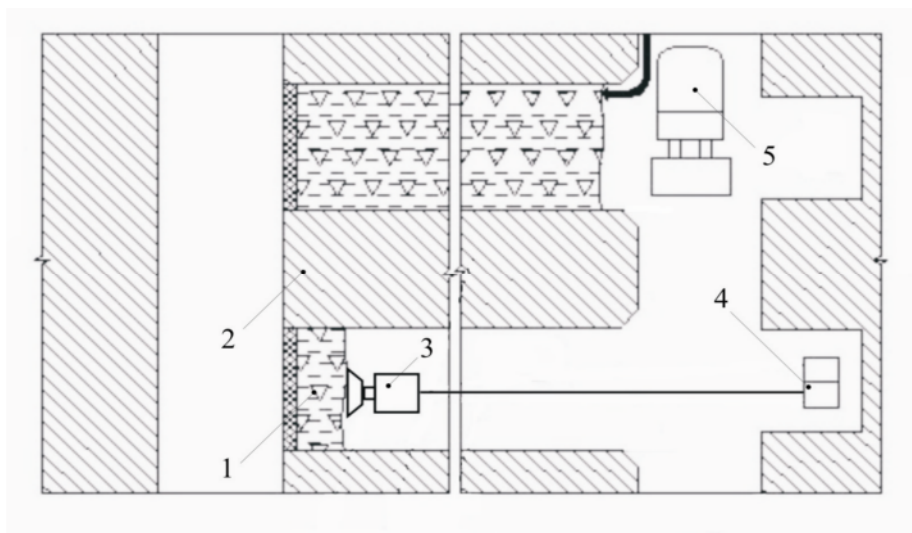


Рисунок 4.12. – Принципиальная схема производства закладочных работ с использованием малогабаритного механизированного комплекса: 1 – льдопородный целик; 2 – рудный целик; 3 – подземный бульдозер; 4 – пульт дистанционного управления и лебедка; 5 – погрузочно-доставочная машина.

Комплекс включает малогабаритную самоходную погрузо-доставочную машину типа ST – 1000 и подземный бульдозер с дистанционным управлением типа БПДУ для равномерного распределения в закладываемой камере дробленых горных пород.

Закладка камер производится бульдозером в комплексе с тяговой лебедкой, управляемой с того же пульта что и бульдозер, размещением закладочного материала в камеру из штрека вышележащего горизонта.

Применение подземного бульдозера позволит отказаться от трудоемких операций по креплению концевых блоков в камере, создания и крепления лебедочных ниш и исключить нахождение горнорабочих в камере во время ведения закладочных работ.

Использование предлагаемых схем при отработке месторождения Бадран позволит не только существенно повысить производительность и безопасность применения системы разработки с льдопородной закладкой, но и сократить затраты материалов и ручного труда на крепление очистных выработок.

## Выводы к 4-й главе.

В данной главе представлены практические рекомендации по повышению эффективности использования льдопородной закладки и технологические схемы отработки рудных тел, разработанные при участии автора на основе результатов научно-исследовательских работ, проведенных сотрудниками Института горного дела Севера им. Н.В.Черского на действующих рудниках «Айхал» и «Бадран».

В рекомендации по технологии возведения льдопородной закладки при подземной разработке месторождений криолитозоны вошли технические решения по схемам создания льдопородных закладочных массивов, эффективным способам повышения устойчивости искусственных целиков и сокращения продолжительности промерзания закладки.

Разработаны рекомендации по повышению эффективности применения технологии с льдопородной закладкой на основе использования новых способов выемки междукамерных рудных целиков (патент РФ на изобретение №2249112), сокращения продолжительности промораживания закладки, повышения устойчивости искусственных целиков, снижения трудо-материалоемкости крепления очистных камер.

Основными преимуществами предлагаемых технических решений является использование специфических особенностей условий разработки, свойств льдопородной закладки и отсутствие необходимости приобретения дополнительного оборудования или материалов.

Предложены практические рекомендации по технологическим схемам отработки «слепого» рудного тела месторождения кимберлитовой трубки «Айхал» и наклонных рудных тел месторождения «Бадран», учитывающие конкретные горно-геологические и горнотехнические условия и предполагающие применение мобильного самоходного оборудования, при котором значительно повысится производительность труда и комфортность его условий.

В целом, предлагаемые технические решения направлены на повышение эффективности применения систем разработки с льдопородной закладкой и расширение области ее применения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной квалификационной работой, дано решение актуальной научно-технической задачи обоснования рациональных параметров формирования льдопородной закладки с учетом установленных зависимостей изменения ее свойств от конструкции (количество намораживаемых слоев), технологии возведения, водопородного соотношения, гранулометрического состава и формы частиц наполнителя, температуры и естественной влажности горных пород и очистного пространства, что позволит обеспечить требуемую нормативную прочность закладки, повысить эффективность и безопасность применения технологии добычи руды с льдопородной закладкой при подземной разработке месторождений полезных ископаемых криолитозоны.

Основные результаты проведенных исследований заключаются в следующем:

1. Натурными исследованиями на руднике Бадран установлено практически полное отсутствие усадки льдопородной закладки в процессе ведения горных работ и существенное влияние температуры рудничного воздуха на продолжительность набора целиками нормативной прочности.

2. Изучение влияния форм частиц дробленой породы, используемой в качестве заполнителя закладки показало, что увеличение содержания частиц игловатой и пластинчатой формы с 10% до 40% приводит к снижению прочностных характеристик льдопородных целиков в 1,5 раза.

3. Установлены закономерности распределения льда-цемента в льдопородной закладке в зависимости от температуры ее формирования, при этом оптимальное (равномерное) распределение замерзшей воды было достигнуто при температуре очистного пространства блока  $-20^{\circ}\text{C}$ .

4. Установлено, что прочность многослойной конструкции льдопородной закладки существенно выше (в 2 – 2,5 раза) чем однослойной, что позволило обосновать технологию ее возведения послойным намораживанием.

5. Экспериментальными исследованиями влияния соотношения «вода – порода» и температуры промораживания на прочность льдопородного материала установлено, что максимальная прочность льдопородной закладки (до 6,9 МПа) достигается при водопородном соотношении 1 : 3 и температуре очистного пространства камеры –20 °С.

6. Расчетами, проведенными на основе двухмерной математической модели теплообмена рудничного воздуха с возводимой льдопородной закладкой и окружающим массивом горных пород, установлено, что по фактору времени промораживания оптимальная толщина слоя, при которой суммарное время формирования закладочного массива минимально, для условий месторождения Бадран составит 0,4-0,5 м.

7. Разработаны методические рекомендации по обоснованию конструктивных параметров и технологии возведения льдопородной закладки при различных геомеханических и температурных условиях разработки месторождений криолитозоны, учитывающие ее свойства, закономерности формирования и взаимодействия с массивом многолетнемерзлых пород и позволяющие обеспечить нормативную прочность закладки, сократить продолжительность закладочных работ в 1,5 – 2 раза, повысить производительность труда и безопасность горных работ.

8. Разработаны и переданы к внедрению практические рекомендации по технологии возведения льдопородной закладки для условий рудников «Бадран» ГРК «Западная» и «Айхал» АК «АЛРОСА».



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Структурные условия формирования богатых Ag, Au, Sn, Sb и Pb-Zn руд месторождений Якутии / А.В.Костин, В.А.Амузинский, А.И.Холмогоров [и др.] – Якутск: ЯФ изд-ва СО РАН, 2002. –176 с.
2. Золото России / МГГУ. Союз золотопромышленников ЗАО «Золотодобывающая компания «Полюс». – М.:ОАО «Экос», 2002. –722 с.
3. Узюнкоян, А.А. Перспективы развития золоторудной минерально-сырьевой базы Верхне-Индибирского золоторудного района / А.А. Узюнкоян, Денисов Г.В. // Колыма. – 2003. – №4. – С.11 – 20.
4. Батугин, С.А. Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений: монография / С.А. Батугин, Е.Д. Черный. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. – 344 с.
5. Неганов, В.П. Технология разработки золоторудных месторождений / В.П. Неганов, В.И. Коваленко, Б.М. Зайцев [и др.] – М.: Недра, 1995.- 336 с.
6. Петров, А.Н. Пути совершенствования подземной разработки рудных месторождений Якутии / А.Н. Петров, Г.П. Необутов, В.П. Зубков // Научные и практические аспекты добычи цветных и благородных металлов: Доклады Междунар. совещания. В 2-х т. – Хабаровск, 2000. – Том I. -С.11-17.
7. Брайко, В. Н. Некоторые тенденции развития золотодобывающей промышленности России в 2002 г / В. Н. Брайко, В. Н. Иванов // Колыма. – 2003. – № 1. – С. 2-8.
8. Необутов Г.П. Разработка рудных месторождений с использованием замораживаемой закладки в условиях многолетней мерзлоты: монография/ Г.П. Необутов, В.Г. Гринев. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1997. – 104 с.
9. Изаксон, В.Ю. Оценка геомеханического состояния массива при отработке месторождений в криолитозоне / В.Ю. Изаксон, В.Г. Гринев, А.В.

Самохин, Г.П. Необутов, В.П. Зубков, С.П. Шкулев // Физ-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. - 1993. - №3. – С. 26 – 29.

10. Клишин, В.И. Проблемы разработки кимберлитовых месторождений в зоне вечной мерзлоты. Problems of uderground mining of kimberlite deposits in permafrost zone / Klishin V. I., Vlasov V. N. // Permafrost Engineering : 5 International Symposium, Yakutsk, 2-4 Sept., 2002: Proceedings. Vol. 2. – Yakutsk, 2002. – С. 12-15. – Англ.; рез. рус.

11. Петров, Д.Н. Состояние, перспективы и особенности эксплуатации рудных месторождений Якутии/ Д.Н. Петров, Г.П. Необутов, А.Ю. Черепанов // «Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны». Труды 2 Междунар. научно-практич. конф.: – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2005. – С.192 – 199

12. Килячков, А.П. Технология горного производства DJVU: учебник для вузов / А.П. Килячков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1992. – 415 с.: ил.

13 Агошков, М.И. Разработка рудных и нерудных месторождений: учебник для вузов / М.И. Агошков, С.С. Борисов, В.А. Боярский. – М.,Недра. 1983. – 424 с.

14. Именитов, В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. М., Недра. 1984. – 528 с.

15. Порцевский, А.К. Выбор рациональной технологии добычи руд. Геомеханическая оценка состояния недр. Использование подземного пространства. Геоэкология. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. -767с.

16. Вертячих, К. С. Аспекты применения закладки в зарубежной и отечественной практике подземной разработки руд / К. С Вертячих, А. М. Хакурате // Горн. информ.-аналит. бюл. / – 2002. – № 10. – С. 88 – 92. – Рус.

17. Монтянова, А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне / А.Н. Монтянова. – М.: Изд-во «Горная книга», 2005. – 597 с.: ил.

18. Бакакин, В.П. Лед в качестве материала для закладки выработанного пространства / В.П. Бакакин – М.: АН СССР, 1955. – 84 с.

19. Емельянов, В.И. Исследование технологии возведения искусственных ледяных целиков и их несущей способности при подземной разработке вечномерзлых россыпей / В.И. Емельянов, Р.Н. Сальманов, Ф.Ф. Мачнев [и др.] // Труды ВНИИ-1. – Магадан. – 1978. – Вып. 38. – С. 49–74.

20. Исследование области применения технологических схем разработки месторождений с закладкой выработанного пространства в условиях отрицательных температур: отчет по НИР / Михайлов Ю.В. – М.: ВНИИЦ, 1988. – 81 с.

21. Необутов, Г.П. Обоснование технологических параметров разработки наклонных золоторудных месторождений средней мощности с использованием замораживаемой закладки: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / Необутов Геннадий Павлович. – Якутск, 1994. – 193 с.

22. Цыгалов, М.Н. Разработка месторождений полезных ископаемых с монолитной закладкой / М.Н. Цыгалов, П.Э. Зурков. - М.: Недра, 1970.– 192 с.

23. Исследование и выбор рациональной технологии отработки рудных зон Наталкинского месторождения в условиях зоны многолетней мерзлоты: Отчет о НИР. N ГР 01840055198. Науч. рук. Ю.Д. Дядькин. – Л.: ЛГИ, 1986.- 57 с.

24. Исследование особенностей подмерзлотных горизонтов, условий создания замороженной закладки и проведение экспериментальных работ (закл.): отчет о НИР / Богуславский Э.И. – Л.: ЛГИ, 1987. – 36 с. – N ГР 01870019968

25. Пронин, Э.М. Методика и некоторые результаты эксперимента по замораживанию закладки в условиях многолетней мерзлоты / Э.М. Пронин, Р. Алибеков // Физические процессы горного производства. – Л.: ЛГИ, 1988. – С. 88 – 91.

26. Емельянов В.И. Перспективы развития технологии добычи ценных руд в условиях криолитозоны/ В.И. Емельянов, Г.А. Катков, Ю.В. Михайлов, В.Ф. Носков //Горн. журн. – 2003. – №11. – С. 66 – 69.

27. Михайлов Ю. В. Подземная разработка рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях: учеб. пособие для студ. высш. учеб.

заведений / Ю. В. Михайлов. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 320 с. ISBN 978-5-7695-3990-9

28. Mining zinc and lead at the top of the world / Chadwick John // Mining Mag. — 1994. — 171, № 4. — С 205, 207 – 208, 211 – 212.

29. Необутов Г.П. Разработка, исследование и внедрение ресурсосберегающей технологии добычи руды на месторождении Бадран / Г.П. Необутов, В.П. Зубков, С.П. Шкулев // Наука и образование. — 1997. - №2 – С.133 – 138.

30. Небутов Г.П. Исследование формирования закладочного массива при послонном намораживании пород / Г.П. Небутов, С.П. Шкулев, В.П. Зубков // Физ-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. — 1998. — №2. — С. 66 – 71.

31. Небутов Г.П. Эффективные технологии подземной добычи руды на месторождениях Якутии / Г.П. Небутов, В.П. Зубков, А.Н. Петров // Наука и образование. — 2001. №4. — С. 17 – 21.

32. Небутов Г.П. Подземная добыча руды с использованием льдопородной закладки на месторождении Бадран в Якутии / Г.П. Небутов, В.П. Зубков, А.Ф. Мамонов // Горн. информ. - аналит. бюл. — 2001. — №10. — С. 71 – 74.

33. Небутов, Г.П. Совершенствование технологии возведения льдопородного целика на основе исследования динамики его промерзания/ Г.П. Небутов, П.Н. Васильев, А.Ю. Черепанов, Л.Л. Федорова // Колыма. — 2001. — С 25 – 27.

34. Роман, Л.Т. Механика мерзлых грунтов / Л.Т. Роман. — М.:МАИК «Наука/Интерпериодика», 2002. — 426 с.

35. Разбегин, В.Н. Исследования механических свойств мерзлых грунтов: обзор / В.Н. Разбегин, С.С. Вялов, Р.В. Максимьяк, А.В. Садовский // Основания, фундаменты и механика грунтов. -1996. -№2. — С. 2 – 8.

36. Ершов, Э.Д. Физико-химия и механика мерзлых пород / Э.Д. Ершов. — М.: – МГУ. — 1988. — 189 с.

37. Зыков, Ю.Д. Экспериментальные исследования анизотропии упругих свойств мерзлых грунтов в зависимости от их криогенной текстуры / Ю.Д. Зыков, О.П. Червинская // Физические поля: сейсмические свойства горных пород. – М.: Стройиздат, 1981. – С.41 – 53.

38. Ухов, С.Б. Особенности определяющих соотношений между напряжениями и деформациями мерзлых горных пород/ С.Б. Ухов, В.П. Мерзляков, Е.А. Гулько // Инженерное мерзлотоведение в гидротехническом строительстве. – М.: Информэнерго, 1983. – С. 60 – 62.

39. Максимак Р.В. Классификация многолетнемерзлых грунтов по их физико-механическим свойствам / Р.В. Максимак // Инженерное мерзлотоведение. – М.: Наука, 1979. – С. 165 – 172.

40. Вялов, С.С. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчеты ледогрунтовых ограждений / С.С. Вялов, В.Г. Гмошинский, С.Э. Городецкий, В.Г. Григорьева, Ю.К. Зарецкий, Н.К. Пекарская, Е.П. Щушерина. – М.: АН СССР, 1962. – 254 с.

41. Велли, Ю.Я. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах / Ю.Я. Велли, В.В. Докучаев, Н.Ф. Федоров. – М. – Л.: Стройиздат, 1977.

42. Врачев, В.В. Влияние плотности мерзлых грунтов на их прочность/ В.В. Врачев // Мерзлотные исследования. – М.: МГУ, 1982. – Вып.21. – С. 17 – 22.

43. Гречищев, С.Е. Основы моделирования криогенных физико-геологических процессов / С.Е. Гречищев, Л.В. Чистотинов, Ю.Л. Шур. – М.: Наука, – 1984. – 187 с.

44. Симонов, К. С. Исследование прочности смороженного грунта, слагающего закладку / К.С. Симонов // Физические процессы горного производства: Всесоюз. межвуз. сб., 1979 – Вып. 6.

45. Сальманов, Р.Н. Исследование составов замораживаемых закладочных крепей / Р.Н. Сальманов, С.Н. Красных // Совершенствование процессов разработки и разведки месторождений Северо-Востока: сб. науч. тр. – Магадан, 1987. – 96 с.

46. Frozen backfill research for Canadian mines / G. Kight, M. Harris, B. Gorski, and J.E. Udd // Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET). – 1994. – 21 p.
47. Tollinsky, N. Frozen backfill tested at NORCAT Mine [Электронный ресурс] / N. Tollinsky // Research conducted at the Northern Centre for Advanced Technology's (NORCAT) – 2007. – Режим доступа: [www.sudburyminingsolutions.com/articles/Research/06-07-FrozenBackfill.asp](http://www.sudburyminingsolutions.com/articles/Research/06-07-FrozenBackfill.asp) - 18k
48. Cluff, D. L. Evaluation of frozen backfill for open stope mining in permafrost conditions [Электронный ресурс] / D. L. Cluff, J. Gallagher, A. Jalbout, V. Kazakidis, G. Swan // CIM 2008. – Режим доступа: [www.infomine.com/publications/docs/Cluff2008.ppt](http://www.infomine.com/publications/docs/Cluff2008.ppt)
49. Катков, Г.А. Характер деформирования льдопородного массива при подземной разработке месторождений в криолитозоне / Г.А. Катков // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2005. – №2. – С. 226 – 228.
50. Каймонов, М. В. Влияние процессов тепло - и массопереноса на смерзаемость руды в очистных блоках рудников Севера: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.20 / Каймонов Михаил Васильевич. – Якутск, 2008. – 139 с.
51. Курилко, А.С. Экспериментальные исследования влияния циклов замораживания - оттаивания на физико-механические свойства горных пород: монография / А.С. Курилко. – ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН», 2004. – 154 с.
52. Курилко, А.С. Экспериментальные исследования прочности смерзшихся сыпучих горных пород / А.С. Курилко, М.В. Каймонов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2004. – №12. – С. 69 – 71.
53. Тайбашев, В.Н. Физико-механические свойства мерзлых крупнообломочных пород / В.Н. Тайбашев. Магадан: Труды ВНИИ-1. – т. XXXIII, 1973. – 160 с.
54. Роджерс, К. Укладки и покрытия. Пер. с англ. Б.З. Мороза и О.М. Фоменко, под ред. А.В. Малышева. – М.: Изд-во «Мир», 1968 – 134 с.

55. Батугин, С.А. Гранулометрия геоматериалов: монография / С.А. Батугин, А.В. Бирюков, Р.М. Кылатчанов. – Новосибирск.: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. – 173 с.

56. Исследование основных физико-механических характеристик горных пород месторождения Бадран: отчет о НИР/ Необутов Г.П. – Якутск: ИГДС СО РАН, 1999. – 63 с.

57. Исследование основных физико-механических свойств горных пород подмерзлотных горизонтов месторождения Бадран: отчет о НИР / Необутов Г.П. – Якутск: ИГДС СО РАН, 2004. – 54 с.

58. Исследование прочностных свойств горных пород месторождения Бадран и работоспособности льдопородных целиков. Разработка рекомендаций по повышению эффективности отработки рудных столбов с использованием льдопородной закладки: отчет о НИР (промежуточный) / Необутов Г.П. – Якутск: ИГДС СО РАН, 2007. – 109 с.

59. Исследование прочностных свойств горных пород месторождения Бадран и работоспособности льдопородных целиков. Разработка рекомендаций по повышению эффективности отработки рудных столбов с использованием льдопородной закладки: отчет о НИР (заключительный) / Необутов Г.П. – Якутск: ИГДС СО РАН, 2008. – 79 с.

60. Реконструкция рудника «Бадран»: рабочий проект. Т. II. Новосибирск: СИБГИПРОЗОЛОТО, 2000.

61. Необутов, Г.П. Исследование взаимодействия вмещающих пород с льдопородным закладочным массивом / Г.П. Необутов, С.П. Шкулев, Л.Л. Федорова // «Итоги геокриологических исследований в Якутии в XX веке и перспективы их дальнейшего развития» материалы республ. конф. Якутск, 9-11 окт. 2001 г. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения, 2001. – С.50 – 51.

62. ГОСТ 21153.3-85. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.гост-снп-рд.рф/Data1/3/3830/index.htm>.

63. Чаповский, Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е.Г. Чаповский. Изд. 4-е. – М.: Недра, 1975. – 304 с.
64. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т. 2: Лабораторные методы; под ред. Е.М. Сергеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 438 с.
65. Необутов, Г.П. Разработка рудных месторождений криолитозоны с использованием смерзающейся закладки / Г.П. Необутов, С.П. Шкулев, В.П. Зубков, Д.Н. Петров // «Геотехнология на рубеже XXI века»: материалы Междунар. науч. - практич. конф. – Новосибирск, 1999. – С. 88-89.
66. Петров, Д.Н. Анализ и обобщение опыта применения смерзающихся закладочных опор при разработке месторождений криолитозоны / Д.Н. Петров // Исследования по инженерно-физическим проблемам Севера: сб. науч. тр. – Якутск: ЯФ «Изд – ва СО РАН», 2002. – С. 90 – 95.
67. Необутов, Г.П. Результаты исследований в области создания технологии добычи руды с использованием смерзающейся закладки / Г.П. Необутов, В.П. Зубков, Д.Н. Петров // «Проблемы и перспективы развития горных наук»: Труды Междунар. конф., Новосибирск, 1-5 нояб. 2005 г. – Новосибирск: Ин-т горного дела СО РАН, 2005. – Т. 2. – С. 356-363.
68. Необутов, Г.П. Исследование деформируемости льдопородной закладки / Г.П. Необутов, Д.Н. Петров // Наука и образование. – 2008. – № 1. – С.11 – 13.
69. Необутов, Г.П. Подземная добыча руды с использованием льдопородной закладки на месторождении Бадран в Якутии / Г.П. Необутов, В. П. Зубков, А. Ф. Мамонов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2001. - №10. – С. 71-74.
70. Лавров, В. В. Природа масштабного эффекта у льда и прочность ледяного покрова / В. В. Лавров // Докл. АН СССР. 1958. – Т. 122, – № 4.
71. Мерзлотные исследования: Сб. Вып. II. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 223 с.
72. Безкаравайный, В. Г. Механика горных работ. Руководство к лабораторным работам/ В.Г. Безкаравайный. – Л.: Ленингр. горн. ин-т им. Г. В. Плеханова, 1974. – 28 с.



73. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. – М.: Изд-во лит. по строительству, 1973. – 191 с.
74. Ильницкая, Е. И. Свойства горных пород и методы их определения / Е. И. Ильницкая, Р. И. Тедер, Е. С. Ватолин, М. Ф. Кунтыш. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
75. Турчанинов, И. А. Основы механики горных пород / И. А. Турчанинов, М. А. Иофис, Э. В. Каспарьян Изд-е 2-е, доп. и перераб. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.
76. Станкус, В. М. Механика горных пород и устойчивость выработок шахт Кузбасса / В. М. Станкус, В. Г. Кожевин, В. А. Муратов, В. Н. Маньков, Б. Г. Костельцев. – Кемерово: Кемеровск. кн. изд-во, 1973. – 345 с.
77. Николаев, Б. Состав растворов и бетонов в зависимости от размеров и формы зерен материалов: монография / Б. Николаев. - СПб. : Типогр. Санкт – Петербург. градоначальства, 1914. - 55 с.
78. Андреев, С. В. Дробление измельчение и грохочение полезных ископаемых / С. В. Андреев, В. А. Петров, В. В. Зверевич. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
79. Ржевский, В. В. Физико-технические параметры горных пород / В. В. Ржевский. – М., 1975.
80. Букринский, В.А. Геометрия недр: учебник для вузов / В.А. Букринский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГГУ, 2002. – 549 с.
81. Гурьянов, И.Е. Инженерная криолитология: прочность вечномерзлых грунтов / И.Е. Гурьянов; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние, Ин-т мерзлотоведения им. П. И. Мельникова. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. – 139 с.
82. Ральникова, М. В. Геомеханика: учебное пособие / М. В. Ральникова, О. В. Зотеев – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. – 240 с.
83. Закладочные материалы [Электронный ресурс] – Горная энциклопедия © 2008—2013. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/z/zakladochnye-materialy>.

84. Кузьмин, Е. В. Основы горного дела / Е. В. Кузьмин, М. М. Хайрутдинов, Д. К. Зенько. – М.: Изд. АртПринт, 2007. – 470 с.
85. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси: справочник / Ю. А. Беленцов, В. Н. Вернигорова [и др.]; под ред. П. Г. Комохова. – СПб.: НПО «Профессионал», 2009. – Ч. II. – 612 с.
86. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны. Научное издание / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.
87. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/GOST826793SHHebenigraviji.html>.
88. Болотских, О. Н. Определение лещадности щебня с использованием специального штангенциркуля (по DIN EN 933-4: 1999-12) [Электронный ресурс] / О. Н. Болотских // Технологии бетонов. – 2010. – № 3 - 4 (44-45). – Режим доступа: <http://www.tehnobeton.ru/arch.htm>.
89. ГОСТ 8269-87 Щебень из природного камня, гравий и щебень из гравия для строительных работ. Методы испытаний [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gostexpert.ru/gost/gost-8269-87>.
90. Перельгин, В. Получение кубовидного щебня на отечественном оборудовании [Электронный ресурс] / В. Перельгин // «Основные средства». – 2007. – №12. – Режим доступа: [http://www.os1.ru/article/mining/2007\\_12\\_A\\_2008\\_04\\_30-18\\_38\\_36/](http://www.os1.ru/article/mining/2007_12_A_2008_04_30-18_38_36/).
91. Основные свойства щебня [Электронный ресурс] Титан – неруд. – 2014. – Режим доступа: <http://titan-nerud.ru/production/oss>.
92. Вайсберг, Л. А. Технологии производства высококачественного щебня [Электронный ресурс] / Л. А. Вайсберг, А. Д. Шулюяков //Стройка. – 2005. – № 49. – Режим доступа: <http://library.stroit.ru/articles/techsh/>
93. Петров, Д. Н. Влияние формы частиц закладочных материалов на прочность промораживаемых водопородных смесей / Д. Н. Петров, Г. П.

Необутов // «Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России»: Труды Всеросс. науч. –практич. конф., посвящ. памяти чл.-кор. РАН Новопашина М. Д., Якутск, 13 – 15 сент. 2011 г. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН, 2011. – С. 278 – 280.

94. Петров, Д. Н. Характер влияния формы частиц заполнителя на прочность льдопородной закладки / Д. Н. Петров, А. Н. Петров // Горн. информ.-аналит. бюл. - 2013. № 8. – С. 379 – 383.

95. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost27636.html>

96. Дементьев, В. Е. Кучное выщелачивание золота и серебра/ В. Е. Дементьев, Г. Я. Дружинина, С. С. Гудков. – Иркутск: ОАО «Иргиридмет», 2004. – 352

97. «Подземные горные выработки». [Электронный ресурс] Строительные Нормы и Правила. СНиП II-94-80 Нормы проектирования. Часть 2. Глава 94. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/1/1923>.

98. Методические указания по установлению размеров камер и целиков при камерных системах разработки руд цветных металлов. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 82 с.

99. Проектирование технологических схем и процессов подземной добычи руд: справ. пособие / сост.: Баранов А. О. – М.: Недра, 1993. – 284 с.

100. Закладочные работы в шахтах: справочник; под ред. Д. М. Бронникова, М. Н. Цыгалова. – М.: Недра, 1989. – 272 с.

101. Рекомендации по совершенствованию камерных систем разработки россыпных месторождений Северо-Востока СССР (на примере некоторых месторождений Заполярья); сост. Лубий К. И., Сенук Д. П., Ушаков Г. С. – Якутск: Изд. – е Якут. фил. СО АН СССР, 1976. – 56 с.

102. Методические указания по расчету параметров конструктивных элементов системы разработки для условий рудных месторождений зоны многолетней мерзлоты / сост.: Шкулев С. П., Необутов Г. П. – Якутск: Якутский ЦНТИ, 1996. – 18 с.

103. Справочник по горнорудному делу; под ред. В. А. Гребенюка, Я. С. Пыжьянова, И. Е. Ерофеева. – М.: Недра, 1983. – 816 с.

104. Хохолов, Ю. А. Оптимизация формирования льдопородного массива в горных выработках / Ю. А. Хохолов, А. Ф. Мамонов, В. П. Зубков // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2004. - № 10. – С. 103 – 106.

105. Петров, Д. Н. Прогноз продолжительности формирования льдопородного целика в зависимости от горно-геологических условий, температуры промораживания и конструктивных параметров / Д. Н. Петров, Ю. А. Хохолов // Горн. информ. - аналит. бюл. – 2013. – № 10. – С. 24 – 29.

106. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 736 с.

107. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. -2-е изд., испр. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

108. Самарский, А. А. Вычислительная теплопередача / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

109. Необутов Г. П. Основные принципы конструирования систем разработки месторождений криолитозоны, адаптированных к кластерной организации рудного вещества / Г. П. Необутов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2010. – № 3. – С. 103 – 108.

110. Петров, Д. Н. Технические решения по отработке обособленного рудного тела в борту карьера трубки «Айхал» / Д. Н. Петров, Г. П. Необутов, А. Ф. Мамонов // Горн. информ. - аналит. бюл. – 2008 – Отд. вып. Якутия-1. –С. 281 – 286.

111. Необутов, Г. П. Оценка изменения тенденций развития технологии разработки жильных месторождений криолитозоны / Г. П. Необутов, Д. Н. Петров, Е. В. Никулин // Горн. информ. - аналит. бюл. – 2009. – № 4. – С. 14–22.

112. Петров, Д. Н. Закономерности формирования льдопородной закладки / Д. Н. Петров, Г. П. Необутов, В. И. Слепцов // Горн. информ. - аналит. бюл. – 2010. – № 3. – С. 99–103.

113. Необутов, Г. П. Безопасное извлечение целиков и контроль напряженного состояния массива / Г. П. Необутов, Д. Н. Петров // «Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов»: сб. науч. тр. Междунар. науч. - практич. конф., г. Новокузнецк, 7 – 9 июня 2005 г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – С.96 – 100.

114. Петров, Д. Н. Методика контроля напряженного состояния льдопородных целиков и массива горных пород при ведении горных работ / Д. Н. Петров, Г. П. Необутов // «Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны»: Труды Междунар. науч. - практич. конф., г. Якутск, 14 – 17 июня 2005 г. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2005. – Т.1. – С. 274 – 280.

115. Необутов, Г. П. Перспективы использования смерзающей закладки при подземной разработке месторождений криолитозоны / Г. П. Необутов, Д. Н. Петров // «Научно-технические технологии добычи и переработки полезных ископаемых»: матер. очно - заочной науч. – практич. конф., г. Новосибирск, 23 – 26 окт. 2001 г. – Новосибирск, 2001. – С. 79 – 81.

116. Пат. №2249112 RU 2249112 С2 Е 21 F 15/00. Способ подготовки междокамерных целиков к выемке / Г. П. Необутов, П. Н. Васильев, Д. Н. Петров, А. Ю. Черепанов; Ин-т горн. дела Севера СО РАН. – №2002133806/03; заявл. 15.12.2002; опубл. 27.03.2005, Бюл. №9.

117. Необутов, Г. П. Новые технические решения безопасного ведения горных работ с использованием льдопородной закладки / Г. П. Необутов, Д. Н. Петров // «Безопасность горного производства в Республике Саха (Якутия)»:

материалы Всеросс. науч. – практич. конф., посвящ. 70 – летию д.т.н. Е. Н. Чемезова. – Якутск: Изд-во Якутского государственного университета им. М. К. Аммосова, 2008. – С. 66 – 67.

118. Исследовать режимы формирования льдопородного массива и разработать рекомендации по отработке слепого рудного тела с льдопородной закладкой (промеж.): отчет о НИР / ИГДС СО РАН; Необутов Г. П. – Якутск: Ин - т горн. дела Севера СО РАН, 2002. – 93 с.

119. Исследовать режимы формирования льдопородного массива и разработать рекомендации по отработке слепого рудного тела с льдопородной закладкой (закл.): отчет о НИР / ИГДС СО РАН; Необутов Г. П. – Якутск: Ин - т горн. дела Севера СО РАН, 2003. – 111 с.

120. Проект возведения льдопородной закладки в очистной выработке гор.+180 м рудного тела в борту карьера трубки «Айхал» / Необутов Г. П. – Якутск: Ин - т горн. дела Севера СО РАН, 2002. – 21 с.

121. Необутов, Г. П. Рациональное освоение кимберлитовых месторождений в криолитозоне / Г. П. Необутов, Д. Н. Петров // «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр»: матер. I Междунар. конф. – М.: Изд – во РУДН, 2002. – С. 98–99.

122. Петров, Д. Н. Технологическая схема нисходящей выемки руды с использованием смерзающейся закладки / Д. Н. Петров, Г. П. Необутов // Материалы науч. конф. молодых ученых и аспирантов, посвященной 370-летию г. Якутска (Науки о Земле). – Якутск: Изд-во Якутского государственного университета им. М. К. Аммосова, 2002. – С. 85 – 88.

123. Опытнo-промышленные испытания технологии возведения льдопородной закладки на руднике «Айхал». Раздел I. Разработка программы методики опытнo-промышленных испытаний: отчет о НИР / Необутов Г. П. – Якутск: Ин - т горн. дела Севера СО РАН, 2002. – 66 с.

124. Вскрытие и отработка подкарьерных запасов до отм. –100 м. Проект рудника «Айхал». Т. 2: Технологические решения. Кн. 2: Горно-технологическая

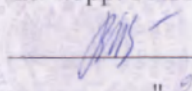
часть: Пояснительная записка 69-03-03 000-02.ПЗ. – С-Пб.: Ин - т  
ГИПРОНИКЕЛЬ, 2000. – 161 с.

125. Необутов, Г. П. Перспективы применения льдопородной закладки  
выработанного пространства при использовании самоходной техники / Г. П.  
Необутов // Горн. информ. - аналит. бюл. – 2004. – № 9. – С. 237–240.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИГДС СО РАН,

чл.-корр. РАН

 М.Д.Новопашин


"27" 11 2008 г.



УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер

ЗАО ГРК «Западная»

 В.В.Васильев

"27" 11 2008 г.



## АКТ

## о передаче законченной НИР (ОКР)

Научно-исследовательская работа «Исследование прочностных свойств горных пород месторождения Бадран и работоспособности льдопородных целиков. Разработка рекомендаций по повышению эффективности отработки рудных столбов с использованием льдопородной закладки» выполнена лабораторией Проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов (ПРОМСР) Института горного дела Севера им.Н.В.Черского СО РАН (ИГДС СО РАН) в соответствии с хоздоговором с ЗАО ГРК «Западная».

Научный руководитель темы – с.н.с., к.т.н. Г.П. Необутов.

Ответственный исполнитель темы – мл.научн.сотрудник лаборатории ПРОМСР Д.Н.Петров.

Срок выполнения: плановый – ноябрь 2008 г.

фактический – ноябрь 2008 г.

Результаты приняты к практическому использованию ЗАО ГРК «Западная» в виде рекомендаций по повышению эффективности добычи руды с использованием льдопородной закладки.

Технические результаты: Приведены результаты исследований структуры и свойств образцов смерзшихся пород. Выявлены основные отличительные особенности льдопородной закладки и обоснованы существенные преимущества льдопородных опор перед другими видами закладки при их использовании в разработке залежей криолитозоны. В результате проведенных экспериментально-аналитических исследований разработаны рекомендации по технологическим параметрам производства закладочных работ и формированию льдопородной закладки. Рекомендованы расчетные зависимости, позволяющие уточнить конструктивные параметры применяемой ресурсосберегающей системы разработки.

Рассмотрены вопросы крепления горных выработок, весьма актуальных при разработке месторождения Бадран в сложных горно-геологических условиях. С учетом прочного промерзания как



закладываемых пород, так и любых материалов, располагаемых в закладке, предложены принципиально новые технические решения по креплению выработанного пространства вторичных камер.

Обосновано, что применение мобильного самоходного оборудования при системе разработки с льдопородной закладкой значительно повысит производительность труда и его комфортность, и предложены технологические схемы, обеспечивающие его рациональное использование.

Разработаны основные положения повышения эффективности отработки рудных столбов месторождения Бадран с использованием льдопородной закладки и методические рекомендации по рациональному освоению малообъемных рудных залежей, отдельных участков месторождений, карьеров, предохранительных целиков и т.д., расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты, с использованием льдопородных опор и производительного самоходного оборудования.

Предложены технические решения по интенсификации смерзания закладочного массива и упрочнению его конструктивных элементов без значительных затрат на их осуществление.

От с/а «Западная»:

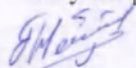
Начальник ПТО  А.В.Каплеев

Гл. экономист  А.А.Студенников

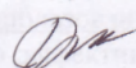
Гл. бухгалтер  Н.В.Шепель

От ИГДС СО РАН:

Научн. рук. с.н.с., к.т.н.

 Г.П. Необутов

Мл.научн.сотр. ПРОМСР

 Д.Н.Петров