

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

МОРОЗОВА НАДЕЖДА ВАЛЕНТИНОВНА

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ИСКУССТВЕННЫХ
СУШЕНЦОВ К ВЫЕМКЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Специальность 25.00.22

«Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Диссертация

На соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор

Коростовенко В. В.

Красноярск - 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ВОПРОСА.	
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	15
1.1 Особенности подготовки пород при разработке мерзлых глинистых россыпей и анализ работ в области исследования.....	15
1.2 Физико-механические свойства многолетнемерзлых глинистых грунтов...	25
1.3 Цель и задачи исследования.....	34
2. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ИСКУС- СТВЕННЫХ СУШЕНЦОВЫХ ЗОН.....	36
2.1 Теоретические основы движения АРР в недеформируемой пористой среде.....	36
2.2 Методика проведения лабораторных исследований.....	38
2.2.1 Обоснование реагента.....	39
2.2.2 Подготовка к эксперименту.....	43
2.3 Результаты лабораторных исследований и их анализ.....	49
2.4 Выводы.....	65
3. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ИСКУС- СТВЕННОЙ СУШЕНЦОВОЙ ВСКРЫШИ НА ВЫСОКОЛЬДИСТЫХ РОС- СЫПЯХ.....	67
3.1 Теоретические основы теплофизических процессов просадки торфов.....	67
3.2 Промышленные исследования по созданию искусственной сушенцовой вскрыши на высокольдистых россыпях.....	72

3.2.1 Методика проведения исследований.....	72
3.3 Результаты промышленных исследований подготовки сушенцовых полей при просадке торфов и их анализ.....	74
3.4 Выводы.....	94
4. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ СУШЕНЦОВОЙ ВСКРЫШИ НА ДИНАМИКУ ГОДОВОГО НАМЫВА МЕТАЛЛА.....	97
4.1 Обоснование параметров теоретического намывочного коэффициента с учетом объемов подготовленных искусственных сушенцов.....	97
4.2 Условия применения способов подготовки искусственных сушенцов.....	103
4.3 Выводы.....	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Акт о проведении лабораторных испытаний проницаемости глинистых грунтов.....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Акт о проведении промышленных экспериментов на полигонах драг №230, №.2, №24 ЗАО «Прииск Удерецкий»... ..	132
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Акт о использовании научных результатов диссертационной работы Морозовой Н.В.	133
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Экспериментальные значения коэффициента фильтрации в зависимости от содержания глины	135
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Проверка значимости коэффициента корреляции в полученных зависимостях.....	137
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Проверка значимости коэффициента регрессии.....	139

ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Исходная гидрологическая характеристика	140
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Разрешение Главного Государственного санитарного врача на применение ПХМ в качестве коагулянта.....	141
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Разрешение Министерства здравоохранения Российской Федерации на применение ПХМ в качестве коагулянта.....	142

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Развитие мировой и российской экономики сопровождается прогрессирующим ростом объемов потребления природных ресурсов. Объемы потребления минеральных ресурсов за последние 30 лет выросли в 3 – 5 раз. Очевидно, что тенденция роста потребления минерального сырья в ближайшие десятилетия сохранится. Однако доля платежей от природных ресурсов в России составляет 3 – 4 %, а в развитых странах – 25 – 30 %. Отсюда следует, что в России и в Красноярском крае, как типичном представителе природоресурсного региона федерации, имеются большие резервы повышения эффективности природопользования [49, 50, 103].

Развитие России и других государств во многом определяется эффективным использованием минерально-сырьевой базы и развитием промышленности, но в настоящее время производство должно быть не только экономически рентабельным, но и экологически безопасным для окружающей среды [104].

Россия входит в группу стран – экспортеров минерального сырья, доля которого в общем объеме российского экспорта составляет 65 %, и в обозримом будущем эта доля будет возрастать.

Поэтому рациональное использование недр и охрана природных ресурсов в условиях интенсивного развития промышленности – одна из важнейших проблем, от решения которой зависит успешное выполнение хозяйственных планов. В настоящее время она приобретает все большую остроту в связи с возрастающими масштабами развития горнодобывающих отраслей промышленности, невозполнимостью и сокращением дефицитных запасов полезных ископаемых, вовлечением в разработку бедных месторождений.

Сложность поставленной задачи при разработке россыпных месторождений заключается в том, что наиболее доступные россыпи, в основном, отработаны. В эксплуатацию вовлекаются россыпи, залегающие в сложных горно-геологических условиях с большой мощностью торфов.

Увеличение роста объемов вскрышных работ при разработке россыпных месторождений с необходимостью применения тяжелой землеройной техники

ставит подготовку мерзлых пород к выемке в число важнейших задач, стоящих перед горнодобывающей промышленностью Сибири и Северо-Востока РФ. Особенно большое значение в последние годы приобретают методы водно-тепловой подготовки многолетнемерзлых россыпей в осенне-зимний период, так как возможности существенного расширения применения масштабов буровзрывного способа рыхления торфов сдерживает его высокая себестоимость. Учитывая особенности развития горного производства Сибири и Северо-Востока, а также геологическое строение россыпных месторождений, следует ожидать, что ведущим способом водно-тепловой мелиорации многолетнемерзлых торфов станет фильтрационно-дренажное оттаивание в комплексе с подготовкой искусственных сушенцов [33].

Современное выемочное оборудование не способно эффективно и производительно работать на мёрзлых грунтах без их предварительной подготовки. Наиболее распространённым способом подготовки мёрзлых пород к выемке считается буровзрывной, но он является весьма трудоёмким, энергоёмким и дорогостоящим. В связи с переводом предприятий на полную окупаемость, разработка россыпных месторождений в условиях Крайнего Севера становится практически нерентабельной.

В этих условиях актуальной является разработка технологии подготовки искусственных сушенцовых зон, особенно на месторождениях с повышенным содержанием глинистых частиц. Технология подготовки искусственных сушенцов состоит из двух основных элементов: оттаивания мерзлых торфов (обычно фильтрационно-дренажным способом или с помощью буровых скважин) и уменьшения влажности отложений до критической величины при помощи дренирования оттаянного массива. После этого торфа готовы к круглогодичной разработке. На россыпных месторождениях этот способ позволяет оттаивать слои мерзлых галечников или щебня, гравия, песка, если коэффициент фильтрации водопроницаемости пород составляет (в талом состоянии) не менее 40 м/сутки при содержании глинистого материала не более 5 % [33].

Актуальность научных исследований, направленных на расширение использования этого способа, особенно на месторождениях с содержанием глинистого цемента до 15 %, обуславливается высокой долей таких россыпей (табл. 1-2). Подготовка же сушенцово́й вскрыши позволит разрабатывать мерзлые торфа даже легкими бульдозерами во время сильных морозов.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с «Целевой научно-технической программой «Интеграция»: Раздел 2.3 «Исследование и разработка принципов и технологий территориально-экологической оптимизации освоения природно-ресурсного потенциала Сибири».

Таблица 1 - Актуальность научных исследований технологии подготовки искусственной сушенцово́й вскрыши

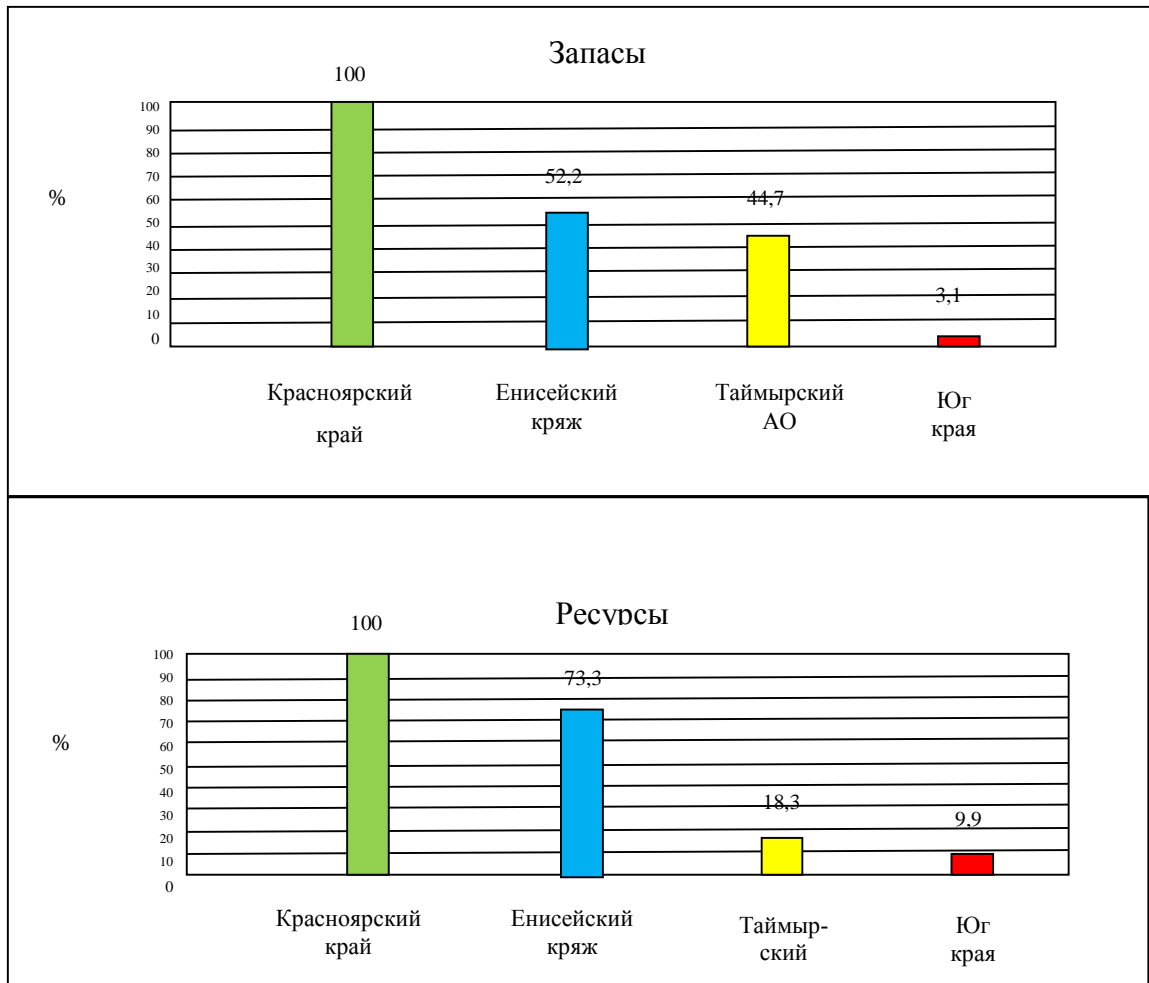


Таблица 2 - Структура запасов и ресурсов золота Красноярского края с возможностью создания сушенцов

Красноярский край	Активные запасы, %	Ближайший резерв, %	Потенциальный резерв, %	Сушенцовая вскрыша, %
Россыпное золото, всего	9,4	11,4	10,6	
в т. ч. техногенное	8,0	8,0	5,0	100
-Енисейский кряж	8,3	6,8	3,2	80
- Юг и центр края	1,1	4,6	7,4	70

Степень разработанности темы исследования: Современные взгляды на проблемы разработки россыпных месторождений изложены в трудах крупных ученых и специалистов таких как Е.И.Богданов, В.И. Емельянов, Е.Т.Жученко, В.А.Кудряшов, В.Г.Лешков, Е.А. Компанейцев, А.В.Лобов, В.Д.Макаров, Ю.А.Мамаев А.А.Матвеев, В.П.Мязин, С.В.Потемкин, В.Г.Пятаков, А.В.Рашкин, В.В. Сборовский, Б.Л.Тальгамер, М.С.Шорохов и др. Одной из основных проблем на первое место они ставят подготовку мерзлых пород к выемке, увеличение объемов вскрышных работ, рациональное природопользование.

Подготовка мерзлых торфов к выемке при разработке россыпных месторождений традиционно относится к наиболее сложным и трудным задачам. В решение этих задач крупный вклад внесли такие ученые как П.Б.Авдеев, В.П. Бакакин, В.Т.Балобаев, Э.И.Богуславский, Ю.М. Ведяев, В.Г. Гольдтман, Ю.Д. Дядькин, В.В.Знаменский, Н.С.Иванов, В.А. Кудрявцев, В.Е.Кисляков, Б.А. Оловин, А.В. Павлов, Г.З.Перльштейн, Т.С.Потапова, Ю.В.Субботин, С.Д.Чистопольский и др.

В научных работах отражены аспекты управления параметрами технологии подготовки многолетнемерзлых пород к выемке, способов и методов расчета. Вместе с тем, для дальнейшего повышения эффективности подготовки искусственной сушенцовой вскрыши при разработке россыпных месторождений необходимы глубокие исследования, в направлении повышения скорости проницаемости торфов с содержанием глинистых частиц более 5 %

при фильтрации активированного раствора реагента (АРР), оптимизации параметров подготовки сушенцов – расстояния между горизонтальными дренами, сетки скважин, продолжительности воздействия активированного раствора реагента на массив россыпи и взаимной увязки их с добычными работами во времени и пространстве.

Цель работы: Обоснование технологии подготовки искусственных сушенцовых полей на основе их обработки активированным раствором реагента (АРР) в процессе подготовки к выемке; создание технологических схем и методик расчета параметров технологии подготовки сушенцовой вскрыши.

Задачи исследований:

1. Изучение опыта отечественных и зарубежных компаний по способам гидравлического оттаивания грунтов.
2. Исследование проницаемости торфов с повышенным содержанием глинистого цемента после обработки их активированным раствором реагента.
3. Обоснование параметров технологии подготовки искусственной сушенцовой вскрыши при фильтрационно-дренажном оттаивании массива с повышенным содержанием глинистого цемента.
4. Разработка технологии подготовки сушенцовой вскрыши на высокольдистых россыпях.
5. Разработка методики расчета годового намыва металла при подготовке искусственной сушенцовой вскрыши.

Научная новизна диссертации:

1. Установлена взаимосвязь параметров технологии подготовки искусственных сушенцов с фильтрационной характеристикой на слабопроницаемых грунтах при их обработке АРР.
2. Установлены зависимости влияния температуры и продолжительности активации раствора реагента на проницаемость торфов.
3. Выявлена закономерность изменения объемов, подготовленных сушенцов от льдистости пород, продолжительности солнечного воздействия и температуры.

4. Выявлена зависимость продолжительности обработки АРР пород от конвективного и диффузионного массопереноса, и оптимальной продолжительности контакта АРР с породами.

5. Построены функции движения активированного раствора реагента в кусочнооднородном пласте торфов постоянной мощности.

6. Установлено, что при конформном отображении области приведенного комплексного потенциала одномерной установившейся фильтрации, которая происходит в проницаемом пласте торфов при фильтрации несжимаемого активированного раствора реагента, поток имеет свободную поверхность в форме наклонной плоскости с уклоном, равным уклону плотика. В этом случае пьезометрический уклон является уклоном свободной поверхности плотика;

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований:

1. Проведен анализ опыта отечественных и зарубежных компаний по способам фильтрационно-дренажного оттаивания, как с помощью горизонтальных дрен, так и с помощью буровых скважин.

2. Исследовано влияние предварительной фильтрации активированного раствора реагента, на кинетику проницаемости фильтрующего агента.

3. Обоснована методика расчета параметров технологии подготовки искусственных сушенцов при обработки торфов активированным раствором реагента.

4. Разработаны способы и технологические схемы оттаивания пород с высоким содержанием льда-цемента на основе учета процессов теплообмена при интенсивном водоотведении.

5. Разработанная методика планирования годового намыва металла позволяет учитывать изменение объема и содержания металла исходя из принятой технологии подготовки искусственных сушенцов, и снижения объемов вскрыши. При календарном планировании вскрышных работ определяются

объемы вскрыши с учетом мощности протаивания торфов, объема искусственных сушенцов, а также площади, где необходимо произвести снятия поверхностного теплоизолирующего слоя.

Методология и методы исследований комплексные, включающие системный анализ, экспериментально-аналитический метод, физическое моделирование, математическую статистику, анализ и обобщение литературных источников и практических результатов; лабораторные и промышленные эксперименты в производственных условиях; методы математического моделирования; программирование, промышленные наблюдения, технико-экономическая оценка полученных результатов исследований и промышленное внедрение.

В результате исследований выявлен ряд зависимостей, позволяющих сделать некоторые практические выводы и рекомендации.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Подготовка искусственных сушенцов с повышенным содержанием глинистого цемента должна осуществляться на основе предварительной фильтрации раствора реагента, активированного при температуре 50-80 °С в течение 5 суток, что позволяет увеличить скорость фильтрации в 4 раза.

2. Расчет параметров подготовки искусственных сушенцовых зон необходимо производить на основе уравнений симметричной и осесимметричной одномерной фильтрации в цилиндрических координатах, при этом необходимо учитывать, что при глубине оттаивания значительно превышающей расстояние между дренами, заложение последних должно быть не менее 3-х метров при глубине торфов до 6 метров.

3. На основе выявленных процессов теплообмена при гидравлическом оттаивании мерзлых пород создана возможность наращивания объемов сушенцовых полей при разработке высокольдистых россыпей за счет создания высокого градиента потенциала почвенной влаги в поверхностном слое и рас-

пространения расклинивающего давления при интенсивном отведении фильтрующейся жидкости. Увеличение льдистости с 30 до 50 % приводит к росту мощности протаивания торфов от 2 до 4,6 м подготавливаемой площади.

Степень достоверности научных выводов и рекомендаций: Теория согласуется с опубликованными результатами исследований в этой области; подтверждается корректным использованием математического аппарата и основных положений теории статистики; использованием результатов исследований при подготовке сушенцовых вскрыши на карьере ОАО «Селигдар»;

идея базируется на результатах проведенного анализа эффективности применения разработанной технологии подготовки искусственных сушенцов на слабопроницаемых грунтах с фильтрационной характеристикой при их обработке АРР;

использованы авторские данные и данные, ранее полученные по рассматриваемой тематике;

все основные научные выводы, полученные в работе, подтверждаются теоретически и практически, научные положения аргументированы, теоретические результаты работы подтверждены результатами представительного объема проведенных исследований;

использованы современные методики сбора, анализа и обработка исходной информации.

Апробация результатов работы: Основные положения диссертационной работы докладывались на международных и всероссийских конференциях: 7-ой международной научно-технической конференции «Современные технологии освоения минеральных ресурсов» (г. Красноярск, 2009 г.); 8-ой международной научно-практической конференции «Освоение минеральных ресурсов Севера» (г. Воркута, 2010 г.); 8-ой международной научно-технической конференции «Современные технологии освоения минеральных ресурсов» (г. Красноярск, 2010 г.); 7-ой международной «научно-практической конференции «Перспективы образования, наука и техника» (Белград, 2011 г.);

международной научной конференции «Технические науки: теория и практика» (г. Чита, 2012 г.); 8-ой международной конференции «Наука: теория и практика» (г. Белград, 2012 г.); Всероссийской научно-практической конференции "Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы", (Апатиты 2013, 6-8 ноября, СПГЭУ), научных конференциях кафедры «Техносферной безопасности горного и металлургического производства», Института цветных металлов и материаловедения, Сибирского Федерального Университета (2011-2013 г. г.)

Личный вклад соискателя состоит в формировании идеи, цели и задач исследований, в разработке методики решения задач, в проведении аналитического обзора информации по существующим методам обоснования технологии подготовки искусственных сушенцов; в проведении лабораторных и промышленных исследований по изучению эффективности оттайки мёрзлых грунтов при подготовке искусственных сушенцов; в теоретическом обосновании способа подготовки искусственных сушенцов на основе воздействия на слабопроницаемый грунт активированного раствора реагента; в разработке методике расчета параметров технологии подготовки искусственных сушенцовых зон (обоснование расстояния между горизонтальными дренами и параметров сетки буровых поглощающих скважин); в разработке технологии подготовки сушенцовой вскрыши на высокольдистых россыпях на основе использования расклинивающего давления в грунтах при интенсивном отведении фильтрующейся жидкости; в опытно-промышленном внедрении разработанного способа подготовки искусственных сушенцовых полей на предприятии ОАО «Селигдар».

Публикации. Основные результаты исследования представлены в 12 отечественных и зарубежных публикациях, в том числе 4 - из списка рекомендованных ВАК России.

Реализация работы. Результаты исследований по подготовке искусственных сушенцов на основе обработки пород активированным раствором

реагента применялись при составлении технологического регламента при производстве горных работ на карьерах ОАО «СЕЛИГДАР». В ходе внедрения результатов исследований диссертационной работы было установлено, что основными факторами, определяющими расстояние между горизонтальными дренами при подготовке искусственных сушенцов, являются содержание глины в грунтах, проницаемость пород, уклон плотика, мощность пород. Достигнутые в ходе промышленных исследований значения критической влажности 3,5%, позволили разрабатывать мерзлые породы даже легкими бульдозерами во время сильных морозов. На участках месторождения, где льдистость пород не удалось понизить ниже 4,5 %, была успешно использована тяжелая землеройная техника.

Таким образом, предварительная подготовка пород активированным раствором реагента позволила создать искусственные сушенцовые зоны в грунтах с содержанием глины до 15 % и снизить затраты на вскрышу на 20-30 %. (приложение 3). Материалы диссертационной работы используются в учебных курсах по специальности «Открытые горные работы» в Сибирском Федеральном университете.

1. СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Особенности подготовки пород при разработке мерзлых глинистых россыпей и анализ работ в области исследования

Разведанные и прогнозные запасы россыпных месторождений сосредоточены на огромной территории Сибири, Севере и Дальнем Востоке России. Особенностью сырьевой базы добычи золота из россыпей является то, что около 85% из них представлены мерзлыми и глинистыми породами. Для их разработки требуется проведение комплекса работ по разупрочнению массива и созданию определенного объема готовых к выемке запасов. Прогресс в области разработки многолетнемерзлых пород связан с поиском научно обоснованных решений, позволяющим увеличить скорость оттайки, обеспечить разупрочнение глинистых частиц и решить экономические и экологические задачи.

В настоящее время разработано и внедрено в производство большое разнообразие интенсивных физико-технических способов оттаивания мерзлых и разупрочнения глинистых пород. Вместе с тем, большинство способов не находят широкого применения в практике по разным причинам, основной из которых является отсутствие научно-методических подходов к определению оптимальных параметров горно-подготовительных работ. Своевременная и качественная подготовка мерзлых пород к выемке позволит расширить возможности осенне-зимней вскрыши и увеличить производительность добычных работ. Учитывая тенденции развития горного производства и особенности геологического строения россыпных месторождений, следует ожидать, что ведущим способом подготовки мерзлых пород станет создание искусственных сушенцов.

Характеристика прироста запасов за счет вторичной переработки техногенных россыпей показывает, что объем мерзлых пород будет увеличиваться. Важнейшей особенностью мерзлых пород является высокая энергоемкость

разупрочнения, достигающая 200 МДж/м. Поэтому с увеличением объемов переработки мерзлых пород возрастает значение подготовительных работ и, в первую очередь работ по оттаиванию и предохранению пород от промерзания, которые оказывают решающее влияние на технико-экономические показатели: годовая производительность драг и промприборов изменяется в 3-4 раза, потери металла в недрах и при промывке песков, а также разубоживание - в 2-3 раза, себестоимость добычи металла - в 2-3 раза [107].

Удельная стоимость искусственного оттаивания мерзлых пород, отражающая затраты на оттаивание 1 м³ мерзлого грунта, зависит от многих природных и производственно-технических условий, а также от способа оттаивания, включая освоенность технологии его и оснащенность техническими средствами. Зимняя вскрыша торфов позволяет повысить коэффициент использования бульдозерного парка, увеличить годовой объем выработки на машину, сократить число бульдозеров в одновременной работе, уменьшить расходы на амортизацию.

Одним из создателей отечественного инженерного мерзлотоведения является Гольдман В.Г. Ему принадлежит научное обоснование способов гидравлического оттаивания, его научные разработки изложены в многочисленных Трудах ВНИИ-1 за 1959 - 70 г.г.[33]. Существенный вклад в теоретические основы оттайки мерзлых пород внесены В.В. Знаменским и С.Д. Чистопольским. Также большую роль по внедрению оттайки мерзлых пород фильтрационно-дренажным способом сыграли В.Г. Гольдман, Э.И. Богуславский, С.В. Потёмкин, Г.З. Перельштейн, А.В. Рашкин, П.Б.Авдеев, Ю.В.Субботин и другие [21, 33, 97, 98, 103, 106]. По мнению В.Г. Гольдмана, фильтрационно-дренажный способ позволяет готовить не только мерзлые породы к эффективной разработке машинами, но и создавать искусственные талики в целях водоснабжения предприятий.

Огромный вклад в разработку теории и методов расчета параметров технологии подготовки пород к выемке внесли В.П. Бакакин, В.Т. Балобаев,

Ю.М. Ведяев, Ю.Д. Дядькин, В.В. Знаменский, Н.С. Иванов, В.А. Кудрявцев, Б.А. Оловин, А.В.Павлов, Т.С. Потапова, Б.Л. Тальгамер, С.Д. Чистопольский, Б.В. Левинский, Р.С. Новоселецкий, В.Г. Пятков, В.М. Старков, П.Ф. Стафеев и др. Благодаря работам этих ученых совершенствовалась и развивалась технология подготовки мерзлых пород и предохранения пород от промерзания, управления теплообменом протаивающих пород, теории и методов расчета скорости оттаивания, проектирования подготовительных работ. Большой вклад в разработку внесли научные коллективы ЛГИ, ВНИИ-1, Иргиредмета, ЦНИГРИ, Института мерзлотоведения СО АН СССР, МГРИ, ИПИ, МГИ.

Значительный вклад в развитие методов оттаивания мерзлых пород с целью повышения эффективности разработки месторождений полезных ископаемых внесли научные коллективы Института мерзлотоведения АН СССР им. В.А. Обручева, Института мерзлотоведения СО АН СССР, ВНИИ-1, ЦНИГРИ, Иргиредмета, кафедры мерзлотоведения МГУ, МГРИ, ЛГИ, МГИ и других научных организаций.

Вопросами подготовки многолетнемерзлых пород к выемке занимались такие крупные ученые и специалисты в области разработки россыпей Е.И.Богданов, В.И.Емельянов, Е.Т.Жученко, В.А.Кудряшов, В.Г.Лешков, Е.А.Компанеев, А.В.Лобов, В.Д.Макаров, Ю.А.Мамаев А.А.Матвеев, В.П. Мязин, С.В.Потемкин, В.Г.Пятаков, В.В. Сборовский, С.М.Шорохов.

На основе обобщения богатейшего опыта отечественной и зарубежной горнодобывающей промышленности, и теоретических исследований были разработаны способы оттаивания, которым свойственна общность по видам используемой энергии и принципам передачи тепла мерзлому массиву.

В зависимости от мощности мерзлых пород и их свойств, применяемой техники и технологии подготовки затраты на подготовительные работы, включая вскрышу торфов, оттаивание и предохранение от промерзания, изменяются в несколько раз, достигая, а в некоторых случаях превосходя затраты на промывку песков. Практика показывает, что простого увеличения количества

единичной мощности вскрышной техники и объемов вскрыши торфов недостаточно для нормативного обеспечения драг и промприборов готовыми к выемке запасами. Не удастся также существенно повысить годовую производительность и снизить себестоимость добычи металла за счет ускорения оттаивания пород без применения экономичной и надежной технологии подготовки мерзлых пород к выемке.

Высокая энергоемкость оттаивания и предохранения от промерзания пород практически полностью исключают возможность использования в ближайшие годы искусственных источников энергии или других способов разупрочнения пород.

Вскрыша торфов осуществляется, как правило, в теплый период года путем послойного удаления оттаянных пород бульдозерами, работающими иногда в комплексе с экскаваторами. Из-за высокой себестоимости не получили широкого применения способы зимней вскрыши. Подготовка сушенцовых зон позволяет разрабатывать предварительно оттаянные породы, как в морозный период, так и после его окончания не прибегая к дополнительным мерам по предотвращению от промерзания.

В комплексе горно-подготовительных работ оттаивание мерзлых пород занимают особое положение. Актуальность проблемы оттаивания и промерзания горных пород на дражных полигонах обусловлена тем, что свыше 60 % их числа на мелких, неглубоких и средней мощности россыпях содержат многолетнемерзлые породы в объеме свыше 35 % от объемов горной массы, а с учетом сезоннопромерзающих пород - свыше 50 % на россыпях средней мощности, около 80 % - на неглубоких и около 100 % - на мелких россыпях. В зоне холодного климата находится 97 % дражных полигонов.

Общей и наиболее важной особенностью мерзлых пород является повышенная энергоемкость разрушения. Так, например, суглинок с влажностью около 20 % имеет в талом состоянии сопротивление резанию 0,5...0,7 МПа. При понижении температуры до минус 1 °С сопротивление резанию возрастает до 5,0 МПа, а при минус 25 °С - до 15,0 МПа.

Разработку многолетней мерзлоты в России осуществляют преимущественно бульдозерным и экскаваторным способами в районах Крайнего Севера. Но самое современное выемочное оборудование не способно эффективно и производительно работать на мёрзлых грунтах без их предварительной подготовки.

С началом разработки россыпных месторождений на севере Урала, Сибири и Якутии ещё в прошлом столетии возникла необходимость оттайки мёрзлых грунтов. Первоначально для оттайки малых объёмов использовался открытый огонь (пожог), а когда начали применять дражный способ разработки в суровых климатических условиях, возникла необходимость в применении игловой оттайки. Первые исследования проводились Д.Х. Майлсом в 1917-18 гг. на Аляске в районе г. Нома. В 1921 г. Американец Пирс проводил опыты по оттайки галечников фильтрационно-дренажным способом. В больших объёмах гидрооттайку начали применять с 1951 г., когда впервые в условиях Северо-востока нашей страны начали использовать дражный способ разработки. Инициаторами применения игловой оттайки для подготовки мёрзлых полигонов к драгированию были работники прииска им. Фрунзе - Куколёв П.Г., Чадаев П.Т. и другие [1]. Донцов Л.П. и Знаменский В.В. [33] отмечают, что гидроигловой способ оттаивания мёрзлых пород считается наиболее распространённым при разработке россыпей драгами и применяется на большинстве дражных полигонов Колымы и Чукотки. Одним из создателей отечественного инженерного мерзлотоведения является Гольдман В.Г. Его рекомендации в 1951 г. по механизации гидрооттайки на приисках им. Чкалова и им. Гастелло позволили удешевить и расширить масштабы гидрооттайки не только на дражных полигонах, но и на вскрышных экскаваторных работах. В.Г. Гольдману принадлежит научное обоснование способов гидравлического оттаивания, его научные разработки изложены в многочисленных Трудах ВНИИ-1 за 1959 - 70 гг. [33]. Наиболее распространённым способом подготовки мёрзлых пород к выемке считается буровзрывной, но он является весьма трудоёмким,

энергоёмким и дорогостоящим [119]. В связи с переводом предприятий на полную окупаемость, разработка россыпных месторождений в условиях Крайнего Севера становится практически нерентабельной, особенно если ещё правильно решать вопросы, связанные с экологией при разработке россыпей. Интенсивным источником загрязнения атмосферы являются буровзрывные работы. При взрыве образуется ядовитое пылегазовое облако, которое может распространяться на значительные расстояния. Кроме того, при буровзрывном способе подготовки торфов к выемке укладка их производится по бортам разреза в зимний период. Летом поверхность отвалов торфов подвергается естественной оттайке с выделением загрязнённой воды, поступающей в водные бассейны, что приводит их к загрязнению.

Известен способ интенсификации гидрооттайки и БВР с использованием подогрева воды [103], что ведёт к повышенному расходу электроэнергии и в связи с этим не получил промышленного распространения. Способы гидроигловой оттайки с использованием реагентных добавок сернистого алюминия, хлористого кальция, магнезия и других, не нашли широкого применения в промышленных условиях из-за отсутствия их в достаточном количестве. Совершенствование БВР связано с использованием комбинации способов, основанных на энергии взрыва и подогретой воды: взрыво-дождевание, взрыво-дренажно-фильтрационный способ, взрыво-игло-фильтрационный [103]. Все эти методы способствуют оттайке мёрзлых пород в 1,3÷1,5 раза, но повышается энергоёмкость подготовительных работ. В связи с этим особый интерес вызывает использование взрыво-физико-химического метода разупрочнения мёрзлых пород, который мог бы использоваться для подготовки песков к выемке мощностью более 5 м при использовании экскаваторной и дражной разработки.

Наиболее простым и распространённым способом интенсификации солнечной оттайки является уборка слоями породы по мере оттайки. Это позволяет наилучшим образом использовать тепловую энергию, переносимую потоком солнечной радиации и воздухом.

В настоящее время используют бульдозеры-рыхлители не только отечественного, но и сверхмощные рыхлители зарубежного производства. Так, в условиях Севера и в восточных районах страны широко используют бульдозеры-рыхлители модели Д-355 фирмы «Комацу» (Япония), Д-9Б и Д-10 фирмы «Катерпиллар» (США) и др. Выемка (рыхление) мерзлого слоя может производиться одноковшовыми экскаваторами и обычного исполнения, т. е. без специального сменного оборудования. Бульдозерно - рыхлительные агрегаты часто используют в сочетании с одноковшовыми экскаваторами и погрузчиками, скреперами и другим землеройным и землеройно-транспортным оборудованием.

В условиях Севера и Сибири эффективен тяжелый рыхлитель ДП-9С в сочетании с бульдозером ДЗ-126. На базе осваиваемых тяжелых тракторов Т-330 и Т-500 рекомендуется применение тяжелого рыхлителя ДП-10С с бульдозером ДЗ-59ХЛ или ДЗ129ХЛ и рыхлителя ДП-29ХЛ с бульдозером ДЗ-124ХЛ. Такие бульдозеры-рыхлители предназначены для разработки прочных и мерзлых грунтов сезонного промерзания и вечномерзлых при температуре грунта -15°C , температуре наружного воздуха до -60°C . Но при разрушении мерзлого грунта режущий инструмент быстро выходит из строя. Около 40 % эксплуатационных затрат в зимнее время приходится на замену зубьев. Для обеспечения эффективной разработки мерзлых грунтов необходимо повысить износостойкость инструмента в 30-50 раз по сравнению с износостойкостью, потребной для разработки намёрзлого грунта.

Фильтрационно-дренажное оттаивание предназначено для подготовки нескальных мерзлых пород к разработке драгами, экскаваторами, бульдозерами, погрузчиками и другой землеройной техникой [98]. Фильтрационно-дренажное оттаивание основано на теплообмене искусственных фильтрационных потоков с мерзлыми горными породами. Вода движется от питающей выработки (оросителя) в сторону дрены и, охлаждаясь, отдает часть тепла в подстилающую мерзлую толщу, которая постепенно оттаивает.

В конце 60-х годов в СССР был предложен способ оттаивания мерзлых пород, основанный на их нагреве ВЧ и СВЧ электромагнитных полей. Этот способ применялся для подготовки мерзлых золотоносных пород к промывке. Основу этого способа составляет предварительный высокочастотный нагрев песков на ленте конвейера, подающего пески в промприбор [80].

Значительная доля запасов является непривлекательной из-за большого объема глинистых грунтов. В настоящее время известны такие способы как акустический, ударно-акустический, вибрационный, гидроимпульсный, ультразвуковой, криогенное воздействие и другие. Поиски технических решений идут также по следующим направлениям - предварительное насыщение пород водой; механическое разрушение вязких глинистых пород; размыв высоконапорными струями, применение химических способов обработки глин. Предварительное насыщение пород напорной или безнапорной водой нашло применение на открытых горных работах [108, 113], однако, для дражных разработок в силу особенностей технологии, связанной с быстрым продвижением фронта добычных работ и частым затоплением полигонов, этот способ оказался неприемлемым. В практике дражных работ наиболее широкую промышленную проверку прошел механический способ.

Кроме указанных выше способов и устройств для разупрочнения глинистых пород, в научной литературе приводятся сведения о возможности повышения эффективности разупрочнения глинистых песков под действием электрогидравлического удара, акустических колебаний, магнитной обработки воды и повышения ее температуры. Неслучайно в более поздних работах, выполненных в Свердловском горном институте [28] в качестве диспергатора глинистых песков, наряду с серной кислотой принят химический реагент, предложенный КИЦМ (Красноярск) - плав хлоридов металлов. При этом предлагается комбинированная обработка глинистых песков с применением электрических полей, которая базируется на электрокинетических свойствах глинистых минералов. Показано, что реагентная обработка глинистых пород с одновременным воздействием на нее электрическим током позволяет ускорить

разупрочнение песков в 6 раз, снизив расход реагента в 5 раз [28]. Учитывая большую энергоемкость данного способа, он представляет практический интерес только для хорошо энергооснащенных промышленных объектов.

Теоретические основы физико-химических процессов, происходящих при обработке глинистых минералов химическими реагентами, достаточно полно представлены в работах В.М. Гольдберга [36, 70], Б.В. Дерягина [44], А.Н. Кульчицкого [70, 71, 72], Л.А. Кульского [69] и др. [41, 110, 112].

Впервые исследования по разупрочнению глинистых пород путем их термической обработки были предприняты на предприятиях Кузбасса [121]. Исследовалась возможность искусственного изменения физико-механических свойств глинистых пород за счет удаления свободной, а затем связанной воды. Опыты с высокопластичными породами дали изменение числа пластичности более чем в 4 раза при изменении влажности в 2,5-5 раз. Однако в этом случае затраты энергии на высушивание глин до эффективной влажности (менее 10%) очень велики. Кроме того, до настоящего времени так и не разработаны рекомендации по практическому использованию данной технологии в промышленных условиях.

Для разупрочнения пород предлагается применять бактерии. Разложение алюмосиликатов под действием бактериальной флоры подтверждается исследованиями В. Логана и др. Применение бактериальных способов изменения свойств высокопластичных глинистых песков хотя и представляет определенный интерес, но применительно к разработке россыпных месторождений еще не изучено и требует проведения дополнительных исследований.

В работах М.Я.Каца и В.Д.Шутова [126] для улучшения разупрочнения глины предлагается использовать ультразвук. Авторы указывают, что горные породы, состоящие из набора различных минералов, можно рассматривать как неоднородные среды полимиктового состава. Разупрочняемость породы [1] зависит от частоты ультразвука и увеличивается с ее возрастанием и увеличением времени воздействия. Ультразвуковое диспергирование глинистых

минералов в полупромышленных масштабах исследовалось институтом «Уралмеханобр».

Кроме указанных выше способов и устройств для разупрочнения глинистых песков, в научной литературе приводятся сведения о возможности повышения эффективности разупрочнения глинистых пород под действием электрогидравлического удара, акустических колебаний, магнитной обработки воды и повышения ее температуры. Данными исследованиями в разное время занимались В.В.Троицкий, Л.А. Юткин, В.А. Жученко, В.И. Гражданцев, В.А. Андрианов, Т.А. Гранская, М.Я. Кац, Н.Н.Круглицкий и многие другие.

Результаты исследований [113] свидетельствуют, что данные способы разупрочнения глины найдут применение в будущем. Отсутствие промышленных аппаратов для реализации этих способов и необходимость проведения дальнейших исследований не позволяют пока говорить о их промышленном внедрении.

В работах [4, 94, 142] приведены исследования по разупрочнению труднопромывистого материала в процессе напорного гидротранспортирования. Однако значительного эффекта при применении этого способа не наблюдается по тем же причинам, что и для устройств механического типа.

Одним из дешевых способов разупрочнения горных пород является выветривание или вылеживание горных пород в отвалах [39, 52]. Опыт применения на карьере им. 50-летия Октября показал, что наилучшие технико - экономические показатели гидромеханизированной разработки плотных глинистых пород достигаются после вылеживания в течение 2-3 лет [49, 113]. Однако такая технология разупрочнения ведет к снижению темпов добычных работ и снижает эффективность горных работ за счет больших сроков опережения подготовительных работ по отношению к добычным.

Поэтому, по нашему мнению, наиболее перспективным способом подготовки слабопроницаемых пород является создание искусственных сушен-

цовых полей на основе воздействия на торфа активированным раствором реагента. Применительно к условиям разработки россыпных месторождений в этом направлении работы велись в Иргиредмете, КИЦМе, Свердловском горном, Читинском политехническом, Московском геологоразведочном, ВНИПИгорцветмете, Московском горном институтах, ВНИИ-1 и ряде других.

1.2 Физико-механические свойства многолетнемерзлых глинистых грунтов

Характерные черты строения россыпей в криолитозоне (районах развития многолетнемерзлых пород): совокупность криогенных (т.е. обусловленных процессами, происходящими в промерзающих, мерзлых и протаивающих породах) образований в толще продуктивных отложений и торфов. Проявляются в специфических криогенных текстурах и структурах многолетнемерзлых пород, присутствии повторножильных льдов и др. крупных форм выделений грунтового льда, наличии грунтовых жил и прочих псевдоморфоз по вытаявшим льдам. Криогенные особенности россыпей характеризуют генетические и фациальные различия отложений и служат индикатором палеографической обстановки их формирования, а также влияют на особенности распределения полезного компонента в продуктивном пласте, обуславливая как перераспределение рудных минералов в ходе процессов промерзания и протаивания, образования мощных жил льда, деформирующих пласт и вызывающих нарушение его сплошности, так и увеличение мощности торфов за счет накопления покровных льдистых толщ или ее уменьшение за счет термокарста и т.д. Криогенные особенности россыпей определяют механические свойства грунтов и инженерно-геологические условия разработки россыпных месторождений в районах развития многолетнемерзлых пород [130].

Большинство районов современной эксплуатации россыпных месторождений характеризуется чрезвычайно суровой, продолжительной зимой. Сезонному промерзанию подвержена большая часть России за исключением ряда южных районов и побережья Черного моря. От 60% до 65% территории

страны занимают многолетнемерзлые грунты [32, 119]. Наиболее широко мерзлота распространена в Восточной Сибири и Забайкалье (рис. 1.1). На территории России вечномерзлые грунты занимают примерно 47 % его площади, охватывая северные и северо-восточные районы.

Рассматривая географическое распространение многолетней мерзлоты, необходимо отметить, что в северных и северо-восточных районах они имеют сплошное распространение (зона сплошного распространения многолетней мерзлоты) и мощность их измеряется там сотнями метров, а среднегодовая температура достигает минус 7, 10 и даже минус 12 °С. К южной границе распространения вечномерзлых грунтов их мощность уменьшается до десятков метров, здесь чаще встречаются талики, а температура пород изменяется от минус 0,2 до минус 2 °С.



Рисунок 1.1– Распространение многолетней мерзлоты на территории РФ
Самый глубокий предел многолетней мерзлоты отмечается в верховьях реки Вилюй в Якутии. Рекордная глубина залегания многолетней мерзлоты была зафиксирована в феврале 1982 года - 1370 метров [29]. Термин «вечная мерзлота» как специфическое геологическое явление был введен в научное

употребление в 1927 году основателем школы советских мерзлотоведов М. И. Сумгиным. Он определял его как мерзлоту почвы, непрерывно существующую от 2 лет до нескольких тысячелетий. «Вечная мерзлота» (*многолетняя криолитозона, многолетняя мерзлота*) - часть криолитозоны, характеризующаяся отсутствием периодического протаивания. Общая площадь вечной мерзлоты на Земле - 35 млн км². Распространение - север Аляски, Канады, Европы, Азии, острова Северного Ледовитого океана. Районы многолетней мерзлоты - верхняя часть земной коры, температура которой долгое время (от 2-3 лет до тысячелетий) не поднимается выше 0 С. В зоне многолетней мерзлоты грунтовые воды находятся в виде льда, её глубина иногда превышает 1000 метров. Содержание льда в промерзлых породах варьируется от нескольких процентов до 90%. В многолетней мерзлоте могут образоваться залежи газовых гидратов, в частности - гидрата метана.

Одно из первых описаний многолетней мерзлоты было сделано русскими землепроходцами XVII века, покорявшими просторы Сибири. Впервые на необычное состояние почвы обратил внимание казак Я. Святогоров, а более подробно изучили первопроходцы из экспедиций, организованных Семёном Дежнёвым и Иваном Ребровым. В специальных посланиях русскому царю они засвидетельствовали наличие особых таёжных зон, где даже в самый разгар лета почва оттаивает максимум на два аршина. Ленские воеводы П. Головин и М. Глебов в 1640 г. сообщали: «Земля-де, государь, и среди лета вся не растаивает». В 1828 г. Федор Шергин начал проходку шахты в Якутске. За 9 лет была достигнута глубина 116.4 м. Шахта Шергина шла все время в мерзлых грунтах, не вскрыла ни одного водоносного горизонта. Мерзлая порода, это - порода, имеющая отрицательную температуру и содержащая в составе лёд (рис. 1.2). Мерзлые породы называются многолетнемерзлыми, если в условиях природного залегания они находятся в мёрзлом состоянии непрерывно (без оттаивания) в течение многих лет. В мерзлых породах (нельдонасыщенных) со-

держатся твёрдая (минеральные и органические частицы и лёд), жидкая (незамёрзшая вода с растворёнными в ней веществами) и газообразная (воздух, пары воды и газы различного происхождения и состава) фазы.

Криогенное строение мерзлых пород определяется содержанием и пространственным распределением внутригрунтовых включений льда (рис. 1.3). Механические свойства мерзлых пород зависят от температуры, влияющей на относительное содержание льда, цементирующего грунт, и незамёрзшей воды. Прочность грунта в мёрзлом состоянии во много раз больше прочности того же грунта в немёрзлом состоянии. В меньшей степени это проявляется в скальных грунтах. С понижением температуры прочность мерзлых пород возрастает.



Рисунок 1.2 – Мерзлота



Рисунок 1.3 - Многолетнемерзлые грунты

Мерзлые породы обладают резко выраженными реологическими свойствами (ползучестью и релаксацией напряжений). Важное механическое свойство мерзлых пород - наличие предела длительной прочности (максимальное напряжение, при котором деформации ползучести затухают). Длительная прочность мерзлых пород в 5-20 раз меньше мгновенной. Прочность на разрыв зависит от температуры в гораздо меньшей степени, чем прочность на сжатие и сдвиг. Угол внутреннего трения в мёрзлых и немёрзлых грунтах отличается незначительно и мало зависит от температуры. Теплофизические свойства мерзлых пород характеризуются удельной теплоёмкостью (объёмной или весовой) и коэффициентом теплопроводности (103).

Особенностью многолетнемерзлых пород является наличие в их составе основных продуктов цементации - льда и глинистых пород. Лёд в мерзлотоведении рассматривается как специфический породообразующий минерал мёрзлых пород.

Гранулометрический состав рыхлых отложений весьма разнообразен: от валунов диаметром более 200 мм до глинистых частиц диаметром менее 0,005 мм. В зависимости от содержания льда и глинистых частиц изменяется и процесс оттаивания. Любые мёрзлые породы невозможно разрабатывать с применением землеройной техники без предварительной подготовки. В мёрзлом состоянии они представляют собой монолитный массив, требующий предварительного разупрочнения. Мёрзлые породы относятся к VI - VII категориям крепости по единой классификации [103].

В зависимости от формы льда и условий его залегания в мерзлой породе выделяют значительное число типов криогенных текстур, из которых наиболее широко распространены следующие: массивная, слоистая, сетчатая, корковая, порфировидная (пятнистая), базальная, атакситовая) (Рис. 1.4).

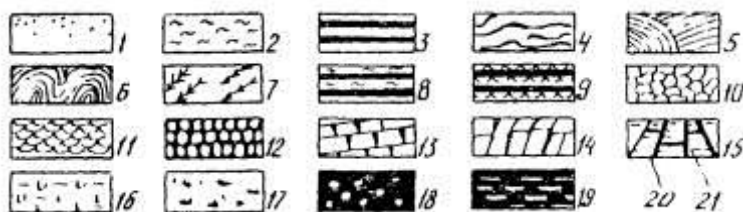


Рисунок 1.4 - Криогенные текстуры вечномерзлых грунтов:

1 - массивная; 2 - линзовидная; 3 - полосчатая; 4 - волнистая; 5 - косая; 6 - плойчатая; 7 - прожилковая; 8 - поясковая; 9 - сложнослоистая; 10 - ячеистая; 11 - плетенчатая; 12 - чешуйчатая; 13 - плитчатая; 14 - блоковая; 15 - сложносетчатая; 16 - корковая; 17 - порфировидная; 18 - базальная; 19 - атакситовая; 20 - скелет мерзлого грунта; 21 – лед

Льдистость пород может быть самой различной от нескольких десятков кг до 600 кг/м³ породы. Наиболее распространена льдистость 150 - 450 кг/м³.

Мерзлота в основном связана с глинистыми разновидностями пород осадочных формаций. Площади развития и мощность мерзлых толщ практически совпадают с таковыми комплексами горных пород [27, 29, 32]. Большое содержание глинистых минералов, содержащихся в золотосодержащих мерзлых породах весьма затрудняет процесс подготовки пород к выемке.

Глины являются одним из наиболее распространенных типов горных пород, слагающих до 11% всего объема земной коры. Глинистые породы по условиям образования занимают промежуточное положение между обломоч-

ными и хемогенными породами. Их образование связано с химическим разрушением пород, в первую очередь с гидролизом силикатов и алюмосиликатов, но их не относят к химическим осадкам, так как глинистые минералы отлагаются механическим путем, а не выпадают из растворов (Рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Глина

Глины образованы чрезвычайно мелкими по размеру микрокристаллами глинистых минералов, которые во многом определяют свойства этих пород. Глинистые минералы относятся к группе слоистых и слоисто-ленточных силикатов. Высокая дисперсность глинистых минералов является их естественным физическим состоянием. Обычно размер микрокристаллов этих минералов в глинах не превышает нескольких микрон. Частицы глинистых минералов имеют преимущественно пластинчатую форму, однако встречаются также частицы в виде полосок, трубочек, иголочек [34].

В ходе геологического развития глинистых пород наблюдаются закономерная смена типов контактов и изменение их прочности. Так, при гравитационном уплотнении молодые глинистые осадки превращаются в пластичные

глины. При этом происходит преобразование коагуляционных контактов в переходные. Дальнейшее уплотнение глин на больших глубинах при высоких давлениях и температурах приводит к трансформации переходных контактов в фазовые и формированию таких прочных глинистых пород, как аргиллиты и глинистые сланцы. Как правило, глинистые породы, характеризующиеся присутствием того или иного типа контактов, обладают определенными свойствами. Таким образом, зная прочность этих контактов, можно оценить величину и тип структурных связей и дать прогноз прочностного поведения глинистой породы в различных условиях.

Глинистые породы по условиям образования занимают промежуточное положение между обломочными и хемогенными породами. Их образование связано с химическим разрушением пород, в первую очередь, с гидролизом силикатов и алюмосиликатов, но их не относят к химическим осадкам, так как глинистые минералы отлагаются механическим путем, а не выпадают из растворов. Самое важное значение в диагностике глинистых пород имеет выявление глинистых минералов. Наиболее распространенные среди них относятся к рядам каолинитов, монтмориллонитов и иллитов-гидрослюд (с глауконитом).

Глинистые частицы содержат обменные катионы, образованные в результате их поверхностной диссоциации. Вследствие этого, вблизи глинистых частиц образуется и удерживается диффузионный гидратно-ионный слой (сплошная гидратная пленка прочно связанной воды). Появление таких пленок увеличивает радиус действия электрических зарядов на поверхности частиц, поэтому между ними начинают действовать ионные связи, и в комплексе образуется твердое тело, т.е. глина. Основными свойствами глин являются: пластичность, вязкость, усушка, пористость, набухание, дисперсность и др.

Пластичность характеризуется числом пластичности – разностью между пределами текучести и раскатывания, которое выражается через содержание влаги, %. А.В. Ярошевский предложил пластичностью называть способность материала к необратимым изменениям формы при постоянном объеме образца

без нарушения сплошности [132]. Важным показателем является консистенция. Консистенция не всегда имеет четкий физический смысл, обычно ею характеризуют совокупность реологических свойств вязкопластичного тела, определяющих подвижность материалов, в частности, глин.

Предельное насыщение глины водой – это максимальная молекулярная влагоемкость. Она находится в корреляционной зависимости от других свойств глин и поэтому может быть принята в качестве эталонного показателя свойств глин. Влажность глин оказывает значительное влияние на их прочность. Вместе с тем, эта взаимосвязь неоднозначна. Так, связность глин увеличивается по мере их увлажнения до предела, когда суммарный периметр капиллярно-стыковых мостиков растет. При дальнейшем увлажнении материала наступает состояние, когда размер отдельных мостиков продолжает увеличиваться и некоторые из них начинают сливаться. В результате в определенном диапазоне увлажнения суммарный периметр может не увеличиваться, а при еще большем увлажнении - уменьшаться. Изменение влажности материала путем его подсушки или увлажнения еще больше усложняет эту взаимосвязь из-за гистерезисных явлений связности. В зависимости от условий и режима подсушки материал может как упрочняться, так и разупрочняться [44]. Структурно-механические характеристики глин зависят от комплекса факторов, включая минералогический состав. Содержание ультратонких и коллоидных частиц, влажность, плотность, текстуру, сформированных процессе генезиса, в том числе многократных циклов смерзания и оттаивания, увлажнения и подсушки, результатом которых было обратимое и необратимое их упрочнение и разупрочнение [113]. Разрушение глинистых пород после предварительной ее подсушки ускоряется вследствие того, что коллоидные прослойки, высыхая, обеспечивают прочное сцепление отдельных глинистых минералов.

1.3 Цель и задачи исследования

Сушенцами называют нескальные горные породы, которые содержат значительное количество поровой влаги и вследствие этого могут разрабатываться землеройной техникой, как в талом, так и в мерзлом состояниях. Сушенцы разделяются на природные и искусственные. Природные сушенцовые зоны, как правило, приурочены к русловой фации аллювиальных отложений, до начала промерзания, которых существовали благоприятные условия дренирования. На территории Северо-Востока страны глубина сезонного промерзания искусственных и природных таликов в зависимости от состава и влажности пород, толщина и состояния снежного покрова и других факторов изменяется от 2.5 до 5 м. Известные способы защиты талых отложений от промерзания в этих условиях недостаточно эффективны и требуют больших материальных затрат. Подготовка сушенцовых зон позволяет разрабатывать предварительно оттаянные породы как в морозный период, так и после его окончания не прибегая к дополнительным мерам по предотвращению от промерзания. На вскрыше подготовка сушенцовых зон дает возможность вести круглогодичную разработку пород землеройной техникой всех видов. Данный способ безопасен и по сравнению с буровзрывным рыхлением обеспечивает значительный экономический эффект, а также более высокую производительность и лучшую сохранность применяемых машин и механизмов.

Искусственная подготовка сушенцовой вскрыши при разработке россыпей является одним из перспективных направлений и включает способы и технологию оттаивания, вопросы эффективного водоотведения.

В этих условиях актуальной является разработка технологии подготовки искусственных сушенцовых зон, особенно на месторождениях с повышенным содержанием глинистых частиц. Технология подготовки искусственных сушенцов состоит из двух основных элементов: оттаивания мерзлых торфов (обычно фильтрационно-дренажным способом или с помощью буровых сква-

жин) и уменьшения влажности отложений до критической величины при помощи дренирования оттаянного массива. После этого торфа готовы к круглогодичной разработке.

В соответствии с проведенным анализом существующих способов подготовки мерзлых торфов, целью настоящей работы является расширение применения технологии подготовки искусственных сушенцовых полей на основе их обработки активированным раствором реагента (АРР) в процессе подготовки к выемке, создание технологических схем и методик расчета параметров технологии подготовки сушенцовой вскрыши.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить опыт отечественных и зарубежных компаний по способам гидравлического оттаивания грунтов;
2. Исследовать проницаемость торфов с повышенным содержанием глинистого цемента после обработки их активированным раствором реагента;
3. Обосновать параметры технологии подготовки искусственной сушенцовой вскрыши при фильтрационно-дренажном оттаивании массива с повышенным содержанием глинистого цемента;
4. Разработать технологию подготовки сушенцовой вскрыши на высокольдистых россыпях;
5. Разработать методику расчета годового намыва металла при подготовке искусственной сушенцовой вскрыши.

2. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ИСКУССТВЕННЫХ СУШЕНЦОВЫХ ЗОН

2.1 Теоретические основы движения АРР в недеформируемой пористой среде

В многолетнемерзлых пористых торфах (породах) при разработке россыпных месторождений, силы сцепления отдельных частиц грунта связаны наличием льда-цемента. По этой причине наибольшую прочность имеют торфа, поры которых полностью заполнены льдом. При снижении влажности мерзлых пород от 5 до 3 % наблюдается особенно резкое снижение их прочности (под влажностью понимается отношение массы влаги к массе сухой породы). Если влажность торфов не превышает некоторое критическое значение, то после промерзания они остаются сыпучими и легко разрабатываются любой землеройной техникой без предварительного рыхления как в талом, так и в мерзлом состояниях. Критическая влажность песчаных пород составляет около 3,5 %. Породы, подготовленные таким образом, называются искусственными сушенцами. Сушенцы также могут иметь и природное происхождение.

Природные сушенцовые зоны, как правило, приурочены к русловой фации аллювиальных отложений. Причем, до начала отрицательных температур на таких отложениях существовали хорошие условия для их дренирования. Ещё одним фактором, снижающим возможность создания искусственных сушенцовых зон, является проницаемость торфов, связанная с содержанием глинистых минералов. Максимальное содержание глины в торфах не должно превышать 5 %.

Технология подготовки искусственных сушенцов состоит из двух основных элементов: оттаивания мерзлых торфов (обычно фильтрационно-дренажным способом или с помощью буровых скважин) и уменьшения влажности отложений до критической величины при помощи дренирования оттаянного массива. После этого торфа готовы к круглогодичной разработке. Реализация фильтрационно-дренажного оттаивания и создание искусственных сушенцов

предъявляют сходные требования к составу и гидрофизическим свойствам торфов. Фильтрационно-дренажный способ гидравлического оттаивания отличается от иглового в основном тем, что искусственно питаемый фильтрационный поток движется не вертикально вверх, а горизонтально, по напластованиям, под влиянием уклона свободного уровня. Длина путей горизонтальной фильтрации от места питания до выхода воды в дренирующую горную выработку или скважину может составлять 20 - 80 м. Это расстояние назначается в зависимости от заданной конечной глубины оттаивания, фильтрационных свойств пород и допустимой продолжительности работ. Меньшее расстояние обеспечивает более интенсивное оттаивание. На россыпных месторождениях этот способ позволяет оттаивать слои мерзлых галечников или щебня, гравия, песка, неразделенные слабопроницаемыми прослоями (глины, суглинки или супеси), если характеристика водопроницаемости пород толщи удовлетворяет следующим нормам[33]:

- средневзвешенный (по вертикали) коэффициент фильтрации (в талом состоянии) не менее 40 м/сутки;
- минимальный коэффициент фильтрации (в талом состоянии) отдельных слоев толщи не менее 10 м/сутки;
- мощность пласта непроницаемых глинистых пород, залегающего под галечниками, в основании разреза, не более 2 м;
- на наклонных участках, где средний уклон фильтрационного потока составляет от 0,1 до 0,25, такой способ дает удовлетворительные результаты в породах со средним коэффициентом фильтрации 20 м/сутки.

Для проектирования фильтрационно-дренажной гидрооттайки применяют послойное определение коэффициента фильтрации пород.

Фильтрационно-дренажная оттайка по своим технологическим и организационным характеристикам наиболее простой способ оттайки. Однако, его интенсивность значительно меньше по сравнению с гидроигловым. Это обстоятельство и мешает его широкому применению. Практически фильтрационно-

дренажная оттайка применяется сейчас на ограниченных площадях при необходимой глубине оттаивания не превышающей 5 - 6 метров, хотя доказана возможность достижения глубины до 8 м. При многолетнем цикле оттаивания, фильтрационно-дренажную оттайку необходимо сочетать с трудоемким и дорогостоящим предохранением от промерзания.

Фильтрационно-дренажная оттайка целесообразна в сочетании с другими способами подготовки мерзлых горных пород к разработке, когда работа организована так, чтобы к концу сезона естественного оттаивания можно было переключить технику на разработку пород, оттаянных фильтрационно-дренажным способом. Таким образом, проектировать оттайку следует так, чтобы необходимая глубина была достигнута к окончанию теплого времени года. Наибольшее распространение получила фильтрационно-дренажная оттайка, при которой питание и дренирование фильтрационного потока происходит по открытым канавам.

При фильтрационно-дренажном оттаивании в однородном массиве торфов имеет место равномерная установившаяся фильтрация, при которой линии тока фильтрующегося активированного раствора реагента (АРР) являются параллельными прямыми. При такой фильтрации форма и размеры живого сечения потока не изменяются по его длине. Так как границы подготавливаемого полигона не создают особых условий для сил сопротивления, то движение АРР во всей области фильтрации будет одинаковым.

2.2 Методика проведения лабораторных исследований

Для исследования возможности расширения области применения этого способа были проведены лабораторные и позднее опытно-промышленные исследования на месторождениях Саха (Якутия) предприятия ЗАО «Селигдар», на полигонах драг № 230, № 2, № 24 ЗАО «Прииск Удерецкий», а также на предприятии «Аналит-тест-уголь» по подготовке искусственных сушенцов с содержанием глины в грунтах до 15 %. Основной идеей работы явилось то обстоятельство, что способ подготовки сушенцовых зон с предварительной

фильтрацией в массиве россыпи активированным раствором реагента(АРР) даст положительные результаты [82, 83,84,85,86,87,88].

Еще в 1953 г. М. Маскет приводил данные, свидетельствующие о том, что проницаемость глинистых пород, замеренная по минерализованной жидкости в несколько раз больше проницаемости этих же пород по пресной воде [36].

В.В. Девликамов в 1959 г., проводя исследования с глинистыми песками, также установил, что их проницаемость для пластовой воды (высокоминерализованной) значительно выше, чем для пресной. Исследования влияния состава фильтрующей жидкости на проницаемость глин проводились на естественных каолиновых, монтмориллонитовых глинах и глинах смешанного минерального состава, песчано-глинистых смесях с различным содержанием Са- и Na- монтмориллонитовых глин и искусственных монтмориллонитовых глинах с преобладающим содержанием в составе поглощенного комплекса катионов Ca^{2+} и Na^{+} .

2.2.1 Обоснование реагента

В качестве фильтрующей жидкости использовались реагенты типа алюминат натрия, хлорное железо, сепаран 2610 совместно с электролитами, гипохлорит, силикат натрия и высокомолекулярные полимеры типа КОДТ (продукт конденсации кубовых остатков гексаметилейдиамида, таллового масла и дихлорэтана) и др. Хорошие результаты были получены при использовании хлорного железа и силиката натрия. Основным фактором, ограничивающим широкое применение всех других реагентов в промышленности, является отсутствие исследований их токсичности. Вероятно, эти реагенты найдут применение при подготовке искусственных сушенцов в будущем, после исследования их эффективности, влияния на окружающую среду, возможности использования при разработке россыпей.

В настоящее время на промышленных объектах в качестве диспергатора используют сернокислый алюминий, алюминат натрия, хлорное железо,

серную кислоту, сепаран 2610 совместно с электролитами, гипохлорит, силикат натрия и др. [82, 83,84].

Серноокислый алюминий используется как коагулянт на водопроводных станциях при содержании глинистых частиц не более 20 г/л.

Применение его для температурной активации малоэффективно в связи с тем, что этот реагент не оказывает существенного влияния на прочностные свойства глины [87,88]. Хлорное железо, хлорная известь также применяются в промышленности для диспергации глинистых грунтов. Повышение эффективности процесса диспергации глинистых грунтов может существенно увеличить кинетику проницаемости торфов.

Сепаран 2610, продукт химической компании ДАУ США, в смеси с электролитами может быть использован как диспергатор. Но его использование затруднено в связи с отсутствием исследований по определению его токсичности. Алюминат натрия применяется в основном также как коагулянт, слабо изменяя прочностные свойства глинистых минералов [82]. Использование гипохлорита ограничено в связи с большим расходом - 180 мг/л [58].

В настоящее время изучается возможность применения высокомолекулярных полимеров типа КОДТ /продукт конденсации кубовых остатков гексаметилендиамида, таллового масла и дихлорэтана и др. Вероятно, эти реагенты найдут применение в будущем, после исследования их эффективности, влияния на окружающую среду, возможности использования при разработке россыпей.

Для повышения скорости фильтрации в глинистых грунтах нами предложены два химических реагента - хлорное железо и силикат натрия [85, 86,87,88]. Сравнительный анализ эффективности применяемых реагентов, проведенный на основании однофакторного, полностью рандомизированного эксперимента, позволил установить, что хлорное железо в настоящее время является наиболее эффективным реагентом для предварительной его активации и использования при подготовке искусственных сушенцов [78, 98].

Оптимальный расход реагента, обусловленный величиной рН-воды в пределах 6-6,5 составил 50 г/т подготавливаемых торфов.

Измерение электрокинетического потенциала, характеризующего устойчивость системы, производилась методом электроосмоса по известной методике [78, 98]. Величина потенциала рассчитывалась по формуле Гельмгольца-Смолуховского

$$\varphi = k \cdot x \cdot \frac{Q(t) \cdot (v)}{I \cdot t \cdot D} \text{ мВ}, \quad (2.1)$$

где v – вязкость воды, равная 0,01

D – диэлектрическая постоянная, равная 81;

$Q(t)$ – объем жидкости, перенесенной через поперечник диафрагмы при силе тока I за время t ;

Результаты измерений электрокинетического потенциала показали, что минимальная величина φ – потенциала соответствует оптимальному расходу хлорного железа для использования в качестве АРР - 50, 70 и 100 г/т при содержании глины в песках 5%, 10% и 15 % соответственно [82, 84, 85, 86]. Дальнейшее увеличение или уменьшение дозировки реагента приводит к утолщению диффузной части электрического слоя, в результате чего влияние фильтрующейся жидкости на проницаемость торфов снижается.

Таким образом, установлено, что минимальная величина φ – потенциала соответствует оптимальному расходу хлоридов металлов 50 г/т, либо 130 г/м³, если $\gamma = 2,6$ т/м³.

Поэтому в дальнейшем в качестве фильтрующейся жидкости использовался раствор хлорного железа с концентрацией раствора 40-50%. [61, 62, 63]. Выбранный реагент должен соответствовать следующим требованиям: быть экологически безопасным и обладать высокой эффективностью при незначительном расходе.

Хлорное железо - средняя соль трехвалентного железа. На вид это химическое сырье представляет собой мягкую кристаллическую массу ржаво-коричневато-черного цвета. Хлорное железо образуется в результате нагревания железа с хлором. Его можно получить также как побочный продукт

при производстве хлорида титана $TiCl_4$ и хлорида алюминия $AlCl_3$. Еще один способ получения хлорного железа – горячее хлорирование или окисление раствора $FeCl_2$ с последующим выпариванием раствора $FeCl_3$.

Сфера применения хлорного железа достаточно широка. Его используют как коагулянт для очистки воды, как катализатор в органическом синтезе, как протраву в процессе окрашивания тканей, а также для приготовления железных пигментов и прочих солей железа. Еще раствор хлорного железа используют для травления печатных плат. Достаточно широкое распространение хлорное железо получило в качестве коагулянта в процессе очистки промышленных и городских сточных вод. По сравнению с другими коагулянтами, в частности с сернокислым алюминием, этот химический продукт имеет важное преимущество – хлорид железа наделен высокой скоростью осаждения разнообразных примесей. В результате гидролиза хлорное железо образует малорастворимый гидроксид железа. В процессе его образования захватываются различные органические и неорганические примеси, образуя при этом рыхлые хлопья, которые легко удаляются из очищаемых стоков. Такие хлопья, плотностью 1001–1100 г/л и размером 0,5–3,0 миллиметров, имеют довольно большую поверхность с отличной сорбционной активностью. В процессе их образования в структуру включаются взвешенные вещества (крупные микроорганизмы, клетки планктона, ил, остатки растений), коллоидные частицы, а также часть ионов загрязнений, ассоциированных на поверхности данных частиц. При помощи данного продукта процесс осаждения шлама протекает намного быстрее и глубже. Еще одно преимущество хлорного железа – его благоприятное влияние на биохимическое разложение шлама. Для качественной очистки сточных вод на один кубический метр требуется 30 г хлорного железа. Очистка вод хлорным железом уменьшает содержание растворимых примесей до 25 процентов, а нерастворимых до 95 процентов. В процессе проведения очистки сточных промышленных и городских вод ядовитые соединения и

микроорганизмы разрушаются гипохлоритом натрия. Используется этот продукт и в других сферах жизнедеятельности человека, в частности: с его помощью осветляются природные воды в системах водоподготовки; удаляется масло из стоков масложировых комбинатов; он используется при очистке сточных вод кожевенно-меховых предприятий от соединений хрома; для смягчения хозяйственно-питьевой воды; в хлорорганическом синтезе и как кровоостанавливающее средство в медицине.

По физико-химическим показателям железо хлорное техническое соответствует ТУ У 24.1-05444552-045:2005. Высокое качество подтверждено Испытательным центром по оценке безопасности продукции и технологий, применяемых для очистки и обеззараживания воды и экспертными заключениями Государственного Учреждения НИИ Экологии Человека и Гигиены Окружающей Среды им. А.Н. Сысина РАМН. Кроме того, были получены разрешения Министерства Здравоохранения Российской Федерации на применение хлоридов металлов в качестве коагулянта при разработке россыпных месторождений (приложения 8, 9).

2.2.2 Подготовка к эксперименту

Модифицированные разновидности монтмориллонита получены путем соответствующей обработки монтмориллонитов растворами хлористого натрия и кальция с последующей отмывкой глинистых суспензий от анионов Cl^- , центрифугированием и уплотнением в специальных пресс-формах. При конечном удельном давлении примерно в 7 кПа образцы были выдержаны в течении нескольких месяцев. В ходе испытаний на установке УИПК-1М (рис. 2.1, приложение 1) давление гидрообжима образцов Са - и Na- монтмориллонита, соответствовало конечному удельному давлению. Природные образцы подвергались обжигу, соответствующему давлению, испытываемому этими образцами в естественных условиях

В гораздо меньшей степени изучено влияние температуры на проницаемость глинистых пород. Экспериментальные исследования З.А. Водоватовой

[36] показали, что проницаемость песчано-глинистых пород возрастает с ростом температур. По мнению автора, увеличение проницаемости обусловливается сокращением мощности диффузной части двойного электрического слоя и переходом рыхлосвязанной воды в свободное состояние, что, в свою очередь, вызывает увеличение эффективного объема поровых каналов. Было показано, что проницаемость песчаников (на каолинит - гидрослюдистом цементе) при повышении температуры до 90⁰С возрастает в среднем в 2 раза и более.

Поэтому исследования влияния температуры на проницаемость глин проводились на естественных каолиновых, монтмориллонитовых и слюдистых глинах и их разностях с использованием дистиллированной воды и растворов реагентов различной концентрации. Экспериментальные работы на каолиновых глинах осуществлялись в трех диапазонах температур 20-25 (комнатная), 50-60 и 80-90⁰С, на монтмориллонитовых и слюдистых глинах было увеличено число промежуточных точек в области температур 40-70⁰С. Перед повышением температур образцы выдерживались в установке при заданном давлении гидрообжима в течение 2-20 сут. Для исключения влияния температурного гистерезиса образцы вначале подвергались многократным нагревам и охлаждениям. За исходные значения проницаемости (при комнатной температуре) принимались их постоянные значения, не изменяющиеся после очередного цикла нагрев – охлаждение. При последующем нагреве на каждой температурной точке образец выдерживался в течение 1 сут.

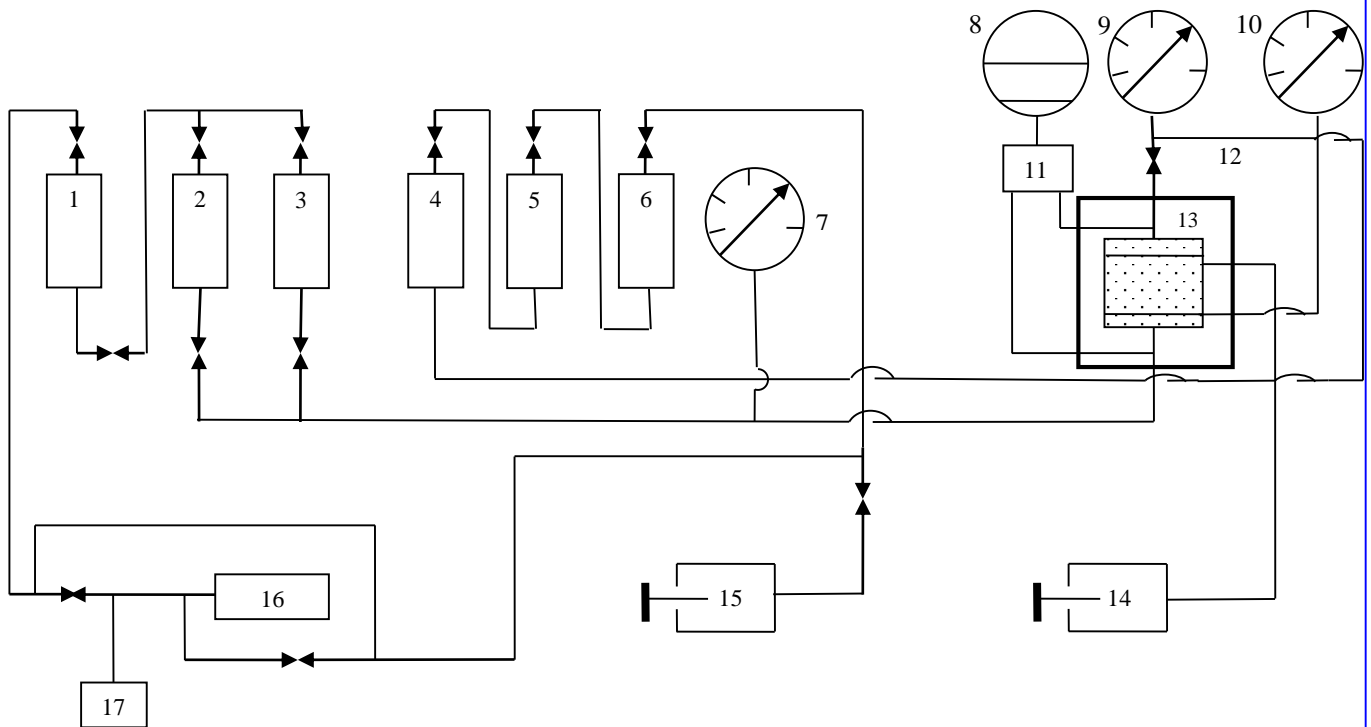


Рисунок 2.1 – Стенд для исследования фильтрации АРР в недеформируемой пористой среде.

1, 5, 6 – контейнеры высокого давления для масла; 2,3,4 – контейнеры высокого давления для воды; 7, 9, 10 – контейнеры; 8 – преобразователь измерительный типа Сапфир – 22ДД; 11 – отсекаль воды; 12 – термостат; 13 – кернодержатель; 14, 15 – прессы; 16 – пресс двухходовой с многоступенчатой коробкой передач; 17 – счетчик оборотов прессы.

Начальная скорость фильтрации выбиралась исходя из фактических скоростей фильтрации при применяемой системе разработки исследуемой россыпи. В процессе всего эксперимента в системе поддерживать пластовое давление. Необходимые замеры - перепад давления фильтрации, продолжительность фильтрования, температура опыта для расчета фильтрационной характеристики и водопроницаемость образца производились через 30 минут до полной стабилизации. Расход фильтруемой жидкости определяется по показаниям счетчика оборотов прессы. После установления постоянной скорости фильтрования АРР открывался кран и продолжалось фильтрование жидкости, до полной стабилизации фильтрации. Фильтрация исследуемого раствора ре-

агента через образец торфов производилась в условиях, исключаящих наличие свободного воздуха в породе или воде, т.е. гарантирующих однофазность потока в продолжение всего эксперимента.

Температурный режим регулировался электротермическим методом (взамен термостатирования предусмотренного УИПК-1М в заводском исполнении), позволяющим значительно сократить время стабилизации температуры на каждой ступени до 203 ч и увеличить верхний диапазон изменения температур до 100⁰С и выше. Расчет фильтрационной характеристики торфов при фильтрации АРР производить по формуле:

$$K = \frac{\mu \cdot l \cdot q}{\Delta P \cdot S} \cdot 10^5, \quad (2.2)$$

где K – коэффициент проницаемости, мкм²;

μ – динамическая вязкость при условиях фильтрации, Па·с;

l – длина образца, см;

q – расход профильтрованной воды, см³/с;

ΔP – перепад давления на образце между входом и выходом, МПа;

S – площадь поперечного сечения образца, см².

Водопроницаемость грунтов, обусловленную количественным и качественным составом их глинистого цемента, вычислялась по зависимости:

$$K_B = \frac{K_M - K_L}{K_M}, \quad (2.3)$$

где K_B – водовосприимчивость породы;

K_M – проницаемость породы, обработанной АРР, мкм²;

K_L – проницаемость породы, мкм².

K_B может принимать различные значения - положительные, нулевое, отрицательное. Чем больше положительное значение K_B , тем хуже проницае-

мость образца. При нулевом значении K_v сохраняется природная проницаемость торфов. При отрицательных значениях K_v проницаемость породы после обработки реагентом выше, чем по простой воде.

В ходе экспериментов фиксировалось значение рН воды на приборе рН-121. Концентрация протонов водорода определялась с целью установления влияния реагента на коррозионный износ оборудования в процессе его гидролиза.

В промышленных условиях эксперименты проводились на предприятии ОАО «Селигдар», на полигонах драг № 230, № 2, № 24 ЗАО «Прииск Удерецкий», а также на предприятии «Аналит-тест-уголь» (приложение 1-3). Выбор способа питания фильтрационного потока (АРР) принимался в зависимости от типа разреза, толщи мерзлых пород, их мощности и характера рельефа участка россыпи. Дренажные каналы (рис.2.2) применялись при заданной глубине оттаивания до 6 м.

Контроль над процессом осушения торфов осуществлялся путем измерения уровней фреатической поверхности в пьезометрических скважинах. Для определения остаточной влажности торфов перед наступлением сильных холодов проходили контрольные каналы с отбором и опробованием образцов. Если влажность торфов была меньше критической, то полигон считался готовым к круглогодичным вскрышным работам.

Поглощающие буровые скважины применялись при глубине оттаивания до 8 метров и содержании в толще торфов линз слабопроницаемых пород.

Из воды всегда оседает некоторое количество ила, который образует сначала прерывистый слабопроницаемый экран на дне и постепенно оставляет для инфильтрации только отдельные проходы в крупных порах. Кроме того, тонкий ил кольматирует галечник на глубину 0,2 – 0,4 м. Поэтому фильтрационную канаву располагали за внешним контуром площади оттаивания (рис.2.2). Глубина слоя воды в максимально заполненной канаве достигала 1,5-2 м.

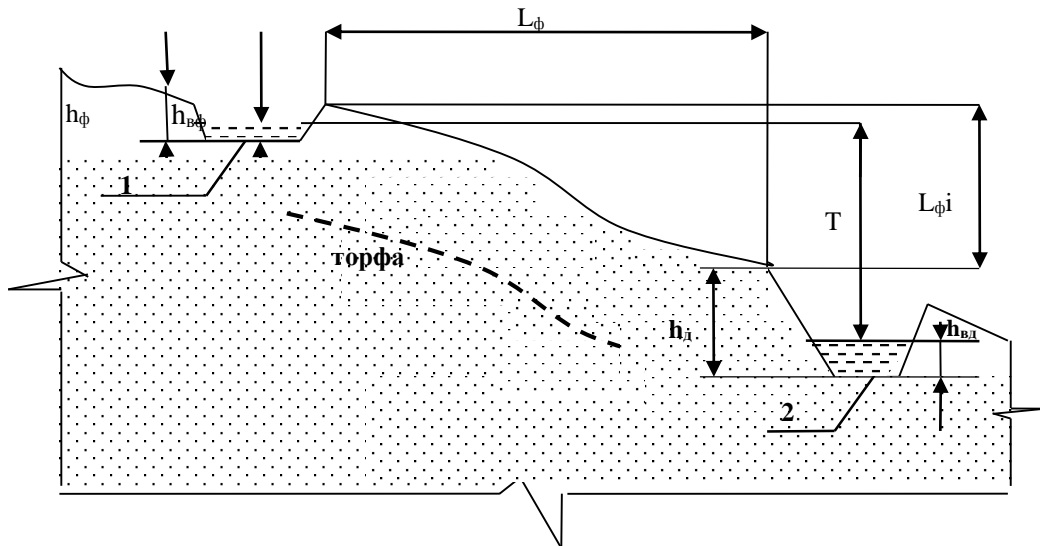


Рисунок 2.2 - Технологическая схема для расчета параметров фильтрационно-дренажной оттайки:

1 – фильтрационная канава; 2 – дренажная канава; L_{ϕ} – расстояние между канавами, м; $h_{вф}$ – глубина потока воды в фильтрационной канаве, м; $h_{вд}$ – глубина потока воды в дренажной канаве, м; h_{ϕ} – глубина фильтрационной канавы, м; $h_{д}$ – глубина дренажной канавы, м; T – глубина дренирования, м

Дренажные канавы шириной 3 м проходили бульдозером с расположением отвалов в конце каждого тупика. Ряд горизонтальных дрен в течение первого периода обработки массива АРР располагались на расстоянии, определяемом только опытным путем, что снижало эффективность проведенных мероприятий. В дальнейшем фронт питания фильтрационного потока переносился за внешний контур площади оттаивания, где к этому времени были пройдены новые дренажные канавы.

Отсутствие научно-обоснованной методики расчета параметров технологии подготовки искусственных сушенцов (расстояния между горизонтальными дренами, параметры сетки поглощающих скважин, продолжительность обработки торфов АРР и др.) снижало ожидаемый эффект. Это обстоятельство послужило основанием для решения задачи - разработки теоретических основ подготовки искусственных сушенцов в слабопроницаемых породах на основе обработки их активированным раствором реагента.

2.3 Результаты лабораторных исследований и их анализ

Реализация поставленной задачи заключается в том, что рассматриваемый фильтрационный поток области приведенного комплексного потенциала фильтрации будет прямолинейным многоугольником на плоскости со сторонами параллельными оси координат OX (рис.2.3). Произведя конформное отображение области приведенного комплексного потенциала фильтрации можно будет определить все характеристики фильтрационного потока, а, следовательно, искомые параметры технологии подготовки искусственных сушенцов.

Результаты лабораторных исследований представлены в табл. 2.2 - 2.5, на рис. 2.3 - 2.5 и в приложении 4. После обработки результатов лабораторных экспериментов получена зависимость коэффициента фильтрации в грунтах от содержания в них глинистых частиц, после их обработки АРР

$$K_{\phi} = \exp[\ln 63,4 - (0,119 \cdot C_{\text{гл}})], \quad (2.4)$$

где $C_{\text{гл}}$ – содержание глинистых минералов, %.

Совокупный коэффициент корреляции составил 0,9. Стандартное отклонение 0,03 м/сут. Уравнение действительно при значениях $3\% \leq C_{\text{гл}} \leq 20\%$. Полученные уравнения регрессии здесь и далее проверены на адекватность по критерию Стьюдента, при уровне значимости $\alpha=0,05$. Статистические характеристики разработанных моделей представлены в приложениях 5, 6.

Скорость фильтрации в массиве россыпи в первоначальный момент времени увеличивается при этом в 20-40 раз. После чего происходит стабилизация процесса. В дальнейшем кинетика движения АРР превышает нормальный процесс в 2-4 раза.

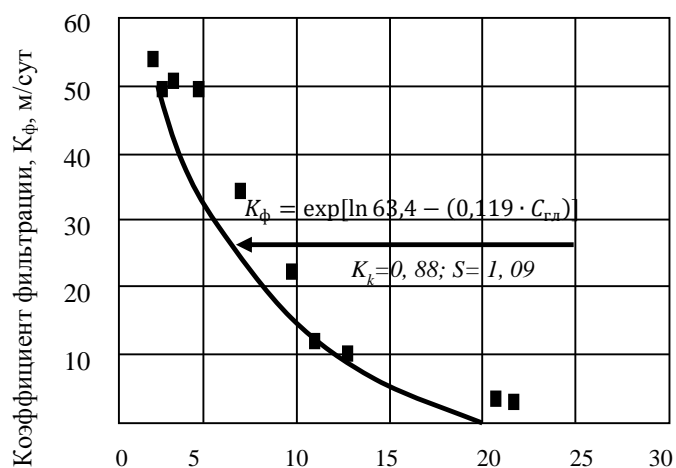
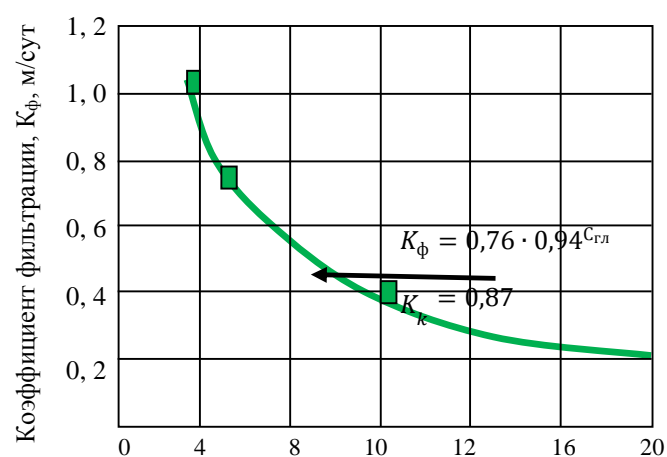
Содержание глинистых минералов, $C_{гл}$ % (а)Содержание глинистых минералов, $C_{гл}$ % (б)

Рисунок 2.3 – Зависимость коэффициента фильтрация (K_ϕ) торфов от содержания в них глинистых частиц ($C_{гл}$): а - с активацией АРР, б - без АРР.

Таблица 2.2 - Усредненные данные влияния изменения продолжительности активации раствора реагента на коэффициент фильтрации

Содержание глины, %	Коэффициент фильтрации, м/сут при продолжительности активации, сут				
	менее 2	2-5	6-10	10-15	15-20
4	50	65	60	59	50
8	30	45	40	39	30
12	20	30	30	25	20
16	10	25	20	15	10

Таблица 2.1 - Результаты исследований скорости фильтрующейся жидкости в зависимости от содержания глины в торфах

Содержание глины, %	Длина пути, см	Высота столба воды, см	Площадь сечения, см ²	Диаметр трубки, см	Понижение уровня в сосуде, см		Напор, см	РН		Коэффициент фильтрации, м/сут	
					с обработкой АРР	без обработки		без обработки	с обработкой АРР	с обработкой АРР	без обработки
4	21	29	11,335	3,8	3,5	3,7	8	6	8,05	39,87	15,25
8	22	31,2	10,749	3,7	1,7	1,7	9,2	5	7,50	35,06	2,50
12	20,7	28,9	11,94	3,9	1,3	1,4	8,2	5	7,70	18,61	0,160
16	22,5	31,5	11,94	3,9	1,1	1,6	9	5,5	7,85	12,13	0,140
20	26	33,5	10,17	3,6	1,0	2,0	7,5	5,8	7,90	5,24	0,100
24	30	38	9,616	3,5	0,5	0,7	8	5,6	7,75	0,174	0,080

Таблица 2.3 - Усредненные данные влияния изменения температуры активации раствора реагента на коэффициент фильтрации

Содержание глины, %	Коэффициент фильтрации, м/сут при температуре активации, град					
	20	40	50	60	70	80
4	35	50	50	50	60	60
8	20	30	40	40	43	40
12	10	22	24	30	35	30
16	7	15	18	18	19	20

Таблица 2.4 - Построение функции скорости фильтрации в зависимости от продолжительности активации раствора реагента

№ п/п	Содержание глинистых частиц в грунтах, %	Математическая модель, м/сут	Коэффициент корреляции, K_k	Расчетный критерий Стьедента
1	4	$K_\phi = T / (0,019 \cdot T - 0,016)$	0,9	4,45
2	8	$K_\phi = T / (0,032 \cdot T - 0,0412)$	0,87	5,36
3	12	$K_\phi = 1 / (0,039 + 0,078 \cdot \exp(-T))$	0,6	5,36
4	16	$K_\phi = T / (0,097 - 0,23 \cdot T)$	0,9	3,37

Таблица 2.5 - Построение функции скорости фильтрации в зависимости от температуры активации раствора реагента при различном содержании глинистого цемента

№ п/п	Содержание глинистых частиц в грунтах, %	Математическая модель, м/сут	Коэффициент корреляции, K_k	Расчетный критерий Стьедента
1	4	$K_\phi = t / (0,32 + 0,012^t)$	0,9	4,45
2	8	$K_\phi = 17,14 \cdot \exp(0,013 \cdot t)$	0,9	4,45
3	12	$K_\phi = 0,53 \cdot t^{0,98}$	0,89	5,58
4	16	$K_\phi = 9,02 \cdot \exp(0,01 \cdot t)$	0,8	5,22

Установлены также зависимости (табл. 2.4, 2.5) скорости фильтрации от продолжительности и температуры фильтрующей жидкости (АРР). Анализ полученных данных показывает, что оптимальная зона продолжительности воздействия на раствор реагента лежит в области от 5 до 10 суток, а температура активации находится в пределах от 60°C до 80°C.

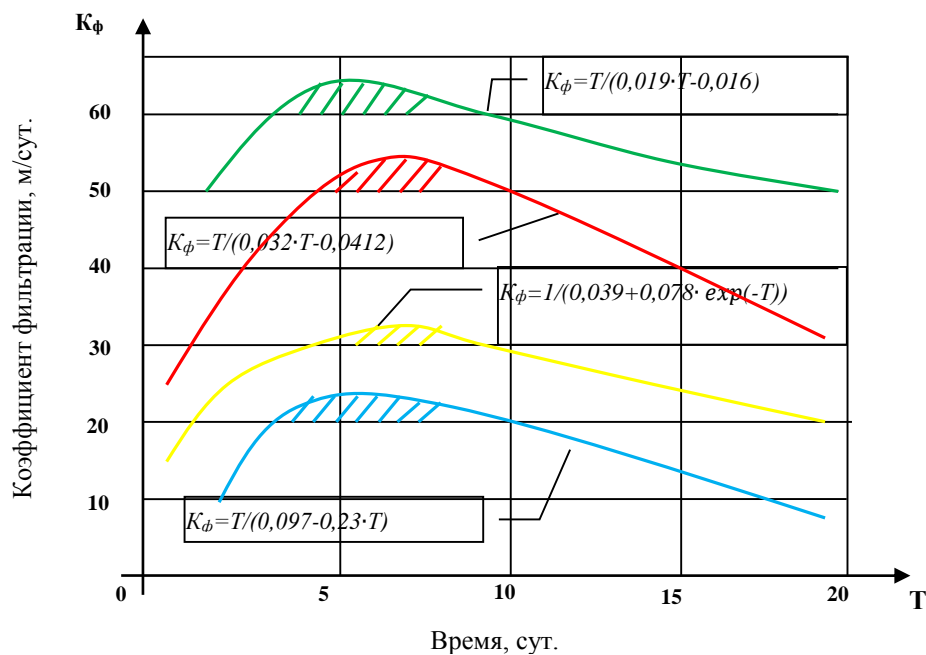


Рисунок 2.4 - Проницаемость грунтов в зависимости от динамики продолжительности активации

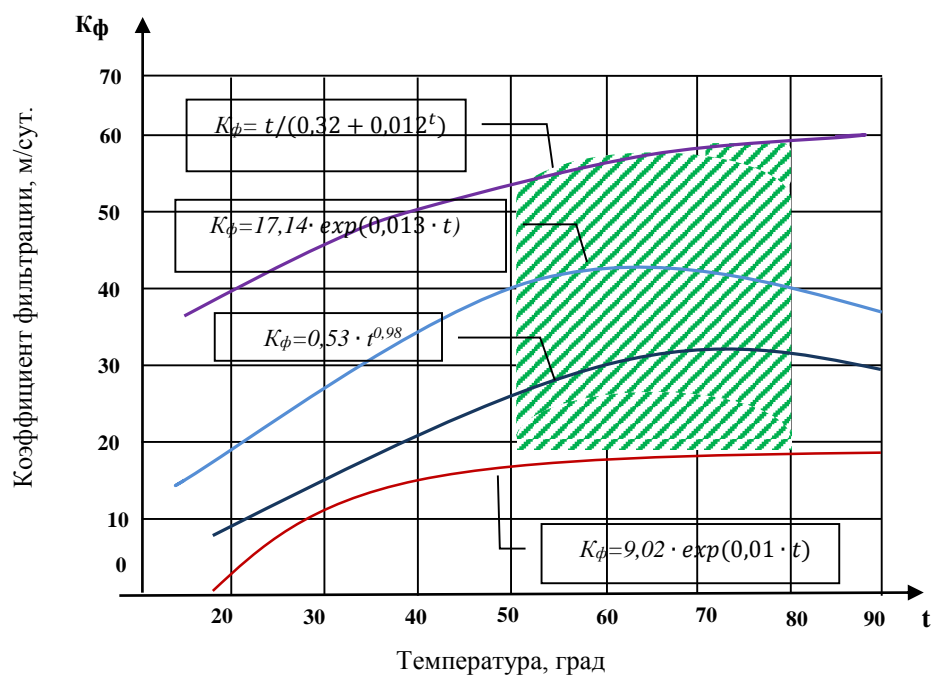


Рисунок 2.5 - Проницаемость грунтов в зависимости от динамики температуры активации

В ходе последующих промышленных экспериментов (приложение 1,2, 3) было установлено, что кроме расстояния между дренами, продолжительно-

стью обработки торфов АРР на скорость и себестоимость фильтрационно-дренажной оттайки оказывает влияние и глубина дренажных канав. Промышленные эксперименты проводились на предприятии ОАО «Селигдар», на полигонах драг № 230, № 2, № 24 ЗАО «Прииск Удерецкий», а также на предприятии «Аналит-тест-уголь».

Установлено, что при увеличении расстояния между дренажными канавами в несколько раз превышающего глубину оттаивания, скорость оттаивания становится недостаточной, что требует увеличения глубины заложения горизонтальных дрен до 3м (при мощности подготавливаемого пласта сушенцов до 6м).

При этом рассматривают два варианта расчета. Первый - предусматривает, что массив торфов однородный с равномерным содержанием глинистого цемента. Второй – неоднородное содержание глины в торфах (слоистые породы).

При фильтрационно-дренажном оттаивании в однородном массиве торфов (первый вариант расчета) имеет место равномерная установившаяся фильтрация, при которой линии тока фильтрующегося активированного раствора реагента (АРР) являются параллельными прямыми. При такой фильтрации форма и размеры живого сечения потока не изменяются по его длине. Так как границы подготавливаемого полигона не создают особых условий для сил сопротивления, то движение АРР во всей области фильтрации будет одинаковым (рис.2.4). Уравнение такой фильтрации имеет вид [6]

$$\frac{d^2H}{dx^2} = 0, \quad (2.5)$$

где H – напор, м;

x – координаты движения АРР по оси Ox .

Пьезометрический уклон или градиент напора составит

$$J = -\frac{dH}{dx} = \frac{H_1 - H_2}{L_\phi}, \quad (2.6)$$

тогда

$$V = K_{\phi} \frac{H_1 - H_2}{L_{\phi}}, \quad (2.7)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут; V – скорость фильтрации, м/сут;
 H_1 – напор фильтрующейся жидкости при $x = 0$, м;
 H_2 – напор фильтрующейся жидкости при $x = L_{\phi}$, м;
 L_{ϕ} – расстояние между горизонтальными дренами, м.

Градиент напора J и скорость фильтрации APR будут одинаковы во всех точках области фильтрации в массиве россыпи. Если площадь живого сечения фильтрационного потока принять за F , то фильтрационный расход составит

$$Q = K_{\phi} \cdot F \frac{H_1 - H_2}{L_{\phi}}, \quad (2.8)$$

Если форма полигона россыпи прямоугольная, то

$$F = b \cdot T, \quad (2.9)$$

где T – мощность пласта торфов, м;
 b – ширина полигона (ширина потока), м.

Удельный фильтрационный расход определяется как

$$q = \frac{Q}{b}, \quad (2.10)$$

Подставляя (2.4) в (2.6) получим

$$q = K_{\phi} \cdot T \frac{H_1 - H_2}{L_{\phi}}, \quad (2.11)$$

В случае конформного отображения области приведенного комплексного потенциала одномерной установившейся фильтрации, которая происходит в проницаемом пласте торфов при фильтрации несжимаемого активированного раствора реагента, при котором поток имеет свободную поверхность в форме наклонной плоскости с уклоном, равным уклону плотика $i = \operatorname{tg} \alpha$ (рис.2.6).

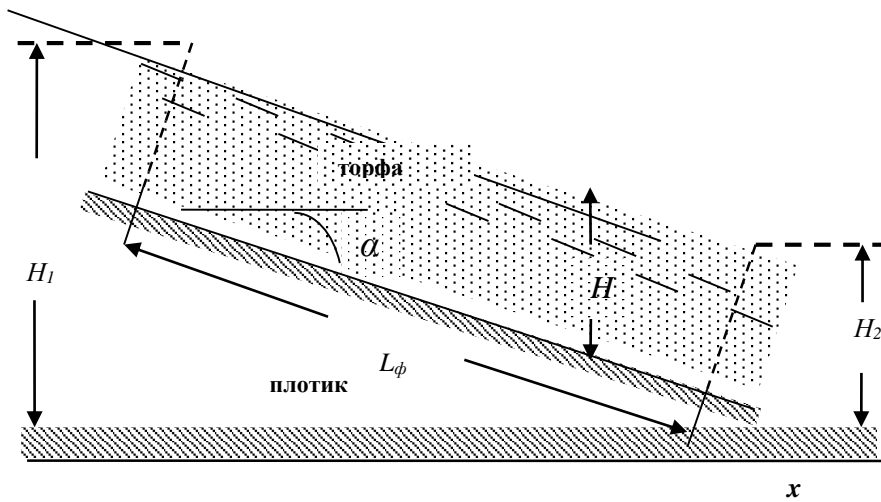


Рисунок 2.6 — Одномерная установившаяся фильтрация АРР:

H_1 – напор фильтрующейся жидкости при $x = 0$, м; H_2 – напор фильтрующейся жидкости при $x = L_\phi$, м; α – угол наклона плотика, град.; L_ϕ – расстояние между горизонтальными дренами, м; H – глубина потока, м.

В этом случае пьезометрический уклон является уклоном свободной поверхности плотика и равен уклону (i), а потому скорость фильтрации в любой точке россыпи составит

$$V = K_\phi \cdot i. \quad (2.12)$$

Фильтрационный расход АРР

$$Q = F \cdot V = K_\phi \cdot F \cdot i. \quad (2.13)$$

Или с учетом (2.4)

$$Q = 63,4 \cdot e^{-0,119C_{zi}} \cdot F \cdot i. \quad (2.14)$$

При фильтрационно-дренажном оттаивании имеет место горизонтальная дрена, т.е. случай симметричной фильтрации. Поэтому при определении области приведенного комплексного потенциала фильтрации примем за плоскость сравнения напором плоскость горизонтальной дрены. В этом случае

$$F = b \cdot H, \quad (2.15)$$

Из формулы (2.14) удельный расход составит

$$q = 63,4 \cdot e^{-0,119C_{zi}} \cdot i \cdot H, \quad (2.16)$$

Отсюда расстояние между канавами составит

$$L_{\phi} = \frac{H \cdot K_{\phi} \cdot T}{q}, \quad (2.17)$$

С учетом реологических свойств фильтрующей жидкости расстояние между горизонтальными дренами можно определять по формуле

$$L_{\phi} = \frac{H \cdot K_{\phi} \cdot T \cdot \nu_0}{q \cdot \nu \cdot \mu_{ГР}}, \quad (2.18)$$

где ν – вязкость активированного раствора реагента, мПа·с;

ν_0 – вязкость воды, мПа·с;

$\mu_{ГР}$ – коэффициент гравитационной водоотдачи, доли ед.

Очевидно, что при фильтрации в пласте торфов образованным из (n) параллельных слоев с мощностями $T_1, T_2 \dots T_n$ и коэффициентов фильтрации $K_1, K_2, K_3 \dots K_n$. в каждом слое имеется одномерная установившаяся фильтрация (второй вариант расчета).

Тогда согласно (2.11) в m -м слое удельный фильтрационный расход равен

$$q_m = K_m \cdot T_m \frac{H_1 - H_2}{i}, \quad (2.19)$$

При использовании буровых скважин (рис.2.7) правильно будет воспользоваться уравнениями осесимметричной одномерной фильтрации в цилиндрических координатах [63, 87, 88]:

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dh}{dr} \right) = 0, \quad (2.20)$$

После интегрирования этого уравнения получим величину напора

$$H = \frac{Q}{2\pi r T} \ln \frac{r}{r_0} + h_0, \quad (2.21)$$

где h_0 – напор в самой скважине, м; r - цилиндрические координаты движения активированного раствора реагента по оси (r).

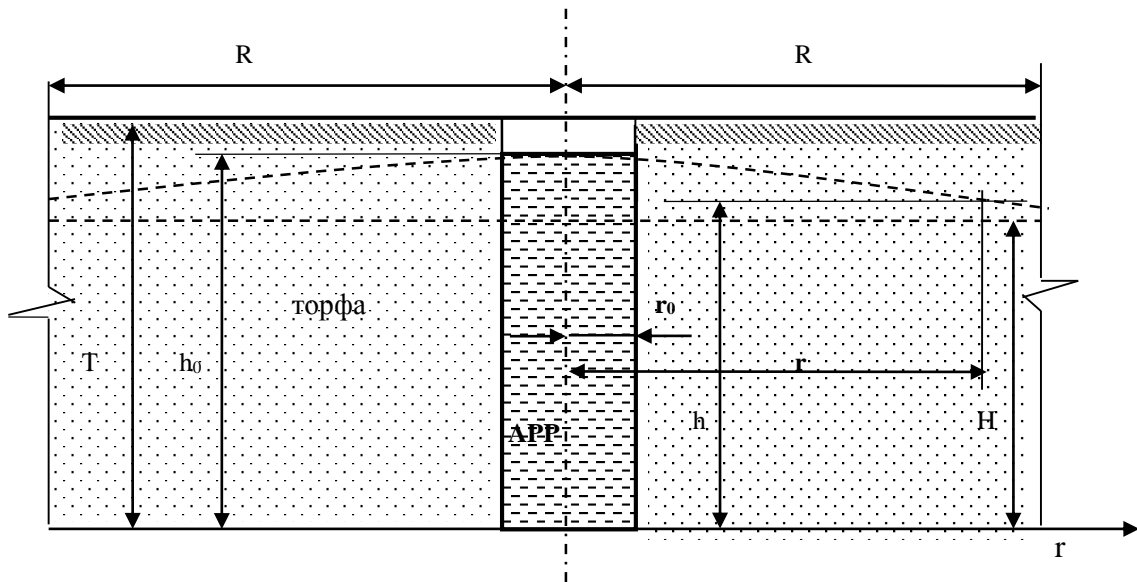


Рис. 2.7 – Схема фильтрации АРР для случая поглощающей скважины:
 T – мощность торфов, м; h_0 – напор в скважине, м; r_0 – радиус скважины, м;
 h – напор на расстоянии (r) от скважины, м; H – напор, м;
 R – радиус влияния поглощающей скважины, м.

Полученное выражение является уравнением кривой напоров при фильтрации к скважине. Уравнение кривой напоров для случая оттока от скважины (поглощающая скважина) имеет вид

$$h = -\frac{Q}{2\pi K_{\phi} T} \ln \frac{r}{r_0} + h_0. \quad (2.22)$$

Из последнего уравнения, полагая, что на расстоянии R от скважины $h=H$, получим формулу для расхода, поглощаемого скважиной

$$Q = \frac{2\pi K_{\phi} T (h_0 - H)}{\ln \frac{R}{r_0}}. \quad (2.23)$$

Как видно из формулы (2.18), для определения искомого расстояния R от скважины необходимо знать напор потока, расход и реологию фильтрующего АРР[61]

$$R = \frac{v_0}{v \mu_{2p}} e^{\frac{2\pi K_{\phi} T H}{Q}}. \quad (2.24)$$

В ходе промышленных экспериментов установлено также, что при увеличении расстояния между дренажными канавами в несколько раз превышающего глубину оттаивания, скорость оттаивания становится недостаточной, что требует увеличения глубины заложения горизонтальных дрен до 3м (при мощности подготавливаемого пласта сушенцов до 6м).

При этом построение функции движения АРР в пласте торфов постоянной мощности имеет два варианта расчета. Первый предусматривает, что массив торфов кусочнооднородном с равномерным содержанием глинистого цемента. Второй предусматривает неоднородное содержание глины в торфах (слоистые породы). Рассмотрим построение функции движения активированного раствора реагента для первого варианта.

При фильтрационно-дренажном оттаивании в кусочно-однородном массиве торфов (первый вариант расчета) имеет место равномерная установившаяся фильтрация, при которой линии тока фильтрующегося активированного раствора реагента (АРР) являются параллельными прямыми. При такой фильтрации форма и размеры живого сечения потока не изменяются по его длине. Так как границы подготавливаемого полигона не создают дополнительных сил сопротивления, то движение АРР во всей области фильтрации будет одинаковым.

Равномерная неустановившаяся фильтрация АРР может иметь место в горизонтальном полосообразном пласте кусочнооднородного пласта торфов, когда напоры на границах пласта изменяются во времени. Скорость фильтрации будет одинаковой в пределах всего пласта, но переменной во времени.

На рис. 2.8 представлено поперечное сечение пласта, причем $H_1(t)$ и $H_2(t)$ обозначены переменные во времени напоры на границах пласта и через $H(t) = H_1(t) - H_2(t)$ – переменной во времени действующий напор в подготавливаемом пласте.

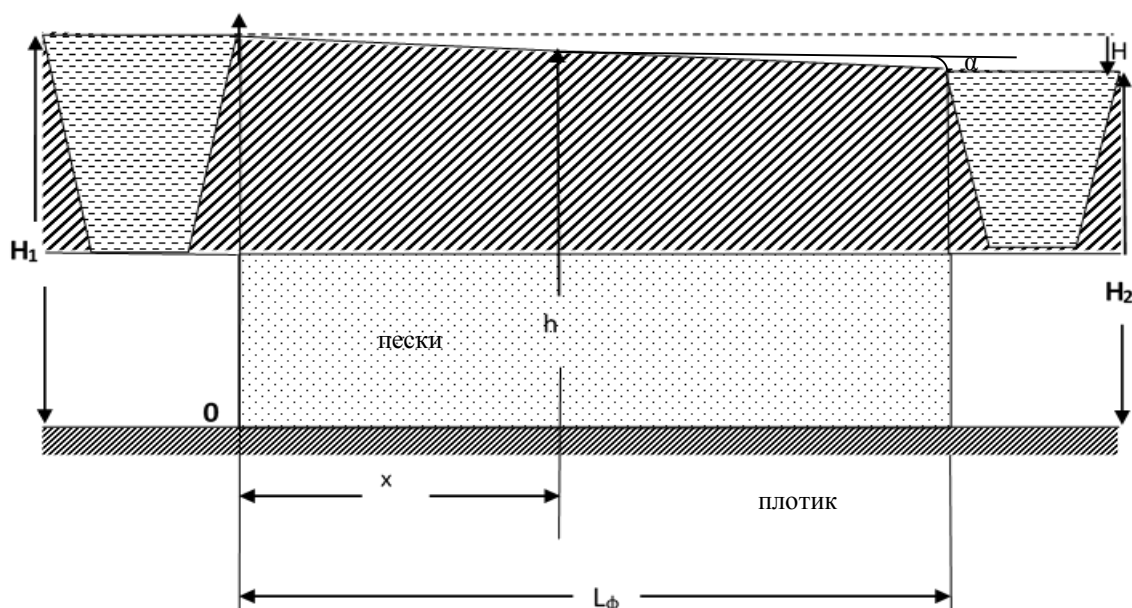


Рисунок 2.8 – Равномерная неустановившаяся фильтрация несжимаемого АРР:

H_1 – напор фильтрующейся жидкости при $x = 0$, м;

H_2 – напор фильтрующейся жидкости при $x = L_\phi$, м;

α – угол наклона плотика, град.;

L_ϕ – расстояние между горизонтальными дренами, м;

h – глубина потока, м.

Пусть $v(t)$ – переменная во времени скорость фильтрации в пласте и $h(x, t)$ – переменный по координате и времени напор в сечениях пласта, перпендикулярных к линиям тока. Тогда уравнение установившейся фильтрации АРР будет иметь вид [94].

$$\frac{1}{g} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{K_\phi} = -\frac{dh}{dx}, \quad (2.25)$$

где k и g соответственно – коэффициент фильтрации торфов и ускорение силы тяжести.

Так как скорость фильтрации от x не зависит, то пьезометрический уклон ($-dh/dx$) будет постоянен по координате x и равен среднему пьезометрическому уклону в кусочнооднородном пласте торфов, т.е.

$$-\frac{dh}{dx} = \frac{H}{L_\phi}. \quad (2.26)$$

Принимая во внимание то, что переменный по координате и времени напор активированного раствора реагента в сечении пласта $h_{x=0} = H_1$ и проинтегрировав уравнение (2.26) получим:

$$h = H_1 - H \frac{x}{L_\phi}, \quad (2.27)$$

Формула (2.27) дает выражение напора в пласте в любой момент времени. На первый взгляд, результаты проведенных исследований достаточно неожиданные. В соответствии с общепринятым представлением о характере протекания физических процессов, жидкость, в том числе и АРР, принимается несжимаемой. На самом деле из этой зависимости можно сформулировать следующий вывод: при равномерной неустановившейся фильтрации АРР всякое изменение напора на границах фильтрационного потока приводит к мгновенному перераспределению напора во всем потоке.

Подставляя в уравнение (2.26) вместо пьезометрического уклона $(-dh/dx)$ его выражение (2.27) после интегрирования получим уравнение перераспределения напора во всем потоке АРР [62, 87]:

$$v = e^{\frac{g}{K_\phi}} \cdot \left(v_0 + \frac{g \cdot e^{\frac{g}{K_\phi}} \cdot H}{L_\phi} \right), \quad (2.28)$$

где v_0 - скорость фильтрации в пласте в начальный момент времени ($t=0$) после заполнения распределительной канавы и оросителей активированным раствором реагента.

Зависимость (2.28) дает выражение скорости фильтрации в пласте в любой момент времени. Указанная зависимость получена нами при учете сил инерции. Отсюда длина фильтрационного потока или расстояние между двумя горизонтальными дренами составит [87]

$$L_\phi = \frac{g \cdot H \cdot (e^{\frac{g}{K_\phi}})^2}{v}. \quad (2.29)$$

Однако, оценка влияния ускорения силы тяжести на скорость при равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента практического значения не имеет.

Поэтому значение расстояния между двумя горизонтальными дренажными выработками в кусочнооднородном пласте торфов постоянной мощности без учета сил инерции в силу уравнения (2.29) и с учетом зависимости (2.25) будет иметь вид:

$$L_{\phi} = \frac{H \cdot \exp(\ln 63,4(0,119C_{\text{гл}}))}{v}. \quad (2.30)$$

Отсюда можно сделать еще один вывод: учет сил инерции при расчете равномерной неустановившейся фильтрации АРР может иметь практическое значение только для весьма малого начального промежутка времени, и при весьма значительной проницаемости торфов. В остальных же случаях учет сил инерции при подготовке сушенцовых зон практического значения не имеет. Последнее обстоятельство дает возможность рассматривать процесс равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента как совокупность мгновенных установившихся процессов.

Используя построенные функции (табл. 2.2-2.5) нами разработана номограмма для определения параметров технологии подготовки искусственных сушенцов при фильтрационно-дренажном оттаивании (рис. 2.9).

Для построения номограммы для оперативных расчетов параметров технологии подготовки искусственных сушенцовых зон получены вспомогательные функции при искомом аргументе T - продолжительности фильтрации АРР в массиве пород (табл. 2.6).

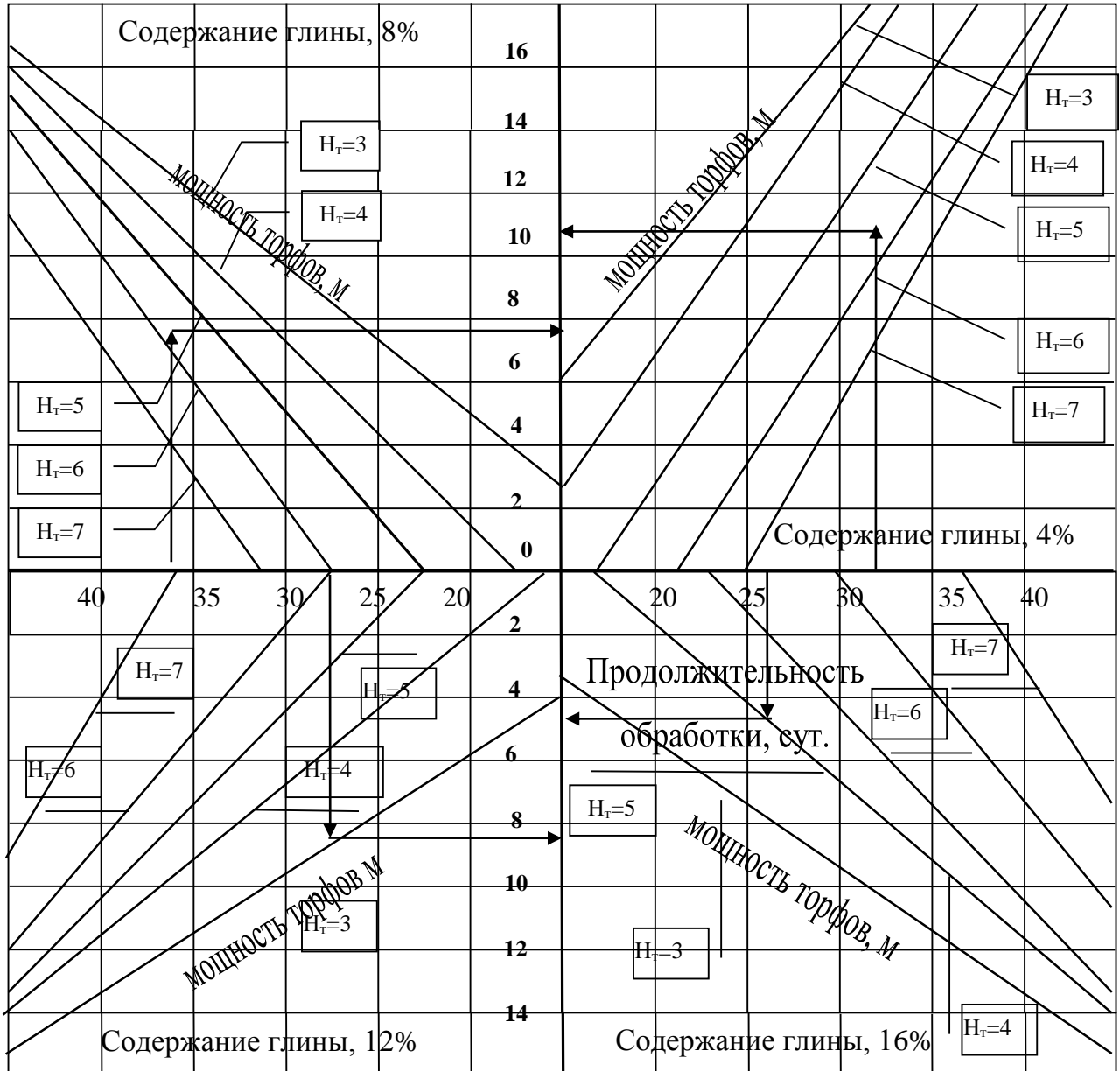


Рисунок 2.9 – Номограмма для расчета расстояния между горизонтальными дренами при подготовке искусственных сушенцовых зон на основе обработки торфов активированным раствором реагента (АРР)

Таблица 2.6 - Расстояние между горизонтальными дренами в кусочнооднородном пласте торфов при различных условиях размещения АРР

Уравнение регрессии	Мощность подготавливаемых сушенцов, м	Коэффициент корреляции, доли ед.	Критерий Фишера
1	2	3	4
При содержании глины 4 %			
$L_D = 0,95 \cdot T - 23,0$	7	0,9	8,12
$L_D = 0,95 \cdot T - 18,8$	6	0,9	10,6
$L_D = 38,6 - 810/T$	5	0,9	50,27
$L_D = 2,9 + 0,33 \cdot T$	4	0,97	10,6
$L_D = 1/(0,16 - 0,0032 \cdot T)$	3	0,8	53,7
При содержании глины 8%			
$L_D = 1/(0,29 - 0,0052 \cdot T)$	3	0,87	22,73
$L_D = 25,15 - 470,7/T$	4	0,85	10,37
$= L_D - 14,8 + 0,65 \cdot T$	5	0,9	15,7
$L_D = 0,55 \cdot T - 12,8$	6	0,9	31,75
$L_D = 38 - 1186/T$	7	0,9	138
При содержании глины 12%			
$L_D = 1/(0,25 - 0,0043 \cdot T)$	3	0,87	3,21
$L_D = 22,4 - 421/T$	4	0,9	10,46
$L_D = 24,7 - 558/T$	5	0,87	43,65
$L_D = 0,71 \cdot T - 19,89$	6	0,9	22,0
$L_D = 1,06 \cdot T - 38,4$	7	0,9	16,2
При содержании глины 16 %			
$L_D = 1/(0,32 - 0,0062 \cdot T)$	3	0,8	1,32
$L_D = 0,48 \cdot T - 7,74$	4	0,89	26,32
$L_D = 0,57 \cdot T - 12,9$	5	0,9	62,08
$L_D = 28,1 - 790,7/T$	6	0,89	123,6
$L_D = 0,77 \cdot T - 28,07$	7	0,87	15,04

Выводы

1. В результате проведенных лабораторных и промышленных экспериментов установлено, что обработка торфов активированным раствором реагента позволяет увеличить скорость фильтрации в 2-4 раза. Достигнутый эффект сделал возможным подготовку искусственных сушенцовых зон на торфах с содержанием глины до 15 %.

2. Установлено, что при конформном отображении области приведенного комплексного потенциала одномерной установившейся фильтрации, которая происходит в проницаемом пласте торфов при фильтрации несжимаемого активированного раствора реагента, поток имеет свободную поверхность в форме наклонной плоскости с уклоном, равным уклону плотика. В этом случае пьезометрический уклон является уклоном свободной поверхности плотика.

3. При использовании буровых скважин для оттаивания торфов расчет параметров технологии подготовки искусственных сушенцов необходимо вести по уравнениям осесимметричной одномерной фильтрации в цилиндрических координатах

4. Оттаивание торфов мощностью до 6 метров рекомендуется проводить с помощью наиболее экономичного фильтрационно-дренажного способа. В случае большей мощности торфов (до 8м) оттаивать их следует с помощью буровых скважин.

5. Основными факторами, определяющими расстояние между скважинами или горизонтальными дренами при подготовке искусственных сушенцов, являются льдистость торфов, содержание глины в россыпи, мощность обрабатываемого и водоносного слоев. Достигнутые в процессе дренирования значения критической влажности 3,5 %, позволили разрабатывать мерзлые торфа даже легкими бульдозерами во время сильных морозов. На участках россыпи, где льдистость торфов не удалось понизить ниже 4,5 %, была успешно использована тяжелая землеройная техника.

6. При равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента всякое изменение напора на границах фильтрационного потока приводит к мгновенному перераспределению напора во всем потоке.

7. Учет ускорения силы тяжести при расчете равномерной неустановившейся фильтрации АРР может иметь практическое значение только для весьма малого начального промежутка времени и при весьма значительной проницаемости торфов. В остальных же случаях учет сил инерции при подготовке сушенцовых зон практического значения не имеет. Последнее обстоятельство дает возможность рассматривать процесс равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента как совокупность мгновенных установившихся процессов.

3. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ИСКУССТВЕННОЙ СУШЕНЦОВОЙ ВСКРЫШИ НА ВЫСОКОЛЬДИСТЫХ РОССЫПЯХ

3.1 Теоретические основы теплофизических процессов просадки торфов

В процессе наблюдений за состоянием многолетнемерзлых торфов с высоким содержанием льда было выявлено, что при снятии поверхностного теплоизолирующего слоя происходит интенсивная оттайка за счет нарушения теплового обмена, приводит к просадке торфов.

В связи с этим возникла идея при создании искусственных сушенцов использовать это обстоятельство с целью снижения затрат на вскрышные работы [62].

Тепловая мелиорация считается наиболее экономичной, так как рассматривает оттайку многолетнемерзлых песков, основанную на использование естественной тепловой энергии солнца.

Однако всестороннего теплофизического обоснования явление просадки торфов не имеет.

Актуальность научных исследований, направленных на изучение просадки торфов под воздействием солнечной радиации обуславливается значительными объемами разведанных запасов мерзлых россыпей с высоким содержанием льда.

Величину просадки торфов в настоящее время в лучшем случае учитывают введением в маркшейдерские замеры поправочных коэффициентов или не учитывают совсем. Имеющиеся формулы для расчета глубины протаивания мало приспособлены или вообще непригодны для расчета величины просадки торфов. Они основаны на рассмотрении процессов передачи тепла в самих породах под влиянием нагретой поверхности и воздуха, когда на глубину просадки торфов влияют только свойства пород и почвенного слоя. Теплообмен с атмосферой при этом учитывается с помощью поправок [19]. Такой подход не

соответствует основным теплофизическим процессам, происходящим в породах.

В теплый период года основной целью является увеличение теплового потока в породы, а тем самым и величины просадки торфов. Это достигается за счет уборки поверхностного теплоизолирующего слоя и перераспределения тепла, приходящего в торфа и уходящего в атмосферу.

Открытие закона теплопроводности (закон Фурье) выражающего соотношение между потоком тепла, распределением температур и свойствами среды позволило определить полный тепловой поток при конвективном теплопереносе [96]

$$\bar{g} = -\lambda \cdot \text{grad}T, \quad (3.1)$$

где \bar{g} – вектор плотности теплового потока, Вт/ м²;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт (кг·град);

$\text{grad}T$ – градиент температуры, град/м;

$$\bar{g} = -\text{grad}T + C_{\text{в}} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot \bar{v}_{\text{ф}} \cdot T, \quad (3.2)$$

где $C_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды, Вт·ч/(кг·град);

$\gamma_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/ м³;

T – температура пород, град;

$\bar{v}_{\text{ф}}$ – скорость фильтрации, м/ч.

Скорость нагревания пород во многом зависит от их теплоемкости. В теплофизических расчетах используют значения теплоемкости, отнесенной к единице массы или единице объема. В отношении аккумуляции тепла горные породы как гетерогенные системы обладают свойством аддитивности, т.е. их теплоемкость численно равна сумме теплоемкостей составляющих компонентов

$$C_{\text{об}} = C_{\text{ск}} + \gamma_{\text{ок}} + C_{\text{в}} \cdot \omega(1 - g_{\text{л}}) \cdot \gamma_{\text{ск}} + C_{\text{л}} \cdot g_{\text{л}} \cdot \omega \cdot \gamma_{\text{ск}}, \quad (3.3)$$

где $C_{\text{об}}$ – объемная теплоемкость горной породы, Вт·ч/ (м²·град);

$C_{\text{ск}}, C_{\text{в}}, C_{\text{л}}$ – соответственно удельные теплоемкости скелета породы, воды и льда, Вт·ч/(м³·град);

g_l – относительная льдистость, доли ед.;

ω – влажность, %;

$\gamma_{ск}$ – плотность скелета, кг/м³

Важнейшей теплофизической характеристикой влагосодержащих пород для стационарного процесса является теплота фазовых переходов лед-вода в единице объема Q_ϕ . Так как теплота плавления льда L_Π равна 92,7 Вт ч/кг, то скрытая теплота фазовых превращений в торфах

$$Q_\phi = 92,7 \cdot \omega \cdot \gamma_{ск}. \quad (3.4)$$

Для глинистых отложений вводится понятие [96] эффективной теплоемкости, учитывающей выделение теплоты кристаллизации

$$C_{эф} = \left[C_{ск} + C_B \cdot \omega \cdot (1 - g_l) + C_L \cdot g_l \cdot \omega - \frac{L_\Pi \cdot \omega \cdot d \cdot g_l}{dt} \right] \cdot \gamma_{ск}. \quad (3.5)$$

При определении величины просадки торфов возникает необходимость произвести общую оценку энергетических затрат, складывающихся из плавления льда и нагревания породы от начальной отрицательной температуры T_H до конечной положительной T_K . В связи с изменением относительной льдистости и теплоемкости полный расход тепла на перевод 1 м³ торфов в талое состояние Q_o выразится известной формулой

$$Q_o = C_{ск} \cdot \gamma_{ск} \cdot (T_K - T_B) + \omega \cdot \gamma_{ск} \cdot [C_L \cdot S + C_B \cdot (T_K - T_H - S) + L_\Pi \cdot g_l \cdot T_H], \quad (3.6)$$

где

$$S = \int_{T_H}^0 g_l \cdot (T) \cdot dt. \quad (3.7)$$

Исключительно важную роль при прогнозе и регулировании просадки торфов играет кондуктивный тепломассоперенос. Скорость движения границы раздела фаз зависит от взаимодействия их температурных полей. Задача состоит в нахождении закона движения границы раздела фаз в зависимости от краевых условий.

Математическая формулировка задачи была поставлена Г.З. Перльштейном [88], в которой фазовые переходы совершаются при постоянной температуре, и образуется фронт оттаивания, для одновременного случая.

Уравнение теплопроводности в талой зоне,

$$C_T \cdot \frac{dT_T}{dt} = \frac{d}{dx} \cdot (\lambda_T \cdot \frac{dT_T}{dx}), \quad (3.8)$$

$$H_{от}(t) \geq x \geq 0, t > 0,$$

Уравнение теплопроводности в мерзлой зоне,

$$C_M \cdot \frac{dT_M}{dt} = \frac{d}{dx} \cdot (\lambda_M \cdot \frac{dT_M}{dx}), \quad (3.9)$$

$$X \geq x \geq H_{от}(t), t > 0,$$

Условия на границе раздела талой и мерзлой зон $H_{от}(t)$,

$$T_M(H_{от}, t) = T_T(H_{от}, t) = T_{кр}, \quad (3.10)$$

$$\lambda_M \cdot \frac{dT_M(H_{от}, t)}{dx} - \lambda_T \cdot \frac{dT_T(H_{от}, t)}{dx} = Q_\phi \cdot \frac{dH_{от}}{dt},$$

Краевые условия

$$T_T(X, 0) = f_1(x), 0 \leq x \leq H_{от}(0), \quad (3.11)$$

$$T_M(X, 0) = f_2(x), H_{от}(0) \leq x \leq X, \quad (3.12)$$

$$T(X, t) = F_1(x), t > 0, \quad (3.13)$$

$$T(0, t) = F_2(x), t > 0, \quad (3.14)$$

здесь t – время, ч;

x – расстояние от дневной поверхности, м;

C – объемная теплоемкость пород, Вт·ч/(м³·град);

$T_{кр}$ – температура фазовых превращений лед-вода в породе, град.;

X – нижняя граница исследуемого блока, м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·град);

$H_{от}$ – глубина оттайки, м.

Индексы "Т", "М" относятся соответственно к талой и мерзлой породе.

Решение задачи о глубине оттаивания широко известно под названием задачи Стефана. Это решение имеет огромное значение в определении величины просадки торфов. Воспользуемся частным решением задачи Стефана, предложенном В.С. Лукьяновым и М.Д. Головки [62]

$$H_{от} = \sqrt{\frac{2\lambda_r \cdot T \cdot t}{Q_1 + \left(\frac{C_T \cdot T}{2}\right)} + S_o^2 - S_o}, \quad (3.15)$$

где T – температура воздуха, град.;

C_T – объемная теплоемкость талых пород, ккал. / м³·град.;

S_o – толщина слоя талых пород, термическое сопротивление которого равно термическому сопротивлению теплоотдачи, м;

Q_1 – количество скрытой теплоты плавления льда в единице объема торфов, ккал/ м³;

$$Q_1 = L_{п} \cdot g_{л}, \quad (3.16)$$

где $g_{л}$ – льдистость торфов, кг/ м³

При уборке поверхностного теплоизолирующего слоя,

$$S_o = \lambda \cdot \frac{T}{a}, \quad (3.17)$$

где a – коэффициент теплоотдачи с поверхности, ккал/ м²·град·час (величина a принимается с запасом 20 ккал/ м²·град·час).

Очевидно, что объем подготовленных сушенцов за период, равный $t_1 - t_0 = t$ составит (в м³),

$$V_{от} = \int_{t_0}^{t_1} H_{от} \cdot S_{\delta} dt, \quad (3.18)$$

где S_{δ} – площадь добычного блока, м².

Объем высвободившейся воды ($V_{в}$) (без учета связанной воды) будет зависеть от льдистости торфов

$$V_{в} = \int_{t_0}^{t_1} H_{от} \cdot S_{\delta} \cdot g_{л} dt, \quad (3.19)$$

где $g_{л}$ – содержание льда в торфах, доли ед.

Разница между этими объемами и составит величину просадки торфов $V = V_{от} - V_{в}$,

Определение объема просадки торфов целесообразно заменить на плоскую задачу определения глубины просадки торфов (в м),

$$H_{ос} = \frac{V}{S_{\delta}}, \quad (3.20)$$

Тогда

$$H_{oc} = \frac{V_{от} - V_B}{S_\delta}, \quad (3.21)$$

Подставив выражение (3.15) в (3.21) после математических преобразований получим формулу определения глубины просадки торфов (в м) [62]

$$H_{oc} = \left\{ \sqrt{\frac{2\lambda_T \cdot T \cdot t}{Q_1 + \left(\frac{C_T \cdot T}{2}\right)} + S_o^2} - S_o \right\} \cdot (1 - g_L). \quad (3.22)$$

Работоспособность этой формулы была проверена в промышленных условиях при разработке многолетнемерзлых грунтов на предприятии ОАО «Селигдар» (приложение 3).

3.2 Промышленные исследования по созданию искусственной сушенцово́й вскрьши на высокольдистых россыпях

3.2.1 Методика проведения исследований

Изучение влияния льдистости пород на их просадку в зависимости от продолжительности воздействия солнечной радиации производились по результатам маркшейдерских замеров исследуемой поверхности. Для обеспечения точности выполнения высотной съемки применялось нивелирование площадей по квадратной сетке [62, 87]. В зависимости от размера, формы и расположения исследуемой поверхности, сетка сориентирована параллельно координатным осям. Сетку предварительно построили на плане, а затем перенесли на натуру. Для этого от ближайшего пункта съемочного обоснования аналитическим способом определили разбивочные элементы двух- трех вершин сетки. После их перенесения на местность полярным способом остальные вершины сетки определялись при помощи рулетки по створам. Линии сетки пронумерованы в единой системе, в основе которой сторона квадрата - 10 м. По одному из направлений сетки (У) линии пронумерованы четными цифрами, по-другому (Х) - нечетными. Съемка контуров блоков производилась от ближайших вершин сетки методом ординат. Так как площадь исследуемых

блоков небольшая, то их контуры снимали с точностью, соответствующей масштабу 1:1000.

Период наблюдения за просадкой торфов в исследуемых блоках составил 2 года. Льдистость горных пород находилась в пределах от 30 до 60 %.

В период исследований фиксировалась температура воздуха. Средняя температура воздуха составила: последняя декада мая +5 С; июнь +15 С; июль +20 С; август +10 С; первая декада сентября +3 С. Исходная гидрологическая характеристика россыпи представлена в приложении 7.

Объем просадки протаявших горных пород определялся по результатам горизонтальной и вертикальной съемок. Основным методом подсчета явился способ среднего арифметического, при котором объем вычисляют по формуле,

$$V_m = S_{\sigma} \cdot h_{cp}, \quad (3.23)$$

где S_{σ} – площадь исследуемого блока в среднем его сечении, м²;

h_{cp} – средняя высота просадки торфов, м.

Площади исследуемых блоков измерялись по замерным калькам вскрыши торфов с помощью планиметра по верхней и нижней бровкам блоков. Средняя площадь определялась как среднеарифметическое из полученных результатов.

Замерные кальки вскрыши торфов представляют собой светокопию с рабочего плана горных работ, на которые нанесены квадратные сетки с оцифровкой и положение разведочных линий. Против соответствующих вершин сетки указана высота осадки торфов, которая равна разности высотных отметок на начало и конец периода наблюдений. Среднее значение глубины просадки пород,

$$h_{cp} = \sum_{i=1}^n h_i / n, \quad (3.24)$$

где h_i – разность высотных отметок в отдельных вершинах сетки на начало и конец наблюдений, м;

n – число вершин сетки, принятых для определения средней высоты осадки породы.

3.3 Результаты промышленных исследований подготовки сушенцовых полей при просадке торфов и их анализ

Результаты наблюдений и распределения объемов просадки торфов по месяцам представлены в табл. 3.1 и на рис. 3.1 - 3.3. Из табл. 3.1 видно, что увеличение льдистости с 30 до 50 % приводит к росту глубины просадки торфов от 2,07 до 4,64 м [62].

На первый взгляд, результаты проведенных исследований достаточно неожиданные, но они позволили сделать очень важный вывод. Как известно, накопление талого слоя резко снижает последующую оттайку. Для объяснения выявленных закономерностей необходимо коснуться некоторых особенностей физико-механических свойств высокольдистых пород.

Учитывая низкие коэффициенты фильтрации мерзлых торфов, т.е. медленное проникновение воды в массив, следует ожидать высокие градиенты потенциала почвенной влаги в поверхностном слое.

Следовательно, образование этих градиентов приводит к формированию напряженного состояния в контактном слое между уже талой и мерзлой породой, что вызывает развитие зон микротрещиноватости. Последнее обуславливает более интенсивное проникновение воды в породу по трещинам и распространение расклинивающего давления.

Главным условием для интенсивной просадки торфов в этом случае является эффективный отвод оттаявшей воды. Подобное явление обеспечивает интенсивную оттайку мерзлой породы при накоплении талого слоя результатом чего и является большой объем просадки торфов и образования искусственной сушенцовой вскрыши.

Таблица 3.1 - Распределение объемов торфов по месяцам

№ блока	Продолжительность наблюдений, t, сут.	Средняя температура воздуха, T, град.	Льдистость торфов, гл, %	Площадь блока, S _б , м ²	Объем просадки торфов за месяц, V _{ос} , м ³	Общий объем просадки по блоку, V _{ос} , м ³	Глубина просадки торфов, H _{ос} , м ³ /м ²
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2011 год						
	Июль, 31	+20			8476		
	Августа,30 Сентября, 10	+10 +3	30	27200	4205 418	13099	0,48
	2012 год,						
	Май,10	+5			4689		
	Июнь,30 Июль,3	+15 +20	30	27200	34730 3867	43286	1,59
Итого по блоку №1	115	T _{ср} =12	30	27200		56385	2,07
2	2011 год,						
	Май,11	+5			2199		
	Июнь,30	+15			18038		
	Июль,31	+20	40	28000	34852	66633	2,45
	Августа,31 Сентября, 10	+10 +3			12339 1205		

	2012 год, Май,11 Июнь,30 Июль,31 Августа,31 Сен- тября, 10	+5 +15 +20 +10 +3	40	28000	733 16012 18284 4113 401	39543	1,4
Итого по блоку №2	226	T _{cp} =10,6	40	28000		108176	3,85
1	2	3	4	5	6	7	8
3	2011 год, Май,11 Июнь,30 Июль,31 Августа,31 Сен- тября, 10	+5 +15 +20 +10 +3	50	18400	225 18470 25440 1263 128	40010	4,64
	2012 год, Май,11 Июнь,30 Июль,31 Августа,31 Сен- тября, 10	+5 +15 +20 +10 +3	50	18400	750 16150 18480 4210 420	40010	2,17
Итого по блоку №3	226	T _{cp} =10,6	50	18400		85536	4,64

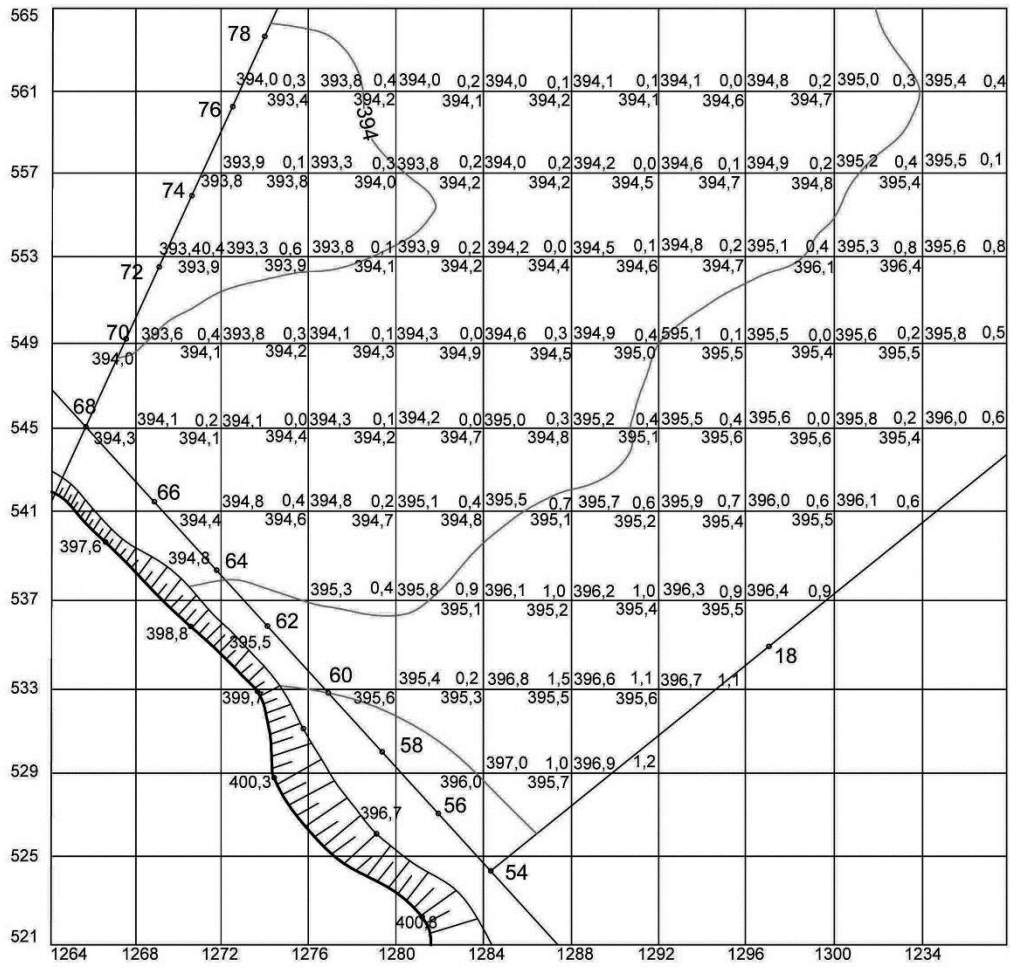


Рисунок 3.2 – Подготовка сушенцового поля на полигоне № 2

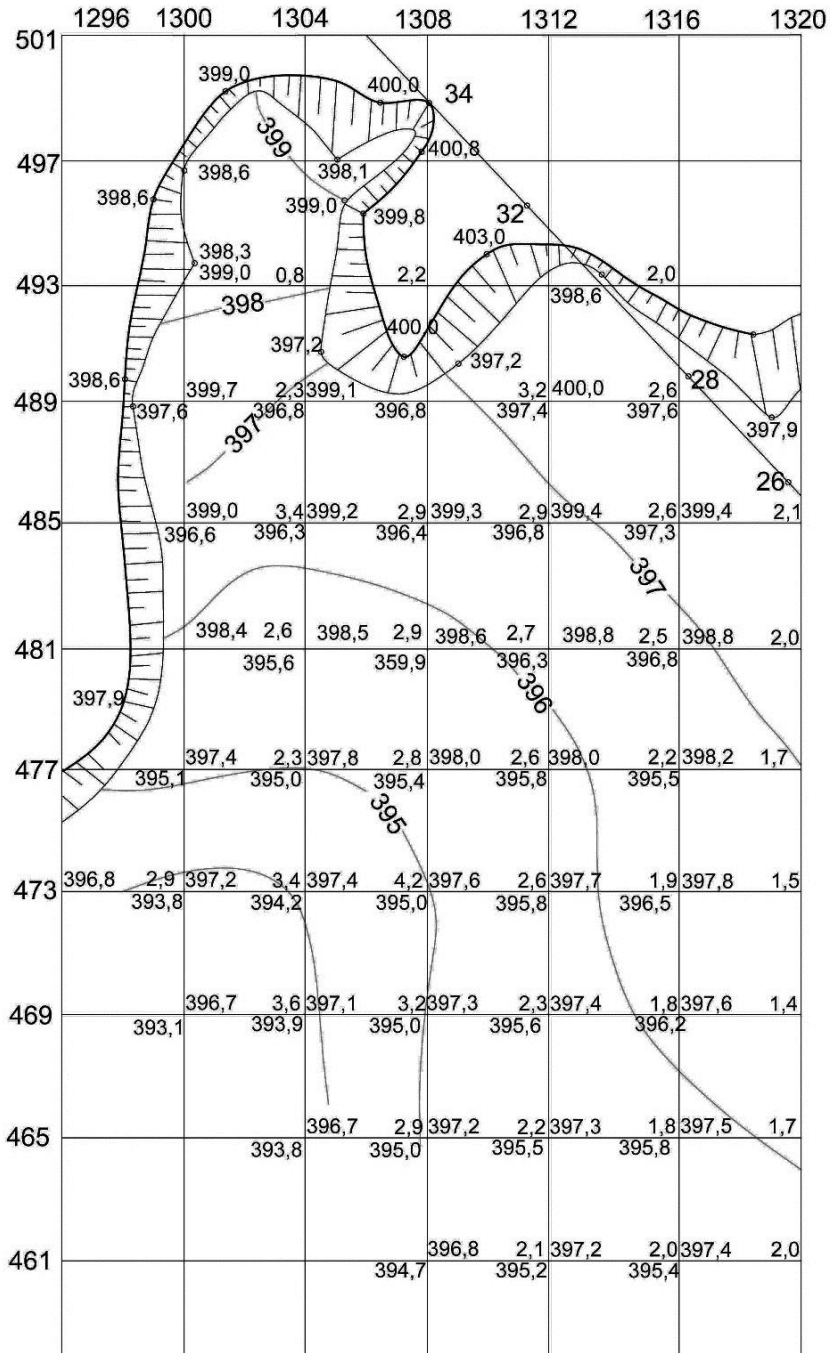


Рисунок 3.3 – Подготовка сушенцового поля на полигоне № 3

В период промышленных экспериментов был использован фильтрационно-дренажный способ оттаивания массива торфов с интенсивным принудительным водоотведением [33]. Сущность способа заключается в следующем (рис.3.4). По тальвегу россыпи на ее границе проходили зумпф (4) для монтажа землесосной установки. Горизонтальные дрены (распределительные каналы - 3) проходили по двум сторонам блока. Для более интенсивного оттаивания вдоль распределительных каналов проходили оросители (2). Весь фильтрационный поток аккумулировался в главной дренажной канаве (3), по которой затем подавался в зумпф низконапорной насосной установки, откуда пульпа транспортировалась в отстойник оборотного водоснабжения (рис. 3.4). Расстояние между распределительными и дренажной канавами определялось по установленной нами зависимости (2.19). Там, где глубина торфов не превышала 6 м., глубина заложения каналов находилась в пределах 2-3 м. В зависимости от расположения тальвега россыпи изменялось расположение зумпфа землесоса (рис. 3.4 - 3.7). Предложенная схема подготовки искусственных сушенцовых полей, позволяет избежать проходки дополнительных распределительных и оросительных каналов, и что ещё важнее, обеспечить ускоренное удаление оттаившей воды за пределы блока.

В зависимости от мерзлотно-гидрогеологических условий участков, подготавливаемых сушенцов и при льдистости более 50 %, применялись технологические схемы оттаивания с интенсивным отведением и фильтрующейся воды с поверхности полигона (рис. 3.4 - 3.5). При льдистости торфов 30 % - 50 % применялись схемы с дополнительной подачей воды-теплоносителя (рис. 3.6-3.7). Причем, схемы с использованием поглощающих скважин (рис. 3.7) применялись при мощности торфов более 6 м. Питание осуществлялось через дно и стенки оросительных (инфильтрационных) и распределительных каналов (позиции 1, 2) глубиной около 1 м, а дренирование горизонтальной канавой (3) глубиной до 3 м с отводом воды из нее насосной установкой (рис. 3.4).

Такое же питание осуществлялось при использовании технологической схемы, представленной на рис. 3.5. Но в этом случае откачка воды осуществлялась с помощью дренажных буровых скважин низконапорной насосной установкой [62].

В технологической схеме, представленной на рис. 3.6 питание осуществляли через дно и стенки распределительной канавы (5) с подачей в нее дополнительного объема воды из пруда-отстойника (3). Дренаж осуществлялся через горизонтальную канаву глубиной 3 м. При глубине оттаивания значительно превышающей расстояние между дренами, заложение последних принималось не менее 3-х метров при глубине торфов до 6 метров.

При мощности торфов 6 – 8 м (рис. 3.7) питание осуществлялось через поглощающие буровые скважины (3), расположенные в ряд и дренирование через буровые скважины (1) или колодцы.

Контроль над процессом осушения торфов осуществлялся путем измерения уровней фреатической поверхности в пьезометрических скважинах. Для определения остаточной влажности торфов перед наступлением сильных холодов проходили контрольные канавы с отбором и опробованием образцов. Если влажность торфов была меньше критической, то полигон считался готовым к круглогодичным вскрышным работам. Поглощающие буровые скважины применялись при глубине оттаивания до 6-8 метров. Зависимость глубины искусственных сушенцовых слоев от расстояния между горизонтальными дренами и продолжительностью осушения при фильтрационно-дренажной оттайки, а также динамика промерзания грунтов представлена на рис. 3.8. Достигнутые в ходе промышленных исследований значения критической влажности 3,5%, позволили разрабатывать мерзлые породы даже легкими бульдозерами во время сильных морозов. На участках месторождения, где льдистость пород не удалось понизить ниже 4,5 %, была успешно использована тяжелая землеройная техника. Таким образом, внедрение предлагаемых технологических решений позволило снизить затраты на вскрышу на 20-30 %. Экономический эффект составил 80 -120 руб/м³. (приложение №3).

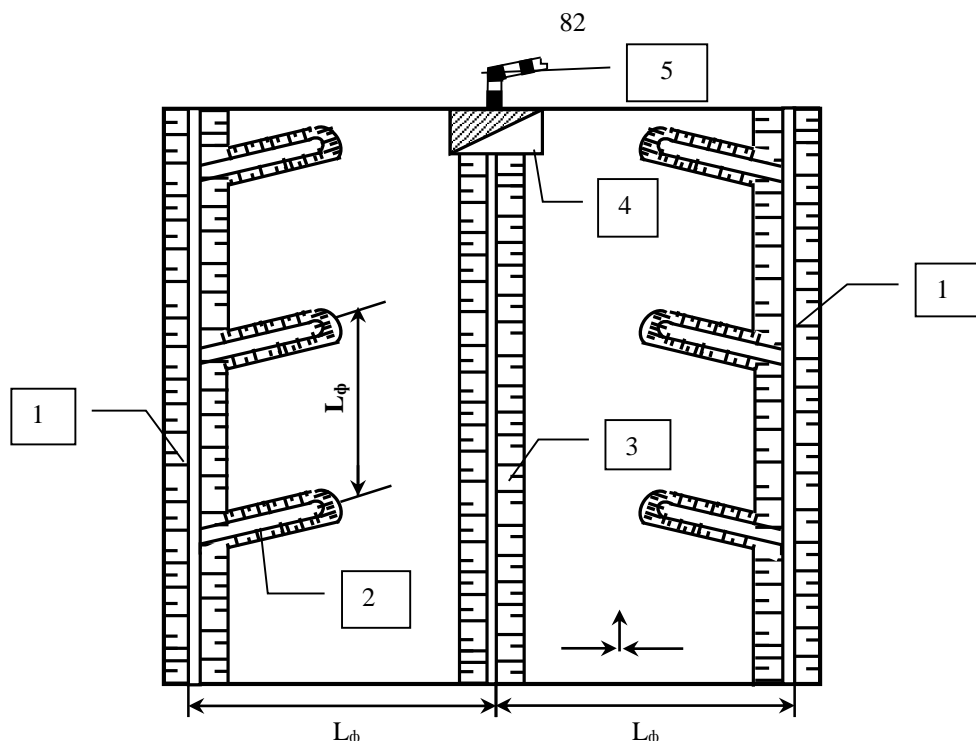


Рисунок 3.4 – Технологическая схема фильтрационно – дренажного оттаивания при мощности торфов до 6 м и льдистости до 30 %:

1- распределительная канава; 2 – оросители; 3 – главная дренажная канава; 4 – зумпф насосной установки; 5 – пульпопровод

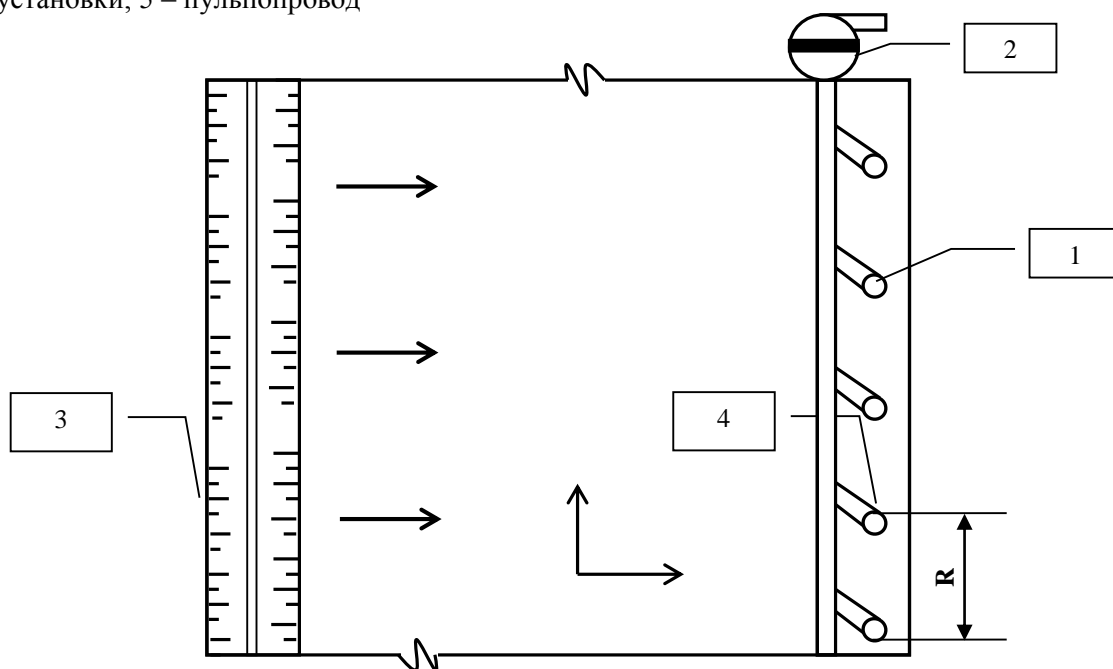


Рисунок 3.5 – Технологическая схема фильтрационно – дренажного оттаивания высокольдистых торфов мощностью до 8 м и льдистости свыше 50 % при помощи буровых скважин или колодцев:

1- буровые скважины; 2- насос; 3- оросительные каналы; 4- трубопровод

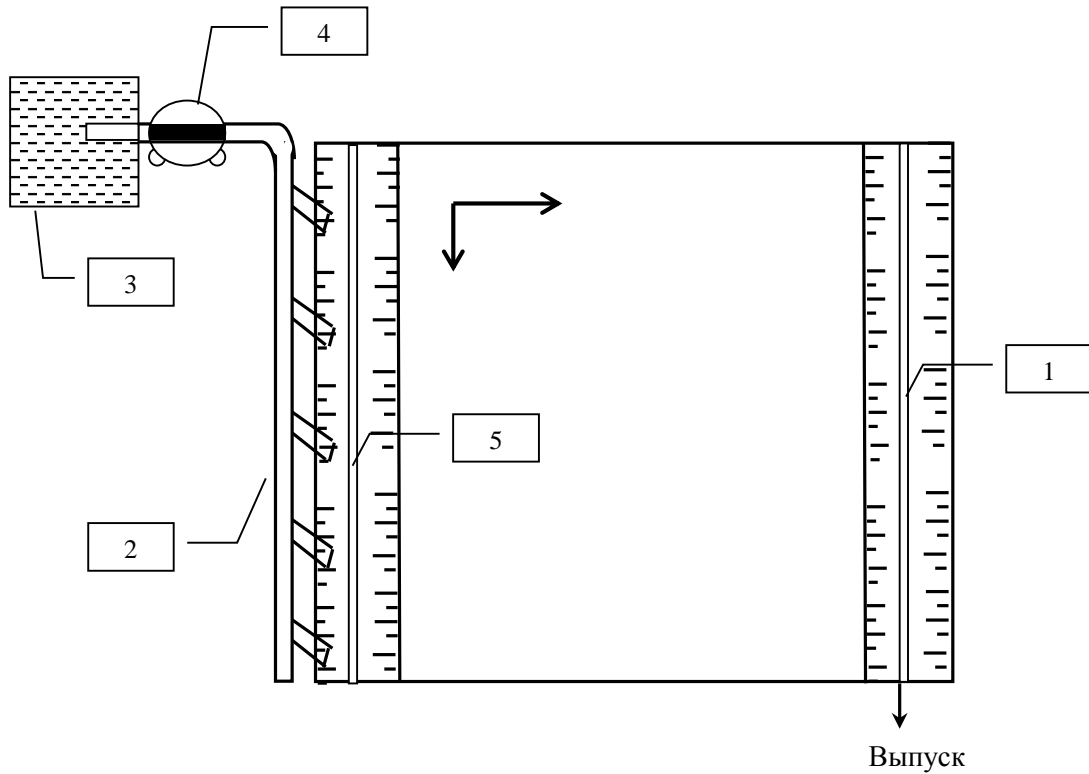


Рисунок 3.6 – Технологическая схема фильтрационно – дренажного оттаивания высокольдистых торфов мощностью до 6 м. и льдистости 30-50 % при помощи буровых поглощающих скважин:

1- дренажная канава; 2- трубопровод; 3- пруд; 4- низконапорный насос; 5- распределительная канава.

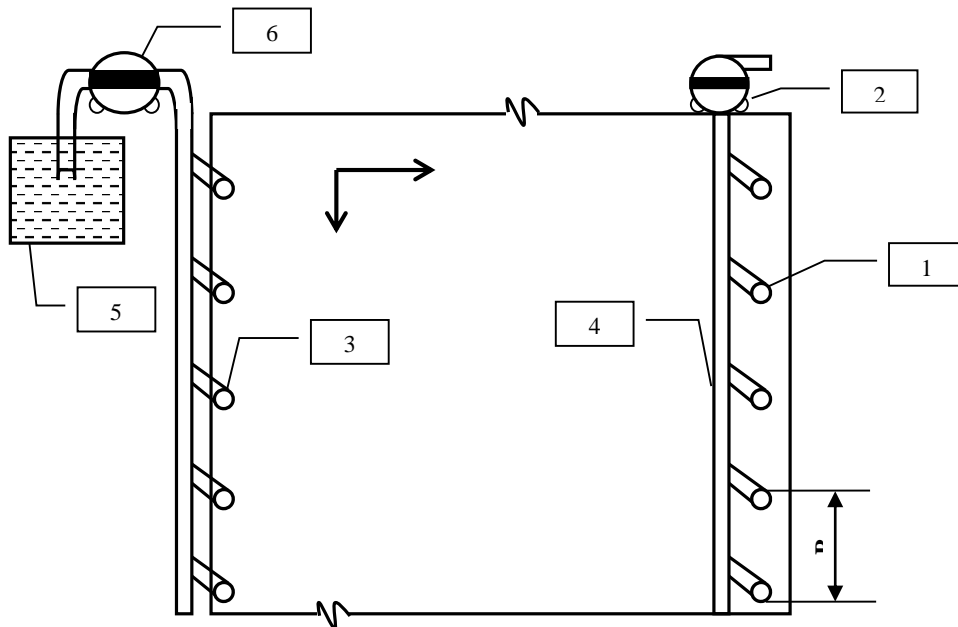


Рисунок 3.7 – Технологическая схема фильтрационно-дренажного оттаивания высокольдистых торфов мощностью до 8 м. и льдистости 30-50 % при помощи буровых поглощающих и дренажных скважин:

1- буровые скважины; 2- насос; 3- поглощающая скважина; 4- трубопровод; 5- пруд; 6- низконапорный насос.

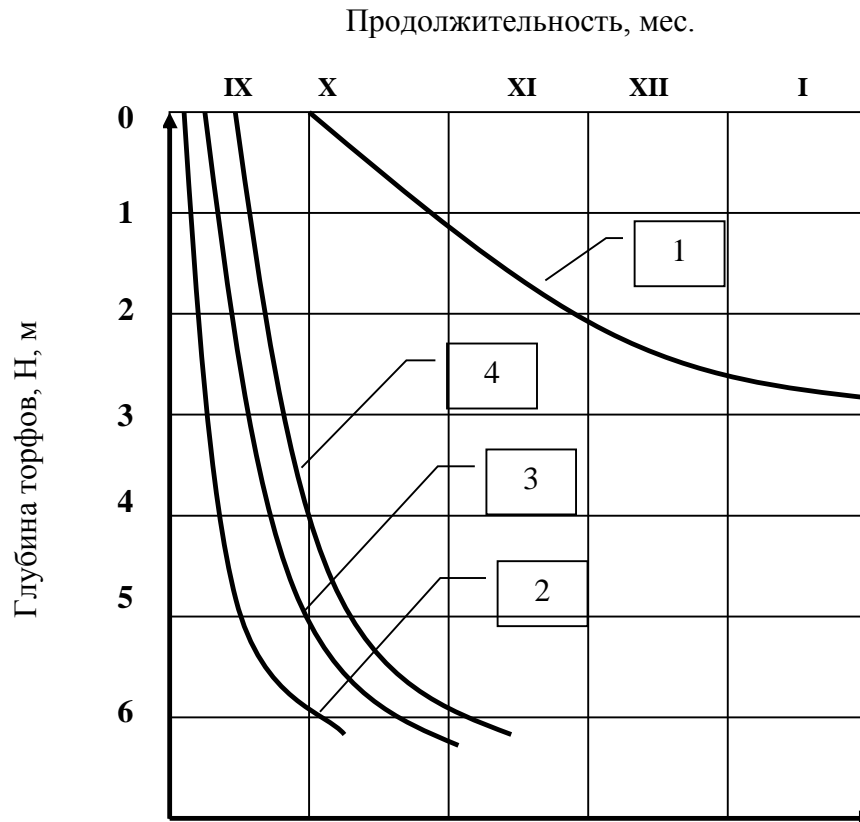


Рисунок 3.8 – Подготовка искусственных сушенцов и динамика промерзания торфов: 1-промерзание торфов; 2,3,4-изменение мощности сушенцового слоя при расстоянии между горизонтальными дренами 10, 15, и 20 м. соответственно.

Следует обратить внимание, что понижение интенсивности просадки торфов (табл.3.1) приурочено к снижению уровня льдистости до 30 %.

Результаты промышленных исследований обработаны на ПК по программе полинома 2-ой степени и получены следующие уравнения регрессии (рис.3.9 -3.11) [62]:

- по блоку 3 с содержанием льда 50 % объем просадки составит (в $\text{м}^3/\text{м}^2$),

$$V_3 = 3,34 \cdot [(T' - 16,45)^2] - 2,78 \cdot [(t' - 13,81)^2] + 514,93, \quad (3.25)$$

где T' , t' – эмпирические значения, зависящие от продолжительности воздействия солнечной радиации и температуры воздуха.

$$T' = 0,96 \cdot T + 0,29 \cdot t, \quad (3.26)$$

$$t' = -0,31 \cdot T + 0,95 \cdot t, \quad (3.27)$$

где T – температура воздуха, град.;

t – продолжительность осадки торфов, сут.

- по блоку 2 с содержанием льда 40 % объем просадки торфов можно определить по формуле (в $\text{м}^3/\text{м}^2$),

$$V_2 = 45,38 \cdot [(T')^2 + 2,87 \cdot T' + 2,05] - 35,38 \cdot [(t')^2 - 17,82 \cdot t' + 79,4] + 15702,14, \quad (3.28)$$

где

$$T' = 0,97 \cdot T + 0,022 \cdot t, \quad (3.29)$$

$$t' = -0,23 \cdot T + 0,97 \cdot t, \quad (3.30)$$

- по блоку 1 с содержанием льда 30 % объем просадки составит (в $\text{м}^3/\text{м}^2$),

$$V_1 = 9,79 \cdot (T' + 8,1)^2 - 1,95(t' - 24,11)^2 + 614,21, \quad (3.31)$$

где

$$T' = 0,99 \cdot T + 0,16 \cdot t, \quad (3.32)$$

$$t' = -0,16 \cdot T + 0,99 \cdot t. \quad (3.33)$$

30%

T	t	T'	t'	V1
20	31	24,76	27,49	11163,0
10	30	14,7	28,1	5672,4
3	10	4,57	9,42	1765,0
5	10	6,55	9,1	2276,0
15	30	19,65	27,3	8133,3

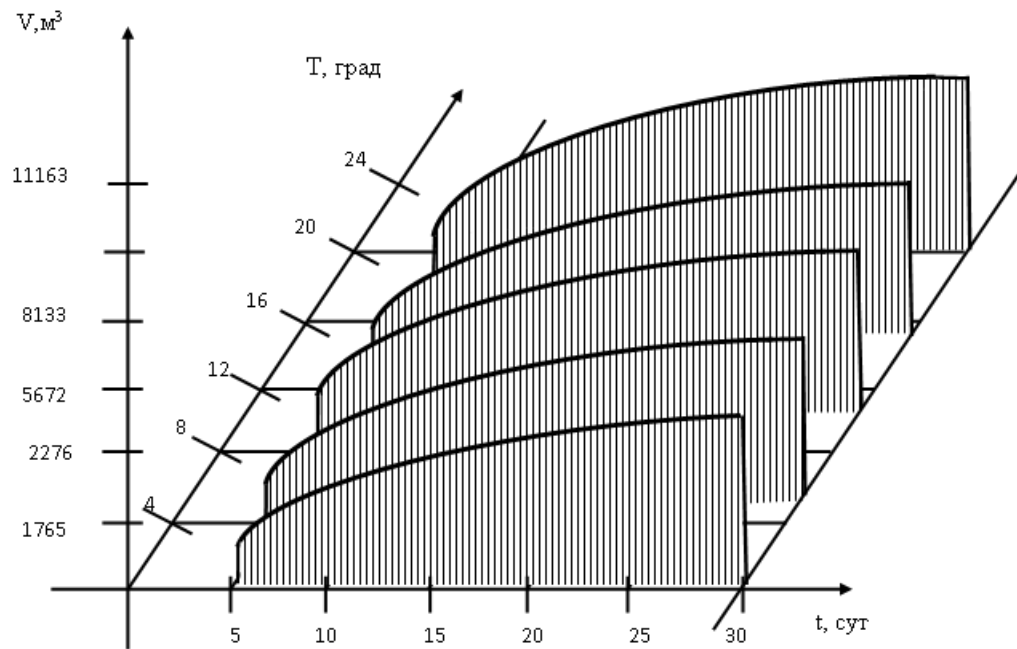


Рисунок 3.9 – Зависимость объема просадки торфов при льдистости торфов 30 %

40%

T	t	T'	t'	V2
5	11	5,092	9,52	17621,4
15	30	15,21	25,65	18359,7
20	31	20,082	25,47	27009,0
10	31	10,382	27,77	9453,6
3	10	3,13	9,01	16646,6

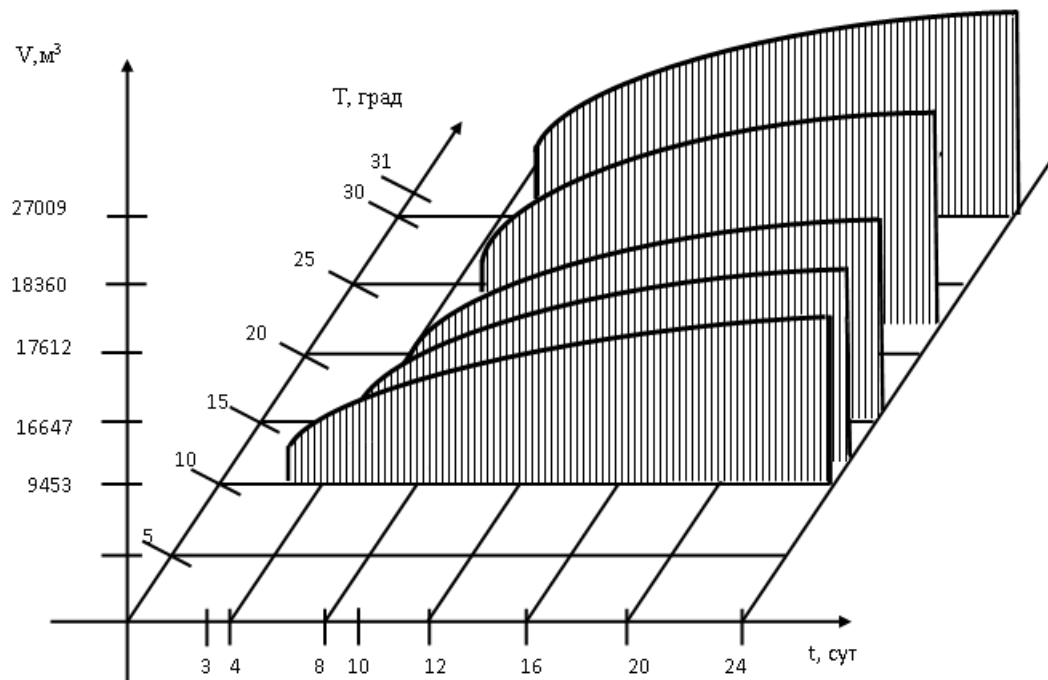


Рисунок 3.10 – Зависимость объема просадки торфов при льдистости торфов 40 %

50%

T	t	T'	t'	V3
5	11	7,99	8,9	687,0
15	30	23,1	23,85	382,4
20	31	28,19	23,25	727,5
3	10	5,78	8,57	818,9

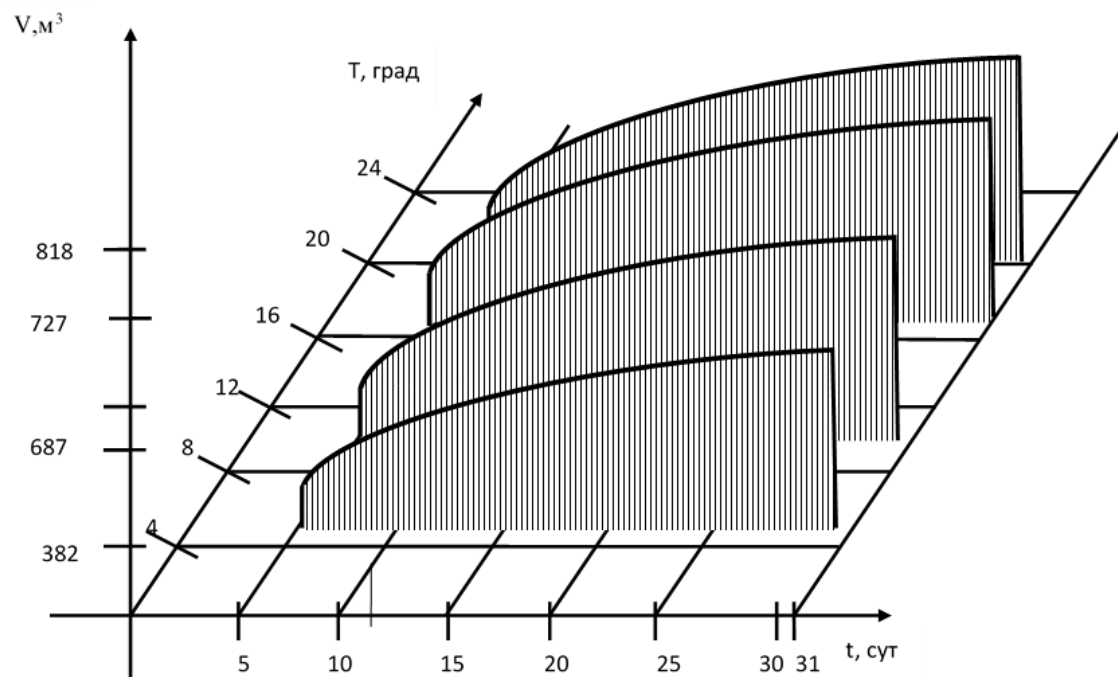


Рисунок 3.11 – Зависимость объема просадки торфов при льдистости торфов 50 %

Используя зависимости (3.22-3.32) была проверена адекватность уравнения (3.21). Сравнительные расчеты глубины просадки торфов представлены в табл. 3.2. По данным мерзлотной службы карьера, теплопроводность торфов составила 2,1 Вт/м·град, объемная теплоемкость торфов - 350 Вт, ч/м³.

Таблица 3.2 - Погрешности подсчета глубины просадки торфов

Показатели				
Продолжительность наблюдения, сут.	Температура воздуха, град.	Льдистость торфов, %	Эмпирическое значение глубины просадки, Н _{ос} , м	Теоретическое значение глубины просадки, Н _{ос} , м (ф-ла 3.15)
1	2	3	4	5
10	5	60	0,26	0,28
30	15	60	1,9	2,0
3	20	60	0,22	0,27
11	5	50	0,07	0,09
30	15	50	0,58	0,8
31	20	50	0,79	0,9
31	10	50	0,4	0,51
10	3	50	0,04	0,63
11	5	40	0,04	0,08
30	15	40	0,3	0,49
31	20	40	0,42	0,45
31	10	40	0,21	0,3
10	3	40	0,02	0,09
31	20	30	0,27	0,44
31	10	30	0,13	0,41
10	3	30	0,013	0,048

Незначительное расхождение результатов промышленного эксперимента и теоретических значений, полученных по формуле (3.22), указывает на высокую связь исследуемых параметров. Для оперативного расчета глубины просадки торфов, используя полученные зависимости, разработана номограмма (рис.3.12).

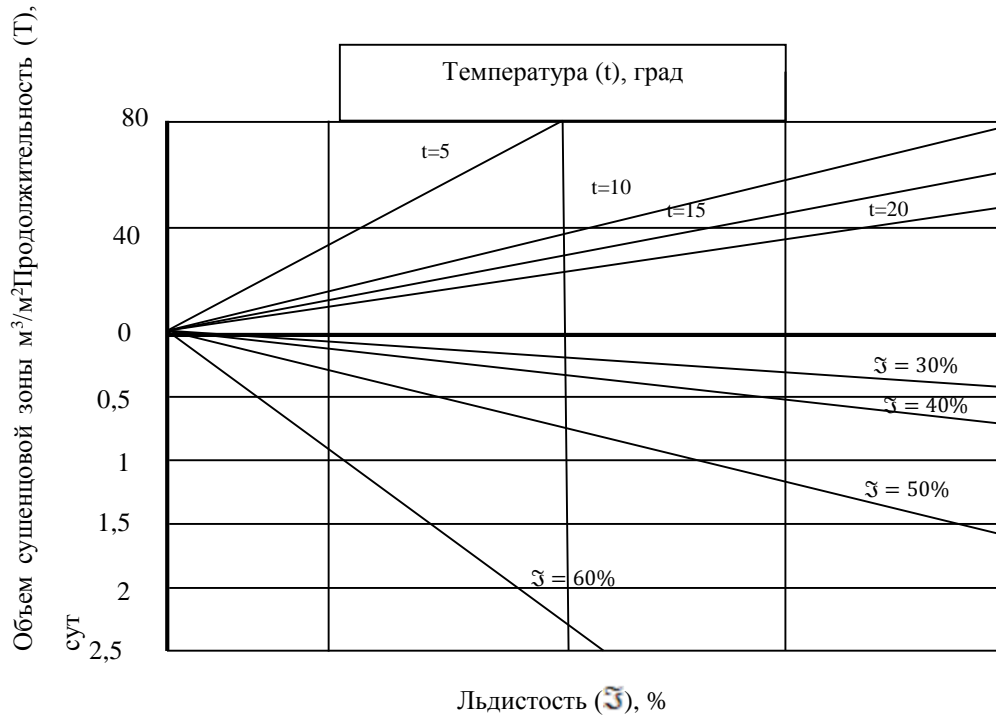


Рисунок 3.12 - Номограмма для определения объема искусственной сушенцовой вскрыши

Несмотря на многообразие применяемых технологических схем вскрышных работ при разработке сушенцовой вскрыши в зимний период эффективных способов и схем вскрышных работ нет. Признаками, позволяющими классифицировать технологические схемы добычных работ, являются места расположения приемных бункеров на приборостоянке и их местоположение относительно полигона. Аналогичный признак можно использовать и на вскрышных работах при выемке сушенцов, если породы за пределы полигона транспортировать конвейером. Тогда приемный бункер-питатель будет служить поворотным пунктом при производстве вскрыши торфов. В предлагаемых технологических схемах приемный бункер-питатель главного конвейера служит нулевой отметкой для расчета среднего расстояния транспортирования (рис.3.12).

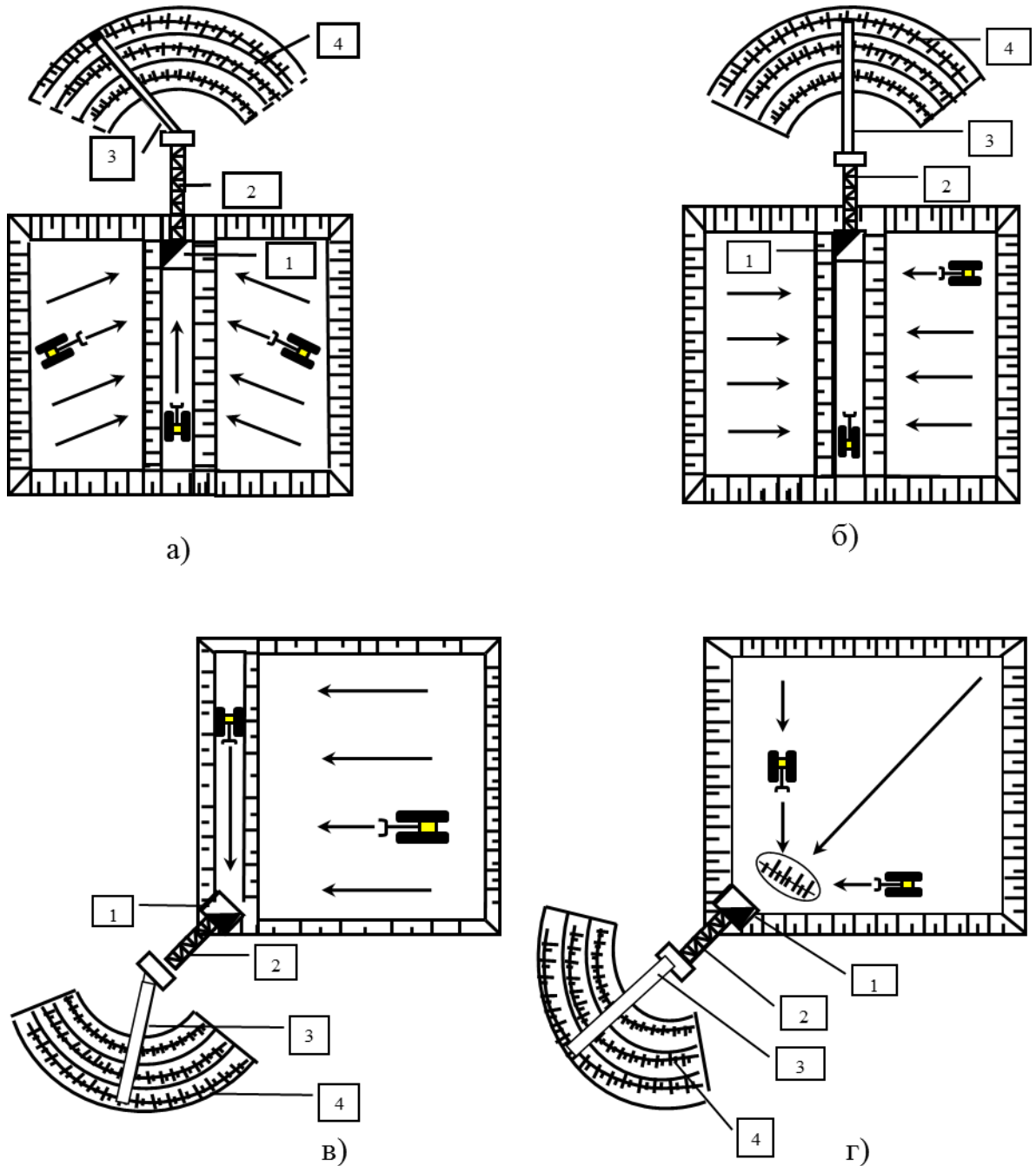


Рисунок 3.12 – Технологические схемы сушенцовый вскрыши при бульдозерной работе торфов с использованием ленточных конвейеров (1-приемный бункер-питатель; 2- ленточный конвейер; 3- стакер; 4- отвалы торфов):

- а – при расположении аккумулирующей траншеи в центре полигона и использовании диагональной системы разработки (по В.И Емельянову);
- б – при расположении аккумулирующей траншеи в центре полигона и использовании параллельной системы разработки (по В.И Емельянову);
- в – при расположении аккумулирующей траншеи по контуру полигона;
- г – сушенцовый вскрыши при веерной системе разработки.

Длина участка, где расположен бункер-питатель по условиям бесперебойной и ритмичной работы установки должна быть не менее 30 метров. Расстояние между бульдозером по правилам безопасности не должно быть менее 15 метров. В бункера питатель торфа подаются тяжелым бульдозером, расположенном в аккумулирующей траншее, а затем исходный материал поступает на главный ленточный конвейер (рис.3.12, а, б, в-параллельная и диагональная система добычных работ, предложенная В.И. Емельяновым). Кроме того, эти схемы позволяют компенсировать поперечный уклон на увальных или террасовых россыпях.

В схеме (рис.3.12, г) бункер-питатель расположен в углу полигона и разработка торфов ведется по веерной системе (по С.М. Шорохову). При заполнении емкости отвалов, либо наращивают звенья стакера (3), либо производится планировка отвалов.

При определении нормы выработки бульдозера, который осуществляет подачу исходного материала в бункер питатель, принято максимальное для таких работ расстояние транспортировки – 80 метров. Необходимо учитывать, что при совместном использовании комплекса оборудования циклического и непрерывного действия производительность машин циклического действия-бульдозеров (для обеспечения ритмичной работы) должна как минимум в 1,5 раза превышать производительность машин непрерывного действия - конвейеров. Использование предлагаемых технологических схем с применением аккумулирующих траншей позволяет обеспечить это условие. Применение технологических схем сушенцовый вскрыши с конвейерной разгрузкой породы по бортам россыпи, позволяет исключить разработку дополнительных объемов торфов откосов, за счет разноса бортов полигона, с уклоном, допустимым для выезда бульдозеров. Эффективное использование предложенных схем требует при подготовке искусственных сушенцов добиваться критической влажности пород – 3,5 %. Определяющее влияние на величину мощности торфов оказывает емкость отвала, образованного вращающимся отвалообразователем. При

предварительной выкладке торфов на борт полигона позволяет повысить высоту установки вращающегося отвального стакера. Определяющее влияние на величину мощности торфов оказывает емкость отвала, образованного вращающимся отвалообразователем. Предварительная укладка торфов на борт полигона позволяет повысить высоту установки вращающегося отвального стакера. При мощности торфов до 6 м. бункер - питатель на первом этапе устанавливается на отметке, равной половине мощности, разрабатываемого пласта торфов. Затем обрабатывается нижняя часть торфов.

Подготовка искусственной сушенцовый вскрыши открывает уникальную возможность вовлечения части сушенцов, в основном в вертикальной плоскости, в активную разработку и последующую промывку. Учитывая интенсивную оттайку и принудительный отвод фильтрующей жидкости из массива торфов, в сушенцовом пласте концентрируется металл вертикальной плоскости. Поэтому разработку части пласта сушенцов можно производить без ухудшения ТЭП предприятия. При существующих классических методах подсчета, запасы полезного компонента, по разведанным объектам приводятся в виде одного числа. Точечные оценки даются геологами без упоминания об их дисперсии, точности и погрешности подсчитанных запасов. Геологи не могут сказать, как точно рассматриваемые запасы характеризуют значение истинных реальных запасов, каковы между ними расхождения, представляя полученные разведочные данные как математическое ожидание запасов[64].

При существующих методах подсчета запасов, они будут подчиняться нормальному или асимптотически нормальному закону распределения, а, следовательно, и погрешность при подсчете запасов также имеет нормальное или асимптотически нормальное распределение (Крамер, 1948). Погрешность геологических исходных данных, используемых при проектировании разработки россыпных месторождений, зависит от сложности россыпи, рельефа местности, детальности разведки и погрешностей моделирования геологических условий. В связи с этим вовлечение части торфов в виде сушенцов требует разработки методики планирования годового намыва металла.

3.4 Выводы

Проведенные исследования показали, что при снятии поверхностного теплоизолирующего слоя происходит протаивания торфов. Это обстоятельство позволило реализовать идею создания искусственных сушенцовых зон с минимальными затратами на вскрышные работы. В теплый период года основной целью является увеличение теплового потока в породы, а тем самым и величины просадки торфов. Это достигается за счет уборки поверхностного теплоизолирующего слоя и перераспределения тепла, приходящего в торфа и уходящего в атмосферу.

Образование высоких градиентов потенциала почвенной влаги в поверхностном слое приводит к формированию напряженного состояния в контактном слое между уже талой и мерзлой породой, что вызывает развитие зон микротрещиноватости. Последнее обуславливает более интенсивное проникновение воды в породу по трещинам и распространение расклинивающего давления. Главным условием для интенсивной просадки торфов в этом случае является эффективный отвод оттаявшей воды. Подобное явление обеспечивает интенсивную оттайку мерзлой породы при накоплении талого слоя, результатом чего, и является большой объем просадки торфов и образования искусственной сушенцовой вскрыши.

Важнейшей теплофизической характеристикой влагосодержащих пород для стационарного процесса является теплота фазовых переходов лед-вода в единице объема.

При определении величины сушенцовой зоны возникает необходимость произвести общую оценку энергетических затрат, складывающихся из плавления льда и нагревания породы от начальной отрицательной температуры до конечной положительной. В связи с этим основными факторами, определяющими объем сушенцов, являются температура воздуха, продолжительность водно-тепловой мелиорации, льдистость торфов. Выявленные закономерности движе-

ния границы раздела фаз в зависимости от краевых условий позволили установить математическую модель для определения величины просадки торфов в зависимости от скорости движения границы раздела фаз в условиях взаимодействия их температурных полей.

Так по результатам наблюдений за изменением объемов искусственных сушенцов установлено, что увеличение льдистости с 30 до 50 % приводит к росту мощности протаивания торфов от 2 до 4,6 м на кв. м. площади (табл. 1).

В период промышленных экспериментов был разработан и реализован фильтрационно-дренажный способ оттаивания массива торфов с интенсивным принудительным водоотведением. Расстояние между распределительными и дренажной канавами определялось по установленной нами зависимости (2.19). Где глубина торфов не превышала 6 м., глубина заложения канав находилась в пределах 2-3 м. В зависимости от расположения тальвега россыпи изменялось расположение зумпфа землесоса (рис. 3.4 - 3.7). Предложенная схема подготовки искусственных сушенцовых полей, позволяет избежать проходки дополнительных распределительных и оросительных канав, и, что ещё важнее, обеспечить ускоренное удаление оттаявшей воды за пределы блока. В зависимости от мерзлотно-гидрогеологических условий участков, подготавливаемых сушенцов и при льдистости более 50 %, применялись технологические схемы оттаивания с интенсивным отведением инфильтрующейся воды с поверхности полигона (рис. 3.5 - 3.7). Причем схемы с использованием поглощающих скважин (рис. 3.7) применялись при мощности торфов более 6 м. Питание осуществлялось через дно и стенки оросительных (инфильтрационных) и распределительных канав глубиной около 1 м, а дренирование горизонтальной канавой (3) глубиной до 3 м с отводом воды из нее низконапорной насосной установкой (рис. 3.4). При мощности торфов 6 – 8 м (рис. 3.7) питание осуществлялось через поглощающие буровые скважины (3), расположенные в ряд и дренирование через буровые скважины (1) или колодцы. В технологической схеме, представленной на рис. 3.6, питание осуществляли через дно и стенки распределительной канавы (5) с подачей в нее дополнительного объема воды из пруда-отстойника (3).

Дренаж осуществлялся через горизонтальную канаву глубиной 3 м. При глубине оттаивания значительно превышающей расстояние между дренами, заложение последних необходимо принимать не менее 3–х метров при глубине торфов до 6 метров.

При подготовке искусственных сушенцов на россыпных месторождениях основным видом дренажных выработок являются горизонтальные дрены. При глубине оттаивания, значительно превышающей расстояние между дренами, заложение последних должно быть не менее 3–х метров при глубине торфов до 6 метров.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ СУШЕНЦОВОЙ ВСКРЫШИ НА ДИНАМИКУ ГОДОВОГО НАМЫВА МЕТАЛЛА

4.1 Обоснование параметров теоретического намывочного коэффициента с учетом объемов подготовленных искусственных сушенцов

При вовлечении в разработку части сушенцов, находящихся в вертикальной плоскости над запасами, возникает необходимость в более точном планировании годового намыва металла, вследствие резкого изменения объема разрабатываемых песков и содержания металла в них.

Объем геологических запасов песков, подлежащих отработке в планируемом году, определится по формуле (в м³) [62],

$$P_{Г} = A_{г} / \varepsilon, \quad (4.1)$$

где $A_{г}$ – годовой объем промываемых песков, м³/год;

ε – коэффициент изменения объема песков, вследствие разубоживания за счет искусственных сушенцов, доли ед.

Дополнительный объем будет складываться из объемов сушенцов, оставленных в вертикальной плоскости над пластом.

Тогда годовой объем вскрыши с учетом вовлекаемых вертикальных запасов сушенцов составит

$$V_{с} = V_{Т} - V_{пр}, \quad (4.2)$$

где $V_{Т}$ – общий объем торфов, подлежащих уборке;

$V_{пр}$ – объем просадки торфов, тогда с учетом (3.22) объем торфов просадки составит

$$V_{пр} = H_{пр} \cdot S_{бл} = \left(\sqrt{\frac{2\lambda m \cdot T \cdot t}{Q_1 + \left(\frac{Cm \cdot T}{2}\right)}} + S_0^2 - S_0 \right) \cdot (1 - q_{л}) \cdot S_{бл}, \quad (4.3)$$

Отсюда общий объем вскрыши с учетом вовлекаемых вертикальных запасов сушенцов составит

$$V_1 = V_{с} \cdot \delta, \quad (4.4)$$

где δ – коэффициент вскрыши, м³/м³.

Но в объеме V_1 не отражен объем верхнего теплоизолирующего слоя и необходимое опережение вскрышных работ. Тогда в общем виде вскрышные работы могут быть представлены в виде баланса

$$V' = V_1 - K_1 \cdot V_{\text{пр}} + K_2 \cdot V_2 + V_3, \quad (4.5)$$

где V_1, V_2 – соответственно объем вскрышных работ, подлежащих погашению за счет добычи песков текущего года и за счет добычи последующего года, м³;

K_1, K_2 – соответственно коэффициенты опережения вскрышных работ, выполненных за предыдущий год и в текущем году;

V_3 – объем вскрышных работ, связанных со снятием поверхностного теплоизолирующего слоя, м³.

Полученные результаты промышленных экспериментов позволили сделать очень важный вывод: опережение вскрышных работ должно быть всегда больше объема, определяемого излишней мощностью торфов, которая не может быть отработана в блоке в год добычи песков по годовому понижению.

Это опережение является теоретическим и наименьшим допустимым, поскольку для его соблюдения необходимо начать вскрышные работы одновременно во всех блоках. Из этих положений наименьший коэффициент опережения при мощности россыпи, превышающей выемку годового понижения, по С.М. Шорохову, определяется уравнением [127]

$$K = 1 - (H_e - P) / T, \quad (4.6)$$

где H – среднегодовое понижение забоя, м;

P – мощность пласта песков, м;

T – мощность торфов, м.

При выделении искусственных сушенцов в вертикальной плоскости производится оценка экономической эффективности вариантов с учетом показателей качества песков и устанавливается экономически целесообразная мощность сушенцов, оставляемая над запасами (H'). Используя полученные

зависимости просадки торфов, возможная мощность пласта сушенцов определится по уравнению (в м)

$$H' = H - H_{oc}. \quad (4.7)$$

Тогда коэффициент опережения вскрышных работ можно записать в виде

$$K = 1 - (H_c - P) / H'. \quad (4.8)$$

В действительности добычу песков в отдельных блоках производят в определенной последовательности по мере их отработки. Поэтому и вскрышные работы в блоках начинают через определенные промежутки времени, соответствующие продолжительности добычи песков на отдельных блоках. Этим обеспечивают не только равномерную добычу, но и равномерную вскрышу, что позволяет провести эти работы меньшим оборудованием. Исходя из этого, коэффициент опережения предлагается определять по формуле

$$K_o = (H' - P) / T. \quad (4.9)$$

Объем V_3 должен производиться на площади равной (в m^2)

$$S = V_3' / H'. \quad (4.10)$$

Поверхностный теплоизолирующий слой, как правило, находится в пределах 0,5 - 1,0 м [62, 88]. Тогда, объем V_3 составит (в m^3)

$$V_3 = (0,5 \div 1) \cdot S. \quad (4.11)$$

Вовлечение в разработку сушенцового пласта потребовало более точного планирования годового намыва металла.

Плановый годовой намыв металла определяется исходя из количества металла, находящегося на подготавливаемом участке полигона по данным геологоразведки и среднего намывочного коэффициента за предыдущие годы отработки [62] (в г)

$$M_2 = C_{cp} \cdot A_d \cdot v_{cp}, \quad (4.12)$$

где A_d – годовой объем промываемых песков, $m^3/год$;

C_{cp} – среднее содержание металла в промышленном контуре россыпи, $г/м^3$;

v_{cp} – средний намывочный коэффициент за предыдущие годы отработки, доли ед.

Теоретически величину намывочного коэффициента, используя выявленные закономерности (глава 3), можно выразить следующим образом

$$v = \varepsilon \cdot \mu \cdot (\eta + \Delta\gamma_u) / 100, \quad (4.13)$$

где ε – коэффициент изменения объема песков вследствие включения в разработку части сушенцов в вертикальной плоскости запасов, доли ед.;

μ – коэффициент изменения содержания вследствие разубоживания песков сушенцовой вскрышей, доли ед.;

η – извлечение металла при обогащении, %;

$\Delta\gamma_u$ – степень повышения извлечения из недр при выемке песков с включением части сушенцов, %.

На основании многочисленных опробований хвостов отработки песков и анализа отработанных блоков нами установлено, что наиболее точно производить планирование по намыву металла при подготовке сушенцовой вскрыши можно исходя из теоретического намывочного коэффициента [63]

$$M_z = C_{cp} \cdot A_d \cdot \varepsilon \cdot \mu \cdot (\eta + \Delta\gamma_u) / 100, \quad (4.14)$$

Выражение (4.12) позволяет учитывать изменение объема и содержания металла исходя из принятой технологии подготовки сушенцов и снижения объемов вскрыши вследствие просадки торфов.

Исходя из нормального баланса вскрышных работ (см. ф-лу 4.3), строится график. Для этого определяют объемы вскрыши с учетом глубины просадки торфов, а также площадь, где необходимо произвести снятие поверхностного теплоизолирующего слоя. Устанавливаются теоретические значения объемов просадки торфов (табл. 4.1) и строится календарный план вскрышных работ с учетом сушенцовой зоны (табл. 4.2).

Апробация данной методики производилась на карьере ОАО «Селигдар» (приложение 3).

Таблица 4.1 – Результаты наблюдения за просадкой торфов

№ блока	Продолжительность наблюдений, t,сут.	Средняя температура воздуха, T, град.	Льдистость торфов, г _л , %	Площадь блока, S _б , м ²	Объем просадки торфов за месяц, V _{ос} , м ³ /м ²	Глубина просадки торфов, Н _{ос} , м ³ / м ²	
						С учетом просадки торфов	Без учета просадки торфов
1	2	3	4	5	6	7	8
С-16	110	+15	45	22500	2,5	5,5	8
С -18	115	+12	50	21000	2,2	5,5	8
С -12	105	+14	30	20000	1,2	6,3	7,5

Таблица 4.2 – Календарный план вскрышных работ с учетом просадки торфов

Наименование процес- сов	№ блока	Год выполнения работ																			
		1-год					2-год					3-год					4-год				
		месяц																			
		5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
Снятие поверхност- ного теплоизолирую- щего слоя	C ₁ -20	V _c =12350м ³																			
	C ₁ -22						V _c =11600м ³														
Просадка торфов под воздействием водно- тепловой мелиорации	C ₁ -20	V _{oc} =57350м ³																			
	C ₁ -22						V _{oc} =57350м ³														
Объем сушенцовый вскрыши	C ₁ -18	V _B =13150м ³																			
	C ₁ -20						V _B =124850м ³														
	C ₁ -22											V _B =122900м ³									
Добыча песков	C ₁ -18																				
	C ₁ -20						A _д =106100м ³														
	C ₁ -22											A _д =121000м ³									

4.2 Условия применения способов подготовки искусственных сушенцов

При оценке различных способов оттайки торфов при подготовке искусственных сушенцов учитывается содержание глинистых частиц в массиве россыпи, которое обуславливает скорость фильтрации воды-теплоносителя. Преимущественное значение в изменении фильтрационной способности грунтов имеет слой рыхлосвязной воды или диффузный слой глинистых частиц, который и определяет возможность подготовки сушенцов. Образование диффузного слоя в значительной степени обусловлено гидратацией глинистых частиц у их поверхности в результате поверхностной диссоциации глинистых минералов в водной среде [70]. Критерием диссоциации глинистых минералов является активность (А) или активная концентрация обменных катионов в воде в конкретных условиях глина – вода – ионы [36]. Степень поверхностной диссоциации (α) глинистых минералов показывает отношение активности обменных катионов к общему их количеству на поверхности глинистых минералов, т.е. к емкости обмена (Е).

Следовательно, $A = \alpha \cdot E$. Чем больше концентрация катионов в воде, тем значительнее диффузный слой и тем меньше фильтрация в грунтах. Анализ эффективности способов оттайки торфов показывает, что снижение фильтрации в породах вызывает необходимость применения способов более сложных в технологическом и организационном отношении, например, с помощью бурения поглощающих скважин.

Коэффициент фильтрации связан с проницаемостью пород соотношением [36]

$$K_{\text{ф}} = K_{\text{п}} \cdot \frac{\gamma}{\mu}, \quad (4.15)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент проницаемости, мкм²;

γ, μ – плотность и вязкость фильтрующей жидкости.

Коэффициент проницаемости, в свою очередь, определяется из выражения

$$K_{\Pi} = d_3^2 \cdot S1(n_o \cdot \varepsilon), \quad (4.16)$$

где K_{Π} – коэффициент проницаемости, мкм²;

d_3 – эффективный диаметр частиц, слагающих пористую среду, мкм;

$S1$ – безразмерный коэффициент (число Слихтера), зависящий от пористости породы и структуры пористого пространства.

Пористость n является основным параметром, определяющим число Слихтера и коэффициент проницаемости в целом. Число Слихтера зависит и от структуры порового пространства, характеризуемой безразмерным параметром. Этот параметр, в свою очередь, зависит от формы слагающих породу частиц и от так называемого «коэффициента извилистости», под которым понимается отношение кратчайшего расстояния между двумя точками в направлении потока к длине извилистого пути фильтрующейся жидкости через поровые каналы. Следовательно, коэффициент фильтрации является комплексным параметром, отражающим как свойства породы (через коэффициент проницаемости K_{Π}), так и свойства фильтрующейся жидкости (через ее плотность и вязкость).

Закономерность изменения коэффициента фильтрации от содержания глины в торфах (рис. 4.1) может служить основанием для определения необходимой продолжительности контакта АРР с торфами. Анализ рис. 4.1 показывает, что при уменьшении коэффициента фильтрации от 0,4 до 0,2 м/сут содержание глины в песках увеличивается до 15%, а коэффициент проницаемости уменьшается до 0,34 мкм². С учетом этого очевидно, что при $K_{\phi} < 0,4$ м/сут необходимо использовать предварительную фильтрацию через массив россыпи активированного раствора реагента, позволяющую увеличить проницаемость пород, эффективную оттайку и подготовку сушенцовых зон.

В соответствии с коэффициентом фильтрации, содержанием глинистых минералов в торфах и мощностью обрабатываемых песков все способы подготовки искусственных сушенцов по условиям применения предлагается регламентировать по продолжительности фильтрации АРР в подготавливаемых

торфах (табл. 4.3). Коэффициент фильтрации K_{ϕ} учитывает содержание глинистых частиц в массиве россыпи и, что самое главное, через коэффициент проницаемости - величину диффузного слоя. Вследствие этого показатель K_{ϕ} дает возможность объективно оценивать массив россыпи по трудности его оттайки и может быть принят в качестве отличительного признака. Поскольку каждому интервалу значений K_{ϕ} соответствует свой способ оттайки россыпи, определяющий основные параметры технологии подготовки искусственных сушенцов, то предлагаемое регламентирование условий применения может служить основанием для выбора способа. По расчетам коэффициентов фильтрации можно определить продолжительность оттайки полигонов с учетом мощности торфов. Продолжительность фильтрации АРР через массив пород определяется из предпосылки о том, что режим фильтрации стационарный, а градиент потока одинаковый по всей площади полигона (см. раздел 2). Тогда общее время подготовки торфов к зимней разработке составит

$$T_{p.o.} = T_{\phi} + T_o, \quad (4.17)$$

где T_o – продолжительность оттайки массива торфов, сут;

T_{ϕ} – продолжительность фильтрации АРР в массиве россыпи, сут.

Для определения продолжительности оттайки T_o воспользуемся формулой Тейса [95]

$$T_o = \frac{n_o \cdot m}{q_o} \cdot l_n \cdot \frac{Q}{2\pi \cdot g_o} \cdot l_n \cdot \left(1 + \frac{2\pi \cdot g_o}{Q} \cdot l_n\right), \quad (4.18)$$

где n_o – активная пористость породы, м³;

m – коэффициент, определяемый по опытным данным;

q_o – дебит, затрачиваемый на заполнение скважины или восполнение утечки из нее воды-теплоносителя, м³/сут;

Q – расход воды-теплоносителя, м³/сут;

l_n – величина влияния скважины или диаметр распространения воды-теплоносителя, м. Для оперативного расчета параметра T_{ϕ} разработана номограмма (рис. 4.1).

Таблица 4.3– Условия применения технологии подготовки сушенцовых зон в слабопроницаемых торфах

Регион расположения россыпного месторождения	Тип глин по минералогическому составу (крупность-0,074)	Содержание глинистых частиц %	Коэффициент фильтрации воды-теплоносителя, без АРР/с АРР м/сут	Мощность россыпи, м	Продолжительность подготовки искусственной сушенцовой вскрыши при обработке торфов АРР (в сут)	
					Буровые скважины	Фильтрационно-дренажный
Западная Сибирь	Монтмориллонит и гидрослюда	3- 5	0,5/36	до 6	-	20
				6-8	-	35
		5-10	0,5/18	до 6	-	25
				6-8	22	40
		10-15	0,32/10	до 6	25	45
				6-8	30	50
Красноярский край, в том числе:						
Енисейский край	Монтмориллонит, гидрослюда и каолинит	3 - 5	0,5/40	до 6	-	20
				6-8	-	30
		5 - 10	0,48/20	до 6	-	20
				6-8	15	25
		10 - 15	0,3/12	до 6	-	25
				6-8	20	35
Таймырский АО	Монтмориллонит и гидрослюда	3 – 5	0,6/45	до 6	-	40
				6-8	25	50
		5 - 1 0	0,5/25	до 6	-	-

				6-8	-	-
		10 - 15	0,5/15	до 6	-	-
				6-8	-	-
Юг края	Монтморил- лонит, гид- рослюда и ка- олиниты	3 – 5	0,35/20	до 6	-	30
				6-8	-	35
		5 - 10	0,4/15	до 6	15	25
				6-8	10	-
		10 - 15	0,3/10	до 6	20	45
				6-8	15	-
Саха-Якутия	Полимине- ральные глины	3 – 5	0,3/30	до 6	-	30
				6-8	-	35
		5 – 10	0,2/10	до 6	15	25
				6-8	10	-
		10 – 15	0,15/8	до 6	20	45
				6-8	15	-

Примечание: при льдистости торфов более 30% применяются технологические схемы - рис. 3.4-3.7.

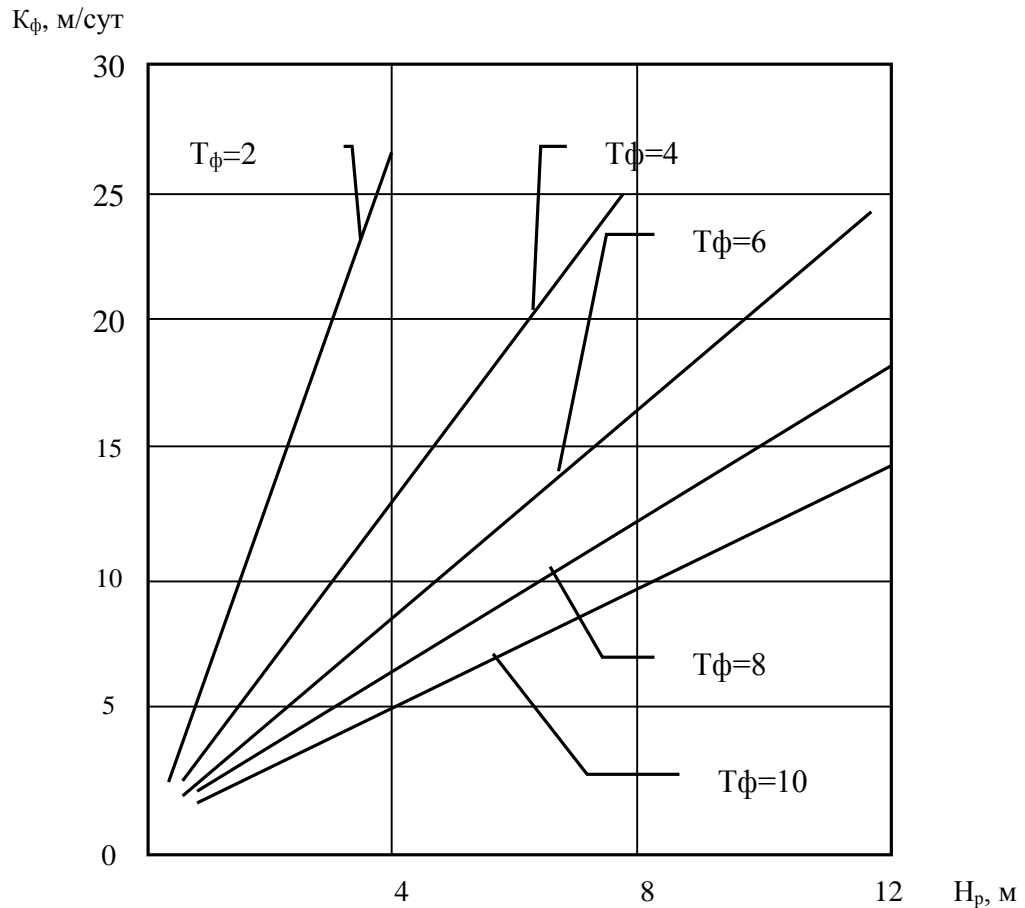


Рисунок 4.1 – Номограмма для расчета продолжительности фильтрации реагента в массиве россыпи T_{ϕ} в зависимости от коэффициента фильтрации K_{ϕ} и мощности россыпи H_r .

Для выбора способа оттайки торфов с применением активированного раствора реагента необходима достоверная информация о распределении глины в массиве россыпи. Исследования, приведенные ранее, показывают, что выбор технологии подготовки искусственных сушенцов зависит от фильтрационной характеристики торфов, а, следовательно, от проницаемости пород и от содержания глины в забое.

Поэтому необходимо знать пространственную изменчивость коэффициента фильтрации [86].

Еще в 1932 году проф. Соболевский П.К. предложил рассматривать месторождение как некоторое геохимическое поле – часть пространства, пред-

ставляющего собой совокупность форм, свойств и процессов, связанных единством генезиса. Любое свойство F геохимического поля можно рассматривать как функцию координат пространства x, y, z и времени t , то есть

$$F = f(x, y, z, t) \quad (4.19)$$

При этом функция (1) однозначна, конечна, непрерывна и плавна.

В дальнейшем под изменчивостью качественных свойств россыпи будем понимать количественные изменения содержания каолинитмонтмориллонитового цемента в россыпи в координатах месторождения.

Любое плоское сечение геохимического поля приводит к системе непесекающихся изолиний, которые представляют собой топографическую поверхность размещения параметров. Среди них различают три рода функций: функции, выражающие реальные поверхности (например, плотика россыпи); функции, выражающие производные от реально существующих поверхностей (изомощности, изоглубины); функции, выражающие реально не существующие поверхности (содержание глины, физических свойств песков). Нас будут интересовать топофункции 3-го рода, которые устанавливаются по средним значениям заданного параметра в определенном объеме россыпи.

Получение математического уравнения топографической поверхности является операцией сглаживания и выделения закономерностей составляющей изменчивости.

В настоящее время для интерполяции качественных свойств месторождений широко используются полиномиальные модели, интерполяционные многочлены, модели, описываемые рядами Фурье, другие методы.

Полиномиальные модели используются для простых условий, когда исследуемые свойства россыпи имеют плавный характер изменения. В случае периодической изменчивости применяют ряды Фурье. Интерполяции на больших отрезках, т.е. с относительно большим количеством узловых точек, при использовании интерполяционных многочленов, имеет дополнительные трудности. С одной стороны, при больших расстояниях между узловыми точками

точность очень мала, а с другой стороны – интерполяционные многочлены высокого порядка на концах отрезка прерываются, что существенно искажает поведение функции. Это становится особенно важным при последующем дифференцировании. Отчасти при решении таких задач оказывает помощь кусочная интерполяция более низкого порядка, которая осуществляется по небольшому количеству узловых точек отрезка и затем многочлены объединяют в общую интерполяционную функцию. При этом в точках стыковки обычно возникает разрыв уже первой производной.

Для получения интерполяционных формул с гладкими производными все возрастающее значение получает сплайн-интерполяция. Разобьем отрезок $[a, b]$ на n частей точками x_i . Пусть $x_i - x_{i-1} = h_i$ ($i=1, 2, \dots, n$). На каждом элементарном отрезке интерполируем под интегральную функцию $f(x)$ с помощью кубического сплайна,

$$f(x) = a_i + b_i(x - x_{i-1}) + c_i(x - x_{i-1})^2 + d_i(x - x_{i-1})^3, \quad (4.20)$$

где $x_{i-1} \leq x \leq x_i$, $i = 1, 2, \dots, n$.

После математических преобразований окончательно получаем систему уравнений для коэффициентов c_i

$$c_1 = 0, \quad c_{n+1} = 0$$

$$h_{i-1} \cdot c_{i-1} + 2 \cdot (h_{i-1} + h_i) \cdot c_i + h_i \cdot c_{i+1} = 3 \cdot \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} - \frac{y_{i-1} - y_{i-2}}{h_{i-1}} \right), \quad (4.21)$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Важно отметить, что дополнение к формуле трапеций, которую дает использование сплайнов, компенсирует погрешность самой формулы трапеции

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n h_i \cdot (y_{i-1} + y_i) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n h_i^3 \cdot (c_{i-1} - c_i), \quad (4.22)$$

На первом этапе решения задачи необходимо представить значение содержания глины в виде дискретно-цифровой модели с соответствующими координатами $M(x, y, c_1, c_2)$. Определяющим фактором при выборе способа обработки пород реагентом будет являться коэффициент фильтрации K_f [86]. Поэтому необходимо трансформировать узлы дискретно-цифровой модели по со-

держанию глины в массиве россыпи в модель, в узлах которой будут находиться значения величины коэффициента фильтрации пород. Для этого воспользуемся уравнением (2. 4)

$$K_{\phi} = \exp[\ln 63,4 - (0,119 \cdot C_{\text{гл}})], \quad (4.23)$$

где $C_{\text{гл}}$ – содержание глинистых минералов крупностью мельче 0,0074 мм,

В результате можно представить характер изменчивости содержания глины в россыпи в виде изометрической модели с целью оптимизации параметров технологии подготовки искусственных сушенцов (выбора способа обработки торфов АРР, его расхода, продолжительности обработки и т.д.).

Для обоснования возможности подготовки искусственных сушенцов изометрическую модель распределения глины в массиве россыпи трансформируют в план разделения массива россыпи согласно регламентированию способов обработки пород АРР и их оттайки (табл.4.3). Затем с учетом размеров россыпи и анизотропии изменчивости показателя фильтрации пород устанавливается общее направление вскрыши торфов и технология подготовки сушенцов.

По величине K_{ϕ} подбирается несколько наиболее приемлемых способов обработки торфов. Затем производится разделение месторождения на участки по способам подготовки. На последнем этапе производится экономическое обоснование целесообразности проведенного разделения [86].

Таким образом, закономерность изменения коэффициента фильтрации от содержания глины в массиве россыпи может служить основанием для определения необходимой продолжительности контакта активированного раствора реагента с торфами и в конечном итоге для реализации технологии подготовки искусственных сушенцов.

По результатам промышленного внедрения технологии подготовки искусственных сушенцов на слабопроницаемых торфах на объектах ОАО «Селигдар» (приложение 3) установлена область применения различных способов обработки пород АРР. Бурение скважин осуществлялось с помощью строи-

тельного ямобура при мощности песков до 6 м, что значительно снижало стоимость работ. Поэтому одним из основных факторов при выборе способа обработки торфов АРР являлась их мощность.

В ходе внедрения результатов исследований диссертационной работы было установлено, что основными факторами, определяющими расстояние между горизонтальными дренами при подготовке искусственных сушенцов, являются содержание глины в грунтах, проницаемость пород, уклон плотика, мощность пород. Достигнутые в ходе промышленных исследований значения критической влажности 3,5%, позволили разрабатывать мерзлые породы даже легкими бульдозерами во время сильных морозов. На участках месторождения, где льдистость пород не удалось понизить ниже 4,5%, была успешно использована тяжелая землеройная техника.

Таким образом, предварительная подготовка пород активированным раствором реагента позволила создать искусственные сушенцовые зоны в грунтах с содержанием глины до 15% и снизить затраты на вскрышу на 20-30%. Ожидаемый экономический эффект составляет 80-120 рублей с каждого кубического метра породы (приложение 3).

4.3 Выводы

Разработанная технология подготовки искусственных сушенцовых зон и снижение объемов вскрыши, вследствие протаивания торфов, позволило в ином аспекте рассмотреть вопрос планирования годового намыва металла.

Установлено, что более точно производить планирование по намыву металла можно исходя из теоретического намывочного коэффициента (ф-ла 4.13).

Разработанная методика планирования годового намыва металла позволяет учитывать изменение объема и содержания металла исходя из принятой технологии подготовки искусственных сушенцов. и снижения объемов вскрыши.

При календарном планировании вскрышных работ (ф-ла 4.14) определяются объемы вскрыши с учетом мощности протаивания торфов, объема искусственных сушенцов, а также площади, где необходимо произвести снятие поверхностного теплоизолирующего слоя. Предложенный коэффициент опережения вскрышных работ, учитывающий величину подготовленных сушенцов, позволяет создать необходимый фронт добычных работ и снизить затраты на вскрышные работы.

Установлено, что основными факторами, определяющими расстояние между горизонтальными дренами при подготовке искусственных сушенцов, являются содержание глины в грунтах, проницаемость пород, уклон плотика, мощность пород.

Коэффициент фильтрации K_{ϕ} учитывает содержание глины в массиве россыпи и, что самое главное, через коэффициент проницаемости - величину диффузного слоя. Вследствие этого показатель K_{ϕ} дает возможность объективно оценивать массив россыпи по трудности его оттайки и может быть принят в качестве отличительного признака. Поскольку каждому интервалу значений K_{ϕ} соответствует свой способ оттайки россыпи, определяющий основные

параметры технологии подготовки искусственных сушенцов, то предлагаемое регламентирование условий применения может служить основанием для выбора способа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований технологии подготовки искусственных сушенцов при бульдозерной разработке россыпей все поставленные задачи решены:

- обобщены теория и практика гидравлического оттаивания пород на основе изучения опыта отечественных и зарубежных компаний, проведен обзор и анализ проблем рационального природопользования;

- обоснована возможность расширения области применения технологии подготовки искусственных сушенцовых зон;

- проведено физическое моделирование проницаемости пород с содержанием глинистого цемента до 15 % после их обработки активированным раствором реагента;

- установлены закономерности движения жидкости в недеформируемой пористой среде, создан аналитический метод расчета скорости фильтрации жидкости после обработки АРР;

- на основе метода конформных преобразований предложена методика расчета параметров технологии подготовки искусственных сушенцов при фильтрационно-дренажном оттаивании и при использовании поглощающих буровых скважин, с учетом уравнений симметричной и осесимметричной одномерной фильтрации в цилиндрических координатах;

- разработана технология подготовки искусственной сушенцовой вскрыши на высокольдистых россыпях на основе фильтрационно-дренажных способов оттаивания с принудительным водоотведением, представлены рекомендации для промышленного применения технологии.

Решение этих задач обеспечило научное обоснование способов управления кинетикой движения фильтрующейся воды-теплоносителя в массиве торфов, обработанных активированным раствором реагента. Совокупность защи-

щаемых научных положений представляют собой научно-обоснованные технологические разработки по созданию искусственной сушенцовый вскрыши, имеющие важное значение для экономики горнодобывающей отрасли.

Основные результаты диссертации сводятся к следующему:

1. В результате проведенных лабораторных и промышленных экспериментов установлено, что обработка торфов активированным раствором реагента позволяет увеличить скорость фильтрации в 2-4 раза. Достигнутый эффект сделал возможным подготовку искусственных сушенцовых зон на торфах с содержанием глины до 15 %.

2. Установлено, что при конформном отображении области приведенного комплексного потенциала одномерной установившейся фильтрации, которая происходит в проницаемом пласте торфов при фильтрации несжимаемого активированного раствора реагента, поток имеет свободную поверхность в форме наклонной плоскости с уклоном, равным уклону плотика. В этом случае пьезометрический уклон является уклоном свободной поверхности плотика.

3. При использовании буровых скважин для оттаивания торфов расчет параметров технологии подготовки искусственных сушенцов необходимо вести по уравнениям осесимметричной одномерной фильтрации в цилиндрических координатах

4. Оттаивание торфов мощностью до 6 метров рекомендуется проводить с помощью наиболее экономичного фильтрационно-дренажного способа. В случае большей мощности торфов (до 8 м) оттаивать их следует с помощью буровых скважин.

5. Основными факторами, определяющими расстояние между скважинами или горизонтальными дренами при подготовке искусственных сушенцов, являются льдистость торфов, содержание глины в россыпи, мощность обрабатываемого и водоносного слоев. Достигнутые в процессе дренирования значения критической влажности 3,5%, позволили разрабатывать мерзлые торфа даже легкими бульдозерами во время сильных морозов. На участках

россыпи, где льдистость торфов не удалось понизить ниже 4,5 %, была успешно использована тяжелая землеройная техника.

6. При равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента всякое изменение напора на границах фильтрационного потока приводит к мгновенному перераспределению напора во всем потоке.

7. Учет ускорения силы тяжести при расчете равномерной неустановившейся фильтрации АРР может иметь практическое значение только для весьма малого начального промежутка времени и, при весьма значительной проницаемости торфов. В остальных же случаях учет сил инерции при подготовке сушенцовых зон практического значения не имеет. Последнее обстоятельство дает возможность рассматривать процесс равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента как совокупность мгновенных установившихся процессов.

8. Проведенные промышленные исследования показали, что при снятии поверхностного теплоизолирующего слоя происходит протаивания торфов. Это обстоятельство позволило реализовать идею создания искусственных сушенцовых зон с минимальными затратами на вскрышные работы. В теплый период года увеличивается тепловой поток в породы, а тем самым, и возрастает величина просадки торфов. Это достигается за счет уборки поверхностного теплоизолирующего слоя и перераспределения тепла, приходящего в торфа и уходящего в атмосферу.

Образование высоких градиентов потенциала почвенной влаги в поверхностном слое приводит к формированию напряженного состояния в контактном слое между уже талой и мерзлой породой, что вызывает развитие зон микро-трещиноватости. Последнее обуславливает более интенсивное проникновение воды в породу по трещинам и распространение расклинивающего давления. Главным условием для интенсивной просадки торфов в этом случае является эффективный отвод оттаявшей воды. Подобное явление обеспечивает интенсивную оттайку мерзлой породы при накоплении талого слоя, результатом

чего, и является большой объем просадки торфов и образования искусственной сушенцовой вскрыши.

Важнейшей теплофизической характеристикой влагосодержащих пород для стационарного процесса является теплота фазовых переходов лед-вода в единице объема.

9. При определении величины сушенцовой зоны возникает необходимость произвести общую оценку энергетических затрат, складывающихся из плавления льда и нагревания породы от начальной отрицательной температуры до конечной положительной. В связи с этим, основными факторами, определяющими объем сушенцов, являются температура воздуха, продолжительность водно-тепловой мелиорации, льдистость торфов. Выявленные закономерности движения границы раздела фаз в зависимости от краевых условий позволили установить математическую модель для определения величины просадки торфов в зависимости от скорости движения границы раздела фаз в условиях взаимодействия их температурных полей.

Так, по результатам наблюдений за изменением объемов искусственных сушенцов установлено, что увеличение льдистости с 30 до 50 % приводит к росту мощности протаивания торфов от 2 до 4,6 м на кв. м. площади (табл.1). В период промышленных экспериментов был разработан и реализован фильтрационно-дренажный способ оттаивания массива торфов с интенсивным принудительным водоотведением. Расстояние между распределительными и дренажной канавами определялось по установленной нами зависимости (2.19). Там, где глубина торфов не превышала 6 м, глубина заложения канав находилась в пределах 2-3 м. В зависимости от расположения тальвега россыпи изменялось расположение зумпфа землесоса (рис. 3.4 - 3.7). Предложенная схема подготовки искусственных сушенцовых полей, позволяет избежать проходки дополнительных распределительных и оросительных канав, и, что ещё важнее, обеспечить ускоренное удаление оттаявшей воды за пределы блока. В зависимости от мерзлотно-гидрогеологических условий участков, подготавливаемых сушенцов и при льдистости более 50 %, применялись технологические схемы

оттаивания с интенсивным отведением инфильтрующейся воды с поверхности полигона (рис.3.5-3.7). Причем схемы с использованием поглощающих скважин (рис. 3.7) применялись при мощности торфов более 6 м. Питание осуществлялось через дно и стенки оросительных (инфильтрационных) и распределительных канав глубиной около 1 м, а дренирование горизонтальной канавой (3) глубиной до 3 м с отводом воды из нее низконапорной насосной установкой (рис. 3.4). При мощности торфов 6 – 8 м (рис. 3.7) питание осуществлялось через поглощающие буровые скважины (3), расположенные в ряд и дренирование через буровые скважины (1) или колодцы. В технологической схеме, представленной на рис. 3.6 питание осуществляли через дно и стенки распределительной канавы (5) с подачей в нее дополнительного объема воды из пруда-отстойника (3). Дренаж осуществлялся через горизонтальную канаву глубиной 3 м. При глубине оттаивания значительно превышающей расстояние между дренами, заложение последних необходимо принимать не менее 3–х метров при глубине торфов до 6 метров.

При подготовке искусственных сушенцов на россыпных месторождениях основным видов дренажных выработок являются горизонтальные дренаи. При глубине оттаивания значительно превышающей расстояние между дренами, заложение последних должно быть не менее 3–х метров при глубине торфов до 6 метров.

10. Разработанная технология подготовки искусственных сушенцовых зон и снижение объемов вскрыши вследствие протаивания торфов позволило в ином аспекте рассмотреть вопрос планирования годового намыва металла.

Установлено, что более точно производить планирование по намыву металла можно исходя из теоретического намывочного коэффициента (ф-ла 4.14).

Разработанная методика планирования годового намыва металла позволяет учитывать изменение объема и содержания металла исходя из принятой технологии подготовки искусственных сушенцов. и снижения объемов вскрыши.

При календарном планировании вскрышных работ (ф-ла 4.3) определяются объемы вскрыши с учетом мощности протаивания торфов, объема искусственных сушенцов, а также площади, где необходимо произвести снятие поверхностного теплоизолирующего слоя. Предложенный коэффициент опережения вскрышных работ, учитывающий величину подготовленных сушенцов, позволяет создать необходимый фронт добычных работ и снизить затраты на вскрышные работы.

Достигнутые в ходе промышленных исследований значения критической влажности 3,5%, позволили разрабатывать мерзлые породы даже легкими бульдозерами во время сильных морозов. На участках месторождения, где льдистость пород не удалось понизить ниже 4,5 %, была успешно использована тяжелая землеройная техника.

Таким образом, предварительная подготовка пород активированным раствором реагента позволила создать искусственные сушенцовые зоны в грунтах с содержанием глины до 15 % и снизить затраты на вскрышу на 20-30 %. Ожидаемый экономический эффект составляет 80 -120 рублей с каждого кубического метра породы (приложение 3).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Морозова Н.В. Создание искусственных сушенцовых зон на основе повышения фильтрационно-дренажного оттаивания//Современные технологии освоения минеральных ресурсов/Сб. материалов 7-ой международной научно-технической конференции, 2009, Ч. 1. – Красноярск: СФУ. - С. 292-296.

2. Морозова Н.В. Параметры технологии подготовки сушенцовых зон в слабопроницаемых породах в условиях одномерной установившейся фильтрации /Егорова Е.Л., Морозов В.Н.// Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 8-ой международной научно-практической конференции 7-9 апреля 2010 г/ Филиал СПГГИ (ТУ) «Воркутинский горный институт». - Воркута, 2010. - С. 100-103.

3. Морозова Н.В. Теоретические основы движения активированного раствора реагента в недеформируемой пористой среде на каолинит-монтмориллонитовом цементе в условиях плановой установившейся фильтрации//Современные технологии освоения минеральных ресурсов. / Сб. материалов 8-ой международной научно-технической конференции, 2010, – Красноярск: СФУ - С.192-196.

4. Морозова Н.В. Регламентирование условий применения способов обработки глинистых торфов активированным раствором реагента при создании сушенцовых зон// Современные технологии освоения минеральных ресурсов/Сб. материалов 8-ой международной научно-технической конференции, 2010, – Красноярск: СФУ. - С. 196-2011.

5. Морозова Н.В. О применении метода конформных преобразований для расчета параметров технологии искусственных сушенцов. // Журнал Сибирского Федерального университета/Техника и технологии. Красноярск: СФУ,- 2010, №3(4). - С. 396-405.

6. Морозова Н.В. К теории подготовки искусственных сушенцов при разработке россыпных месторождений// *Materialy VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania sa nauka I technikami – 2011» Volume 57. Technicznenuki. ^ Przemysl. NaukaIstudif – 104 str.*

7. Морозова Н.В. Построение функции движения активированного раствор реагента в кусочнооднородном пласте торфов постоянной мощности /Коростовенко В.В.//В кн.: Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. № 4 -М.: МГГУ. - С. 43-49.

8.Морозова Н.В. К расчету параметров технологии подготовки искусственных сушенцовых полигонов при разработке россыпных месторождений/Коростовенко В.В.// Технологические науки: теория и практика: материалы междунар.заоч.конф. (г. Чита, май 2012).- С. 124-127

9.Морозова Н.В. Особенности технологии подготовки искусственных сушенцовых полей на высокольдистых россыпях/ Коростовенко В.В.// В кн.: Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. №8 – М: МГГУ. С. 46-52.

10. Морозова Н.В. Классификация способов подготовки искусственных сушенцовых полей /Коростовенко В.В.// *Materialy Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania sa nauka I technikami» Volume 12. Techniczne nauki. ^ Przemysl. Nauka I studif – 73-76 str.*

11. Морозова Н.В. Технология подготовки искусственных сушенцовых зон при разработке многолетнемерзлых грунтов в условиях крайнего Севера// Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции "Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы", 2013. - Апатиты, 6-8 ноября, СПГЭУ.

12. Морозова Н.В. К расчету годового намыва металла при подготовке искусственной сушенцовой вскрыши // В кн.: Горный информационно-аналитический бюллетень, 2013, № 12 -М.: МГГУ.С. 340-343.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агранат Б.А. Приближенные методы вычисления критериев эрозионной активности и выбор оптимальных режимов ультразвуковой технологии //Интенсификация процессов извлечения металлов из руд в ультразвуковом поле: Сб.науч.трудов. М. 1969. С. 17-41.
2. Активизация водных систем электромагнитными и некоторыми другими физическими воздействиями / О.Т. Крылов, В.М. Леонтьев, А.В. Силаков. ВНИТИцентр, 1981. 122 с.
3. Александров И.Л. Дезинтеграция каолинов при гидротранспортировании/ Открытая разработка россыпей: Сб. научных трудов. М.: МГРИ, 1985, вып.3. С. 75-79.
4. Анисимова Н.П. Криогидрогеохимические особенности мерзлой зоны. Новосибирск: Наука, 1981. 153 с.
5. Антоненко Г.К. , Гольдберг В.М. Фильтрационные свойства пород и вязкость растворов в глубоких водоносных горизонтах / Сб. научных трудов. М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1970.
6. Аравин В.И. , Нумеров С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. М.: Изд-во технико-экономической литературы, 1953. 616 с.
7. Арсентьев А.И. Психологические аспекты принятия решения на основе распределения искомого показателя / Проектирование открытой разработки месторождений: Межвузовский научный сб. Л.: ЛГИ, 1986. С. 43-49.
8. Арсентьев А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей. М.: Недра, 1981. 278 с.
9. Арсентьев А.И. Установление уровня риска при определении производительности карьера/ Изв. вузов. Горный журнал. 1975, №12. С. 10-15.
10. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1970. 370 с.
11. Арсентьев А.И. Принятие решений о параметрах карьера. Л.: ЛГИ, 1982. 58 с.
12. Арсентьев А.И., Квитка В.В. Влияние достоверности балансовых запасов на производительную мощность карьера/ Проблемы работы карьера Севера: Межвузовский научн. сб. Л.: ЛГИ, 1968. С. 160-165.
13. А.с. 977401 СССР. Способ нейтрализации оборотных вод / В.Е. Кисляков, Т.С. Потапова, В.Н. Морозов, А.Н. Саваськов. Оpubл. в Б.И. №44, 1982.
14. А.с. 778805 СССР. Диспергатор для дезинтеграции глинистых песков / В.П. Мязин, Т.С. Потапова. Оpubл. в Б.И. № 42, 1980.
15. А.с. 883278 СССР. Способ подготовки мерзлых россыпных месторождений к промывке / В.Е. Кисляков, Т.С. Потапова. Оpubл. в Б.И. № 43, 1981.
16. А.с. 934011 СССР. Способ подготовки глинистых россыпных месторождений к промывке / В.Е. Кисляков, Т.С. Потапова, А.В. Поляков, В.П. Мязин. Оpubл. в Б.И. № 21, 1982.

17. А.с. 691566 СССР. Способ подготовки грунта к разработке / В.П. Мязин, А.С. Кустов, Т.С. Потапова, А.В. Поляков. Опубл. в Б.И. №38, 1979.
18. Березин В.П., Лешков В.Г., Мацуев Л.П. Справочник по разработке россыпей. М.: Недра, 1973.
19. Блох Л.С. Практическая номография. М.: Высшая школа, 1971.
20. Богатов А.А., Мамонтов Л.Н. Усовершенствование дезинтеграции каолинсодержащих песков россыпных месторождений/ Цветная металлургия. 1968, № 6. С. 16-17.
21. Богуславский Э.И., Гольдтман В.Г. Оттаивание горных пород при разработке россыпных месторождений. Ленинград: ЛГИ, 1979.
22. Браунли К. Статистическая теория и методология в науке и технике. М.: Наука, 1977.
23. Бродская А.Г. Сжимаемость мерзлых грунтов. М.: изд-во АН СССР, 1962. 83 с.
24. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1986. 544 с.
25. Букринский В.А. Практический курс геометрии недр. М.: Недра, 1965. 260 с.
26. Варийчук М.И., Натоцинский В.И. Оптимизация параметров открытой разработки россыпей. М.: Недра, 1985. 187 с.
27. Васильев И.С. Закономерности сезонного протаивания грунтов в Восточной Якутии. Новосибирск: Изд-во Наука, 1982. 133 с.
28. Волкова В.М. Повышение эффективности дражной разработки глинистых россыпей на основе совершенствования схем водоснабжения и реагентной обработки полигонов: автореф. дис канд. тех. наук. М., 1987. 19 с.
29. Вотяков И.Н. Физико-механические свойства многолетнемерзлых грунтов Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 63 с.
30. Вотяков И.Н. Физико-механические свойства мерзлых и оттаивающих грунтов Якутии. Новосибирск: Наука, 1975. 176 с.
31. Гаврилова М.К. Климат и многолетнее промерзание горных пород. Новосибирск: Изд-во Наука, 1978. 213 с.
32. Гаврилова М.К. Современный климат и вечная мерзлота на континентах. Новосибирск: Изд-во Наука, 1981. 112 с.
33. Гидравлическое оттаивание мерзлых пород/ В.Г. Гольдтман, В.В. Знаменский, С.Д. Чистопольский. Труды ВНИИ-1, 1970, т. XXX. 440 с.
34. Глинистые породы и их свойства/ В.Н. Соколов. М.: МГУ. Науки о земле, 2000.
35. Гидромеханические работы на месторождениях со сложными условиями разработки / Н.И. Бабичев, О.П. Кравченко, Ю.М. Найденко. – М.: Цветметинформация, 1972. 97 с.
36. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. М., 1986.

37. ГОСТ 1418-80 /СТ. СЭВ 899-78 / . Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения содержания влаги. – Взамен ГОСТ 14180-69; Введ.01.07.80. Срок действия до 01.07.85. - 17 с.

38. Григорьев Н.Ф. Многолетнемерзлые породы приморской зоны Якутии. М.: Изд-во Наука, 1966. 180 с.

39. Гусев А.А. Некоторые вопросы моделирования воспроизводства окружающей среды / Экономические проблемы оптимизации природопользования. М.: Недра, 1973. С. 60-73.

40. Гурьянов И.Е. Инженерная криолитология: прочность вечномерзлых грунтов. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 139 с.

41. Гедройц К.К. Вопросы минералогии глин //Сб. научн. трудов. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. 232 с.

42. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. М., 1973.375 с.

43. Давиденко Н.М. Связь россыпей и коренной золотоносности криолитозоны. Якутск: ИМЗСОАН СССР, 1987. 172 с.

44. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Новые свойства жидкостей. М.: Недра, 1972. 203 с.

45. Емельянов В.И. Технология бульдозерной разработки вечномерзлых россыпей. М.: Недра, 1976. 287 с.

46. Емельянов В.И. Открытая разработка россыпных месторождений. М.: Недра, 1985. 175 с.

47. Емельянов В.И. Техника и технология подготовки многолетнемерзлых пород к выемке. М.: Недра, 1978.

48. Зарайский В.Н., Стрельцов В.Н. Рациональное использование и охрана недр на горнодобывающих предприятиях. М.: Недра, 1987. 293 с.

49. Золотоносные провинции Центральной Сибири: геология, минерагения и перспективы освоения. Красноярск, КНИИГиМС. 2004, 58 с.

50. Захаров Ю.А. О способах предварительной подготовки плотных глин к гидросмыву/ Гидромеханизированная разработка вскрыши на разрезах Кузбасса: Сб. научн. трудов. Новосибирск, 1971. С. 17-23.

51. Золотоносные коры выветривания Сибири. Красноярск, КНИИГиМС. 2002, 116 с.

52. Иванов Н.С., Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства мерзлых горных пород. Справочное пособие. М.: Изд-во Наука, 1965.

53. Иванов Н.С. Тепло- и массоперенос в мерзлых горных породах. М.: Наука, 1969. 240 с.

54. Иванов Н.С. Моделирование тепловых процессов в горных породах. М.: Наука, 1972. 138 с.

55. Использование коагулянтов и флокулянтов для повышения извлечения мелких зерен ценного компонента при разработке глинистых россыпей /В.П. Небера и др./ Колыма. 1983. № 7. С. 23-25.

56. Кабакова Т.С. К вопросу подготовки глинистых россыпей при дражной разработке/ Колыма. 1968. №8. С. 10-13.

57. Кабакова Т.С. Пути повышения эффективности разработки глинистых россыпных месторождений/ Разработка россыпных месторождений: Сб. науч. труд. Магадан: ЦНТО. 1969.
58. Квитка В.В., Арсентьев А.И. Минимизация интегрального критерия риска при выборе производительности карьера/ Проектирование открытой и подводной разработки месторождений: Межвузовский сб. науч. тр. Л.: ЛГИ. 1982. С. 39-41.
59. Коган И.П., Фаерштейн. Аналитический метод выбора разработки месторождений применительно к условиям Магаданской области//Колыма. – 1961, № 3. С. 3-8.
60. Коган И.П. Интервальные оценки запасов полезных ископаемых. М.: Недра, 1972. 141 с.
61. Константинов Г.П., Бондарь А.П. Влияние достоверности геологических данных на надежность определенных границ карьеров/ Изв. вузов. Горный журнал. 1974. № 8. С. 3-8.
62. Коростовенко В.В., Морозова Н.В.[и др.]. Построение функции движения активированного раствора реагента в кусочнооднородном пласте торфов постоянной мощности/ В кн.: Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. № 4. М.: МГГУ. С. 36-42.
63. Коростовенко В.В., Морозова Н.В.[и др.]. Особенности технологии подготовки искусственных сушенцовых полей на высокольдистых россыпях/ В кн.: Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 8. М.: МГГУ. С. 46-52.
64. Коростовенко В.В., Морозова Н.В. К расчету параметров технологии подготовки искусственных сушенцовых полигонов при разработке россыпных месторождений/Технологические науки: теория и практика: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Чита, апрель 2012 г.). Чита: Изд. Молодой ученый. 2012. С. 124-127.
65. Крейтер В.М. Основные принципы классификации и подсчета полезных ископаемых. М.: Недра, 1937. С. 47–61.
66. Критерии оценки интенсивности ультразвуковой кавитации / Агранат Б. А., Башкиров В.Н./ Докл. АН СССР. Т. 197.1984. №4. С. 821-835.
67. Кузник И.А., Луконов Е.И., Пилипенко В.Я. Гидрология и гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 280 с.
68. Кудряшев В.А., Потемкин С.В. Основы проектирования разработки россыпных месторождений. М.: Недра, 1988. 199 с.
69. Кульский Л.А. Основы физико-химических методов обработки воды. М.: Наука, 1863.
70. Кульчицкий Л.И., Усъяров О.Г. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород. М.: Недра, 1981.
71. Кульчицкий Л.И., Гольдберг В.М. Влияние минерализации воды на фильтрационные свойства песчанно-глинистых пород/ Гидрогеологические вопросы подземного захоронения промышленных сточных вод: Сб. науч. тр. ВСЕГИНГЕО. М., 1969. С. 6-23.

72. Кульчицкий А.И., Усъяров О.Г. Физико-механические основы формирования свойств глинистых пород. М.: Стройиздат, 1975. 35 с.
73. Левенсон Л.Б. Теория машин и механизмов. М.: Машгиз. 1954. 504 с.
74. Лешков В.Г. Теория и практика разработки россыпей многочерпаковыми драгами. М.: Недра, 1980. 352 с.
75. Лешков В.Г. Разработка россыпных месторождений: учебник для техникумов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1985. 568 с.
76. Лучшева А.А. Основы гидравлики и гидрометрии. М.: Недра, 1980. 167 с.
77. Математическая статистика/В.М. Иванова [и др.]. М.: Высшая школа. 1975. 37 с.
78. Максимова Н.В. Вскрышные работы на вечномерзлых россыпях Северо-Востока. Магадан, 1976. 110 с.
79. Миронова Ж.В. Повышение эффективности дражной разработки мерзлых россыпей при использовании гидрооттайки для подготовки полигона /Комплексное освоение и экология россыпных и морских месторождений/ М.: МГГА, 1998. С. 117-118.
80. Мисник Ю.М. основы разупрочнения мерзлых пород СВЧ полями. Л.: ЛГИ, 1982. С. 209 с.
81. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирнов Е.Н. Активация минералов при измельчении. М.: недра, 1988. 208 с.
82. Морозова Н.В. Технология подготовки искусственных сушенцовых зон при разработке многолетнемерзлых грунтов в условиях крайнего Севера// Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции "Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы", 2013, - Апатиты, 6-8 ноября, СПГЭУ.
83. Морозова Н.В., Морозов В.Н., Морозова Е.Л. // Создание искусственных сушенцовых зон на основе повышения фильтрационно-дренажного оттаивания. В кн.: Современные технологии освоения минеральных ресурсов/ Сб. материалов 7-ой международной научно-технической конференции, 2009, Ч. 1. Красноярск: СФУ. С. 292-296.
84. Морозова Н.В. К расчету годового намыва металла при подготовке искусственной сушенцовой вскрыши // В кн.: Горный информационно-аналитический бюллетень, 2013, № 12 -М.: МГГУ, с. 340-343
85. Морозова Н.В., Морозов В.Н., Егорова Е.Л./ Параметры технологии подготовки сушенцовых зон в слабопроницаемых породах в условиях одномерной установившейся фильтрации. В кн.: Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 8-ой международной научно-практической конференции 7-9 апреля 2010 г./Филиал СПГГИ (ТУ) «Воркутинский горный институт». Воркута, 2010. С. 100-103.
86. Морозова Н.В., Морозов В.Н., Морозова Е.Л. Теоретические основы движения активированного раствора реагента в недеформируемой пористой среде на каолинит-монтмориллонитовом цементе в условиях плановой уста-

новившейся фильтрации/ В кн.: Современные технологии освоения минеральных ресурсов/Сб. материалов 8-ой международной научно-технической конференции. Красноярск: СФУ, 2010. С. 192-195.

87. Морозова Н.В., Морозов В.Н., Морозова Е.Л. Регламентирование условий применения способов обработки глинистых торфов активированным раствором реагента при создании сушенцовых зон// В кн.: Современные технологии освоения минеральных ресурсов /Сб. материалов 8-ой международной научно-технической конференции. Красноярск: СФУ. 2010. С. 196-201.

88. Морозова Н.В., Морозов В.Н., Егорова Е.Л. О применении метода конформных преобразований для расчета параметров технологии искусственных сушенцов. Журнал Сибирского Федерального университета/Техника и технологии. Красноярск: СФУ. 2010. №3(4). С. 396-405.

89. Морозова Н.В., Морозова Е.Л., Морозов В.Н. К теории подготовки искусственных сушенцов при разработке россыпных месторождений. *Materialy VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania sa nauka i technikami – 2011» Volume 57. Techniczne nauki. ^ Przemysl. Nauka i studif – 104 str.*

90. Морозова Н.В. Классификация способов подготовки искусственных сушенцовых полей. *Materialy VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania sa nauka i technikami – 2012» Volume 12. Techniczne nauki. ^ Przemysl. Nauka i studif – 73-76 str.*

91. Овчаренко Ф.Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов. Киев: Изд-во АН УССР, 1961. 291 с.

92. Оловин Б.А. Фильтрационная проницаемость вечномерзлых грунтов. Новосибирск: Наука, 1993. 257 с.

93. Определение главных параметров карьеров/А.И. Арсентьев [и др.]. М.: Недра, 1976. 213 с.

94. Орлов В.О. Криогенное пучение тонкодисперсных грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 188 с.

95. Основы гидрогеологических расчетов / Ф.М. Бочеввер [и др.]. М.: Недра, 1969.

96. Павлов А.В., Оловин Б.А. Искусственное оттаивание мерзлых пород теплом солнечной радиации при разработке россыпей. Новосибирск: Изд-во Наука, 1974. 182 с.

97. Перельштейн Г.З. Водно-теловая мелиорация мерзлых пород на Северо-Востоке СССР. Новосибирск: Изд-во Наука, 1979. 232 с.

98. Перльштейн Г.З. Временные инструктивные положения по фильтрационно-дренажному оттаиванию и подготовке искусственных сушенцов. Магадан, 1979. 52 с.

99. Повышение эффективности разработки глинистых россыпей Сибири и Северо-Востока/Т.С. Потапова [и др.]/ Повышение эффективности разработки месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири: Сборник научных трудов. Иркутск: ИПИ, 1984. С.70-72.

100. Повышение эффективности буровзрывных работ при разработке многолетнемерзлых россыпей/ Сб.науч.трудов/Магадан: ВНИИ-1, 1981.
101. Природные ресурсы Красноярского края (Аналитический обзор). Красноярск: КНИИГиМС, 2001. 218 с.
102. Потемкин С.В. Разработка россыпных месторождений. М.: Недра, 1995.
103. Потемкин С.В. Оттайка мерзлых пород. М.: Недра, 1991. 160 с.
104. Программа развития золотодобывающей промышленности в Красноярском крае в 1997 – 2000 г.г. и на перспективу до 2005 г. Администрация Красноярского края. Комитет по геологии и использованию недр Красноярского края. Красноярск: КНИИГиМС. Красноярск, 1997.
105. Путин В.В. Ресурсы в стратегии развития Российской экономики/ В.В. Путин/ Записки Горного института. СПб. 1999. Т 144 (1). С. 3-9.
106. Пчелинцев А.М. Строение и физико-механические свойства мерзлых грунтов. М.: Наука, 1964. 260 с.
107. Рашкин А.В., М.: Авдеев П.Б., Субботин Ю.В. Тепловая и водная подготовка горных пород при разработке мерзлых россыпей. М.: Горная книга, 2007. 352 с.
108. Ржевский В.В., Новик В.Г. Основы физики горных пород / Учебник для вузов 4-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 359 с.
109. Ржевский В.В. Открытые горные работы. М.: Недра, 1985. Ч.1.
110. Райтбург Ц.М., Снимская М.В. Кристаллохимия поверхности глинистых минералов, и микроструктура глин / Физические и химические процессы и фракции. М.: Недра, 1968. С. 42-50.
111. Тальгамер Б.Л. Охрана водных ресурсов при разработке россыпных месторождений / Учеб. пособие. Иркутск: ИПИ, 1984. 65 с.
112. Тальгамер Б.Л. Обоснование технологии разработки труднодрагируемых россыпей с повышением экологической чистоты горных работ. Автореф. дисс. докт. техн. наук. Санкт-Петербург. 1995. – 39 с.
113. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы / Под ред. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985.288 с.
114. Троицкий В.В. Промывка полезных ископаемых. М: Недра, 1978.
115. Турчак Л.И. Основы численных методов. М.: Наука, 1987.318 с.
116. Чемезов В.В. Рациональная эксплуатация россыпных месторождений. М.: Недра, 1980. 223 с.
117. Чистотинов Л.В. Миграция влаги в промерзающих неводонасыщенных грунтах. М.: Наука, 1973. 144 с.
118. Фельдман Г.М. Прогноз температурного режима грунтов и развитие криогенных процессов. Новосибирск: Наука, 1977. 191 с.
119. Фельдман Г.М. Передвижение влаги в талых и промерзающих грунтах. Новосибирск: Наука, 1988. 256 с.
120. Фраш Г.Б. Взрывные работы в сезонно-мерзлых грунтах. М.: Недра, 1990. 112 с.

121. Цытович Н.А., Вотяков И.Н., Пономарев В.Д. Методические рекомендации по исследованию осадков оттаивающих грунтов. М.: Изд-во АН СССР. 55 с.
122. Шаров В.С. Поверхностная растворимость глинистых частиц/ Коллоидная химия, 1939. №5, вып. 7.
123. Шасткевич Ю.Г. Тепловые эффекты при фильтрации подземных вод. Новосибирск: Наука, 1977. 63 с.
124. Шевелева Н.С., Хомичевская Л.С. Геокриологические условия Енисейского Севера. М.: Наука. 1967. 128 с.
125. Шепелев В.В. К понятию о криолитосфере Земли. Якутск: ИМЗ СОРАН, 1997. 72 с.
126. Шитов Д.Н. Исследование методов определения параметров карьера с учетом достоверности исходных данных: автореф. на соиск. уч. степ. техн. наук. Л.: ЛГИ, 1977. 24 с.
127. Шутов В.Д., Кац М.Я. Баранов В.В. применение ультразвука при минералогическом анализе осадочных пород// Изв. АН СССР. Сер. геологическая. 1961. №4.
128. Шишкин Ю.П. Адсорбционные свойства глин. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1986. 84 с.
129. Шорохов С.М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. М.: Недра, 1973. 768 с.
130. Шорохов С.М., Зуйков А.А. О контроле мутности технологической воды в дражном разрезе при бессточном водоснабжении // Колыма. 1973. №11.
131. Шумилов Ю.В. Континентальный литогенез и россыпеобразование в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 1986. 173 с.
132. Ялтанец И.М. Проектирование открытых гидромеханизированных и дражных разработок месторождений. М.: Недра, 1984.
133. Ярошевский А.В. Характеристика пластичности глин /Стекольная и керамическая промышленность. 1946. №6. С. 18 – 20.
134. Logan W. Kadin of Indiana, 45, 62, 1919.