

На правах рукописи

**ПЬЯННИКОВ Павел Валерьевич**

**ОБОСНОВАНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
РАЗРАБОТКИ ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В  
ОСОБЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ  
КРИОЛИТОЗОНЫ**

**Специальности: 25.00.22 – «Геотехнология  
(подземная, открытая и строительная)»; 25.00.36 –  
«Геоэкология (горно-перерабатывающая  
промышленность)»**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук**

**Москва 2012**

Работа выполнена в ООО «Инженерный Центр Геотехнологий»

Научный руководитель доктор технических наук  
ГАЛЧЕНКО Юрий Павлович  
доктор технических наук (УРАН ИПКОН)  
АЙНБИНДЕР Игорь Израилевич наук  
(УРАН ИПКОН)

Официальные  
оппоненты проф., д.т.н. Кузьмину Е.В. ЗАО  
«Эльконский ГМК»  
доцент, к.т.н. Волкову А.В.  
ГОУ ВПО «Тульский  
государственный университет»  
кафедра «Аэрологии и охраны  
окружающей среды»

Ведущая организация Московский Государственный  
Горный Университет

Защита состоится 19 апреля 2012 г. в 15.00 на заседании  
диссертационного совета Д 212.121.08 РГГРУ-МГРИ им. Серго  
Орджоникидзе: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ-МГРИ им.  
Серго Орджоникидзе.

Автореферат разослан «18» марта 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
канд. техн. наук

Холобаев Е.Н.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность проблемы** - главная особенность перспективного развития нашей сырьевой базы – это увеличение доли месторождений, расположенных в криолитозоне, занимающей по некоторым оценкам от 65 до 75 % территории России. Эта же тенденция свойственна и развитию как золотодобывающей промышленности в целом так и компании ОАО «ИГ» Алроса» в частности, которая формирует свой золотодобывающий сектор на базе освоения группы коренных месторождений жильного типа, дислоцированных в высокоширотной части зоны многолетней мерзлоты. Одним из наиболее перспективных месторождений является Ключус, расположенное в пределах Куларского золотоносного района в западной части Верхоянского хребта.

Известно, что биогеоценозы криолитозоны представляют собой особый элемент биосферы, характеризующийся низкой ёмкостью биологического оборота, мозаичностью почвенного и растительного покрова, бедностью видового состава фитоценозов и их низкой биопродуктивностью. Это означает, что при техногенном разрушении участков биогеоценозов в процессе добычи полезных ископаемых возможности биоты к самовосстановлению в постэксплуатационный период является очень ограниченным. Поэтому при формировании и развитии природно-технических систем освоения недр в криолитозоне весьма актуальной следует считать повышение экологической безопасности применяемых геотехнологий до уровня, обеспечивающей сохранность и самовосстановление низкопродуктивных экосистем криолитозоны.

**Цель работы** – обоснование и создание геотехнологии обеспечивающей эффективное экологически безопасное освоение жильных месторождений в малопродуктивных и низкоустойчивых экосистемах криолитозоны.

**Идея диссертации** – заключается в использовании температурного ресурса абиоты для экономически эффективного сохранения биоты путём восстановления в выработанном пространстве массива многолетней мерзлоты из отходов обогащения.

**В работе использован комплексный метод** исследований, включающий в себя: анализ и обобщение материалов литературных и фондовых источников, структурно-функциональный анализы и синтез, графоаналитический метод, методы теории размерности и математического моделирования, а также аналитическая обработка результатов природных наблюдений.

### **Научная новизна:**

1. Выдвинута и разработана гипотеза об итерационном развитии демутиационных процессов в зоне техногенного поражения биоты горными предприятиями.

2. Установлено, что скорость развития демутиационных процессов определяется не абсолютной величиной площади техногенного

поражения биоты, а соотношением приведенного радиуса этой зоны с длиной переноса семян эдификаторной группы растительных видов.

3. Теоретически и методически обоснованы принципы построения геотехнологии с замкнутым циклом обращения твердых отходов на основе использования структуры естественного температурного ресурса криолитозоны.

4. Установлены закономерности развития термодинамических процессов в закладочном массиве на стадиях применения переменного во времени климатического и постоянного геологического температурных ресурсов криолитозоны, и раскрыт механизм и установлены закономерности и условия использования климатического температурного ресурса для интенсификации термодинамических процессов, протекающих в закладочном массиве за счет использования геологического ресурса.

5. Доказано определяющее влияние показателей изменчивости рудных жил по линии падения и простирания на выбор систем разработки и технологии очистной выемки, с учетом последующего воссоздания в выработанном пространстве массива вечной мерзлоты.

**Достоверность** результатов исследований подтверждается соблюдением преемственности в отношении научных положений, обоснованных учеными-предшественниками и апробированных в процессе многолетнего применения в науке и практике; надежностью применяемых традиционных методов исследований; достоверностью и представительностью используемой в расчетах информации, апробацией научных результатов в широком кругу специалистов, успешным применением основных технологических решений на практике.

**Научное значение** полученных результатов состоит в раскрытии закономерностей взаимосвязанного развития дигрессивных и демутиационных процессов в нарушенных горными работами экосистемах криолитозоны и в обосновании на этой основе криогенной геотехнологии эффективного и экологически безопасного освоения жилых месторождений.

#### **Основные защищаемые положения:**

1. В природно-технических системах освоения рудных месторождений в криолитозоне устойчивость природной составляющей к техногенному воздействию определяется сохранением остаточной способности фитоценоза к самовосстановлению и оценивается относительной величиной изменения плотности эдификаторной синузидии этого фитоценоза.

2. При техногенном нарушении малопродуктивных биосистем криолитозоны, устойчивость которых определяется больше функциональным, чем видовым разнообразием, интенсивность развития дигрессивных процессов зависит от площади полного техногенного поражения биоты, а скорость демутиации – определяется соотношением

приведенного радиуса этой площади с длиной переноса семян видов-эпифитов.

3. Замкнутый цикл обращения твердых отходов горно-обогатительного производства достигается путем восстановления, за счет использования общего температурного ресурса криолитозоны, в выработанном пространстве массива вечной мерзлоты, на основе геотехнологии функциональная структура которой определяется соотношением величины изменяющегося во времени климатического и постоянного геологического температурных ресурсов.

4. Выбор геотехнологии отработки крутопадающих жил в криолитозоне определяется морфологией рудных тел в направлении основных элементов залегания при соблюдении условий полного размещения в выработанном пространстве подготовленных твердых отходов горно-обогатительного производства.

**Практическое значение** диссертации состоит в создании типоразмерного ряда систем разработки с выемкой руды по падению или по простиранию, в конструкции которых учтены требования экологической безопасности в сочетании с экономической эффективностью их применения.

**Результаты работы** могут быть использованы:

– в практике научно-исследовательских и проектных институтов, связанных с проблемами освоения жильных месторождений в криолитозоне;

– в практике совершенствования технологических процессов на горно-обогатительных предприятиях;

– в качестве методического обеспечения при организации учебного процесса по подготовке специалистов и магистров в области геотехнологии и геоэкологии.

**Личный вклад автора** состоит в выборе и научном обосновании направления и методов исследования, в теоретическом исследовании особенностей развития демулационных процессов в зонах техногенного поражения горных предприятий; в обосновании идеи дифференцированного использования летнего и зимнего температурного ресурса криолитозоны, а также в обосновании принципов построения геотехнологии в целом и отдельных ее элементов с учетом изменения во времени интенсивности тепловых потоков и изменения в пространстве модуля сложности обрабатываемых участков жил.

**Апробация работы**. Основные научные положения и результаты исследований докладывались автором на научных конференциях и симпозиумах: «Экологобезопасные технологии освоения недр Байкальского региона» (Улан-Удэ, 2000), «Научные и практические аспекты добычи цветных, редких и благородных металлов» (Хабаровск, ИГД ДВО РАН, 2000), «Проблемы освоения георесурсов российского Дальнего Востока и стран АТР» (Владивосток, ДВГТУ, 2001), «Физические проблемы разрушения горных пород» (Абаза, 2003), VII

Международная конференция – «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, МГГРУ, 2005), «Неделя горняка» (Москва, МГГУ, 2001-2007 гг.).

**Публикации.** Результаты исследований отражены в 7 опубликованных работах, в том числе 5 в рецензируемых изданиях, входящих в список ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 143 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав и заключения. Содержит 34 рисунка, 13 таблиц, список литературы из 96 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Освоение запасов любого месторождения неизбежно связано с полным или частичным разрушением как абиоты, так и биоты природных экосистем. При этом применяемые геотехнологии полностью определяют глубину дигрессии естественной биоты, что и предопределило общую структуру работы состоящей из двух частей, различных по характеру исследований, но взаимно детерминированных через единство конечной цели. Сначала были рассмотрены особенности техногенной дегрессии биоты экосистемы криолитозоны при освоении жильных месторождений, изучены условия развития в них демутиационных процессов, и определены требования к применяемым геотехнологиям, обеспечивающим повышение экологической безопасности. Затем были проведены исследования особенностей формирования температурного ресурса абиоты экосистем криолитозоны и возможностей его применения для решения экологических задач путём формирования геотехнологий, отвечающих не только особенностям геологии месторождений, но и требованиям экологии.

Исследованием экологических последствий антропогенной нарушенности земель начали активно заниматься с 60-х годов прошлого века. Большой вклад в решение экологических проблем при развитии минерально-сырьевого комплекса в нашей стране внесли академики В.И. Вернадский, В.Н. Сукачев, Н.Н. Моисеев, К.Н. Трубецкой, В.И. Осипов, член-корр. РАН В.И. Данилов-Данильян, доктора технических наук Н.В. Демин, Г.В. Калабин, Н.Ф. Реймерс, М.Е. Певзнер, К.М. Петров, В.И. Косов, Н.Н. Чаплыгин, Ю.П. Галченко, В.И. Папичев и др.

Возможность эффективной и безопасной разработки жильных месторождений в криолитозоне ограничивается влиянием большого числа природных факторов, многие из которых свойственны только этому типу месторождений: дискретность оруденения, малая мощность рудных тел и сложная морфология.

Изучению влияния именно этих факторов на показатели горного производства посвящены исследования ведущих специалистов, занятых проблемами разработки жильных месторождений: академика М.И.Агошкова, члена-корреспондента АН СССР Д.М. Бронникова, докторов технических наук А.Ф. Назарчика, А.И. Ляхова, А.Е. Ергалиева,

Ю.П. Галченко, А.М. Фрейдина, Г.А. Курсакина, В.М. Бусырева, кандидаты техн. наук Д.И. Рафиенко, Л.А. Мамсурова, Н.И. Попова и др.

Вопрос о возможности использования температурного ресурса криолитозоны для повышения безопасности и эффективности закладочных работ изучается довольно давно. основополагающий вклад в развитие в нашей стране этого научно-технического направления внесли член-корр. АН СССР Богданов Е.И., доктора технических наук Бабакин В.П., Докучаев В.В., Вялов С.С., Дядькин Ю.П., Ельчанинов Е.А., Емельянов В.И., Мамаев Ю.А., Михайлов Ю.В.

Процесс техногенного разрушения литосферы при получении необходимых полезных ископаемых порождает разветвленную систему разнообразных воздействий на абиоту и биоту экосистем природно-территориальных комплексов, в пределах которых располагаются добывающие предприятия. Величина и качество этих воздействий определяются типом геотехнологии, применяемой при добыче полезного ископаемого, а экологические последствия - особенностями строения нарушаемой при этом экосистемы.

Вокруг горного предприятия можно выделить несколько зон, отличающихся по глубине разрушения элементов экосистемы и сохранению ее способности к самовосстановлению после снятия техногенной нагрузки: зона полного поражения; зона первичной сукцессии; зона деградации; зона самовосстановления и зона угнетения.

Исходя из основных положений теории биоценологии, можно, в качестве рабочей гипотезы, выдвинуть положение о том, что необходимым и достаточным условием самовосстановления биоты экосистемы является сохранение жизнеспособности эдификаторной синузии ее фитоценоза, состояние которой оценивается величиной плотности популяции автохтонных видов – эдификаторов. ( $n_i$ ).

Экосистема в ее равновесном состоянии до начала техногенного воздействия характеризуется величиной ( $n_э$ ), а экосистема, измененная этим воздействием, - величиной ( $n_p$ ). Тогда степень техногенного поражения экосистемы можно оценить безразмерной величиной ( $K_T$ ), назовем ее коэффициентом техногенного изменения экосистемы:

$$K_T = n_э - n_p / n_э.$$

Так как устойчивость экосистемы к техногенному воздействию в принятой нами гипотезе определена, как сохранение ее остаточной способности к самовосстановлению, то показатель устойчивости экосистемы ( $K_V$ ) к воздействию, изменившему плотность эдификаторной синузии ее фитоценоза с величины ( $n_э$ ) до величины ( $n_p$ ), можно определить из выражения:  $K_V = 1 - S_n/S_0$ , где  $S_n$  – площадь полного техногенного поражения биоты;  $S_0$  – площадь биотопа в границах которого функционирует предприятие.

Процесс естественного самовосстановления естественной биоты после окончания горных работ будет определяться восстановительными

ресурсами первичной биоты, размерами зоны техногенного поражения и климатическими особенностями региона.

С учетом этих позиций, процесс самовосстановления биоты на нарушенной территории радиусом  $R_n$  и площадью  $S_n = \pi R_n^2$ , можно рассматривать через динамику биопродуктивности эдификаторной синузии ( $b_{3i}$ ) от нуля до величины  $b_3$ , равной продуктивности этой группы растений в ненарушенном фитоценозе первичной биоты:  $0 \leq b_{3i} \leq b_3$ .

В рамках принятой гипотезы, процесс самовосстановления фитоценоза (а значит и экосистемы в целом) может считаться завершенным, когда годовой прирост чистой биологической продуктивности всех видов-эдификаторов за счет зарастания нарушенной площади достигнет величины  $b_3$  и стабилизируется на этом уровне.

В соответствии с законом действия факторов Тинемана, воссоздание фитоценоза экосистемы путем самовосстановления эдификаторной синузии будет определяться минимальным из всех, существующих в конкретном распределении, значений длины естественного переноса семян ( $I_c$ ). Тогда площадь техногенного поражения, у которой  $R_n \leq I_c$  будет естественным путем засеяна семенами рассматриваемых видов за один цикл вегетации.

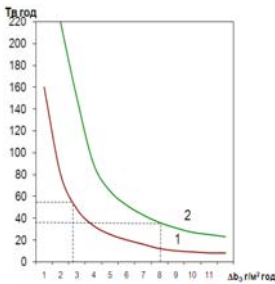


Рис. 1. Расчетная зависимость времени естественного самовосстановления эдификаторной синузии ( $T_B$ ) от среднего прироста продуктивности видов ( $\Delta b_3$ ) для среднегорной тундры (1) и пойменного леса (2) в криолитозоне

Отсюда следует, что время самовосстановления чистой продуктивности всей эдификаторной синузии ( $T_B$ ) может быть получено из

$$\text{выражения: } T_B = \frac{b_3}{\Delta b_3} = \sum_1^N \frac{K_{ли}}{\Delta K_{ли}} \cdot \frac{n_i}{\Delta n_i},$$

где  $K_{л}$  – продуктивное покрытие (или листовой индекс) фитоценоза;  $\Delta K_{л}$  – среднегодовое увеличение  $K_{л}$  за счёт роста растений.

При размерах зоны полного уничтожения биоты меньшей, чем длина естественного переноса семян видов-эдификаторов фитоценоза первичной биоты, время ее самовосстановления определяется скоростью роста растений и изменением плотности популяции каждого вида, т.е. средним приростом продуктивности фитоценоза. (Рис. 1).

Совершенно иную динамику имеет восстановительная сукцессия на более крупных участках техногенного поражения биоты ( $R_n > I_c$ ). Модель развития процесса



самовосстановления в этом случае можно представить в виде пошаговой итерации от внешней границы зоны поражения к ее центру.

Тогда время, необходимое для самовосстановления фитоценоза на

всей площади ( $T_{об}$ ) составит: 
$$T_{об} = \frac{\sqrt{S_n}}{1,77l_c} \cdot \sum_1^N \frac{K_{ni}}{\Delta K_{ni}} \cdot \frac{n_i}{\Delta n_i}$$

Таким образом, характер влияния площади полного поражения биоты при строительстве и эксплуатации горного предприятия определяется не абсолютным размером этой площади, а величиной соотношения приведенного радиуса этого отвода ( $R_n$ ) с длиной естественного переноса семян ( $l_c$ ). Если  $R_n \leq l_c$ , то время самовосстановления фитоценоза биоты не зависит от величины площади техногенного поражения. Эта площадь оказывает косвенное воздействие, через показатели прироста биомассы и проективного покрытия. Для более крупных земельных отводов, когда  $R_n > l_c$ , длительность периода самовосстановления фитоценоза возрастает прямо пропорционально их площади. Таким образом, при размерах площади техногенного поражения меньших, чем площадь переноса семян ( $S_n \leq \pi l_c^2$ ), время самовосстановления фитоценоза напрямую не зависит от этой площади. Оно определяется видовым составом эдификаторной синузии, биопродуктивность видов и скоростью роста каждого из них.

В остальных случаях, когда  $S_n > \pi l_c^2$ , размер площади техногенного поражения становится основным фактором, определяющим динамику самовосстановления фитоценоза. Учитывая различную устойчивость разных экосистем к одному и тому же виду техногенного воздействия, можно на основании ранжирования этих видов по степени опасности для конкретной экосистемы сформулировать требования к необходимым технологическим решениям при подземном освоении месторождений в криолитозоне:

1. замкнутый цикл оборота твердого вещества с возвращением его невостребованной части в выработанное пространство, позволяющим создавать устойчивые конструкции закладочного массива, складировать ценные примеси отходов обогащения в фиксированном пространстве для извлечения в будущем, предотвращать нарушение экосистемы, исключая выщелачивание металлов и химически активных соединений из хвостохранилищ;

2. управление горным давлением методами, исключаящими массовое применение лесоматериалов и обрушение поверхности и позволяющими минимизировать объемы доставляемых материалов;

3. максимальная полнота выемки балансовых запасов;

4. высокая производительность добычных работ, дающая возможность снизить численность персонала до величины, позволяющей применять вахтовый метод освоения месторождения.

Создание геотехнологий, отвечающих этим требованиям может дать управляемую возможность снизить уровень техногенного воздействия предприятия до границ диапазона толерантности видов-эдикторов нарушаемой экосистемы, предотвратить возникновение субклиматических экосистем и ускорить начало демулационных процессов после отработки запасов месторождения.

Возможности замкнутого цикла обращения твёрдого вещества литосферы определяются характером его использования и принятой технологией разработки месторождений. В процессе освоения недр извлекаемое вещество делится на три параллельных потока: полезное ископаемое, поступающее на первичную переработку; сопутствующие пустые породы, складированные на земной поверхности; тонкодисперсная пыль, выдаваемая вентиляционной струёй в атмосферу.

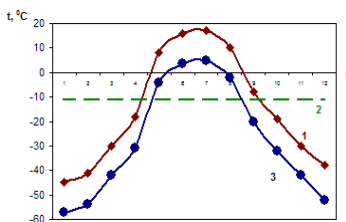
При разработке жильных месторождений золота большая часть (не менее 90-95 %) полезного ископаемого остается на месте добычи в виде хвостов обогащения. Существующие пустые породы также складированы в пределах земельного отвода. По степени поражения биоты площади, занятые отвалами пустых пород и хвостохранилищами, относятся к высшей – V категории нарушенности, которая характеризуется полным уничтожением коренного биологического сообщества и изъятием земли из естественного обращения на неопределённый срок.

При организации замкнутого цикла обращения этого вида твердых отходов прямой экологический эффект выражается в виде предотвращения полного уничтожения биоты на площади занятой этими отходами, получить этот эффект можно только путем возврата отходов обогащения в выработанное пространство горных работ. Для криолитозоны это может означать восстановление массива вечной мерзлоты, нарушенного горными работами. Тогда проблема повышения экологической безопасности освоения месторождений в криолитозоне путем восстановления массива вечной мерзлоты из отходов горного производства в геотехнологическом плане распадается на две взаимосвязанные задачи:

1. создание технологии восстановления массива вечной мерзлоты из твердых отходов обогащения в выработанном пространстве горного предприятия, включая подготовку этих отходов на поверхности.

2. обоснование геотехнологии подземной разработки, позволяющей наиболее эффективно использовать выработанное пространство для размещения отходов обогащения.

Естественный температурный ресурс, который может быть использован



1 – климатического (температура наружного воздуха); 2 – геологического (массива горных пород); 3 – общего  
Рис.2. Характер изменения во времени температурного ресурса

для воссоздания в выработанном пространстве массива вечной мерзлоты, включает в себя две составляющие – климатическую и геологическую, каждая из которых изменится по собственным законам и оказывает различное влияние на выбор технологических решений. (Рис.2).

В целом, технология воссоздания массива вечной мерзлоты в выработанном пространстве подземного рудника, включает в себя три основных процесса: подготовку отходов обогащения; транспортирование подготовленных отходов; формирование закладочного массива и его последующее замораживание. Внутренняя структура каждого из этих технологических процессов определяется характером изменения во времени температурного ресурса. (Рис.3). Замкнутый цикл обращения твердых отходов будет обеспечен, если объемы добычи руды в периоды использования геологического и климатического температурных ресурсов находятся в соотношении:

$$L_{Г} \cdot M_{Г} = L_{К} \cdot M_{К} \cdot \frac{(1 + K_{вл.б})(1 - K_3)}{(1 + K_{вл.п})K_3}$$

где:  $L_{Г}$  и  $L_{К}$  – общая длина блоков, отработанных соответственно, в период использования геологического и климатического температурных ресурсов;  $M_{Г}$  и  $M_{К}$  – средняя выемочная мощность на участках длиной  $L_{Г}$  и  $L_{К}$ ;  $K_{вл.б}$  и  $K_{вл.п}$  – соответственно доля воды в составе брикета и закладочной пульпы;  $K_3$  – коэффициент заполнения выработанного пространства закладочными брикетами.

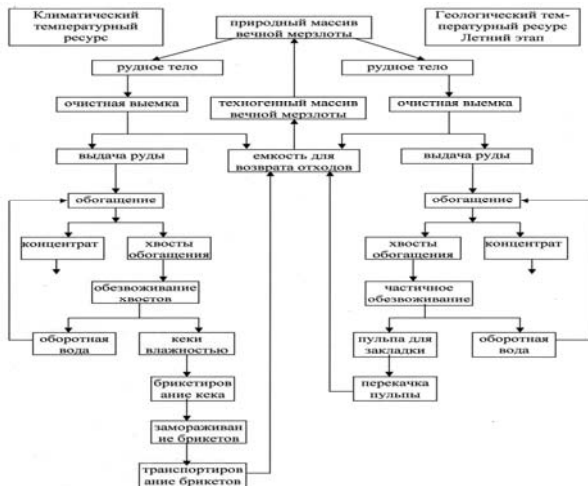


Рис. 3. Принципиальная схема геотехнологии размещения твердых отходов обогащения в выработанном пространстве путем воссоздания массива вечной мерзлоты

Размеры и форма закладочных брикетов определяются временем их замораживания ( $T_0$ ), которое возрастает почти прямо

пропорционально его приведённому радиусу и значительно меньше зависит от температуры наружного воздуха.

При определении продолжительности периода технологического использования климатического температурного ресурса в качестве граничного значения принимается среднемесячная температура ( $t_{кр}^0$ ) наружного воздуха, при котором прессованные брикеты с приведенным радиусом  $r_б$  замерзают на поверхности за одну технологическую смену работы подземного рудника ( $T_{см.}$ ). (Рис. 4).

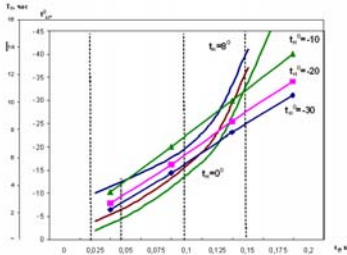


Рис.4. Зависимость времени замораживания брикета ( $T_б$ ) при различной температуре ( $t_н$ ) и граничного значения среднемесячной температуры от размеров брикетов ( $r_б$ ) и их температуры ( $t_{кр}^0$ )

Процесс восстановления массива вечной мерзлоты в выработанном пространстве протекает при использовании геологического температурного ресурса вечномерзлых пород, имеющих постоянную температуру. При этом необходимо выделить три основных этапа: заполнение выработанного пространства замороженными брикетами; заполнение пустот сформированного насыпного массива пульпой; замораживание двухфазного массива.

Продолжительность первого этапа равна числу месяцев со средней температурой воздуха ( $t_{ср.}^0$ ) ниже, чем критическая по условиям замораживания брикетов ( $t_{кр}^0$ ). Остальное время занимает второй этап процесса. Третий этап не связан с температурой внешнего воздуха. Его продолжительность прямо пропорциональна температуре вечномерзлых пород.

При заполнении выработанного пространства замороженными брикетами, имеющими температуру наружного воздуха, геологический температурный ресурс, соответствующий постоянной температуре вмещающих пород, существенно дополняется опосредованным использованием ресурса климатического в виде переохлажденных, по сравнению с вмещающими породами, закладочных брикетов. Интенсивность передачи энергии от брикетов в массив горных

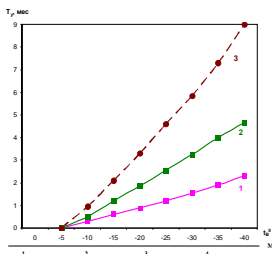


Рис. 5. Зависимость времени выравнивания температуры в блоке ( $T_у$ ) от температуры брикетов ( $t_б^0$ ) и выемочной мощности ( $M$ ).

пород регулируется величиной коэффициента теплопереноса в системе брикеты-порода. Продолжительность периода выравнивания температуры ( $T_y$ ) зависит от температуры наружного воздуха во время замораживания брикетов, а также от выемочной мощности. (Рис. 5).

Продолжительность третьего этапа восстановления массива вечной мерзлоты определяется температурой вечномерзлых пород и выемочной мощностью. Вполне очевидно, что это время не имеет никакого значения для выбора каких-либо технологических параметров. Оно определяет момент начала выемки временных рудных целиков (подштрековых, надштрековых и междублоковых) оставленных при отработке того или иного участка месторождения. В период положительных температур наружного воздуха, когда эта температура ( $t_i^o$ ) выше критической ( $t_{кр}$ ) по условиям замораживания брикетов, (то есть когда  $t_i^o \geq t_{кр}^o$ ) твердые отходы обогащения поступают в выработанное пространство в виде пульпы, консистенция которой устанавливается с одной стороны по условиям гидротранспортирования по трубопроводам, а с другой – по условиям максимальной степени заполнения пустот в насыпном закладочном массиве, сформированном в выработанном пространстве в период использования климатического температурного ресурса (когда  $t_i^o < t_{кр}^o$ ).

В период использования климатического температурного ресурса весь объем отходов будет размещен в выработанном пространстве, при условии:

$$T_{кл} \cdot H_a \cdot L_{кл} \cdot M_{кл} \cdot \frac{K_{то} \cdot (1 + K'_{вл.б.})}{K_3} \leq T_{гр} \cdot H_a \cdot L_{гр} \cdot M_{гр}$$

где:  $T_{кл}$  и  $T_{гр}$  – соответственно, продолжительность периода использования климатического и геологического ресурсов;  $H_a$  – активная высота блока;  $L_{кл}$  и  $L_{гр}$  – общая длина блоков, отработанных за время  $T_{кл}$  и  $T_{гр}$ ;  $M_{кл}$  и  $M_{гр}$  – средняя выемочная блоков отработанных за время  $T_{кл}$  и  $T_{гр}$ ;  $K_{то}$  – коэффициент выхода твёрдых отходов при обогащении.

При не выполнении этого условия часть брикетированных отходов ( $\Delta \sum W_6$ ) неизбежно будет складироваться на земной поверхности:

$$\Delta \sum W_6 = \left[ \frac{T_{кл}}{T_{гр}} \cdot \frac{L_{кл}}{L_{гр}} \cdot \frac{M_{кл}}{M_{гр}} \cdot \frac{K_{то} \cdot (1 + K'_{вл.б.})}{K_3} \right] \cdot \sum W_6$$

В период использования геологического температурного ресурса ( $T_{гр}$ ) все отходы обогащения в виде пульпы с содержанием воды

$K'_{вл.п.} = \frac{Ж}{T + Ж}$ , (ед.) размещаются в пустотах насыпного массива из замороженных закладочных брикетов, если содержание жидкой фазы в пульпе соответствует соотношению:

$$1 + K'_{вл.п.} = \frac{1 - K_3}{K_{то}} \left( 1 + \frac{T_{кл}}{T_{гр}} \cdot \frac{L_{кл}}{L_{гр}} \cdot \frac{M_{кл}}{M_{гр}} \right)$$

Необходимость решения вопросов экологической безопасности путем возврата в выработанное пространство твердых отходов горного производства и воссоздание из них в этом пространстве массива вечной мерзлоты, предъявляет ряд новых специфических требований к применяемой технологии добычи руды. Основное из этих требований, естественно, – максимальная степень использования выработанного пространства для размещения в нем твердых отходов. Так как основная часть этих отходов поступает в виде замороженных закладочных брикетов, то данное требование трансформируется в необходимость конструктивного обеспечения наибольшей технически доступной величины коэффициента заполнения выработанного пространства. ( $K_{3б}$ ).

Величина этого коэффициента складывается из двух составляющих – коэффициента плотности укладки насыпного массива ( $K'_{3б}$ ) и коэффициента полезного использования объема выработанного пространства при размещении в нем насыпного массива из замороженных брикетов ( $K''_{3б}$ ): ( $K_{3б}$ ) =  $K'_{3б} \cdot K''_{3б}$

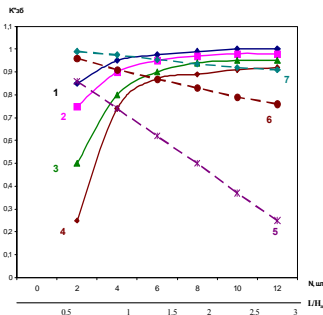


Рис. 6. Влияние количества загрузочных окон (N) и относительной длины блока (L/H) на коэффициент использования объема выработанного пространства

При правильной укладке в рассматриваемом объеме брикетов одинакового размера с приведенным радиусом  $r_6$ , показатель плотности укладки ( $K'_{3б}$ ) определится как отношение:  $K'_{3б} = (NS'_{\delta}) / (LH)$

где:  $N$  и  $S'_{\delta}$  – соответственно количество брикетов и площадь сечения одного брикета.

Величина коэффициента использования объема выработанного пространства ( $K''_{3б}$ ) полностью

зависит от конструкции применяемых систем разработки и способа подачи закладочных брикетов в выработанное пространство блока. (Рис. 6).

Практическая реализация всех этих требований в виде геотехнологий отработки балансовых запасов жил, возможна в двух модификациях:

- выемка запасов стандартными блоками с оставлением между ними рудных целиков;
- сплошная выемка запасов по простиранию с разделением рудными целиками только участков обрабатываемых в периоды использования различных температурных ресурсов (климатического и геологического). (Рис.7).

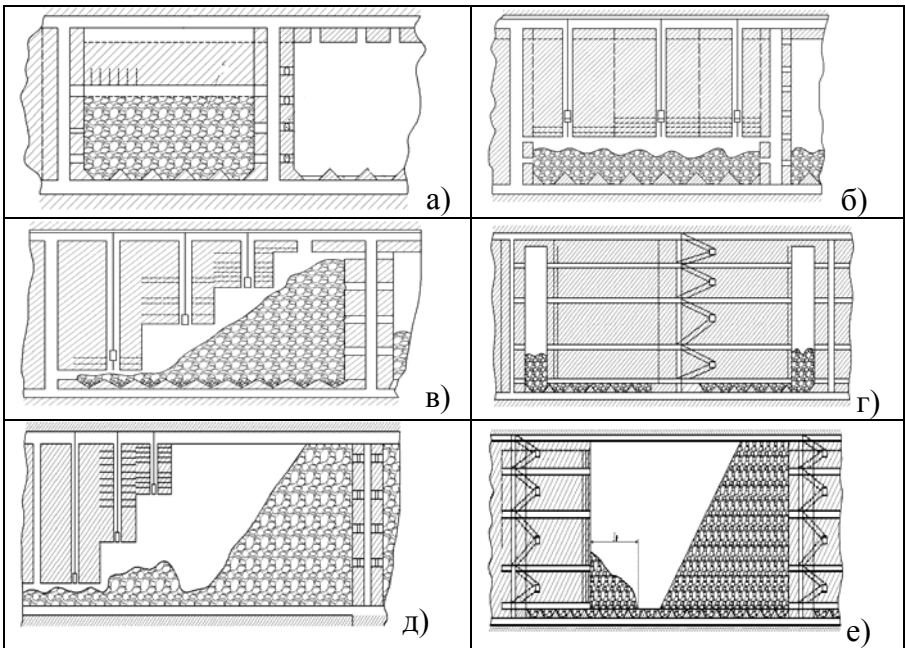


Рис.7, а – вариант системы с magazинированием руды и шпуровой отбойкой; б – система разработки жил с magazинированием руды и применением монорельсового очистного комплекса; в – система разработки монорельсовым комплексом с magazинированием руды при уступной форме очистного забоя; г – вариант системы с открытым очистным пространством и отбойкой руды из подэтажных штреков; д – система разработки прирезками по простиранию с непрерывным наращиванием закладочного массива на основе применения отбойки руды из восстающих выработок в нескольких прирезках одновременно; е – система разработки жил из подэтажных штреков с непрерывным наращиванием закладочного массива

При отработке жил с преобладающей изменчивостью формы по линии падения, использовать технологию очистной выемки с отбойкой руды горизонтальными скважинами из восстающих с использованием высокопроизводительных отечественных монорельсовых комплексов КОВ-25. При выемке рудных жил, имеющих более высокую изменчивость формы по линии простирания наиболее высокие показатели полноты выемки балансовых запасов на стадии проведения очистных работ могут быть получены при использовании технологии отбойки руды скважинами из горизонтальных буровых выработок (подэтажей).

Общая эффективность ( $\mathcal{E}_{об}$ ) применения предлагаемой геотехнологии с воссозданием в выработанном пространстве рудника массива вечной мерзлоты из отходов обогащения составит:

$$\mathcal{E}_{об} = \mathcal{E}_т + \mathcal{E}_{пр} + \mathcal{E}_ж + Y_{пб} - Y_{пн}, \text{ (руб./т).}$$

где:  $\mathcal{E}_т$  – возможный эффект от применения высокопроизводительной геотехнологии добычи руды;  $\mathcal{E}_{пр}$  – эффект в виде предотвращенного экологического ущерба природной среде за счет уменьшения объема хранения отходов на поверхности;  $\mathcal{E}_ж$  – экологический эффект от снижения площади селитебной инфраструктуры;  $Y_{пб}$  – эффект за счет снижения экологического ущерба от накопления пустот в литосфере;  $Y_{пн}$  – дополнительные затраты, связанные с восстановлением массива вечной мерзлоты.

Первая составляющая может дать прямой экономический эффект, который зависит от производительности применяемой технологии.

Таблица – Расчёт экологической и экономической эффективности предлагаемой геотехнологии

№	Показатели	Эк-ий эффект	
		Удельный экономический эффект, руб./т	Общий, млн. руб./год
1.	Эффективность технологии очистной выемки ( $\mathcal{E}_т$ )	220,0	39,6
2	Эффективность от уменьшения объёма хранения отходов на поверхности ( $\mathcal{E}_{пр}$ )	173,1	31,1
3	Эффективность от снижения площадей селитебной инфраструктуры ( $\mathcal{E}_ж$ )	3,9	0,7
4	Эффективность - от накопления пустот в литосфере ( $Y_{пб}$ )	165,9	29,9
5	<b>Итого экономическая эффективность</b>	<b>562,9</b>	<b>101,3</b>
6	Дополнительные затраты на восстановление массива вечной мерзлоты ( $Y_{пн}$ )	137,3	24,7
7	<b>Фактическая эффективность применения новой технологии, в т.ч.:</b>	<b>425,6</b>	<b>76,6</b>
	- снижение технологических затрат ( $\mathcal{E}_т - Y_{пн}$ )	82,7	14,9
	- уменьшение экологического ущерба ( $\mathcal{E}_{пр} + \mathcal{E}_ж + Y_{пб}$ )	342,9	61,7



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано решение актуальной научной задачи по обоснованию геотехнологического способа снижения экологической нагрузки на экосистемы криолитозоны при освоении жильных месторождений. Основные научные и практические результаты состоят в следующем:

1. Показано, что перспективное развитие минерально-сырьевого комплекса России в значительной степени связано с освоением ресурсов криолитозоны, экосистемы которой характеризуются относительно низкими биопродуктивностью и устойчивостью, зависящими в основном от функционального, а не видового разнообразия.

2. Установлено, что дигрессия биоты в зоне воздействия горного предприятия имеет форму одностадийного процесса с нарастающей во времени интенсивностью, а демутация развивается итерационно, с шагом, определяемым длиной переноса семян видов-эдификаторов фитоценоза.

3. Доказано, что характер влияния площади полного поражения биоты при строительстве и эксплуатации горного предприятия определяется не абсолютным размером этой площади ( $S_n$ ), а соотношением её приведённого радиуса с длиной естественного переноса семян ( $l_c$ ) видов эдификаторной синузии. При  $S_n \leq \pi l_c^2$  время самовосстановления фитоценоза определяется только видовым составом эдификаторной синузии, биопродуктивностью видов и скоростью роста каждого из них. При  $S_n > \pi l_c^2$  время самовосстановления фитоценоза прямо пропорционально площади техногенного поражения.

4. Разработана классификация первичных и вторичных техногенных факторов при подземном освоении жильных месторождений и показано, что определяющее экологическое значение в условиях криолитозоны имеют последствия накопления на поверхности твёрдых отходов и создания седиментной и транспортной инфраструктуры.

5. Уточнено содержание понятия и структуры общего температурного ресурса криолитозоны, выдвинута и разработана гипотеза о возможности его использования для решения экологических проблем подземного освоения жильных месторождений.

6. Обоснована и предложена новая геотехнология восстановления в выработанном пространстве массива вечной мерзлоты из текущих хвостов обогащения, основанная на раздельном или совместном использовании геологической и климатической составляющих температурного ресурса криолитозоны.

7. Получены аналитические зависимости скорости замерзания брикетов от природных и технологических факторов, позволяющие обосновать оптимальные параметры технологии подготовки отходов к размещению в выработанном пространстве рудника.

8. Выявлен и изучен эффект аккумуляирования энергии климатического температурного ресурса во вмещающих породах на стадии заполнения выработанного пространства замороженными брикетами и установлены зависимости, определяющие граничные

условия использования этой энергии для замораживания двухфазного закладочного массива.

9. Установлено, что замкнутый цикл обращения твёрдого вещества литосферы при разработке жил в криолитозоне обеспечивается, если объёмы добычи руды в период активного использования климатического и геологического температурных ресурсов находятся в соотношении, определяемом количеством воды в пульпе и коэффициентом заполнения выработанного пространства в период использования только климатического температурного ресурса.

10. Установлено, что процесс восстановления массива вечной мерзлоты не оказывает прямого влияния на выбор системы разработки и технологии очистной выемки, в то же наибольшая экономическая и экологическая эффективность этого процесса обеспечивается при использовании сплошной выемки жил по простиранию вертикальными прирезками с непрерывным наращиванием закладочного массива из замороженных брикетов.

11. Общая эффективность применения предлагаемой геотехнологии складывается из эффекта от применения высокопроизводительной технологии очистной выемки и из снижения экологического ущерба от размещения на земной поверхности отходов обогащения и селитевой инфраструктуры, а также от формирования в литосфере пустот, требующих рекультивации.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. *Галченко Ю.П., Пьянников П.В.* Исследование условий самовосстановления экосистем, нарушенных горными предприятиями // Экологические системы и приборы, №2, 2006. С. 21-24.
2. *Пьянников П.В.* Некоторые особенности развития демулационных процессов при освоении жильных месторождений в криолитозоне. // Наука и новейшие технологии при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. – М.: РГГРУ, 2006. С.85-86.
3. *Галченко Ю.П., Пьянников П.В.* Геоэкологические особенности обращения твёрдого вещества литосферы в природно-технических системах освоения жильных месторождений. // Экологические системы и приборы №2, 2008, с.51-54.
4. *Галченко Ю.П., Пьянников П.В.* Особенности использования температурного ресурса вечномёрзлых пород при создании экологически безопасных геотехнологий освоения жильных месторождений в криолитозоне. // Экологические системы и приборы №12, 2007, с.34-36.
5. *Галченко Ю.П., Сабянин Г.В., Пьянников П.В.* Развитие природно-технических систем освоения жильных месторождений в криолитозоне. // История науки и техники №7, 2007, с.36-47.

6. *Галченко Ю.П., Сабянин Г.В., Пьянников П.В.* Особенности формирования техногенно изменённых недр при освоении жильных месторождений в криолитозоне. // *Золотодобывающая промышленность*, №2(№32), 2009, с.14-17.
7. *Галченко Ю.П., Сабянин Г.В., Пьянников П.В.* Способ подземной разработки рудных месторождений в криолитозоне. Патент РФ №2369741, заявка №2007125417/03. Приоритет 06.07.2007; опубл. 10.10.2009. Бюл. №28.
8. *Галченко Ю.П., Сабянин Г.В., Пьянников П.В.* Методические основы экологической оценки техногенных изменений поверхностной гидросферы в природно-технических системах освоения недр // *Экологические системы и приборы*. – 2012. – № 3. – С. 15-22.