

НАРЬШКИНА Ольга А



003069236

.....2.275.5

*Нарьшкина*

**ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОВОДНОГО ГИДРОПОДЪЕМА  
ПРИ ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ  
В СУБТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ТИХОГО ОКЕАНА**

**Специальность 25.00.18 - «Технология освоения  
морских месторождений полезных ископаемых»**

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

**Москва 2007**

Диссертация выполнена в Московском государственном горном  
университете

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
**БУБИС ЮРИЙ ВОЛЬФОВИЧ**

Официальные оппоненты  
доктор геолого-минералогических наук **Терентьев Владимир Борисович**  
кандидат технических наук **Ларионов Сергей Олегович**

Ведущая организация  
**НКЦ «Морнедра»**

Защита состоится «24» мая 2007 года  
в «11» часов на заседании диссертационного совета Д-212 128 04  
при Московском государственном горном университете (МГГУ) по адресу  
119991, г Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, д 6

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГГУ

Автореферат разослан «24» апреля 2007 г

Ученый секретарь диссертационного  
совета, докт техн наук, профессор



Ю В Бубис

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Оценка перспектив развития и эффективности освоения минерально-сырьевой базы никелевых, кобальтовых и марганцевых месторождений Российской Федерации свидетельствует о том, что освоение месторождений суши не покрывает возникающий дефицит в таких металлах, как кобальт и марганец

Решение сырьевой проблемы на сегодняшний день, по мнению многих специалистов, возможно за счет поиска новых нетрадиционных источников минерального сырья, т.к. для поддержания деятельности действующих предприятий требуются большие капиталовложения, а вероятность открытия новых крупных рудных месторождений снижается. Одно из решений минерально-сырьевой проблемы возможно за счет освоения полезных ископаемых Мирового океана. По современной оценке потенциала нетрадиционных твердых полезных ископаемых, основной вес принадлежит океаническим железомарганцевым конкрециям и кобальтомарганцевым коркам. Эти рудные образования являются комплексным сырьем на марганец, кобальт, никель и медь, в котором в качестве попутных компонентов присутствуют молибден, платина и элементы редкоземельной группы с высоким содержанием

В северной части приэкваториальной зоны Тихого океана с 1980 г. геологи выявили значительные ресурсы ЖМК и КМК. 17 декабря 1987 года Генеральный комитет Подготовительной комиссии для Международного органа по морскому дну и Международного органа по морскому праву при ООН выделил бывшему СССР участок морского дна площадью 75 тыс. км<sup>2</sup> в зоне Кларифон-Клиппертон (приэкваториальная часть северо-восточной котловины Тихого океана)

Прогнозная оценка только трех выявленных океанических образований (по данным института «ВНИИОкеангеология») превышает по меди 340 млн т, по цинку 540 млн т, по серебру 1350 тыс т и золоту 25 тыс.т, что практически сопоставимо с ресурсами суши, оцененными американскими исследователями (в 1,6 млрд т по меди, 1,8 млрд т по цинку, 743 тыс.т по серебру, 70 тыс.т по золоту)

Но привлекательность и экономическая эффективность освоения этих руд определяются технологическими решениями, которые при работе в океане

должны быть максимально безопасными и направлены на минимизацию возможного экологического ущерба окружающей среде

Подводные месторождения океана представляют собой очень сложную экосистему, существующую в тесном взаимодействии их с океаническими водами, в связи с этим любое изменение, вызванное влиянием антропогенного фактора, может повлечь за собой различные негативные последствия и привести к возникновению экологических катастроф. Основным фактором, определяющим эффективность ресурсосбережения и охраны окружающей среды при ведении горных работ, является высокая адекватность состояния окружающей среды используемой или формируемой технологии добычи железомарганцевых конкреций

Адекватности требует и структура гидроподъема конкрецисодержащей массы со дна океана, где температура вод колеблется около  $+2^{\circ}\text{C}$ , на судно, вокруг которого на поверхности океана температура вод от  $20^{\circ}\text{C}$  и выше. Перелаз за борт таких донных вод, температуру которых при поступлении на судно необходимо было спрогнозировать, может привести к негативным экологическим последствиям в зоне существования океанической теплолюбивой фауны, что в данной ситуации неприемлемо. В связи с этим необходимо было разработать, обосновать и привести технологию гидроподъема в соответствие с характеристиками экологической обстановки в Мировом океане. Все необходимые для оценки характеристики были получены на основе анализа экспериментов международных экспедиций по программе «BIE» (Benthic Impact Experiment) под руководством докт. геол.-мин. наук Пилипчука М.Ф. На основании проведенных исследований для выполнения указанных требований необходимо выбрать такую технологию поднятия конкреций наверх, использование которой не приведет к экологической катастрофе.

**Целью настоящего исследования** является обоснование структуры гидроподъема, наиболее соответствующей экологической обстановке океана, на примере зоны Кларифон-Клиппертон на базе установленных зависимостей по определению параметров изменения температур гидросмеси конкреций при движении ее через различные термодинамические зоны океана.

**Основная идея диссертации** заключается в создании U-образного гидроподъема гидросмеси добытых океанических конкреций, термодинамический

режим изменения которой в трубопроводе определяется взаимосвязью диссипации энергии потока и теплопередачей тепла из окружающих вод океана по мере движения в различных направлениях, что исключит появление на судне вод с температурой ниже вод поверхности океана

**Научные положения, выносимые автором на защиту, и их новизна:**

1) установленные низкие температурные характеристики донных вод делают экологически необходимым исключение их подъема на поверхность океана;

2) при определении изменчивости температур гидросмеси конкреций при движении в различных направлениях необходимо учитывать изменчивость градиента между водами внутри и вне трубопровода, а также тепло, возникающее за счет перемещения гидросмеси внутри трубопроводного потока,

3) наиболее адекватной условиям гидротермального режима океана является структура гидроподъема по U-образной схеме, установленная на основании методики расчета изменения температуры конкреционной гидросмеси в трубопроводе

**Научное значение работы** состоит в установлении закономерностей изменения температур потоков гидросмесей при восходящем подъеме со дна океана.

**Практическое значение работы** состоит в разработке принципов технологии гидроподъема ЖМК, что позволит оценить эффективность освоения месторождений океанических конкреций.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** обосновывается анализом большого объема экспериментальных исследований по программе «ВІЕ», применением апробированных теоретических критериев и совместным анализом данных экспериментов и теоретических построений

**Апробация диссертации.** Результаты диссертации докладывались на научно-технических конференциях в Московском государственном горном университете в пределах программы «Неделя горняка» в 2004 и 2005 гг., на научно-техническом совете по горным наукам НЦ «МГУ-ИШКОН»

**Реализация результатов.** Результаты были использованы рабочей группой Минприроды РФ при оценке эффективности схем добычи железомарганцевых образований.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 2 научные работы

**Структура и объем работы** – диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и содержит 28 рисунков, 4 таблицы, список использованных источников из 48 наименований.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Добыча полезных ископаемых на суше не решит проблемы с каждым годом возрастающей потребности в рудах таких металлов, как марганец (Mn), кобальт (Co) и никель (Ni). Решить минерально-сырьевую проблему возможно за счет поиска новых нетрадиционных источников минерального сырья.

Специалистами различных стран установлено, что такими источниками могут служить нетрадиционные твердые полезные ископаемые при освоении месторождений Мирового океана, которые представлены в основном океаническими железомарганцевыми конкрециями (ЖМК) и кобальтомарганцевыми корками (КМК). Проведенный Россией, США и рядом других стран в течение десятилетия с 1990 по 2000 г.г. эксперимент «ВІЕ» в районе разлома Клариян-Клиппертон имел одной из целей установить особенности геоэкологической обстановки в Мировом океане в зоне возможной добычи полиметаллических конкреций для выявления негативных последствий, возникающих как при обычных режимах добычных работ, так и при возможных авариях в работе земснарядов и других механизмов.

17 декабря 1987 года Генеральный комитет Подготовительной комиссии для Международного органа по морскому дну и Международного трибунала по морскому праву при ООН выделил бывшему СССР участок морского дна площадью 75 тыс км<sup>2</sup> в зоне Клариян-Клиппертон и в результате этого стало возможным начать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы для добычи нового источника минерального сырья со дна океана.

**В первой главе** рассмотрено состояние вопроса и задачи исследования по проблеме освоения месторождений полезных ископаемых Мирового океана. Российская Федерация в лице ГНЦ «Южморгеология» является одним из семи первоначальных вкладчиков в разведку и разработку железомарганцевых образований (ЖМО) вместе с США, Францией, Японией, Китаем, Южной Кореей, Индией и совместной организацией восточноевропейских стран «Интерокеанметалл».

По результатам эксперимента «ВІЕ» было установлено, что конкреции залегают в виде россыпей, как на горизонтальных поверхностях, так и на склонах подводных возвышенностей ( $\gamma=2000 \text{ кг/м}^3$ ). Концентрация конкреций по массе на  $1 \text{ м}^2$  площади достигает 12-14 кг и более. Они лежат на весьма слабых по несущей способности породах, верхний слой этих пород мощностью до 0,1 м представлен слаботекучими и вязкотекучими осадками, в который конкреции погружены наполовину или до 2/3 своего объема. Нижний слой составляют породы с несколько большей несущей способностью. Закрепленный за Россией участок морского дна в зоне Кларион-Клиппертон общей площадью  $75000 \text{ км}^2$  состоит из двух разобщенных площадей западной -  $13765 \text{ км}^2$  и восточной  $61235 \text{ км}^2$  с суммарными ресурсами сухих ЖМК, оцененными по утвержденным кондициям в 448,1 млн т.

Сроки начала коммерческой эксплуатации полезных ископаемых глубоководных районов океана существенно зависят от решения проблемы разработки экологически чистых технологий добычи и создания эффективного комплекса технических средств промышленной добычи и транспортировки. Разработка и проведение международного эксперимента «ВІЕ» были направлены на решение этих проблем до начала коммерческой добычи в зоне Кларион-Клиппертон, а также на составление нормативных рекомендаций по минимизации ущерба экосистеме Мирового океана.

Специалистами разных стран были разработаны и предложены технологии и способы добычи конкреций со дна океана, однако не все они имели положительный результат. Российскими специалистами были предложены две технологии добычи железомарганцевых конкреций. Эффективность предложенных технологий определяется полнотой сбора конкреций с поверхности дна, качеством отмыва их от ила и устойчивостью конкреций при подъеме.

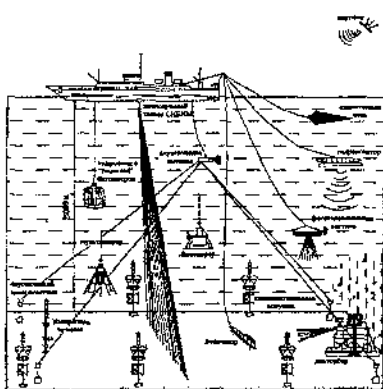
Однако при выборе технологии добычи конкреций со дна океана защита природной среды играла лишь второстепенную роль (на первой стадии), но в настоящее время этой проблеме необходимо уделять все большее внимание. Риск от будущей добычи конкреций возможен преимущественно из-за следующих причин

- на морском дне из-за частичного разрушения его самого и биоты во время сбора конкреций и из-за повторного осаждения взмученных донных

осадков;

- на поверхности моря из-за возможного сброса придонных вод, отличающихся низкой температурой, а также образующегося осадочного пласта в биоактивной фотической зоне, перемещающегося на значительные расстояния.

Необходимость решения этих проблем явилась причиной разработки и проведения российско-американского эксперимента «ВІЕ» по комплексному экологическому исследованию бентического граничного слоя, который позволил уточнить представления о геоэкологической обстановке на полигоне. Они позволили изучить состояние природной среды до эксперимента, во время него и после работ (рис 1).



В процессе первоначальных экспериментов выемка пород производилась свободным всасом. Но требуемых параметров гидросмеси, заложенных во все расчеты, получено не было. Тогда было применено водонасыщение с удельным расходом воды  $1 \text{ м}^3/\text{м}^3$  производительности грунтового насоса и было зафиксировано, что консистенция пульпы повысилась почти в 6 раз при увеличении объема вынуженного осадка с 1,6 тыс т до 5 тыс т при сокращении объема

**Рисунок 1 – Технические средства перекачиваемой гидросмеси вдвое эксперимента «ВІЕ»**

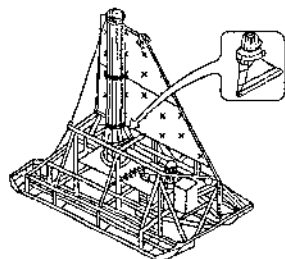
Многолетние эксперименты на полигоне «ВІЕ» с использованием землесосного снаряда «Дисторбер» (рис 2) показали, что гидравлический породозабор не создает негативных последствий в зоне глубоководной придонной выемки, а глубоководное водонасыщение свободными затолкнутыми струями осадков только насыщает технологические гидравлические потоки твердым компонентом.

Добычные работы, выполненные глубоководным земснарядом на глубинах 4-5 км, дали огромный материал для анализа процессов глубоководной выемки, термодинамических особенностей гидродолема и глубоководного осаждения пород при глубоководном намыве, что позволит приблизить сроки начала эксплуатации месторождения глубоководных районов океана.

В результате анализа к т.н. Б.К. Ширяева и др. на полигоне «ВІЕ» было



выявлено, что сформированная пульпа, как показывает изучение гидротермального режима, будет обладать температурой в районе первых положительных градусов, что создаст определенные сложности экологического порядка при ее подъеме из придонных зон



**Рисунок 2 - Дисторбер второго поколения**

При второй схеме - подъем с использованием поверхностных вод, подаваемых в зону подготовки пород к подъему, позволит исключить такие сложности. Это вернуло нас к технологии гидроподъема с использованием обменных аппаратов к U - образной схеме, которая снимает многие технологические трудности.

Для достижения поставленной в работе цели по установлению технологических параметров глубоководного гидроподъема необходимо решить следующие задачи

- 1) провести анализ результатов данных эксперимента «ВІЕ» по изменчивости температур в различных зонах океана и сформировать представление о температурном режиме и гидроподъеме гидросмеси в океане,
- 2) разработать методику расчета температурного режима глубоководного подъема и установить технологию этого гидроподъема;
- 3) обосновать и привести технологию гидроподъема в соответствие с характеристиками экологической обстановки в океане.

**Во второй главе** проведен анализ по результатам эксперимента «ВІЕ» В результате этого необходимо проанализировать концепцию эксперимента «ВІЕ» и рассмотреть его технологическую структуру для разработки научно обоснованных требований по предотвращению экологической угрозы океану при коммерческой разработке этих руд

Реализация экспериментов «ВІЕ» была предложена в целой серии экспериментов «JET», «INDEX», «ВІЕ-ІОМ» и заключалась в проведении крупномасштабного нарушения осадочного слоя полей конкреций имитатором добычной системы - дисторбером и изучении реакции системы на это нарушение немедленно, через год и в течение не менее пяти - семи лет. Таким образом, программы включают три основных этапа

- фоновые исследования на выбранных полигонах (выбор импакт полигона) цель - определить характер ненарушенной экосистемы (как эталона),
- нарушение бентической экосистемы: цель - проконтролировать распределение сброшенных в морскую среду отходов добычи и их воздействие на экосистему;
- мониторинг нарушенных участков. цель - изучение реколонизации бентической экосистемы.

Выбор полигонов производился по специальной методике с помощью технических средств, представленных на рис. 1. Положение подводных аппаратов (дисторбера, пробоотборников - боксорера и мультикорера, фототелекомплекса, сонара, заякоренных станций измерителей течений, седиментационных ловушек, гидрофизического зонда) на полигонах с глубинами 4,5-5 км определялось с помощью спутниковой системы навигации GPS и состыкованной с нею акустической системы подводной навигации АСМОД.

Все рейсы по эксперименту выполнялись на российском НИС «Южмор-геология» и проводились при повышенном внимании мировой общественности, обеспокоенной возможным негативным влиянием предстоящей добычи конкреций на экосистему океана, ибо эксперименты подобного рода позволяют всесторонне изучить ответную реакцию сообщества живых организмов на стрессы различной остроты.

Эксперимент «ВІЕ» - уникальный эксперимент, в котором использовались многие новые технологии. Методика и технология проведения эксперимента ВІЕ заключаются в следующем. На выбранном относительно плоском рабочем полигоне в пределах лицензионного участка получается информация, касающаяся структуры бентического сообщества, водной толщи, течений, батиметрических данных при установке донных транспондеров систем подводной навигации для точного определения точек пробоотбора и позиции дисторбера. По-

верхностные осадки нарушаются дисторбером на глубину более 5 см

Для установления термодинамических характеристик водной толщи применяли гидрозондирование. Гидрофизическое профилирование осуществлялось при помощи зонда, оснащенного системой «Розетта» с двенадцатью 10 л батометрами, предназначенными для отбора проб морской воды с различных горизонтов. Данные по температуре, солености, прозрачности и распределению полей плотности обрабатывались на компьютере

Добычные процессы производятся последней модификацией дисторбера, представляющего собой пассивно буксируемый на салазках аппарат весом примерно 3,2 т. Размеры салазок несущей части «Дисторбера-2» следующие: длина - 4,8 м, ширина - 2,4 м, высота - 1,5 м. Две открытые платформы дисторбера несут на себе два главных функциональных компонента: «нульпообразующий блок» и «транспортный блок», основу этих блоков составляют два центрифужных насоса.

Наша задача, как отмечено выше, установить термодинамические характеристики водной толщи на основе указанного выше эксперимента. Изменение температур вод океана с глубиной требует обоснования схемы гидроподъема ЖМК со дна океана не только по энергетическим факторам, но в первую очередь - по экологическим критериям.

Требования Международного органа по морскому дну (МОД) Организации Объединенных Наций (ООН) исключают появление на поверхности вод с резко низкой температурой против вод поверхностного слоя океана. Очевидно, что такие воды могут привести к экологическим негативным последствиям.

Высокий градиент перепада температур, когда температура вод в зоне залегания ЖМК, где будет происходить их выемка и загрузка в трубопровод, не превышает первые градусы против температуры воды порядка 20°C-25°C на поверхности, в которых будет находиться грузотранспортное или горнодобывающее судно при укладке конкреций в его трюм для транспортирования в порт РФ, определяет две возможные технологии гидроподъема, описанные в разделе 1. Первая технологическая схема (рис. 3) характеризуется тем, что отделяемая на судне от конкреций вода собирается и должна быть закачена на такие глубины океана, где температура вод будет практически совпадать с температурой рабочей жидкости гидроподъема.

Вторая схема отличается от первой тем, что вода с поверхности океана по нисходящему трубопроводу может поступать на придонную установку отделения вмещающих пород, где через загрузочное устройство в трубопровод будут загружаться отмытые ЖМК (рис. 4)

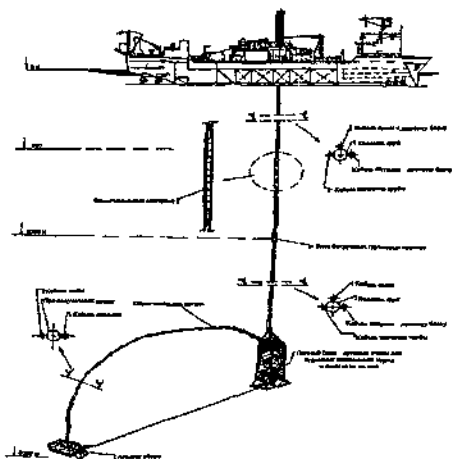


Рисунок 3 – Судно для работы по первой технологии гидроподъема

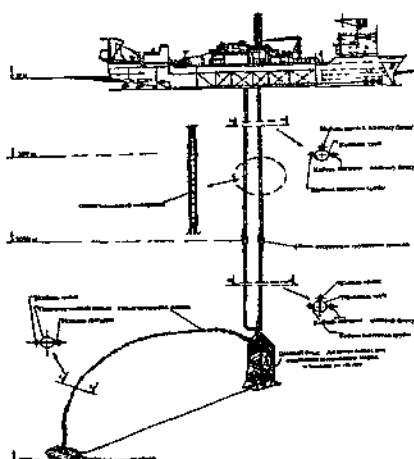
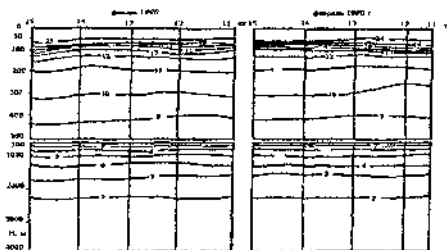


Рисунок 4 – Судно с технологией гидроподъема по U-образная схеме

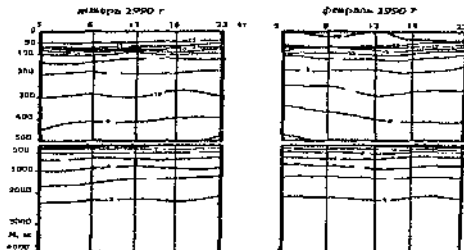
Поступающая в этом случае на борт судна гидросмесь будет иметь температуру, близкую к температуре поверхностных вод, и может быть без существенных негативных последствий вылита за борт судна в зону сравнительно высоких температур. Для того чтобы оценить особенности таких технологий, необходимо было установить методику определения изменения температур гидросмеси ЖМК в трубопроводе по мере движения в различных направлениях.

Для изучения детальной структуры водной толщи гидрофизические исследования проводились на выбранном полигоне и за период рейса были проведены 3 съемки и выполнено 66 станций. Основой для получения необходимых параметров послужили данные гидрозондирования, результаты трех съемок дают представление распределения гидрологических характеристик изучаемого района. Сравнение позволяет проследить пространственно-временную изменчивость их на полигоне Российского лицензионного участка. Пространственное распределение температуры морской воды в трудах докт. геол.-мин. наук Пилипчука М.Ф. представлено в виде вертикальных разрезов в широтном

и меридианальном направлениях (рис 5, 6), построенных на стандартных поверхностях, выбранных в соответствии с климатической термохалинной структурой района. Характерные кривые вертикального распределения на океанографической станции представлены на рис. 7, 8.

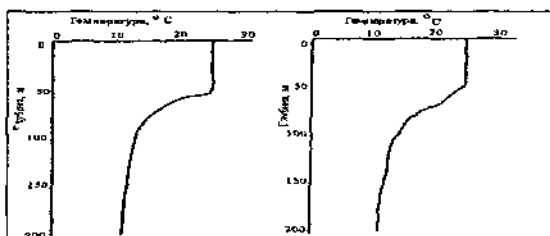


**Рисунок 5 - Распределение температуры воды на широтном разрезе 11°22' с.ш.**



**Рисунок 6 - Распределение температуры воды на меридианальном разрезе 142°25' з.д.**

Основным фактором, определяющим пространственно-временную изменчивость поля температуры в океане, является солнечная радиация. Внутреннее тепло Земли, радиоактивность донных отложений и биохимические процессы в грунтах оказывают влияние на придонную температуру. На общем фоне гомотермической структуры повышение температуры у дна за счет пере-



**Рисунок 7 - Зависимость T°C от глубины 16 января 1990 г.**

**Рисунок 8 - Зависимость T°C от глубины 1 февраля 1990 г.**

численных факторов (порядка сотых долей градуса) существенно. Предполагаемый район добычи находится под влиянием пассатных ветров. Эти ветры

дают начало дрейфовым течениям, которые в зонах тропических конвергенций вызывают поднятие уровня, что приводит к перераспределению поля температуры (поля плотности) в соответствии с законом гидродинамики. В исследуемом районе наблюдается подъем изотерм при характерных значениях градиентов - это обусловлено восточным тропическим противотечением. Район исследования захватывает его северную периферию, на которой происходит подъем вод пониженной температуры.

По мнению М Ф Пилипчука, тонкий поверхностный слой глубиной не

более 100 м испытывает прямое влияние солнечного излучения, теплообмена с атмосферой и ветрового перемешивания. Поверхностный слой в период всех трех съемок был более или менее однороден по вертикали. Так называемый верхний квазиоднородный слой (ВКС) давал температурные значения от 20,988 до 26,085°C. Глубина ВКС по всем съемкам была больше на севере полигона и меньше на юге. Однако неоднородность распределения солнечного излучения на поверхности и теплообмена с атмосферой приводит к изменению плотности поверхностных вод, что в свою очередь приводит к циркуляции и сильно изменяет распределение температуры по вертикали. Температура переходного слоя быстро понижается от 25-21°C до 14-13°C. В слое главного термоклина в период съемок понижение достигало 0,9°C/м. Ниже поля термоклина температура плавно уменьшалась с глубиной. В слое от 300 до 1000 м средние вертикальные градиенты температуры составляли 0,01°C/м. Глубже 2000 м градиент был меньше и составлял 0,001°C/м, т.е., начиная с горизонта 300 м, происходит перестройка полей температуры. Как показано выше, температура вод в океане вокруг трубопровода по мере подъема с глубин будет возрастать по определенным параболическим закономерностям, что будет приводить к возникновению определенного градиента температур между внутренними и внешними стенками трубопровода. Аппроксимируя данные докт. геол.-мин. наук М.Ф. Пилипчука, полученные при экспериментах на полигонах, получаем, что изменчивость температур вод океана можно практически описать как

$$T(h) = ah^2 - bh + C, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $C$  - эмпирические коэффициенты для рассматриваемой зоны, которые для отдельного эксперимента имеют значения около  $a=4,3$ ,  $b=19,1$ ;  $C=21,4$ ,  $h$  - глубина вод от поверхности океана, км

Можем сказать, что предложена параболическая зависимость изменения температуры вокруг трубопровода с глубиной океана.

**В третьей главе** предложены методика расчета изменения температуры конкреционной гидросмеси при ее вертикальном гидроподъеме и технология гидроподъема конкреций по U-образной схеме с использованием поверхностных теплых вод. Предусматриваем движение конкреционной массы вверх со дна в виде гидросмеси с плотностью  $\gamma_f=1,2 \text{ т/м}^3$  из зоны температур вод с 2,5-3,5°C. По мере движения гидросмеси на судно в трубопровод будет поступать

тепло за счет возрастания температуры вод за трубой.

Для того чтобы установить технологию гидроподъема, рассмотрим движение элемента конкреционной гидросмеси в трубопроводе диаметром  $D$  (м) по длине  $dh$  (км) со скоростью  $v$  (м/с) этого элемента, контактирующего с поверхностью стенок трубопровода. Так как движение гидросмеси отмытых конкреций, сформированной в донных водах, происходит вверх из зоны низких температур вод дна в зону высоких температур поверхности, то количество тепла, поступающего на нагрев гидросмеси, определяется как

$$S_o = S_n + S_{mp}, \text{ ккал}, \quad (2)$$

где  $S_n$  – количество тепла, поступающего с поверхности трубопровода, ккал;

$S_{mp}$  – количество тепла, выделяемого за счет диссипации энергии потока, ккал.

При прохождении единичного участка на глубине  $h$ , происходит появление в водах океана дополнительного градиента температуры против температуры в трубопроводе на величину

$$\Delta T = T(h-1) - T(h), \text{ или для принятых значений}$$

$$\Delta T = [4,3 (h-1)^2 - 19,1 (h-1) + 21,4] - [4,3 h^2 - 19,1 h + 21,4] = -8,6 h + 4,3 + 19,1 = 23,4 - 8,6 h$$

Появляющийся на участке  $dh$  за время  $\frac{dh}{v}$  дополнительный градиент температур за стенками трубопровода в размере  $(a+b-2ah) = (8,6h - 23,4)$  передается элементу гидросмеси  $\frac{\pi D^2}{4} dh$ , находящемуся на глубине  $h$  от поверхности, через поверхность стенок в количестве

$$S_n = \kappa_n \pi D dh (8,6h - 23,4) \frac{dh * 10^3}{v}, \text{ ккал}, \quad (3)$$

где  $\kappa_n = 17,9$  коэффициент теплопередачи, ккал/м<sup>2</sup> час градус

Через стенку площадью  $\pi D dh$  поступает дополнительно тепло за время  $\frac{dh}{v}$  с учетом коэффициента теплопередачи  $\kappa_n$

$$S_n = \kappa_n \pi D dh (23,4 - 8,6 h) \frac{dh}{v} = \kappa_n \pi D (a + b - 2ah) \frac{d^2 h}{v}, \text{ ккал} \quad (4)$$

Это тепло поднимает температуру элемента гидросмеси с учетом теплоемкости  $C_n$

$$dt = \frac{\kappa_n(a+b-2ah)\pi D}{v C_n \frac{\pi D^2}{4} \gamma_z} \frac{d^2 h}{dh} = \frac{4\kappa_n(a+b-2ah)}{v C_n D \gamma_z} dh, \quad (5)$$

$C_n$  – коэффициент теплоемкости  $\approx 1$ , ккал/кг,

$$C_n = C_g \kappa + C_k(1-\kappa),$$

где  $C_g$  – теплоемкость воды=1 ккал/кг,  $C_k$  – теплоемкость конкреций=0,8 ккал/кг;  $\kappa$  – консистенция гидросмеси.

За счет трения при движении элемента на пути  $dh$  также выделяется тепло

$$S_{mp} = \frac{Q}{427} i_g dh, \quad \text{ккал}, \quad (6)$$

где  $Q$  – расход гидросмеси, равный  $\frac{\pi D^2}{4} v$ ,

$i_g$  – гидравлический уклон вертикального гидроподъема, т е полные удельные потери,

427 – механический элемент тепла

По рекомендации В.В. Длоугого, на основании обработки имеющихся опытных данных по гидравлическому транспорту по вертикальным трубам получены следующие расчетные формулы для определения  $S_{mp}$ :

$$\text{для восходящего потока} \quad i_B = i_{os} (1 + 145e \left( \frac{gD}{v^2} \frac{W}{\sqrt{gD}} \right)), \quad (7)$$

где  $e = \frac{\gamma_z - \gamma_0}{\gamma_T - \gamma_0}$  – объемная концентрация твердого вещества в потоке,

$i_{os}$  – гидравлический уклон при движении чистой воды в вертикальном потоке на 100 м трубопровода - 4,410,

$$\text{или } i_{os} = \lambda \frac{v^2}{2gD}, \quad \text{где } \lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2} \text{ для } Re > 10^5, \text{ т е } 0,035, \quad (8)$$

$W$  – средневзвешенная гидравлическая крупность конкреций, м/с;

$f$  – коэффициент, учитывающий наличие местных сопротивлений, обычно 1,1.

Тогда  $S_{mp}$  примет вид

$$S_{mp} = \frac{1,1}{427} \frac{\pi D^2 \cdot v}{4} i_{os} (1 + 145 \frac{\gamma_z - \gamma_0}{\gamma_T - \gamma_0} \left( \frac{gD}{v^2} \frac{W}{\sqrt{gD}} \right)) dh^2 \quad (9)$$

Таким образом, тепло, выделяемое за счет диссипации энергии потока, повышает температуру на величину



$$dt = \frac{1,1}{427} \frac{1_{os}}{C_n \gamma_z} (1 + 145 \frac{\gamma_z - \gamma_0}{\gamma_T - \gamma_0} (\frac{gD}{v^2} \frac{W}{\sqrt{gD}})) dh \quad (10)$$

Общая изменчивость температуры на длине при движении снизу вверх составит с учетом  $S_n$  и  $S_{mp}$

$$\frac{dt}{dh} = \left[ \frac{4\kappa_n(a+b-2ah)}{v C_n D \gamma_z} + \frac{1,1}{427} \frac{1_{os}}{C_n \gamma_z} (1 + 145 \frac{\gamma_z - \gamma_0}{\gamma_T - \gamma_0} (\frac{gD}{v^2} \frac{W}{\sqrt{gD}})) \right] \quad (11)$$

После интегрирования получим

$$dt = [A(a+b) - 2aAh + B] dh \quad (12)$$

$$T = A(a+b)h + Aah^2 + Bh + C_1, \quad (13)$$

где  $A = \frac{4\kappa_n}{v C_n D \gamma_z}$ ,  $B = \frac{1,1}{427} \frac{1_{os}}{C_n \gamma_z} (1 + 145 \frac{\gamma_z - \gamma_0}{\gamma_T - \gamma_0} (\frac{gD}{v^2} \frac{W}{\sqrt{gD}}))$

$C_1$  – константа, которая определяется из условия, что на глубине 4600 м температура воды в трубопроводе составляет 3,5°С

Анализ полученного выражения показывает, что максимальное повышение температуры гидросмеси должно происходить при минимальной скорости движения в трубопроводе, т.е. при критической скорости

При обосновании технологии глубоководного гидроподъема, важным является такой фактор, как выбор диаметра трубопровода, и скорость движения гидросмеси.

Исследования последних лет В.С. Владиславлева, А.Е. Смолдырева, И.В. Кузьмина, В.И. Глухова, А.И. Кукеса, А.А. Петрова, И.Г. Бородацкого и многих других показали, что зависимость критической скорости от соотношения диаметров гранул и трубопровода носит параболический характер. Анализ результатов показал, что критическая скорость по мере роста размера частиц возрастает, но после того как увеличение размера частиц делает ее соразмерной с диаметром трубопровода, наблюдается уменьшение зазора между частицей и стенкой, что приводит к тому, что расчетная скорость уменьшается при фактическом росте скорости.

Экологические факторы выдвигают требования, совокупность которых определяет целесообразность подъема наиболее крупных разностей, при этом увеличение диаметра частицы при поддержании консистенции 1:10 приводит к увеличению диаметра трубопровода и расхода поднимаемой и затем возвращаемой в донные слои жидкости. Значения критической скорости вертикального потока у разных авторов определяются следующим образом (табл. 1)

**Таблица 1 – Определение критической скорости вертикального потока**

Автор	Формулы для определения критической скорости вертикального потока
П Р Рештингер	$v_{кр} = \kappa \sqrt{d(\rho - \rho_1) / \rho_1}$
Л П Шумилов	$v_{кр} = \sqrt{1.14g(\rho - \rho_1)d^{0.82}D^{0.18} / \rho_1}$
И В Кузьмин	$v_{кр} = \sqrt{2g(\rho - \rho_1)(D - d) / \kappa_3 \phi \rho_1}$
И Г. Бородацкий и А Е. Смолдырев	$v_{кр} = (1 - a^2) \sqrt{2g(\rho - \rho_1)d / 3\rho_1 \psi}$
В И Глухов и др.	$v_{кр} = \sqrt{\frac{2g(\rho - \rho_1)(1 - a^2)^2 d}{a^4 + Cx \frac{\kappa_1^2 (1 - a^2)^2}{(1 - \kappa_2 a^2)} + \lambda \frac{d}{(D - d)}}} \rho_1$

где  $D$  и  $d$  – диаметр трубы и транспортируемой частицы,  $a = \frac{d}{D}$ ,

$\rho$  и  $\rho_1$  – плотность частиц и жидкости,

$\psi$ ,  $Cx$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ,  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$ ,  $\kappa_3$  и  $\lambda$  – коэффициенты сопротивления, которые изменяются у авторов в различных пределах

При условии что на глубине 4600 м температура воды в трубопроводе составляет 3,5°C, величина прироста  $C_1$  определяется как 12,5°C, тогда на поверхности прогнозируется максимальная температура гидросмеси 16,5°C, т.е температура будет ниже, чем у поверхности воды, поэтому простой вертикальный подъем приведет к возникновению экологических неприятностей В связи с чем был продолжен поиск других технологий подъема

Решение, исключающее негативные, последствия представляется в форме подачи на дно для гидроподъема теплых вод, т.е. по U-образной схеме Теплые воды с поверхности подаются по вертикальному нисходящему трубопроводу к донному устройству, назначение которого состоит в загрузке в трубопровод конкреций, отделенных от вмещающих пород Это решение является продолжением корректировки технологии добычи конкреций на основе данных экспериментов по программе «ВІЕ» Перспективность такого решения объясняется возможностью в отличие от первой технологии вылива какого-то количества воды без негативных последствий После подстановки всех значений проводим теплотехнический расчет Методика расчета предусматривает вначале расчет снижения температуры воды в водопроводе за счет отдачи теп-

ла в воды океана при возникающем градиенте температуры с глубиной с учетом поступающего тепла за счет трения нисходящего потока воды. Затем происходит подъем конкреционной гидросмеси, который будет происходить в условиях знакоизменяющегося градиента температур в трубопроводе и вне его. Исходная температура в расчетах должна быть 21-22°C. При этом необходимо учитывать потери тепла при загрузке конкреций в трубопровод. Эти потери зависят от конструкции такого узла.

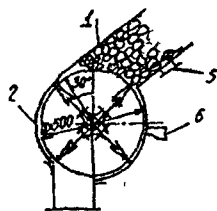
**В четвертой главе** рассмотрены рекомендуемая технологическая схема и устройства для загрузки конкреций в донный участок трубопровода и предложена методика расчета гидроподъема.

Проведенные исследования показали необходимость и возможность отмыва конкреций от вмещающих пород при намыве последних на дно океана. В качестве устройства для отделения рекомендуется дуговое сито, подрешетный продукт которого намывается на дно. Надрешетный продукт, получаемый на дуговом сите и имеющий крупность более 3 мм, должен быть подан в устройство, а затем загружен в трубопровод для подъема на судно, позиционирующегося на поверхности океана.

Первое технологическое решение представляется в виде зумпфов и находящихся на дне насосов, в которые подается теплая вода с поверхности. Насосы осуществляют породозабор конкреций из зумпфов в гидросмеси температур порядка +7 - +10°C. Второе технологическое решение представляется в виде, показанном на рис. 9 и являющимся аналогом устройств, известным как «загрузочные аппараты». Эффективность предлагаемых решений определяется потерями тепла и надежности конструктивных решений загрузочного устройства.

**Рисунок 9 - Схема загрузочного устройства**

1-слой конкреций; 2-загрузочное устройство; 5-патрубок подачи напорной воды для создания восходящего потока; 6-патрубок подачи воды для заполнения камер загрузочного устройства



Для обеспечения минимального попадания вместе с конкрециями холодных вод дна необходимо уплотнение конкреций после выгрузки их с дугового

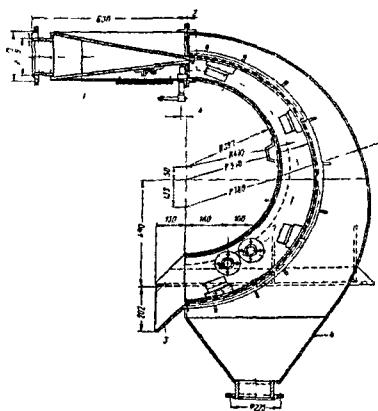
сита Модель представляла собой цилиндрический корпус с вращающимся в нем ротором В цилиндрическом корпусе загрузочного устройства имеются верхнее - загрузочное и нижнее - разгрузочное окна. Ротор состоит из вала с установленными на нем двумя торцевыми дисками и лопастей, крепящихся к валу и дискам Было установлено, что в работе устройств может происходить заклинивание ротора из-за того, что материал в камере располагается под определенным углом и к моменту начала шлюзования камеры, несмотря на имеющееся незаполненное пространство, не успевает пересыпаться с тем, чтобы освободить кромку лопасти Однако, изменив положение кромки загрузочного окна на 30 - 35° от вертикальной оси корпуса, можно полностью ликвидировать заклинивание и увеличить коэффициент заполнения камеры с 0,3—0,4 до 0,75—0,85, что позволяет снизить пористость заполнения зоны загрузки конкреций и соответствует следующим техническим характеристикам загрузочных устройств:

	Загрузочное устройство
Диаметр барабана, мм	500
Длина корпуса, мм	700
Вес, кг	150
Количество лопастей ротора	4
Скорость вращения ротора, об/мин	16
Мощность двигателя, кВт	4,5
Коэффициент заполнения камер	0,75-0,80
Максимальная производительность по твердому, м <sup>3</sup> /ч	70

Наблюдения за загрузочными устройствами на опытной установке показали надежную их работу Было установлено, что при вращении ротора загрузочного устройства режим восходящего потока не остается постоянным, а приобретает пульсирующий характер Такие особенности потока загрузки позволяют включать в состав установки гидроподъема узлы с достаточно высокой плотностью заполнения конкрециями, т е с минимальным заполнением пор холодными водами

Обработка результатов исследований, проводившихся на полигоне «ВІЕ», в Московском государственном горном университете позволила уточнить технологическую схему добычи ЖМК в океане, наиболее соответствующую геоэкологическим условиям Мирового океана В этой схеме выемка конкреционной массы производится земснарядом отрицательной плавучести, переме-

шающимися над дном за счет элементов плавучести в зонах, богатых морской фауной и флорой или «ползающим» по дну полигона при их отсутствии, в результате этого происходит породозабор конкреций. Согласно предложенной схеме после сбора ЖМК добычным устройством сформированная гидросмесь по трубопроводу длиной более 100 метров подается на установку, описанную выше т.е в узел отделения конкреций от вмещающих пород. В узле установлено классифицирующее устройство - дуговое сито с размером отверстий решетки, равным 2,5-3 мм, площадь которого определяется из расчета  $800 \text{ м}^3 \text{ гидросмеси/м}^2$ , где и происходит отделение конкреций от вмещающих пород. Проведенные исследования на модели дугового сита грохота (рис 10) показали, что: 1) должны применяться дуговые сита с наклонным расположением питающей коробки; 2) ширину диффузора нужно принимать равной 1,2 размера максимального куска питания, 3) угол наклона участка поступления должен быть свыше  $48^\circ$  и участка схода свыше  $42^\circ$  при скорости подачи 3-3,5  $\text{м}^3/\text{ч}$ , 4) удельную производительность 1  $\text{м}^2$  живого сечения по гидросмеси составит 800  $\text{м}^3/\text{ч}$



**Рисунок 10 – Дуговой грохот шириной 1170 мм**

порядка  $42^\circ$ - $48^\circ$ .

Исследования показали, что для отмыва конкреций от налипаний и примазок необходимо движение их в потоке на расстояние более 100 м со скоростью более 2-3 м/с. Снаряд по плавучему трубопроводу нулевой плавучести должен подавать пульпу на стационарную установку по отделению

Зная ширину щели решетки, определяем требуемую длину дуговой решетки

$$L = \frac{Q}{q \xi v}, \quad (15)$$

где  $q$  – производительность на 1  $\text{м}^2$  площади живого сечения,  $\text{м}^3/\text{сек м}^2$ ,

$\xi$  – коэффициент, показывающий отношение площади решетки,

$v$  – ширина щели решетки

Определяем требуемый радиус кривизны как  $R = L \cdot 180^\circ / \pi \alpha$

где  $\alpha$  – угол, равный для сит -  $48^\circ + \beta$ , где  $\beta$  – рекомендуемый угол наклона коробки

конкреций от илов Установка должна быть расположена на расстоянии более 100 м при скорости транспорта не менее 2,5 м/с. Отмытые конкреции складываются в бункер, откуда через зумпф или аппарат загружаются в U - образный трубопровод и при наличии судна подаются на поверхность, а вмещающие породы целесообразно складировать в местах, где присутствие морской фауны и флоры незначительно, т е в зону дна океана - «зоны реколонизации».

Таким образом, термодинамические расчеты гидрподъема должны производиться в следующей последовательности. 1) расчет снижения температур поверхностных вод при движении вниз на глубину положения аппарата загрузки в эти воды конкреций, 2) расчет изменения температуры гидросмеси после загрузки

### **Заключение**

В диссертационной работе на основании проведенных исследований дано решение актуальной научной задачи выбора технологии глубоководного гидрподъема при добыче железомарганцевых конкреций в субтропической зоне Тихого океана, позволяющего снизить экологический риск при эксплуатации глубоководного земснаряда При этом сделаны следующие выводы и даны рекомендации.

1. Проведенный анализ термодинамического режима глубоководного подъема гидросмеси конкреционной массы по схеме вертикального подъема с поступлением тепла в трубопровод по мере роста температуры вод вокруг трубы по сравнению со схемой U-образного подъема, при котором в качестве гидросмесеобразующей жидкости используется теплая вода поверхности океана, показал экологические преимущества U-образной схемы

2. Для обеспечения по U-образной схеме гидрподъема поступления на судно гидросмеси с температурой, равной или близкой к температуре вод поверхности океана, целесообразно покрыть трубы нисходящего водовода теплоизолятором который может быть и элементом, снижающим отрицательную плавучесть трубопровода.

3 Для компенсации разницы в расчетных режимах потерь тепла в вертикальной восходящей трубе при U-образной схеме необходимо, чтобы температура вод, поступающих в узел образования гидросмеси была на 4 - 5°C выше

температуры донных слоев Предложенная нами зависимость изменения температур вод океана на основании обработки данных экспедиций «Южморгеология» по программе «ВІЕ» позволяет уточнить это значение по глубине расположения узла загрузки

4 В работе показаны различные варианты решения по узлу поступления конкреций для гидроподъема и результаты исследований по установлению их параметров

Рекомендации диссертации используются при уточнении технологических решений по созданию технологии добычи в океане

**Основные положения диссертации  
опубликованы в следующих работах**

1 Бубис Ю В , Кафидов Н Г, Оздоева Б М , Нарышкина О А Исследования изменений геоэкологической обстановки при грунтозаборе в зоне подводной добычи полиметаллических конкреций //Горный журнал – М №1 2006 с 42-46

2 Нарышкина О А Выбор технологии экологически безопасного глубоководного гидроподъема при добыче железомарганцевых конкреций в субтропической зоне Тихого океана - М Горный информационно-аналитический бюллетень Дел рук № 525/12-06, 14 с

Подписано в печать 18 0407

Объем 1,0 п л

Тираж 100 экз

Формат 60x90/16

Заказ № 429

---

Типография Московского государственного горного университета  
Москва, Ленинский проспект, 6