

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»**

На правах рукописи

НГО ЧАН ТХИЕН КЮИ

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ОСВОЕНИЯ
МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ**

2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика,
маркшейдерское дело и геометрия недр»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: Проф., д.т.н. Кириченко Юрий Васильевич

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Состояние и перспективы освоения минерально-сырьевых ресурсов мирового океана	9
1.1. Минерально-сырьевые ресурсы Мирового океана (МО)	9
1.2. Основные способы и средства разведки глубоководных месторождений	15
1.3. Анализ существующих и перспективных способов и технологий разработки подводных месторождений ТПИ	20
1.4. Инженерно-геологические особенности Вьетнамского региона	21
Выводы	24
Глава 2. Инженерно-геологическая характеристика освоенности и ресурсного потенциала шельфовой зоны вьетнамского моря	25
2.1. Основные сведения о шельфовой зоне Южно-Китайского моря (ЮКМ) и его особенности	25
2.2. Полезные ископаемые россыпей шельфа Вьетнама и уровень их освоения	27
2.3. Характеристика основных россыпных месторождений цветных металлов	31
2.4. Характеристика месторождений кварцевых (стекольных) песков и строительных материалов	37
2.5. Анализ возможности разработки шельфовых месторождений	40
Выводы	44
Глава 3. Геологическая характеристика, потенциал и генезис образования твердых полезных ископаемых на дне южно-китайского моря	44
3.1. Геологические особенности морских глубин Вьетнама	44
3.2. Твердые минеральные ресурсы морских глубин в исключительной экономической зоне Вьетнама	51
3.3. Результаты исследований образцов руд железомарганцевых образований (ЖМО) дна ЮКМ	55
3.4. Генетический механизм и развитие железомарганцевых конкреций (ЖМК) и корок.	65
Выводы	68
Глава 4. Разработка классификации и прогнозное районирование вьетнамского моря по перспективности нахождения месторождений ТПИ	69
4.1. Анализ общих положений, основных целей и методов геолого-разведочных работ	69
4.2. Оценка и классификация потенциально-перспективных районов (зон) для организации поисково-разведочных работ на морском дне Вьетнама	74
4.2.1. Выделение основных классификационных признаков районирования континентального шельфа Вьетнама	74
4.2.2. Определение классификационных признаков районирования по ресурсной перспективности глубинных районов для поисково-разведочных работ ЖМО	79
4.3. Классификация потенциальных зон/районов железомарганцевых месторождений во Вьетнамском море	84
4.3.1. Анализ исходных материалов и методы обработки данных	84
4.3.2. Факторы, определяющие и влияющие на формирование и развитие железомарганцевых образований во Вьетнамском море	89
4.4. Результаты районирования по ресурсной перспективности Вьетнамского моря	96
4.4.1. Россыпи и строительные материалы на континентальном шельфе	96
4.1.1. Результаты районирования по железомарганцевым месторождениям	98
Выводы	102

Глава 5. Разработка рекомендаций по организации геологоразведочных работ во вьетнамском море и геоэкологическая их оценка	104
5.1. Анализ общих требований к геологоразведочным работам во Вьетнамском море	104
5.2. Анализ существующих средств и способов глубоководного пробоотбора	107
5.3. Разработка автономного самовсплывающего пробоотборника газодинамического принципа действия	111
5.4. Разработка и обоснование основных параметров поисковых работ применительно к условиям Вьетнамского моря	116
5.5. Общая оценка экологических последствий геологоразведочных и добычных работ	124
Выводы	128
Заключение	130
Список литературы	132
Список сокращений	146
Приложение 1. Справка	147
Приложение 2. Батиметрическая карта морского дна.	150
Приложение 3. Карта классификации поверхности морского дна по уклону	151
Приложение 4. Карта перспективных железомарганцевых месторождений (карта зон поисково-разведочных работ).	152

Введение

Вьетнам - одна из древнейших цивилизаций на планете, которая в процессе своего развития постоянно использовала дары моря – от сбора и ловли морепродуктов для питания и изготовления украшений до добычи различных материалов и полезных ископаемых для строительства и промышленности.

Социалистическая Республика Вьетнам обладает значительными запасами полезных ископаемых. На севере имеются месторождения каменного угля, железа, свинца, цинка, бокситов, вольфрама, олова, редкоземельных элементов, на юге – угля, золота, молибдена. Проведенная в 90-е годы двадцатого века приватизация государственных предприятий коснулась и горнодобывающей отрасли, что затормозило создание собственной производственной базы. В настоящее время до 50% ВВП Вьетнама формируется за счет продажи минерального сырья и сельхозпродукции, в первую очередь США и КНР. Увеличение объемов добычи и спектра полезных ископаемых Вьетнам планирует за счет освоения минеральных ресурсов моря, что обосновывается географическим положением страны.

Вьетнам, как и другие азиатские страны Тихоокеанского побережья, имеет многовековой опыт разработки и эксплуатации морских ресурсов. Еще 6 тыс. лет назад люди, живущие на восточном побережье современных Вьетнама и Китая, начали не только собирать в огромном количестве раковины во время отлива, но и ныряя на глубины более 10 метров. Освоению подводных морских ресурсов способствовали не только географическое положение, но и климат – температура воды Тихого океана в экваториальной и приэкваториальной зонах у поверхности составляет $+26\div 29^{\circ}$ (C⁰).

В последние годы в лидеры по освоению морских ресурсов (в том числе и в ЮКМ) все увереннее выдвигается Китай. Он проводит множество как международных, так и самостоятельных проектов.

Начало разведки и разработки россыпей на морском побережье Китая проходило с 1955 по 1965 гг., когда провинциальные управления по геологии и металлургии провели обширные исследования и выявили месторождения минералов, пригодные для промышленного извлечения. Были обнаружены и оценены месторождения циркона, гранатов, ильменита и др. полезных ископаемых в провинциях Гуандун, Шанду и началось их освоение. Например, месторождение на острове Шидао округа Роншен разрабатывается с 1959 года.

С начала 70-х годов уже централизованно под эгидой тогдашнего Министерства геологии были открыты морские месторождения самых разных осадков, в том числе

цирконов, ильменитов, монацитов, фосфоритов, рутила, касситерита, магнетита и т.д. Только в области, ограниченной изобатой 15 м, было открыто более 100 месторождений. В настоящее время Китай, подробно обследовав свои территориальные воды и активно осваивая открытые здесь месторождения, значительно расширяет область и масштабность исследований в Мировом океане, зачастую претендуя на шельфовые зоны акваторий соседних стран.

В последние годы Вьетнам также активизирует исследовательские работы по поиску и оценке потенциальных участков с залежами твердых полезных ископаемых в своих акваториях, что позволит развивать будущие геологоразведочные работы и предложить новое геологоразведочное оборудование.

Актуальность работы.

Принятая в Социалистической Республике Вьетнам программа развития народного хозяйства, базирующегося на собственной минерально-сырьевой базе, требует повышения объемов добычи и разработки видов твердых полезных ископаемых (ПИ), месторождений которых на суше практически нет.

Наличие у страны протяженной береговой линии восточной окраины Тихого океана предопределяет исследования, поиск и разведку морских полезных ископаемых, способствуя ориентации на рациональное использование минеральных ресурсов для процесса индустриализации, утверждению суверенитета страны в исключительной экономической зоне, развитию Вьетнама на пути к тому, чтобы стать сильной морской державой. Вьетнам принял Стратегию устойчивого морского экономического развития до 2045 года. Поэтому инженерно-геологическое обоснование перспектив освоения месторождений железомарганцевых образований и других твердых полезных ископаемых в Южно-Китайском море является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы заключается в инженерно-геологическом обосновании перспектив освоения морских месторождений железомарганцевых образований и других твердых полезных ископаемых.

Идея работы заключается в научном обосновании классификационных критериев зонирования и выделения перспективных участков железомарганцевых образований в Южно-Китайском море для организации поисковых работ.

Задачи исследований:

1. Анализ научно-технической литературы и результатов ранее выполненных исследований минерально-сырьевых ресурсов Мирового океана.
2. Обзорная оценка и анализ потенциала твердых полезных ископаемых морского дна Вьетнама, включая результаты исследований месторождений

строительных материалов, россыпей во вьетнамских водах и месторождений железо-марганца в глубинных районах Южно-Китайского моря.

3. Определение условий образования и накопления строительных материалов и россыпей в прибрежных районах и шельфовой зоне как предпосылки для выявления зон и районов образования и развития железомарганцевых месторождений во Вьетнамском море (эксклюзивной экономической зоне Вьетнама в ЮКМ).
4. Проведение комплексных исследований образцов пород морского дна Вьетнамского моря с целью определения содержания полезных компонентов и форм их проявления.
5. Создание батиметрической карты дна ЮКМ, обобщение и анализ факторов, влияющих на формирование и развитие железомарганцевых месторождений в Мировом океане с целью выявления этих признаков во Вьетнамском море.
6. Выявление благоприятных критериев, влияющих на формирование железомарганцевых руд с целью зонирования дна ЮКМ по потенциалу их образования в виде грануляций и корок для будущих поисков и разведки.
7. Разработка схем и средств поисково-разведочных работ и экологическая оценка их последствий.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Выявление перспективных участков развития железомарганцевых образований должно производиться на основе определения условий образования россыпей в шельфовой зоне Вьетнамского моря и месторождений конкреций и корок в других окраинных морях Мирового океана.
2. На основании проведенного анализа образцов пород дна ЮКМ установлены наличие в них железомарганцевых образований с содержанием железа, марганца, кобальта, никеля, меди и редкоземельных элементов и скорость роста этих образований, характерная для окраинных морей.
3. Выявлен и обоснован комплекс классификационных критериев (топографический наклон поверхности, глубина морского дна по отношению к зоне кислородного минимума и границе карбонатной компенсации, возраст поверхности морского дна, осадочные особенности на поверхности морского дна, наличие ядер для развития конкреций, наличие и скорость глубинных течений и т.д.), позволяющий впервые произвести зонирование дна

Вьетнамского моря по перспективности нахождения месторождений железомарганцевых образований и других твердых полезных ископаемых.

Обоснованность и достоверность научных исследований, выводов и рекомендаций работы подтверждается применением следующих апробированных методов исследований: анализ научно-технической информации по разведке и освоению глубоководных месторождений, методы сбора, анализа и синтеза данных о морских месторождениях территориальных и внешних акваторий Вьетнама, статистические методы обработки геологической, инженерно-геологической, гидрологической, геофизической, экологической и т.п. информации, методы построения топографо-геологических карт с использованием баз данных и программ Gebco, GMT, Mapinfo, Arcgis, апробированные методы районирования по комплексу таксонов, методы анализа и обработки проб железомарганцевых руд, в том числе петрографический анализ, масс-спектрометрию индуктивно-связанной плазмы (ISP-MS), рентгеновскую флуоресцентную спектроскопию (XRF).

Научная новизна исследований заключается в многофакторном обосновании перспективности Вьетнамского моря для поиска и разработки ТПИ, в том числе железомарганцевых образований (ЖМО), определении генезиса донных проб, разработке классификационных критериев для проведения специального районирования ЮКМ по перспективности и эффективности поисковых работ применительно к различным видам твердых полезных ископаемых, обосновании конструкции и области применения разработанного оборудования и схем пробоотбора и выявлении экологических проблем разведки морских месторождений.

Практическое значение заключается в обосновании перспектив проведения поисковых работ во Вьетнамском море на основе:

- доказательства наличия железомарганцевых образований и других твердых полезных ископаемых;
- зонирования акватории по перспективности обнаружения донных месторождений на основе выявленных классификационных критериев;
- разработки схем и средств пробоотбора.

Реализация выводов и рекомендаций работы.

Разработанная автором классификация и районирование дна Вьетнамского моря использованы при корректировке плана морских геологоразведочных работ Институтом геологии и минеральных ресурсов Министерства природных ресурсов и экологии СРВ. Предложенная автором конструктивная схема автономного пробоотборника газодинамического принципа действия (АПГД) рекомендована для включения в план по разработке новых видов и технологий морских изысканий на 2023 год Центром внедрения

горных технологий Куангниньского индустриального университета. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс по подготовке магистров факультета «Горные выработки и инженерное дело» Куангниньского индустриального университета.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались на Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (2020-2022 гг.), 12-ой научной конференции Университета естественных наук и Вьетнамского национального университета Хошимина (2020 г.), научных семинарах кафедры геологии и маркшейдерского дела горного института НИТУ «МИСиС» (2020-2022 гг.).

Публикации.

Основное содержание работы опубликовано в 6 научных трудах в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ и в наукометрическую базу Skopus.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и 6 приложений, содержит 38 рисунков, 16 таблиц, список литературы из 156 наименований.

Автор выражает благодарность за постоянную помощь и внимание к работе научному руководителю проф. Кириченко Ю.В., сотрудникам кафедры геологии и маркшейдерского дела Зервандовой В.П., Щёкиной М.В., Абрамяну Г.О., Мельниченко И.А., сотрудникам Вьетнамского института океанографии, Вьетнамского нефтяного института, Вьетнамского национального университета Хошимина Фам Б.Т., Нгуен Т.Т., Доан Т.Т., Фам Т.Х., Нгуен К.Х., Ле Х.Т. за обеспечение исследований, а также Нгуен А.Т. (США) и Дж. Р. Хейн (США) за предоставленные материалы и комментарии.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ МИРОВОГО ОКЕАНА

1.1. Минерально-сырьевые ресурсы Мирового океана (МО)

Интерес к океаническим минерально-сырьевым и биоресурсам в последние годы усиливается и уже перешел из технической области в геополитическую. На одну и ту же акваторию МО зачастую претендует сразу несколько стран и это объясняется конечностью планетарных запасов ресурсов.

История разработки морских месторождений «традиционных» твёрдых полезных ископаемых, таких как уголь, железные руды, олово, алмазы, никель, ртуть, сера и др., насчитывает несколько десятилетий. Большой опыт накоплен у таких стран, как Великобритания, Япония, Канада, Австралия, Новая Зеландия, Турция.

Коммерческая добыча олова началась в Таиланде в конце 1800-х годов из месторождений, находящихся на побережье Малайского полуострова. Золотороссыпные месторождения вдоль Аляски побережья Соединенных Штатов Америки разрабатываются с 1898 года [1-7, 140, 146].

До сих пор район континентального шельфа все еще считается относительно благоприятным, кое-где разрабатываются всевозможные россыпи и строительные материалы, причем большая часть добычи на континентальном шельфе ведется не глубже 30 метров воды. В нескольких местах ведется добыча на большей глубине, но не более 150 м, например, в случае разработки алмазных россыпей у побережья Намибии (Южная Африка), но ожидается, что в будущем они смогут достичь глубины до 180 м. Разработка оловянных россыпей в прибрежной зоне Индонезии осуществляется на глубине до 50 м с 2014 г. [1, 4, 140, 146].

Песок и гравий являются основными материалами, используемыми в строительстве и в ряде других отраслей. Многие страны мира добывают песок и гравий из рек и ручьев, конусов выноса, погребенных русел рек и т.п. материке. В тоже время страны, окруженные морем, имеющие дефицит в этих материалах, добывают их с морского дна с 70-х годов прошлого века. В некоторых странах добыча строительных материалов из моря составляет 10-30% от общей потребности в строительных материалах всей страны. Например: Англия ежегодно добывает 4,5 миллиона тонн песка из прибрежных и шельфовых зон, из них 50% используется для строительства, 20% для защиты берегов и остальные 30% идут на экспорт; Франция добывает 6 - 12 млн тонн; Германия в 2005 г. добыла 0,7 млн. м³; Япония добывает свыше 70-80 млн т/год, что составляет 30% всего песка и гравия, используемого для строительства. Планируется добыча на глубине более 35 м и в ближайшем будущем она

может достичь 70-80 м. США, с их большим спросом на строительные материалы, также много добывают с морского дна. Многие страны ориентированы на то, что они будут добывать строительные материалы с морского дна на континентальном шельфе, что дополнительно снизит экологическое воздействие на ОПС [1, 4, 140, 146].

Разведка и эксплуатация полезных ископаемых на дне морей и океанов сталкивается со многими трудностями и проблемами в таких вопросах, как техника, технология, экологическая и природоохранная безопасность, а также экономическая эффективность. Технологии глубоководной разведки и эксплуатации все еще исследуются, разрабатываются и тестируются.

В течение нескольких лет потребности в использовании металлов касались не только благородных металлов (медь, цинк, свинец и др.), но и редких металлов (редкоземельных металлов, индия, металлов платиновой группы (МПП), галлия и т.п.), иногда их называют критическими или стратегическими металлами из-за их расширяющегося использования в новых технологиях (электроника, военное применение, чистая энергия, оптика и т.д.). Поэтому некоторые металлы, такие как Co, Ti, Ni и др. редкоземельные элементы также имеют быстрый рост спроса в ближайшем будущем.

Необходимость использовать все больше и больше полезных ископаемых для добычи металлов приводит к истощению полезных ископаемых, эксплуатируемых на континентальной суше. С другой стороны, увеличение добычи полезных ископаемых внутри страны сталкивается со многими трудностями из-за усложнения условий разработки, таких как рост глубины, уменьшение запасов высококачественной руды, увеличение затрат на переработку и обогащение низкокачественной руды, рост объемов отходов, а также проблемы с загрязнением окружающей среды. Таким образом, стратегия на будущее заключается в том, что нам нужно искать минеральные ресурсы в море, океане и даже на других планетах.

С конца двадцатого века и по настоящее время многие страны мира оценили ценность твердых полезных ископаемых дна морей и океанов для производственных и экспортных нужд и обеспечения ресурсной безопасности страны.

Около 95% железомарганцевых образований сосредоточены в субэкваториальной и экваториальной зонах. Мегапояс конкрецееобразования опоясывает планету от 35° с.ш. до 47° ю.ш. [116]. На региональном уровне распределение ЖМО контролируется крупными морфоструктурами дна океана, среди которых выделяются три типа: морфоструктуры абиссальных котловин (с ними связаны месторождения ЖМК) морфоструктуры морфологических поднятий и гор (к ним приурочены месторождения КМК),

морфоструктуры переходной зоны. Скопления ЖМО, приуроченные к океаническим морфоструктурам, называются полями.

На сегодня в Мировом океане зафиксировано 18 крупных полей (провинций) ЖМО, в том числе: в Тихом океане – 7 полей ЖМК и 5 полей КМК, в Индийском – 4 поля ЖМК и одно КМК, в Атлантическом океане выделено одно поле ЖМК [147]. Степень их геологической изученности различный, но доказано, что состав ЖМО формируется в зависимости от гидрогеохимической зональности водной толщи пород морского дна (Рисунок – 1.1).

Полиметаллические сульфиды распространены в самых разных геологических условиях. Однако двумя крупными глобальными структурами с большой площадью аккумуляции являются срединно-океанические спрединговые хребты и системы островных дуг. Оценки распространенности и распределения известных месторождений сульфидов в хорошо изученных районах показывают, что на современном морском дне может существовать от 1000 до 5000 крупных месторождений сульфидов. [1, 20, 71].

По последним данным (ФГУП «ВНИИОкеан геология» им. Грамберга и ФГУНПП «ПМГРЭ») общий ресурсный потенциал океанских руд по сухой массе составляет:

- железомарганцевые конкреции (ЖМК) – 56,6 млрд.т (Mn, Ni, Cu, Co, Mo);
- кобальт-марганцевые корки (КМК) – 43,1 млрд.т (Co, Mn, Ni, Cu, Mo, редкие земли);
- глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС) – 223 млн.т (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, редкие земли) [10, 48, 65].

Из океанических руд можно извлекать целый ряд стратегических и редких металлов, в первую очередь, марганец, никель, медь, кобальт, молибден, цинк, золото, серебро, теллур, церий и т.д. Полезные ископаемые глубоководных зон, находящиеся в международных водах, не принадлежат каким-либо отдельным странам, а являются достоянием всего человечества. Их использованием занимается специально созданный в 1994 году Международный орган по морскому дну – МОМД (International Seabed Authority – ISA) при ООН, который разработал и утвердил пакет документов, регламентирующих порядок ГРП в Мировом океане («Правила поиска и разведки полиметаллических конкреций в Международном районе морского дна» - 2010 г.; «Правила поиска и разведки полиметаллических сульфидов в Районе» - 2010 г.; «Правила поиска и разведки кобальтоносных корок» - 2012 г.). В работе МОМД принимают участие 167 стран, в том числе и СРВ. С 2001 по 2021 год было заключено 19 контрактов на конкреции, 6 на корку и 7 на сульфиды (<https://www.isa.org.jm/exploration-contracts>).

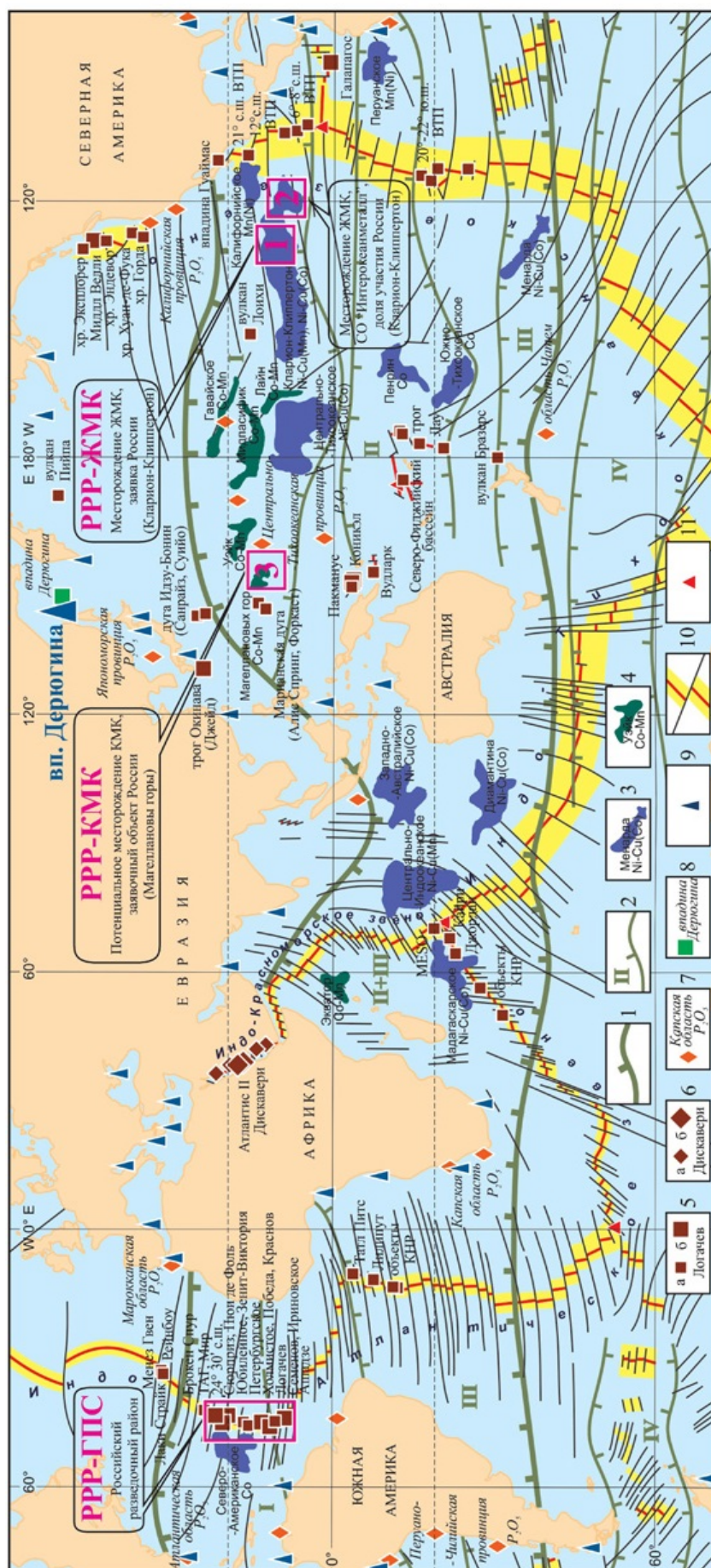


Рисунок 1.1. – Карта распространения железомарганцевых конкреций (ЖМК), кобальт-марганцевых корок (КМК), гидротермальных полиметаллических сульфидов (ГПС) и газогидратов в Мировом океане.

1 и 2 - границы мегапояса и поясов океанского железомарганцевого конкрециеобразования: I – Северный Приэкваториальный, II – Экваториальный, III – Южный Приэкваториальный, IV – Субантарктический
3 и 4 - поля распространения железомарганцевых конкреций корок с указанием геохимической специализации; 5 - скопления океанических сульфидных руд: а - мелкие и средние, б - крупные; 6 - скопления металлоносных расслов: а - мелкие и средние, б - крупные; 7 - фосфоритоносные провинции и области; 8 - бариты; 9 - газогидраты
10 - осевая зона и центральный рифт срединно-океанического хребта; 11 - тройные сочленения

В число ведущих стран в области глубоководных исследований, поиска и разведки полезных ископаемых входят Россия, США, Япония, Китай, Индия, Германия, Канада, Франция, а в последнее время при участии Кореи Сингапур.

До сих пор не было официальных сообщений о промышленной разработке глубоководных и океанских месторождений, разведка и пробная эксплуатация проводятся со многими трудностями и проблемами в области техники и технологий, а также экологическими проблемами. Эко-экологические исследования часто проводятся во время пробной добычи и оценки экологической устойчивости с интервалом в 10, 15 и 20 лет [20, 71, 141].

Теоретическим основам изучения условий образования, расположения и освоения твердых минеральных ресурсов дна морей и океанов были посвящены исследования многих специалистов различной направленности во всех морских странах. В мире это Дж. Метро, П.Н.Мартенс, Дж.Коннет, И.Хашимото, Ф.Аументо, Г.Димов, А.Ксавье, В.Зыка, М.Бау, Бонатти, Д.Кронен, Я.Като, Г.П.Глпсби, П.Хальбах, Т.Ямадзаки, Дж.Р.Хайн, П.А.Рона, Р.Шармаль, А.Кошинский, Т.Кухн, К.А.Хун, К.Фукун, Лж.Пьер, Ю.Гуань, Ю.Ужун.

В Советском Союзе (России) исследованиям морских месторождений и технологиям их разработки посвящены работы Ржевского В.В., Грамберга И.С., Козловского Е.А., Нурок Г.А., Бубиса Ю.В., Мирчинк И.Н., Андреева С.И., Черкашева Г.А., Костина В.Н., Юбко В.М., Дробаденко В.П., Вильмиса А.Л., Добрецова В.Б., Истомина С.Ю., Казмина Ю.В., Калинина Н.Г., Ялтанца И.М., Кириченко Ю.В., Безрукова П.Л., Глумова И.Ф., Малухина Н.Г., Смолдырева А.Е., Каширского А.С. и других.

Изучению геологических условий и минерально-сырьевой перспективности Южно-Китайского моря, особенно применительно к эксклюзивной экономической зоне (Вьетнамское море) во Вьетнаме посвящены исследования Ле Дук То, Май Тхань Тан, Дю Ван Тоан, Ву Хук, Тран Ван Три, До Минь Дьен, То Ну Ми Ду, Нгуен Биу, Нгуен Тхи Кин Хоанг, Нгуен Тхе Гип, Нгуен Суан Бао, Трин Тхе Хьеу, Нгуен Хоанг, Дао Мань Тиен.

Генезис формирования ЖМК до конца учеными не доказан и ведутся споры о процессах, влияющих на их образование. Скорости образования конкреций и корок также весьма разнятся в оценках – от первых миллиметров в миллион лет до миллиметров в год (находки конкреций на Балтике с ядрами в виде пробок от пива и других предметов 40-х годов прошлого столетия). Также в лабораторных условиях при моделировании интенсивных окислительно-восстановительных условий добивались скоростей роста в сантиметрах в месяц. Можно с уверенностью отметить, что рост ЖМО зависит от конкретных геологических, гидрологических и геохимических условий.

Актуальность освоения ресурсов морского дна подтверждает то, что уже в 70-80 гг. прошлого века на исследование океанического дна с целью достижения стратегического превосходства их в освоении ведущими странами мира было потрачено более 4 млрд. долларов США. Сейчас эти затраты возросли на порядок. Поэтому с конца 70-х годов сведения о месторождениях ЖМО, их составе становятся все более ограниченными, приобретают гриф секретности. США, Япония, Китай и др. страны, зачастую, даже приводя какие-либо данные по результатам исследований, не дают географической привязки, или искажают эти данные и координаты районов изысканий.

Систематические попытки разных стран организовать промышленную добычу глубоководных полезных ископаемых хотя бы с годовыми объемами в первые миллионы тонн до сих пор успехом не увенчались. Это подтверждается опытом наиболее успешной в плане реализации подводной добычи международной компании Nautilus Minerals, которая в течение 9 лет вела подготовку технологического обеспечения добычных работ ГПС в территориальных водах Папуа – Новая Гвинея, но первоначальные планы начать добычу в 2018 году к 2022 г. уже практически похоронены из-за финансовых и экологических проблем.

Экологические проблемы, возникающие при разработке морских месторождений ТПИ, не выше, чем при их добыче на континентальной суше и конечно ниже уровня воздействия на окружающую природную среду (ОПС) при морской добыче углеводородов. Однако, эти вопросы периодически возникают при обсуждении любого проекта разработки морских месторождений [28].

Система классификации глубоководных минеральных ресурсов

Минеральные ресурсы морей и океанов классифицируют по различным системам, основанным на их распространении, происхождении, форме существования и глубине.

По местонахождению полезные ископаемые в морях и океанах можно разделить на три группы [4,18,57]:

- Морская вода содержит 95 растворенных химических элементов, общий объем которых оценивается в 50 000 000 миллиардов тонн.
- Полезные ископаемые на поверхности дна, такие как: строительные материалы, россыпи, железные и марганцевые конкреции, кобальт-марганцевые корки, металлосодержащие илы и др.
- Полезные ископаемые под поверхностью морского дна: нефть, газогидраты, руды, содержащие металлы и др.

С точки зрения технических условий технологии добычи полезных ископаемых геологи также дают способ разделения твердых полезных ископаемых морского дна по

топографическому положению и глубине: полезные ископаемые шельфа и месторождения континентального склона и глубоководного дна [4,18,57].

Кроме того, существует также классификация по происхождению образования и по тектонической модели плит, что имеет больше теоретическое значение, а также вносит предпосылки для поисков и разведки. Согласно тектонической модели плит, полезные ископаемые связаны с такими условиями, как расходящиеся, конвергентные и трансформные разломы. В зависимости от источника происхождения морские минеральные ресурсы можно разделить на три категории [4,18]:

- Морские месторождения полезных ископаемых из наземных источников, которые включают строительные материалы, россыпные месторождения, янтарь, месторождения извести, фосфоритов и солей, а также береговые отложения континентальных окраин.
- Морские месторождения полезных ископаемых из комбинированных земных и глубоководных ресурсов включают железомарганцевые конкреции и корки.
- Морские полезные ископаемые из источников в океанических бассейнах, включающие металлоносные отложения, массивные сульфиды морского дна.

1.2. Основные способы и средства разведки глубоководных месторождений

Геолого-разведочные работы (ГРР) в морских акваториях значительно сложны, а следовательно экономо-, трудо- и материально затратны, чем при организации поисково-разведочных работ на континентальной суше. Влияние климатических условий, особенности водной среды, физические законы, действующие на больших глубинах, вынуждают создавать новые схемы и средства ГРР.

Реализация геолого-разведочного процесса в океане основывается на применении комплекса контактных и дистанционных методов геолого-геофизических исследований, основными из которых являются [1, 19, 120]:

- эхолотный промер (изучение глубин и рельефа дна);
- сейсмоакустическое профилирование (изучение строения верхней части геологических разрезов дна);
- магнитометрическая съемка (изучение тектонической структуры дна);
- приповерхностная сонарная съемка дальнего действия (исследование общих особенностей геоморфологии морского дна и оценка характера донноповерхностных отложений);



Рисунок – 1.2. Примеры оборудования для разведки в глубоководных районах

- Необходимо отметить, что большая часть оборудования служит для поисковых работ, при которых главной целью является обнаружение залежей ТПИ или геофизических и т.п. признаков их возможного образования, а для

принятия технологических решений придонная высокоразрешающая сонарная съемка (исследование локальных особенностей геоморфологии морского дна и качественная оценка их рудоносности);

- придонное фото-телепрофилирование (количественная оценка рудоносности морского дна, а также распространенности разнородных нерудных донно-поверхностных образований);
- геологический пробоотбор (количественная оценка рудоносности морского дна, исследование минерального и химического состава руд и ассоциирующихся с ними осадочных отложений).

В настоящее время существует различное оборудование для исследований на больших глубинах морского дна (до 10000 м) [2, 10, 23, 24, 29-42].

освоения залежей ЖМО необходимо иметь информацию об их вещественном составе, генезисе образования и условиях залегания.

Такая задача решается с помощью пробоотбора образцов донных отложений в выбранном для разведки районе. В зависимости от литологического строения дна и крепости пород применяются следующие способы отбора проб [24, 30-38]:

- на крепких, не подверженных выветриванию, породах – бурение скважин, колонковый пробоотбор (управляемый или неуправляемый);
- на разрушенных породах (рыхлых осадках) – дночерпатели (в том числе автономные) и драги различных конструкций.

На первоначальных этапах поисковых работ хорошо зарекомендовали себя автономные самовсплывающие пробоотборники, используемые на глубинах до 6000 м. Принципиальная схема такого дночерпателя представлена на Рисунок – 1.3. Принцип его действия заключается в гравитационном действии балластных грузов, обеспечивающих закрытие створок грейферного ковша при зачерпывании донной пробы, и последующем всплытии за счет имеющего положительную плавучесть поплавного модуля, при сборе грузов.

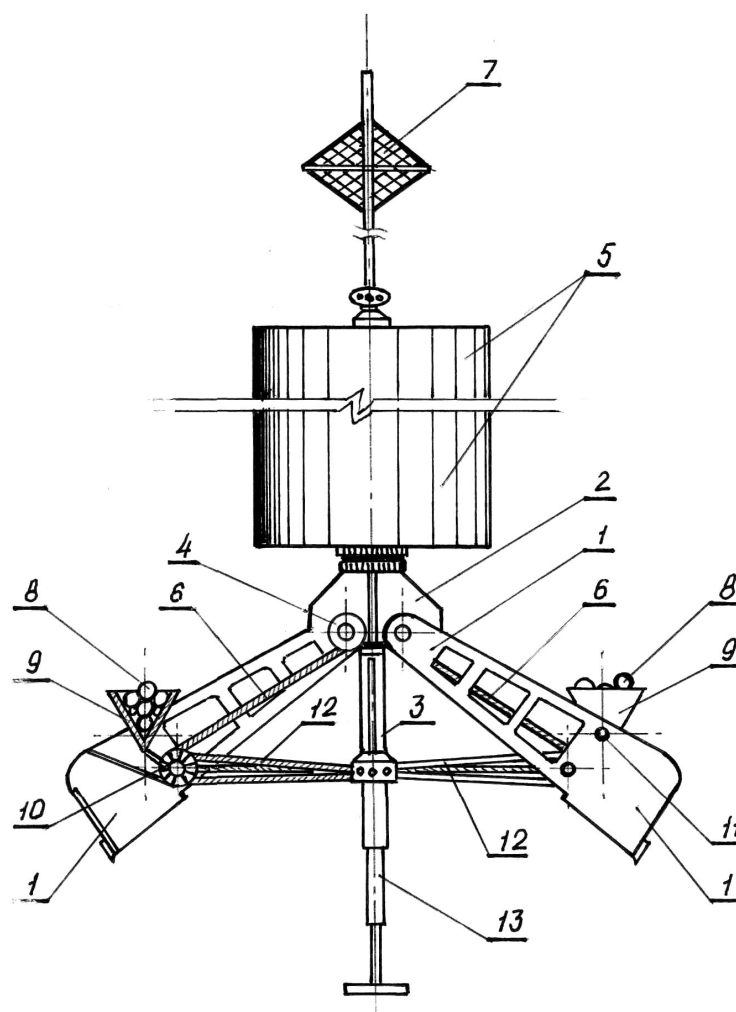


Рисунок – 1.3. Схема самовсплывающего дночерпателя (автономного пробоотборника) модели АП-6000 [48]: 1 – створки грейферного ковша; 2 – опорная рама; 3 – направляющая штанга; 4 – шкив; 5 – поплавковый модуль; 6 – гибкая тяга; 7 – устройство для поиска АП на поверхности океана (отражатель); 8 – балластные грузы; 9 – контейнеры; 10 – упоры; 11 – оси поворота контейнеров; 12 – синхронизирующие штанги; 13 – шток-лидер

Имеется множество недостатков при таком донном пробоотборе – малый объем пробы, ограничение по рельефу морского дна, небольшая глубина черпания и т.п., однако оперативность подобного пробоотбора делает его весьма распространенным.

Для получения крупнообъемных проб, а следовательно, и более точных результатов о фактических геологических условиях глубоководных месторождений железомарганцевых образований используется драгирование. Существует два основных типа драг-волокуш, представляющих собой железный ковш, - цилиндрические и коробчатые [39, 42].

Ковш буксируется по дну за судном тросом, передний его торец открыт, а задний представляет собой мешок из цепей, железных или капроновых (полимерных) нитей (Рисунок – 1.4).

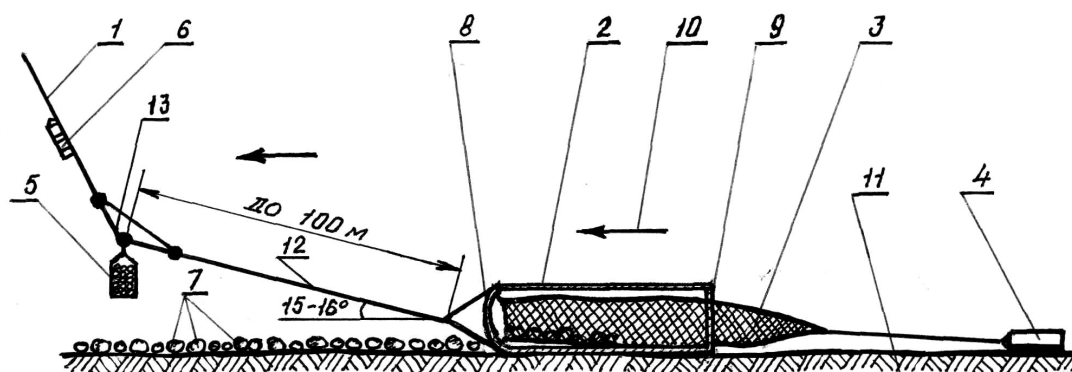


Рисунок – 1.4. Схема опробования конкрециеносной залежи коробчатой драгой-волокушей [48]: 1 – буксирный трос; 2 – корпус драги-волокуши; 3 – сетчатая емкость; 4 – балласт; 5 – противовес-заглубитель; 6 – гидроакустическое устройство (контролирующий комплекс); 7 – конкреции; 8 – передний торец коробчатого корпуса; 9 – кормовой (задний) торец; 10 – направление движения (буксирования) драги; 11 – вмещающие илы; 12 – промежуточный строп; 13 – крепежно-регулирующий узел

Производство поисково-разведочных работ в пределах акваторий, интересующих Социалистическую Республику Вьетнам, развивалось с учетом опыта, накопленного технически развитыми странами, в этой области. Поэтому с целью повышения достоверности опробования и уменьшения негативного экологического воздействия на морскую среду целесообразно использовать разработанный в МГТУ кассетный трал (Рисунок – 1.5) [43].

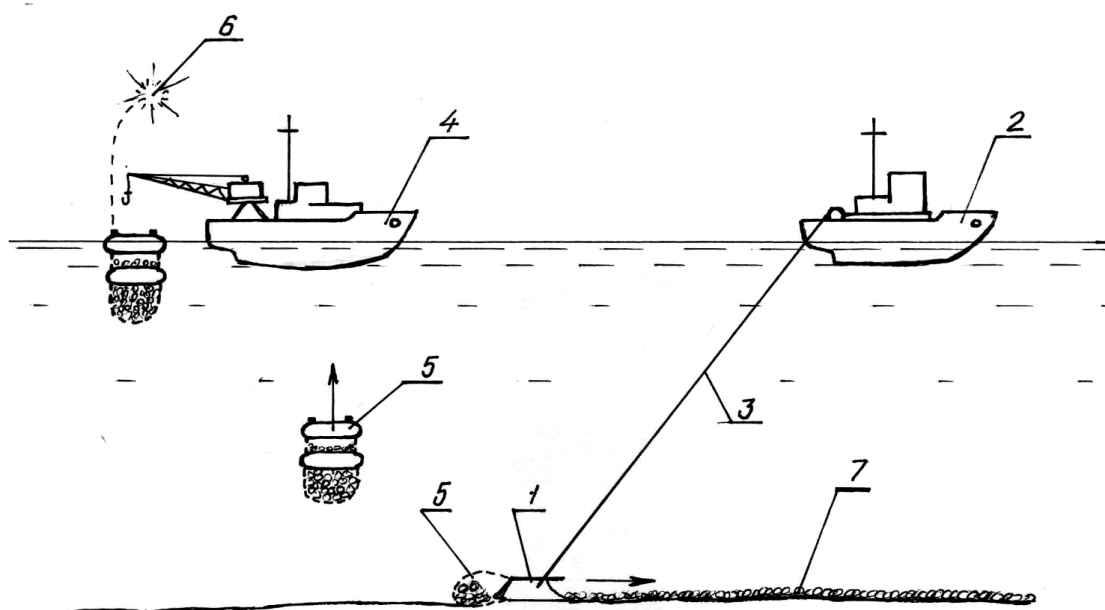


Рисунок – 1.5. Принципиальная схема опробования месторождений ЖМК кассетным тралом [48]: 1 – кассетный трал (ковш-черпак), 2 - буксирное судно, 3 - буксирный трос, 4 - судно-сборщик, 5 - всплывающие тралы (сетчатые емкости), 6 - сигнальное устройство, 7 - залежь конкреций.

1.3. Анализ существующих и перспективных способов и технологий разработки подводных месторождений ТПИ

Анализ зачастую противоречивых сведений о применяемых, разрабатываемых и предлагаемых технологиях, способах и видах оборудования для морской добычи позволяет сделать вывод, что основной проблемой в технологических решениях являются забор конкреций или корок на дне и подъем их на поверхность [22, 25-26, 41, 42, 44-46, 48].

Основными способами разработки морских месторождений являются:

- с поверхности воды;
- с полным погружением добычного оборудования на дно;
- подземная разработка с проходкой добычных выемок из шахтных стволов, пройденных на берегу или искусственных островах;
- разработка с осушенных территорий, отделенных от морской акватории намывными и насыпными дамбами;
- комбинация различных способов (вплоть до образования подводных поселений с вахтовоработавшим обслуживающим персоналом, не требующим ежедневную декомпрессию) [48].

Во Вьетнаме также весьма активно разрабатываются россыпные месторождения шельфа, о чем более подробно будет рассказано ниже. Подробный анализ предлагаемых к осуществлению технологий разработки подводных месторождений не входит в перечень основных задач данных исследований. Тем более они неоднократно анализировались в работах других авторов [22, 23, 25, 41, 46, 48]. Можно лишь отметить, что разработка морских месторождений ТПИ во многом базируется на достижениях технологий на континентальной суше.

Разработка россыпных месторождений шельфовой зоны на небольших (до 50 м) глубинах базируется на применение гидромеханизированных технологий, в основном, земснарядов, грейферов различных типов или камерных насосов [49-51]. Особняком стоит применение разработанного в Московском горном институте погружного земснаряда «Моллюск» при разработке касситеритовых песков с глубин до 90 м и технология с применением загрузочных аппаратов (МГРИ).

Разработка (вернее опытно-промышленная добыча) конкрециеносных залежей успешно решалась Японией, Россией и Соединенными Штатами Америки при использовании тралов, подобных тралам Масуда.

Самая масштабная попытка разработки железомарганцевых образований морского дна, предпринятая Международной компанией “Nautilus Minerals”, базировалась на существующих технологиях добычи твердых полезных ископаемых континентальной

суши. Основные изменения касались изготовления добывающих механизмов в герметичном исполнении с учетом гидростатического давления более 100 атм. Применительно к условиям Южно-Китайского моря технология и механизационное обеспечение разработки глубоководных месторождений ЖМО требует специальных проектных решений с учетом мирового опыта освоения залежей морских ТПИ.

1.4. Инженерно-геологические особенности Вьетнамского региона

Южно-Китайское море является одним из самых важных маршрутов морских перевозок в мире. На северо-востоке Восточное море соединяется с Тихим океаном через Тайваньский пролив, а пролив Баши находится между Филиппинами и Тайванем, на юго-западе соединяет Индийский океан через Малаккский пролив и на юго-востоке соединяет море Сулу через глубокий пролив Миндоро и пролив Балабак [52, 59, 67].

Климатическую зону Восточного моря можно разделить на два региона с разными характеристиками, а именно: Север и Юг (Ле Дук То и др., 2009), граница между ними проходит примерно по 140-150 северной широте. Климатический режим Северо-Восточного моря присущ режиму тропического океана – без холодных зим, практически в течение всего года теплый, сильный дождь во время северо-восточных ветров. Частота штормов относительно велика, в среднем 33 шторма и низкого давления в год (статистика за 55 лет). Юг Южно-Китайского моря характеризуется тропическим муссонным климатом, экваториальным с температурными характеристиками, которые всегда высоки, стабильны и с небольшими сезонными колебаниями. В южной части Восточного моря гораздо меньше штормов, чем в северной. По статистике в среднем за 10 лет через это море проходит всего 13 штормов [52, 59].

На режим морского течения сильно влияют два сезона ветров (северо-восточный и юго-западный), а также существенное влияние на него оказывают морфология морского дна и течения Восточного моря. Общее направление прибрежных течений – с севера на юг зимой и наоборот летом. В частности, Тонкинский залив и Таиланд защищены системами полуостровов и островов, поэтому они отличаются от других регионов Вьетнама.

Приливы в Южно-Китайском море имеют высокую дифференциацию, в связи с топографическими особенностями берега и морского дна. Режим приливов Вьетнамского прибрежного моря разнообразен и имеет все 4 основных типа приливов мира, а именно: регулярные и нерегулярные суточные, регулярные и нерегулярные полусуточные, среди них преобладает суточный характер. С севера на юг приливной режим дифференцируется на 5 областей. В прибрежной зоне моря, простирающейся от Куангниня до севера Куангбиня, суточный прилив сильнее, высота прилива достигает 3,6 м. От южного

Куангбиня к северному Куангнаму он переходит в полусуточный режим прилива малой амплитуды, при этом высота уровня воды всегда меньше 0,5 м. От южного Куангнама до Ниньтхуана прибрежное море имеет нерегулярный суточный режим прилива с высотой прилива всего 1,2-1,6 м. От Биньтхуана до мыса Камау наблюдается нерегулярный полусуточный режим прилива с высотой прилива 2,0-3,5 м. В районе Камау - Хатьен наблюдается нерегулярный суточный режим прилива с высотой прилива около 1,0 м [59].

Восточная и западная части Южно-Китайского бассейна (ЮКБ) геометрически асимметричны и состоят из центрального океанического бассейна и восточных, южных, западных и северных континентальных (или островных) окраин. Батиметрия ЮКБ состоит из трех частей: континентального шельфа, континентального склона и глубоководного бассейна, соответственно, покрывающих около 47%, 38% и 15% общей площади со средней глубиной около 1140 м (Рисунок – 1.6.). Главной особенностью топографии ЮКБ является ромбовидный глубокий бассейн, который перекрывает океаническую кору и простирается с северо-востока на юго-запад примерно на 3520 км, а в ширину достигает 1200 км. Глубина воды в этом бассейне в среднем составляет около 4700 м, максимальная - 5559 м [81, 82].

Центральная глубокая котловина окружена континентальными и островными склонами, топографически расчлененными и часто усеянными коралловыми рифами [81, 82].

Северный склон с рифовым островом Донгша и западный склон с рифами Сиша (Парасельские острова) и Чжунша (берег Маклсфилда) разделены желобом Сиша, а южный склон занят островами Наньша (острова Спратли), самой большой площадью рифов в ЮКМ. Острова Наньша разбросаны на карбонатной платформе, известной как «Опасные земли», и покрывают обширную территорию площадью около 570 000 км². Восточный склон узкий и крутой, граничит с глубоководным желобом Лусона и Манильским желобом. Континентальный шельф хорошо развит на северной и южной сторонах ЮКМ. И северный, и южный шельфы сужаются к востоку и расширяются к западу [52, 59, 81, 82, 98].

Вьетнам расположен на западной стороне ЮКМ. Топография морского дна континентального шельфа Вьетнама определяется обильными отложениями наносов Красной реки на севере, реки Меконг на юге и активностью разломов [81, 82].

В прибрежной зоне центральной части Вьетнама континентальный шельф подвержен влиянию меридионального разлома “1090-100 восточной долготы” (это продолжение и перенаправленная часть сдвигового разлома “Красная река” на севере), вызвавшему сильное проседание. В результате этих процессов количество наносов в этом районе невелико, поэтому континентальный шельф узкий, но континентальный склон шире и сложнее [52, 53, 59, 81, 82, 115].

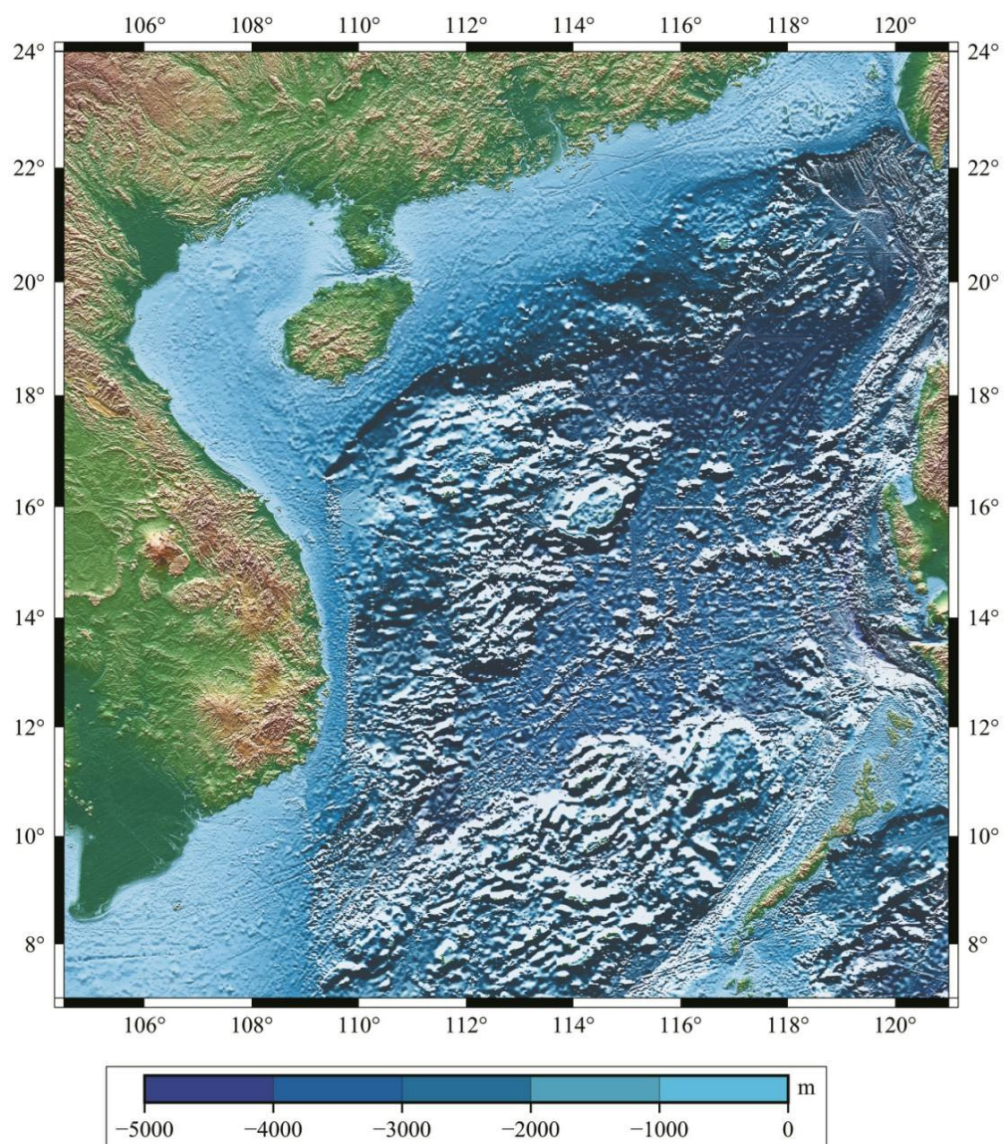


Рисунок – 1.6. Топографическая карта Южно-Китайского моря

Поверхность морского дна на краю континентального шельфа, континентальных склонов и абиссальной равнины (часть глубоководного желоба) довольно сложна из-за топографической расчлененности, вызванной подводными вулканами (подводными горами), кайнозойскими коралловыми рифами и блоками поднятия до кайнозойских пород фундамента [81, 82].

Рельеф морского дна ЮКМ относительно сложный, с наличием подводных вулканов и подводных гор (Рисунок – 1.6) [52, 81, 82, 98].

ВЫВОДЫ

Дно Мирового океана богато различными полезными ископаемыми, освоение которых с каждым годом начинает играть все более решающую роль в развитии нашей цивилизации. Наибольшую ценность представляют жидкие углеводороды, глубоководные полиметаллические сульфиды, железомарганцевые конкреции и корки и россыпные месторождения шельфа. На сегодня в Мировом океане зафиксировано 18 крупных полей ЖМО, в том числе: в Тихом океане – 7 полей ЖМК и 5 полей КМК, в Индийском – 4 поля ЖМК и одно поле КМК, в Атлантическом – одно поле ЖМК.

Геологоразведочные работы в океане основываются на применении комплекса контактных и дистанционных методов геолого-геофизических исследований, основными из которых являются: эхолотный промер (изучение глубин и рельефа дна), сейсмоакустическое профилирование (изучение строения верхней части геологических разрезов дна), магнитометрическая съемка (изучение тектонической структуры дна), приповерхностная сонарная съемка дальнего действия (исследование общих особенностей геоморфологии морского дна и оценка характера донноповерхностных отложений), придонная высокоразрешающая сонарная съемка (исследование локальных особенностей геоморфологии морского дна и качественная оценка их рудоносности), придонное фото-телепрофилирование (количественная оценка рудоносности морского дна, а также распространенности разнородных нерудных донно-поверхностных образований), геологический пробоотбор (количественная оценка рудоносности морского дна, исследование минерального и химического состава руд и ассоциирующихся с ними осадочных отложений).

Разработка глубоководных месторождений вследствие специфичности условий технологически очень сложна, требует новых видов оборудования и высоких затрат. В настоящий момент ни одна из многочисленных технологических схем добычи глубоководных ТПИ не реализована в промышленных масштабах.

Геологические, географические, гидрологические и т.п. условия Южно-Китайского моря свидетельствуют о перспективности его дна для обнаружения месторождений полезных ископаемых, в том числе и твердых.

ГЛАВА 2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСВОЕННОСТИ И РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ВЬЕТНАМСКОГО МОРЯ

2.1. Основные сведения о шельфовой зоне Южно-Китайского моря (ЮКМ) и его особенности

Материковая часть Вьетнама имеет форму буквы S и принадлежит западной части полуострова Индокитай, простираясь в направлении меридиана, вместе с двумя прибрежными архипелагами Хоангша и Чыонгша и тысячами островов, расположенных вдоль побережья. Он граничит с Китаем на севере, с Лаосом и Камбоджей на западе, с Южно-Китайским морем на востоке [52, 60, 61].

Как уже отмечалось, освоение минерально-сырьевых ресурсов моря начиналось с прибрежных зон, в первую очередь с литорали (обнажаемой при отливе пляжной части шельфа) [24, 55, 61, 80]

По структуре акватория Южно-Китайского моря (как и всего Мирового океана) делится на три зоны (Рисунок – 2.1.):

- континентальный шельф (материковая отмель) – глубина до 500 м (для ЮКМ);
- континентальный склон – глубина от 200 до 4000 м;
- ложе океана – глубина от 2500 до 6000 м [80].

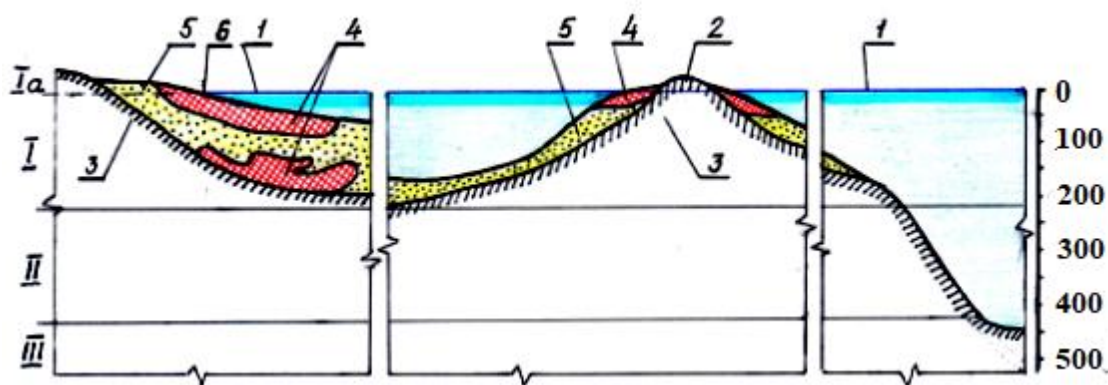


Рисунок – 2.1. Обобщенный разрез эксклюзивной экономической зоны Вьетнама в Южно-Китайском море [80]:

I – шельф; Ia – песчаная береговая зона; II – континентальный склон; III – ложе океана; 1 – уровень моря; 2 – остров; 3 – плотик; 4 – россыпь; 5 – вмещающие породы; 6 – линия прилива

Континентальный шельф унаследован от материка расширением пород фундамента в сторону моря. На геоморфологию Вьетнамского моря влияет и контролирует эволюция Южно-Китайского моря, процессы формирования третичных бассейнов, активность разломов, процессы осадконакопления Красных рек и реки Меконг, и (особенно в четвертичных отложениях) оказывает сильное влияние трансгрессивных и регрессивных процессов [21, 59, 60, 80, 81].

При планировании разведочных работ необходимо обращать особое внимание на участки морского дна с погребенными руслами рек и на бары. Еще В.К.Арсентьев отмечал: «Продукты разрушения гор в виде мелкого песка отлагаются там, где течение пресной воды ослабляется морским прибоем», образуя мелководья – бары. Он наблюдал, как небольшие и средние реки (Белимбе, Шакира и др.) образуют такие мелководья объемами за сезон в десятки тыс. м³.

Первыми результатами исследований являлось создание серии минерально-геологических карт масштаба 1:200000, которые впоследствии дополнялись и детализировались. Исследования Нгуен Тхи Ким Хоана, Нгуен Вьет Тханга, Нгуен Бие коренных пород позволили составить серию минерально-геологических карт с береговыми и подводными месторождениями каменных и бурых углей, известняка, гранита, пирита, гипса, конкреций, стекольных и строительных песков [53, 59, 61, 64, 77, 80].

Континентальный шельф Вьетнама представляет практически по всей своей протяженности почти горизонтальную равнину с небольшим углом наклона менее $0,1^{\circ}$ (Рисунок – 2.2.). За исключением пляжной зоны рельеф дна шельфа осложнен уступами древних террас, гребнями, холмами, ложбинами и долинами погребенных рек. Имеется ряд островов, интенсивное волновое разрушение которых способствовало образованию вокруг них россыпных месторождений [80].

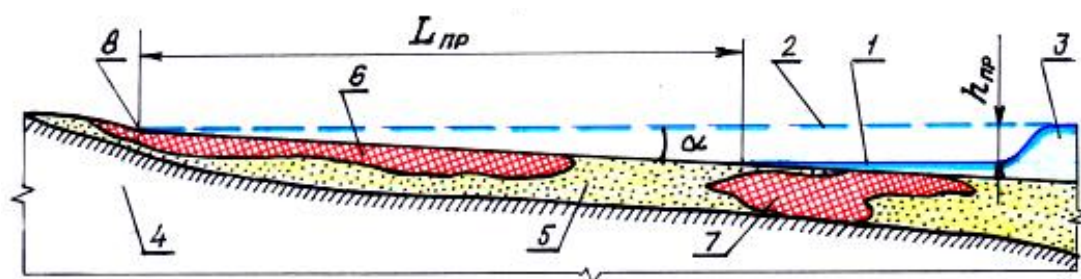


Рисунок – 2.2. Схема действия приливной волны в пляжной зоне побережья Вьетнама [80]:

1 – уровень моря во время отлива; 2 – уровень моря во время прилива; 3 – приливно-волновая волна; 4 – плотик; 5 – вмещающие породы; 6 – россыпь I; 7 – россыпь II; 8 – линия прибоя; α - угол наклона шельфа; $h_{пр}$ – высота приливной волны; $L_{пр}$ – ширина обнажаемого при отливе пляжа (литорали)

В пределах континентального шельфа процессы выветривания являются определяющими при формировании большинства месторождений. Гидродинамический режим определил деление прибрежного шельфа на три зоны [23, 77, 80]:

- а) надводная зона действия волн и приливов (пляж); расположена между урезом воды во время отлива и верхней границей действия штормовых волн;
- б) подводная волновая зона, в пределах которой волны активно преобразовывают морское дно; она распространяется до глубины 10-20 м и в зависимости от рельефа побережья ширина зоны достигает нескольких сотен метров и даже первых километров;
- с) неволновая зона находится на глубинах до 200-300 м, и в которой основное действие на дно производят подводные морские течения [80].

Эти процессы (рассматриваемые далее более подробно) являются определяющими в процессе формирования россыпных месторождений в шельфовой зоне Вьетнама [53, 60, 80].

2.2. Полезные ископаемые россыпей шельфа Вьетнама и уровень их освоения

Относительно небольшая глубина и близость к берегу предопределили освоенность месторождений на шельфе. Во Вьетнаме к таким месторождениям относятся россыпи ильменита, рутила, циркона, монацита, магнетита, касситерита, золота, гранатов, песков и т.д. Горно-геологические условия этих месторождений достаточно разнообразны и в тоже время достаточно схожи, так как определены деятельностью моря [53, 59, 80].

Геологическая деятельность моря здесь представляет собой комплекс взаимосвязанных процессов, состоящих из:

- абразии - разрушение волнами и течениями материнских горных пород, слагающих берега и мелководье);
- транспортировки – переноса и сортировки терригенного (обломков горных пород с суши) и другого материала;
- аккумуляции – накопления осадков [1, 22, 24].

Эти процессы в основном и обусловили формирование разведываемых и эксплуатируемых россыпных месторождений побережья Вьетнама.

Применительно к рассмотренному выше диапазону (прибрежный район – шельфовая зона) обнаружен целый ряд месторождений ТПИ, которые непосредственно связаны с четвертичными отложениями и морскими осадками. В частности промышленное значение имеют россыпи ильменита (FeTiO_3), рутила (TiO_2), циркона (ZrSiO_4), монацита $[(\text{Ce}, \text{La})\text{PO}_4]$, магнетита (FeFe_2O_4), касситерита (SnO_2), золота (Au), гранатов, корунда (Al_2O_3), топазов $[\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2\text{SiO}_4]$, шпинелей $[(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Al}_2\text{O}_4]$, желто-серых песков. Кроме

этого с 1978 года во Вьетнаме производятся геологоразведочные изыскания на уран, в основном с применением радиометрического картирования дополняемого бурением. Часть этих россыпных месторождений успешно разрабатывается, освоение других планируется в будущем. Такие месторождения расположены, в основном, в рудных провинциях Куанг Сюонг, Кам Хоа, Ки Нинь, Ке Сунг, Де Ги и Хам Тан (№ 1, 2, 3, 4, 5, 6 на Рисунок – 2.3 соответственно) [61, 80].



Рисунок – 2.3. Карта расположения прибрежных россыпных месторождений Вьетнама

Вдоль побережья Вьетнама имеется большой запас титаносодержащих россыпей, запасы же других россыпей в этой части незначительны. Результаты исследований россыпей разделяют их на 2 группы:

- 1) группа россыпей вдоль побережья на суше;
- 2) группа россыпей на морском дне в пределах континентального шельфа [53, 64, 77, 80].

Морская добыча полезных ископаемых во Вьетнаме началась в 1980-х годах с добычи нефти и газа на континентальном шельфе, в 1990-х годах началась разработка россыпей во внутренних районах вдоль морского побережья. В последующем правительство Вьетнама уделяло большое внимание освоению ресурсов полезных ископаемых на глубоководном дне в пределах исключительной экономической зоны Вьетнама; многие проекты посвящены поиску и разведке морских полезных ископаемых, в первую очередь строительных материалов, россыпей в районе континентального шельфа.

Согласно отчету Министерства природных ресурсов и окружающей среды Вьетнама за 2013 год, общие запасы россыпных ресурсов титановой руды на суше вдоль побережья достигли 650 миллионов тонн. Этот результат намного выше по сравнению с данными, представленными в более ранних отчетах. Это связано с результатами исследований пластов серого песка и красного песка, содержащих россыпи титана, которые распространены в провинциях Ниньтхуан и Биньтхуан, где уровень запасов 333 (соответственно с С₂ Советского Союза) составляет 365504 тыс. тонн, запасы уровня 334а (соответствует сорту Р₁ СССР) – 235963 тыс. тонн, а россыпь циркона - 77116 тыс. тонн (как для С₂, так и для Р₁) [149].

Группа титаносодержащих россыпей на морском дне континентального шельфа (Рисунок – 2.4):

- Глубина морского дна составляет от 0 м до -30 м (результаты исследований и разведки за 2001-2011 годы, масштаб карты 1:50000; 1:100000): запасы россыпей в южно-центральной (Юг центрального) районе моря составляют 18,6 млн тонн (класс коллектора А, содержание 5,9 - 29,57 кг/м³) + 17,9 млн тонн (класс коллектора В, содержание 1,46 - 4,4 кг/м³). Согласно прогнозу, россыпные месторождения имеются также в районах устья рек Ред-Ривер (Красная река) и Меконг, но их эксплуатация будет нецелесообразной с экономической точки зрения.
- Глубина морского дна составляет от -30 м до -100 м (результаты исследований и разведки за 2007-2011 годы, масштаб карты 1:50000): запасы

россыпей в прибрежной зоне Биньтхуан составляют 51,2 млн.тонн, а в других районах – около 36 млн.тонн [53, 61, 64, 77, 80].

Строительные пески и песчано-гравийные смеси вследствие их широкого распространения в пределах шельфа разрабатываются в мире уже несколько столетий и объем их ежегодной добычи давно превышает 0,5 млрд.м³. На побережье Вьетнама такие работы достаточно просто организуются зачастую для местных нужд коммун [53, 77, 80].

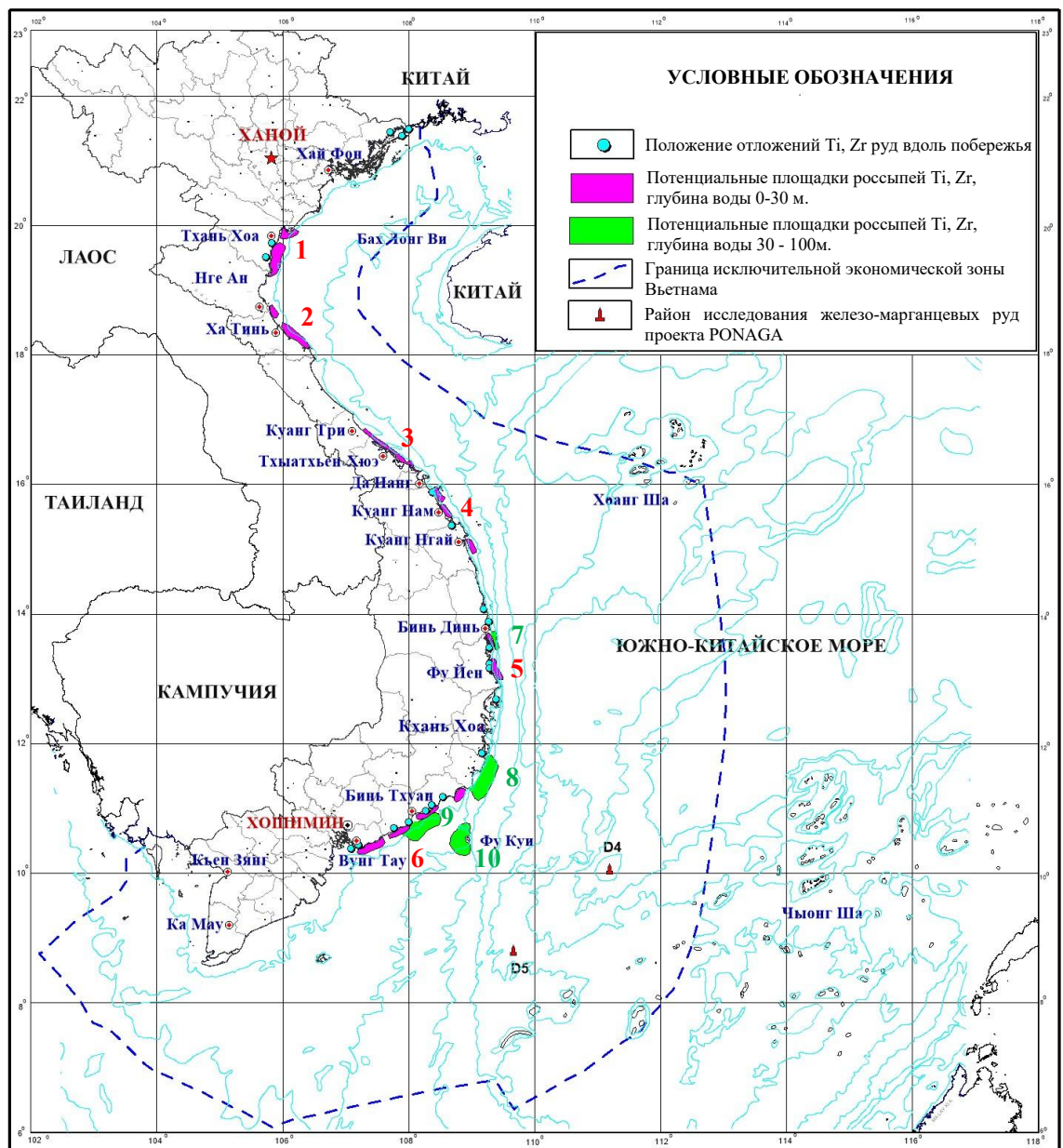


Рисунок – 2.4. Карта распространения морских полезных ископаемых Вьетнама.

1,2,3,4,5,6: Потенциальные районы россыпей Ti, Zr, глубина моря 0-30 м; 7,8,9,10:

Потенциальные районы россыпей Ti, Zr, глубина моря 30-100 м.

2.3. Характеристика основных россыпных месторождений цветных металлов

С целью разработки прогнозно-ресурсной классификации морского дна Вьетнамского шельфа и проведения его последующего районирования необходимо рассмотреть некоторые наиболее крупные и характерные титано-цирконо-ильменитовые месторождения шельфа [61].

Месторождение Куанг Сюонг расположено в пределах акваторий прибрежных коммун Куанг Нинь, Куанг Хай, Куанг Нхам района Куанг Сюонг провинции Тхань Хоа (№1 на Рисунок – 2.3). Полезное ископаемое представлено титановой рудой с запасами 80.2 тыс.т (включая ильменит 71.9 тыс.т и циркон 2.3 тыс.т) и средним содержанием 103.26 кг/м³. Рудное тело площадью 990 тыс. м² и средней мощностью 0.82 м простирается вдоль (параллельно) береговой линии и залегает в осадочном слое четвертичного возраста (mQ³IVb) и перекрыто морскими отложениями (mQ³IVa) в виде желтых и светло-желтых песков, глин и гумуса. Полезная залежь из мелко- и среднезернистых песков имеет также выходы в виде рудоносных пляжей и выступов [61].

Месторождение Кам Хоа осадочного типа расположено в пределах песчаной береговой линии коммуны Камоз округа Кам Сюен и представлено минералами титана (№2 на Рисунок – 2.3). Линзообразная россыпь площадью около 2642 км² имеет среднюю мощность 1.2 м и среднее содержание титановой руды 92.84 кг/м³ (в том числе ильменит 81.4 кг и циркон 5.76 кг). Запасы по руде около 2.6 млн.т [61].

Геологический разрез представлен из глубины к берегу четвертичными отложениями:

- пески от серых до черно-серо-белых с небольшой примесью гумуса голоценового возраста (mQ²IV). Выше находится средний голоценовый песчаный осадок (пески от светло-серого до светло-желтого), который восстанавливается в процессе выветривания (mvQ²IV) [61];
- в прибрежье находится серия песчаных дюн со всем спектром полезных компонентов продуктов выветривания верхнего голоцена (mvQ³IV) месторождения [61].

Месторождение Ки Нинь находится на побережье коммуны Ки Нинь района Ки Ань относится к группе титано-цирконовых россыпей, в основном среднего голоцена (mvQ²IV) (№3 на Рисунок – 2.3). Запасы составляют по титановой руде 550.7 тыс.т (в том числе: 443.5 тыс.т ильменита, 35.1 тыс.т циркона, 0.2 тыс.т монацита) [61].

Полезные ископаемые представлены разномасштабными песками от желто-серых до светло-серых.

Месторождение Ке Сунг расположено вдоль побережья южнее ворот Туан Ан и представлено россыпными темно-серыми или серыми глинистыми песками четвертичного возраста, перекрытыми морскими отложениями среднего голоцена (mvQ^2IV) (№4 на Рисунке – 2.3). Слой, содержащий полезные компоненты, относится к позднему голоцену и представляет продукты выветривания. Это мелкие и средние серо-желтые пески, в которых обособлены два рудных скопления А и В. Основная залежь А расположена недалеко от берега деревни Ке Сунг и имеет запасы: титановая руда – 3.37 млн.т, циркон – 100 тыс.т, монацит – 1.2 тыс.т [61].

Месторождение Де Джи (Кэт Кхань) россыпного типа расположено недалеко от побережья коммуны Кат Хан в районе Фу Кат и простирается от мыса Де Джи до деревни Чан-Оай (№5 на Рисунок – 2.3). В пределах рудного поля развиты четвертичные отложения: пески от серых до темно-серых с небольшой примесью глины и гумуса среднеголоценового возраста (mQ^2IV). В сторону берега находится слой желтого морского песка – прибрежная песчаная дюна (mQ^3IVa) и современные пляжные отложения (mQ^3IVb) [61].

Основные запасы титана расположены в верхних желто-серых голоценовых песках (mQ^3IVa), причем богатая залежь приурочена к северо-востоку, более бедная – к югу. Запасы по титану более 2 млн. т (ильменит - 1.75 млн.т, циркон – 78.5 тыс.т, монацит и ксенотим – 23.7 тыс.т) [61].

Месторождение Хам Тан находится в районе Хам Тан провинции Бинь Туан и представлено желто-серыми песками голоцена (№6 на Рисунок – 2.3). Имеет два рудных тела размерами $2300 \times 400 - 600 \times 4.25$ м и $7800 \times 400 - 700 \times 3 - 7,5$ м с запасами: ильменит – 1.3 млн.т, циркон – 0.44 млн.т. Среднее содержание: ильменит 20-175 кг/м³, циркон – 2-7.5 кг/м³ [61].

В общем, титано-цирконово-редкоземельные месторождения располагаются в прибрежных песках от северной части (Бинь Нгок) до юга Вьетнама (Ха Тянь). Наиболее крупные месторождения, имеющие промышленное значение, сосредоточены в основном в центральной прибрежной части от Куа Хой до Вунгтау (Рисунок – 2.4) [61, 77, 80].

Зарегистрировано 2 больших месторождения с запасами более 500 тыс.т, 7 средних с запасами от 50 до 500 тыс.т, 6 малых – 25-50 тыс.т и остальные (3) не имеют промышленного значения. Большинство рудных залежей расположены в морских отложениях в современной пляжной зоне и в виде продуктов выветривания в береговых песчаных дюнах. В основном они обнажены, лишь часть погребена в прибрежных песках; средняя мощность в пределах 1-1.8 м, минимальная – 0.6-0.8 м, некоторые достигают (Ке Сунг и Кэт Кхань) до 3-4.5 м [61].

Из рассматриваемых морских месторождений по редкоземельным элементам ни одно промышленного значения не имеет, хотя ряд вьетнамских исследователей предполагает, что в отложениях плейстоцена на этих месторождениях есть вероятность нахождения скандия, золота и т.п. (Таблица – 2.1) [61].

Таблица – 2.1. Химический состав некоторых прибрежных россыпей (%)

	Кат Хан	Кай Ан- Ком Сюэн	Куанг Нган	Хам Тан	Ком Нханг	Донг Суан	Муй Не
TiO ₂	47,25	53,30	50,37	53,17	47,57	51,57	50,06
FeO		29,38	28,72	21,81	35,66	31,45	24,40
Fe ₂ O ₃	48,51	11,50	11,59	19,22	9,40	11,85	18,68
MnO		0,85	0,82	4,05	0,73	0,68	1,12
MgO		0,1	0,17	0,24	0,22	0,24	0,22
Cr ₂ O ₃		0,05	0,21	0,04	0,12	0,12	0,04

Из морских месторождений Вьетнама наиболее изучены и освоены россыпи стекольных песков, которые рассредоточены вдоль побережья [61].

Россыпные месторождения (в том числе и рассматриваемые) весьма разнообразны как в геометрии (форма, размеры, угол падения и т.п.), так и по распределению полезных ископаемых (моно- и поли- компонентные) и характеру залегания (поверхностные без вскрыши и погребенные со вскрышей). Например: месторождения Ке Сунг и Хам Тан имеют по две рудные залежи, рассредоточенные в плане, а Де Джи – в плане и профиле; россыпь Куанг Сюонг имеет мощность в среднем 0,82 м, а Хам Тан до 7,5 м. Вблизи островов также существуют россыпи металлического и строительного сырья. На Рисунках – 2.1 и 2.2 представлена принципиальная схема россыпных месторождений Вьетнама в пределах шельфа Южно-Китайского моря [53, 80].

Вдоль побережья россыпные отложения представляют собой скопления средне-позднеплейстоценовых по механизму морского (m) происхождения и средне-позднеголоценовых отложений по механизму морского-ветрового (mv).

Голоценовые россыпеносные песчаные образования сосредоточены в основном в толще серых, серо-желтых песков от Тханьхоа до Биньдинь, протяженностью от нескольких сотен метров до 20 км, шириной 25÷700 м, мощностью 0,5÷10 м.

Позднеголоценовая группа представляет собой современные отложения, часто распространенные близко к берегу, образовавшиеся в зоне прибоя. Среднеголоценовая группа обычно располагается дальше от берега, от нескольких сотен метров до нескольких километров вглубь суши. Многие россыпные месторождения имеют сочетание этих двух возрастных групп.

Россыпи титана в отложениях плейстоценового возраста, сосредоточенные в основном в слое красных песков на участке от Ниньтхуана до Биньтхуана; Глина около 50 км, ширина 20 км, средняя мощность 90 м [53, 59].

По существу, россыпи титана на побережье вдоль побережья Вьетнама очень похожи на открытые в мире месторождения россыпного титана. Это синтетическая россыпь разного происхождения, которая подвергается аккумуляции из-за океанских волн, прибрежных течений и ветра. Они распространены параллельно прибрежной зоне. Поскольку северо-восточный ветер сильнее юго-западного, прибрежные песчаные дюны имеют тенденцию перемещаться вглубь суши.

Россыпи в прибрежных районах моря на глубине от 0 до 30 м, большинство россыпных месторождений сосредоточено в центральных районах, в шести регионах Вьетнама (Рисунок – 2.4) [77]. Центром морской минеральной геологии (отдел геологии и полезных ископаемых) Вьетнама наиболее перспективными с учетом будущего промышленного освоения названы следующие провинции (районы).

Провинция Сэм Сон - Лах Труонг содержит титано-циркониевые (Ti-Zr) россыпи на глубинах от 0 - 10 м до 20 - 30 м с общим содержанием полезных компонентов 4 - 7 кг/м³, а также низкосортные примеси касситерита (SnO₂) и золота (Au) (№1 на Рисунок – 2.4). Минеральные комплексы в пределах месторождения включают в себя: ильменит, монацит-ксенотим и немного золота и касситерита [77].

Провинция Нге Ан - Ха Тинь является районом с высоким содержанием титано-циркониевых минералов (до 4,5 - 7,5 кг/м³). Россыпи залегают на глубинах от 0 - 3 м до 15 - 25 м в прибрежной зоне шельфа (№2 на Рисунок – 2.4). Основной рудно-минеральный комплекс включает в себя: ильменит, циркон, рутил, анатаз, монацит, ксенотим, золото и касситерит. Вблизи острова Хон Мат касситеритовые россыпи залегают на глубинах до 22 - 30 м.

Район с залежами и проявлениями Ti-Zr и касситерита на глубине от 5 - 10 до 25 - 30 км изучался с помощью донного опробования и геофизических методов. Были выявлены аллювиальные отложения, что свидетельствовало об обнаружении древнего погребенного русла реки и, как следствие, возможности нахождения россыпных золота и олова [77].

Район Куанг Три - Тхыатхьен-Хюэ после изысканий также был признан перспективным по содержанию рудных минералов Ti - Zr, многие из которых имели промышленное содержание (более 20 кг/м³). Россыпи были детального опробованы на глубинах до 30 м, причем в некоторых крупно объёмных пробах весом более 1 т были обнаружены промышленные содержания золота и касситерита (№3 на Рисунок – 2.4).

Морскими геологоразведочными работами было установлено, что россыпи залегают на гранитных массивах, обнаруженных при геофизических исследованиях, в русле реки Куа Вьет и в погребенных руслах древних водотоков; причем полезные ископаемые (ильменит, рутил, анатаз, монацит-ксенотим, золото и касситерит) были обнаружены на глубинах 25 - 35 м [77].

Район Куанг Нам - Куанг Нгай в результате поисковых геологоразведочных работ показал высокие уровни содержания Ti-Zr (в среднем 5 - 7 кг/м³) на глубинах 0-3 м, 6 - 12 м, 20-30 м (№4 на Рисунок – 2.4). Причем высокие содержания обнаружены на севере коммуны Куа Дай на глубинах 0-3 м, в заливе Дунг Куок - на глубине 6-12 м, а на юго-востоке Куа Дай - на глубине 20 - 35 м (в пределах древней береговой линии). Основные рудно-минеральные комплексы представлены ильменитом, рутилом, цирконом, анатазом, монацит- ксенотимом, золотом и касситеритом, причем в бухте Дунг Куок и Донг Хой Ай запасы золота и касситерита имеют промышленное значение. Более детальные исследования позволили в пляжной зоне района Хой Ан на глубине 80 м обнаружить россыпное золото.

На удалении от береговой линии, в более глубоких районах шельфа, вокруг островов Куа Дай-Чам, Дунг Кват геофизические исследования позволили выявить площади с высокими содержаниями олова, золота, циркона в россыпях и в подстилающим гранитном массиве (плотике) [77].

Геологические условия района Куи- Нен - Фу Йен подобны геологическим условиям рассматриваемых выше районов (№5 на Рисунок – 2.4). Исследования примыкающего к району шельфа подтвердили предположения о наличии высокосортных зон тяжелых металлов Ti - Zr с общим содержанием 6 - 7 кг/м³. Поисковые работы в пределах древней береговой линии обнаружили высокосортные россыпи тяжелых металлов практически на тех же глубинах: 0-3 м; 6-12 м; 16-22 м. Данные разведочных работ подтвердили теоретические предпосылки о перспективности более детальных геологоразведочных работ в пределах всей эксклюзивной экономической зоны Вьетнама в Южно-Китайском море.

Основными рудно-минеральными комплексами, как и на всем побережье, являются ильменит, циркон, рутил, анатаз, монацит-ксенотим, золото-монацит- ксенотим и золото. Они сосредоточены на плотиках прибрежной шельфовой зоны [77].

Провинция Бинь Туан - Вунг Тау включает территории коммун Муине, Фантьете, Бак Ке Ке, Ке Га, Хам Тан, Муй Ба Кiem, Лонг Хай и является зоной распространения рудных титаноциркониевых минералов на морском дне шельфа (№6 на Рисунок – 2.4). Общее содержание полезных компонентов достигает 7,0 - 8,0 кг/м³; глубина залегания от 2-16 м (20 км от берега к северо-востоку от мыса Ке Га) до 18-30 м (10 км от берега на юго-

восток от Муйне и 25 км на северо-восток от Муйне). На других площадях в пределах района также выявлены зоны с содержанием тяжелых металлов. Основными полезными ископаемыми являются ильменит, циркон, рутил, анатаз, монацит-ксенотим, касситерит и золото, причем выявлены зоны с промышленными содержаниями касситерита и золота, а проявления циркона, топаза и шпинели выражены в галечных залежах [77].

Геофизические исследования подтвердили приуроченность россыпей (песчаных и галечных) к выходам гранитных массивов, извержений вулканов, а также в зонах древнесуальных отложений.

В дополнение к вышеописанным областям обнаружены проявления ильменита-циркона, а также золота и олова вокруг острова Бах Лонг Ви и в окрестностях островов в провинции Кьен Зянг. Прогнозный ресурс донных россыпных отложений на глубинах от 0 м до 30 м приведен в Таблица – 2.2 [77].

Таблица – 2.2. Прогнозные ресурсы продуктивных россыпей (глубина 0-30 м) [77]

Расположение	Ильменит, т	Циркон, т	Монацит, т	Олово	Золото
Дельта Красной реки	630 000	314 084	94 314	3 области с хорошим проявлением	3 области с хорошим проявлением
Северный округ Вьетнама	827 187	49 000		1 область с хорошим проявлением	1 область с хорошим проявлением
Центральный округ	15 685 061	1 485 521	434 894	2 перспективных региона для дальнейшей детальной разведки	2 перспективных региона для дальнейшей детальной разведки
Южный округ Вьетнама	1 751 173	610 828	180 457	2 перспективных региона для дальнейшей детальной разведки	5 перспективных регионов для дальнейшей детальной разведки
Всего	18 893 436	2 459 433	709 665	8 областей	11 областей

Перспективы освоения россыпных отложений мелководных морских районов (глубина 30-100 м) оценивались на основе результатов морских геологических исследований, проведенных Центром морской геологии и полезных ископаемых в 2007 - 2011 гг. [61, 64]. Общая площадь разведочных работ на тот период составила более 150 000 км². Первоначальные результаты определили четыре перспективных участка вдоль центрального побережья Вьетнама с общими прогнозными запасами в 51 млн т россыпей (Таблица – 2.3) [77].

Таблица – 2.3. Прогнозные ресурсы россыпей полезных ископаемых на глубине 30-100 м.

Область	Глубина воды, м	Площадь , км ²	Средняя мощность, м	Среднее содержание, кг/м ³	Ресурсы, т
Район Куинен (провинция Бинь Динь)	25,2-79,6	215	6	1,7	2 441 777
Участок простирается в море от города Кам рань (Кхань Хоа) до города Фан Ри Куа (Бинь Тхуан)	37,3- 120,3	1650	6	1,9	17 083 616
Участок простирается в море от Фан Тхьет до Лаги (Бинь Тхуан)	31,9-53,8	1440	4	2,1	13 632 207
Мелководье вокруг острова Фукуи (оффшор Бинь Тхуан, 104 км от Фан Тхьет на восток)	29,0- 122,3	1480	5,5	2,3	18 036 961
Всего					51 194 561

2.4. Характеристика месторождений кварцевых (стекольных) песков и строительных материалов

Особый вклад в изучение и обоснование использования таких месторождений внесли Нгуен Дин Тхиен, Ле Дык Куонг и Нгуен Вьет Тханг, которые еще в семидесятые и восьмидесятые годы двадцатого столетия открыли более двадцати месторождений стекольных песков с общими запасами более 560,1 млн.т. (Таблица – 2.4) [52, 53, 61].

Ресурсы строительных материалов Вьетнама располагаются в изобилии на морском дне, благодаря ряду благоприятных факторов, таких как береговая линия протяженностью более 3000 км, множеством рек и ручьев, текущих от материка в море. На горный рельеф Вьетнама приходится 3/4 территории, климат тропический муссонный, жаркий и влажный, с большим количеством дождей, что создает благоприятные условия для процессов выветривания, эрозии, переноса осадочных материалов, таких как гравий, песок, ил с высокогорья, вниз в низовья, к морю.

Таблица – 2.4. Запасы и качество стеклянного песка в прибрежных районах
Вьетнама [61]

№№ пп	Месторождение	Запасы (тыс.т)	Качество
1	Фан Ри	228382	Популярная стеклянная посуда
2	Хонг Сон	40937	
3	Бин Чау	40231	
4	Туи Триу (Камрань)	34301	Хрустальный песок
5	Фан Ри Тхань	28515	Оптический песок
6	Лонг Нон	22912	
7	Чом Гэнг	22856	Популярная стеклянная посуда
8	Динь Тэй	20708	Популярная стеклянная посуда
9	Кай Тао	20527	Популярная стеклянная посуда
10	Хам Тан	48264	Популярная стеклянная посуда
11	Лон Тинь	12924	Популярная стеклянная посуда
12	Кам Хай	11469	Популярная стеклянная посуда
13	Нам О	8827	Популярная стеклянная посуда
14	Тань Тин	5780	Популярная стеклянная посуда
15	Ван Хай	5621	Популярная стеклянная посуда и оптический песок
16	Тан Тханг	4138	
17	Южный Фантьет)	4843	
	Всего	561235	

С 1991 по 2011 год Центр геологии - “Морские полезные ископаемые” Департамента геологии и полезных ископаемых Вьетнама провел исследования распространения песчаных отложений на дне мелководья прибрежного моря на глубинах 0-30 м от Куангнинь до Кьензянг. В результате исследований на глубине 30 м выявлено 30 перспективных участков с общим прогнозным ресурсом около 150 млрд м³, представленных на карте масштаба 1:500 000. [Нгуен Биеу, 2010]. В некоторых исследуемых районах россыпи рассматриваются не только как ресурсы строительных материалов, но и вмещающие другие полезные ископаемые, которые будут использоваться после добычи россыпи (не входят в 150 млрд м³) [151].

Месторождения строительных материалов исследовались методом малоглубинной сейсморазведки высокого разрешения и отбором проб грейферным и гравитационным пробоотборниками, что позволило определить гранулярный и минеральный состав. Залежи строительных материалов варьируют по мощности в пределах 15-40 м, во многих местах покрыты илом и глинами слоем до 15-20 м. Обработка и анализ результатов разведки полезных ископаемых, месторождения песка и гравия на морском дне были разделены на 2 группы: группу, выходящую на поверхность морского дна, и группу, покрытую осадочным слоем (глин и илов).

Первая группа: пески и гравийные смеси, выходящие на поверхность морского дна; эти материалы распространены на глубинах 0 - 6 м и 20 - 30 м в воде, позднеголоценового возраста (Рисунок – 2.5).

- На глубине от 0 до 6 м эти материалы имеют узкое залегание вокруг блоков скальных пород у кромо берега, вокруг островов или располагаются на современных пляжах и дюнах в зоне сильного волнения. Такие залежи строительных материалов широко распространены в водах Куанг ниня (северный), Центрального Вьетнама и Кьен зянг (юго-западный Вьетнам).
- На глубине 20-30 м воды эти отложения рассеяны по участкам подводного песчаного пляжа или дюны вдоль древнего берега. Состав отложений зависит не только от коренных пород района, но и содержит значительное количество латеритной крошки и обломков раковин моллюсков. Большие дюны и отмели распределены с севера на юг следующим образом: отмель к югу от До Сон, к югу от Куа Дей, к востоку от Сам Сон, к востоку от Кам Нхыонг, к востоку от Куа Вьет, к востоку от Туан Ан, к западу от Ку Лао Чам, к востоку и юго-востоку от Фан Ри, Бакием, к юго-востоку от Вунгтау, к северо-востоку от Кондао и к востоку от острова Тхо Чу. Мощность залежи строительных материалов колеблется от 0,5 до 5 м [151].

Вторая группа: это песчано-галечные отложения речного происхождения, образовавшиеся в позднем плейстоцене - начале позднего голоцена, в основном древние русловые фации, перекрытые мощным слоем глинисто-илистых отложений около 3 - 15 м. Ареалы распространения этого типа россыпей обычно расположены перед устьями крупных рек, таких как Красная река, река Ма, река Ка, река Меконг и т. д.

- Самые большие месторождения находятся в морском регионе Куангнинь и представлены древними речными песками распространёнными на большой площади и простирающийся более чем на 60 км от южной части острова Ко То в юго-западном направлении. Мощность русловых песчаных линз согласно сейсмическим исследованиям невысокая и составляет 0,5 - 30 м [151].

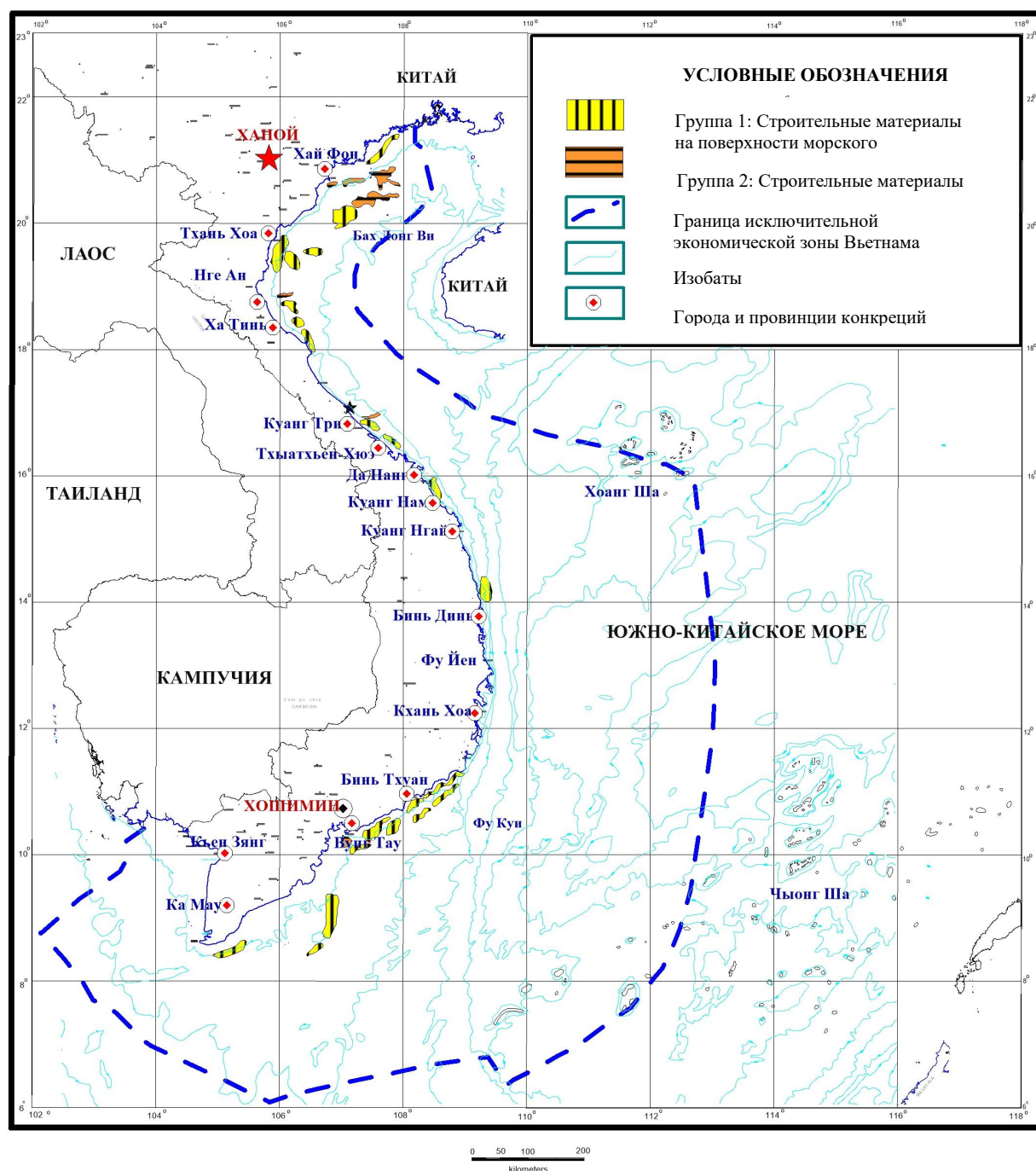


Рисунок – 2.5. Карта распределения месторождений строительных материалов в прибрежных мелководных морях (Нгуен Биеу, 2010 г.) [150]

2.5. Анализ возможности разработки шельфовых месторождений

Как уже отмечалось, освоение морских ресурсов человечеством начиналось с прибрежной зоны в пределах шельфа.

В принципе разработка таких месторождений и в пределах шельфа на малых глубинах особых технологических сложностей не представляет и практикуется во многих странах мира. Единственным существенным ограничением является обеспечение безопасности окружающей природной среды. Основным фактором, обеспечивающим

охрану ОПС при морских разработках, должна являться достаточная адекватность состоянию природной среды применяемой технологии и оборудования. Для рассматриваемых месторождений проблема окружающей среды усугубляется тем, что эти районы являются зонами развитого туризма и отдыха практически в течение всего календарного года [80].

Существующие и проектируемые добычные комплексы для разработки морских месторождений твердых полезных ископаемых неоднократно описывались в технической и научной литературе [80]. Для разработки россыпных месторождений в пределах шельфа на небольшой глубине (до 50 м) эффективно используются землесосные снаряды с трюмными и погружными насосами, эжекторные и эрлифтные драги и т.п., на больших глубинах (50-100 м) земснаряды с пневматическими камерными насосами, подводные земснаряды типа «Моллюск», эрлифтные, грейферы и т.п. [22, 24, 44, 80]. Кроме того, при близком к горизонтальному залеганию шельфа ($\alpha < 0,50$) зачастую зона разработки отгораживается дамбами, осушается и месторождение отрабатывается сухойнойм оборудованием (алмазоносные россыпи в Намибии и т.д.).

Некоторые россыпи Вьетнама залегают полностью или частично непосредственно в пляжной части шельфа (Рисунок – 2.1-2.5). Разработка таких месторождений в литорали возможна сухойной техникой (погрузчиками, бульдозерами, скреперами и т.д.) во время отливов. Периодичность отливов, как известно, составляет 24 часа, то есть около 12 часов в сутки прибрежная зона бывает свободна от воды. Ширина литорали зависит от высоты приливной волны и угла наклона прибрежного шельфа. Наблюдения свидетельствуют – высота прилива на побережье Вьетнама различна, так как зависит от многих природных факторов, и составляет в среднем (с севера на юг): в районе Тхань Хоа до 3,1 м; Ха Тинь – около 2,5 м; Куанг Намь ~ 1,5÷1,6 м; Вунг Тау ~ 1,5÷1,7 м (Рисунок – 2.5). На Рисунке – 2.6 представлены зависимости ширины обнажаемой при отливах зоны (литорали) при различных высотах приливной волны и наклоне дна в диапазоне, характерном для побережья Вьетнама в Южно-Китайском море. Находящиеся в пределах литорали россыпные месторождения на период до 12 часов освобождаются от воды и становятся доступными для сухойной техники [80].

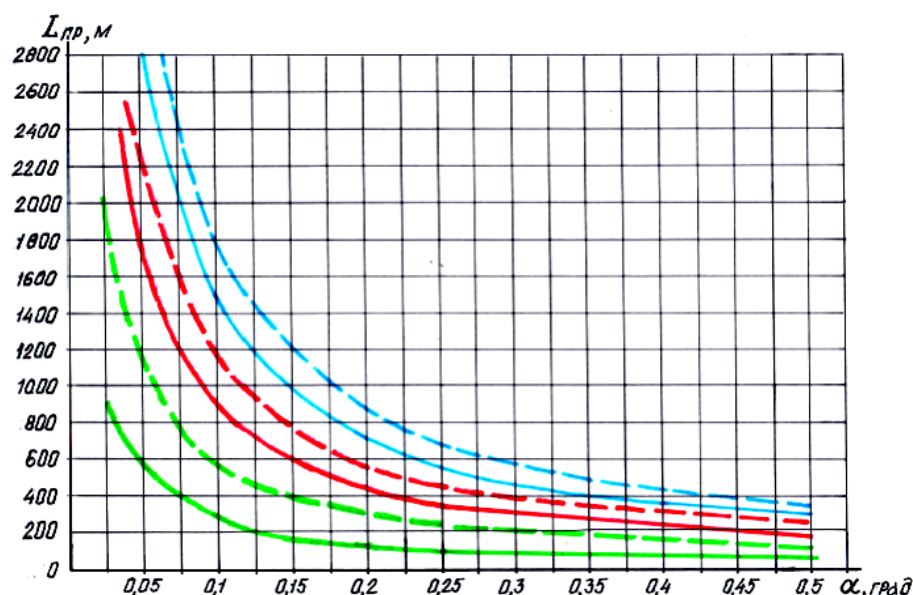


Рисунок – 2.6. График зависимости ширины обнажаемого при отливе пляжа (литорали – $L_{пр}$) от угла наклона шельфа (α) и высоты прилива ($h_{пр}$)

— $h_{пр}=0,5$ м	— $h_{пр}=1,5$ м	— $h_{пр}=2,5$ м
- - - $h_{пр}=1,0$ м	- - - $h_{пр}=2,0$ м	- - - $h_{пр}=3,0$ м

Время доступности зависит в основном от местоположения россыпи: ближе к линии прибоя на больший промежуток, дальше – на меньший (Рисунок – 2.2).

Разработка этих месторождений может производиться таким мобильным оборудованием, как погрузчики, скреперы и бульдозеры. Несущая способность дна обнажаемой зоны довольно высокая и достигает в среднем $0,4 \div 0,8$ кг/см². Ведущие машиностроительные фирмы мира (Белаз, Caterpillar, ЧТЗ, УРАЛТРАК, Volvo, Hyundai, Liu Cong и др.) выпускают оборудование самой различной производительности и мощности с удельным давлением на грунт приблизительно в этих пределах: погрузчики - $0,3 \div 0,6$ кг/см²; скреперы - $0,25 \div 0,5$ кг/см²; бульдозеры - $0,3 \div 0,9$ кг/см² [80].

Основными трудностями при организации добычи в пределах литорали (кроме несущей способности) будет:

- невозможность организации постоянных забоев и транспортных коммуникаций;
- невозможность разработки россыпей, перекрытых вскрышными породами;
- разубоживание полезного ископаемого в забоях пустыми породами, принесенными приливной волной;
- низкий коэффициент использования рабочего времени оборудования.

Последний недостаток можно нивелировать организацией промежуточных складов у береговой черты и использования добычного оборудования для отгрузки и транспортирования полезного ископаемого на обогатительную фабрику или иному потребителю. Для добычи особо ценных полезных ископаемых можно ограждать места добычи дамбами [80].

За пределами литорали на глубинах до 30 м для разработки россыпных месторождений, как уже отмечалось, могут применяться существующие гидромеханизированные технологии и оборудование. В более глубинных районах шельфа требуется специализированное оборудование и технологии [22, 24, 44, 62, 80]. Необходимо отметить, что первый положительный опыт подводной разработки глубокозалегающих россыпей был приобретен при эксплуатации подводного земснаряда «Моллюск» (СССР) с 1972 года. Земснаряд был разработан в Московском горном институте и построен на Уфимском заводе горного оборудования [22, 80]. Опытно-промышленная добыча касситеритовых песков и других россыпных полезных ископаемых в Восточно-Сибирском море, море Лаптевых и на Балтике выявила сложности в организации обогащения и транспортирования добытого материала. Подобные проблемы, влияющие на ритмичность работы добычного оборудования и снижение его производительности, возникнут при освоении россыпей во Вьетнаме [80].

Кроме того, при планировании морских разработок необходимо учитывать климатические факторы. Сезонное усиление ветров начинается с мая, а с сентября по январь высока вероятность штормов на прилегающей к Вьетнаму акватории Южно-Китайского моря [80].

Естественно, планирование технологий с обогащением на борту добычных агрегатов или плавучих ОФ со сбросом отходов в море является недопустимым. Кроме того, практически всё тихоокеанское побережье Вьетнама постоянно расширяется и осваивается для туризма [80].

Экологические последствия при разработке подводных месторождений во многом схожи с негативными экологическими последствиями, сопровождающими горные работы на континентальной суше [80]. Разработка месторождений морского дна будет негативно воздействовать на устойчивые биосообщества в районе работ, в том числе и посредством уничтожения областей их обитания. В местах проведения горных выработок будет меняться рельеф, загрязняться вода, возможно изменение гидрологического режима в придонной части. Особое внимание необходимо обращать на возможное негативное воздействие на тех представителей флоры и фауны, которые присущи лишь Южно-Китайскому морю [80].

ВЫВОДЫ

На побережья Вьетнама установлены россыпные месторождения ильменит-циркон-монацита, которые являются продуктами разрушения коренных гранитов и располагаются на глубинах до 30 м в четвертичных элювиальных и делювиальных песчаных и песчано-гравийных отложениях пляжей. Кроме тяжелых металлов обнаружено незначительное содержание золота, олова и следы редкоземельных элементов. Здесь же эксплуатируется также ряд месторождений кварцевых (стекольных) песков, часть из которых относится к оптическим [61].

Шельфовые россыпные месторождения необходимо разрабатывать с применением существующих гидромеханизированных технологий и оборудования (до глубины 30 м), с помощью погружного земснаряда «Моллюск», грейферов, комплекса погружных землесосов и т.п. (до глубины от 30 до 100 м).

Месторождения глубинных районов, в том числе за пределами эксклюзивной зоны Вьетнама, могут быть включены в промышленное освоение только после проведения детальных разведочных работ и разработки соответствующих технологий и системы комплексной механизации [80].

Разработка месторождений в пределах литорали возможна с применением традиционной сухоройной техники по общепринятым технологиям.

Целесообразность производства морских добычных работ в пределах шельфовой зоны, континентального склона и в глубинных районах Южно-Китайского моря должна определяться на основании прогнозной классификации и районирования дна с обязательным учетом экономических и экологических рисков.

ГЛАВА 3. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ПОТЕНЦИАЛ И ГЕНЕЗИС ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ДНЕ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ

3.1. Геологические особенности морских глубин Вьетнама

Южно-Китайское море является одним из крупнейших осадочных бассейнов Восточной Азии со сложной тектонической историей и считается ключевым регионом, поскольку он расположен на стыке Евразийской, Тихоокеанской и Индо-Австралийской плит и, следовательно, является центром Тихоокеанской и Тетической тектонических областей. Геологически Южно-Китайское море граничит с Южно-Китайским блоком на

севере, Индокитайским блоком на западе на востоке и юге; оно окружено цепочкой островов, простирающейся от Филиппинской вулканической дуги на востоке до блока Борнео и Сундаленда и континентального шельфа на юге.

Южно-Китайское море расположено на континентальной окраине Евразийской плиты, где взаимодействуют различные геологические блоки (тектонические плиты), что сделало его динамический механизм предметом обсуждения многих геологов и геофизиков на протяжении десятилетий [52, 81, 98].

В частности можно отметить такие теории, как модель перемещения блока Борнео и раскрытия Южно-Китайского моря (Ben Avraham and Uyenda, 1973), модель бассейна вытягивания плиты (Taylor and Hayes, 1980), модель экотрузивной тектоники (Tappoinnier, 1982), модель палеомагнетизма (Briais, 1993) и исследования по тектонике Ю.Г. Гатинского (1980), Ле Дуй Бах (Le Duy Bach) (1987), С. S. Hutchison (1988), С. Rangin (1990), Pinxian Wang (2014) и др. Роберт Холл (1997, 2001, 2009), британский геофизик, проанализировал множество исследовательских данных и разработал интегрированную тектоническую модель кайнозоя для Юго-Восточной Азии, в которой находится Южно-Китайское море. Ян Меткалф своими исследованиями (1998, 2005, 2009, 2017) также внес большой вклад в создание тектонических моделей от палеозоя до кайнозоя. Работы этих двух ученых получили признание и были использованы для дальнейших исследований по геологии и региональной тектонике [52, 59].

Считается, что тектонические плиты, окружающие бассейн Южно-Китайского моря, претерпели вращение по часовой стрелке, процесс субдукции и экстррузии с раннего кайнозоя до позднего миоцена. Рифтогенез континентальный, начавшийся в позднем меловом периоде на северо-востоке ЮКМ, распространился на юг и запад и длился около 40 млн лет. Тектоническая обстановка северной, южной, западной и восточной континентальных окраин Южно-Китайского моря значительно различается и включает пассивную - пассивную окраину (север), активную - конвергентную окраину (восток), сброс по простиранию - горизонтально смещённый сброс (запад) и обширную территорию Сундаленда - континентальный шельф (юг), включающий острова Чыонг Са (Спратли) и архипелаги Ту Чинь - Вунг Май, а также зону древней субдукции Борнео – Палаван [52, 53, 59, 81, 115].

Тектоническая деятельность Южно-Китайского моря определяется рифтогенными процессами Южно-Китайского моря, системой сдвиговых разломов Айлаошань - Красная река (Ailaoshan - Red River fault) (сброс по простиранию) и разломом долготы 1090 –1100 на шельфе центральной части Вьетнама. Тектоническую эволюцию можно разделить на три основных этапа [59, 81, 67, 115]:

- Предрифтовый этап: с позднего мела - раннего палеоцена, на окраине континента в Юго-Восточной Азии и на юге Китая, идет процесс поднятия - денудации, обрушения и растяжения [81].
- Этап рифта включает 2 фазы:
 - на ранней стадии рифта - с эоцена до 32 миллионов лет назад началось формирование коры океана ЮКМ;
 - поздняя фаза разлома - от 32 миллионов лет до 15,5 миллионов лет назад, морское дно было практически сформировано и блоки Чыонг Са и Ту Чинь - Вунг Май были сдвинуты на юг и юго-восток [81].
- Пост-рифтовая стадия: началась после прекращения процесса рифтинга в Южно-Китайском море, примерно 15,5 миллионов лет назад и длится по настоящее время [81].

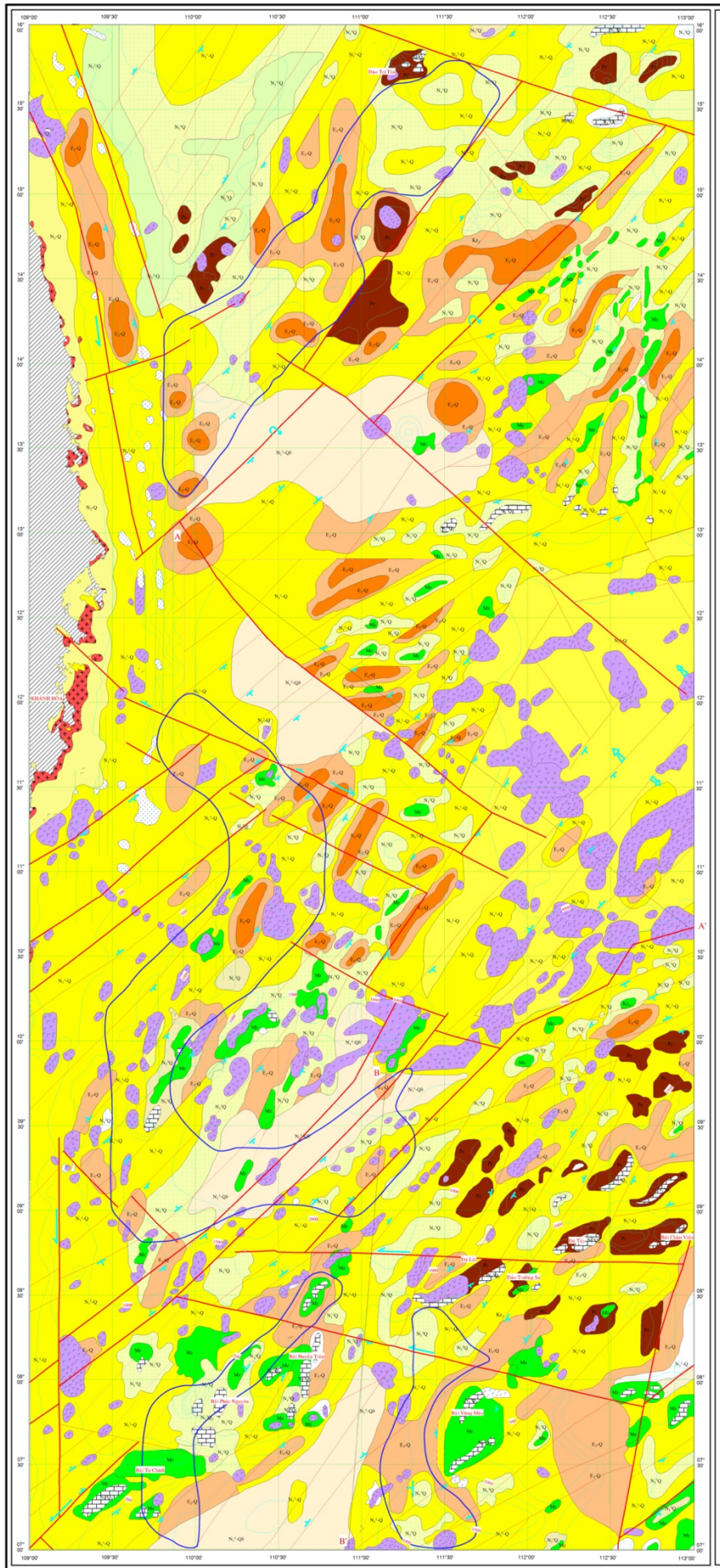
Разлом Айлаошан - Красная река (Ailaoshan - Red River) в Северном Вьетнаме и разлом 1090–1100 восточной долготы начали движение 32 миллиона лет назад, в то же время, когда начался рифт Южно-Китайского моря. Разлом Айлаошань - Красная река был оставлен боковым с 32 до 16 миллионов и переключился на правый боковой с 16 миллионов до 5 миллионов лет назад, после чего почти остановился до настоящего времени [81].

Поскольку эволюция Южно-Китайского моря началась в конце мелового периода, докайнозойские геолого-литологические структуры морского дна считались породами фундамента бассейна Южно-Китайского моря. Эти породы фундамента по сложности строения и особенностям схожи с геолого-литологическими структурами на суше. Блоки фундамента сложены магматическими, осадочными и метаморфическими породами [53, 59, 81].

Подробная геология морской исключительной экономической зоны Вьетнама была исследована вьетнамским правительством, чтобы служить предпосылкой для разведки полезных ископаемых и геологоразведочных работ, результаты этих исследований были представлены на геологической карте глубоководья в масштабе 1: 1 000 000 (Рисунок – 3.1) [151].

Кайнозойские осадочные образования Южно-Китайского моря широко развиты на шельфе, склонах и абиссальных равнинах, эти отложения растут, т.к. приносятся из рек в Южно-Китайское море. Пачки отложений в Южно-Китайском море можно разделить на две отдельные серии: синрифтовые толщи и пострифтовые покровы [81].

Образования синрифта накапливались во впадинах, грабенах, полуграбенах, которые распространены во многих районах Южно-Китайского моря на континентальных шельфах и континентальных склонах [59, 81, 98].



Условные обозначения

1. Стратиграфия

	N ₂ -Q. Четвертичный период - плиоцен.
	N ₁ ³ - Q ₂ . Четвертичный период - миоцен.
	N ₁ ³ - Q. Четвертичный период - верхний миоцен.
	N ₁ ³ - Q. Четвертичный - верхний миоцен (отсутствие плиоцена)
	N ₁ ³ - Q _a . Четвертичный - верхний миоцен, покрывающие на мезозойско-палеозойские породы фундамента.
	N ₁ ³ - Q _b . Четвертичный - верхний миоцен, покрывающие на породы среднего - нижнего миоцена.
	N ₁ ² - Q. Четвертичный период - средний миоцен
	N ₁ ¹ - Q. Четвертичные - нижний миоцен
	E ₃ -Q. Четвертичные - олигоценовые
	E ₂ -Q. Четвертичные тонкозернистые терригенные отложения
	Mz. Мезозойские образования (цельные).
	Pz. Палеозой
	Гранитоид
Кайнозойские магматические образования	
	Андезитовый, андезито-базальтовый
	Базальты, грабро-диаба, серпентиниты (?)

2. Структурная геология и тектоника

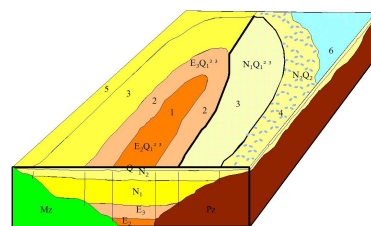
	I группа разломов		Взброс разлом
	II группа разломов		Сдвиг разлом
	III группа разломов		Ось рифта
	IV группа разломов		Зона субдукции
	Трансформный разлом		
	Сброс разлом		

3. Другие

	Магнитные аномалии		Маршрут сейсмолого-геологических исследований.
	Геологические границы		Бурение скважин

Район имеет перспективу полезных ископаемых (помимо углеводородов)

	Древняя прибрежная зона (стройматериалы, стекольный песок, россыпи)
	Перспективный район прогноза газогидратов



Стратиграфическая модель

Рисунок – 3.1. Глубоководная геологическая карта (морской район Вьетнама) Проект «Исследования глубоководной геологии (от -200 м) для поиска полезных ископаемых» (Нгуен Тхе Тьеп, 2010) [151]

1. Стратиграфия

N₁³ - Q₂. Четвертичный период - миоцен. Гравий, известковый песок. Известняк развивается на коренных породах (сланцы, риолиты, базальты, миоценовые осадочные породы).

N₁³ - Q. Четвертичный период - верхний миоцен. Песок, ил, глина, иногда с вкраплениями базальта, коралловые рифы на континентальном шельфе и кромке континентального шельфа, терригенные отложения, обусловленные регрессивным процессом.

N₁³ - Q. Четвертичный - верхний миоцен (отсутствие плиоцена), четвертичные отложения, такие как гравий, песок, ил; Позднемиоценовые песчаники, алевролиты, аргиллиты, покрывающие палеозойские породы фундамента.

$N_1^3-Q_a$. Четвертичный - верхний миоцен. Мелкозернистые отложения и известково-песчаные отложения, коралловые рифы, карбонатные породы, покрывающие мезозойско-палеозойские породы фундамента.

$N_1^3-Q_b$. Четвертичный - верхний миоцен. Мелкозернистые отложения, осадочные породы, покрывающие породы среднего - нижнего миоцена.

N_1^2-Q . Четвертичный период - средний миоцен: глинистые отложения, глина, вулканические материалы, радиолярии, фораминиферы и осадочные породы.

N_1^1-Q . Четвертичные - нижний миоцен: четвертичные тонкозернистые терригенные отложения и осадочные породы, иногда слабоскладчатые.

- E_3-Q . Четвертичные - олигоценые: четвертичные тонкозернистые терригенные отложения; конгломераты, песчаники и алевролиты, отложившиеся в речных и дельтовых условиях. Аргиллиты откладывались в озерах и болотах.

- E_2-Q . Четвертичные тонкозернистые терригенные отложения; Конгломераты, песчаники и аргиллиты отлагались в реках, озерах и аллювиальных конусах выноса в рифтовый период.

Mz. Мезозойские образования (цельные)

Граниты, риолиты, осадочные породы, распространенные на подводных горах, возвышающихся блоках фундамента. Распространение их простирается на северо-восток - юго-запад. На гребнях встречаются коралловые остатки, карбонатные породы или латеритовые отложения.

Pz. Палеозой

Палеозойские породы, в том числе вулканогенная магма, гранитоид, осадочные породы, метаморфические породы, распространены в отдельных блоках поднятий пород фундамента на островах Три Тон, Да Тай, острове Чу Тхап (на северо-западе архипелага Чыонгша).

Гранитоид: Гранитоид на некоторых прибрежных островах

Кайнозойские магматические образования

- Андезитовый, андезито-базальтовый, кайнозойского возраста
- Базальты, габбро-диабазы, серпентиниты (?), кайнозойского возраста

2. Структурная и тектоническая

- I группа разломов (предрифтогенные и синрифтогенные)

- II группа разломов (синрифтогенез)
- III группа разломов (пострифтогенные)
- IV группа разломов (в неогене - четвертичном периоде)

Пострифтовые отложения несогласно перекрыты синрифтовыми образованиями, имеют почти горизонтальное строение, устойчивые, меньше расщеплены разломами [81].

Карбонатные отложения распространены на архипелаге Хоанг Са и бассейне Нам Кон Сон (миоценовый возраст), а также на архипелаге Чыонг Са (от миоцена до четвертичного периода) [81].

В ЮКМ в современное время ежегодно поступает около 700 млн т отложений, в том числе около 80% терригенных веществ, поступающих с окружающими реками, и 20% биогенных карбонатов, силикатов и вулканического пепла. Большая часть этих отложений аккумулировалась на шельфе ЮКМ (43 % от общей массы наносов) и склоне (52%) и лишь небольшое количество - в глубоководной абиссали (5%) [98].

Осадочные материалы широко представлены на поверхности морского дна. На формирование и распространение отложений на морском дне сильно влияли изменения уровня моря в плейстоцене и голоцене, состав и объем осадочных пород определяются переносом реками материала с материка (суши) и вулканической деятельностью. Крупнозернистые отложения, такие как галька и гравий, встречаются практически на всей протяженности прибрежного мелководного морского и континентального шельфа Вьетнама. Их распространение часто соответствует расположению древних береговых линий и обнаженных выветрелых пород фундамента на морском дне [53, 81, 98, 155].

Песчаные отложения распространены во многих местах, но неравномерно: в Тонкинском и Сиамском заливах (Тайский залив) отложения песка сосредоточены только в основной зоне в центре залива и вокруг островов; у берегов центрального Вьетнама пески залегают узкими полосами, но на южном континентальном шельфе они распространены широко [81].

Крупнозернистые пески, соответствующие древним берегам, встречаются вокруг подводных гор и обнажений до кайнозоя, иногда присутствует галька из гравия. Мелкий песок и глинистый ил распространены по краю шельфа, континентальному склону, на абиссальной равнине преимущественно залегают глинистые илы [81].

Присутствует также ряд вулканических отложений, распределенных вокруг вулканов, в основном на абиссальных равнинах, и незначительно на континентальных склонах и континентальном шельфе [81].

Вулканические породы повсеместно распространены в Южно-Китайском море, и по своим характеристикам, местоположению и времени образования их можно разделить на такие регионы, как северная, центральная абиссальная равнина, западная - юго-западная и южная. Большинство из них базальтовые и образовались в двух основных фазах: синрифтовой и пострифтовой. Северная часть содержит магматические породы от палеогена до четвертичного периода, включая риолиты, дациты, андезиты, базальты и туфы, но в основном базальты. Центральная абиссальная равнина, запад-юго-запад и юг Южно-Китайского моря, содержат в основном базальтовые породы, возраст которых от раннего миоцена до наших дней [59, 67, 68, 81, 98].

3.2. Твердые минеральные ресурсы морских глубин в исключительной экономической зоне Вьетнама

Железомарганцевые руды на морском дне и в океане включают типы корок и конкреций, которые состоят из оксигидроксида Fe и оксида Mn, которые получили признание в качестве потенциальных будущих ресурсов для широкого спектра элементов, таких как Co, Ti, Mn, Ni, Pt, Zr, Nb, Te, Bi, Mo, W, Th и редкоземельные элементы (РЗЭ) для корок и Ni, Cu, Co, Mn, Mo и Li для конкреций [81].

Fe-Mn-конкреции образуются в результате гидрогенетического и диагенетического осаднения вокруг твердого ядра на поверхности мягкого осадка, конкреции смешанного происхождения встречаются чаще, чем любой из конечных типов. Fe-Mn-конкреции обычно встречаются на покрытых отложениями абиссальных равнинах на глубине воды 4000–6500 м, где скорость накопления наносов невысока и составляет менее 10 мм/тыс. лет [81].

Fe-Mn-корки осаждаются непосредственно из холодной окружающей океанской воды по гидрогенетическому механизму на твердые горные породы по всему океанскому бассейну. Они образуются на морском дне на склонах и вершинах подводных гор, хребтов и плато, где скалы были очищены от отложений в течение миллионов лет. На поверхности горных пород корки образуют брусчатку толщиной до 26 см. Корки образуются на глубинах около 400–7000 м, причем наиболее толстые и богатые металлами корки встречаются на глубинах около 800–2500 м. Гидротермальные месторождения марганца и железа встречаются вблизи горячих вулканов, подводных дуговых вулканов и, реже, в центрах спрединга [81].

Мелководные Fe-Mn-корки и конкреции встречаются в ряде мест по всему Мировому океану, Балтийское море является наиболее изученным примером. Fe-Mn конкреции на топографических пиках обычно представляют собой булыжники и гальки с

относительно тонкой Fe-Mn коркой, а не конкреции глубинного типа с крошечным ядром и относительно толстыми корковыми слоями (инкрустационного типа). Типичные конкреции, обнаруженные на покрытых наносами топографических возвышенностях, имеют исключительно гидрогенетическое происхождение. Fe-Mn-корки, которые образуются вблизи континентальных окраин, имеют относительно более высокий компонент алюмосиликатного детрита, тогда как те, которые образуются вблизи участков гидротермальных источников, имеют вклад гидротермальных флюидов [1, 8, 20, 25, 26, 69, 71, 81, 105].

Современные исследования позволяют сделать вывод, что ЖМК растут быстрее - на 1 мм каждые тысячу лет и более, особенно в зародышевых клубеньках. В мелководных бассейнах (шельфовые зоны, заливы, мелководные равнины и т.п.) скорость роста конкреций также весьма высока [8, 25, 72, 81].

Изучение распределения конкреций, выходов (отложений) горных пород и отложений по углам наклона морского дна в Тихом океане (Yamazaki and Sharma, 2000) выявило следующую топографическую закономерность: 15–40° - зона корок, 7–15° - переходная зона между полями конкреций и корками, 3–7° - зона преобладания наносов, 0–3° - зона преобладания конкреций [69, 81, 99].

Первые железомарганцевые конкреции и корки в Южно-Китайском море были обнаружены во время экспедиции 1979 г. (Су и Ван, 1990) и в некоторых геологических изысканиях в последующие годы, но лишь несколько исследований характеристик состава ЖМК за эти годы (Чен, 1984; Ли, 1987; Хе, 1991; Бао и Ли, 1991; До и Тон, 2000).

По сравнению с открытыми океанами Южно-Китайское море подверглось сильному влиянию, регулярно получает огромное количество терригенных отложений в окраинные моря и имеет очень высокие темпы накопления отложений (Хуан и Ван, 2006).

Последствия могут заключаться в том, что осадки оксидов железа и марганца легко разбавляются, что затрудняет обогащение металлов, представляющих потенциальный экономический интерес, а отложения могут быстро покрываться отложениями. В результате Южно-Китайское море долгое время считалось неблагоприятным для минерализации морских железо-марганцевых корок и конкреций, а накопление железа-марганца не замечалось и не инвестировалось в исследования, поиск и разведку.

В последние годы железомарганцевые конкреции и корки время от времени обнаруживались в таких районах, как северо-восточная или северо-западная часть ЮКМ (Лин и др., 2003; Чжан и др., 2007, 2012; Ву, 2009).

Было проведено множество исследований по минералогии, микроструктуре, геохимии, генезису и палеоокружению железомарганцевых конкреций и корок в ЮКМ

(Лин и др., 2003; Дубинин А.В., 2008; Чжан и др., 2008, 2013; Ван и Чжан, 2011; Гуан и др., 2017; Чжун и др., 2017, 2018, 2019; Рен и др., Цзян и др., 2020) [70, 72, 74, 81, 125].

Более поздние исследования, проведенные в первые годы 21 (2017-2020) века, показывают, что Вьетнамское море обладает огромным потенциалом полезных ископаемых, таких как газовые гидраты, железомарганцевые руды глубоководного морского дна. Эти ресурсы являются основным объектом планирования, подготовки и проведения новых исследований, поисков, разведки и оценки запасов, многие из которых планируются для перехода к эксплуатации уже в ближайшем будущем [77, 81, 135].

Прогнозируется, что использование газовых гидратов будет довольно широко распространено в континентальной части центрального побережья Вьетнама [81].

Во Вьетнамском море (исключительная морская экономическая зона) на обширной территории площадью около 98500 км² по прогнозам, также могут находиться железомарганцевые руды, расположенные в юго-западной части глубоководного региона Южно-Китайского моря [63, 77, 81]

Некоторые геологические исследования по разведке нефти и газа Вьетгазпромом (2011) на западной окраине юго-западной части Южно-Китайского моря показывают, что железомарганцевые руды также присутствуют на подводных вулканах в виде корок и конкреций [81].

В Южно-Китайском море на морском дне много вулканов, но их поверхность покрыта плиоцен-четвертичными кораллами, поэтому обнаружить полиметаллические сульфидные руды сложно, достоверна пока только информация об обнаружении сульфитовых руд в юго-западной части юга в Китайском море (Актахов Х.Б., 1990) [81].

С 1980 по 2019 год исследования геологических условий и минеральных ресурсов Вьетнамского моря проводились многими зарубежными странами, такими как Советский Союз (5 экспедиций), Россия (6 экспедиций), Франция (1 экспедиция), Германия (1 экспедиция) и собственно Вьетнамом (3 экспедиции) (Таблица – 3.1) [81].

В этих исследовательских проектах образцы донных пород собирались с использованием таких аппаратов, как гравитационный пробоотборник (ГП), окно-пробоотборник (ОП), цепная драга (ЦД) и грейфер (ГФ) (Рисунок – 3.2).

Таблица – 3.1. Проекты геологических исследований [81]

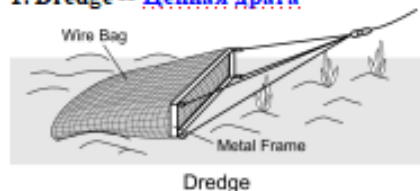
№	Страна и год обследования	Исследовательское судно	Количество образцов и метод отбора проб
1	СССР, 6/1980	NAUKA ("НАУКА")	30ГФ
2	СССР, 2/1982 и 4/1987	Судно "Академик Несмеянов"	28 ГП, 2 ЦД, 1 ГФ
3	СССР, 1987	Судно "Академик М. А. Лаврентьев"	4 ГП
4	СССР, 5/1988, Россия, 12/1994 - 01/1995	Судно "Профессор Богоров"	4 ГП, 9 ГФ
5	Франция, 1993	L' ATALANTE	1 ГП, 8 ЦД, 1 каротаж
6	Германия, 4/1999	SONNE - 140	23 ОП
7	Вьетнам, 1999-2000	Морское исследовательское судно "Bien Dong"	5 ГФ
8	Россия, 5-6/2007	Судно "Академик Опарин"	7 ЦД
9	Вьетнам, 2005	Морское исследовательское судно "Bien Dong"	2 ЦД
10	Россия, 5/2010	Судно "Академик Опарин"	13 ЦД
11	Вьетнам, 2015	Морское исследовательское судно "Bien Dong"	2 ЦД
12	Россия, 12/2016 и 03/2018	Судно "Академик Опарин"	6 ЦД (2016), 1 ЦД (03/2018)
13	Россия, 11/2019	Судно "Академик М. А. Лаврентьев"	

Пробы, в основном представляли обломочный материал и были переданы в проблемные научные лаборатории для дальнейшего исследования в различных целях.

Образцы, собранные в рамках исследовательских программ, перечисленных в Таблица – 3.1, хранятся в Институте океанографии, Институте морской геологии и геофизики (Вьетнамская академия наук и технологий). Кроме того, имеется несколько проб, отобранных в рамках проекта разведки нефти и газа нефтяной компанией Вьетгазпром (2011 г.). Многие образцы анализируются для исследования морской геологии и минеральных ресурсов, но образцы руды составляют лишь небольшую их часть [81].

В 1995 г. предварительный анализ 4 проб, собранных во время исследовательского рейса корабля «Атланта» (L'ATALANTE) (май 1993 г.), проведенный Вьетнамским Океанографическим Институтом, показал, что они относятся к коровому типу и имеют основной состав Fe_2O_3 8,03 - 27,53%, MnO 3,29 - 13,39%, другие элементные компоненты не анализировались [65, 77, 81].

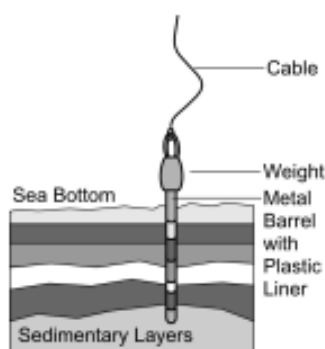
1. Dredge -- Цепная драга



Драга-полокша

2. Gravity corer

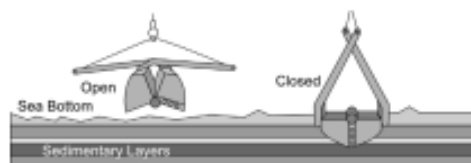
Гравитационные пробоотборники



Gravity Corer



3. Grab - грейферный пробоотборник (Пробоотборник для донных отложений)



4. Box corer

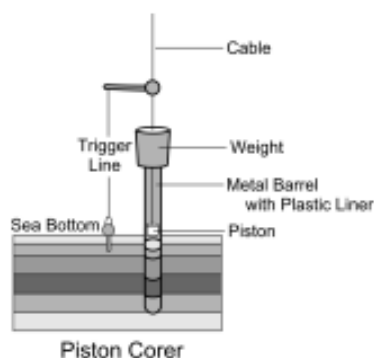
Ящик для пробивки отверстий -

https://ru.qaz.wiki/wiki/Box_corer

Окно пробоотборник



5. Piston corer - Поршневые пробоотборники



Piston Corer

Рисунок – 3.2. Пробоотборники, используемые для исследований морского дна
Южно-Китайского моря

3.3. Результаты исследований образцов руд железомарганцевых образований (ЖМО) дна ЮКМ

В этом исследовании было проанализировано 18 проб (по всем аналитическим параметрам), большинство проб было отобрано драгами на различной глубине (17 проб с поверхности подводных гор на глубинах 346 м - 1300 м и 1 проба с глубины 10 м на морской террасе у берега) на поверхности подводных гор, расположенных в юго-западном суббассейне центра Южно-Китайского моря, в диапазоне долготы от 109053'24" до 111059'01" и широты от 8013'54" до 10011'30"; 2 образца в морском районе провинции Биньдинь (VN16, VN18); 1 образец на острове Ту Чинь (VN-3) (Рисунок – 3.3) [82].

		
VN-1. Железомарганцевая руда коркового типа	VN-2. Железомарганцевая руда коркового типа	VN-7. Железомарганцевая руда (тип корки)
		
VN-9. Железомарганцевая руда (тип конкреций)	VN-12. Железомарганцевая руда коркового типа	VN-13. Железомарганцевая руда коркового типа
		
VN-14. Железомарганцевая руда коркового типа	VN-17. Железомарганцевая руда, коркового типа	VN-18. Железомарганцевая руда

Рисунок – 3.4. Фотографии и основные характеристики некоторых образцов руды [82]

Для анализа были отобраны пробы, основные характеристики которых описаны в Таблица – 3.2 и на Рисунок – 3.4.

Петрографический анализ проводился на поляризационном микроскопе Carl Zeiss Axioskop 40 для 7 проб, содержащих руду, отобранных из проб VN-9, VN-10, VN-11, VN-13, VN-14, VN-15, VN-18. Результаты петрографического анализа показывают, что их можно разделить на группы руд, развитые на базальтах (5 проб: VN-10, VN-11, VN-14, VN-15, VN-18), туфы (проба VN-9) и рудные группы, развитые на известняках (проба VN-13) [81].

Под микроскопом видно, что объем в образцах рудообразующих минералов составляет от 45% до 90%, иногда образец содержит небольшие обломки (фрагменты) кварца, кальцит и биологические остатки (Рисунок – 3.5). При просмотре руды в

поляризационный микроскоп на 1 никон руда красновато-коричневая, на 2 перпендикулярных николах руда темно-коричневая. Большинство из них не имеют четкой формы, сгруппированы вместе, некоторые из них круглые, эллиптические [82].

Таблица – 3.2. Список образцов и описание основных характеристик [82].

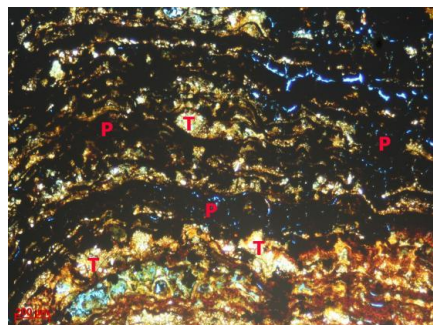
Название образца	Классификационная принадлежность	Некоторые характеристики	Место отбора	Год отбора проб
VN1	Железомарганцевая руда (тип корки)	Железомарганцевая руда (тип корки). Размер 7x4x3 см, корковый, коричневый, местами темно-коричневый, изрезанный, рудные пласты руды разного цвета и толщиной 1-3 мм	Юго-запад бассейна Южно-Китайского моря	L'Atalante, 1993
VN2	Железомарганцевая руда (тип корки) Корка растет на карбонатном субстрате.	Железомарганцевая руда (тип корки). Размер 4.5x3.5см, темно-коричневый, высокая пористость, местами коралловая структура (на кораллах растет руда?); кроме того, есть несколько других организмов	Юго-запад бассейна Южно-Китайского моря	L'Atalante, 1993
VN7	Железомарганцевая руда (тип корки)	Корка, размер 30x11 см, темно-коричневая, шероховатая поверхность. Плотная с отдельными пустотами размером 0,2 - 6 см, на поверхности растет много организмов.	Отмели у берегов Вунгтау	Судно "Академик Опарин", 2007
VN9	Туф с содержанием железомарганцевой руды	Конкреция, размер 6x4см, темно-коричневый, шероховатая поверхность, со множеством следов мелких организмов (<2 мм)	К юго-востоку от острова Фукуи	Судно "Академик Опарин", 2010
VN11	Железомарганцевая руда	Размер 5x4,5см, темно-коричневый, черный, шероховатая поверхность коркового типа	К юго-востоку от острова Фукуи	
VN12	Железомарганцевая руда	Корка, размером 16x8,5см. Цвет от темно-коричневого до черного, гладкая, малопустотная и шероховатая выпуклая поверхность, на которой прорастают организмы в виде полипов	К юго-востоку от острова Фукуи	

Название образца	Классификационная принадлежность	Некоторые характеристики	Место отбора	Год отбора проб
VN13	Железомарганцевая руда (тип корки ?) Корка растет на карбонатном субстрате.	Корка, размер 14х6см, темно-коричневый, поверхность шероховатая, слабопористая, вокруг организмов нарастает руда	К юго-востоку от острова Фукуи	
VN14	Железомарганцевая руда содержит глину	Корка, размер 22 x 20 x 4,5 см, темно-коричневая, поверхность шероховатая, четко слоистая, на поверхности видны развивающиеся организмы	К юго-востоку от острова Фукуи	
VN 17	Железомарганцевая руда	Железомарганцевая руда, размер 23х18см, темно-коричневая, шероховатая поверхность с небольшими порами. Растут кораллы.	Юго-запад бассейна Южно-Китайского моря	Судно “Академик Опарин”, 2018
VN18	Железомарганцевая руда	Железомарганцевая руда, размером 32 x 16 x 14 см, от коричневого до черно-коричневого цвета, тяжелая, иногда с металлическим блеском, шероховатая поверхность, видны песчаные зерна	Де Ги - Провинция Биньдинь	Морское исследовательское судно “Bien Dong”

Оценивая в общем результаты анализа шлифов образцов под микроскопом, можно отметить, что исследованные руды представляют собой следующие разновидности [82]:

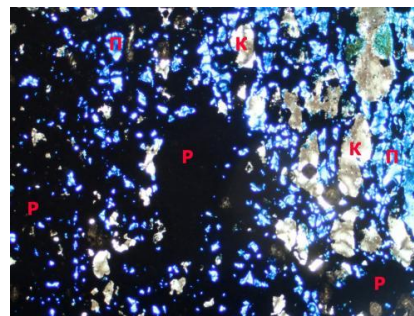
- микроконкреции, представляющие собой и сосредоточенные включения. В известняках руды распределены неоднородно, сосредоточены в скоплениях, без определенной формы, развивающиеся в микропорах породы (образец VN-13). Такая же форма руды встречается в туфах (VN-9) [82];
- слоистое строение имеет, в основном, концентрическую структуру (образец VN-14), руда относительно однородно распределена, и совместно с рудами представлены организмы, глинистый материал и небольшое количество незаполненных пор [82];
- развитые сети-цепочки (образцы VN-10, VN-13, VN-15). Руда образовалась на карбонатной породе-основе с остатками многих различных организмов. Руды развивались по механизму заполнения и замещения в материнских

породах, таких как вулканические породы и их производные, в том числе, туфы [82].



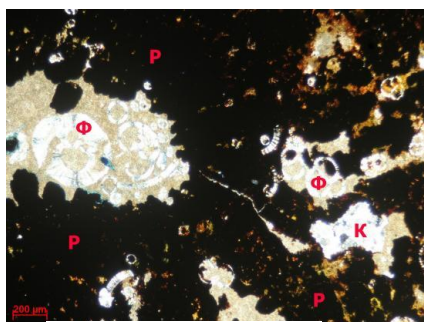
— 200 мкм (микрометров)

VN-9. Руда растёт в туфах. (1N-, 5X)



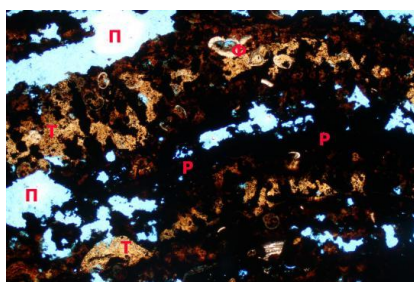
— 500 мкм (микрометров)

VN-10. Руда развивается в виде сети, небольшого количества обломков и микропор. (1N-, 2.5X)



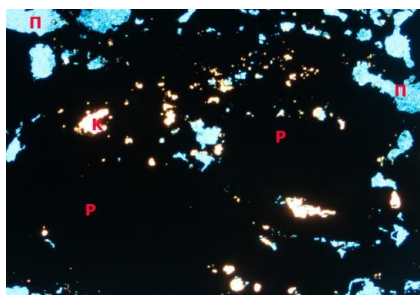
— 200 мкм (микрометров)

VN-13. Руды растут вокруг организмов. (1N-, 5X)



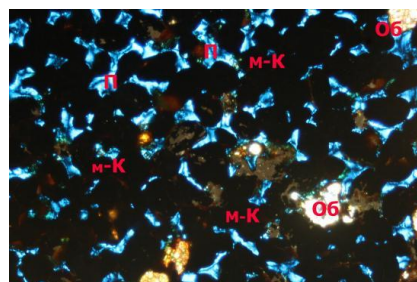
— 500 мкм (микрометров)

VN-14. Руды произрастают в туфовых - известковых породах, в которых мало организмов. (1N-, 2.5X)



— 500 мкм (микрометров)

VN-15. Руды сетчатого типа. (1N-, 2.5X)



— 200 мкм (микрометров)

VN-18. Микро-конкреция руды. (1N-, 5X)

Рисунок – 3.5. Фотографии некоторых образцов руды, наблюдаемых под поляризационным микроскопом [82].

Г: Глина, К: Карбонат, м-К: Микро-конкреции, Об: Обломочная порода, П: Поры, Р: Руда, Ф: Фораминиферы, Т: Туф

Таблица – 3.3. Анализ результатов геохимического состава методом РФА для проб руды из юго-западной части Южно-Китайского моря (Вьетнамская исключительная экономическая зона) [82].

№ пп	%	VN-1	VN-2	VN-7	VN-12	VN-13	VN-14	VN-17
1	Fe	14.8	24.4	21	13	12.8	21.5	7.63
2	Mn	7.08	20.5	20.9	2.87	10.5	1.5	6.21
3	Co	0.0685	0.182	0.083	0.0023	-	0.002	-
4	Ni	0.136	0.48	0.229	0.0814	0.185	0.0572	0.169
5	Al	5.34	1.36	0.764	1.98	1.49	1	1.15
6	Si	13.9	9.82	1.63	5.63	3.31	3.9	3.77
7	Mg	1.23	1.06	2.3	1.73	1.82	2	0.99
8	Ca	7.75	6.19	19.9	24.5	24.6	25	15.9
9	Ba	0.178	0.167	0.33	-	0.153	0.02	0.139
10	Ti	1.51	0.44	2.73	0.189	0.123	0.2	0.299
11	V	0.0512	0.096	-	0.0392	0.0441	0.015	0.0799
12	Cr	0.0233	-	0.0206	0.0095	-	0.01	-
13	Mo	0.013	0.0571	0.0272	0.0036	0.0167	0.0005	0.0489
14	Sn	-	-	-	-	-	0.002	-
15	As	-	-	0.0539	-	0.0473	-	-
16	Bi	-	-	-	-	-	-	0.299
17	Cu	0.0334	0.0523	0.03	0.0103	0.0235	0.0124	0.0163
18	Ag	-	-	-	-	-	0.00002	-
19	Pb	0.135	0.535	-	0.0298	0.0479	0.005	0.226
20	Zn	0.0511	0.105	0.0766	0.0382	0.0807	0.003	-
21	Ga	-	-	-	-	-	0.0002	-
22	Tl	-	0.0184	-	-	-	-	-
23	Nb	0.0072	0.0045	-	-	-	-	-
24	Zr	0.0264	0.0499	0.0906	0.0021	-	0.01	-
25	Th	-	0.0222	-	-	-	-	-
26	P	0.919	1.1	1.66	3.09	3.4	5.4	1.75
27	Na	1.6	1.11	0.502	0.41	0.49	0.5	0.48
28	Ce	0.0918	0.371	-	-	-	-	0.15
29	La	-	0.0499	-	-	-	-	-
30	Y	0.0149	0.0244	-	-	-	0.002	-
31	Yb	-	-	-	-	-	0.0002	-
32	Sc	-	-	-	-	-	-	-
33	K	1.94	0.491	0.385	1.12	0.734	-	0.545
34	Cl	0.846	1.28	0.445	0.273	0.328	-	0.15
35	S	0.0598	0.233	0.164	0.184	0.224	-	0.641
36	Sr	0.124	0.194	0.194	0.122	0.172	-	0.0874
37	Rb	-	-	-	0.0051	-	-	-
38	Br	-	-	-	-	0.0075	-	-

(-): Не обнаружено методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФА), на анализаторе S8-TIGER.

С целью определения компонентного состава донных проб был проведен геохимический анализ. Рентгеновская (масс-спектроскопия) флуоресцентная спектроскопия (XRF, РФА) была выполнена для 7 образцов (номера VN-1, VN-2, VN-7, VN-12, VN-13, VN-14, VN-15). Аналитические результаты по 38 элементам представлены в Таблица – 3.3.

Результаты геохимического анализа показали, что соотношение полезных компонентов Mn/Fe от 0,066 до 0,955 (все < 1). Содержание некоторых основных элементов, таких как Fe (%) = 7,63 - 24,4, Mn (%) = 1,5 - 20,9, Al (%) = 0,764 - 5,344, Si (%) = 1,63 - 13,9, Co (%) = 0-0,182, Ni (%) = 0,0572-0,229, Cu (%) = 0,0103-0,0523, Mo (%) = 0,0036 – 0,0571, Zn (%) = 0 – 0,1050 [82].

Спектрометрия индуктивно-связанной плазмы (ICP-MS) для определения редкоземельных элементов в образце проводилась на анализаторе Agilent ICP-MS 7700X во Вьетнамском институте геологии и минералов. Результаты анализа представлены в Таблица – 3.4 и на Рисунок – 3.6.

Таблица – 3.4. Данные о составе редкоземельных элементов (РЗЭ)

Содержание элементов (ppm)							
Название образца	VN-1	VN-2	VN-7	VN-12	VN-13	VN-14	VN-17
La	77.40	72.94	24.26	24.38	27.60	43.97	96.43
Ce	197.57	304.36	77.22	55.41	83.73	68.31	395.57
Pr	13.65	14.02	4.95	4.92	5.80	5.11	18.80
Nd	61.98	65.52	20.00	22.57	26.74	19.13	86.96
Sm	14.18	15.30	3.94	4.91	6.21	3.38	21.00
Eu	4.09	3.57	1.05	1.24	1.59	1.23	4.93
Gd	16.09	17.67	3.68	5.74	7.27	3.90	24.19
Tb	1.93	1.95	0.44	0.69	0.83	0.43	2.75
Dy	12.46	12.15	3.61	4.72	6.00	2.86	18.56
Ho	2.24	1.97	0.48	0.86	1.04	0.52	3.04
Er	7.19	6.51	1.84	2.83	3.44	1.76	9.93
Tm	0.86	0.75	0.24	0.33	0.42	0.21	1.17
Yb	5.95	5.51	1.86	2.47	3.03	1.58	8.62
Lu	0.81	0.69	0.16	0.32	0.39	0.21	1.11
Y	71.40	51.88	18.64	32.60	36.99	16.21	88.56
Sc	16.27	6.26	1.53	5.25	5.17	3.32	8.08
ΣРЗЭ	504.06	581.05	163.89	169.23	216.25	172.12	789.71

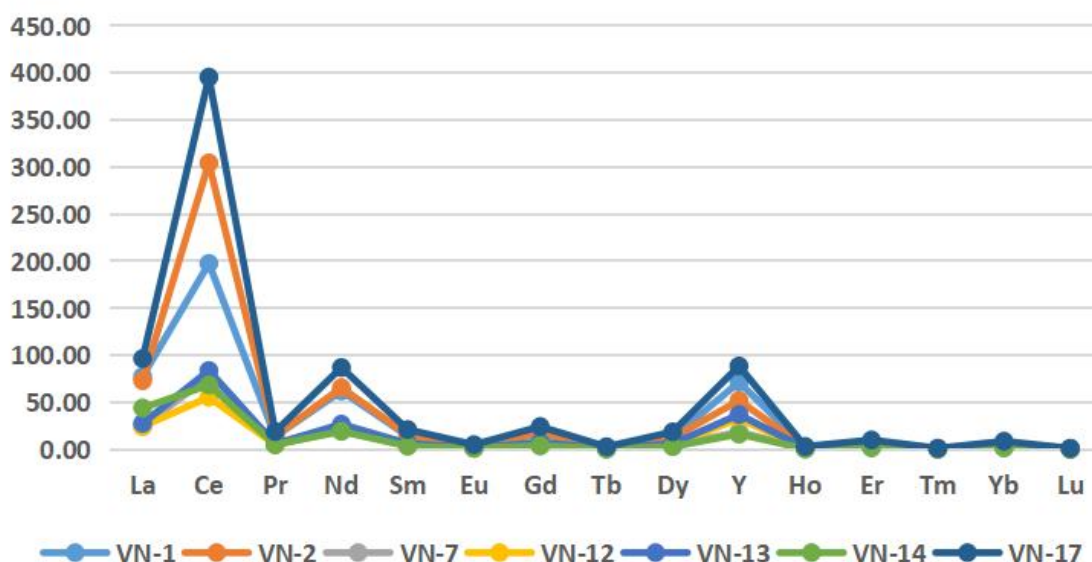


Рисунок – 3.6. Редкоземельные элементы состав проб

Суммарное содержание редких элементов (исключая Sc и Y) $\Sigma PЗЭ = 162,35 - 781,62$ г/т, в среднем 364,34 г/т. Все образцы, проанализированные с помощью ИСП-МС, относятся к участкам земной коры, расположенных на склонах и вершинах подводных гор на континентальных склонах или в юго-западной части центрального бассейна Южно-Китайского моря.

Средняя концентрация редких элементов $\Sigma PЗЭ$ (исключая Sc и Y) в образцах из других регионов Южно-Китайского моря, таких как северо-восток Южно-Китайского моря (7 проб, 3 местоположения) 178 ppm, северо-запад Южно-Китайского моря (7 образцов, 2 местоположения) 1218,81 ppm, Центральный бассейн Южно-Китайского моря 697.30 ppm (1 проба) [74]. Образец, полученный в центре Южно-Китайского моря J-158, содержит 697,30 ppm на поверхности базальта, общий состав которого близок к значению самых высоких образцов во Вьетнаме.

Для определения аномальных характеристик геохимического состава, а также особенностей распределения редкоземельных элементов в образцах ЖМК, сопоставленных с осадочными фундаментальными породами, используется диаграмма спайдеров. В случае исследования Южно-Китайского моря нормализованной фундаментальной породой был постархейский австралийский сланец (PAAS: Post-Archean Australian Shale) [69, 70, 74, 76, 157], а нормированные значения были рассчитаны в соответствии с Taylor & McLennan (1985, 1989) [69, 157]. Результаты сравнения соотношения содержания редкоземельных элементов (в ppm масс.), присутствующих в анализируемых образцах, с нормированным значением PAAS представлены в Таблица. и показаны на диаграмме (Рисунок – 3.7).

Таблица – 3.5. Нормирование редкоземельных элементов по PAAS

Элементы	PAAS (ppm)	Содержание элементов в образце/PAAS						
		VN-1	VN-2	VN-7	VN-12	VN-13	VN-14	VN-17
La	38.2	2.03	1.91	0.64	0.64	0.72	1.15	2.52
Ce	79.6	2.48	3.82	0.97	0.70	1.05	0.86	4.97
Pr	8.83	1.55	1.59	0.56	0.56	0.66	0.58	2.13
Nd	33.9	1.83	1.93	0.59	0.67	0.79	0.56	2.57
Sm	5.55	2.56	2.76	0.71	0.88	1.12	0.61	3.78
Eu	1.08	3.79	3.31	0.97	1.15	1.47	1.14	4.56
Gd	4.66	3.45	3.79	0.79	1.23	1.56	0.84	5.19
Tb	0.774	2.49	2.52	0.56	0.89	1.08	0.55	3.56
Dy	4.68	2.66	2.60	0.77	1.01	1.28	0.61	3.97
Y	27	2.64	1.92	0.69	1.21	1.37	0.60	3.28
Ho	0.991	2.26	1.99	0.48	0.87	1.05	0.52	3.07
Er	2.85	2.52	2.28	0.65	0.99	1.21	0.62	3.48
Tm	0.405	2.11	1.85	0.59	0.82	1.03	0.52	2.90
Yb	2.82	2.11	1.96	0.66	0.88	1.08	0.56	3.06
Lu	0.433	1.87	1.60	0.37	0.74	0.91	0.50	2.55

Результаты сравнения соотношения содержания редкоземельных элементов (в ppm масс.), присутствующих в анализируемых образцах, с нормированным значением PAAS представлены в Таблице – 3.5 и показаны на диаграмме (Рисунок – 3.7).

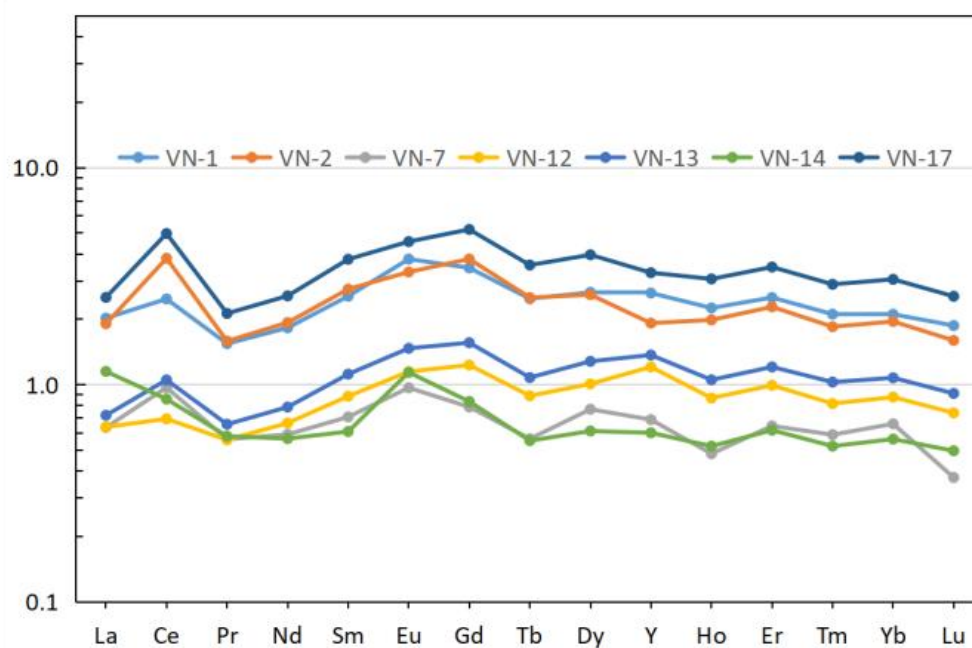


Рисунок – 3.7. Составы РЗЭ, нормализованные на РЗЭ в Постархейский австралийский сланец (PAAS)

3.4. Генетический механизм и развитие железомарганцевых конкреций (ЖМК) и корок.

Для определения перспективных мест нахождения месторождений ЖМО необходимо знать генетический механизм происхождения железомарганцевых конкреций и корок. Происхождение морских и океанических Fe-Mn руд бывает трех типов: гидрогенетическое, диагенетическое и гидротермальное, иногда смешанное. Для определения генезиса руд использовалась диаграмма Бонатти (1972) трех компонентов Fe-Mn- (Co + Cu + Ni) $\times 10$ [69, 74, 82], значения на диаграмме рассчитаны в таблице (Таблица – 3.6).

Таблица – 3.6. Содержание элементов используется в схеме классификации Бонатти (1972) [82].

Название образца	Mn (%)	Fe (%)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	%Mn	%Fe	% (Cu+Co+Ni) $\cdot 10$	Всего (%)
VN-1	7.08	14.8	0.0685	0.136	0.0334	29.19	61.01	9.81	100
VN-2	20.5	24.4	0.182	0.48	0.0523	39.39	46.88	13.73	100
VN-7	20.9	21	0.083	0.229	0.03	46.12	46.34	7.5	100
VN-12	2.87	13	0.0023	0.0814	0.0103	17.07	77.34	5.59	100
VN-13	10.5	12.8	0	0.185	0.0235	41.36	50.42	8.22	100
VN-14	1.5	21.5	0.002	0.0572	0.0124	6.03	90.84	3.13	100
VN-17	6.21	7.63	0	0.169	0.0163	39.57	48.62	11.81	100

Диаграмма Бонатти свидетельствует, что большинство образцов образовалось в гидрогенетических условиях, только образец VN-14 был сформирован в гидротермальных условиях, а VN-12 представляет собой комбинацию гидрогенетических и гидротермальных условий; образцов диагенетического типа нет (Рисунок – 3.8) [82].

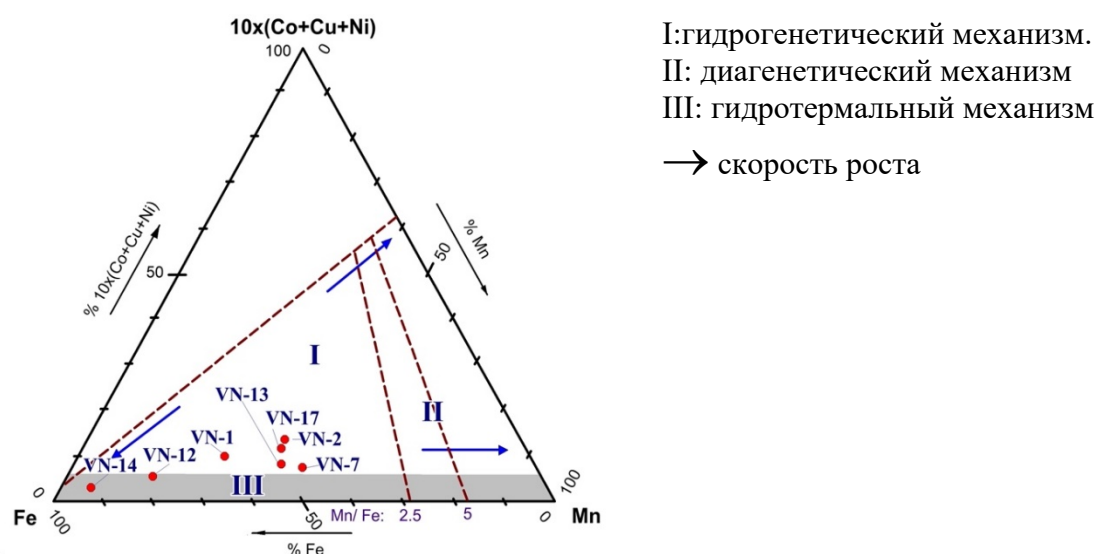


Рисунок – 3.8. Схема классификации генетического происхождения согласно Бонатти (1972) [82].

Однако этот подход не позволяет четко разграничить гидротермальные и диагенетические условия осаждения, поэтому М. Бау (M. Bau) (2014) создал классификационную диаграмму, основанную на соотношениях редких элементов $Ce_{SN} / Ce^*_{SN} - Nd$ и $Ce_{SN} / Ce^*_{SN} - Y_{SN} / Ho_{SN}$, (SN : нормализация с помощью постархейских австралийских сланцев, сокращенно PAAS) (McLennan, 1989) [70, 73, 74, 82, 157].

Метод М. Бау рассчитывает значения Ce_{SN} , Y_{SN} , Ho_{SN} по формулам [73]:

$$Ce_{SN} = Ce/Ce_{PAAS}; Y_{SN} = Ce/Ce_{PAAS}; Ho_{SN} = Ho/Ho_{PAAS}$$

$$\text{и } Ce^*_{SN} = 0,5x(La_{SN} + Pr_{SN})$$

Где содержание Ce, La и Pr выражено в мас. %. Результаты расчетов представлены в Таблице – 3.7 и отображены на графике в логарифмической шкале (Рисунок – 3.8).

Таблица – 3.7. Содержание элементов используется в схеме классификации М. Бау (2014)

Название образца	La_{SN}	Ce_{SN}	Pr_{SN}	Nd	Y_{SN}	Ho_{SN}	Ce^*_{SN}	Ce_{SN}/Ce^*_{SN}	Y_{SN}/Ho_{SN}
VN-1	2.03	2.48	1.55	61.98	2.64	2.26	1.79	1.39	1.17
VN-2	1.91	3.82	1.59	65.52	1.92	1.99	1.75	2.19	0.97
VN-7	0.64	0.97	0.56	20.00	0.69	0.48	0.60	1.62	1.44
VN-12	0.64	0.70	0.56	22.57	1.21	0.87	0.60	1.17	1.39
VN-13	0.72	1.05	0.66	26.74	1.37	1.05	0.69	1.53	1.30
VN-14	1.15	0.86	0.58	19.13	0.60	0.52	0.86	0.99	1.15
VN-17	2.52	4.97	2.13	86.96	3.28	3.07	2.33	2.14	1.07

На практике исследователи используют эти графики одновременно. Классификационная карта М. Бау (2014) показывает, что в большинстве образцов руда формируется по гидрогенетическому механизму, только VN-14 относится к смешанному типу, а VN-12 находится вблизи границы (Рисунок – 3.8). Результаты этих двух классификаций примерно одинаковы, что указывает на их надежность [82].

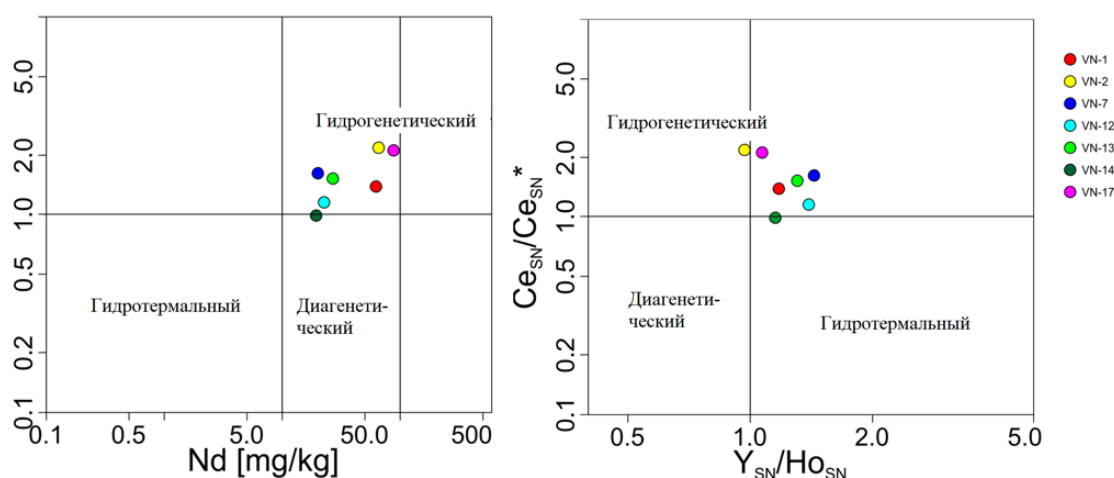


Рисунок – 3.8. Схема классификации генетического происхождения согласно М. Бау (2014) [73, 82].

Существует несколько методов определения возраста железомарганцевых отложений и основана на основе возраста и толщины конкреций / корки для расчета скорости роста. Методы изотопного датирования обычно имеют высокую надежность, включая $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ (Segl et al. 1984; Somayajulu 2000), U-Th (Reyss et al. 1985), ^{26}Al (Sharma et al. 1987), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Futa et al. 1988), $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ (Klem et al. 2005), K/Ar и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, из которых наиболее широко применяется метод $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$. В некоторых случаях также использовались методы микропалеонтологического датирования (Cowen et al. 1993). Методы определения скорости роста, непосредственно основанные на составе Mn, Fe и Co, выражено в мас.%, такие как Co-flux – метод (Manheim & Lane-Bostwick 1988; Puteanus & Halbach 1988) [69, 70, 73, 82, 156, 159].

$$\text{Скорость роста} = 0,68/\text{Co}_n^{1.67} \text{ где } \text{Co}_n = \text{Co} \times 50/(\text{Fe} + \text{Mn}) \text{ [82, 159].}$$

Метод Co-flux имеет ограничения в применении в случае Южно-Китайского моря из-за скорости роста неоднородности конкреций/корок с течением времени (Хейн и др., 1990) [74], а состав ЖМК не отличается низким содержанием SiO_2 [70].

Скорость роста руды может определяться отношением возраста и толщины рудного слоя и может изменяться на каждой стадии образования руды. Один метод расчета надлежащей скорости роста руды основан на эмпирическом уравнении Huh and Ku (1984) [82, 156]:

$$S \text{ (мм/млн лет)} = 13,8 \times (\text{Mn}/\text{Fe})^2 + 0,75$$

Где содержание Mn и Fe выражено в мас.%. Результаты расчетов показывают, что скорость роста руды на исследуемой территории составляет от 0,81 мм/млн лет до 14,41 мм/млн лет (см. Таблица – 3.5) [82].

Таблица – 3.5. Содержание Fe, Mn, Co, Cu, Ni, $\Sigma\text{PЗЭ}$ и скорость роста

Название образца	Mn (%)	Fe (%)	Скорость роста, мм/ млн лет
VN-1	7.08	14.8	3.91
VN-2	20.5	24.4	10.49
VN-7	20.9	21	14.42
VN-12	2.87	13	1.42
VN-13	10.5	12.8	10.04
VN-14	1.5	21.5	0.81
VN-17	6.21	7.63	9.89

Образцы VN-2 и VN-14 дают очень низкие значения скорости образования, возможно, допустимы отдельные различия, которые требуют дальнейшего изучения и объяснения. В первую очередь это потому, что все образцы (VN-12, VN-13, VN-14) взяты

очень близко друг от друга, но дают весьма разные значения скорости роста. Результаты определения скорости роста образцов VN-2, VN-7, VN-13 и VN-17 дали более высокие значения, чем океанические корки (1-5 мм/млн лет) [8, 25, 68, 71, 82].

Большинство обследованных образцов относятся к корковому типу, собранному с флангов и вершин подводных гор. Таким образом, возраст базальтовых пород подводных гор можно рассматривать как верхнюю границу образования руд на их поверхности. Базальтовые породы на подводных горах в западной части бассейна Центрально-ЮКМ имеют возраст от среднего миоцена (13,95 миллиона лет) до раннего плиоцена (3,49 миллиона лет), а на флангах и континентальном шельфе вод Вьетнама - от 5,5 миллионов лет до настоящего времени (последнее извержение вулкана на острове Хон Тро произошло в 1923 году) [59, 68, 82].

Необходимо отметить, что такая высокая скорость роста согласуется с ранее проведенными исследованиями в Северо-Восточном море и центральном районе Южно-Китайского моря. Это можно объяснить влиянием таких факторов, как тропический климат, сильные процессы выветривания и большие реки, несущие значительное количество осадочного материала и впадающие в Южно-Китайское море, создавая богатый источник металлов в морской воде. Совокупность этих факторов способствует быстрому развитию железомарганцевых конкреций и корок, несмотря на то, что большие объемы осадочных материалов, таких как песок, ил и глина и переносятся в море, но большая часть из них откладывается на континентальном шельфе. На поверхности подводных гор и глубоководных равнин (абиссальных) они немногочисленны или полностью отсутствуют, что создает благоприятные условия для образования железомарганцевых руд. Эта уникальная особенность образования руд в окраинных морях (таких как Южно-Китайское море), в которых скорость роста руды выше, чем в мировых океанах. Более точное определение границ различной скорости роста конкреций и корок (районирование) возможно после проведения дополнительных исследований морского дна [82, 85].

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований, образцов, отобранных со дна Южно-Китайского моря, показали содержание в них железа и марганца в промышленных кондициях и они, в основном относятся к корковому типу. Исследования образцов, отобранных в более позднее время, проводились по шлифам методами рентгеновской флуоресцентной спектроскопии и спектрометрии индуктивно-связанной плазмы.

Установлено наличие в анализируемых пробах до 45÷90% рудообразующих минералов [82].

Обнаруженные марганцево-железорудные образования в образцах морской зоны Вьетнама представляют собой микроконкреции (включения), слоистую структуру и развитые сети-цепочки. Установлено среднее содержание некоторых важных элементов, таких как Fe = 16,45%, Mn = 9,94%, Co = 0,056%, Ni = 0,191%, Cu = 0,0254%, $\Sigma PЗЭ = 0,0162 - 0,0781\%$, в среднем 0,0364% [82].

Возраст железомарганцевых руд определялся по возрасту подводных гор в этом районе, возраст базальтов в глубоком море составляет от 13,95 миллионов лет до 3,49 миллионов лет, а на континентальном шельфе - от 5,5 миллионов лет до настоящего времени. Учитывая вышеизложенное, можно констатировать, что скорость роста руды на исследуемой территории составляет от 0,81 мм / млн лет до 14,41 мм / млн лет. Такая высокая скорость роста характерна для окраинных морей [82].

Установлено, что железо-марганцевые образования (конкреции и корки) дна ЮКМ формируются по гидрогенетическому механизму.

Полученные результаты исследований дна ЮКМ позволяют сделать вывод о перспективности этого региона в качестве будущего источника железомарганцевого сырья и других твердых полезных ископаемых. Поэтому необходимо расширить масштабность и диапазон поисково-опробоочных работ, в первую очередь, во Вьетнамской эксклюзивной зоне [82].

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ И ПРОГНОЗНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВЬЕТНАМСКОГО МОРЯ ПО ПЕРСПЕКТИВНОСТИ НАХОЖДЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТПИ

4.1. Анализ общих положений, основных целей и методов геолого-разведочных работ

Как уже отмечалось выше, твердые минеральные ресурсы мелководья морского дна (в основном, россыпи) и глубоководные, такие как железомарганцевые конкреции, железомарганцевые корки богатые кобальтом, полиметаллические сульфиды, полиметаллические илы, являются источниками стратегически важных металлов, необходимых для использования в высокотехнологичных отраслях промышленности в ближайшем будущем; к ним, в первую очередь, относятся Co, Ni, Ti, Mn, Au, Ag, Mo, Cu и т.д., а также редкоземельные элементы [1, 8, 20, 25, 57, 69].

Хотя железомарганцевые образования в морских глубинах впервые были обнаружены около 150 лет назад, полиметаллические сульфидные руды - более 50 лет назад, но эти руды стали представлять большой интерес, ценность и значение с конца 1970-х гг., во времена резкого скачка мирового предложения металлов. В этот период и особенно за последние 30 лет активно развиваются новые направления деятельности по поиску, разведке и эксплуатации месторождений с использованием многих совершенных методов и приемов [1, 4, 8, 25, 62, 69, 128, 129].

Работы по поиску и разведке россыпей на дне континентального шельфа не сложны, имеются определенные и относительно стабильные технические и технологические разработки. Но разведка твердых полезных ископаемых на глубоководных участках технически сложна и затратна и имеет много существенных отличий от наземных поисков и разведки, а также от работ по разведке нефти и газа. И даже между разными объектами исследований, такими как конкреции, корки, полиметаллические сульфиды, полиметаллические илы, существует множество различий по организации и проведению поисково-разведочных работ.

Основные сложности при поиске, разведке, оценке и опытно-промышленном эксперименте (эксплуатационном эксперименте) твердых полезных ископаемых в глубоководных районах обуславливаются большими глубинами, сложными физическими и гидродинамическими условиями, в том числе погодными условиями на поверхности океана. Кроме того, возникают осложнения вследствие невозможности непосредственного наблюдения и управления процессами рудозабора на больших глубинах (от 800 до 6000 м). Получение исходных данных о состоянии массивов горных пород, предназначенных к разработке, зачастую требует применения высокотехнологичного оборудования или создания новых видов и средств разведки, поэтому зачастую используют косвенные данные, полученные при геофизических исследованиях. Пробоотбор также затруднен. Поэтому количество и объем работ ограничены. Из-за небольшого количества информации достоверность данных невысока, что осложняет оценку участков с точки зрения перспективности и порядка ведения горных работ, то есть типа руды, границ, площадь распространения, плотность и т.д.

Осложняющим фактором является и то, что по сравнению с разведочными работами в нефтяной и газовой области разведка месторождений твердых полезных ископаемых на глубоководном морском дне все еще очень молода. Необходимо также учитывать, что до сих пор осуществимость и экономические выгоды глубоководной добычи руд не убедили в достаточной степени национальные правительства и крупные корпорации об

инвестировании крупного капитала для организации крупномасштабных сильных исследовательских работ и испытаний (экспериментов по добыче полезных ископаемых).

До настоящего времени средства и оборудование, применяемые для глубоководного поиска, разведки и других исследований твердых полезных ископаемых, в основном использовались для других работ, таких как исследование океана, геологические изыскания, поиск и разведка нефти и газа, газогидратов и т.п. В крайнем случае они были модифицированы для глубоководной разведки ТПИ (например, разрабатываются новые сейсмические методы с высоким разрешением поверхности дна в условиях ограниченной видимости или методы электромагнитного сканирования морского дна), а также производится разработка некоторых новых устройств.

В то же время интенсивное развитие космических технологий автоматизации и дистанционного зондирования Земли, применение при этом ряда программ и алгоритмов, может использоваться при решении проблем, связанных с обнаружением твердых полезных ископаемых на глубоководных участках морского дна. Все это способствует достижению оптимизации в области разведки, оценки, эксплуатации морских месторождений ТПИ и экологии окружающей среды. Это оборудование может использоваться на разных этапах разведки, причем неоднократно в зависимости от требуемой цели.

Ведущими странами в области глубоководных исследований и разведки являются Россия, Соединенные Штаты, Великобритания, Франция, Китай, Япония, Индия, Германия, Канада, а в последнее время Южная Корея и Сингапур [1, 69, 8, 25, 128, 129].

Целью геологоразведочных работ являются поиск, обнаружение и подготовка к промышленной разработке месторождений полезных ископаемых. Геологоразведка включает изучение закономерностей расположения, условий формирования, структурных особенностей, вещественного состава месторождений полезных ископаемых с целью их прогнозирования, поиска, установления условий залегания, предварительной и детальной разведки, геолого-экономической оценки и подготовки к промышленному освоению.

По сути, пошаговый процесс исследования включает в себя 3 этапа и 5 стадий, с соблюдением 5 принципов [84]:

Этап I. Работы общегеологического и минералогического назначения

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых.

Этап II. Поиски и оценка месторождений

Стадия 2. Поисковые работы.

Стадия 3. Оценочные работы.

Этап III. Разведка и освоение месторождения

Стадия 4. Разведка месторождения.

Стадия 5. Эксплуатационная разведка.

Принципы включают:

- 1) полнота исследований;
- 2) последовательные приближения;
- 3) равномерность (равная достоверность);
- 4) наименьшие материальные и трудовые затраты;
- 5) наименьшие затраты времени.

На этапах 1, 2 наиболее важны принципы 1, 2 [84].

В то время как разведка россыпей на континентальном шельфе относительно проста и не требует больших инноваций, поиск твердых полезных ископаемых на морском дне в глубинных районах океана является сложным и дорогостоящим. Несмотря на то, что в ходе многолетних исследований месторождений глубоководных твердых полезных ископаемых, таких как железомарганцевые конкреции, железомарганцевые корки, полиметаллические сульфиды, до сих пор не существует конкретной и четкой процедуры, применяемой к деятельности по разведке полезных ископаемых в глубоководных районах моря и океана.

Из-за отсутствия достоверных данных, а также их неоднородности возникают сложности при планировании и проектировании исследований, проверки и оценки результатов, как в случае с сушей. При проектировании будущих разведочных работ в ЮКМ необходимо учитывать опыт подобных исследований других стран применительно создаваемому новому оборудованию с обязательным соблюдением основных принципов ГРР – принципа равномерности и принципа последовательных приближений.

В России, имеющей значительный опыт исследований железомарганцевых образований в зоне разлома Кларион-Клиппертон и других морских месторождений принят следующий порядок выполнения геологоразведочных работ на железомарганцевые конкреции и корки по стадиям [116]:

- Применительно к залежам железомарганцевых конкреций
 - I. Региональные (заявочные) работы.
 - II. Поисково-разведочные (оценочные) работы.
 - III. Разведочные работы.
- Применительно к залежам железомарганцевых корок
 - I. Региональные геолого-геофизические исследования.
 - II. Поисковые работы.
 - III. Поисково-разведочные работы.
 - IV. Разведочные работы.

В ближайшем будущем необходимо организовывать разведочные работы на железомарганцевые образования в глубоководных районах Вьетнама в соответствии с положениями разведки твердых полезных ископаемых и в соответствии с российскими правилами и опытом, а также с учетом международного опыта разведочных работ ЖМК в зоне разлома Кларион-Клиппертон, железомарганцевых корок в западной части Тихого океана и массивных сульфидных отложениях в Море Бисмарка, у берегов Папуа - Новой Гвинеи.

В настоящее время во Вьетнаме только началась разведка твердых полезных ископаемых морского дна, включая исследование и геологическое картирование с целью использования в качестве основы для поиска, разведки и оценки природных ресурсов, в том числе твердых полезных ископаемых. Эти работы могут оцениваться как первый этап процесса геологоразведки.

Геологическая карта моря Вьетнама (масштаб 1:1000 000) была недавно составлена авторской группой Нгуен Тхе Тьеп в рамках проекта "Геологические особенности глубоководных районов Вьетнама в интересах разведки полезных ископаемых" (2010) [151]. Эти работы в основном проводятся на глубине от 200 метров на континентальном шельфе до глубины около 5000 метров на глубоководной абиссальной равнине, в основном в пределах морской исключительной экономической зоны Вьетнама. Данные включают сейсмику, геологию, геоморфологию; раздел минеральных ресурсов показывает только потенциал газогидратов, исследований по образованию ферромарганца нет, кроме предоставления небольшой старой информации о делении железа и марганца. Результаты изучения геоморфологии имеют много неточностей вследствие использования старых топографических данных морского дна, в которых много ошибок.

Результаты геологических исследований достаточно надежны, так как используется множество различных источников данных, включая большой объем данных разведки нефти и газа и других изысканий. Эта геологическая карта может быть использована в качестве основной базы данных, которая позволяет производить выявление и оценку потенциальных и перспективных областей (зон) на основе контролирующих факторов, условий формирования залежей, образования и залегания глубоководных железо-марганцевых руд.

В целях обеспечения поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых морского дна в перспективе по завершению этапа I и проведении этапов II, III, выявление (районирование) потенциальных площадей (зон) залегания россыпей, конкреций, корок во Вьетнамское море - обязательный шаг.

4.2. Оценка и классификация потенциально-перспективных районов (зон) для организации поисково-разведочных работ на морском дне Вьетнама

Формирование, залеганий и развитие месторождений твердых полезных ископаемых на морском дне зависят от условий образования и многих других влияющих и определяющих факторов для каждого отдельного типа полезных ископаемых.

Существующие данные и результаты новых исследований по геологии, океанографии, геоморфологии, палеогеографической обстановке, характеристикам россыпей, железомарганцевых месторождений и т. п. будут обобщены, проанализированы и использованы как основа для оценки и выделения потенциальных и перспективных по наличию полезных ископаемых районов, определения их границ и позволяет классифицировать потенциальные зоны с целью поиска, разведки россыпей, строительных материалов, железомарганцевых конкреций и корок в будущем [1, 8, 23, 45, 53, 69, 84].

4.2.1. Выделение основных классификационных признаков районирования континентального шельфа Вьетнама

Россыпи в прибрежных районах на суше и на морском дне шельфа формируются морским и ветровым механизмами, тесно связанными с трансгрессивным и регрессивными процессами в регионе. Полезное тело россыпи образовывались следующим [23, 130, 158]:

- Сильное, продолжительное воздействие волн перемещает песочные отложения по берегу, где песок и тяжелые минералы разделяются по размеру и плотности (гидравлической крупности). Сортировка полезных ископаемых происходит в основном в верхней части зоны прилива максимального воздействия волны [23, 79, 130, 158].
- Мелкозернистые пески и тяжелые минералы на береговой линии могут быть повторно сегрегированы ветрами, образуя тяжелые богатые минералами песчаные дюны за пляжем [23, 79, 130, 158].
- Дальний береговой дрейф в сочетании с геоморфологией побережья оказывают сильное влияние на расположение месторождений тяжелых минеральных песков [23, 79, 130, 158].
- Колебания уровня моря происходило вследствие климатических изменений, например, во время ледниковых периодов. Повышение регионального уровня моря (трансгрессия) и понижение уровня моря (регрессия) сильно влияют на отложение и сохранение песков с тяжелыми минералами. Большая часть накопления тяжелых минеральных песков, по-видимому, связана с

продвижением берега в сторону моря во время регрессионных событий [23, 79, 130, 158].

- Локальные разломы могут повлиять на геоморфологию побережья, которая также определяет распределение отложений тяжелых минералов в прибрежном бассейне [23, 79, 130, 158].
- Тяжелые минеральные зерна, по-видимому, выветриваются главным образом после их осаждения на прибрежной равнине. Это выветривание вызвано грунтовыми водами, гуминовыми кислотами и другими внутрибассейновыми жидкостями, в результате чего может увеличиться содержание TiO_2 в ильмените. Железо выщелачивается из ильменита во время выветривания и тем самым повышает содержание TiO_2 в ильмените, образуя лейкоксен [23, 79, 130, 158].

Взаимосвязь между изменениями уровня моря и формированием и строением россыпных месторождений накладывает ограничения на их местоположение на шельфе. Во время последнего ледникового максимума (18 000 лет назад), когда уровень моря понизился примерно на 120 м, подводные россыпные отложения, возможно, простирались до края современного континентального шельфа (Kudrass, 1987, 2000). Продолжительность стабильного уровня моря после процессов трансгрессии или регрессии играет важную роль - более длительное время покоя является хорошим условием для крупных залежей россыпных месторождений. Однако с последующим повышением уровня моря многие из этих отложений были погребены в результате трансгрессии отложений.

До сих пор промышленный интерес представляют только россыпные месторождения, расположенные непосредственно на поверхности морского дна или покрытые осадками малой мощности, в то же время россыпные месторождения, погребенные глубоко под морским дном, рассматриваются как хранилище природных ресурсов на будущее из-за низкой экономической эффективности их разработки, а также негативного воздействия добычи на окружающую среду.

Континентальный шельф Вьетнама широкий на севере и юге и узкий в центральной части, глубина шельфа достигает 500 м на юге. Поиск и разведка россыпных месторождений на следующих этапах будут продолжаться, охватывая площади до глубины 100 м. Ранее разведанные и осваиваемые в настоящее время территории необходимо доразведывать с целью уточнения сведений о ресурсном потенциале. Прогнозируемый в будущем рост потребления титана во Вьетнаме и мире, предопределяет эксплуатацию титаносодержащих россыпей на морском дне до глубины 200м. Разведочные работы и

вовлечение в эксплуатацию более глубоких и погребенных россыпей является сложной задачей, однако необходимой и возможной.

Как уже упоминалось выше, россыпные отложения на морском дне и в прибрежных районах Вьетнама формировались совокупностью морского и экзогенного выветривания, эти россыпные образования тесно связаны с трансгрессивным и регрессивным процессами в Южно-Китайском море. Распределение россыпных отложений совпадает с границами современных и древних береговых линий, что справедливо как для суши, так и для моря. Остальные факторы, такие как источник (материнская порода) россыпного материала, прибрежные течения, ветровое и волновое воздействия и т.д., не меняются от плейстоцена до настоящего времени. Это означает, что россыпные образования на морском дне в более глубоких районах имеют характеристики, аналогичные современным прибрежным россыпям.

Поэтому предпосылкой будущих поисково-разведочных работ на континентальном шельфе Вьетнама являются песчаные отложения, аккумуляровавшиеся в древней прибрежной зоне, и древние эстуарии и дельты, которые образовались короткими, малыми реками вдоль побережья центральной части Вьетнама, и сейчас расположенные на глубине менее 200 м.

Выбранный в соответствии с выбранной нами классификацией район расположен на морском дне у центрального побережья Вьетнама, в основном в пределах провинций Бинь Динь, Нинь Туан и Бинь Туан, наиболее отвечающим этим условиям. На практике и по прогнозам вдоль побережья находятся основные запасы титаносодержащих россыпей Вьетнама.

Удаленные от побережья районы в акватории глубиной до 500 м в пределах континентального шельфа, также представляют интерес как источник ресурсов. Таким образом на основании выделенных нами классификационных признаков, можно обосновать границы древних береговых образований на морском дне, а также в случаях, когда россыпи погребены под осадками. Древние голоценовые и позднеплейстоценовые отложения в основном распространены на поверхности морского дна, но раннеплейстоценовые и позднеплиоценовые отложения в основном погребены, т. е. перекрыты молодыми отложениями. Такие россыпи в настоящее время не благоприятны для эксплуатации из-за неопределенного уровня воздействия на окружающую среду и высоких экономических рисков.

Для определения местоположения древней прибрежной зоны обобщены и проанализированы существующие исследования по палеогеографии района, полевые исследования территорий на суше, анализ топографии - геоморфологии морского дна,

интерпретацию сейсмических исследований, отбор проб отложений морского дна, бурение, анализ полученных образцов и многие другие факторы. Характерные признаки древней береговой зоны:

- Особенности геоморфологического рельефа морской террасы, признаки абразии, вызванной волнами.
- Состав крупнозернистых материалов, таких как песок и гравий, распределен в вытянутой зоне или прослеживается наличие древних барьеров, наличие латерита в глинистой или гравийной форме и т.д.
- Наличие древней дельты, лиманов, болот, бурого угля, прибрежного торфа.
- Особенности осадочного строения, текстура осадочных пород, изотопный возраст.

В морских акваториях Вьетнама и прилегающих районах неоднократно происходили изменения уровня моря. На материке вдоль побережья древние морские террасы и продольные песчаные дюны распространены в центральной части прибрежного материка на высотах 75 м - 80 м (плиоцен), 40 м - 65 м (ранний плейстоцен), 20 м - 30 м (поздний плейстоцен), 10 м - 15 м (поздний плейстоцен), 4 м - 5 м (6500 лет назад) и 1,5 м - 3 м (2120 - 3100 лет назад) [52, 59, 136].

В море позднеплейстоценовые-голоценовые древние прибрежные образования часто обнажаются на поверхности морского дна, изредка покрыты отложениями, что представляет большой интерес к организации изысканий из-за своей способности вмещать россыпи. Таким образом, данных по этим формациям много, результаты различных исследований относительно согласуются друг с другом по перспективности. Напротив, результаты исследований средне- и раннеплейстоценовых древних прибрежных зон не дают однозначных выводов и до сих пор вызывают споры, поскольку они распространены на большей глубине и в большинстве случаев перекрыты более молодыми отложениями.

Голоценовые древние прибрежные зоны встречаются на глубинах моря 4 м - 5 м (2500 - 4500 л.н.), 25 м - 60 м (10 100 л.н.), 70 м - 90 м (11 000 - 12 000 л.н.), 100 м - 120 м (конец позднего плейстоцена, 20 000 - 22 400 л.н., конец позднего плейстоцена, ледник Вурм - 2), 200 м - 300 м (начало позднего плейстоцена, ледник Вурм - 1, 129 000 - 117 000 л.н. назад), 400 м - 500 м (средний плейстоцен, ледник Рисса). Вдоль морского дна от Дананга до Фантьета система палеопесчаных дюн расположена в интервале глубин 15 м - 20 м, 20 м - 35 м, 30 м - 50 м, 90 м - 110 м, 120 м - 150 м и 170 м - 200 м [52, 53, 59, 136]. Объяснение наличия древних морских шельфов, встречающихся на больших высотах на суше, и плейстоценовых отложений на глубинах 200-500 м связано с поднятием

внутриконтинентального и опусканием морского континентального шельфа по меридиональному разлому 1090 - 1100.

Для оценки и выявления потенциальных участков россыпи на континентальном шельфе произведено объединение (синтезация) карт поверхностных отложений морского дна [155], результатов исследования древних прибрежных зон [53, 59, 136] и батиметрических карт. Анализ полученных сводных карт, позволил выявить участки с потенциальными россыпями для будущих организаций поисков и составить прогнозно-ресурсную карту.

Поиски и разведка строительных материалов на континентальном шельфе Вьетнама

До сих пор во Вьетнаме строительные материалы в основном добываются из русел рек, которые распространяются с севера на юг, от горных районов, среднегорья до равнин и устьев рек, без какой-либо эксплуатации дна моря.

Однако запасы сейчас очень быстро истощаются из-за увеличения спроса на инертные стройматериалы в строительстве и для транспортных работ. С другой стороны, дополнительные ресурсы рек становятся все меньше и меньше, особенно на южной равнине Вьетнама, из-за строительства плотин гидроэлектростанций вдоль реки Меконг.

Согласно расчетам Международной организации «Комиссия по реке Меконг», опубликованным в 2013 г., видно, что с 2003 по 2009 г. средняя объём наносов на станции Чианг Саен (Таиланд) уменьшилась с 60 до 10 млн т (снижение на 83%); в Паксе (Лаос) снизился с 120 до 60 млн т/год (снижение на 50%), а в Кратизэ (Камбоджа) с 160 - 90 млн т/год (снижение на 43%). В частности, на юге Делайской равнины Вьетнама, по сравнению с 1965 и 2013 годами, уменьшение составило 90%. Кроме того, чрезмерная эксплуатация строительных материалов в реке вызывает множество негативных последствий для окружающей среды.

Дополнительно можно отметить, что в будущем Вьетнам будет оцениваться как одна из стран, сильно пострадавших от изменения климата и повышения уровня моря во всем мире, особенно в южном регионе, поэтому следует рассмотреть соответствующие технические решения. Предполагается отсыпание дамб в пределах береговой линии грунта до незатопляемых отметок, устройство дамб вдоль побережья, что является наиболее необходимыми и неотложными мерами, которые необходимо осуществить в ближайшее время. Эти меры требуют огромного запаса строительных материалов. Поэтому продолжение поиска и разведки строительных материалов на морском дне в пределах континентального шельфа Вьетнама является насущной необходимостью.

Четвертичные осадочные образования Вьетнама на морском дне имеют большие ресурсные перспективы для формирования месторождений строительных материалов.

Наступающие и отступающие морские фазы сыграли большую роль в формировании месторождений строительных материалов в осадочных отложениях, принесенных с материка, ретранспортированных и отложенных. В пределах континентального шельфа выделены районы, которые следует планировать для поиска и разведки:

- Современные крупнокомковатые осадочные образования поверхностных отложений.
- Древние прибрежные зоны, погребенные русла рек. Они обнаруживаются сейсмической интерпретацией и должны быть идентифицированы и исследованы бурением.
- Ареалы распространения элювия, делювия развивающиеся на поверхности коренных пород и окружающей их территории.
- Современные крупнозернистые осадочные образования на поверхности морского дна.
- Структуры, с большей вероятностью накапливающиеся крупный мусор, такие как древние прибрежные зоны, древние реки. Они обнаруживаются сейсмической интерпретацией и должны быть идентифицированы и исследованы бурением.

4.2.2. Определение классификационных признаков районирования по ресурсной перспективности глубинных районов для поисково-разведочных работ ЖМО

Обобщение и анализ многочисленных результатов исследований свидетельствует, что условия формирования и роста месторождений железомарганца определялись ходом геологической эволюции, а именно - геоморфологии, океанографии, условиями палеогеографической среды, наличием биомассы (биопродуктивности), климатом и т.д. Для проведения районирования и выделения потенциальных зон нахождения железомарганцевых образований нами учитывались следующие критерии: топографический наклон поверхности, глубина морского дна по отношению к зоне кислородного минимума (ЗКМ) и границы карбонатной компенсации (ГКК), возраст поверхности морского дна, осадочные особенности на поверхности морского дна, наличие ядер для развития конкреций, наличие и скорость глубинных течений вблизи поверхности морского дна, апвеллинговые течения [1, 8, 25, 57, 69, 71, 79, 115, 116].

Глубина поверхности морского дна

Отложение железомарганцевых образований (ЖМО) тесно связано с глубиной зоны минимума кислорода (ЗКМ) и глубиной зоны карбонатной компенсации (ЗКК). В ЗКМ

находится большое количество ионов металлов, при перемещении этой металлсодержащей водной массы в область ниже границы ЗКМ, с более высоким содержанием кислорода в морской воде, создадутся условия для осаждения ионов металлов в воде моря в типы гидроксидов/оксидов на твердой поверхности пород подводных гор и образуются корки [20, 69, 71, 100] (Рисунок – 4.1).

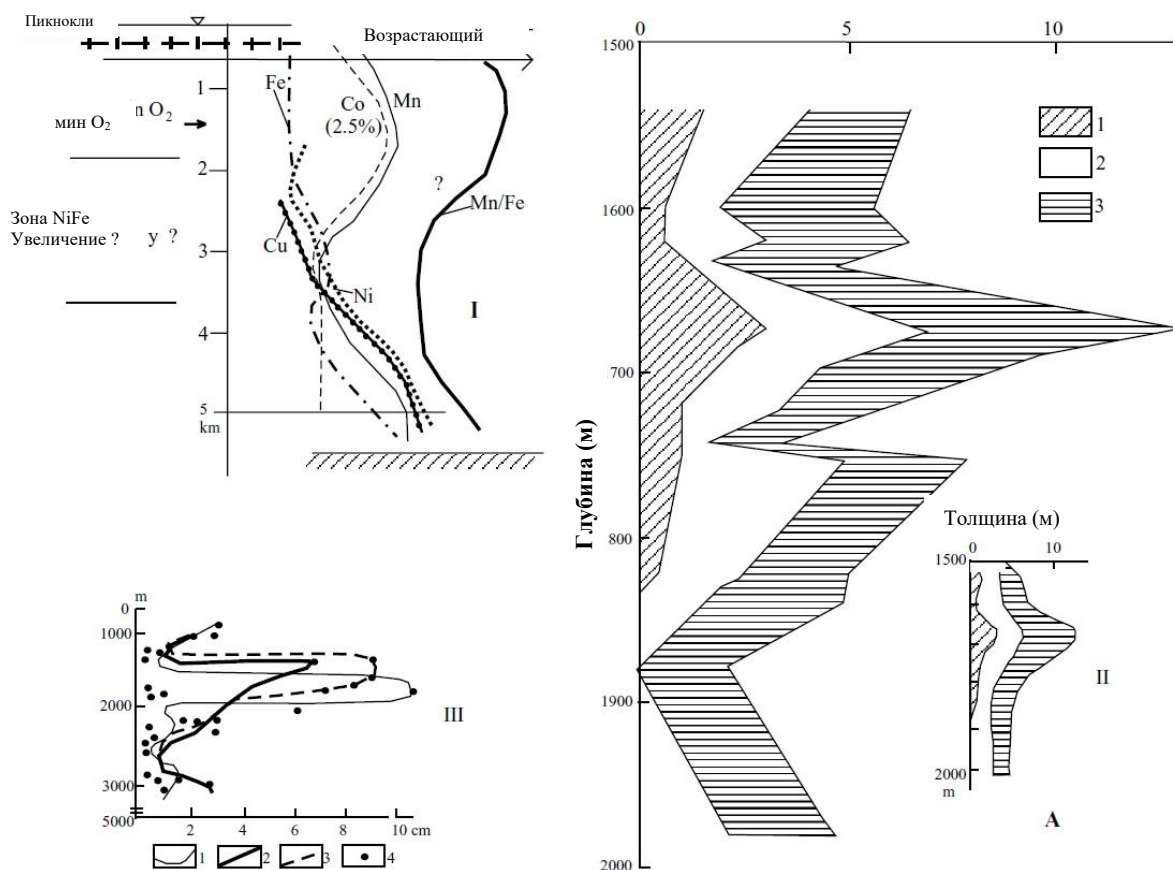


Рисунок – 4.1. Связь мощности марганцевых корок на подводных горах с положением ЗКМ. I. Принципиальная схема распределения рудных элементов в железомарганцевых образованиях (в корках и конкрециях) на подводных горах. Мин. O₂ – минимальный кислородный слой; II. Принципиальная схема изменения мощности земной коры трех горизонтов кобальтоносных корок морских гор в районе хребта Неккер в Тихом океане в зависимости от глубины моря. (По Богданову и др., 1990). 1–3 – горизонты: 1 – первый; 2-второй; и 3-третий. А - общая схема. III. Отношение толщины земной коры (в см) к глубине в Тихом океане. 1–3 – субстрат (1 – базальты, 2 – гравеллиты, 3 – известняки) (по Андрееву и др., 1989).

Есть отличие от предыдущих исследований, которые недавно выявили обильное присутствие корок, образовавшихся на небольших глубинах, как в случае у берегов

Калифорнии (глубина от 360 м до 3700 м), здесь хорошо развитые корки только внутри ЗКМ, в районах близких к суше, такие же случаи были обнаружены и в арктическом море [104]. Этот вопрос объясняется тем, что подводные горы, хребты и материковые платформы образуют топографические аномалии на морском дне и провоцируют подъем глубинных насыщенных кислородом вод. Турбулентное смешение восходящих богатых кислородом и металлами вод ЗКМ формирует основной механизм осаждения оксигидроксидов железа и марганца.

К настоящему времени отсутствуют исследования, четко и твердо установившие связь между нижней границей зоны КМ и развитой глубиной железомарганцевой коры. Размер зоны КМ в океанах составляет в среднем примерно от 500 м до 2000 м, глубина зоны богатой корками на подводной горе путем статистических исследований многих местонахождений показывает, что она составляет 800 м - 2500 м. Возможно, что область в пределах ЗКМ, а также часть непосредственно ниже нескольких сотен метров будет благоприятной глубиной для развития земной коры, которую можно считать < 500 м, в зависимости от активности течений вблизи или непосредственно над поверхностью подводной горы.

Глубина ГКК играет важную роль в формировании конкреций: конкреции гидрогенетического происхождения (конкреции с гладкой круглой поверхностью) обычно образуются примерно на 300-500 м выше глубины ГКК, а конкреции диагенетического происхождения обычно хорошо растут чуть ниже глубины ГКК [69, 100].

Конкреции от среднего до крупного размера и с высокой плотностью встречаются в районах со средней скоростью осадконакопления на ГКК в кремнистых илах или чуть ниже нее. Конкреции небольшого размера с низким содержанием встречаются в глубоководных глинах с низкой скоростью осадконакопления и намного ниже ГКК. Высокая биопродуктивность на экваторе приводит к высокой скорости седиментации преимущественно богатых карбонатами частиц и углублению ГКК, что препятствует образованию железомарганцевых конкреций (Beiersdorf, 2003).

Ниже границы глубины ГКК на поверхности отложений морского дна образуются конкреции неровной поверхности диагенетического происхождения, а хорошо развитая зона находится примерно в 500 м от ГКК. Нет четкой связи между глубиной ГКК и развитием железомарганцевой коры.

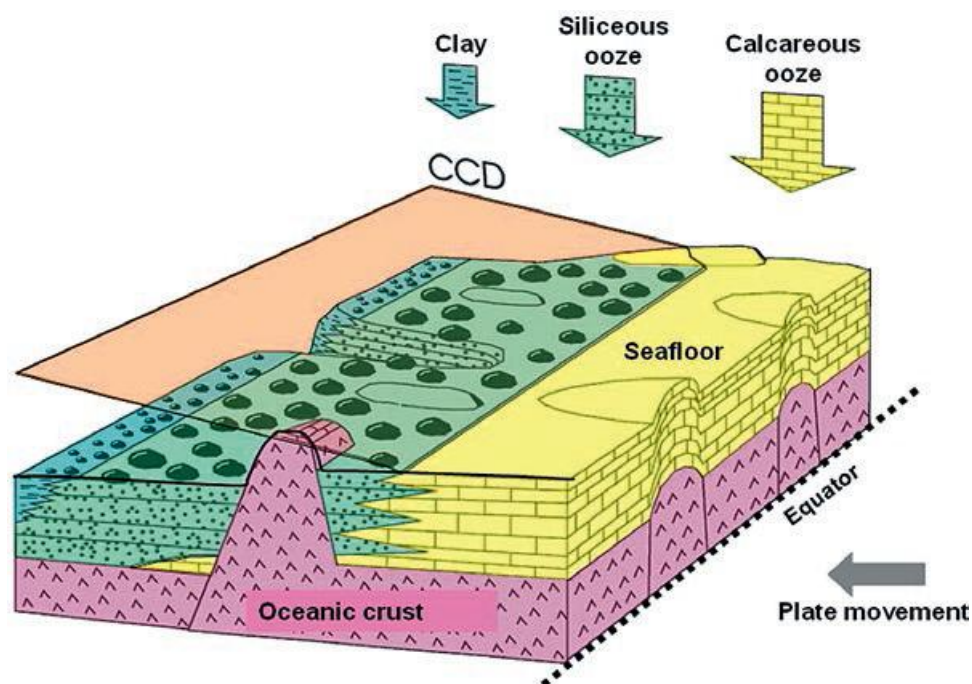


Рисунок – 4.2. Схематическая модель зоны разлома Клариян-Клиппертон, объясняющая места с высоким и низким содержанием конкреций Clay: Глина; Siliceous ooze: Кремнистый ил; Calcareous ooze: Известковый ил CCD: ГKK (Глубина карбонатной компенсации); Seafloor: Морское дно; Oceanic crust: Океаническая кора; Equator: Экватор; Plate movement: Движение плиты

Углы наклона морского дна

Этот критерий рассматривается как наиболее важный, используемый на начальном этапе районирования, из-за его высокой достоверности корреляции между уклоном поверхности и распространением конкреций и корок, а также высокой степени достоверности данных топографии морского дна.

Хотя конкреции встречаются в основном на глубоких абиссальных равнинах морей и океанов, они также встречаются на крутых склонах возвышенностей, склонах и подножиях подводных гор.

Изучение распределения конкреций, выходов (отложений) горных пород и отложений по углам наклона морского дна в Тихом океане (Yamazaki and Sharma, 2000) выявило следующую топографическую закономерность: 15–40° – корковая зона, 7–15° – переходная зона между полями конкреций и корками, 3–7° – зона преобладания наносов, 0–3° – зона преобладания конкреций [69, 81, 96, 97, 99].

Рельеф также является фактором, влияющим на процесс седиментации, уклон $< 3^\circ$ очень благоприятен для оседания. Существует прямая зависимость между скоростью

накопления отложений и углом наклона поверхности морского дна и скоростью течения вблизи поверхности морского дна [104].

Подводные течения

Подводные течения играют роль источников ионов металлов, а также накопления, выноса или эрозии отложений на поверхности морского дна. Апвеллинговые течения движутся по склонам подводных гор, материковым склонам, принося кислород. Все эти процессы оказывают существенное влияние на формирование и распространение железомарганцевых месторождений [69, 102].

Экспериментальные исследования по оценке взаимосвязи скорости течения со способностью к переносу и накоплению наносов на поверхности морского дна показали, что при скорости течения $v < 4$ см/с наносы представляли собой обильную глину и ил (или переносятся); 4 - 10 см/с (транспортируется мелкий песок); 10 - 20 см/с (транспортируется крупный песок $d > 0,8$ мм); и $v > 20$ см/с вызывают эрозию поверхности. Исследования немецких ученых с использованием экспериментального моделирования на глубине около 4300 м в зоне разлома Кларион-Клиппертон показывают, что эти значения значительно меньше размера зерен осадочного материала из-за условий глубокого моря [104].

Возраст рельефа морского дна

Возраст рельефа морского дна также является важным фактором в отношении скорости роста ЖМО, влияющих на толщину корок и размер конкреций. Чем старше топографическая поверхность, тем больше толщина корки и размер конкреций. Универсальной зависимости нет, это связано с тем, что скорость роста корок и конкреций различна от региона к региону, а Южно-Китайское море как окраинное является частным случаем, с высокой скоростью роста ЖМО [69-71, 74, 81, 82].

Ядра для развития конкреций

Наличие ядер является необходимым условием развития конкреций, ядрами могут быть минеральные остатки, фрагменты биологических костей, микробные оболочки или микронодули. Они часто встречаются в районе подводных гор, разломов и на морском дне в районах с высокой биопродуктивностью [8, 20, 25, 69, 71, 124].

Осадки на поверхности морского дна

Результаты исследований океанов по всему миру показывают, что железомарганцевые конкреции встречаются на поверхности или вблизи поверхности отложений, покрывающих абиссальные равнины в Мировом океане, где скорость осадконакопления низка (менее 10 мм за тысячу лет). Низкие скорости осадконакопления зафиксированы в районах, где абиссальные равнины удалены от континентальной окраины или окраина примыкает к глубоководному желобу, имеет широкий континентальный

шельф или засушлива. В открытом океане низкие скорости осадконакопления наблюдаются вдали от областей сильного апвеллинга и высокой биологической продуктивности, таких как экваториальная зона высокой продуктивности.

Гидрогенетические конкреции растут удивительно медленно, со скоростью примерно от 1 до 5 мм за миллион лет, как корки марганца, диагенетические конкреции - до 250 мм за миллион лет. Средняя скорость роста конкреций на четыре порядка ниже скорости осадконакопления, однако конкреции остаются на поверхности отложений. Был сделан ряд предложений (например, Halbach et al., 1988) относительно того, как это происходит, хотя фактическая причина до сих пор остается загадкой [8, 25, 69, 71].

Однако в некоторых случаях конкреции присутствуют в районах, где скорость образования наносов превышает 10 мм/тыс. лет, как это имеет место в Балтийском море или в северной части Южно-Китайского моря. Этот факт является предметом многолетних научных дискуссий и некоторые авторы предполагают, что микроорганизмы играют важную роль при образовании оксидов Mn в марганцевых конкрециях и железомарганцевых корках. А наличие конкреций, погребенных под отложениями на глубину до 50 см, обнаружено и за пределами Индийского океана [138, 139].

Участки морского дна, благоприятные для развития железомарганцевой корки, - поверхность коренных пород, твердая и почти лишенная осадка, такие участки часто встречаются на поверхности подводных гор или плато.

4.3. Классификация потенциальных зон/районов железомарганцевых месторождений во Вьетнамском море

4.3.1. Анализ исходных материалов и методы обработки данных

Район исследований с целью обнаружения и разведки железомарганцевых руд в морях Вьетнама разграничен в соответствии с районом, для которого создана глубоководная геологическая карта масштаба 1:1 000 000 (Нгуен Тхе Тьеп, 2010), ограниченная в диапазоне координат 1090–1130 восточной долготы и 70–160 северной широты [151]. Граница раздела определяется для потенциальной зоны/района и классифицируется по трем группам: зона конкреций, зона корок и участки как с конкрециями, так и с корками. Уровни рейтинга для потенциала: высокий, средний, низкий и нулевой.

Исходя из вышеизложенного, при районировании использовались следующие данные:

- Результаты исследований о Южно-Китайском море и эксклюзивных морских районах Вьетнама, в том числе геологические карты Вьетнамского моря,

карты вулканической активности, карты скоростей течений, карта распределения апвеллинговых течений.

- Данные последних исследований о характеристиках и составе Fe-Mn месторождений в Мировом океане и ЮКМ и составление новых карт: батиметрических карт, иерархических карт по углам наклона морского дна, и тому подобные. На основании этих данных была составлена карта деления и классификации потенциальности площадей расположения железомарганцевых месторождений.
- Многофакторный анализ данных, использованных для построения новой карты, осуществлялся с использованием базы данных GEBCO Международной гидрографической организации (МГО), которая представляет собой глобальную топографическую модель океана и суши, Текущий набор батиметрических данных GEBCO с привязкой к сетке - это сетка «GEBCO 2020» с интервалом в 15 угловых секунд. При этом использовалось программное обеспечение GMT, ArcGIS, Mapinfo.

Анализ имеющихся материалов свидетельствует, что биологических данных о Южно-Китайском море немного, а данные о глубоководных течениях практически отсутствуют, особенно в глубоководных районах в юго-западной части.

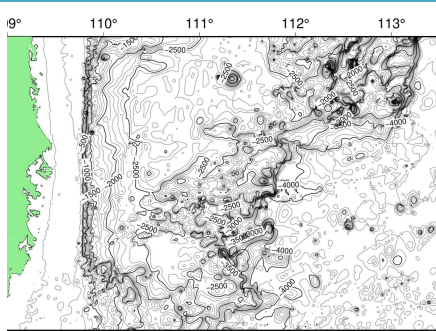
+ Процессы для построения карт (рис 4.3а, б, в)

(a)

Топографические данные морского дна GEBCO
([https://www.gebco.net/data_and_products/gridded bathymetry data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/))

Использование GMT для извлечения и обработки

Топографическая карта морского дна, соответствующая таблица данных координат и глубин



а. Карта морского дна.

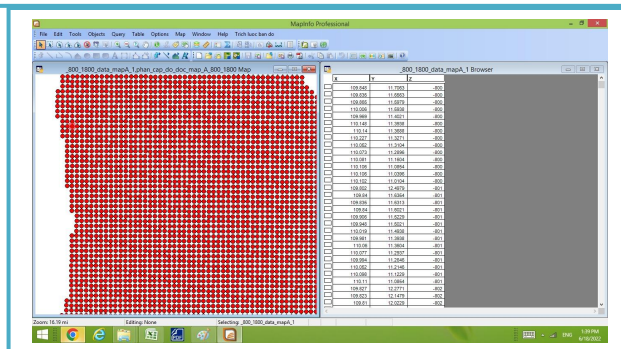
The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

ID	Name	Value
1000000001	1000000001	-0.0000000000
1000000002	1000000002	-0.0000000000
1000000003	1000000003	-0.0000000000
1000000004	1000000004	-0.0000000000
1000000005	1000000005	-0.0000000000
1000000006	1000000006	-0.0000000000
1000000007	1000000007	-0.0000000000
1000000008	1000000008	-0.0000000000
1000000009	1000000009	-0.0000000000
1000000010	1000000010	-0.0000000000
1000000011	1000000011	-0.0000000000
1000000012	1000000012	-0.0000000000
1000000013	1000000013	-0.0000000000
1000000014	1000000014	-0.0000000000
1000000015	1000000015	-0.0000000000
1000000016	1000000016	-0.0000000000
1000000017	1000000017	-0.0000000000
1000000018	1000000018	-0.0000000000
1000000019	1000000019	-0.0000000000
1000000020	1000000020	-0.0000000000

Б. Данные координат и глубин

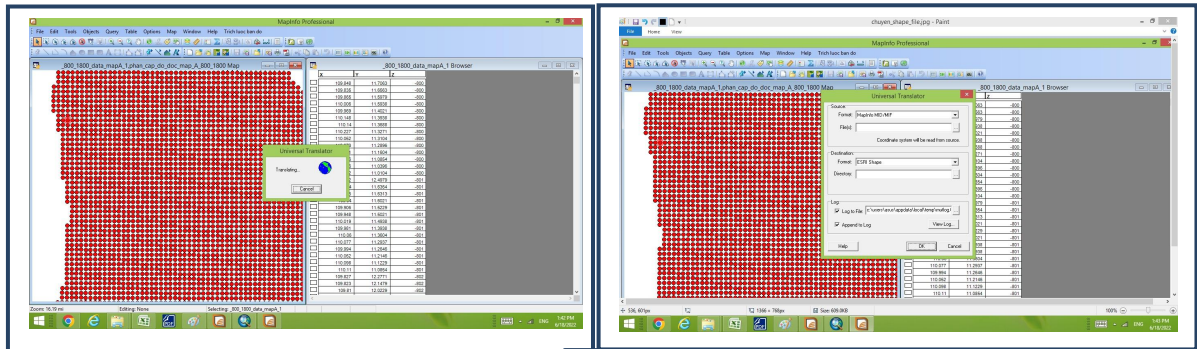
Преобразование данных в формат Excel

Использование Mapinfo для создания пространственных данных точек глубины, отформатированных в соответствии с Mapinfo.

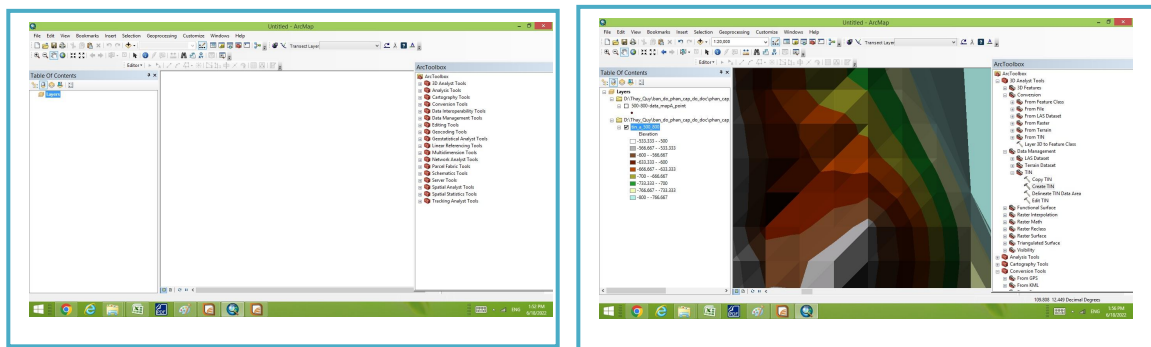


(6)

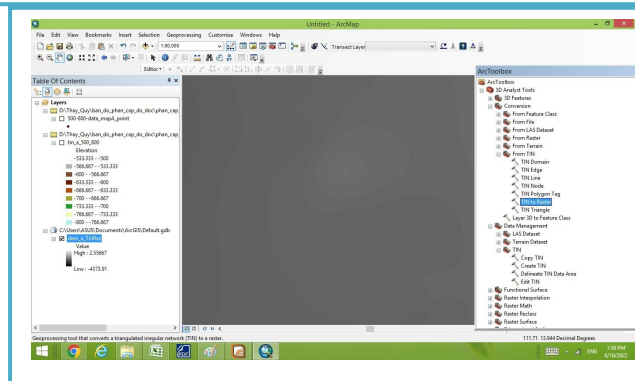
Вывод в формате ArcGIS.



Использование ArcGIS для создания моделей DEM (цифровая модель рельефа) в векторной, строковой и растровой последовательности.

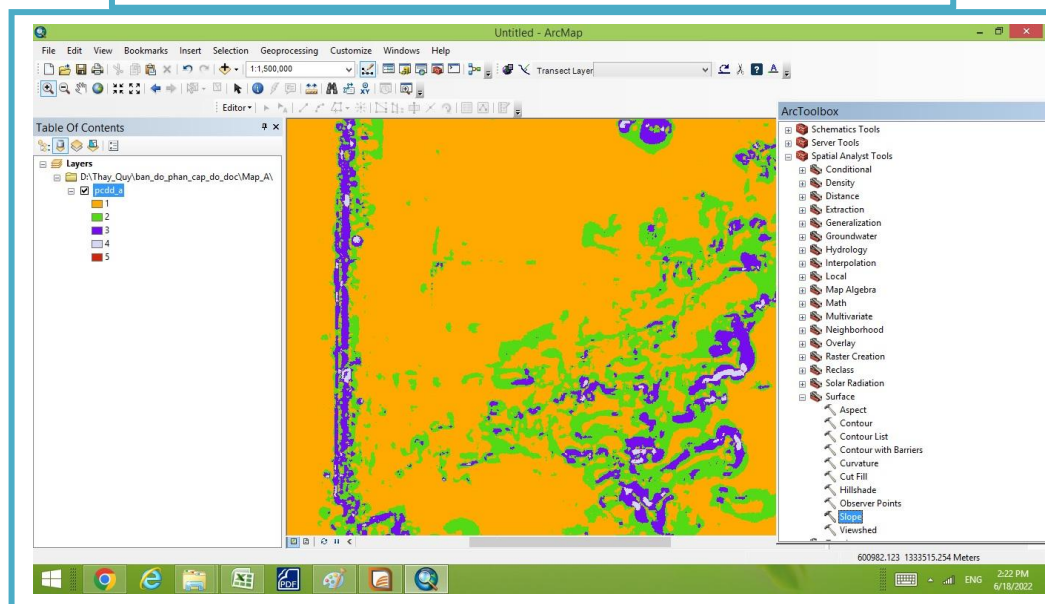


Использование ArcGIS для расчета уклона.



(в)

Создание иерархической модели градиента.



Интеграция данных ГИС (GIS) -> Градиентная карта уклона

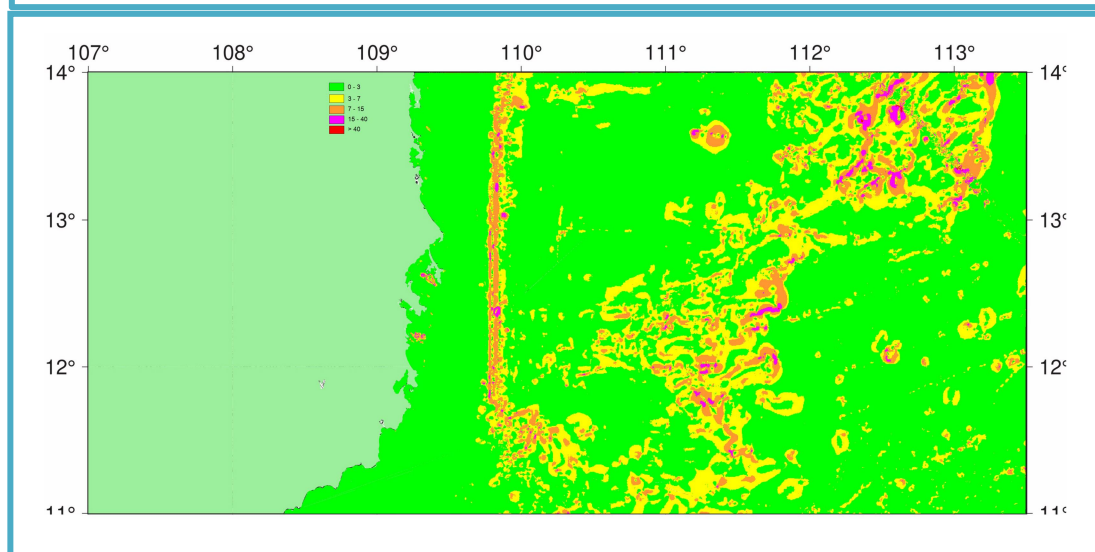


Рисунок — 4.3. Принципиальная схема (а, б, в) инженерно-геологического районирования зонирования



Рисунок – 4.4. Принципиальная схема процесса создания карты классификации уклонов.

Результаты: будут представлены 2 группы классификационных карт для железомарганцевых конкреций и корок.

4.3.2. Факторы, определяющие и влияющие на формирование и развитие железомарганцевых образований во Вьетнамском море

Южно-Китайское море является континентальной окраиной, поэтому существуют различия в закономерностях формирования и развития железомарганцевых месторождений в океанах (Тихий, Атлантический и Индийский). Факторы, используемые в качестве критериев оценки, включают: Глубина морского дна, углов наклона морского дна, возраст топографии (подводные горы/дно), поверхность коренной породы, ядро для развития конкреций, скорость течения, осадки на поверхности морского дна.

- Рельеф морского дна в районе исследования очень сложный, с множеством подводных гор и плато, глубоководная абиссальная равнина имеет общую глубину около 4500 м, наибольшая - 4754 м (Приложение 2).

- Глубина границы ГКК 3500м. Зона ЗКМ имеет верхнюю границу 450-500м, нижнюю границу 1000-1300м, мощность зоны 650-850м [103, 106].

- Осадки на поверхности морского дна состоят на 63% из терригенных веществ, на 37 % из биогенных карбонатов, в меньшей степени из вулканических материалов. Под ГКК биогенный материал представляет собой в основном скелеты кремнезема. Двумя основными видами карбонатов в ЮКМ являются известковые биотические скелеты и коралловые рифы. Основными карбонатными компонентами являются известковые биотические скелеты, особенно скелеты фораминифер и нанопланктона, а коралловые рифы распространены на большой площади Хоангса и Труонгса. Результат программы бурения глубоководного участка ODP 184, участок 1143, в районе юго-запада центральной впадины ЮКМ скорость осадконакопления (терригенного и карбонатного) составляет 36 мм/тыс. лет в плиоцене/миоцене и 44 мм/тыс.лет в плейстоцене/плиоцене, 49 - 62 мм/тыс.лет в голоцене/позднем плейстоцене. Присутствие вулканических обломков, фрагментов минералов и биоскелетов могло бы стать ядром для роста конкреций [53, 98].

- Поверхности подводных гор и поднятых блоков фундаментов могут быть покрыты отложениями в зависимости от угла наклона склона и скорости течения на них.

- Возраст подводных гор от 11 млн лет до 3,49 млн лет, поднятые блоки фундамента имеют среднемиоценовый возраст, менее 16 млн лет. Плато могут включать комплекс подводных гор и поднятий. Базальт морского дна в центральной глубоководной дельте от 24 до 15,5 миллионов лет. [59, 68, 82]

- Скорость течения в районе исследования, от поверхности моря до глубины 60 - 80 м составляет 30 - 50 см/с, 80 - 200 м - 17 - 23 см/с, 200 м - 14 - 15 см/с. 500 м – 5 см/с, 1000 м – 3,3–4,6 см/с, 1000–5000 м < 3 см/с [98, 103, 106, 126].

Апвеллинговые течения присутствуют вдоль центрального побережья на глубинах 150 м, 200 м в районе центрального континентального шельфа и на глубинах 900 м, 1200 м, 1500 м на материковых склонах и западной части центра ЮКМ [98, 103] (Рисунок – 4.5)

Анализ и синтезация вышеизложенных факторов, определяющих условия формирования железомарганцевых месторождений, позволили впервые создать комплексную систему критериев оценки перспективности морского дна (Таблицы 4.1, 4.2, 4.3, 4.4). Это новый метод, который можно применять при поиске и разведке территорий, по которым отсутствуют данные опробования.

Критерии, использованные для определения условий образования и роста железомарганцевых конкреций и корок для исследуемого района (Юго-Западная часть ЮКМ).

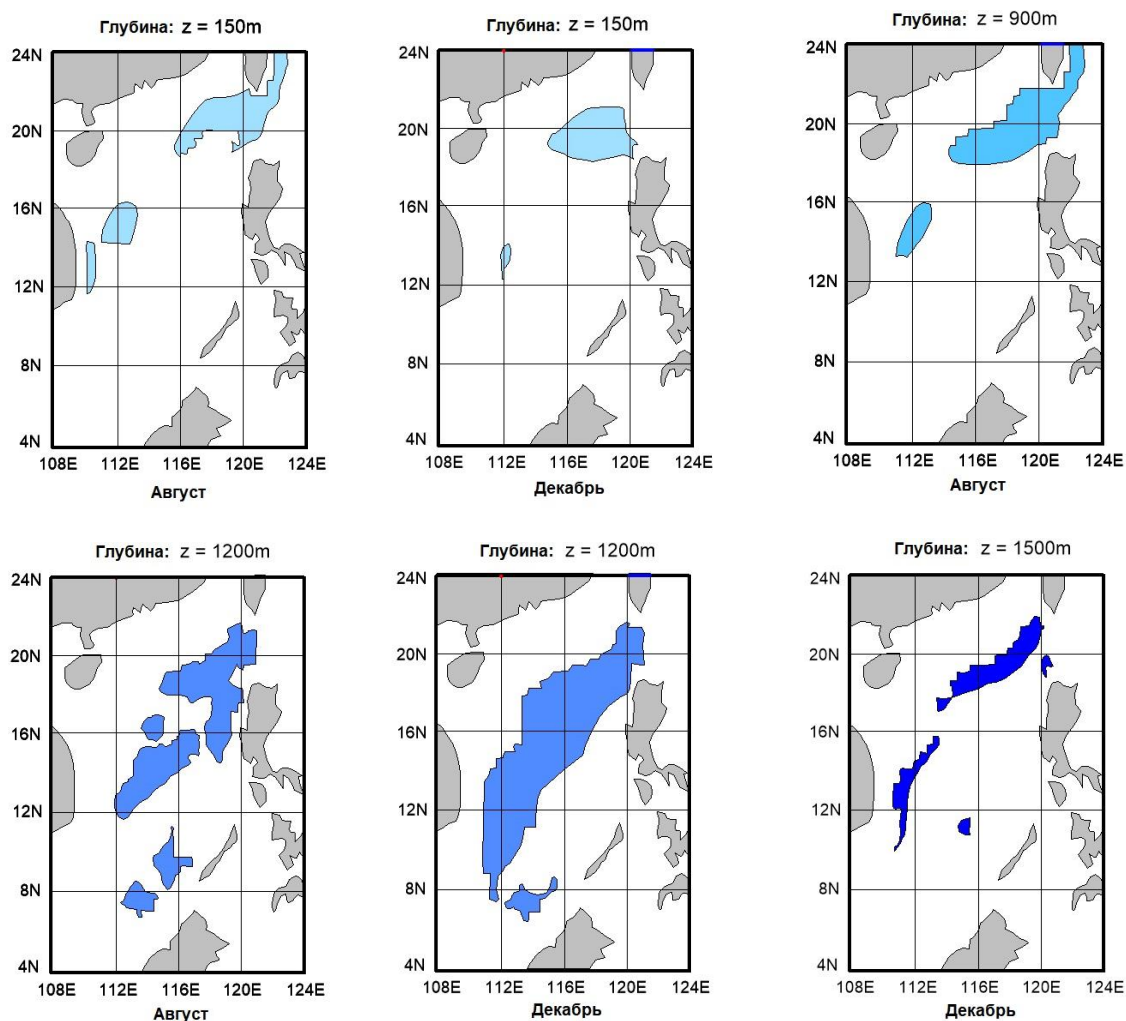


Рисунок – 4.5. Диаграмма распространения апвеллинговых течений в Южно-Китайском море, на глубинах 150м, 900м, 1200м, 1500м, результаты исследований и измерений в августе, августе и декабре года.

Таблица – 4.1. Критерии районирования месторождений железомарганцевых конкреций

№	Критерии	Значения критериев для присваиваемого рейтинга		
		Высокого	Среднего	Низкого
1	Глубина моря (м)	3000 - 4000	> 4000	2000 - 3000 абиссальные равнины после континентального склона и поднятия
2	Углы наклона морского дна, град.	0-3	0-3	0-3
3	Возраст формирования рельефа дна (подводные горы/ равнины)(млн.лет)	Многие миллионы лет (Очень благоприятные условия - морское дно старое: 15,5÷24 млн.лет)	Морское дно сформировалось 15,5÷24 млн.лет назад	Многие миллионы лет

№	Критерии	Значения критериев для присваиваемого рейтинга		
		Высокого	Среднего	Низкого
4	Наличие ядер для образования и развития конкреций	Есть. Районы, расположенные вдали от подводных вулканов, подводных гор, богатые биокластом кремнезема	Есть. Районы, расположенные вдали от подводных вулканов, подводных гор, богатые биокластом кремнезема	Есть
5	Скорость течения (см/с)	< 4 см/с для диагенетических	< 3 см/с	Не влияет
6	Осадки на поверхности морского дна	Практически отсутствуют	Практически отсутствуют	

Таблица – 4.2. Критерии районирования месторождений железомарганцевых корок

№	Критерии	Значения критериев для присваиваемого рейтинга		
		Высокого	Среднего	Низкого
1	Глубина моря (м)	800 - 1800	500 - 800; и > 1800	500 м до дна
2	Углы наклона морского дна, град	15 - 40	15 - 40	15 - 40
3	Возраст формирования рельефа дна (подводные горы/равнины) (млн.лет)	Многие миллионы лет (>3 млн.лет), Более древний возраст способствует образованию руд	Многие миллионы лет (>3 млн.лет), Более древний возраст способствует образованию руд	Относительно малый возраст поверхности
4	Поверхность коренной породы	Нет осадка и на базальтовой поверхности (очень высокий), на поверхности известняка, гранита, риолита (высокий)	Нет осадка	В некоторых местах есть осадок
5	Скорость течения (см/с)	4 - 5 см/с	4 - 15 см/с (500 - 800 м); и < 3 см/с (на глубинах > 1800 м)	Нет необходимости рассматривать
6	Осадки на поверхности морского дна	Отсутствуют	Отсутствуют	

Таблица – 4.3. Критерии районирования месторождений железомарганцевых конкреций и корок

№	Критерии	Значения критериев для присваиваемого рейтинга	
		Средний	Низкий - Нулевой
1	Глубина моря (м)	500 - 4000 м	500 - 4000 м
2	Углы наклона морского дна, град	7 - 15	7 - 15
3	Возраст формирования рельефа дна (подводные горы/равнины)(млн.лет)	> 3 млн.лет	< 3 млн.лет
4	Поверхность коренной породы	Есть ядра. Скопление осадка на поверхности неоднородно	Есть ядра. Скопление осадка на поверхности неоднородно
5	Ядро для развития конкреций		
6	Скорость течения	4 - 15 см/с	4 - 15 см/с

Критерии районирования расположены в порядке убывания перспективности от 1 до 6. В условиях ЮКМ важны критерии 1, 2, 3 и их рассмотрение должно быть приоритетным.

Критерии, используемые для выделения участков, неблагоприятных для образования и роста железомарганцевых конкреций и корок, представлены в таблице 4.4

Таблица – 4.4. Области без потенциально-перспективных условий образования конкреций и корок

№	Критерии	Корки	Конкреции
1	Глубина моря (м)	< 500 м	Континентальный шельф, глубина до 500 м. Равнины имеют пологий угол наклона (0^0 - 3^0) на материковых склонах, подводные горы имеют пологие вершины.
2	Углы наклона морского дна, град	Плоская вершина подводных гор (0 - 3)	3 - 7 и > 40
3	Возраст формирования рельефа дна (подводные горы/равнины) (млн.лет)	Относительно малый возраст поверхности, очень молодые вулканиты	
4	Поверхность коренной породы	Нет необходимости рассматривать	
5	Наличие ядер для образования и развития конкреций		Есть
6	Скорость течения	Нет необходимости рассматривать	

В некоторых случаях, в дополнение к этим критериям, геоморфологические критерии можно использовать для оценки континентальных шельфов, долин между подводными горами, топографии вершин подводных гор.

Геоморфология морского дна изучается все более детально благодаря развитию методов исследований и оборудования, особенно высокой точности батиметрических данных. В результате была введена в действие новая система геоморфологической классификации морского дна, способствующая поиску и разведке твердых полезных ископаемых на морском дне, оценке морских инженерно-геологических условий, воздействий на окружающую среду, распределение глубоководных экосистем.

Континентальный шельф Вьетнама определяется до глубины 500 м, это районы с высокой аккумуляцией осадочного материала, и по нашему мнению, не имеет потенциала железомарганцевых конкреций. По оценкам, некоторые подводные вулканы на континентальном шельфе также не имеют потенциала для железомарганцевых корок.

Рельеф материковых склонов Вьетнамского моря выше глубины 2000 м сложный по склонам и расчленен многими подводными горами. Плоские равнины с углом наклона 0 - 300 выше глубины 2000 м можно оценить как не имеющие потенциала для железомарганцевых конкреций, поскольку здесь может отлагаться большое количество наносов.

Участки морского дна от глубины около 2000 м до подножия материка (около 4000 м), рельеф материкового склона становится устойчивым и пологим, количество наносов уменьшается, а также меньше подвержен оползневым процессам. Поэтому можно считать, что эти равнины являются железомарганцевыми и делятся по потенциальным уровням от низкого до высокого в зависимости от глубины, по отношению к ГКК.

На континентальных склонах много подводных гор и немногочисленные блоки поднятия основной породы (коренной породы), на склонах гор с уклоном 70 - 150 можно искать железомарганцевые конкреции и корки. Хотя данные о возрасте подводных гор очень ограничены, и большинство подводных гор образовано внутриплитным базальтовым механизмом, нет четкой закономерности их распределения. Но с помощью некоторых исследований можно предположить, что возраст подземных вулканов на континентальном склоне обычно составляет около 4 миллионов лет, поэтому возможно образование и развитие конкреций и корок.

Аналогичным образом, небольшие узкие равнины в вершинах плосковершинных подводных гор (типа Гюйо) и равнины, окруженные подводными горами, также оцениваются как неблагоприятные для образования и развития железомарганцевых конкреций из-за ограниченного поступления потоков и высокой скорости

осадконакопления веществами, переносимыми со склонов подводных гор, в условиях частых землетрясений и активных разломов во время их прохождения в Южно-Китайском море.

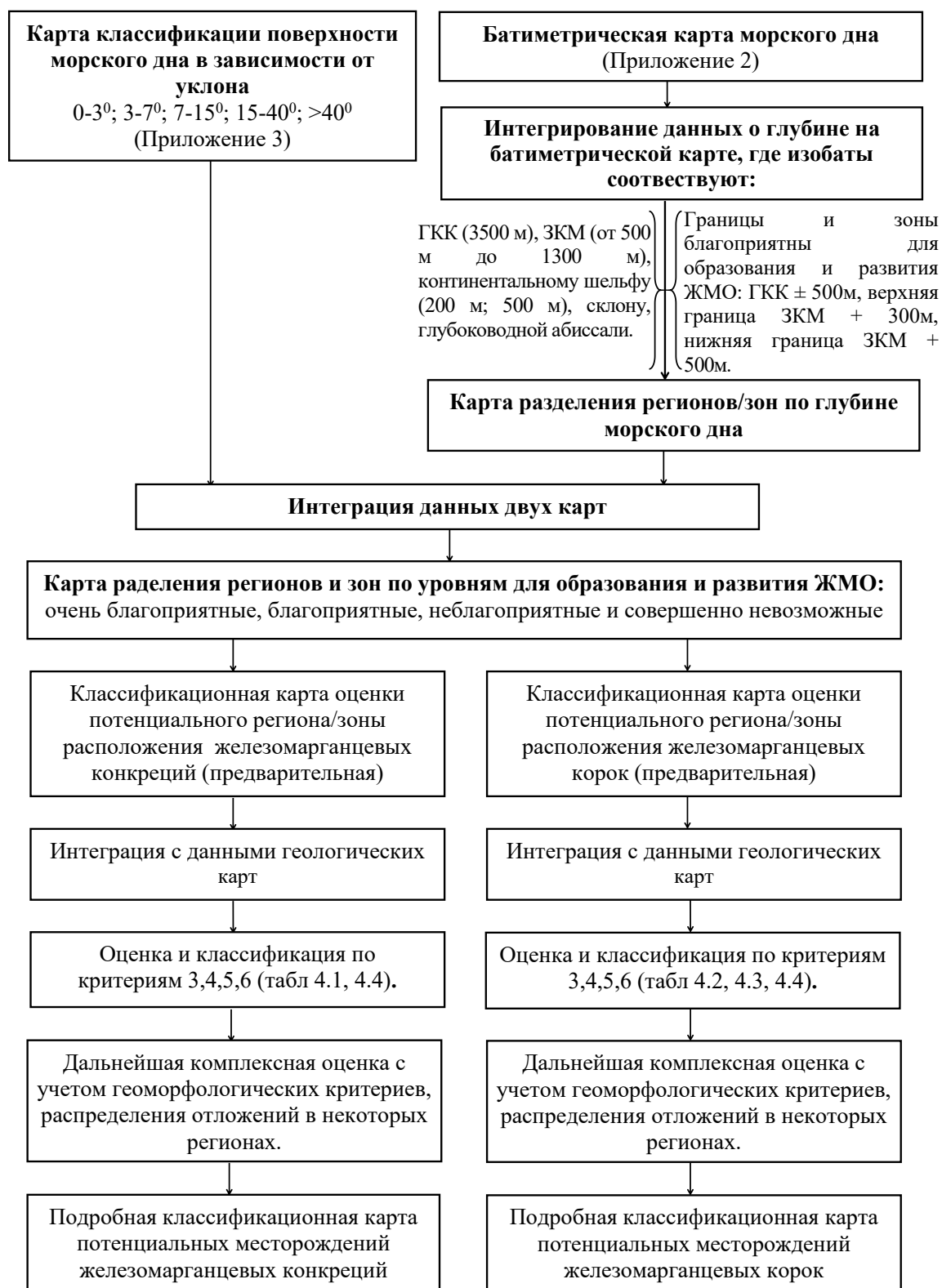


Рисунок – 4.6. Этапы создания классификационной карты потенциальных регионов расположения железомарганцевых месторождений

Для оценки наличия отложений на поверхности подводных гор могут использоваться результаты сейсморазведки на первом этапе геологоразведочных работ и дополняться снимками с камер и отбором проб на этапах 2 и 3, эти работы зависят от уровня требований в исследование.

4.4. Результаты районирования по ресурсной перспективности Вьетнамского моря

4.4.1. Россыпи и строительные материалы на континентальном шельфе

При выборе критериев для последующего районирования строительные материалы были разбиты на 2 группы:

- Группа высокоперспективных песков – это в основном чистые пески, мало смешанные с грубыми материалами, такими как гравий, ил, глина, образовавшиеся в крупной дельте реки Меконг на обширном Зондском континентальном шельфе и в древней прибрежной зоне, где по центральному берегу в песках может содержаться россыпь различных металлов и оптические пески (Таблица – 4.5).

Таблица – 4.5. Основные критерии определения высокой перспективности участков чистых песков

Район моря	Глубина (м)	Площадь (км²)
Северо-Центральный	<200	4894
Южный Центральный	≤200	7239
Южный	<200	124981,2

- Группа песков, смешанных с гравием, илом, глиной, разномерных, отложившиеся в древних эстуариях, главным образом в прибрежных районах континентального шельфа, склона континента, вдоль побережья центрального Вьетнама, датированных ранним плейстоценом (глубина -2000 м), среднего плейстоцена (-1500 м) и позднего плейстоцена (-300 м) и голоцена, отражающие характер процесса переноса осадочного материала, накопления наносов в неустойчивой динамической обстановке. Такая обстановка обусловлена тем, что реки короткие, в основном горные, а побережье часто страдает от штормов в центральной части побережья Вьетнама (Таблица – 4.6).

Таблица – 4.6. Основные критерии потенциальности участков песков с примесью гравия, ила, глины

Район моря	Глубина (м)	Площадь (км ²)	Глубина (м)	Площадь (км ²)
Северный	<200	6291		
Северо-Центральный	≤200	17490	500-1000	3549
Южно-Центральный	≤200	6081	500-2000	13060
Южный	<200	10830		

Результаты исследований по выявлению потенциальных площадей россыпных месторождений и строительных материалов представлены на карте Рисунок – 4.6 и Рисунок – 4.7.

Зоны, оцененные как перспективные для россыпей, в основном имеют глубину не более 200 м и относятся к группе россыпных, расположенных непосредственно на поверхности морского дна (Рисунок – 4.6). О россыпях, погребенных под морским дном и на глубине более 300 м, нет данных, поэтому потенциал не может быть локализован. Площадь высокопотенциального нахождения россыпей в общем составляет 14450 км², они распределены вдоль континентального шельфа центрального Вьетнама. Площадь со средним потенциалом россыпей составляет 28280 км² на южном континентальном шельфе и 12770 км² на северном континентальном шельфе. В группе участков с высоким россыпным потенциалом всего 3 участка на глубине 200 - 350м, общей площадью 2748 км².

По результатам исследований рельефа морского дна, донных отложений можно определить распространение современной дельты и древней дельты, древних рек и древних прибрежных зон. На этом основании были отмечены залежи песка и гравия, в сочетании с некоторыми данными о характеристиках состава осадочного материала из других исследований, выделены перспективные участки нахождения залежей строительных материалов, районировано и показано на карте (Рисунок – 4.7).

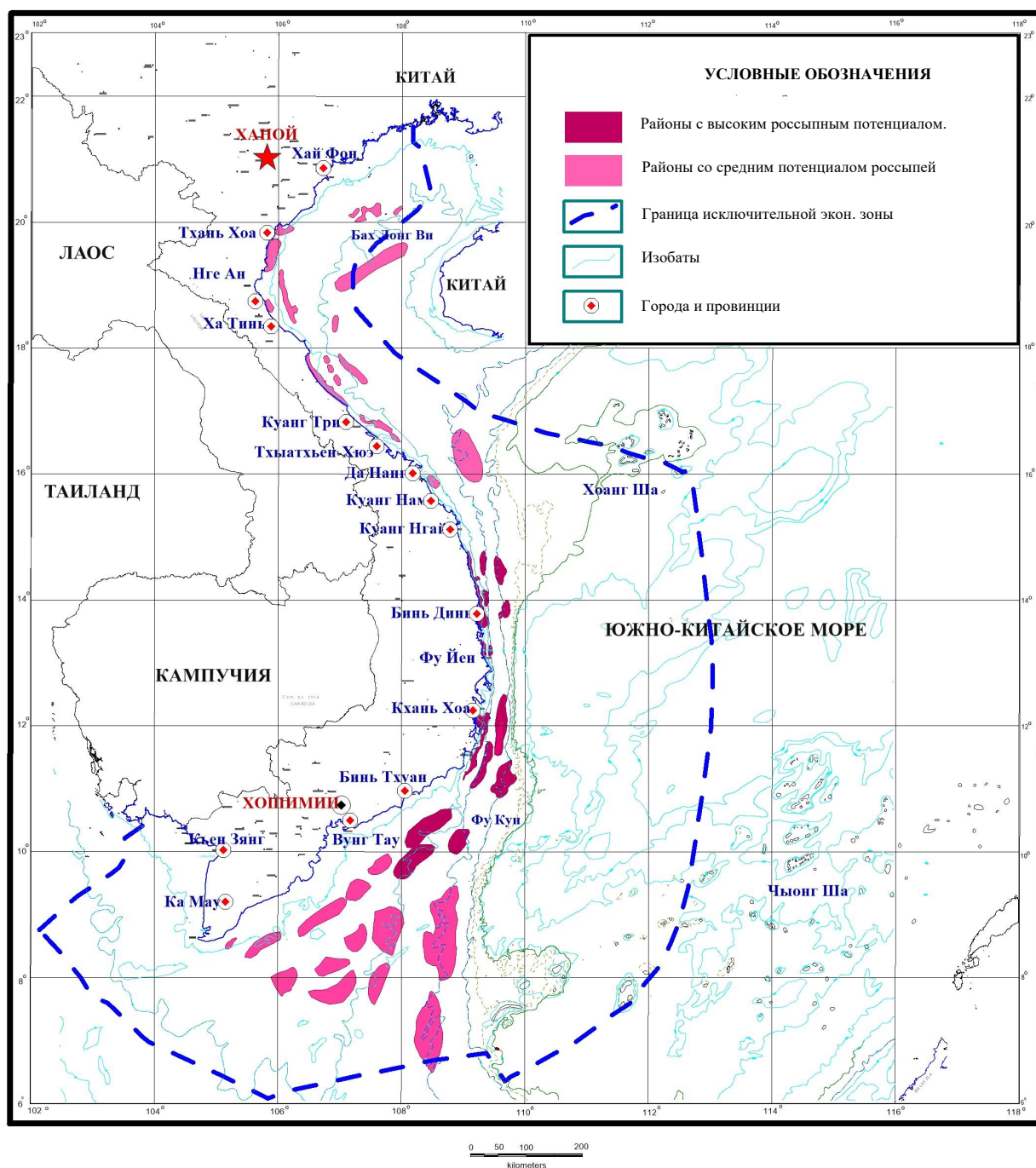


Рисунок – 4.6. Классификационная карта районирования шельфа по потенциалу нахождения россипей

4.1.1. Результаты районирования по железомарганцевым месторождениям

Результаты многокритериального и многофакторного синтеза изучаемого района позволили выделить потенциальные участки железомарганцевых месторождений в глубоководных районах Южно-Китайского моря, которые показаны на классификационных картах для группы конкреций (Рисунок – 4.8) и группы корок (Рисунок – 4.9). В результате районирования дна исключительной экономической зоны Вьетнама были выделены 4 группы зон по классификационным признакам:

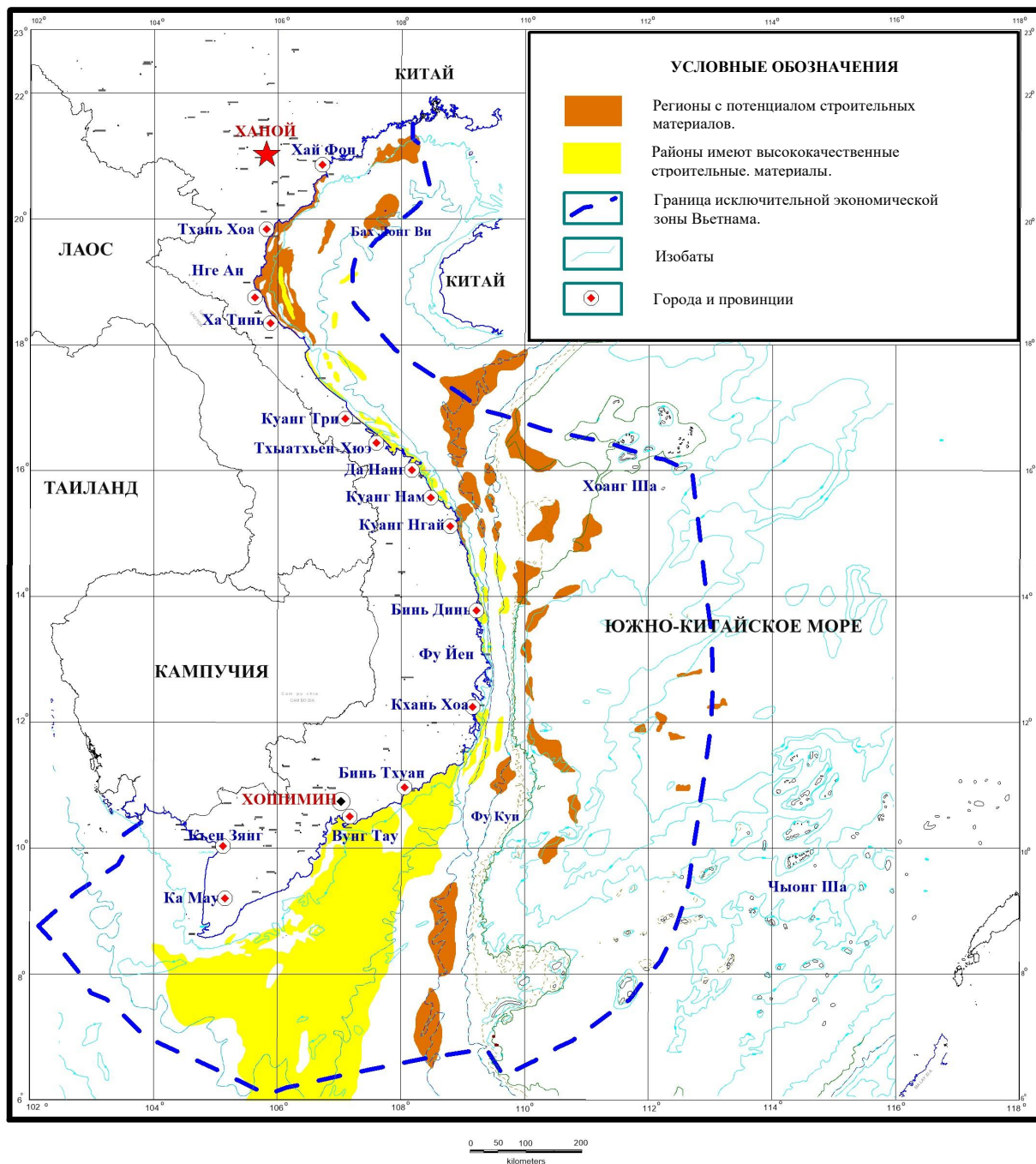


Рисунок – 4.7. Карта, определяющая области для будущего изучения ресурсов строительных материалов.

Группа конкреций

- зоны (участки) с высоким потенциалом общей площадью 18110 км², из которых наибольшая зона площадью 13460 км² расположена в центральной долине на юго-западе Южно-Китайского моря.
- зоны со средним потенциалом общей площадью 28400 км².

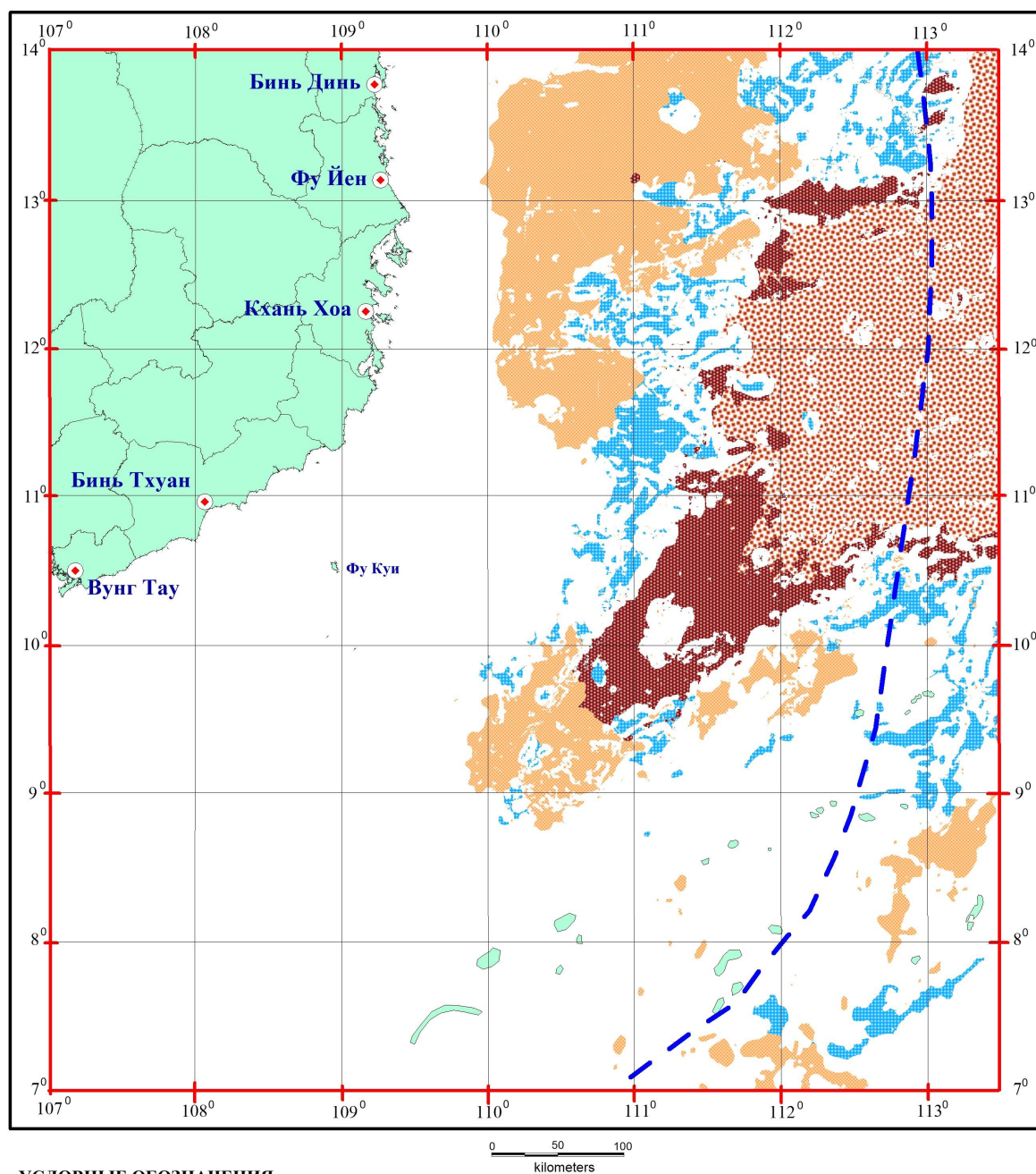
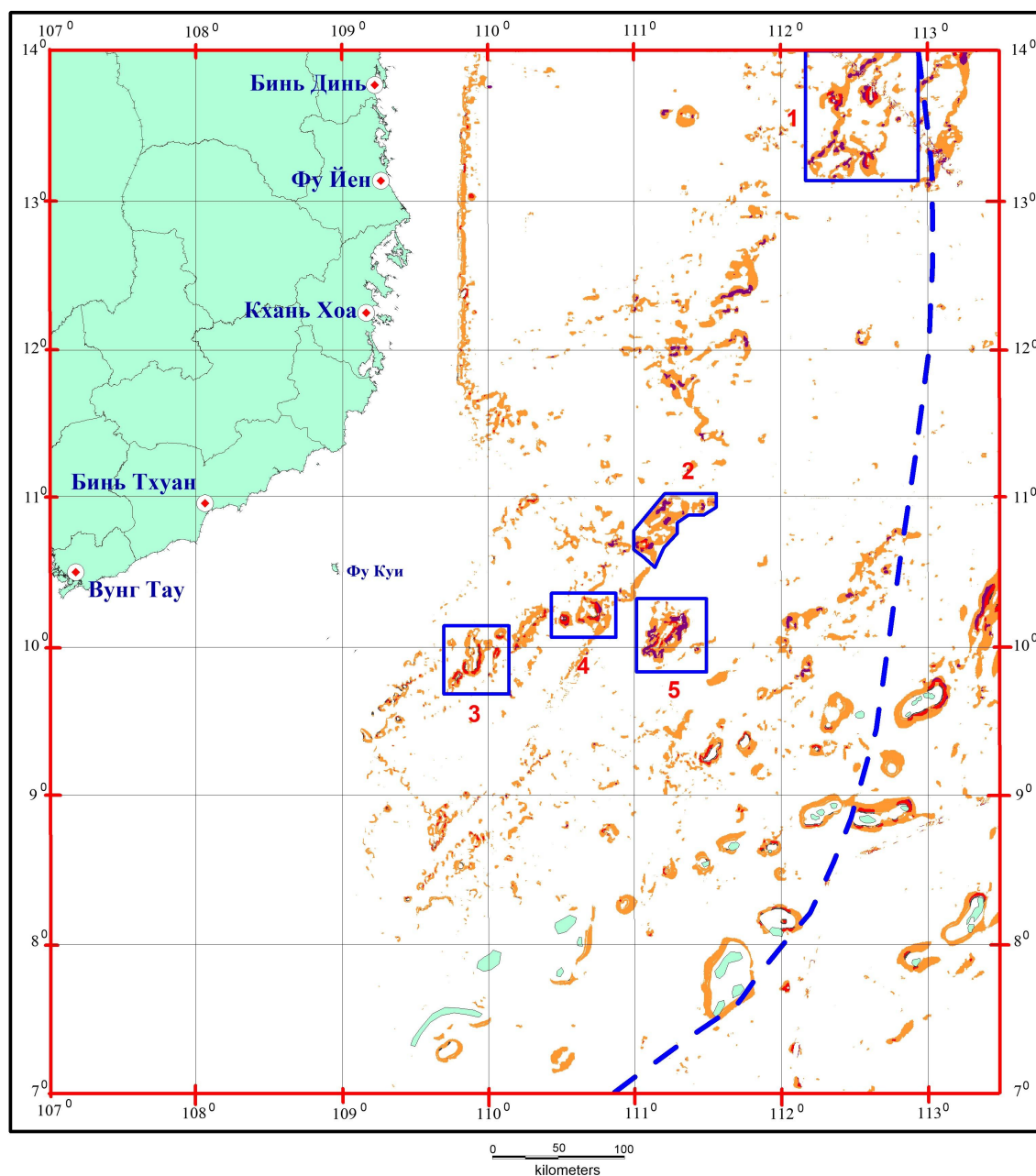


Рисунок – 4.8. Карта районирования дна ЮКМ по потенциалу образования и залегания железомарганцевых конкреций в изучаемом районе



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Высокая потенциальная площадь корок		Материк, остров конкреций
	Средняя - Низкая потенциальная площадь корок, глубина >1800 m		Граница исключительной экономической зоны Вьетнама.
	Низкая потенциальная площадь корок		Регион приоритетного выбора геологоразведочных работ на корки
	Площади с одновременным (сосуществованием) конкреций и корок		Города и провинции

Рисунок – 4.9. Карта районирования дна ЮКМ по потенциалу образования и залегания железомарганцевых корок и группы сосуществования конкреций и корок в изучаемом районе

- зоны с низким потенциалом общей площадью 44970 км², включая 4 участка, из которых самый большой находится на севере исследуемой территории, площадью 34110 км².
- участки без потенциала образования и нахождения конкреций.

Группа корок

Общая площадь составляет 2421,6 км², в том числе:

- площадь зон с высоким потенциалом 882,6 км²,
- площади зон со средним и низким потенциалом 1539 км².

Кроме того была выделена группа зон одновременного сосуществования конкреций и корок 18,777 км².

Полученные материалы позволяют выделить приоритетные районы для будущих поисково-разведочных работ, в частности участки с высоким потенциалом залежей железомарганцевых конкреций в центральной абиссали и не менее 5 районов для поисков железомарганцевых корок.

ВЫВОДЫ

Развитие фундаментальной промышленности и высокотехнологичного машиностроения Вьетнама сдерживаются дефицитом целого ряда металлов, таких как Вi, Со, Си, Тi и редкоземельные элементы, которые могут содержаться в месторождениях морского дна. Однако, по состоянию на 2022 год уровень ГРР твердых полезных ископаемых во Вьетнамском море можно оценить как Этап I для железомарганцевой руды и Этап II для россыпей и строительных материалов.

С целью повышения эффективности поисково-разведочных работ в морской зоне и снижения их объемов было проведено районирование дна моря с выделением потенциальных и перспективных районов в исключительной экономической зоне и составлены карты.

База данных для построения карт зонирования россыпей и строительных материалов не слишком сложна, основана на данных о древних береговых линиях и древних эстуариях в связи с изменением уровня моря в прошлом, результатах исследований отложений морского дна на континентальном шельфе, правилах их распределения и их основных характеристиках.

При выборе критериев для последующего районирования строительные материалы были разбиты на 2 группы:

- Группа высокоперспективных песков – это в основном чистые пески, мало смешанные с грубыми материалами, такими как гравий, ил, глина, образовавшиеся в крупной дельте реки Меконг на обширном Зондском континентальном шельфе и в древней прибрежной зоне, где по центральному берегу в песках может содержаться россыпь различных металлов и оптические пески (Таблица – 4.5).
- Группа песков, смешанных с гравием, илом, глиной, разнозернистых, отложившиеся в древних эстуариях, главным образом в прибрежных районах континентального шельфа, склона континента, вдоль побережья центрального Вьетнама, датируемых ранним плейстоценом (глубина -2000 м), среднего плейстоцена (-1500 м) и позднего плейстоцена (-300 м) и голоцена, отражающие характер процесса переноса осадочного материала, накопления наносов в неустойчивой динамической обстановке.

Зоны, оцененные как перспективные для россыпей, в основном имеют глубину не более 200 м и относятся к группе россыпных, расположенных непосредственно на поверхности морского дна.

Площадь со средним потенциалом россыпей составляет 28280 км² на южном континентальном шельфе и 12770 км² на северном континентальном шельфе. В группе участков с высоким россыпным потенциалом всего 3 участка на глубине 200 - 350м, общей площадью 2748 км².

Построение карт районирования и классификации железомарганцевых руд очень сложно и требует большого объема данных. В условиях дефицита геологоразведочных данных по исследуемой территории был предложен новый метод решения, который представляет собой метод многофакторной интеграции условий образования и разработки железомарганцевых руд, для построения простой матрицы, включающей критерии оценки благоприятных и неблагоприятных условий для образования руд.

Используется 7 основных критериев, таких как глубина моря, углы наклона морского дна, возраст формирования рельефа дна (подводные горы/равнины), поверхность коренной породы, наличие ядер для образования и развития конкреций, скорость течения, осадки на поверхности морского дна, в дополнение к подкатегориям, применяемым по мере необходимости. Исходя из типа руды, характеристик распределения, технических условий разведки и эксплуатации, оценки и классификации, они делятся на 3 группы: расщепление, образование корки, расщепление и сосуществование.

Результаты многокритериального и многофакторного синтеза изучаемого района позволили выделить потенциальные участки железомарганцевых месторождений. В

результате районирования дна исключительной экономической зоны Вьетнама были выделены 4 группы зон по классификационным признакам:

Группа конкреций

- зоны (участки) с высоким потенциалом общей площадью 18110 км², из которых наибольшая зона площадью 13460 км² расположена в центральной долине на юго-западе Южно-Китайского моря.
- зоны со средним потенциалом общей площадью 28400 км².
- зоны с низким потенциалом общей площадью 44970 км², включая 4 участка, из которых самый большой находится на севере исследуемой территории, площадью 34110 км².
- участки без потенциала образования и нахождения конкреций.

Группа корок

Общая площадь составляет 2421,6 км², в том числе:

- площадь зон с высоким потенциалом 882,6 км²,
- площади зон со средним и низким потенциалом 1539 км².

Кроме того была выделена группа зон одновременного сосуществования конкреций и корок 18,777 км².

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ ВО ВЬЕТНАМСКОМ МОРЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИХ ОЦЕНКА

5.1. Анализ общих требований к геологоразведочным работам во Вьетнамском море

После обработки первоначальных данных аналитического определения перспективных районов необходимо произвести непосредственную разведку наличия в их пределах залежей полезных ископаемых.

Как известно, геологоразведочные работы основываются на принципе последовательных приближений и выполняются по пяти следующим стадиям: поисково-оценочные работы, предварительная разведка, детальная разведка, доразведка и эксплуатационная разведка. Основоположник отечественного геологоразведочного дела В.М.Крейтер выделил и систематизировал основные цели, задачи, методы и условия проведения разведки [108].

Первый (основополагающий) этап по составлению геологических карт – от мелкомасштабных обзорных масштабом 1:1000000 всего дна Южно-Китайского моря и масштабом 1:500000 для перспективных нефтегазоносных участков до карт масштабом 1:50000 и крупнее для отдельных районов шельфовой зоны Вьетнамского моря, частично выполнен [52,53,59,60].

Применительно к твердым минеральным ресурсам дна ЮКМ поисково-оценочные работы только начинаются и проводятся как самостоятельно Вьетнамом, так и (в основном) в рамках международных проектов. Особняком стоит вопрос геологической изученности прибрежной зоны и значительной части шельфа республики, где детально разведано множество россыпных месторождений черных и цветных металлов, а также строительного и химического сырья. Активно разрабатываются залежи стекольных песков и некоторых инертных стройматериалов. Более глубокие части ЮКМ и даже вьетнамской эксклюзивной экономической зоны изучены слабо [1, 4, 57, 62, 65, 77, 80].

Проведенные нами районирования по перспективности дна ЮКМ позволили предположить наличие месторождений твердого минерального сырья в его глубинных районах (на континентальном склоне и в абиссальной области). То есть выявлены поисковые признаки и предпосылки наличия полезных ископаемых, которые подтверждают необходимость организации и проведения масштабных геологических поисков [1,4,61,65,77,80].

Применительно к рассматриваемым условиям геологические поиски должны проводиться поэтапно подобно таким же работам на континентальной суше – от общих поисков до поисково-оценочных работ (со сгущением масштаба). На этапе общих поисков морских месторождений ТПИ с визуальными геологическими наблюдениями подводными кинокамерами и сканирования дна необходимо производить геофизические исследования и отбор проб.

Успешное опробование, как основной части геологоразведочных работ, возможно только на достоверной научно-методологической основе, которая учитывает следующие основные положения: цель, предмет изучения, метод познания, научные основы, оценка и прогноз геологических основ, а также методологию изучения геологической среды. Идеальный результат опробования - получение максимума информации за минимально короткое время и с наименьшей трудоемкостью [39, 40, 85, 112-114].

В то же время опробование - единственно научно-обоснованный способ выявления полезного ископаемого, его качества, геохимической специализации, минерального и химического состава, зональности и внутреннего строения. По данным опробования

выделяются потенциальные рудоносные участки недр, природные и технологические типы полезных ископаемых, определяется целый комплекс их разнообразных свойств и т. п. [85].

Особенностью опробования является незначительность объема пробы по сравнению с объемами всей залежи. По отношению к месторождениям ЖМО и других видов ТПИ в ЮКМ в настоящее время опробование в значительной мере будет служить подтверждением перспективности дальнейшего развития геолого-разведочных работ в районах, определенных аналитическими методами. В принципе, проба - это единичное локальное наблюдение изучаемого свойства полезного ископаемого в некотором объеме, которое определяется объемом, формой, размерами и координатами [84, 85, 108, 110, 111, 112].

Виды опробования и их назначение достаточно подробно освещались в различных исследованиях и методических рекомендациях и требованиях, поэтому далее рассматриваются особенности изысканий применительно к залежам железомарганцевых образований дна ЮКМ. Необходимо признать, что содержание полезных компонентов в пробах может быть максимальным (применительно к ориентировочным прогнозам) или минимальным (даже нулевым), а изменчивость содержаний по ряду проб - максимальной из возможных. Следовательно, увеличение объемов проб приводит к выравниванию содержаний и, конечно, к снижению их изменчивости в общем объеме проб [85].

Уменьшение дисперсий происходит при увеличении объема проб, причем зависимость прямая, то есть погрешность оценки среднего содержания p по n пробам оценивается выражением:

$$p = \frac{ts}{\sqrt{n}} \quad (5.1)$$

где t - коэффициент вероятности; n - количество проб; s - стандарт содержаний по пробам данного объема v .

Опробование обнаруженных конкреционных залежей целесообразно производить кассетным тралом, что достаточно подробно рассматривалось ранее [42, 85]. Отмечалось, что при опробовании конкреционных полей средние плотности залегания могут рассматриваться как средние на всей площади опробования. Но в то же время необходимо признать, что на изменчивость содержаний влияют не только объем проб, но их ориентировка.

Применительно к месторождениям ЖМК Мирового океана можно сделать вывод, что на точность получаемых результатов наибольшее влияние оказывают число проб и площадь непосредственного опробования. Оценивая уровень ГРР Вьетнама в Южно-Китайском море, в первую очередь надо говорить об обнаружении скоплений ЖМО. Практически все морские месторождения ТПИ можно оценивать как залежи.

Для такого строения тел полезных ископаемых справедлив подход к залежам, как к простейшим геометрическим фигурам. То есть оценку степени влияния форм и размеров проб на дисперсию необходимо применять на основе «линейного эквивалента» (Ж.Матерон). Основой этого утверждения является: «линейным эквивалентом пробы объемом v называется линейная проба l , обладающая бесконечно малым поперечным сечением и имеющая ту же дисперсию содержаний, что и проба объемом v » [84, 110].

Это допущение правомерно с точки зрения генезиса рассматриваемых донных месторождений и достаточной однородности в пределах рудоносных провинций океанов - изотропии. Поэтому увеличение объемов проб v в n раз снижает дисперсию плотности залегания тоже в n раз.

5.2. Анализ существующих средств и способов глубоководного пробоотбора

С точки зрения геометрии разведочной сети геологические изыскания проводятся или замкнутыми горизонтальными пересечениями или параллельными пересечениями. Такие сети обеспечивают достаточную объективность выборочных данных, служат основой для последующей их обработки и дают общее представление о наличии или отсутствии залежей полезных ископаемых.

Морские месторождения ЖМО обладают спецификой залегания полезного ископаемого практически без вскрышных пород. Поэтому геологические изыскания на таких полях относятся к группе методов изучения строения и вещественного состава поверхностных слоев океанического дна [31,38-40, 84].

Нами предлагается использование разработанного газодинамического пробоотборника для поиска и первоначального опробования подводных месторождений или АГДП в комплексе с кассетным тралом для крупнообъемного опробования.

В исследовательских экспедициях в Южно-Китайском море для сбора донных отложений использовались цепная драга (крупнообъемное опробование), гравитационные пробоотборники (отбор керна ненарушенного строения), поршневые пробоотборники (отбор донных отложений), коробчатые пробоотборники Vox Coger (отбор мягких отложений) и дночерпатели грейферного типа. Основным их недостатком является жесткая зависимость от геологоразведочного судна (ГРС) и невысокая скорость опробования (маленькая площадь в единицу времени). Сокращает время пробоотбора и повышает достоверность изысканий применение самовсплывающих дночерпателей [53, 81, 151]. Однако они имеют малую площадь пробоотбора и применимы только на слабых донных отложениях, так как имеют невысокое усилие резания [113].

При поисковых работах после или одновременно с геофизическими, аналитическими исследованиями, сканированием и фотосъемкой целесообразно оперативно получить пробы с обследуемых участков морского дна. Наиболее эффективно применять при этом автономные пробоотборники, не связанные жестко с поисковым судном.

Анализ апробированных на различных глубоководных месторождений методиках пробоотбора показывает, что повышение эффективности и точности геологоразведочных изысканий (в 3-4 раза) достигается лишь одновременным использованием нескольких пробоотборников [85].

Изложенные выше достоинства автономных пробоотборников значительно нивелируются многочисленными недостатками и ограничениями, которые будут рассмотрены ниже при обосновании разработанного газодинамического дночерпателя.

Одним из основных условий достижения наибольшей эффективности опробования является способ маневрирования поисково-разведывательного

судна (ПРС), на которое доставляются пробы. Наиболее часто применяются следующие способы маневрирования ПРС [42, 44, 83, 84, 85, 93, 113]:

- линейный (профильный) - по наиболее перспективным профилям инженерно-геологических и разведочных исследований [85];
- контурный - по границам обследуемого участка с целью наибольшего охвата территории месторождения [85];
- треугольный - при детальных изысканиях на присутствие полезных ископаемых (россыпей, конкреций, корок и т.д.) так как этот способ позволяет осуществлять первичное ориентировочное опробование на больших площадях (с условным радиусом в несколько километров) [85].

Каждый из способов, представленных на Рисунок – 5.1, имеет свои достоинства и недостатки и выбирается исходя из условий и задач геологических изысканий. В частности, линейный способ маневрирования поисково-разведывательного судна наиболее часто применяется на разведанных месторождениях ЖМК с целью получения данных для последующего корреляционного анализа геологической информации или определения количественного содержания полезных компонентов в ЖМО [85]. При этом способе ПРС движется параллельными галсами со сбросом автономных пробоотборников по ходу судна в точках с интервалами около 4 км. В зависимости от глубины океана, скорости ветра и течения спускается от четырех до шести АП, а расстояние между галсами составляет до 2 км. После сброса второй партии пробоотборников, судно возвращается на первый галс и с

учетом сноса всплывших АП идет параллельно ему, собирая их буксируемой сетью-ловушкой (Рисунок – 5.1 а).

Современные системы навигации позволяют с высокой точностью фиксировать координаты опускания АП и курс судна, что позволяет значительно упростить процесс сбора всплывших пробоотборников, однако не гарантируют точной привязки места забора к карте морского дна.

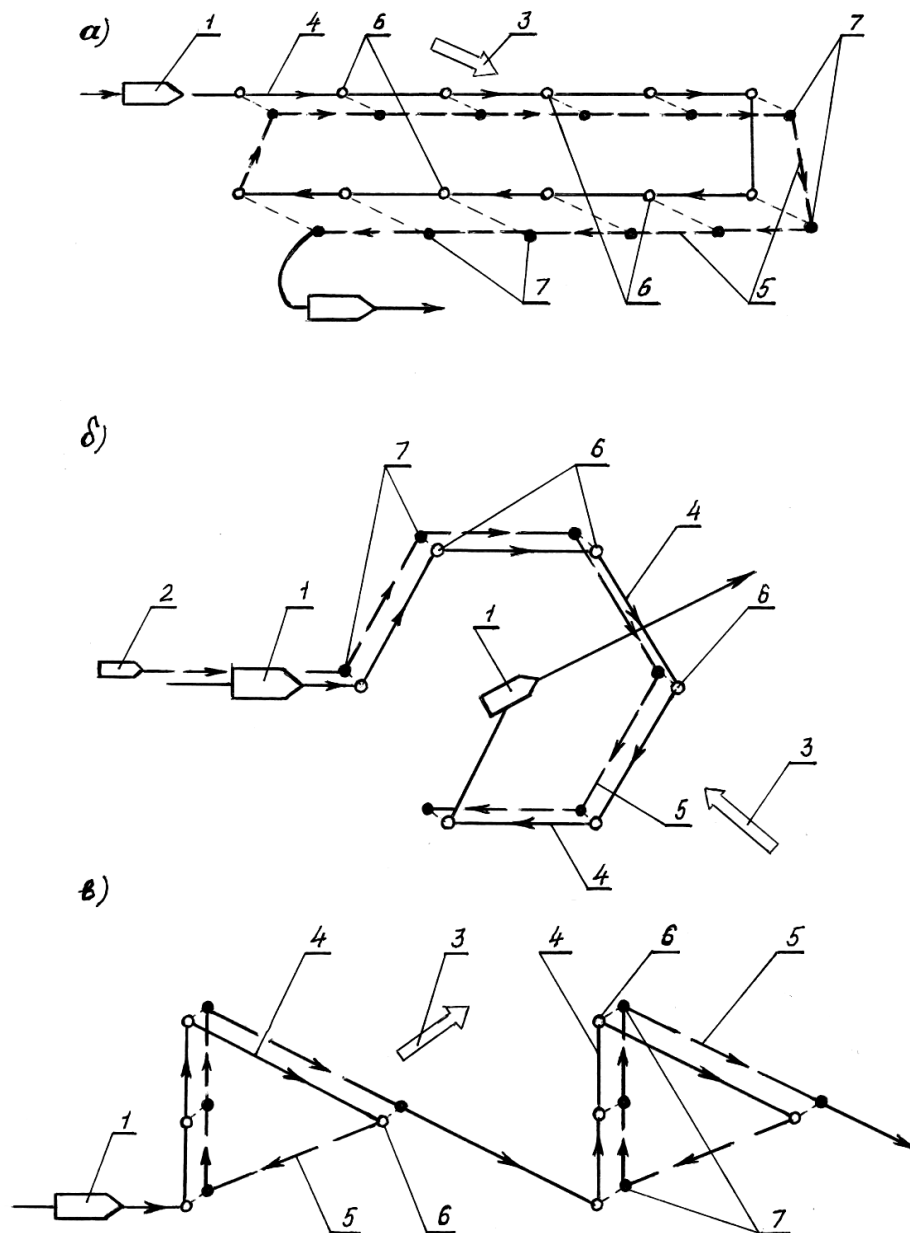


Рисунок – 5.1. Практикуемые схемы маневрирования поисково-разведывательного судна (ПРС) при донных геологоразведочных изысканиях с применением автономных пробоотборников (АП) [85]:

а) линейный (профильный); б) контурный; в) треугольный.

1 – ПРС; 2 – судно-сборщик; 3 – направление ветра (дрейф); 4 – курс ПРС при сбросе АП; 5 – курс ПРС (судна-сборщика) при сбросе АП;

6 – точки спуска АП; 7 – точки сбора всплывших АП с пробами

Средняя скорость ПРС при спуске и сборе пробоотборников обычно составляет около 3 узлов (5,55 км/ч или 1,542 м/сек), а при маневрировании и переходах - в 2 раза выше. Каждый цикл опробования включает отбор до 12 проб (в среднем 10, по 5 на каждый контркурс), а исследуемая площадь достигает 30-35 км² (3-3,5 тыс. га). Опыт работ показывает, что при глубине океана до 5000 м на один цикл затрачивается около 7 часов.

Естественно, что при такой сетке опробования (~2х4,4 км) получаемые результаты могут быть весьма приближенными и не могут служить достаточным основанием для реальной оценки месторождения. Кроме того применение этих способов не позволяет оценить плотность залегания конкреций даже в пределах разведуемых участков. Основным преимуществом линейного способа является использование для спуска и сбора пробоотборников одного судна, а также оперативное определение наличия полезных ископаемых при поисковых работах.

Значительное увеличение обследуемой площади (до 100 км²) и сокращение времени цикла пробоотбора (до 5 час) позволяет достичь контурный способ (Рисунок – 5.1 б). Он предполагает взятие от семи до десяти глубоководных проб, но обычно отбирается 7 проб по периметру и во время свободного дрейфа поисково-разведочного судна еще одной пробы в центре контура. Расстояние между сбросом пробоотборников и последующим их сбором как и при линейном способе составляет около 4 км.

Однако вышеизложенных оптимальных результатов опробования можно достичь лишь при использовании дополнительного сборочного судна, движущегося с временной задержкой параллельно ПРС с учетом гидрометеорологических условий района поисковых работ.

Как и при использовании предыдущего способа точность получаемых данных вследствие незначительного объема проб и большого разброса точек опробования при изысканиях контурным способом не может удовлетворять требованиям о геологической информации, предшествующей планированию горнодобычных работ. В то же время отмечается, что контурный способ по количеству и качеству собираемой информации, площади исследуемого района и времени пробоотбора является более предпочтительным [42,44,83,42,113].

Треугольный способ маневрирования при морских геологоразведочных работах выполняется одним поисково-разведочным судном со спуском автономных пробоотборников по углам равностороннего треугольника (Рисунок – 5.1в). Длину стороны треугольника принимают обычно 6-8 км и в начале заходки ПРС дополнительно отбирают еще одну пробу по этой стороне. Всего за два цикла (два треугольных контура) отбирается 8 проб приблизительно за 10 час. Площадь изысканий при этом составляет около 200 км²,

точность получаемых результатов ориентировочная, но для поисковых работ вполне достаточная.

5.3. Разработка автономного самовсплывающего пробоотборника газодинамического принципа действия

Одним из основных преимуществ рассмотренных способов являются неплохие технико-экономические показатели таких методов ведения глубоководного пробоотбора.

В то же время применительно к существующему состоянию уровня изученности дна Южно-Китайского моря, кроме аналитического способа определения перспективных участков, необходимо выработать более оперативные и эффективные способы обнаружения донных полезных ископаемых. Также автономные самовсплывающие пробоотборники, используемые в настоящее время, имеют ограниченную по плотности пород область действия. На основе анализа результатов проведения предыдущих пробоотборов со дна Вьетнамского моря автором предложена новая конструкция пробоотборника и схем поисковых работ.

Для опробования плотных и даже коркообразных донных отложений, в частности в акватории Южно-Китайского моря, с высокой скоростью нами разработан автономный самовсплывающий газодинамический пробоотборник (АГДП) [113].

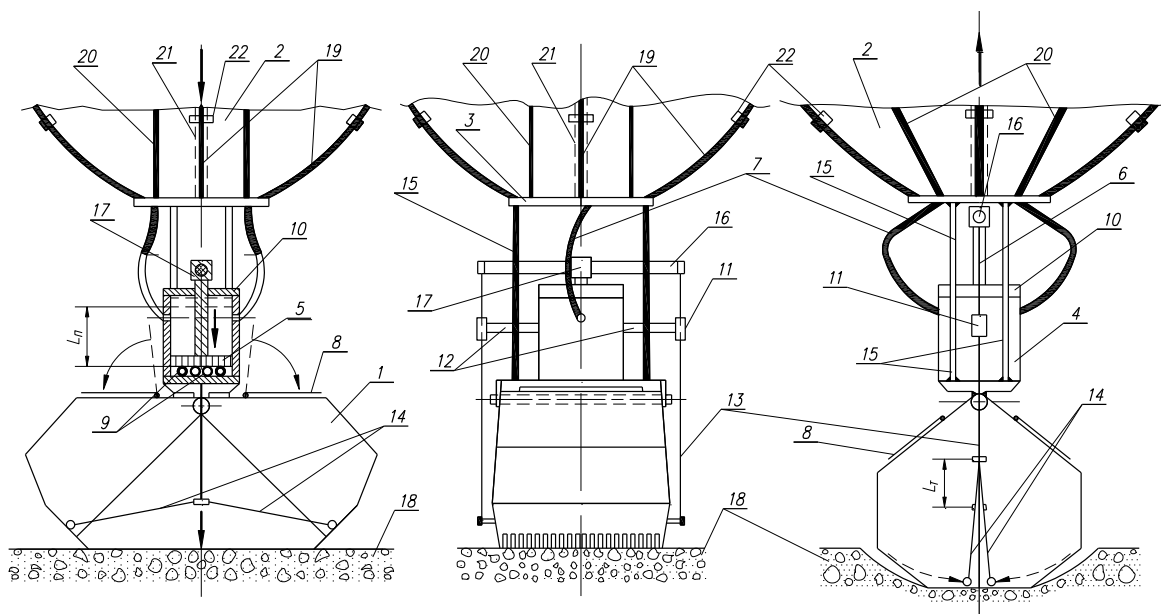


Рисунок – 5.2. Принципиальная схема газодинамического пробоотборника: а) этап опускания (момент касания дна и начала раздавливания ампулы); б) то же (вид справа); в) закрытие ковша и начала подъема; 1 - створки грейфера; 2 - подъемный баллон; 3 - держатель баллона; 4 - разборный рабочий цилиндр; 5 - поршень; 6 - шток поршня; 7 - гибкие шланги высокого давления; 8 - пружиненные крышки; 9 - ампулы с реактивом; 10 - съемная крышка цилиндра; 11 - направляющие; 12 - держатели направляющих; 13 - жесткие тяги; 14 - тяги-кулисы; 15 - каркас; 16 - горизонтальная съемная балка; 17 - регулировочный наконечник штока; 18 - залежь; 19 - упругие дуги; 20 - прижимные резиновые жгуты; 21 - вертикальный пустотелый штырь-стойка; 22 - петли [113].

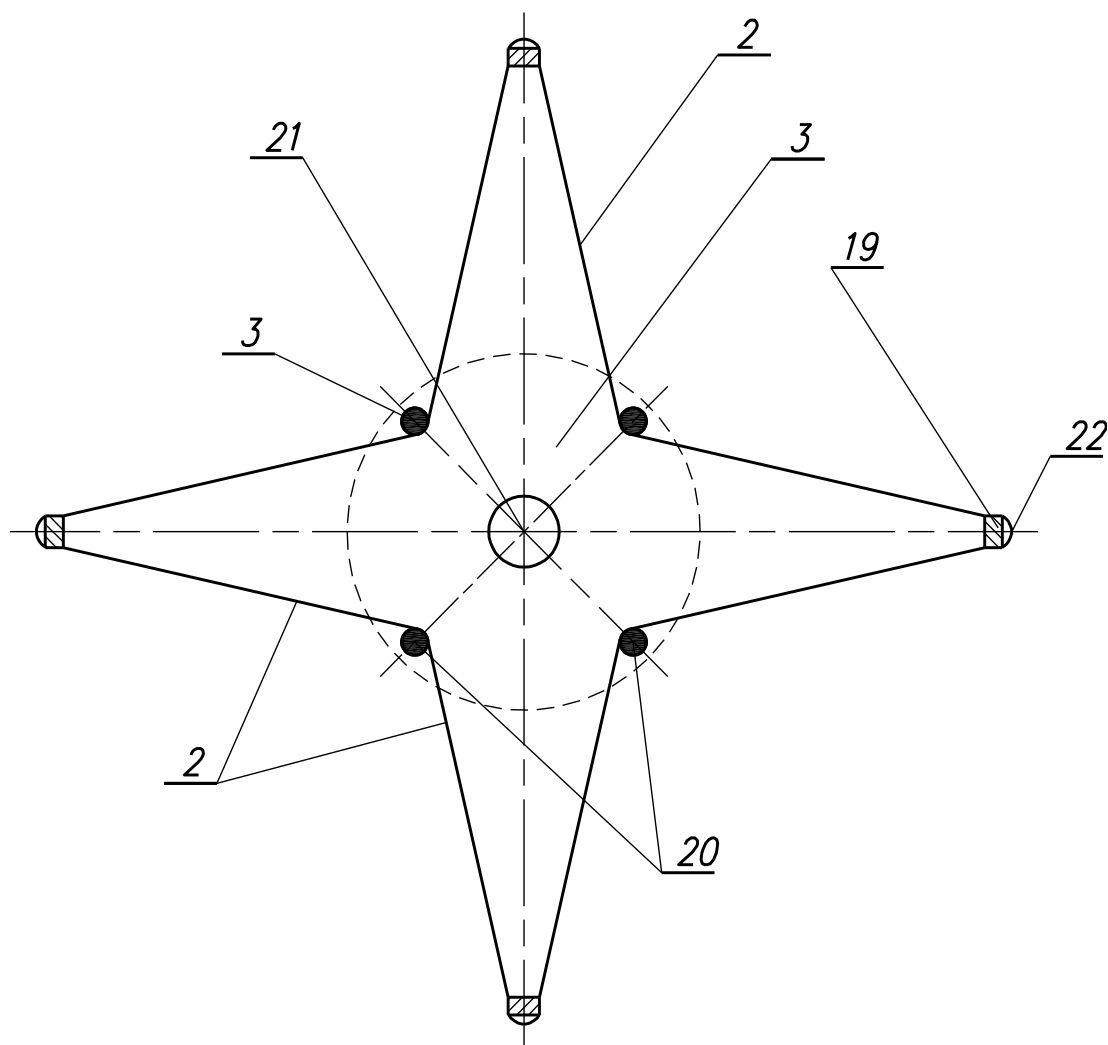


Рисунок – 5.3. Вид сверху (без изображения грейфера)

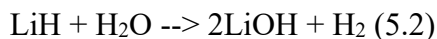
Принцип действия устройства основан на энергии расширяющихся газов, получаемых при химической реакции или ресивера со сжатым газом. Пробоотборник конструктивно состоит из грейферных ковшей, рабочего цилиндра с поршнем и подъемного баллона (Рисунок – 5.2). Эти части монтируются на жестком каркасе, а цилиндр имеет съемную головку, обеспечивающую смену ампул с химреактивами [113].

Подобный принцип широко используется в авиации и подводных аппаратах различного назначения. При проектировании многих донных пробоотборников различных конструкций и добычных морских комплексов в последние годы также существуют предложения по применению сжатых или выделяемых при химических реакциях газов [85-90,113].

В работах Сибирского Федерального Университета приведены расчеты по определению объемов газов, выделяемых при детонации ВВ или химической реакции различных веществ, а также зависимости подъемной силы от глубины моря. Сделан вывод

о целесообразности использования гидрида лития в качестве газогенерирующего вещества [89, 90, 113].

Гидрид лития обладает способностью производить большое количество газа в результате реакции LiH небольшого объема с водой с образованием LiOH . Выброс гидроксида лития в морскую среду небольшими и постепенными количествами во время всплытия устройства не причинит вреда окружающей среде [113].



В работах кафедры геологии горного института НИТУ МИСиС произведены подобные расчеты применительно к использованию предварительно сжатых газов. Основное условие, которое должно соблюдаться при использовании предлагаемого способа, это обеспечение давления газов в подъемной емкости превышающего гидростатическое давление воды в месте забора проб. Регулировка давления осуществляется подбором количества (объема) ампул с химреактивом [113].

Порядок работы газодинамического пробоотборника (АГДП) следующий. Опущенный за борт поискового судна пробоотборник под действием собственного веса устремляется вниз (на дно). Вертикальная траектория падения грейферным ковшом вниз обеспечивается баллоном для газов, который в спущенном состоянии в разрезе имеет крестообразную форму - стабилизатор (Рисунок – 5.3). Такую форму обеспечивают четыре упругие металлические (полимерные) дуги, растягивающие оболочку баллона и четыре резиновых жгута, прижимающих ее к вертикальному пустотелому штырю - стойке (Рисунок – 5.2). Для предотвращения опрокидывания грейферного пробоотборника и обеспечения строго вертикального опускания его на дно в надувном баллоне оставляют немного газа с давлением близким к атмосферному. При погружении АГДП давление воды действует на баллон, уменьшает его объем и общее сопротивление движению. Остаток газа в баллоне создает его положительную плавучесть в воде, максимально смещает центр тяжести пробоотборника вниз и исключает отклонение от первоначально заданной вертикальной траектории. Для уменьшения общего сопротивления падению и снижения величины сноса подводными течениями подпружиненные крышки верхней части ковша удерживаются в открытом состоянии напором воды [113].

При ударе о дно створки грейфера 1 расходятся и через тяги-кулисы 14 передают движение жестким тягам 13, смещающимся вниз (Рисунок – 5.2 а, б). Тяги соединены с горизонтальной съемной балкой 16 и через нее с регулируемым наконечником 17 штока 6 поршня 5. Движение передается на поршень и тот раздавливает ампулы с химреактивами. Дополнительное усилие поршень получает и за счет инерции, так как он состоит из двух частей, нижняя из которых не имеет уплотнения и свободно скользит в цилиндре 4 (на

Рисунок – 5.2 разъем не показан). Он снабжен небольшим штоком, свободно входящим в основной пустотелый шток 6, что обеспечивает его соосность с передаваемым усилием от жестких тяг, но не препятствует движению за счет инерции. Верхняя часть поршня имеет уплотнительные поршневые кольца, аналогичные применяемым в двигателях внутреннего сгорания. Уплотнение штока с цилиндром обеспечивается съёмными кольцами из отоженной меди (на Рисунок – 5.2 не показано) [113].

После начала химической реакции в рабочей камере цилиндра начинает расти давление, перемещая поршень со штоком вверх. Тяги через кулисы закрывают грейфер, зачерпывая пробу породы на дне. Поршень, достигнув верхнего положения и обеспечив закрытие ковша грейфера, открывает перепускные отверстия с лепестковыми клапанами к гибким газопроводам, соединяющим рабочую камеру цилиндра с подъемным баллоном. Величина хода поршня $l_{\text{п}}$ соотнесена с величиной хода тяги $l_{\text{т}}$ ($l_{\text{п}} = l_{\text{т}}$), что обеспечивает надежное черпание и закрытие ковша и последующее заполнение подъемного баллона. Избыточное давление газов надувает баллон и обеспечивает всплытие пробоотборника. Ковш в закрытом состоянии удерживается остаточным давлением газов в цилиндре [113].

Крышки при касании грейфером дна закрываются и при всплытии пробоотборника находятся в закрытом состоянии, что предотвращает вынос мелких частиц из ковша и исключает загрязнение толщи воды донными отложениями. В верхней части баллона имеется прикрепленная к штырю петля для поднятия пробоотборника на судно-сборщик и предохранительный клапан, стравливающий лишний газ по мере всплытия и снижения гидростатического давления воды. Пробоотборник также снабжен сигнальным устройством (маячком), облегчающим поиск геологоразведочным судном (ГРС) АГДП в открытом море [113].

На основании вышеизложенного можно констатировать, что геологическое строение дна Южно-Китайского моря в целом отображает геологию дна окраинных морей Мирового океана - основной объем рыхлых отложений сосредоточен в понижениях рельефа и в районах впадения рек, а более плотные породы приурочены к склонам подводных гор [52, 77, 80, 81, 98, 113].

Разработанный нами пробоотборник можно использовать для самых разных целей, включая сбор проб осадочных пород на континентальном шельфе, для разведки россыпей, отбор проб глубоководных отложений, железомарганцевых конкреций на больших в глубинах и железомарганцевых пород на подводных горах [113].

Опробование плотных залежей возможно лишь аппаратами с высокими усилиями резания грунтозаборными механизмами. Неуправляемые автономные пробоотборники – дночерпатели применимы лишь для I-III категорий пород по буримости, т.е. от илов,

алевритов и песков до супесей, суглинков и глин с содержанием щебенистого материала до 20% [87, 91, 113].

Глубина забора используемых дночерпателей в среднем составляет 0,3-0,4 м с площадью захвата (пробоотбора) от 0,1 до 0,5 м². Предлагаемая конструкция пробоотборника с силовым внедрением грунтозаборного органа в дно моря позволяет производить черпание пород значительно более крепких и в больших объёмах, в том числе с разрушением корковых залежей. Усилие резания регулируется объемом цилиндра (4), давлением в нем и размерами створок грейфера (1). Грейфер может оборудоваться съёмными зубьями различной конфигурации и размеров в зависимости от вида и крепости опробуемого массива. Кроме того, обеспечивается увеличение глубины черпания до 0,5 ÷ 0,8 м и поднимаемой массы с первых десятков до сотен килограммов [92, 93, 113].

Следует отметить, что предлагаемым устройствам можно точно отбирать пробы в заданных местах, которые будут нести много важной информации о руде. Кроме этого, этот пробоотборник даёт возможность получения образцов с поверхности морского дна для оценки биоразнообразия района исследования [113].

Основными преимуществами разработанного газодинамического пробоотборника по сравнению с типовыми автономными самовсплывающими устройствами заключаются в следующем:

- нет потерь балластных грузов, обеспечивающих зачерпывание грунта [113];
- наличие откидывающихся подпружиненных крышек обеспечивает большую скорость погружения, а при подъёме препятствует выносу мелких частиц, что значительно повышает достоверность пробы [113];
- баллон-стабилизатор обеспечивает строго вертикальную траекторию погружения и предотвращает снос пробоотборника от расчетной точки опробования [113];
- газодинамическое давление, передаваемое через рычаги и тяги на створки ковша, в разы увеличивает усилие резания, что позволяет отбирать пробы грунтов повышенной плотности и крепости [113];
- возможность регулирования усилия резания позволяет значительно сузить типоряд пробоотборников, применяемых для изысканий в различных частях морского дна [113];
- обладает широким диапазоном глубин опробования, повышенной глубиной черпания и большим объемом пробы, что обеспечивается возможностью регулировки давления газов, объема эластичного подъемного баллона и сменными ковшами [113].

Увеличение глубины пробоотбора позволяет также производить забор конкреций в тех местах, где они соскользнули со склонов в результате тектонической деятельности и были погребены иловыми донными отложениями [113].

При этом состав отложений, которые будут сопровождать конкреции, должен также изучаться для определения физико-механических, физико-химических свойств, геотехнических условий и оценки возможного воздействия на окружающую среду вследствие последующих разработок. При опробовании железомарганцевых корок разработанный аппарат может обеспечить отделение рудных корок от поверхности подстилающей твердой породы [93, 94, 113].

Схема опробования выбирается в зависимости от предполагаемого типа разведываемой залежи, рельефа дна, глубины моря и т.п. и производится по одной из общепринятых схем: контурной, треугольной и линейной. При необходимости и для повышения достоверности опробывания производится сгущение сетей по разработанным авторами схемам [113].

При изыскании кассетным тралом можно собрать большой объем пробы, но возникают сложности при определении точного места пробоотбора и последующего оконтуривания залежи из-за сноса всплывающей ёмкости. Поэтому целесообразно совмещение отбора проб газодинамическим пробоотборником и кассетным тралом, попеременно по схемам разрабатываем с учётом специфики разведываемых залежей [113].

5.4. Разработка и обоснование основных параметров поисковых работ применительно к условиям Вьетнамского моря

Границы потенциально перспективных участков, выделенных аналитическим путем при районировании, уточняются в процессе дальнейших поисково-оценочных работ. В этих целях предлагается использовать разработанный нами пробоотборник в комплексе с кассетным тралом или цепной драгой. Два последних устройства обеспечивают крупнообъемный отбор проб.

Работы производятся в несколько этапов следующим образом. (Показана очередность на примере усредненного участка примерной площадью $S=90\div 100$ т.км², длиной периметра L около 1500 км и глубиной моря от 3500 м до 4000 м, приведенного на Рисунок – 5.4).

I этап. На основе классификационных признаков производится районирование дна изучаемого участка моря и устанавливаются аналитически определенные предварительные границы перспективного участка (Рисунок – 5.4 а).

II этап. На этом этапе определяется фактическое наличие залежей ЖМО на территории перспективного участка. С этой целью производится опробование с

маневрированием поисково-разведочного судна (ПРС) и судна-сборщика (СС) по модифицированному линейному способу. Общее направление движения судов поперек продольной (длинной) оси прогнозного участка (Рисунок – 5.4 а).

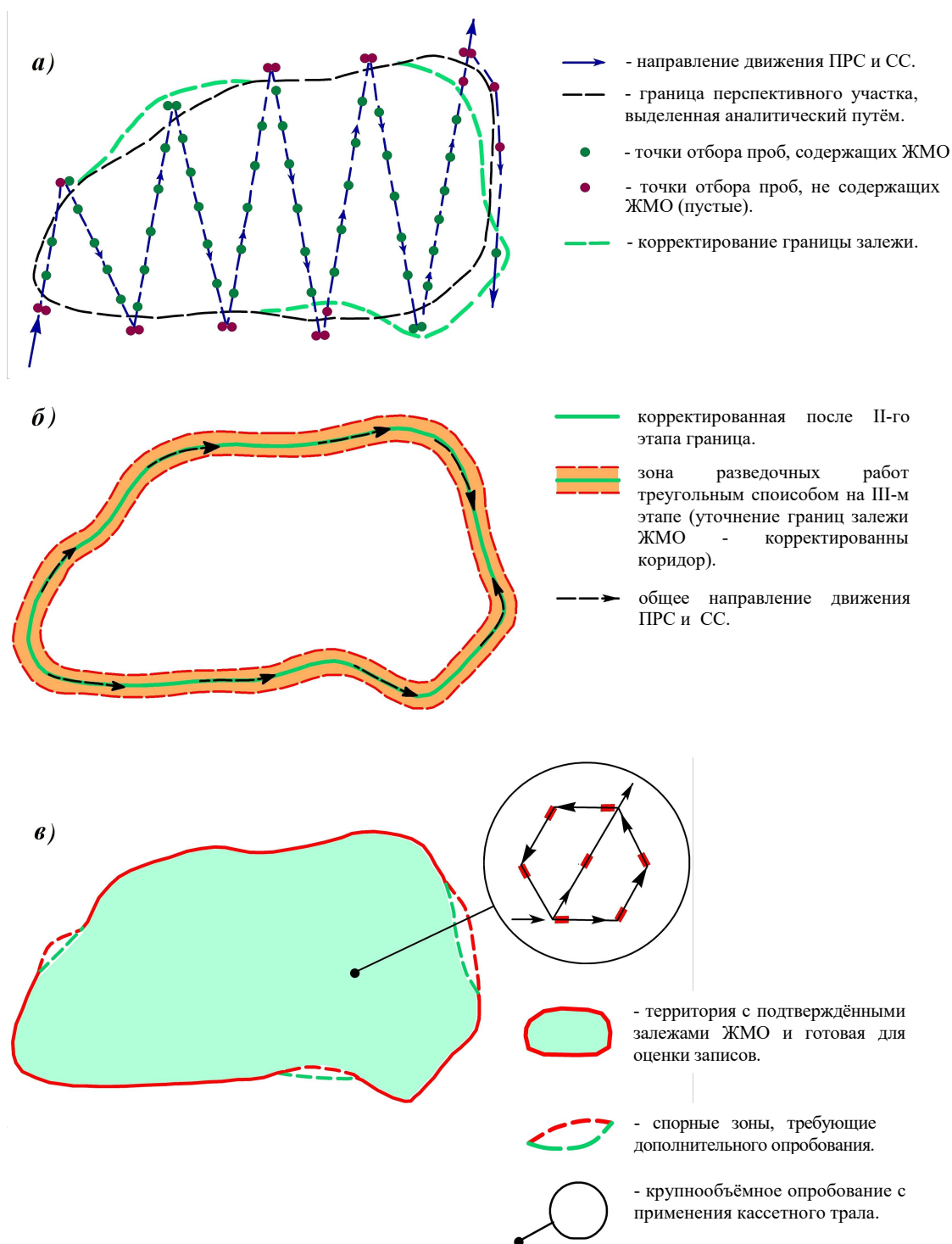


Рисунок – 5.4. Принципиальная схема оконтуривания и поисково-оценочных работ перспективного участка.

С целью сокращения времени на первоначальное опробование представляется целесообразным увеличить расстояние между точками забора проб от 3÷4 км до 20÷30 км. Для повышения достоверности каждая заходка ПРС выходит за аналитическую границу на 2÷4 км и в этих пунктах опускается на два пробоотборника (Рисунок – 5.4 а).

Местоположение ПРС во время сброса пробоотборника регистрируется судовой навигацией, каждый ПО имеет свой номер и сигнальную систему. Время спуска и подъема, а также номер и координаты заносятся в судовой журнал и в компьютер.

III этап. По результатам первоначального анализа проб производится корректировка границ залежи ЖМО (Рисунок – 5.4 б). В случае, если обе внешние пробы на каком-либо галсе оказываются положительными, граница потенциально рудоносного района переносится за место пробоотбора наружу приблизительно на 2 км. Если внешние пробы и ближайшая на этом галсе пустые, то граница сдвигается внутрь. Скорректированная граница служит осью направлением общего движения ПРС по продольно-треугольной схеме с целью окончательного корректирования границ оконтуривания залежи (Рисунок – 5.4 б и Рисунок – 5.5). Судно маневрирует в коридоре шириной 6÷8 км, осью которого является скорректированная после II-го этапа граница.

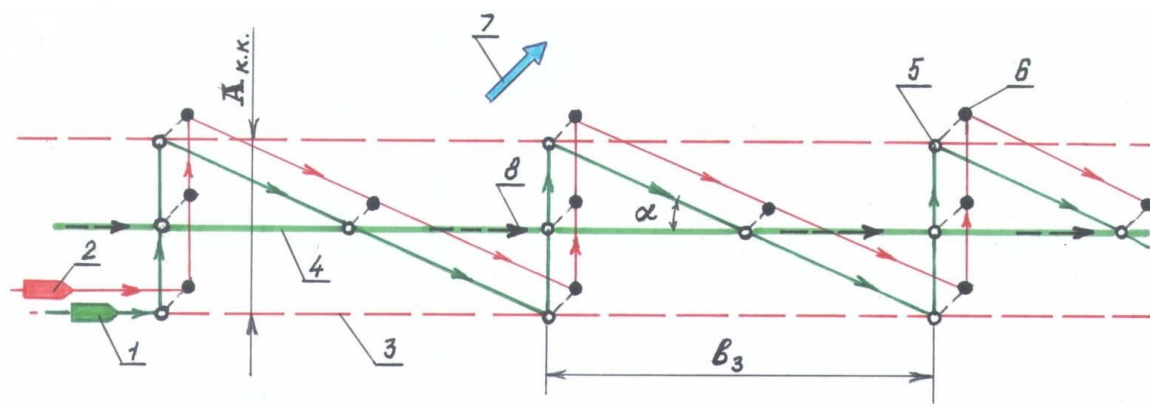


Рисунок – 5.5. Принципиальная схема к усредненным расчетам временных затрат и плотности опробования при оконтуривании прогнозного участка

1 – поисково-разведочные судно; 2 – судно-сборщик; 3,4 – граница и ось корректировочного коридора; 5 – точки сброса ПО; 6 – точки сбора ПО; 7 – направление течения; 8 – общее направление движения судов

Треугольный способ маневрирования при оконтуривании (уточнении границ) в данных условиях является наиболее оптимальным. Общее направление движения по границе залежи корректируется с учетом волн и поверхностных течений, которое в исследуемом районе имеет направление.

При классической схеме спуск автономных пробоотборников осуществляется по углам равностороннего треугольника со стороной 6÷8 км. Дополнительно на одной из сторон отбирается 4-я проба, обратным ходом ПРС они собираются. Приблизительно за 10 часов отбирается 8 проб за два цикла маневрирования. Скорость судна-сборщика составляет около 3 узлов (~5,6 км/ч), скорость ПРС зависит от многих факторов, но может достигать 10÷15 узлов (~18,5÷27,8 км/ч).

Данная схема и исходные данные для расчетов выбирались исходя из двух основных условий – минимизации временных затрат и достаточной достоверности проводимых изысканий. Первое условие диктуется необходимостью проведения оконтуривания в течение одного сезона (одной экспедиции). Учет множества факторов как природного, так и технического характера, а также опыт проведения подобных работ показывает, что рабочее время опробования в сезон может составлять 400-600 часов. Достоверность достигается при минимуме 4 пробы на 100 км². Поэтому конечной целью являлись разработка алгоритма расчетов, определение геометрических параметров курса движения ПРС и обоснование его скорости.

Нами произведены ориентировочные расчеты временных затрат при ширине корректировочного коридора (зоны) (Рисунок – 5.5):

- $A_{к.к.}=6,0$ км (площадь опробования $S=9,0$ т.км²);

- $A_{к.к.}=8,0$ км (площадь опробования $S=12,0$ т.км²),

и скоростях движения ПРС $v=5$ км/час; 10 км/час; 15 км/час; 20 км/час; 25 км/час.

Обязательным условием при этом является одно или два судна-сборщика (в зависимости от v). При этом на каждую заходку длиной b_3 по оси общего перемещения судна сбрасывается четыре АПГД: три поперек зоны разведочных работ и один – на скорректированной после II-го этапа границе (Рисунок – 5.4 а,б, Рисунок – 5.5).

Для сокращения времени на корректировку границы залежи угол α (склонение) уменьшается, что сокращает время на маневрирование и количество заходов. Увеличение угла α повышает достоверность исследований. На практике в зависимости от обстоятельств значение угла α можно менять на различных участках разведочных работ.

Количество заходов определяется из выражения:

$$n_3 = \frac{L}{b_3},$$

где L - длина периметра исследуемого района, км;

b_3 - длина одного обследуемого участка, км;

$$b_3 = \frac{A_{к.к.}}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Расстояние (галс), проходимое ПРС в пределах одного участка (заходки):

$$l_z = A_{к.к.} \left(1 + \frac{l}{\sin \alpha}\right), \text{ км}$$

При определении продолжительности времени опробования учитывалось чистое время движения ПРС при оконтуривании T и время T_T с учетом коэффициента использования рабочего времени (КИРВ принят равным 0,65). КИРВ учитывает время на маневрирование, вспомогательные работы, непроизводительные потери времени и т.д. Расчеты ориентировочные, не учитывают тип судов, погодные условия, уровень организации и многие другие факторы, однако могут служить основой для планирования поисково-разведочных работ на конкретном участке.

Результаты расчетов представлены в таблицах 5.1 и 5.2. Характерно то, что временные затраты при различной ширине коридора (зоны) корректировки практически равны; небольшое увеличение времени опробования наблюдается лишь при угле $\alpha=5^\circ$ ($A_{к.к.}=8$ км).

Как уже отмечалось выше, длина периметра принятого для расчетов участка $L \cong 1500$ км, следовательно площади обследуемых при оконтуривании участков составят:

$$S_{01} = L \cdot A_{к.к.} = 1500 \times 6 = 8 \text{ т.км}^2;$$

- при $A_{к.к.}=8$ км:

$$S_{02} = 12 \text{ т.км}^2.$$

Так как при каждой заходке опускается $n_n=4$ пробоотборника, то площадь обследуемого морского дна, приходящаяся на одну пробу составит:

$$S'_l = \frac{S_o}{n_z \cdot n_n}, \text{ км}^2.$$

На основании приведенных выше формул был построен график зависимости опробуемой площади от склонения и ширины коридора для одной заходки $S'=f(\alpha, A_{к.к.})$.

Площадь определялась по выражению: $S' = \frac{A_{к.к.}^2}{\operatorname{tg} \alpha}$, км.

Таблица – 5.1 Определение продолжительности опробования при оконтуривании залежи ($A_{к.к.}=8,0$ км)

Скорость движения ПРС v , км/час	Время оконтуривания, час									
	$\alpha=5^\circ$		$\alpha=10^\circ$		$\alpha=15^\circ$		$\alpha=20^\circ$		$\alpha=30^\circ$	
	T	T_T	T	T_T	T	T_T	T	T_T	T	T_T
5,0	237,38	540,17	357,5	589,89	390,97	645,1	428,44	706,93	519,61	857,36
10,0	163,69	270,08	178,75	294,94	195,49	322,55	214,22	353,46	259,81	428,68
15,0	109,12	180,06	119,17	196,63	130,32	215,03	142,81	235,64	173,2	285,79

Скорость движения ПРС v , км/час	Время оконтуривания, час									
	$\alpha=5^0$		$\alpha=10^0$		$\alpha=15^0$		$\alpha=20^0$		$\alpha=30^0$	
	T	T _г	T	T _г	T	T _г	T	T _г	T	T _г
20,0	81,84	135,04	89,38	147,47	97,74	161,28	107,11	176,73	129,9	214,34
25,0	65,47	108,03	71,5	117,98	78,19	129,02	85,69	141,39	103,92	171,47

Таблица – 5.2. Определение продолжительности опробования при оконтуривании залежи ($A_{к.к.}=6,0$ км)

Скорость движения ПРС v , км/час	Время оконтуривания, час									
	$\alpha=5^0$		$\alpha=10^0$		$\alpha=15^0$		$\alpha=20^0$		$\alpha=30^0$	
	T	T _г	T	T _г	T	T _г	T	T _г	T	T _г
5,0	322,98	532,9	357,49	589,86	390,94	645,05	428,45	706,94	519,62	857,37
10,0	161,49	266,46	178,74	294,93	195,47	322,53	214,22	353,47	259,81	428,68
15,0	107,66	177,64	119,16	196,63	130,31	215,02	142,82	235,65	173,21	285,79
20,0	80,74	133,23	89,37	147,46	97,74	161,26	107,11	176,73	129,9	214,34
25,0	64,6	106,58	71,5	117,98	78,19	129,01	85,69	141,39	103,92	171,47

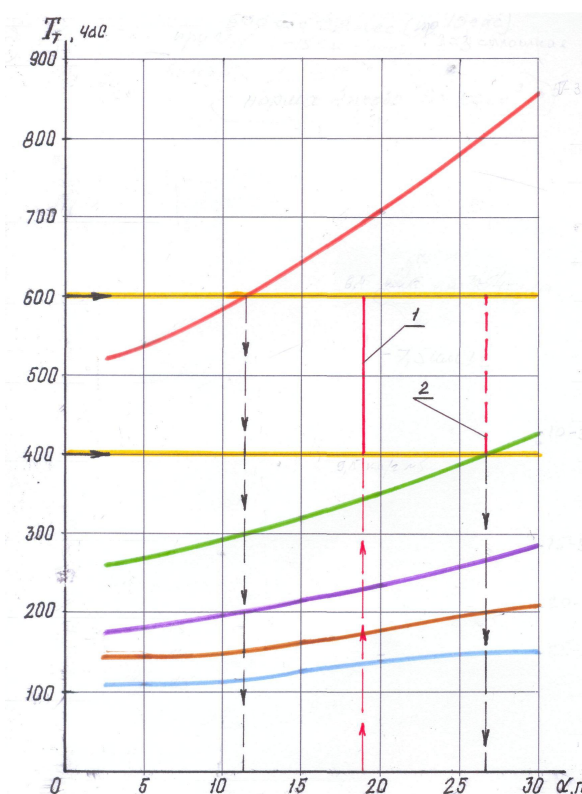


Рисунок – 5.6. Графики зависимости времени опробования от скорости движения

ПРС, склонения и ширины коридора $T_g=f(v, \alpha, A_{к.к.})$:

- $V = 5$ км/ч
 — $V = 10$ км/ч
 — $V = 15$ км/ч
- $V = 20$ км/ч
 — $V = 25$ км/ч
- == границы задаваемого временного отрезка

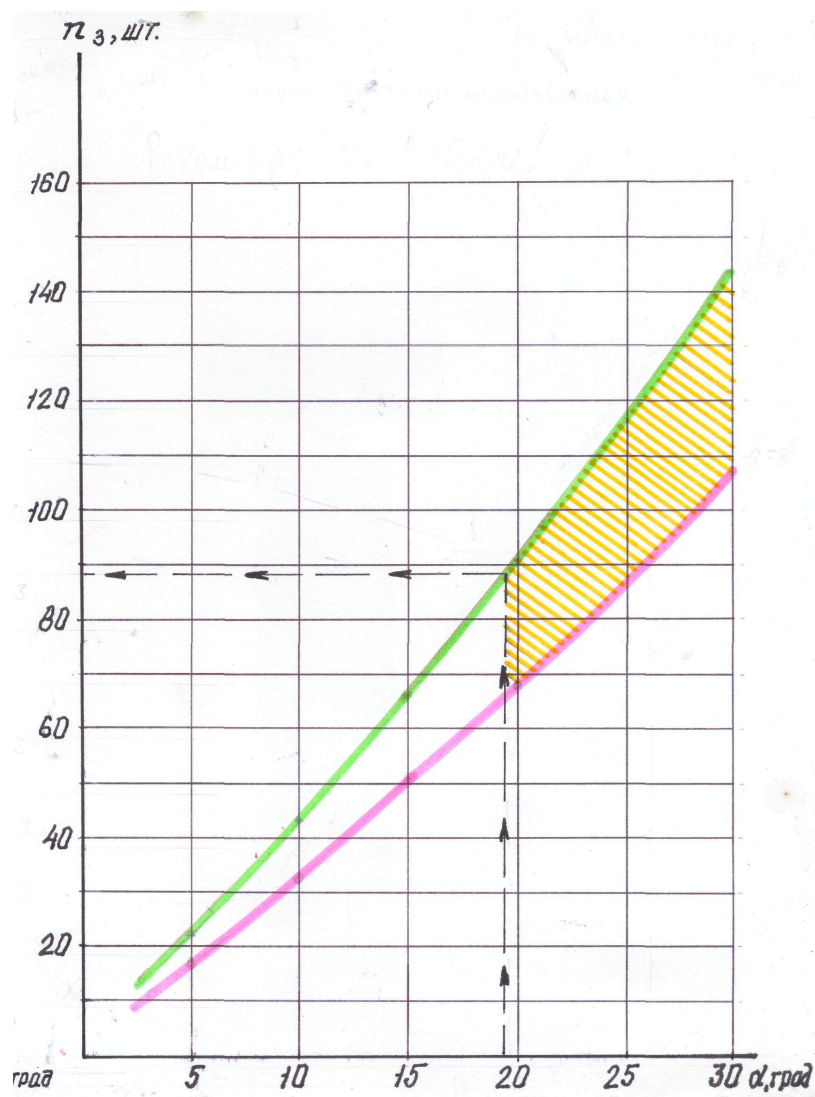


Рисунок – 5.7. Графики зависимостей количества заходок (галсов) ПРС от склонения и ширины коридора $n_3=f(\alpha, A_{к.к.})$

- $A_{к.к.}=6,0$ км
- $A_{к.к.}=8,0$ км
- ▨ границы задаваемого временного отрезка

Таблица – 5.3. Определение площади опробования на одну заходку (галс)

Ширина корректиров оч-ного коридора $A_{к.к.}$, км	Площадь опробования S' , км ²					
	$\alpha=5^0$	$\alpha=10^0$	$\alpha=15^0$	$\alpha=20^0$	$\alpha=30^0$	$\alpha=35^0$
$A_{к.к.}=6,0$ км	411,48	204,16	134,35	98,91	62,35	56,43
$A_{к.к.}=8,0$ км	731,52	362,96	238,9	175,84	110,88	91,43

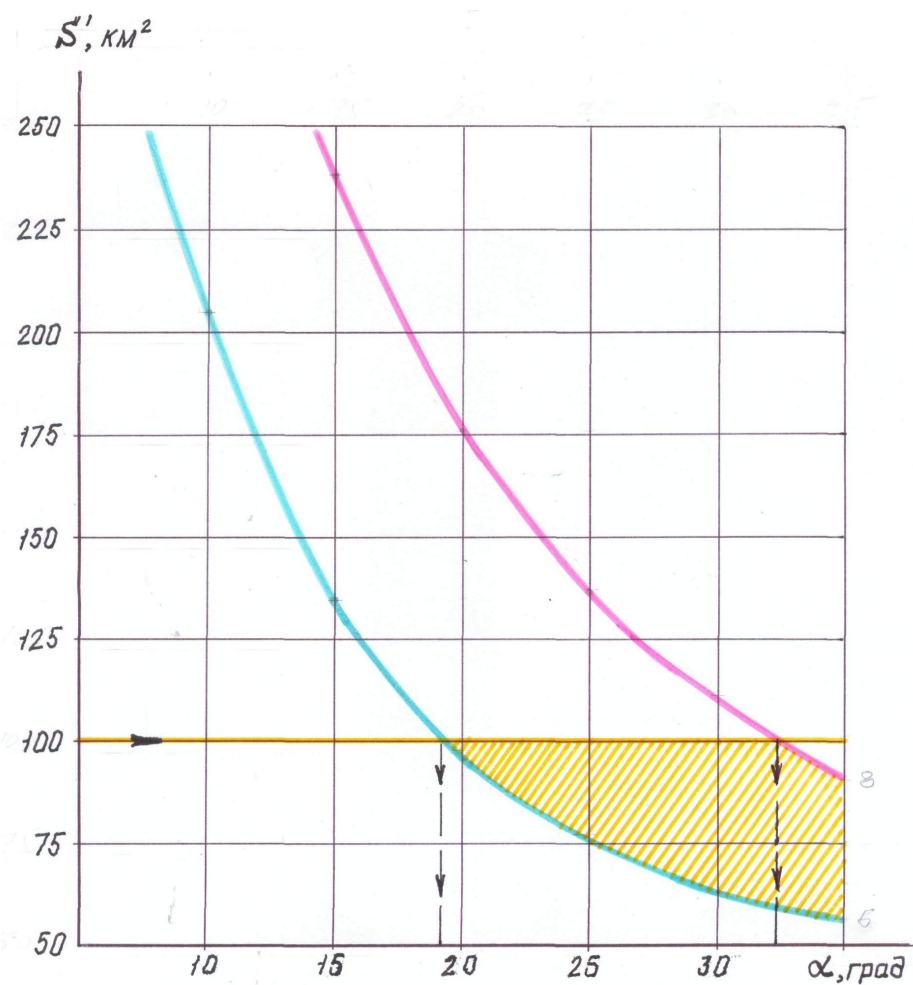


Рисунок – 5.8. Графики зависимости площади опробования от склонения и ширины
корректировочного коридора $S'=f(\alpha, A_{к.к.})$

- $A_{к.к.}=6,0$ км
- $A_{к.к.}=8,0$ км
- границы задаваемого временного отрезка

На графике $S'=f(\alpha, A_{к.к.})$ видно, что требуемую плотность опробования в принятом нами диапазоне ширины корректировочного коридора обеспечивает склонение ПРС на галсах при $\alpha \cong 18^\circ \div 32^\circ$. Эта зона на Рисунок – 5.8 заштрихована желтым цветом. В то же время согласно расчетам и графику на Рисунок – 5.7 $\alpha > 18^\circ$ количество заходов (галсов) начинает резко расти (зона заштрихована), следовательно, возрастает и общая продолжительность поисково-разведочных работ. Графики, отображенные на Рисунке – 5.6-5.8 свидетельствуют, что в рабочем временном диапазоне 400-600 час и при практических скоростях ПРС $v=5 \div 10$ км/час, склонение изменяется в пределах $\alpha=12^\circ-27^\circ$.

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что при заданных условиях склонение разведочного судна при галсах должно быть равно $\alpha=180$ (Рисунках – 5.6 - 5.8).

При таких условиях маневрирования соблюдаются основные условия – достоверность изысканий при оптимизме временных затрат.

В рассматриваемом в качестве примера диапазоне № 1 (на Рисунке – 5.6 он отмечен красной сплошной чертой) скорость ПРС составляет $v_1 \cong 9,2$ км/ч (приблизительно 5 узлов) при $T_T=400$ час и $v_2 \cong 6,4$ км/ч ($\sim 3,5$ узла) при $T_T=600$ час. Если необходимо увеличить плотность опробования, а следовательно и достоверность изысканий при том же временном диапазоне, рассматриваемая шкала сдвигается вправо. Например, при $\alpha=270$ (на Рисунке – 5.6 пунктир красного цвета – диапазон № 2) скорости судна составят $v_1=10$ км/ч ($\sim 5,4$ узла) и $v_2=7,5$ км/ч (~ 4 узла).

Эти графики позволяют планировать количество проб, плотность опробования, определять расстояния маневрирования, расход топлива, трудозатраты и т.п.

5.5. Общая оценка экологических последствий геологоразведочных и добычных работ

Любые горные разработки оказывают существенное влияние на природное экологическое равновесие, формируя техносферу. Освоение континентальных месторождений полезных ископаемых привело в горнодобывающих районах к преобразованию ландшафта, изменению гидрогеологических режимов поверхностных и подземных вод, воздействовало на состав и режимы воздушных потоков, оказало отрицательное влияние на биоту. Зачастую в районах проведения горных работ флора и фауна уничтожаются на больших территориях (десятки и сотни гектар).

Последнее время масштабы и темпы негативного экологического воздействия возрастают в связи с увеличением глубины разработок, вовлечения в передел больших объемов бедных полезных ископаемых, расширения перечня извлекаемых полезных компонентов и т.п.

Эти факторы в комплексе с множеством других активизируют работы в области освоения морских месторождений.

Экологические последствия добычи полезных ископаемых в акваториях довольно неоднозначны, а авария в Мексиканском заливе при добыче нефти компанией «Бритиш Петролеум» 20 апреля 2010 года вообще чуть не поставила крест на самой идее разработки морских месторождений [28].

Международная океанографическая комиссия ЮНЕСКО еще в прошлом столетии приняла определение, в соответствии с которым под загрязнением моря понимается введение в морскую среду веществ или энергии, приводящее к вредным или необратимым последствиям, наносящим ущерб живым ресурсам и здоровью людей, созданию помех

деятельности морских организмов, ухудшению качества морской среды и нарушению элементов системы «океан-атмосфера». Осознавая ответственность перед будущими поколениями за сохранность окружающей природной среды в целом и экологии Мирового океана и, в частности ЮКМ, Вьетнам принял целый ряд Законов и Постановлений. К ним относятся:

- Закон о морском праве (2012 г.);
- Закон о природных ресурсах, экологии моря и островах (2015 г.);
- Закон о защите окружающей среды (2020 г.);
- Постановление 1570/QD-TTg Премьер-министра Правительства СРВ об утверждении Стратегии устойчивого развития добычи и использования морских природных ресурсов и охраны морской среды на период 2020 г. и на перспективу до 2030г [135].

Соблюдение этих законодательных актов контролирует Министерство природных ресурсов СРВ [28].

Насколько же геологоразведочные работы и добыча ЖМО воздействуют на морскую среду? Все наиболее значительные особенности океанических вод связаны с количеством растворимых солей, соотношение которых между собой остается всегда постоянным. В водах Мирового океана обнаружены все цветные химические элементы и также их изотопы. Для планетарного обмена веществ весьма важно то обстоятельство, что хлористые соединения, преобладающие в океане, практически отсутствуют в реках [28].

Биологическая продуктивность океанической среды зависит от интенсивности поглощения фитопланктоном питательных соединений и скоростью их поступления в зону фотосинтеза. Восполнение биогенных продуктов происходит за счет поступления их с речным стоком, разрушением берегов и выносом из глубин океана в местах подъема вод. Недостаток растительной пищи влечет к ограничению размножения зоопланктона, рыб и других морских животных [28, 141,152].

Содержание кислорода определяется интенсивностью развития физических и биологических процессов. К первым относится газообмен между океаносферой и атмосферой, а также перенос кислорода водными массами, ко вторым - выделение кислорода при биохимических процессах [28].

В низких широтах, где концентрация кислорода в поверхностных водах невелика, количество его с глубиной быстро понижается. Минимальное содержание отмечается в пограничном слое, разделяющем поверхностную и промежуточную структурные зоны, а также в верхней части последней, количество кислорода здесь падает от 0,5-10 литров (10-20% насыщения) [28, 153]. Причину образования столь малых его концентраций можно

видеть в том, что вертикальный обмен в низких широтах относительно ограничен. Перенос вод является главным фактором, определяющим содержание кислорода в глубинных и придонных водных массах, а, следовательно, и всех видов загрязнений. В соответствии с особенностями их перемещения количество кислорода в Атлантическом океане понижается с севера на юг, а в Индийском и Тихом океанах - в обратном направлении, причем в Атлантическом океане глубинные придонные воды насыщены кислородом в 1,5-2 раза больше, чем в Тихом. Даже в придонном слое отличается высокая концентрация кислорода, достигающая до 40-70 процентов насыщения [153]. Тем самым обеспечиваются активные окислительные процессы и развитие жизни во всей толще вод Мирового океана от поверхности до дна.

Следовательно, в Южно-Китайском море в придонном слое концентрация кислорода невысока, а вертикальное перемещение водных масс практически не происходит, что значительно сокращает ареал распространения мути при донных грунтозаборах.

Дополнительным экологическим ограничением развития горных океанических разработок в тропической зоне является то, что она является наиболее продуктивной с биологических позиций. В первую очередь это коралловые рифы сублиторали и приливно-отливная зона, протянувшаяся вдоль всего побережья. Гидробиологические исследования этих зон проводились с 50-х годов прошлого столетия (П.Фишер), советско-китайскими и советско-вьетнамскими экспедициями (программа «Южно-Китайское море», НИС «Академик А.Несмеянов» и др.) по настоящее время.

Проблемами природопользования в Тихоокеанском регионе (в том числе и в Южно-Китайском море) является рост и расширение экологических ситуаций в прямой зависимости от роста эффективности и интенсивности ресурсопользования. В области морепользования экологическая взаимосвязь должна учитывать весь комплекс освоения пространства акваторий: от прибрежного туризма и рыболовства до промышленного освоения дна и водных транспортных путей.

Следовательно, морские природные комплексы не могут рассматриваться только как источник природных ресурсов, но и как условия сохранения воспроизводственного потенциала экосистем. То есть необходимо выделение ассимиляционной составляющей природного потенциала, в частности по восстановлению не только биоразнообразия, но и ландшафта и качества природной среды.

Учитывая вышеизложенное и анализируя данные о состоянии окружающей среды во Вьетнаме, основными загрязнителями моря являются:

- впадающие в него загрязненные реки – на территории республики в море впадает больше 100 рек, большинство из них загрязненных (особенно Кау,

Дай, Тхивай); причиной этому являются добыча полезных ископаемых в верховьях рек, стоки с полей, сбросы сточных вод множества городов и поселений по берегам;

- пластиковые отходы – активно развивающаяся туристическая отрасль Вьетнама кроме доходов в ВВП приносит огромный экологический вред в виде отходов из пластика (СРВ входит в пятерку стран – лидеров по загрязнению моря мусором), переформированию береговой полосы, сбросов от туристических и развлекательных комплексов и т.п.;
- морская добыча углеводородов – в морской акватории Вьетнама расположено более 340 буровых скважин, загрязняющих воду нефтью, жидкими отходами бурения и жизнедеятельности, твердыми веществами (по оценкам экологов более 5600 т загрязняющих твердых веществ ежегодно);
- трансграничное загрязнение – утечки горючего и сбросы подсланевых вод с множества иностранных судов, проходящих по морским маршрутам, протягивающихся вдоль берегов Вьетнама; тайные сбросы загрязнителей или сточных вод от зарубежных компаний, построивших промзоны и предприятия экспортного производства и не соблюдающие требования по очистке;
- действия Китая, который в последние 10 лет старается монополизировать ЮКМ – засыпает коралловые рифы и мели в районе Парасельских островов и архипелага Спратли с целью создания искусственных островов и возведения на них различных сооружений.

Опыт показывает, что наибольший негативный экологический эффект наносят разработки полезных ископаемых в прибрежной зоне и шельфе.

Геоэкологические последствия, которые следует учитывать при добыче в прибрежной зоне и мелководной части шельфа Вьетнама:

- Горно-геологические явления в прибрежных районах, такие как оползни и эрозия, уничтожающая почвы.
- Экосистемы в районе добычи полезных ископаемых и прилегающих районах нарушаются. Среда обитания поверхностных организмов морского дна исчезает вследствие забора материала или погребения отложениями после добычи полезных ископаемых.
- Аквакультура и аквакультурная деятельность серьезно страдают от мутности морской воды.
- Осложняется деятельность в области морского экотуризма.

- При глубине разработок до 10 м необходимо оценить влияние волновой активности, на глубине 30 м – влияние приливных течений и донных течений.

Экологический ущерб от добычи твердых специфических глубоководных полезных ископаемых в полной мере определить пока не удаётся. В первую очередь это объясняется тем, что еще нигде в Мировом океане не организована их масштабная добыча в промышленных объемах, сравнимой с нефте- и газодобычей.

Однако обязательным условием организации такой добычи должна быть разработка природоохранных мероприятий, включающей как минимум следующие этапы [40]:

- 1) Изучение фоновых показателей водной среды, донных отложений и биоты с составлением карт районов образования; выбор эталонных неразрабатываемых участков для сравнительного мониторинга.
- 2) Определение (изучение) допустимых уровней загрязнения; прогноз последствий.
- 3) Постоянный мониторинг морской среды по всем показателям.
- 4) Определение наиболее уязвимых в экологическом отношении участков и разработка мер по предотвращению или минимизации ущерба ОПС [40].

В то же время необходимо отметить, что организация геологоразведочных работ по предлагаемой схеме и с использованием разработанного нами оборудования предельно минимизирует негативное экологическое воздействие на морскую среду. Конструкция разработанного автором пробоотборника исключает загрязнение водной среды при заборе грунта и всплывании, а его использование в комплексе с кассетным тралом для крупнообъемного опробования сокращает масштабы поисково-разведочных работ за счет повышения достоверности опробования и, следовательно, сокращает масштабы техногенного воздействия.

Оценивая площади нарушенного рельефа морского дна, то разведочные и даже глубоководные добычные работы на несколько порядков ниже, чем площади нарушенных земель при разработках на суше или морской добыче углеводородов. Они также значительно меньше чем в туристической отрасли или при траловой добыче донных и придонных морепродуктов.

ВЫВОДЫ

Южно-Китайское море и особенно внутренние воды Вьетнама перспективны для поиска и разведки месторождений твердых полезных ископаемых.

Применяемые при морских поисковых работах методы и оборудование дали незначительный предварительный материал, обосновывающий наличие в донных образцах железа, марганца, других цветных металлов и РЗЭ.

Для интенсификации опробования и повышения его достоверности разработан автономный самовсплывающий пробоотборник газодинамического принципа действия, позволяющий отбирать образцы не только рыхлых, но и плотных (более III категории по буримости) пород.

Энергия расширяющихся в рабочем цилиндре газов выполняет две функции: приводит в движение грунтозаборный механизм, обеспечивая отбор пробы, и наполняет подъемный баллон, доставляющий ее на поверхность моря.

Область применения устройства очень широка: его можно использовать при сборе проб отложений различного типа на континентальном шельфе и в глубоководных районах, железомарганцевых конкреций на глубоководных равнинах (абиссальных) и железомарганцевых корок на подводных горах и плато.

Разработанные схемы опробования и проведенные расчеты позволили построить зависимости, позволяющие оптимизировать этот процесс и определить его технические характеристики.

Организация морской добычи твердых полезных ископаемых должна сопровождаться комплексом природоохранных мероприятий, включающем предложенные этапы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная научная задача инженерно-геологического обоснования перспектив освоения месторождений железомарганцевых образований и других твердых полезных ископаемых в Южно-Китайском море путем зонирования морского дна по разработанным классификационным критериям, что является важным для эффективного промышленного освоения минеральных ресурсов в исключительной экономической зоне Вьетнама.

Основные научные результаты, полученные лично соискателем:

1. Проведен многокритериальный многофакторный анализ перспектив образования в экономической зоне Вьетнама в Южно-Китайском море железомарганцевых руд и других твердых полезных ископаемых.

2. Установлено, что железомарганцевые образования в морской зоне Вьетнама представлены корками и конкрециями со средним содержанием в них полезных элементов $Fe = 16,45\%$, $Mn = 9,94\%$, $Co = 0,056\%$, $Ni = 0,191\%$, $Cu = 0,0254\%$, $\Sigma PЗЭ = 0,0162 - 0,0781\%$, в среднем $0,0364\%$. Возраст железомарганцевых руд определялся по возрасту подводных гор в этом районе, возраст базальтов в глубоком море составляет от 13,95 миллионов лет до 3,49 миллионов лет, а на континентальном шельфе - от 5,5 миллионов лет до настоящего времени. Доказано, что скорость роста руды на исследуемой территории составляет от 0,81 мм/млн лет до 14,42 мм/млн лет, что характерно для окраинных морей.

3. Установлено на основании определения генезиса руд по диаграмме Бонатти трех компонентов $Fe-Mn-(Co+Cu+Ni) \cdot 10$ и классификационной диаграммы М.Бау, основанной на соотношениях редких элементов, что железомарганцевые образования дна Южно-Китайского моря формируются по гидрогенетическому механизму.

4. Установлено, что железомарганцевые образования Вьетнамского моря проявляются в виде конкреций и корок, которые зарождались в основном по гидрогенетическому механизму в виде микроконкреций (включений) и сетей-цепочек.

5. Произведено зонирование Вьетнамского моря на основании обоснования комплекса квалификационных критериев для определения перспективных участков для поисковых работ.

6. На основании проведенного зонирования (районирования) выделено 2 группы строительных материалов и зоны россыпей со средним потенциалом на южно-континентальном шельфе площадью 28280 км^2 и 12770 км^2 на северном континентальном шельфе, а также 3 участка с высоким потенциалом на глубине 200-350 м общей площадью 2748 км^2 .

7. В результате зонирования (районирования) дна исключительной экономической зоны Вьетнама выделены 4 группы зон по квалификационным критериям для группы конкреций: зоны с высоким потенциалом, зоны со средним потенциалом, зоны с низким потенциалом и участки без потенциала образования и нахождения конкреций и для группы корок: зона с высоким потенциалом, зона со средним потенциалом и зона с низким потенциалом, а также выделена группа зон одновременного сосуществования конкреций и корок.

8. Разработана трехэтапная схема оконтуривания и поисково-разведочных работ на перспективных участках и установлены зависимости, позволяющие определить временно-технологические параметры опробования при планировании геологоразведочных работ.

9. Для проведения перспективных геологоразведочных работ разработан автономный самовсплывающий пробоотборник газодинамического принципа действия, позволяющий отбирать образцы не только рыхлых, но и плотных (более III категории по буримости) пород на континентальном шельфе и в глубоководных районах, железомарганцевых конкреций на глубоководных равнинах (абиссальных) и железомарганцевых корок на подводных горах и плато.

Список литературы

1. Резолюция № 36-NQ/TW (22 октября 2018 г.) «Стратегия устойчивого развития морской экономики Вьетнама до 2030 г., видение до 2045 г.»
2. Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. /Под ред. Г.Димова, Я.Малиновски, И.Бергии, И.Грамберга, В.Зыки/Интерморгео, Варшава, 1990, 756 с.
3. Козловский Е.А. Россия: минерально-сырьевая политика и национальная безопасность. - М.: Изд-во МГТУ, 2002. - 856 с.
4. Трубецкой К.Н. Современное состояние минерально-сырьевой базы и горнодобывающей промышленности России./ Горный журнал, 1995. № 1, с. 3-7.
5. ISA. Marine mineral resource, 2004.- 118 с.
6. Кеннет Дж. Морская геология. - М.: Мир, 1987. Т. 1. - 397 с.
7. Плотникова Е.В.(вып. ред.) Перспективы освоения минерально-сырьевых ресурсов континентального шельфа России и Мирового океана / Тематический сборник / Горный журнал. - 2012. № 3. - с. 4-92.
8. Сергеев П.А. Проблемы освоения морских нефтегазовых ресурсов: Сб. Мировой океан: Минеральные ресурсы Мирового океана, Арктики и Антарктики. — М.: 2001. Вып. 3.
9. Yasuhiro Kato, Koichiro Fujinaga, Kentaro Nakamura, Yutaro Takaya, Kenichi Kitamura, Junichiro Ohta, Ryuichi Toda, Takuya Nakashima & Hikaru Iwamori. Deep-sea mud in the Pacific ocean as a potential resource for rare-earth elements. Nature Geoscience volume 4, pages 535–539 (2011).
10. Steven D. Scott. Marine minerals: Their occurrences, exploration and exploitation. Conference: 19-22 September 2011. OCEANS'11 MTS/IEEE KONA.
11. United Nations. The first global integrated marine assessment world ocean: Assessment I. Cambridge university press. 2017. DOI:<https://doi.org/10.1017/9781108186148>
12. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В., Каширский А.С. и др. Оценка возможности вовлечения железомарганцевых месторождений морского дна в разработку. Ч. 1. Минерально-сырьевые ресурсы Мирового океана. - М.: Горная книга, ГИАБ, № 5, 2014. С. 134-142.
13. Peter A.Rona. The changing vision of marine minerals. Ore Geology Reviews. Volume 33, Issues 3–4, June 2008, Pages 618-666.
14. Yves Fouquet, Denis Lacroix. Deep marine mineral resources. Springer, 2014, 247p.

15. Дробаденко В. П., Вильмис А. Л., Луконина О. А. Маркелов С. В. Проблемы и перспективы освоения минеральных ресурсов дна морей и океанов // Горный журнал. - 2019. - № 11. - С. 44 - 49. DOI: 10.17580/gzh.2019.11.07.
16. В.П. Дробаденко, Малухин Г. Н., О. А. Луконина, И. Н. Салахов. Современное состояние проблем освоения твердых минеральных ресурсов дна морей и океанов / Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021; (3-1):99—109. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_99.
17. Андреев С.И., Голева Р.В., Юбко В.М. Экономические и геополитические аспекты проблемы освоения минеральных ресурсов Мирового океана. - М.: Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006, № 3. С. 72-78.
18. Железомарганцевые конкреции Мирового океана. Под ред. Ю.В.Казмина. - Тр. ВНИИОкеангеология, ПГО Севморгеология. Т. 192. М.: Недра, 1984.- 175 с.
19. Железомарганцевые конкреции Тихого океана. Под ред. Безрукова П.Л. - Тр. ПО АН СССР. Т. 109. М.: Недра, 1976. - 301 с.
20. Бутузова Г.Ю. Гидротермально-осадочное рудообразование в рифтовой зоне Красного моря. - М.: 1998.- 312 с.
21. Железомарганцевые конкреции центральной части Тихого океана. Под ред. И.О.Мурдман, Н.С.Скорняковой. - Тр. ИО АН СССР. Т. 122. М.: Наука, 1986. - 344 с.
22. Задорнов М.М., Романчук А.И., Болотов Л.А. Минеральное сырье. Железомарганцевые образования. / Справочник. - М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. - 46 с.
23. Murray J., Renard A.F. Report on Deep-Sea Deposits Based on the Specimens Collected during the Voyage of the H.M.S. Challenger in the Years 1872-1876, in Challenger Reports, London Government Printer, 1891. - 525 p.
24. Гидротермальные сульфидные руды и металлоносные осадки океана / под ред. И.С.Грамберга. - СПб.: Недра, 1992. - 278 с.
25. Гурвич Г.Г. Металлоносные осадки Мирового океана.- М., 1998.- 337 с.
26. Н. Kunzendorf. Marine mineral exploration. Elsevier, 1986. 299p.
27. Быховский Л. З. , Терентьев В. Б. , Тигунов Л. П. Железомарганцевые образования Мирового океана и морского шельфа - минеральное сырье многоцелевого назначения. Изд-во ВИМС. Москва, 2010. 108 с.
28. Андреев С.И., Черкашёв Г.А. Твердые полезные ископаемые Мирового океана: проблемы изучения и освоения // 70 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане.

- Сборник научных трудов (под ред. В.Д. Каминского, Г.П. Аветисова, В.Л. Иванова). СПб.: ВНИИОкеангеология, 2018. С. 405-414.
29. R Hein, A Koschinsky. Deep-Ocean Ferromanganese Crusts and Nodules. Treatise on Geochemistry, second edition, v. 13. Elsevier, 2014. p: 273–291. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01111-6>.
 30. Козлов С.А. Основы инженерно-геологического районирования площадей распространения железомарганцевых руд в Тихом океане. — М.: Горный журнал, 2012. - №3. - С. 29 - 37.
 31. ISA. Environmental management needs for exploration and exploitation of deep sea minerals. ISA technical study: No.10. 2011.
 32. Нурок Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. — М.: Недра, 1985. 471 с.
 33. Нурок Г.А., Бруякин Ю.В., Бубис Ю.В., Молочников Л.Н., Яблоков К.В. Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов. Под общей редакцией В.В.Ржевского и Г.А.Нурока. - М.: Недра, 1979.-381 с.
 34. Добрецов В.Б. Освоение минеральных ресурсов шельфа. - Л.: Недра, 1980. - 272 с.
 35. Дробаденко В.П., Калинин И.С., Малухин Н.Г. Методика и техника морских геологоразведочных и горных работ. /Волгоград: Издат. Дом «Ин-Фолио», 2010.-352 с.
 36. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В., Щёкина М.В., Каширский А.С., Якупов И.И. Оценка возможности вовлечения железомарганцевых месторождений морского дна в разработку. Ч. II. Перспективы разработки глубоководных месторождений твердого минерального сырья. М.: «Горная книга», 2014, ГИАБ, № 6, с. 361-368.
 37. Андреев С.И., Казакова В.Е., Бабаева С.Ф., Черкашев Г.А. Твердые полезные ископаемые Мирового океана: история открытий, геологическое изучение, перспективы освоения. /Горный журнал, 2013, № 11. С. 65-72.
 38. Козловский Е.А. Морские и океанические кладовые минерального сырья. «Промышленные ведомости», № 1. 2005.
 39. Иванов С.И., Петрова Н.В., Голева Р.В., Мельников М.Е., Пономарева И.Н. Современное состояние химико-металлургической переработки океанических донных образований и проблемы их экологии. / Сб. Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. М.: ВИНТИ, 2005, №3.
 40. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. Геоэкологические аспекты рационального использования океанических месторождений твердых полезных ископаемых. / Экология и промышленность России.2016. № 7. с. 36-41.

41. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., Иващенко Г.С. Анализ экологического воздействия разработок подводных месторождений твердых полезных ископаемых. Горная промышленность. 2019; (№3): 92–97. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-3-145-92-97.
42. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. Месторождения твердого минерального сырья Мирового океана и потенциал его использования. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015; (№9): 251–259.
43. Akira Usui & Nobuyuki Okamoto. Geophysical and geological exploration of cobalt rich ferromanganese crusts: An attempt of small-scale mapping on a Micronesian Seamount. Marine Georesources and Geotechnology, 28:192–206, 2010. Taylor & Francis group.
44. Akira Tsune, Masatsugu Okazaki. Current situation of manganese nodule exploration in Japanese license area. Journal of MMIJ Vol.131 p.602 – 609 (2015) (Японский язык).
45. Gaowen He, Weilin Ma, Chengbing Song, Shengxiong Yang, Benduo Zhu, Huiqiang Yao, Xunxiong Jiang & Yongshou Cheng. Distribution characteristics of seamount cobalt-rich ferromanganese crusts and the determination of the size of areas for exploration and exploitation. Acta Oceanologica Sinica, volume 30, issue: 3 (2011). P. 63-75.
46. Козловский Е.А., Малютин Ю.С. Мировой океан как резерв минерального сырья в XXI веке. / Мировая горная промышленность 2004- 2005 гг.-Т. 1. с.165-179.
47. Савельев В.И. Техника морских геологических исследований. М.: Недра, 1978.- 237 с.
48. Ястребов В.С. Методы и технические средства океанологии. Л.: Гидрометеиздат, 1986.- 237 с.
49. Смолдырев А.Е. Методика и техника морских геологоразведочных работ. М.: Недра, 1978.- 303 с.
50. Истошин С.Ю., Дробаденко В.П., Контарь Е.А. Техника морских геологоразведочных и горно-разведочных работ. /М.: Изд-во МГРИ, 1990, 121 с.
51. Инженерно-геологические исследования при проведении — поисковых работ на ЖМК. /Раздел к «Методическим рекомендациям по проведению поисковых работ на ЖМК». - СПб., 2005.
52. Методические рекомендации по технологии геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в Мировом океане (железомарганцевые образования, глубоководные полиметаллические сульфиды, донные осадки). Под. ред. Мирчинк И.Н., Глумов И.Ф Книга 3 (контактные методы исследований)/М. ТАОЗТ «Океангеоресурсы». 2001.

53. Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований. / Под. ред В.С.Ястребова, Л.: Судостроение, 1981.- 304 с.
54. Контарь Е.А. Самовсплывающие системы для геолого-геофизических исследований океана. М.: Наука, 1984.
55. Технология и технические средства для изучения железомарганцевых образований Мирового океана. Под. ред. Мирчинк И.Н., Глумов И.Ф. Книга 2. М.: Мин-во природных ресурсов РФ. ТАОЗТ «Океангеоресурсы», 1999.
56. Богданов А.В., Добрецов В.Б. Повышение достоверности крупнообъемного опробования морских россыпей. М.: ВИНТИ, 1976, 18 с.
57. Бондаренко Н.Г. Образование, строение и разведка россыпей. М.: Недра, 1975, 56 с.
58. Вильмис А.Л. Обоснование технологии глубоководного гидроподъема железомарганцевых конкреций грузочными аппаратами с минимальным негативным воздействием на окружающую среду. Дисс.на соискан. Уч. Степени докт. Техн. Наук. - МГРИ, 2020. - 190 с.
59. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., Кузин Е.А., Адигамов А.Э., Галиакбарова Р.М. Определение параметров применимости кассетного трала при глубоководном опробовании месторождений железомарганцевых конкреций. Горная промышленность. 2017;(№5): 92–95.
60. Патент РФ RU 2562304 от 11.08.2015. Способ добычи железомарганцевых конкреций из илистых донных отложений и устройство для его осуществления. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., Иващенко Г. С., Якупов И. И.
61. Кириченко Ю.В. Глубоководный аппарат для разработки железомарганцевых образований морского дна. // Горный журнал. 2014. № 1.с. 84-87.
62. Поиски, оценка и добыча железомарганцевых конкреций Финского залива /В.С.Рогов, А.П.Мотов, Н.С.Никольская и др. / Тезисы докладов Международной конференции «Полезные ископаемые континентальных шельфов». - СПб.: ВНИИОкеангеология, 2005. -с. 60-86.
63. Егоров И.В. Повышение энергетической эффективности подводного добычного комплекса с независимым позиционированием системы гидроподъема твердых полезных ископаемых. Автореферат на соискан. Уч. Степени канд. Техн. Наук. 2019.
64. Timothy Green. The world of Diamonds. London. Weidenfeld and Nicolson. 1981. 376 p.
65. Каширский А.С. Обоснование параметров кассетного трала для подводной добычи железомарганцевых конкреций. Дисс. на соискан. Уч. Степени канд. Техн. Наук. 2021. - 133 с.

66. Нурок Г.А., Костин В.Н., Бубис Ю.В., Молочников Л.Н., Яблоков К.В. и др. Добыча полезных ископаемых со дна морей и океанов. — М.: Недра, 1970.
67. Дементьев В.А. Технология выемки породы при добыче органо минеральных илов в обводненной залежи. / Дисс. на соискание уч. степ. канд. техн. наук. - МГГУ, 2006. - 153 с.
68. Ялтанец И.М., Бессонов Е.А. Состояние и перспективы развития добычи полезных ископаемых со дна морей и океанов. / Сборник докладов VI съезда гидромеханизаторов России. - М.: Изд-во ООО «Центр инновационных технологий», 2012.-с. 21-27.
69. Ле Дук То. Фундаментальные проблемы. Т. 1: Южно-Китайское море. Ханой: Издательство естественные науки и технологии; 2009. Т. 1. - 317 с.
70. Tran Van Tri, Vu Khuc et al. Geology and land resources of Vietnam. Science and Technology Publishing House; Hanoi. 2011. 590 p.
71. Pinxian Wang, Qianyu Li, Chun-Feng Li. Geology of the China Seas. Elsevier, 2004.
72. Кириченко Ю.В., Нго Чан Тхиен Кюи, Фам Ба Чунг, Нгуен Тхи Тхам, Доан Тхи Туи. Геологическая характеристика, потенциал и генезис образования железомарганцевых руд на дне юго-западной части Южно-Китайского моря. Ч. 1. Геологическая характеристика подводных месторождений, методы и способы поисковых работ. Горная промышленность. 2022;(1):104–109. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-104-109>.
73. Pinxian Wang, Qianyu Li. The South China sea: Paleooceanography and Sedimentology. Springer. 2009. 516 p.
74. Май Тхань Тан. Геология и геофизика. Т. 3: Южно-Китайское море. Ханой: Издательство Ханойского национального университета; 2003. Т. 3. - 458 с.
75. Robert Hall. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations. Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 20, 2002, p. 353-434.
76. General Department of Geology and Minerals. Geology and Mineral Resources Map of Vietnam 1:1000.000. Hanoi; 2010.
77. Нго Чан Тхиен Кюи, Кириченко Ю.В. Минеральный потенциал подводных месторождений в Южно-Китайском море Вьетнама. Горная промышленность. 2020;(№1):140–143. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-140-143>.
78. Данг Суан Фонг. Методы разведки россыпной добычи. Ханой: Строительный издательский дом; 2006.-240 с.

79. Кириченко Ю.В., Нго Чан Тхиен Кюи. Перспективы разработки подводных россыпей Вьетнама. Горная промышленность. 2021;(4):140–144. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-140-144>.
80. Ву Чыонг Сон, Хоанг Ань Кхиен, Трин Нгуен Тинь и др. Оценка перспективы раз-мещений прибрежной зоны Вьетнама (глубина 0-100 м) и направления исследования - эксплуатация // Журнал геологии. - 2011. - с. 327-328.
81. Решение 1546/QD-TTg. Утверждение генерального плана зонирования разведки, разработки, переработки и использования титановых руд на период до 2020 г. с перспективой до 2030 г. 2013.
82. Нго Чан Тхиен Кюи, Кириченко Ю.В., Щёкина М.В. Перспективные и разведываемые месторождения твердых минеральных ресурсов шельфа и глубинных районов Вьетнама. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021;(9):103–112. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_9_0_103.
83. Bui Xuan Nam, Ho Si Giao. Status of development orientations for mining titanium placers in Vietnam. Mining Sciences and Technologies. 2016;(№1):40–50. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2016-1-40-50>.
84. Hiep Huu Nguyen, Andrew Carter, Long Van Hoang, Son Trung Vu. Provenance, routing and weathering history of heavy minerals from coastal placer deposits of southern Vietnam. Sedimentary Geology. Vol 373 (2018). p 228-238.
85. Dao Bui Dinh. Geological features of placer formations in coastal and offshore of Ha Tinh province. Journal of Mining and Earth sciences. Vol 53, Issue 1 (2016). 2016. p27-35.
86. Nguyen Bieu, Duong Van Hai, Le Van Hoc. Vietnam shallow seabed sand: prospect and possibility of exploitation and use. Journal of Geology, №. 277, 2003. p.28-37.
87. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. История и перспективы развития глубоководной добычи твердых полезных ископаемых. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015;(11S):123–134.
88. Nguyen The Tiep, Nguyen Bieu, Nguyen The Hung, Tran Dinh Than, Le Dinh Nam, Tran Xuan Loi. Geological characteristics and potential of minerals in deep water areas of the East Sea. Ha Noi: Natural Science and Technology Publishing House; 2011. 221p.
89. Nguyen The Tiep et.al. Atlas natural conditions and environment of Vietnam sea and adjacent area. Publishing House for Science and Technology, Hanoi. 2009, 112 p.
90. Nguyen Hoang. Synthesis of petrographic and geochemical characteristics of Neogene-Quaternary effusives and mantle dynamics of the East Sea and adjacent areas / Journal of Geology, series A, Ha Noi, 2009. No. 312, 5 - 6/2009, p. 39-57.

91. Sharma R. (ed.). Deep Sea Mining. Springer; 2017. 535 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0>.
92. Tracey Conrad, James R. Hein, Adina Paytan, David A. Clague. Formation of Fe-Mn crusts within a continental margin environment. Ore Geology Reviews. Elsevier. Volume 87, July 2017, Pages 25-40.
93. А.В. Дубинин, Т.Ю. Успенская, Г.М. Гавриленко, В.А. Рашидов. Геохимия и проблемы генезиса железомарганцевых образований островных дуг западной части Тихого океана / Геохимия, 2008, № 12, с. 1280-1303.
94. До Минь Дьеп, Тон Ну Ми Ду Предварительные исследования Fe-Mn конкреций на глубоководном дне Юго-Восточного Вьетнама / Научная конференция «Бьен Донг». - Нячанг, 2000.-с 99-104.
95. Yao Guan, Xiaoming Sun, Yingzhi Ren, Xiaodong Mineralogy, geochemistry and genesis of the polymetallic crusts and nodules from the South China Sea. Ore Geology Reviews. Elsevier. 2017;89:206–227. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.020>.
96. Yi Zhong et al. Composition and genesis of ferromanganese deposits from the northern South China Sea / Journal of Asian Earth Sciences 138 (2017) 110–128. Elsevier, 2017.
97. Xiao-Dong Jiang, Xiao-Ming Sun, Yao Guan. Biogenic mineralization in the ferromanganese nodules and crusts from the South China Sea. Journal of Asian Earth Sciences. Volume 171, March 2019, Pages 46-59.
98. Постановление 1570/QD-TTg Премьер-министра Правительства СРВ об утверждении Стратегии устойчивого развития добычи и использования морских природных ресурсов и охраны морской среды на период 2020 г. и на перспективу до 2030г. 2013.
- а. Дю Ван Тоан. Исследование политики управления морскими минеральными ресурсами во Вьетнаме / Конференция: Политика управления минеральными ресурсами во Вьетнаме. Ханой, октябрь 2009 г.
99. Кириченко Ю.В., Нго Чан Тхиен Кюи, Фам Ба Чунг, Нгуен Тхи Тхам, Доан Тхи Ту. Геологическая характеристика, потенциал и генезис образования железомарганцевых руд на дне юго-западной части Южно-Китайского моря. Ч. 2. Результаты исследований образцов руд дна Южно-Китайского моря. Горная промышленность. 2022;(2):67–75. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-67-75>.
100. Н.П. Константинова и др. Железомарганцевые корки поднятия Менделеева: особенности состава и формирования / Арктика: экология и экономика № 3 (23), 2016.-с. 16-28.

101. B.R. Lipin, G.A. McKay. Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Reviews in mineralogy. Volume 21, 1989. 359 p.
102. Bau M., Schmidt K., Koschinsky A., Hein J., Kuhn T., Usui A. Discriminating between different genetic types of marine ferromanganese crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium. Chemical Geology. Elsevier. 2014; 381:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.05.004>.
103. Josso P., Parkinson I., Horstwood M., Lusty P., Chenery S., Murton B. Improving confidence in ferromanganese crust age models: A composite geochemical approach. Chemical Geology. 2019;513:108–119. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.03.003>.
104. Chih-An Huh, Teh-Lung Ku. Radiochemical observations on manganese nodules from three sedimentary environments in the north Pacific. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1984. Vol.48, pp. 951-963.
105. F. Manheim, C. Lane-Bostwick. Cobalt in ferromanganese crusts as a monitor of hydrothermal discharge on the Pacific sea floor. Nature, 335 (1988), pp. 59-62.
106. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., Адигамов А.Э., Иващенко Г.С. Оценка возможности применения кассетного трала для крупномасштабного опробования глубоководных месторождений железомарганцевых конкреций (ЖМК). Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017;(5):41–53. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2017/5/41_53_5_2017.pdf?ysclid=l362jecfh0
107. Yajuan Kang, Shaojun Liu. The development history and latest progress of deep-sea polymetallic nodule mining technology. Minerals 2021, 11(10), 1132; <https://doi.org/10.3390/min11101132>
108. Ole Sparenberg. A historical perspective on deep-sea mining for manganese nodules, 1965–2019. The Extractive Industries and Society. Volume 6, Issue 3, July 2019, p. 842-854.
109. ISA. Mining cobalt-rich ferromanganese crusts and polymetallic sulphides deposits: Technological and economic considerations. Proceedings of ISA workshop, Jamaica 31 July - 4 August 2006.
110. Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки. М.: Недра; 1984. -285 с.
111. Kowalczyk P., Lum B. Sea floor mining exploration technology and methods. In “Proceedings of Exploration 17: Sixth Decennial International Conference on Mineral Exploration”. 2017. p. 305–318.

112. Baohong Hou, John Keeling, Bradley S. Van Gosen. Geological and exploration models of beach placer deposits, integrated from case-studies of Southern Australia. *Ore Geology Reviews* 80 (2017) 437–459.
113. Шило Н.А. Учение о россыпях. Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Изд. 2-с. Владивосток: Дальнаука. 2002. 576с.
114. Bradley S Van Gosen et al. (2014), Deposit model for heavy-mineral sands in coastal environments: Chapter L in Mineral deposit models for resource assessment, US Geological Survey. 62 p.
115. Nguyen The Tiep, Ngo Quang Toan, Nguyen Tu Dan , Khanh Thi Mai, Nguyen Bieu, Tran Anh Tuan. The topographical development history of the continental shelf and coastal zone in the south central Vietnam from Da Nang to Phan Thiet. *Vietnam journal of Science and Technology*. Vol. 58 No. 9 (2016).
116. Базилевская Е.С. Исследование железомарганцевых руд океана. М.: Наука; 2007. 189 с.
117. John Parianos, Ian Lipton and Matthew Nimmo. Aspects of estimation and reporting of mineral resources of seabed polymetallic nodules: A contemporaneous case study. Minerals-11-00200-V3
118. Thomas Kuhn and Carsten Rühlemann. Exploration of polymetallic nodules and resource assessment: A case study from the German contract Area in the Clarion-Clipperton Zone of the tropical Northeast Pacific. *Minerals* 2021, 11(6), 618; <https://doi.org/10.3390/min11060618>.
119. Polymetallic nodule mining technology – current trends and challenges ahead : proceedings of the Workshop jointly organized by the International Seabed Authority and the Ministry of Earth Sciences, Government of India, National Institute of Ocean Technology, Chennai, India 18-22 February 2008.
120. Emelyanov E. The Barrier Zones in the Ocean. , 2005. Springer, p. 631.
121. James R. Hein, Natalia Konstantinova, Georgy Cherkashov, .et.al. Arctic Deep Water Ferromanganese-Oxide Deposits Reflect the Unique Characteristics of the Arctic Ocean. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Volume 18, Issue 11, November 2017. Pages 3771-3800. <https://doi.org/10.1002/2017GC007186>.
122. Hein, J.R.; Conrad, T.A.; Dunham, R.E. Seamount characteristics and mine-site model applied to exploration- and mining-lease-block selection for cobalt-rich ferromanganese crusts. *Mar. Geores. Geotechnol.* 2009, 27, 160–176.

123. Du, D.; Ren, X.; Yan, S.; Shi, X.; Liu, Y.; He, G. An integrated method for the quantitative evaluation of mineral resources of cobalt-rich crusts on seamounts. *Ore Geol. Rev.* 2017, 84, 174–184.
124. Kehong Yang, Huiqiang Yao, Weilin Ma, Yonggang Liu, Gaowen He. A step-by-step relinquishment method for cobalt rich crusts: a case study on Caiqi Guyot, Pacific Ocean. *Marine Georesources & Geotechnology*, 2022. Volume 40 - Issue 9, p1139-1150.
125. Tetsuo Yamazaki & Rahul Sharma. Morphological features of Co-rich manganese deposits and their relation to seabed slopes. *Marine Georesources and Geotechnology*, *Marine Georesources & Geotechnology*. Volume 18, 2000 - Issue 1, 43-76.
126. I.A.Yeo, S.A.Howarth, J.Spearman, A.Cooper, N.Crossouard, J.Taylor, M.Turnbull, B.J.Murton. Distribution of and hydrographic controls on ferromanganese crusts: Tropic Seamount, Atlantic. *Ore Geology Reviews*, Volume 114, November 2019.
127. Gillard, B., Purkiani, K., Chatzievangelou, D., Vink A., Iversen, M.H., Thomsen L.. Physical and hydrodynamic properties of deep sea mining-generated, abyssal sediment plumes in the Clarion Clipperton Fracture Zone (eastern-central Pacific). *Elem Sci Anth*, 7: 5. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.343>.
128. Sebastian Ernst Volkmann, Thomas Kuhn, Felix Lehn. A comprehensive approach for a techno-economic assessment of nodule mining in the deep sea. *Mineral Economics* volume 31, pages319–336 (2018).
129. J.N Pattan, G. Parthiban. Composition and origin of buried ferromanganese nodules from Central Indian ocean basin. *Journal of the Geological Society of India*, October 2006.
130. M. E. Melnikov, V.V. Avdonin, S.P. Pletnev, T.E. Sedysheva. Buried ferromanganese nodules of the Magellan Seamounts. *Lithology and mineral resources*, 2016, Vol. 51, No. 1, pp. 1-12.
131. Bin Zhao, Zhenquan Wei, Yong Yang, Gaowen He, Heng Zhang, Weilin Ma. Sedimentary characteristics and the implications of cobalt-rich crusts resources at Caiwei Guyot in the Western Pacific ocean. *Marine Georesources & Geotechnology*. Vol 38, 2020 - Issue 9.
132. Shenn- Yu Chao, Ping-Tung Shaw, Sunny Y. Wu. Deep water ventilation in the South China Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. Volume 43, Issue 4, April 1996, p 445-466.
133. Bui Hong Long, Phan Minh Thu, Nguyen Nhu Trung. Initial understanding and assessment of role of oceanographic features for ferromanganese crust and nodules in the East Vietnam Sea. *Vietnam Journal of marine science and technology*. Vol. 20, No. 4. 2020, p 383 - 397. Doi:<https://doi.org/10.15625/1859-3097/1859-3097/15775>.

134. Guihua Wang, Shang-Ping Xie, Tangdong Qu, Rui Xin Huang. Deep South China sea circulation. *Geophysical research letters*, Volume 38, Issue 5. 2011.
135. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1965., 285 с.
136. Rahul Sharma, S. Jai Sankar, Sudeshna Samanta, A. A. Sardar, D. Gracious. Image analysis of seafloor photographs for estimation of deep-sea minerals. *Geo-Marine Letters*, 2010. Volume 30, Issue 6.
137. Rahul Sharma, N.H. Khadge and S. Jai Sankar. Assessing the distribution and abundance of seabed minerals from seafloor photographic data in the Central Indian Ocean Basin. *International Journal of Remote Sensing*. 2013. Volume 34, Issue 5.
138. Shiki Machida, Taichi Sato, Kazutaka Yasukawa, Kentaro Nakamura, Koichi Iijima, Tatsuo Nozaki & Yasuhiro Kato. Visualisation method for the broad distribution of seafloor ferromanganese deposits. *Marine Georesources & Geotechnology*. Volume 39, 2021 - Issue 3
139. Ершов В.В., Еремин И.В., Попова Г.Б., Тихомиров Е.М. Геология и разведка месторождений полезных ископаемых М.: Недра, 1989, 399 с.
140. Ю.В. Кириченко, Нго Чан Тхиен Кюи. Глубоководный автономный пробоотборник газодинамического типа для опробования рыхлых отложений и залежей плотного сложения. *Горная Промышленность* №3 / 2022 стр. 106-111. DOI: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-106-111>.
141. Кондратенко А. В. Физико-механические свойства донных образований на глубоководных месторождениях железомарганцевых конкреций. М.: Горный журнал, 2012. №3, с.37 - 41.
142. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений (методические рекомендации). / Под ред. А.А.Смылова, В.А.Рудника, Н.М.Динкова, И.А.Панайотова. Л.: Недра, 1979.-247 с.
143. Дорохин И.В., Богачева Е.Н., Дружинин А.В., Соболевский В.И., Горбунов Е.З. Месторождения полезных ископаемых и их разведка. М.: Недра, 1968, 302 с.
144. Yong Bai, Qiang Bai. *Subsea engineering handbook*. 2nd ed. Elsevier; 2019. 956
145. He S., Peng Y., Jin Y., Wan B., Liu G. Review and analysis of key techniques in marine sediment sampling. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2020;33:66. <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00480-0>.

146. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. Кассетный трал для промышленной добычи железомарганцевых конкреций океанического дна. Горный журнал. 2015;(12):56–61. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.12.13>
147. Юбко В.М., Мельников М.Е. Задачи изучения и перспективы освоения месторождений кобальтоносных марганцевых корок дна Мирового океана. -М.: Разведка и охрана недр, 2001, № 8, с. 5 - 8.
148. Козлов М.Ю., Луконина О.А., Насонов Д.А. Технические средства для освоения глубоководных месторождений дна Мирового океана. В кн.: Лисов В.И., Косьянов В.А., Брюховецкий О.С. (ред.) Новые идеи в науках о Земле: материалы 12-й междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 8–10 апреля 2015 г. М.: МГРИ-РГГРУ; 2015. Т. 2. С. 18–19.
149. Кисляков В.Е., Маликова К.В., Катышев П.В. Автономное устройство для подъема полезных ископаемых со дна акватории. Патент РФ № 2539508, 21.11.2013. 2015, Бюл. № 2.
150. Кисляков В.Е., Катышев П.В., Шкаруба Н.А., Елизарьев В.С., Башкатова Я.Р. Добыча полезных ископаемых со дна континентального шельфа автономным подводным комплексом. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021;(3-1):318–329. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_31_0_318.
151. Иванов В.Л., Каминский В.Д. (ред.). 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. СПб.: ВНИИОкеангеология; 2008. 650 с.
152. Hashiba K., Fukui K., Miyazaki K., Watanabe K. Mechanical and cutting characteristics of cobalt-rich ferromanganese crusts. Rock Mechanics and Rock Engineering. 2020;53(6):2929–2934. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02071-w>.
153. Akira Tsune. Quantitative expression of the burial phenomenon of deep seafloor manganese nodules. Minerals 2021, 11(2), 227; <https://doi.org/10.3390/min11020227> (Minerals-11-00227-v2-burial-nodules).
154. Montagna P.A., Baguley J.G., Hsiang C.-Y., Reuscher M.G. Comparison of sampling methods for deep-sea infauna. Limnology and oceanography: Methods. 2017;15(2):166–183. <https://doi.org/10.1002/lom3.10150>.
155. Georgia A. Waye-Barker, Paul McIlwaine, Sophie Lozach, Keith M. Cooper. The effects of marine sand and gravel extraction on the sediment composition and macrofaunal community of a commercial dredging site (15 years post-dredging). Marine Pollution Bulletin 99 (2015), p.207–215.

156. Каширский А.С. Экологическое обоснование возможности крупномасштабного освоения месторождений твердых полезных ископаемых мирового океана. RJOAS, 6(42), June 2015. - с 29-34.
157. Постановление Правительства № 18/2015/ND-CP от 14 февраля 2015 г. «Положение о планировании охраны окружающей среды, стратегической экологической оценке, оценке воздействия на окружающую среду и плане охраны окружающей среды».
158. Закон об охране окружающей среды № 72/2020/QN14. 2020.
159. Циркуляр 27/2015/TT-BTNMT от 29 мая 2015 г. Министерства природных ресурсов и экологии.
160. Rahul Sharma. Environmental Issues of Deep-Sea Mining: Impacts, Consequences and Policy Perspectives. Springer; 2019. 577 p.
161. Ле Ван Хок. Заключительный отчет проекта «Исследование, исследование, оценка и прогноз загрязнения окружающей среды в морях Вьетнама». Центр изучения морской среды и ресурсов, Ханой (2011).
162. Study to investigate state of knowledge of deep sea mining. Interim report under FWC MARE/2012/06 - SC E1/2013/04. Rotterdam/Brussels, 28 March 2014.
163. Laura Kaikkonen, Riikk Venesjärvi, Henrik Nygård, Sakari Kuikka. Assessing the impacts of seabed mineral extraction in the deep sea and coastal marine environments: Current methods and recommendations for environmental risk assessment. Marine Pollution Bulletin, Volume 135, October 2018, Pages 1183-1197.

Список сокращений

НИТУ «МИСиС»: «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

СРВ: Социалистическая Республика Вьетнам

МО: мировой океан

ЮКМ: Южно-Китайское море

МЭЭЗ: морская эксклюзивная (исключительная) экономическая зона

ТПИ: твердых полезных ископаемых

ОПС: окружающая природная среда

ЖМО: железомарганцевые образования

ЖМК: железомарганцевые конкреции

КМК: кобальт-марганцевые корки

ГПС: глубоководные полиметаллические сульфиды

ГКК: глубина карбонатной компенсации (Английский: CCD)

ЗКМ: зона кислородного минимума (Английский: OMZ)

МГО: международная гидрографическая организация

GMT: универсальные картографические инструменты

ПРС: поисково-разведывательного судна

АГДП: автономный самовсплывающий газодинамический пробоотборник.

РЗЭ: редкоземельные элементы

СС: судно сборщик

РААС: постархейский австралийский сланец (Английский: Post–Archean Australian Shale)

ПКН: пневматическими камерными насосами.

Приложение 1. Справка



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
ЮЖНЫЙ СУБ-ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

200 Ли Чин Тханг, округ 9, район 3, город Хошимин

Хошимин, Июнь, 2022 г.

СПРАВКА

Результаты исследований аспиранта Нго Чан Тхиен Кюи в диссертации «Инженерно-геологическое обоснование перспектив освоения морских месторождений твердых полезных ископаемых Социалистической Республики Вьетнам» рассмотрены на Ученом Совете.

Предложенная Нго Чан Тхиен Кюи потенциально-прогнозная классификация морского дна Вьетнамского моря в комплексе с проведенным районированием по ЖМО проанализирована. Принято постановление о корректировке плана морских геолого-разведочных работ во Вьетнамском море в период 2022-2023 гг. Материалы также представлены в министерство природных ресурсов и экологии Вьетнама.

Уверены, что положительная реализация разработок Нго Чан Тхиен Кюи внесет свой вклад в становление Вьетнама, как ведущей морской державы.

РЕКТОР
PHÂN VIỆN
KHOA HỌC ĐẤT
VÀ KHOÁNG SẢN
VIỆT NAM
Nguyễn Tuan Khanh



КУАНГНИНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ВНЕДРЕНИЯ ГОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Район Иен Тхо, г. Донг Чиеу, Куангнинь - Вьетнам

Куангнинь, 20... Сентябрь 2022 г.

СПРАВКА

об использовании результатов диссертационных исследований
Нго Чан Тхиен Кюи по теме «Инженерно-геологическое обоснование перспектив
освоения морских месторождений твердых полезных ископаемых
Социалистической Республики Вьетнам»

Предложенная аспирантом Нго Чан Тхиен Кюи конструктивная схема автономного пробоотборника газодинамического принципа действия (АПГД) рассмотрена на Техническом Совете и рекомендована для включения в план по разработке новых видов и технологий морских изысканий на 2023 год.

Отмечаем, что разработанная автором схема пробоотборника значительно расширяет область применения оборудования такого типа и сокращает его количество. Это повышает эффективность морских исследований.

Директор
центра внедрения горных технологий



Хоанг Ван Нги

GIÁM ĐỐC
Hoàng Văn Nghi



QUANG NINH UNIVERSITY OF INDUSTRY

Yen Tho, Dong Trieu, Quang Ninh, Vietnam

Tel: 84.0203.3871292 - Fax: 0203.3871/292

Website: <http://qui.edu.vn> Email: dhcnqn@qui.edu.vn

Куангнинь, 22... Сентябрь 2022 г.

СПРАВКА

Настоящим удостоверяем, что результаты диссертационной работы аспиранта Нго Чан Тхиен Кюи на тему «Инженерно-геологическое обоснование перспектив освоения морских месторождений твердых полезных ископаемых Социалистической Республики Вьетнам» внедрены в учебный процесс кафедры «Геотехнологии освоения недр» и используются в качестве учебных материалов при обучении студентов магистратуры.

Результаты исследования диссертации будут использоваться и развиваться в ключевых темах исследований Университета или на более высоком уровне, внося свой вклад в стратегию развития морских минеральных ресурсов Вьетнама.

Кафедра «Геотехнологии освоения
недр»

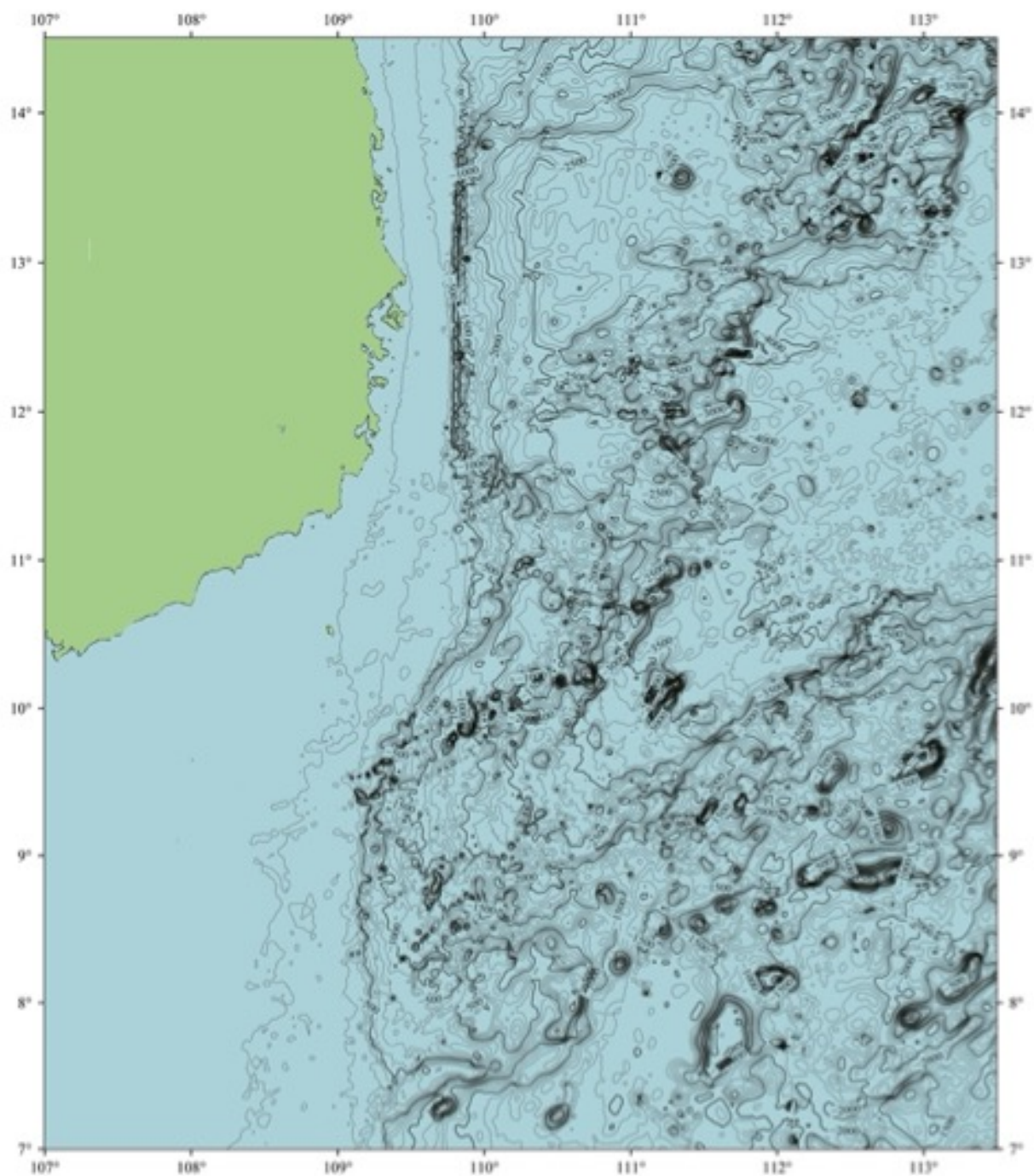
Ta Van Kien

PEKTOP

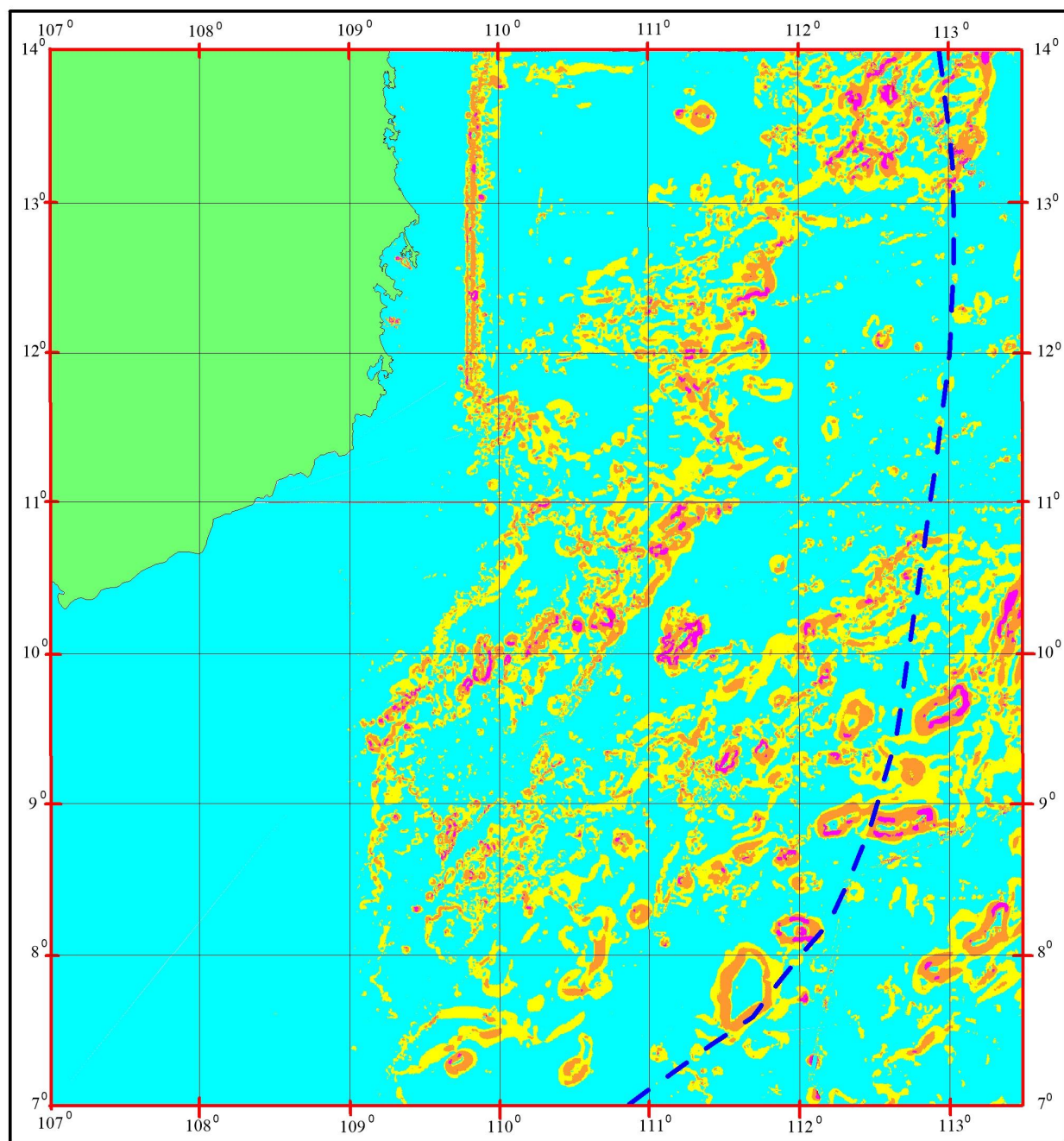


TS. Bùi Thanh Như

Приложение 2. Батиметрическая карта морского дна.



Приложение 3. Карта классификации поверхности морского дна по уклону



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

0 50 100
kilometers

0 - 3°

3° - 7°

7° - 15°

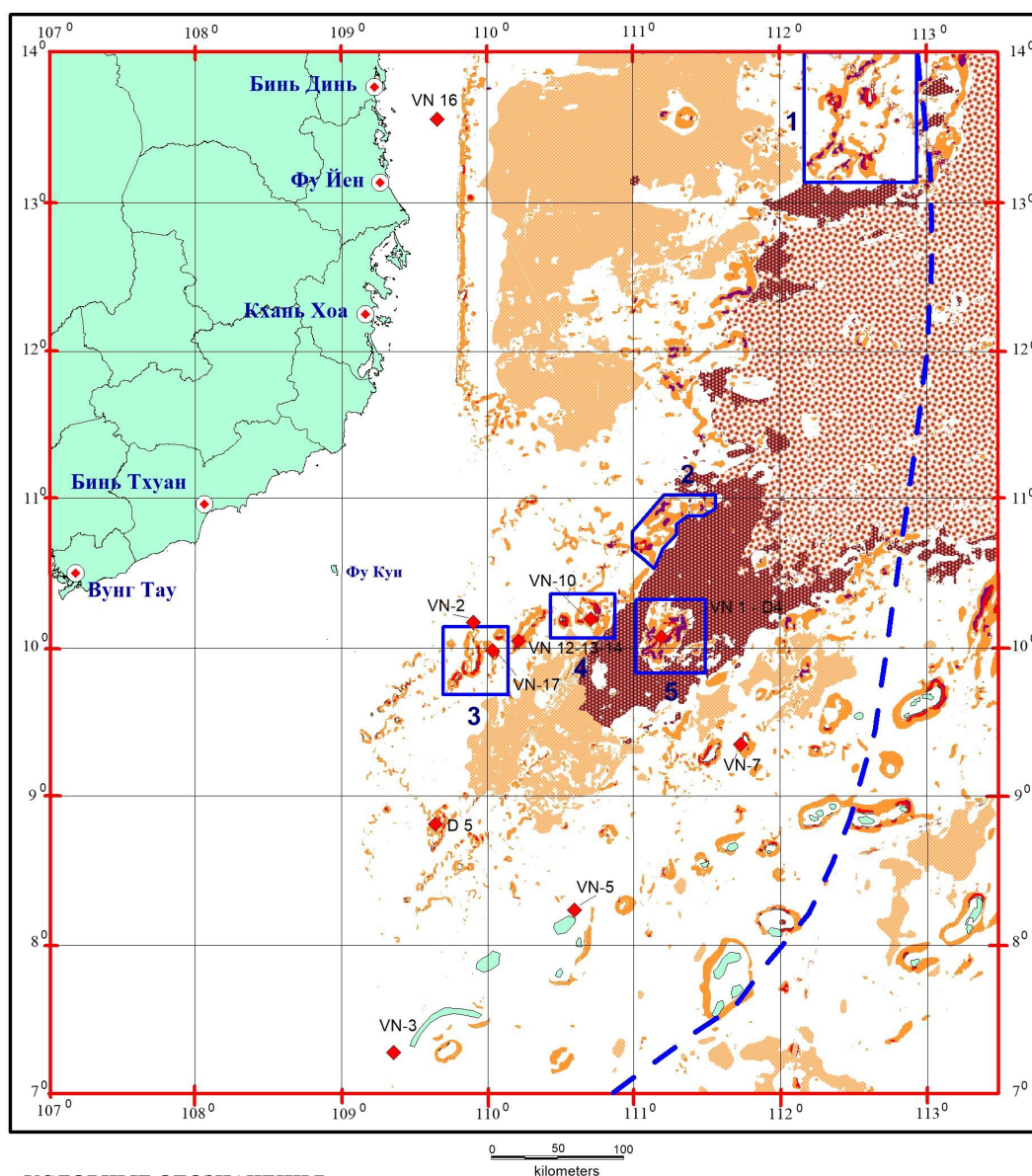
15° - 40°

> 40°

Материк, островконкреций.

Граница исключительной экономической зоны Вьетнама.

**Приложение 4. Карта перспективных железомарганцевых месторождений
(карта зон поисково-разведочных работ).**



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Высокая потенциальная площадь конкреций.		Участки без потенциала образования конкреций на глубине >2000 м
	Средняя потенциальная площадь конкреций.		Материк, островконкреций.
	Низкая потенциальная площадь конкреций.		Граница исключительной экономической зоны Вьетнама.
	Высокая потенциальная площадь корок.		Регион приоритетного выбора геологоразведочных работ на корки
	Средняя - Низкая потенциальная площадь корок, глубина >1800 м.		Места отбора проб.
	Низкая потенциальная площадь корок.		Города и провинции.
	Площади с одновременным сосуществованием конкреций и корок.		