

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

НГО ЧАН ТХИЕН КЮИ

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

Специальность:

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

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н. проф. Кириченко Юрий Васильевич

Москва, 2022

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 (ТПИ), 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 (ЮКМ) 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 железо-марганцевых 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 Scopus.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и 4 приложения, содержит 39 рисунков, 21 таблицу, список литературы из 163 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Тихоокеанская береговая линия Вьетнама, омываемая Южно-Китайским морем, протянулась на 3444 км (включая острова). В последние десятилетия происходит интенсивная геологическая разведка побережья и акватории Южно-Китайского моря вьетнамскими и зарубежными специалистами и компаниями на предмет обнаружения и оценки месторождений полезных ископаемых.

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. Доля добычи «традиционных» твёрдых полезных ископаемых на морских месторождениях в мировом объёме сегодня составляет 10-15%, а к 2050 году может увеличиться до 20-25%.

Коммерческий интерес представляют пески и гравий, фосфориты, а также прибрежные россыпные месторождения алмазов, касситерита — олова, ильменита и рутила - титана, золота, других металлов. Подводная добыча осуществляется открытым (драги и земснаряды) и подземным (горные выработки под дном и буровые скважины) способами.

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. Меро, П.Н.Мартенс, Дж.Коннет, И.Хашимото, Ф.Аументо, Г.Димов, А.Ксавье, В.Зыка, М.Бау, Бонатти, Д.Кронен, Я.Като, Г.П.Гилпсби, П.Хальбах, Т.Ямадзаки, Дж.Р.Хайн, П.А.Рона, Р.Шармаль, А.Кошинский, Т.Кухн, К.А.Хун, К.Фукун, Л.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., Нурока Г.А., Бубиса Ю.В., Мирчинка 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.

Железомарганцевые конкреции Мирового океана в среднем содержат (по Д. Кронену) следующие рудные компоненты (%): Na (1,9409); Mg (1,8234); Al (2,82); Si (8,624); P (0,2244); K (0,6427); Ca (2,47); Ti (0,647); V (0,0558); Cr (0,0035); Mn (16,02); Fe (15,55); Ni (0,480); Co (0,284); Cu (0,259); Zn (0,078); Sr (0,0825); Zr (0,0648); Mo (0,0412); Tl (0,0129); Pb (0,0900). Характерно наличие Ag, Ir, В, Cd, Yb, W, Bi, Y, Hg и других элементов, концентрации которых значительно превышают средние значения для земной коры.

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 гравийно-песчаной смеси (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.

Геологоразведочные работы в океане основываются на применении комплекса контактных и дистанционных методов геолого-геофизических исследований, основными из которых являются: эхолотный промер, сейсмоакустическое профилирование, магнитометрическая съемка, приповерхностная сонарная съемка дальнего действия, придонная высокоразрешающая сонарная съемка, придонное фото-телепрофилирование, геологический пробоотбор.

По структуре акватория Южно-Китайского моря (как и всего Мирового океана) делится на три зоны: шельф – глубина до 500 м; континентальный склон – глубина от 200 до 4000 м; ложе океана – глубина от 2500 до 6000 м.

Шельф Вьетнама относится к «исключительной (эксклюзивной) экономической зоне» (200 миль от берега для открытого моря и 350 миль для континентального шельфа - рис. 1). Геологоразведка в пределах этой зоны проводится довольно интенсивно, что позволило выявить большое количество разнообразных полезных ископаемых, в основном россыпного типа. Первыми результатами исследований являлось создание серии минерально-геологических карт масштаба 1:200000, которые впоследствии дополнялись и детализировались.



Рисунок 1 - Карта расположения прибрежных россыпных месторождений Вьетнама

Шельф Вьетнама представляет собой практически по всей своей протяженности почти горизонтальную равнину, сложенную раздельно-зернистыми отложениями, с небольшим углом наклона менее $0,1^\circ$. 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. В пределах континентального шельфа процессы выветривания являются определяющими при формировании большинства месторождений.

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...6 на рис. 1 соответственно). 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 (рис. 1).

Разведано 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, а 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.

Из рассматриваемых морских месторождений по редкоземельным элементам ни одно промышленного значения не имеет (таблица 1).

Из морских месторождений Вьетнама наиболее изучены и освоены россыпи оптических (стекольных) песков, которые рассредоточены вдоль побережья.

Вблизи островов также существуют россыпи металлического и строительного сырья. Разведка и изыскания на морских месторождениях продолжаются и в настоящее время на тяжелые, цветные, драгоценные и редкоземельные металлы.

Таблица 1 - Химический состав 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_2O_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_2O_3		0.05	0.21	0.04	0.12	0.12	0.04

Некоторые россыпи Вьетнама залегают полностью или частично непосредственно в пляжной части шельфа. Разработка таких месторождений в литорали возможна сухой техникой (погрузчиками, бульдозерами, скреперами и т.д.) во время отливов. Находящиеся в пределах литорали россыпные месторождения на период до 12 часов освобождаются от воды и становятся доступными для сухой техники.

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. Экологические последствия при разработке подводных месторождений во многом схожи с негативными экологическими последствиями, сопровождающими горные работы на континентальной суше.

Южно-Китайское море – окраина между азиатским континентом и Тихим океаном. 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: шельфа, континентального склона и глубоководного бассейна, соответственно, покрывающих около 47%, 38% и 15% общей площади со средней глубиной около 1140 м. 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. Центральная глубокая котловина окружена континентальными и островными склонами, топографически расчлененными и часто усеянными коралловыми рифами. 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. Шельф хорошо развит на северной и южной сторонах ЮКМ. И северный, и южный шельфы сужаются к востоку и расширяются к западу.

Вьетнам расположен на западной стороне ЮКМ. Топография морского дна шельфа Вьетнама определяется обильными отложениями наносов Красной реки на севере, реки Меконг на юге и активностью разломов. В прибрежной зоне центральной части Вьетнама континентальный шельф подвержен влиянию меридионального разлома “109° - 110° восточной долготы” (это продолжение и перенаправленная часть сдвигового разлома “Красная река” на севере), вызвавшего сильное проседание.

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.

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 109°–110° на шельфе

центральной части Вьетнама. Тектоническую эволюцию можно разделить на три основных этапа:

- 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.

- Этап рифта включает 2 фазы: на ранней стадии рифта - с эоцена до 32 миллионов лет назад началось формирование океанической коры 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.

- Пост-рифтовая стадия началась после прекращения процесса рифтинга в Южно-Китайском море, примерно 15,5 миллионов лет назад и длится по настоящее время.

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. 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).

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

Железомарганцевые руды в последние годы были обнаружены в различных частях Южно-Китайского моря в рамках исследований Бау, (М.Бау) (1993), А.Дубинин и др. (2008), Яо Гуань (Yao Guan) и др. (2017), И Чжун (Yi Zhong) и др. Во Вьетнамском море (исключительная морская экономическая зона) на обширной территории площадью около 98500 км² по нашим прогнозам, также могут находиться железомарганцевые руды, расположенные в юго-западной части глубоководного региона Южно-Китайского моря (рис. 2).

С 1980 года 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).

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).

В рамках наших исследований было проанализировано 18 проб (по всем аналитическим параметрам), большинство проб было отобрано драгами на различной глубине, в диапазоне от -130 м до -1300 м на поверхности подводных гор, расположенных в юго-западном суббассейне центра Южно-Китайского моря, в диапазоне долготы от 109°53'24 " до 111°59'01 " и широты от 8°13'54" до 10°11'30"; 2 образца в морском районе провинции Биньдинь (VN16, VN18); 1 образец на острове Ту Чинь (VN-3) (рис. 3)

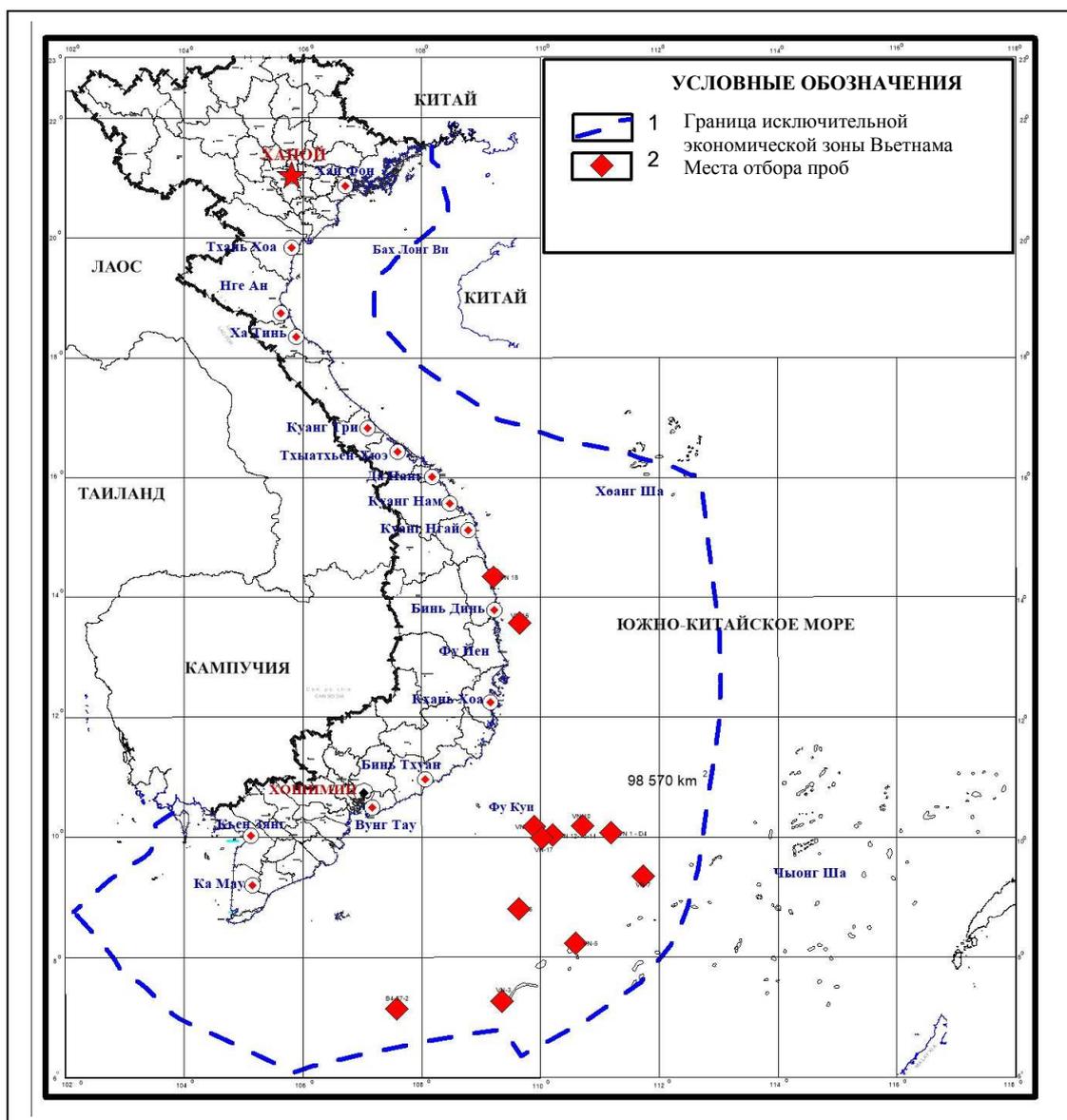


Рисунок 2 - Карта мест отбора проб в глубоководных акваториях

Образцы были исследованы и проанализированы многими методами, в том числе петрографическим, XRF и ICP-MS анализом. Петрографические шлифы были проанализированы для определения породообразующих компонентов, микробиологии и некоторых специфических характеристик процесса разработки руды. Рентгеновская флуоресцентная спектроскопия (XRF) позволила провести качественный и полуколичественный анализ для определения присутствия основных элементов и некоторых редкоземельных элементов в образце.

Спектрометрия индуктивно-связанной плазмы (ICP-MS) использовалась для количественного определения состава элементов в образце (металлических и редкоземельных элементов) с точностью до миллионных долей (ppm).

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) (рис. 4).

		
VN-1. Железомарганцевая руда коркового типа	VN-5. 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 - Фотографии исследуемых образцов руды.

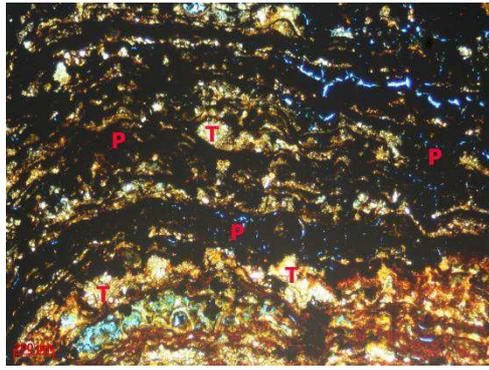
Установлено, что объем рудообразующих минералов в образцах составляет от 45% до 90%.

Оценивая в общем результаты анализа шлифов образцов под микроскопом, можно отметить, что исследованные руды представлены следующими разновидностями:

- Микроконкрециями, представляющими собой 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).

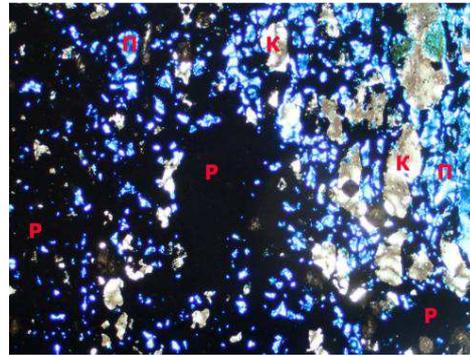
- Слоисто-концентрическими - слоистое строение имеет, в основном, концентрическую структуру (образец VN-14), руда относительно однородно распределена, и совместно с рудами представлены организмы, глинистый материал и небольшое количество незаполненных пор.

- Развитыми сетями-цепочками (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.



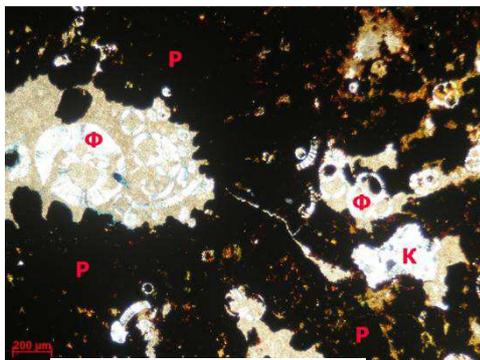
— 200 мкм (микрометров)

VN-9. Руда растет в туфах. (1N-, 5X)



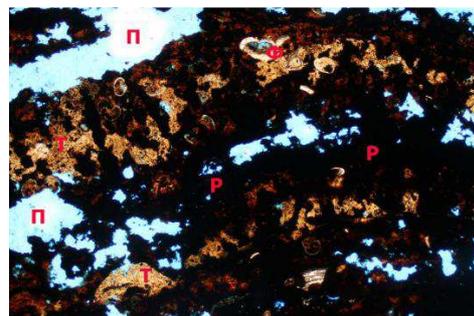
— 500 мкм (микрометров)

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



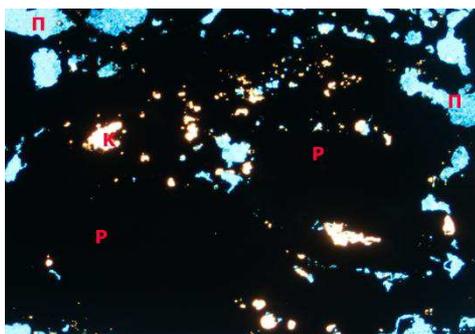
— 200 мкм (микрометров)

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



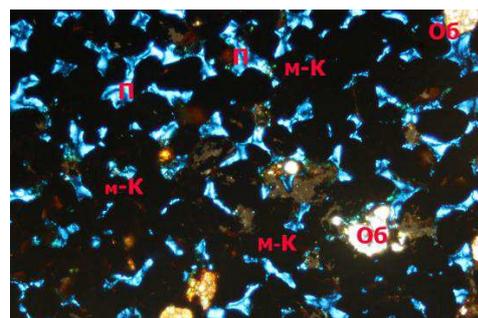
— 500 мкм (микрометров)

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 4 - Фотографии образцов руды под поляризационным микроскопом
 Г - глина, К - карбонат, м-К - микро-конкреции, Об - обломочная порода, П - поры,
 Р - руда, Ф - фораминиферы, Т - туф

С целью определения компонентного состава донных проб был проведен геохимический анализ. Рентгеновская (масс-спектрометрия) 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 табл. 2.

Таблица 2 - Анализ результатов геохимического состава методом РФА для проб руды из юго-западной части Южно-Китайского моря (Вьетнамская исключительная экономическая зона)

№пп	Элемент	Объемное содержание в пробах в %						
		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	0,023	-	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	№.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	1,9	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.

Результаты геохимического анализа показали, что соотношение полезных компонентов Mn / Fe изменяется 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.

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 табл.3.

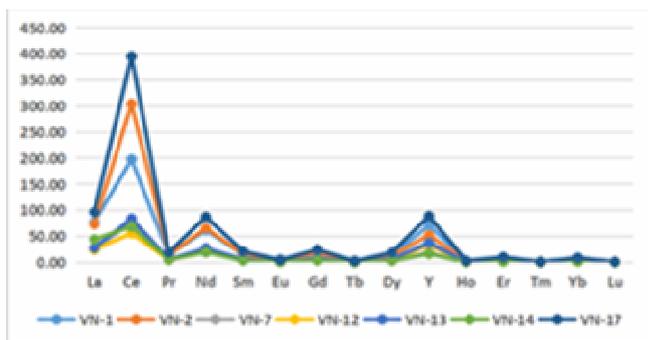
Таблица 3 - Данные о составе редкоземельных элементов (РЗЭ)

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

Суммарное содержание редких элементов Σ РЗЭ = 162,35 - 781,62 г/т, в среднем 364,34 г/т. Все образцы, проанализированные с помощью ИСП-МС, относятся к участкам земной коры, расположенным на склонах и вершинах подводных гор на континентальных склонах или в юго-западной части центрального бассейна Южно-Китайского моря (табл.4, рис.4).

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: гидrogenетическое, диагенетическое и гидротермальное, иногда смешанное. Для определения генезиса руд использовалась диаграмма Бонатти (1972) трех компонентов Fe-Mn- (Co + Cu + Ni)·10.

а)



б)

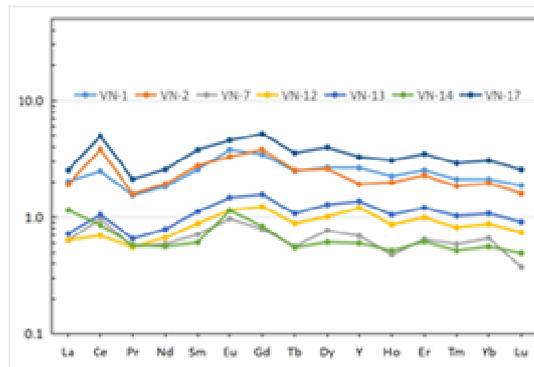
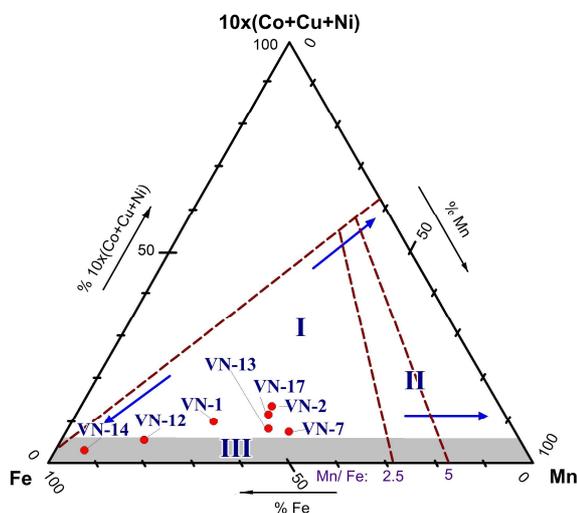


Рисунок 4 - Содержание РЗЭ в пробе: а) объемное (ppm); б) нормализованное на Постархейский австралийский сланец

Таблица 4. Содержание Fe, Mn, Co, Cu, Ni, Σ РЗЭ и скорость роста

Название образца	Mn, %	Fe, %	Co, %	Ni, %	Cu, %	Mn/Fe	(Cu+Co+Ni)·10	Σ РЗЭ	Скорость роста, мм/млн. лет
VN-1	7.08	14.8	0.0685	0.136	0.0334	0.4784	2.379	504.06	3.91
VN-2	20.5	24.4	0.182	0.48	0.0523	0.8402	7.143	581.05	10.49
VN-7	20.9	21	0.083	0.229	0.03	0.9952	3.42	163.88	14.42
VN-12	2.87	13	0.0023	0.0814	0.0103	0.2208	0.94	169.23	1.42
VN-13	10.5	12.8	0	0.185	0.0235	0.8203	2.085	216.25	10.04
VN-14	1.5	21.5	0.002	0.0572	0.0124	0.0663	0.696	172.12	0.81
VN-17	6.21	7.63	0	0.169	0.0163	0.8139	1.853	789.71	9.89

Диаграмма Бонатти свидетельствует, что большинство проб 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 (рис. 5).



I: гидрогенетический механизм
 II: диагенетический механизм
 III: гидротермальный механизм
 → скорость роста

Рис. 5. Схема классификации генетического происхождения согласно Бонатти (1972)

М. Бау (M. Bau) (2014) создал классификационную диаграмму (рис. 6), формулы для компонентов в диаграмме: $Ce_{SN} = Ce/Ce_{PAAS}$; $Ce^*_{SN} = 0,5x(La_{SN} + Pr_{SN})$, где: SN - нормализация с помощью постархейских австралийских сланцев, сокращенно – PAAS.

Классификационная карта М. Бау показывает, что в большинстве образцов руда формируется по гидрогенетическому механизму, только VB-14 относится к смешанному типу, а VN-12 находится вблизи границы (рис. 6). Результаты этих двух классификаций примерно одинаковы, что указывает на их надежность.

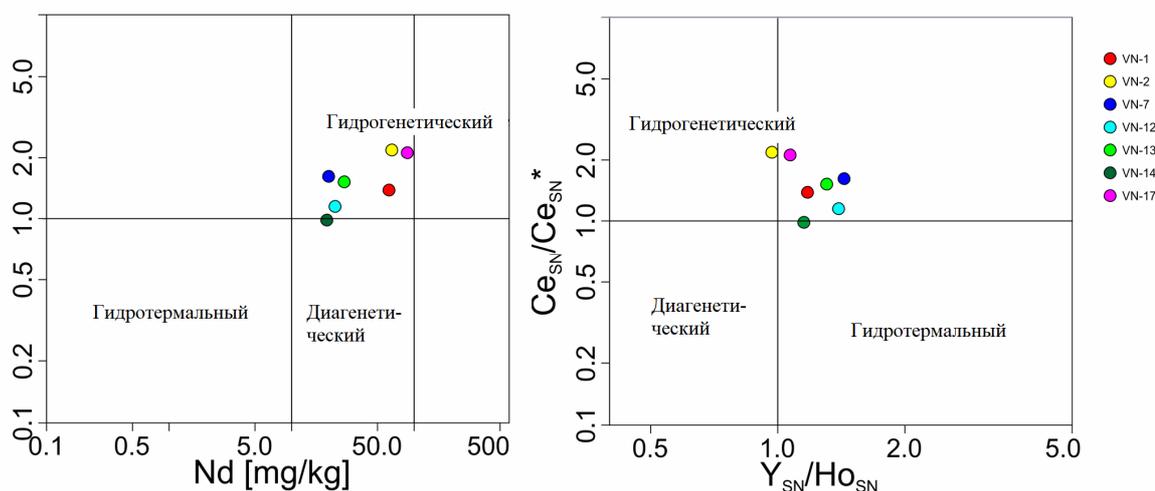


Рис. 6. Схема классификации генетического происхождения согласно М. Бау (2014)

Примененный нами метод расчета скорости роста руды основан на эмпирическом уравнении Nuh and Ku (1984): $S \text{ (мм/млн лет)} = 13,8 \cdot (Mn/Fe)^2 + 0,75$, где содержание Mn и Fe выражено в массовых процентах. Результаты расчетов показывают, что скорость роста руды на исследуемой территории составляет от 0,81 мм/млн лет до 14,42 мм/млн лет.

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.

Эта уникальная особенность образования руд в окраинных морях (таких как Южно-Китайское море), в которых скорость роста руды выше, чем во внутренних морях океана.

Существующие данные и результаты новых исследований по геологии, океанографии, геоморфологии, палеогеографической обстановке, характеристикам россыпей, железомарганцевых месторождений и т.п. были обобщены, проанализированы и использованы в качестве основы для оценки потенциала организации поисково-оценочных работ, оконтуривания, классификации потенциальных зон/районов нахождения россыпных, железомарганцевых и других месторождений.

С этой целью были выделены основные признаки, разработана классификация и проведено районирование с оконтуриванием потенциально перспективных участков во Вьетнамском море.

В перспективе предпосылкой и признаками поиска и разведки россыпей на континентальном шельфе Вьетнама являются древние песчаные тела позднего плейстоцена - голоцена, распространенные в палео-береговой зоне и древних эстуариях (дельтах) средних и малых рек. Эти районы расположены вдоль побережья на глубине менее 200 м.

Выбранный потенциальный район расположен в центральной части побережья Вьетнама, в основном у побережья провинций Биньдинь, Ниньтхуан и Биньтхуан соответственно вдоль побережья (на материке) с титаносодержащими россыпными запасами Вьетнама.

Песчаные отложения древней прибрежной зоны, залегающие на морском дне на глубинах 15-20 м, 20-35 м, 30-50 м, 90-100 м, 120-150 м и 170-200 м, возраста позднего плейстоцена - раннего голоцена, являются приоритетной группой № 1. Древние прибрежные образования, погребенные под морским дном или распространенные на поверхности морского дна на глубинах от 200 м до 500 м, позднего плейстоценового возраста отнесены нами к группе № 2.

Результаты исследований по выявлению потенциальных площадей россыпных месторождений и строительных материалов представлены на карте (рис.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. О россыпях, погребенных под морским дном и на глубине более 300 м, нет данных, поэтому потенциал не может быть локализован. Площадь высокопотенциального россыпного района составляет 14 450 км², распределенного вдоль континентального шельфа центрального Вьетнама. Средняя потенциальная площадь россыпей составляет 28 280 км² на южном континентальном шельфе и 12 770 км² на северном континентальном шельфе. В группе участков с высоким россыпным потенциалом всего 3 участка на глубине 200 – 350 м, общей площадью 2748 км².

Обобщение и анализ результатов исследований показывает, что на условия формирования и роста железомарганцевых образований влияли и определяли их геологическая эволюция, геоморфологические, океанографические, палеогеографические условия, объем биомассы (биопродуктивность), климат, состав исходного материала. Районирование и выделение потенциальных зон с железо-марганцевыми рудами, проводилось на основании имеющихся данных в районе исследования по следующим критериям: уклон топографической поверхности, глубина морского дна (по отношению к зоне кислородного минимума (ЗКМ) и границе карбонатной компенсации (ГКК)), возраст поверхности морского дна, особенности осадконакопления на морском дне, наличие ядер конденсации, глубинные течения вблизи морского дна, апвеллинговые течения и т.д.

Район исследований расположен в диапазоне координат 109°–113° долготы и 7°–14° широты, для которого создана глубоководная геологическая карта масштаба 1:1 000 000 (Нгуен Тхе Тьеп, 2010). Граница раздела определяется для потенциальных зон (районов) и по трем группам: зоне конкреций, зоне корок и участкам как с конкрециями, так и с корками. Уровни рейтинга для потенциала: высокий, средний, низкий и нулевой.

Расчленение склонов выполнено с применением методов обработки источника данных GEBCO (2020) Международной гидрографической организации и с использованием программ GMT, Arcgis, Mapinfo. Результатом стала выходная батиметрия и карта градиентов углов 0 - 3°, 3° - 7°, 7°- 15°, 15° - 40° и больше 40° .

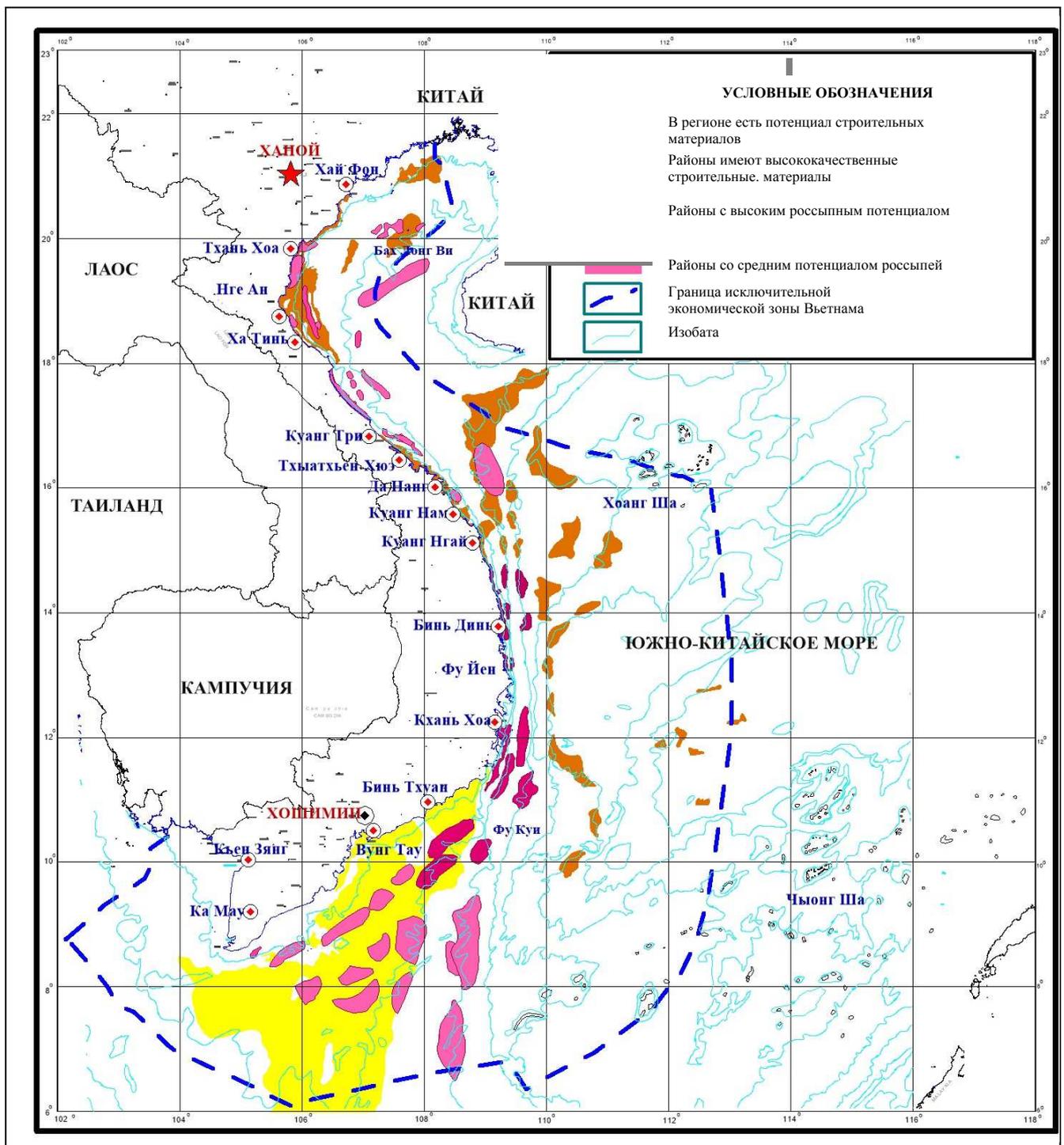


Рис. 7. Классификационная карта районирования шельфа по потенциалу нахождения россыпей и строительных материалов

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.

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

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. 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 скорее всего являлось ядром для роста конкреций.

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, то есть менее 16 млн лет. Плато могут включать комплекс подводных гор и поднятий. Базальт морского дна в центральной глубоководной дельте имеет возраст от 24 до 15,5 миллионов лет.

Скорость течения в районе исследования: от поверхности моря до глубины 60 - 80 м составляет 30 см - 50 см/с, на глубинах 80 - 200 м - 17 см - 23 см/с, 200 м - 14 см - 15 см/с, 500 м - 5 см/с, 1000 м - 3,3-4,6 см/с, 1000-5000 м: < 3 см/с.

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.

Железо-марганцевые корки могут формироваться и расти в наиболее благоприятных условиях на поверхности подводных гор с топографическими углами 15°- 40°, на глубинах от 800 м до 4000 м. В районах, где имеет сложный рельеф морского дна из-за наличия большого количества подводных гор и при наличии апвеллинговых течений, целесообразно начинать поисковые работы с глубины 450 м (верхняя граница ОМЗ - Зона кислородного минимума). А область с возможностью одновременного присутствия конкреции и корок имеет углы 7° - 15°, глубины 800 - 4200 м.

На основании многофакторного анализа были разработаны критерии, которые приведены в табл. 5-7.

В условиях ЮКМ важны критерии 1, 2, 3 и их рассмотрение должно быть приоритетным.

В результате районирования дна исключительной экономической зоны Вьетнама были выделены 4 группы зон по классификационным признакам (рис. 8):

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,

Таблица 5. 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 формирова- ния 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
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 6. 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 воз- раст способствует образованию руд	Относительно малый возраст поверхности
4	Поверхность коренной породы	Нет осадка и на базаль- товой 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 7. 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.	Есть ядра.
5	Ядро для развития конкреций	Скопление осадка на поверхности неоднородно	Скопление осадка на поверхности неоднородно
6	Скорость течения	4 - 15 см/с	4 - 15 см/с

- площади зон со средним и низким потенциалом 1539 км².

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

Выявлены поисковые признаки и предпосылки наличия полезных ископаемых, которые подтверждают необходимость организации и проведения масштабных геологических поисков.

На этапе общих поисков морских месторождений ТПИ с визуальными геологическими наблюдениями подводными кинокамерами и сканирования дна необходимо производить геофизические исследования и отбор проб. Необходимо подчеркнуть, что опробование дает наиболее достоверную информацию. По отношению к месторождениям ЖМО и других видов ТПИ в ЮКМ в настоящее время опробование в значительной мере будет служить подтверждением перспективности дальнейшего развития геологоразведочных работ в районах, определенных аналитическими методами.

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.

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) (рис. 9).

Принцип действия устройства основан на энергии расширяющихся газов, получаемых при химической реакции или от ресивера со сжатым газом. Пробоотборник конструктивно состоит из грейферных ковшей, рабочего цилиндра с поршнем и подъемного баллона (рис. 9). Эти части монтируются на жестком каркасе, а цилиндр имеет съемную головку, обеспечивающую смену ампул с химреактивами.

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 (рис. 9г).

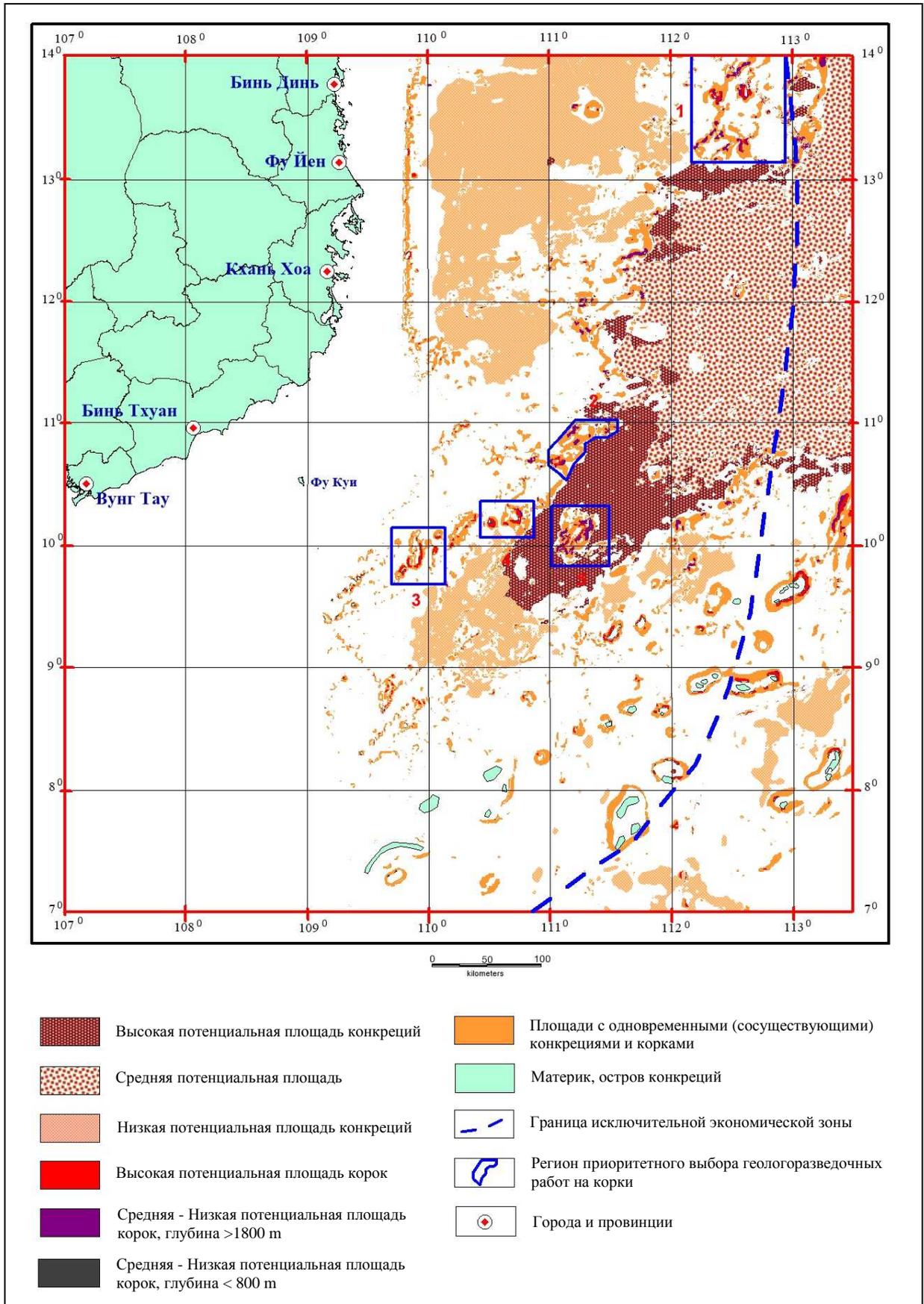


Рис. 8. Карта районирования дна ЮКМ по потенциалу нахождения железомарганцевых образований

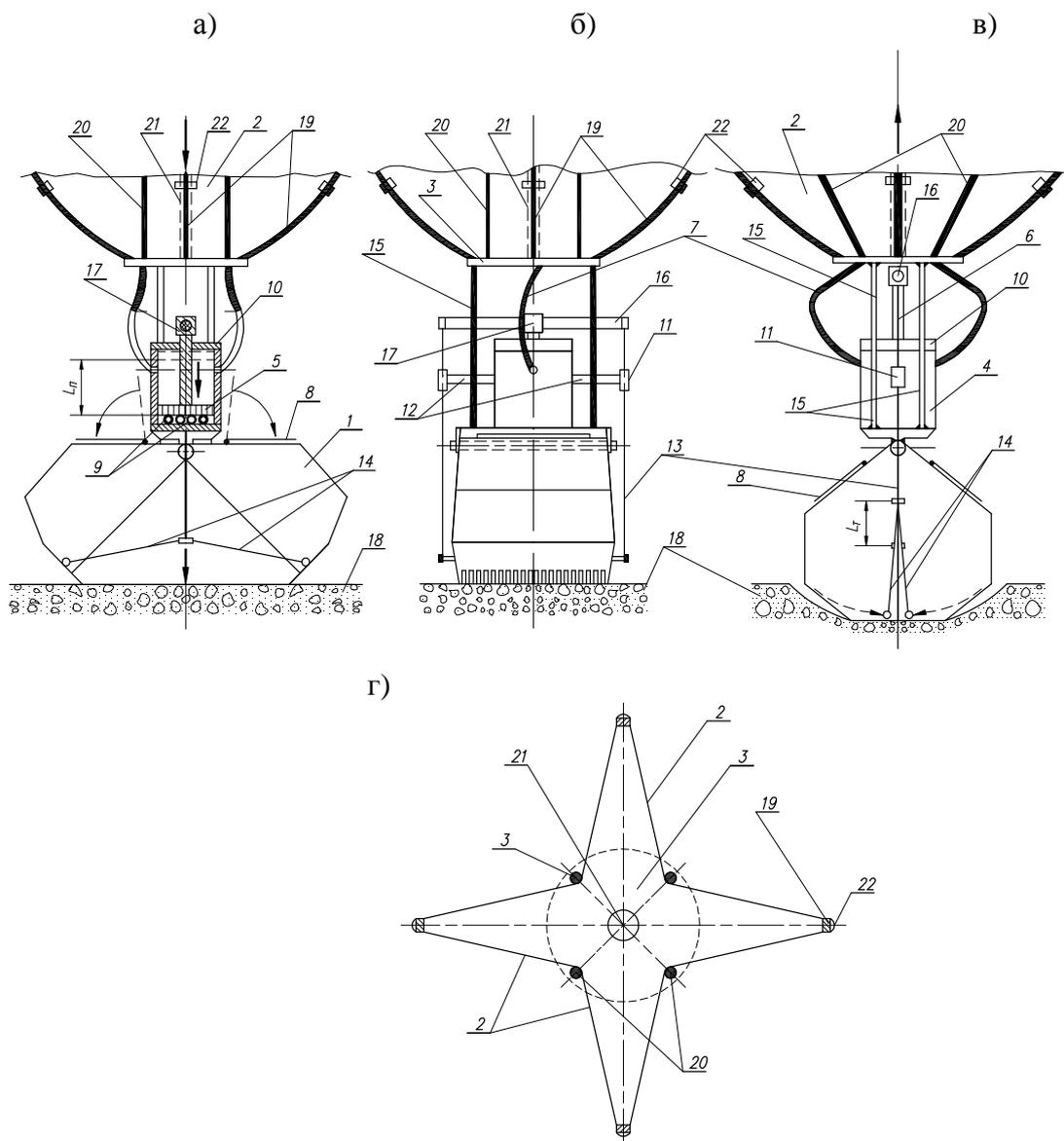


Рис. 9. Принципиальная схема газодинамического пробоотборника: а) этап опускания (момент касания дна и начала раздавливания ампул); б) то же (вид справа); в) закрытие ковша и начала подъема; г) вид сверху (без изображения ковша);

1 — створки грейфера; 2 - подъемный баллон; 3 - держатель баллона; 4 - разборный рабочий цилиндр; 5 - поршень; 6 - шток поршня; 7 - гибкие шланги высокого давления; 8 - подпружиненные 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

При ударе о дно створки грейфера 1 расходятся и через тяги-кулисы 14 передают движение жестким тягам 13, смещающимся вниз (рис. 9 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 рис. 9 разъем не показан).

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. Пробоотборник также снабжен сигнальным устройством (маячком), облегчающим поиск геологоразведочным судном (ГРС) АГДП в открытом море.

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%. Разработанный нами пробоотборник можно использовать для самых разных целей, так как усилие резания регулируется объемом цилиндра (4), давлением в нем и размерами створок грейфера (1).

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

- нет потерь балластных грузов, обеспечивающих зачерпывание грунта;
- наличие откидывающихся подпружиненных крышек обеспечивает большую скорость погружения, а при подъеме препятствует выносу мелких частиц, что значительно повышает достоверность пробы;
- баллон-стабилизатор обеспечивает строго вертикальную траекторию погружения и предотвращает снос пробоотборника от расчетной точки опробования;
- газодинамическое давление, передаваемое через рычаги и тяги на створки ковша, в разы увеличивает усилие резания, что позволяет отбирать пробы грунтов повышенной плотности и крепости;
- возможность регулирования усилия резания позволяет значительно сузить типоряд пробоотборников, применяемых для изысканий в различных частях морского дна;
- 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.

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.

Также разработана 3-х этапная схема оконтуривания и поисково-оценочных работ на перспективных участках и определены зависимости, позволяющие определить временно-технологические параметры опробования при планировании ГРР.

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 $Fe = 16,45\%$, $Mn = 9,94\%$, $Co = 0,056\%$, $Ni = 0,191\%$, $Cu = 0,0254\%$, $\sum PЗЭ = 0,0162 - 0,0781\%$, 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.

Основные положения диссертационной работы опубликованы

в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ и наукометрическую базу Scopus

1. Кириченко Ю.В., Нго Чан Тхиен Кюи. Перспективы разработки подводных россыпей Вьетнама. // Горная промышленность, 2021.- №4. - С. 140-144.

2. Нго Чан Тхиен Кюи, Кириченко Ю. В. Минеральный потенциал подводных месторождений в Южно-Китайском море Вьетнама // Горная промышленность, 2020. - № 1. - С. 140-143.

3. Ю.В. Кириченко, 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, часть. 1. Геологическая характеристика подводных месторождений, методы и способы поисковых работ. // Горная промышленность, 2022. - №1. - С. 104-109.

4. Ю.В. Кириченко, 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, часть 2. Результаты исследований образцов руд дна Южно-Китайского моря. // Горная промышленность, 2022. - №2. – С. 90 - 98.

5. 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. –С. 103–112.

6. Ю.В. Кириченко, Нго Чан Тхиен Кюи. Глубоководный автономный пробоотборник газодинамического типа для опробования рыхлых отложений и залежей плотного сложения. //Горная промышленность, 2022. - №3. - С. 94 - 99.