

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

Ю.В. Кириченко¹, Нго Чан Тхиен Кюи^{1,2}✉, Фам Ба Чунг³, Нгуен Тхи Тхам⁴, Доан Тхи Туи⁴

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

² Вьетнамский национальный университет Хошимина, г. Хошимин, Вьетнам

³ Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, г. Нячанг, Вьетнам

⁴ Вьетнамский институт нефти, Вьетнам

✉ nttquy@hcmus.edu.vn

Резюме: В статье рассматривается ресурсный потенциал Южно-Китайского моря, приведены основные географические и гидрологические данные о Южно-Китайском бассейне Тихого океана. Изложены сведения о геологических условиях Южно-Китайского моря, в том числе морфологии и тектонике морского дна. Даны описания пород фундамента и осадочного материала, отмечена сходимість геолого-литологических структур суши и морского дна. Приведены сведения о распространённости разнозернистых отложений по всему побережью и в шельфовой зоне Южно-Китайского моря. В качестве одного из основных видов твердых минеральных ресурсов в эксклюзивной экономической зоне Вьетнама рассматриваются железомарганцевые руды, представленные образованиями в виде конкреций и корок. Проанализированы закономерности их распространения в Южно-Китайском море, изложена история геологических исследований минеральных ресурсов дна моря и предложен план дальнейших изысканий.

Ключевые слова: Южно-Китайское море, ресурсный потенциал, континентальный шельф, глубоководный бассейн, геологические условия, геоморфология, тектоника, разнозернистые отложения, фундамент, железомарганцевые руды, исключительная экономическая зона Вьетнама, геологоразведочные работы, пробоотбойник, цепная драга

Для цитирования: 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>

Geological Characteristics, Potential and Genesis of Iron-Manganese Ore Formation at the Bottom of the Southwestern Part of the South China Sea

Part 1. Geological Characteristics of Subsea Deposits, Exploration Methods and Techniques

Yu.V. Kirichenko¹, Ngo Tran Thien Quy^{1,2}✉, Pham Ba Trung³, Nguyen Thi Tham⁴, Doan Thi Thuy⁴

¹ National University of Science & Technology (MISIS), Moscow, Russian Federation

² Vietnam National University Ho Chi Minh City, University of Science, Ho Chi Minh, Vietnam

³ Institute of Oceanography, Vietnam Academy

✉ nttquy@hcmus.edu.vn

Abstract: The article discusses the resource potential of the South China Sea, presents the main geographic and hydrological data on the South China Basin of the Pacific Ocean. Information about the geological conditions of the South China Sea, including the morphology and tectonics of the seabed, is presented. Data on the prevalence of different-grained sediments along the entire coastline and in the shelf zone of the South China Sea are presented. Ferromanganese ores, represented by formations in the form of nodules and crusts, are considered as one of the main types of solid mineral resources in the exclusive economic zone of Vietnam. The regularities of their distribution in the South China Sea are analyzed, the history of geological studies of the mineral resources of the seabed is presented, and a plan for further exploration is proposed.

Keywords: South China Sea, resource potential, continental shelf, deep-sea basin, geological conditions, geomorphology, tectonics, mixed-grained sediments, basement, ferromanganese ores, the exclusive economic zone of Vietnam, geological exploration, corer, chain dredge

For citation: Kirichenko Yu.V., Ngo Tran Thien Quy, Pham Ba Trung, Nguyen Thi Tham, Doan Thi Thuy. Geological Characteristics, Potential and Genesis of Iron-Manganese Ore Formation at the Bottom of the Southwestern Part of the South China Sea. Part 1. Geological Characteristics of Subsea Deposits, Exploration Methods and Techniques. *Russian Mining Industry*. 2022;(1):104–109. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-104-109>

Введение

Южно-Китайское море (ЮКМ), расположенное между Азией и Тихим океаном, является одним из крупнейших окраинных морей Азии в западной части Тихоокеанского региона и связывает такие страны, как Китай, Вьетнам, Филиппины, Малайзия, Индонезия и Бруней. Оно занимает площадь около 3,5 x 106 км² и простирается от Тропика Рака до экватора более чем через 20 град широты в западной части Тихого океана. Таким образом, ЮКМ – это море, соединяющее Индийский и Тихий океаны, и поэтому оно является одним из самых важных маршрутов морских перевозок в мире.

Южно-Китайское море богато полезными ископаемыми. Россыпи прибрежных месторождений разрабатываются странами региона с 1960-х годов. Нефть и газ разведывались и разрабатывались с 1970-х по 1980-е годы на континентальном шельфе ЮКМ. В последние годы XX в. быстрое развитие мировой экономики привело к резкому росту объемов и спектра используемых минеральных ресурсов, что вызвало истощение доступных запасов на континентальной суше. Поэтому многие страны мира все больше интересуются новыми нетрадиционными видами и месторождениями полезных ископаемых в море, особый интерес из которых представляют полиметаллические руды и газогидраты.

Геоморфология

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, покрывающих соответственно 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 [1–3].

Северный склон с рифовым островом Донгша и западный склон с рифами Хоангша (Парасельские острова) и Чжунша (берег Маклсфилда) разделены желобом Хоангша, а южный склон занят островами Чыонгша (острова Спратли), самой большой площадью рифов в ЮКМ. Острова Чыонгша 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.

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.

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. В результате этих процессов количество наносов в этом районе невелико, поэтому континентальный шельф узкий, но континентальный склон шире и сложнее [1; 2].

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.

Поверхность морского дна относительно сложная, с наличием подводных вулканов и подводных гор [1–3].

Геология Южно-Китайского моря

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. Считается, что тектонические плиты, окружающие бассейн Южно-Китайского моря, претерпели вращение по часовой стрелке, процесс субдукции и экструзии 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 Чыонгша (Спратли) и архипелаги Ту Чинь – Вунг Май, а также зону древней субдукции Борнео – Палаван [1; 2; 4].

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 [1–5]:

+ 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 млн лет назад началось формирование коры океана ЮКМ;

- поздняя фаза разлома – от 32 млн лет до 15,5 млн лет назад, морское дно было практически сформировано и блоки Чыонгша и Ту Чинь – Вунг Май были сдвинуты на юг и юго-восток.

+ Пострифтовая стадия: началась после прекращения процесса рифтинга в Южно-Китайском море, примерно 15,5 млн лет назад и длится по настоящее время.

Разлом Айлаошань – Красная река (Ailaoshan – Red River) в Северном Вьетнаме и разлом 109–110° восточной долготы начали движение 32 млн лет назад, в то же время, когда начался рифт Южно-Китайского моря. Разлом Айлаошань – Красная река был оставлен боковым с 32 до 16 млн и переклучился на правый боковой с 16 млн до 5 млн лет назад, после чего почти остановился до настоящего времени.

Геологические образования

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 [4].

Кайнозойские осадочные образования Южно-Китайского моря широко развиты на шельфе, склонах и абиссальных равнинах, эти отложения расгнут, 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.

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

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

Карбонатные отложения распространены на архипелаге Хоангша и в бассейне Нам Кон Сон (миоценовый возраст), а также на архипелаге Чыонгша (от миоцена до четвертичного периода).

Осадочные материалы широко представлены на поверхности морского дна [2–4]. 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.

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.

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.

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

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 [3; 4].

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.

Fe-Mn-конкреции образуются в результате гидрогенетического и диагенетического осаждения 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.

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.

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 [6–15].

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 [14; 15].

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 [11].

Железомарганцевые руды в последние годы были обнаружены в различных частях Южно-Китайского моря в рамках исследований M. Bau (M. Bau) (1993), A.B. Дубинин и др.

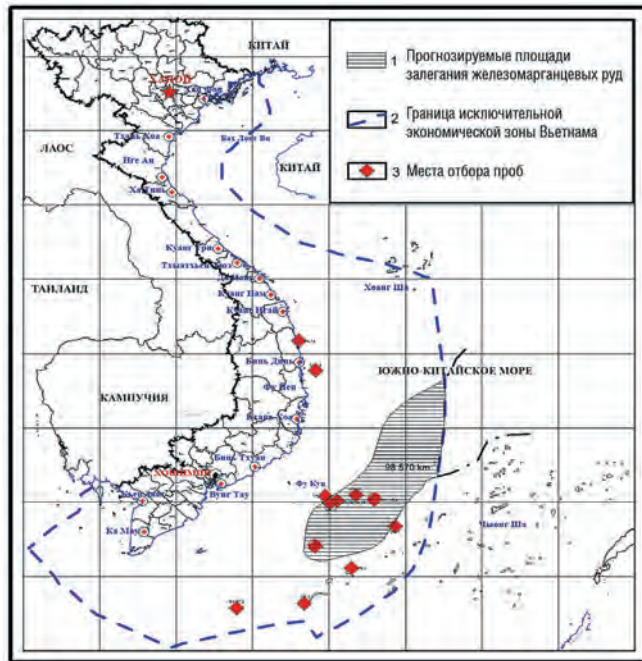


Рис. 1
Карта мест отбора проб и прогноз залегания железомарганцевых руд в глубоководных акваториях Вьетнама

Fig. 1
Map of sampling locations and predictions of iron-manganese ore occurrence in deep waters of Vietnam

марганцевые руды, расположенные в юго-западной части глубоководного региона Южно-Китайского моря (рис. 1).

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.

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).

С 1980 по 2019 г. 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) (табл. 1).

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) [20].

Образцы, собранные в рамках исследовательских программ, перечисленных в табл. 1, хранятся в Институте океанографии, Институте морской геологии и геофизики (Вьетнамская академия наук и технологий). Кроме того, имеется

Таблица 1
Проекты геологических исследований

Table 1
Geological exploration projects

№	Страна и год обследования	Исследовательское судно	Количество образцов и метод отбора проб
1	СССР, 6/1980	НАУКА (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»	

(2008), Яо Гуань (Yao Guan) и др. (2017), И Чжун (Yi Zhong) и др. [12; 16–19].

Более поздние исследования, проведенные в XXI в. (2017–2020), показывают, что Вьетнамское море обладает огромным потенциалом полезных ископаемых, таких как газовый гидрат, железомарганцевая руда глубоководного морского дна [19]. 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 [19].

Прогнозируется, что использование газового гидрата будет довольно широко распространено в континентальной части центрального побережья Вьетнама.

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 (рис. 1).

несколько проб, отобранных в рамках проекта разведки нефти и газа нефтяной компании Вьетгазпром (2011). Многие образцы анализируются для исследования морской геологии и минеральных ресурсов, но образцы руды составляют лишь небольшую их часть.

Предложения по дальнейшему развитию разведочных работ

Результаты исследований показывают, что территория к западу от Южно-Китайского моря, в зоне, принадлежащей Вьетнамскому морю, обладает ресурсным потенциалом, в качестве которого в первую очередь рассматриваются железомарганцевые корки и конкреции. Корки обнаружены на вершине и флангах подводных гор, а конкреции в глубоководной абиссальной равнине. Для более полной и детальной оценки ресурсного потенциала и оконтуривания необходимы дальнейшие геологоразведочные работы.

По сравнению с сушей, разведка железомарганцевых руд на шельфе сложна и дорога, поэтому необходимо объединить все исследовательские работы и получаемые данные в различных областях (геофизика, геоморфология, данные о топографии дна, морских течениях, характеристиках руды и т.д.). Разработать план, который будет обеспечивать оптимальную эффективность геологоразведочных работ по оценке качества и запасов с минимизацией затрат. На основании вышеизложенного можно предложить следующий комплекс методов геологоразведочных работ на ближайшее время [21]:

- собрать и синтезировать существующую информацию по геофизике, геоморфологии, геологии, данные о топографии дна, течениях морского дна, результаты исследований железомарганцевых руд и т.п. в ЮКМ в качестве основы для определения потенциальных областей для более детальных изысканий и дальнейшего анализа;

- с учетом того что на некоторых небольших участках уже есть сейсмические данные от разведочных работ на нефть и газ, провести необходимые региональные сейсмические исследования разного уровня. На основании дальнейшего анализа и синтеза всего комплекса сейсмических исследований и других данных провести районирование акватории ЮКМ с выделением потенциальных участков для более детального изучения;

- предусмотреть использование современного оборудования, такого как АНПА (автономные обитаемые подводные аппараты; англ. AUV), ТНПА (телеуправляемые обитаемые подводные аппараты; англ. ROV), для наблюдения за деталями морского дна, визуального обнаружения рудных областей в сочетании с отбором проб в перспективных местах;

- отбор проб производить с использованием разработанных нами грейдерных пробоотборников аэродинамического типа; крупнообъемные пробы отбирать с помощью разработанного в МГУ кассетного трала (патент РФ №2562304) или цепных драг. В совокупности это позволит получить достоверные карты с ареалами распространения рудных залежей;

– последующие фазы разведки для окончательного окончательного и подсчета запасов необходимо планировать после подробного анализа проб, включающего точную привязку места отбора к геоморфологии участка, тип конкреции или корки, полную характеристику (состав, плотность, размер, толщину корки и рудного слоя и т.п.), мощность рудоносной залежи, площадь покрытия, топографию дна, наличие и мощность наносов, сведения о морских течениях и т.д.

Выводы

Образцы руды, полученные в этом районе дна ЮКМ на глубинах от –130 до –1300 м в основном на кровле и флангах подводных гор, относятся к коровому типу. Области абиссальной равнины ранее не являлись приоритетными районами для сбора образцов и все еще плохо изучены. На основании региональных геологических исследований, а также характеристик топографии морского дна, вероятность появления железомарганцевых конкреций на абиссальных равнинах очень высока. Можно предположить, что железомарганцевые конкреции могут существовать с железомарганцевыми корками на подводных горах и рasti с небольшой скоростью, и залегать в обильном количестве на абиссальных равнинах.

Марганцево-железорудные образования в морской зоне Вьетнама образуются в основном по водному механизму. Скорость роста довольно высокая, сопоставимая с характеристиками окраинного моря. Возраст железомарганцевых руд определяется по возрасту подводных гор в этом районе, возраст базальтов в глубоком море составляет от 13,95 до 3,49 млн лет, а на континентальном шельфе – от 5,5 млн лет до настоящего времени.

Для потенциальной оценки и определения участков для следующего этапа требуются подробные данные о топографии, геоморфологии морского дна, геологии, осадконакоплении, условиях подводных течений и т.д. вместе с дальнейшими изысканиями железомарганцевых руд в районе Южно-Китайского моря.

Список литературы

1. Le Duc To. *South China Sea. Vol. 1: Fundamental Problems*. Hanoi: Natural Science and Technology Publishing House; 2009. 317 p.
2. Mai Thanh Tan. *South China Sea. Vol. 3: Geology and Geophysics*. Hanoi: Hanoi National University Press; 2003. 458 p.
3. Pinxian Wang, Qianyu Li, Chun-Feng Li. *Geology of the China Seas*. Elsevier; 2004.
4. Tran Van Tri, Vu Khuc et al. *Geology and earth resources of Vietnam*. Hanoi: Publishing House for Science and Technology; 2011. 590 p.
5. 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;312(5–6):39–57.
6. Do Minh Tiep, Ton Nu My Du. Preliminary study on Fe - Mn nodules in deep sea bottom of South-eastern Vietnam. In: *Scientific conference on "Bien Dong 2000"*. Nhatrang; 2000.
7. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. Месторождения твердого минерального сырья Мирового океана и потенциал его использования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(9):251–259.
8. 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>
9. Димов Г. (ред.) *Геология и минеральные ресурсы Мирового океана*. Варшава: Intermergeo; 1990. 756 с.
10. ISA. *Marine mineral resources*; 2004. Available at: <https://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Brochures/ENG6.pdf>
11. Sharma R. (ed.). *Deep Sea Mining*. Springer; 2017. 535 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0>
12. 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*. 2017;89:206–227. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.020>
13. Hein J.R., Koschinsky A. Deep-Ocean Ferromanganese Crusts and Nodules. *Treatise on Geochemistry (Second Edition)*. 2014;13:273–291. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01111-6>
14. 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. 1. Минерально-сырьевые ресурсы мирового океана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(5):134–142. Режим доступа: <https://giab-online.ru/files/Data/2014/05/Galperin-Kirichenko.pdf>
15. 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. 2. Перспективы разработки глубоководных месторождений твердого минерального сырья. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(6):361–368.
16. Дубинин А.В., Успенская Т.Ю., Гавриленко Г.М., Рашидов В.А. Геохимия и проблемы генезиса железомарганцевых образований островных дуг западной части Тихого океана. *Геохимия*. 2008;(12):1280–1303.
17. Bau M., Schmidt K., Koschinsky A., Hein J., Kuhn T., Usui A. Discriminating between different genetic types of marine ferro-manganese

- crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium. *Chemical Geology*. 2014;381:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.05.004>
18. Zhong Y., Chen Z., González F.J., Hein J.R., Zheng X., Li G. et al. Composition and genesis of ferromanganese deposits from the northern South China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2017;138:110–128. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.02.015>
19. Дю Ван Тоан. Исследование политики управления морскими минеральными ресурсами во Вьетнаме. В кн.: *Политика управления минеральными ресурсами во Вьетнаме: материалы конференции, г. Ханой, октябрь 2009 г.* (на вьетн. яз.)
20. Дробаденко В.П., Малухин Г.Н., Луконина О.А., Салахов И.Н. Современное состояние проблем освоения твердых минеральных ресурсов дна морей и океанов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(3-1):99–109. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_31_0_99
21. Константинова Н.П., Черкашев Г.А., Новиков Г.В., Богданова О.Ю., Кузнецов В.Ю., Рекант П.В. и др. Железомарганцевые корки поднятия Менделеева: особенности состава и формирования. *Арктика: экология и экономика*. 2016;(3):16–28. Режим доступа: <http://eng.arctica-ac.ru/article/147/>

References

1. Le Duc To. *South China Sea. Vol. 1: Fundamental Problems*. Hanoi: Natural Science and Technology Publishing House; 2009. 317 p.
2. Mai Thanh Tan. *South China Sea. Vol. 3: Geology and Geophysics*. Hanoi: Hanoi National University Press; 2003. 458 p.
3. Pinxian Wang, Qianyu Li, Chun-Feng Li. *Geology of the China Seas*. Elsevier; 2004.
4. Tran Van Tri, Vu Khuc et al. *Geology and earth resources of Vietnam*. Hanoi: Publishing House for Science and Technology; 2011. 590 p.
5. 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;312(5–6):39–57.
6. Do Minh Tiep, Ton Nu My Du. Preliminary study on Fe - Mn nodules in deep sea bottom of South-eastern Vietnam. In: *Scientific conference on "Bien Dong 2000"*. Nhatrang; 2000.
7. Kirichenko Yu.V., Kashirsky A.S. Hard minerals and use potential of the World Ocean. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(9):251–259. (In Russ.)
8. Ngo Chan Thien Quy, Kirichenko Yu. V. Mineral Potential of Subsea Deposits in Vietnamese Part of South China Sea. *Russian Mining Industry*. 2020;(1):140–143. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-140-143>
9. Dimov G. (ed.) *Geology and Mineral Resources of the World Ocean*. Warsaw: Intergeo; 1990. 756 p. (In Russ.)
10. ISA. *Marine mineral resources*; 2004. Available at: <https://www.wisa.org.jm/files/documents/EN/Brochures/ENG6.pdf>
11. Sharma R. (ed.). *Deep Sea Mining*. Springer; 2017. 535 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0>
12. 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*. 2017;89:206–227. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.020>
13. Hein J.R., Koschinsky A. Deep-Ocean Ferromanganese Crusts and Nodules. *Treatise on Geochemistry (Second Edition)*. 2014;13:273–291. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01111-6>
14. Galperin A.M., Kirichenko Yu.V., Shchekina M.V., Kashirsky A.S., Yakupov I.I. Evaluation of the possibility of involvement of ferromanganese seabed deposits in the development. Part 1. Mineral resources of the World Ocean. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(5):134–142. (In Russ.) Available at: <https://giab-online.ru/files/Data/2014/05/Galperin-Kirichenko.pdf>
15. Galperin A.M., Kirichenko Yu.V., Shchekina M.V., Kashirsky A.S., Yakupov I.I. Evaluation of the possibility of involvement of ferromanganese seabed deposits in the development. Part 2. Prospects for sub ocean hard mineral mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(6):361–368. (In Russ.)
16. Dubinin A.V., Uspenskaya T.Yu., Gavrilenko G.M., Rashidov V.A. Geochemistry and genesis of Fe-Mn mineralization in island arcs in the West Pacific Ocean. *Geochemistry International*. 2008;46(12):1206–1227. <https://doi.org/10.1134/S0016702908120021>
17. Bau M., Schmidt K., Koschinsky A., Hein J., Kuhn T., Usui A. Discriminating between different genetic types of marine ferro-manganese crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium. *Chemical Geology*. 2014;381:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.05.004>
18. Zhong Y., Chen Z., González F.J., Hein J.R., Zheng X., Li G. et al. Composition and genesis of ferromanganese deposits from the northern South China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2017;138:110–128. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.02.015>
19. Du Van Toan. Research on marine mineral resource management policies in Vietnam. In: *Conference: Mineral Resource Management Policies in Vietnam*. Hanoi; October 2009 (In Vietnamese).
20. Drobadenko V.P., Malukhin G.N., Lukonina O.A., Salakhov I.N. Solid marine mineral mining: current situation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(3-1):99–109. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_31_0_99
21. Konstantinova N.P., Cherkashev G.G., Novikov G.V., Bogdanova O.Y., Kuznetsov V.Y., Rekant P.V. et al. Ferromanganese crusts of Mendeleev Swell: the features of composition and formation. *Arctic: Ecology and Economy*. 2016;(3):16–28. (In Russ.) Available at: <http://eng.arctica-ac.ru/article/147/>

Информация об авторах

Кириченко Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

Нго Чан Тхиен Кюи – аспирант кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация; Вьетнамский национальный университет Хошимаина, г. Хошимин, Вьетнам; e-mail: nttquy@hcmus.edu.vn

Фам Ба Чунг – инженер, Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, г. Нячанг, Вьетнам

Нгуен Тхи Тхам – инженер, Вьетнамский институт нефти, Вьетнам

Доан Тхи Туи – инженер, Вьетнамский институт нефти, Вьетнам

Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.12.2021

Поступила после рецензирования: 17.01.2022

Принята к публикации: 20.01.2022

Information about the authors

Yury V. Kirichenko – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Geology and Mine Surveying, National University of Science & Technology (MISIS), Moscow, Russian Federation

Ngo Tran Thien Quy – Graduate Student, Department of Geology and Mine Surveying, National University of Science & Technology (MISIS), Moscow, Russian Federation; Vietnam National University Ho Chi Minh City, University of Science, Ho Chi Minh, Vietnam; e-mail: nttquy@hcmus.edu.vn

Pham Ba Trung – engineer, Institute of Oceanography, Vietnam Academy of Science and Technology, Nha Trang, Vietnam

Nguyen Thi Tham – Engineer, Vietnam Petroleum Institute, Vietnam

Doan Thi Thuy – Engineer, Vietnam Petroleum Institute, Vietnam

Article info

Received: 24.12.2021

Revised: 17.01.2022

Accepted: 20.01.2022