



РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-09-14>

УДК 553.068.56:551.462

**Инженерно-геологическое обоснование ресурсного потенциала
дна Южно-Китайского моря**Ю. В. Кириченко¹ , Чан Тхиен Кюи Нго² , М. В. Щёкина¹ ✉¹ Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация² Вьетнамский национальный университет Хошимина, Университет естественных наук, г. Хошимин, Вьетнам✉ mshchekina@yandex.ru**Аннотация**

Принятая в Социалистической Республике Вьетнам программа развития народного хозяйства, базирующегося на собственной минерально-сырьевой базе, требует повышения объемов добычи полезных ископаемых, в том числе жидких углеводородов, вовлечения нетрадиционных видов твердых полезных ископаемых. Исследована ресурсная база месторождений полезных ископаемых Южно-Китайского моря. Идея исследований заключалась в определении и научном обосновании классификационных критериев зонирования (районирования) и выделении перспективных участков с залежами железомарганцевых образований и других твердых полезных ископаемых. Проведен анализ россыпных месторождений на шельфе и залежей железомарганцевых образований в глубинных районах Вьетнамского моря. Проведен многосторонний анализ гидрологических, геофизических, инженерно-геологических, экологических условий залегания месторождений, определены критерии перспективности образования и развития залежей железомарганцевых образований. Эти критерии позволили произвести выделение участков с различным рейтингом перспективности. В пределах Южно-Китайского моря выделены зоны (участки) с высоким, средним и низким потенциалом нахождения конкреций, а также выявлена аналогичная зональность для корок. Определены площади указанных зон. Результаты исследований показали, что общая потенциальная площадь железомарганцевых конкреций составляет 91 480 км², площадь с потенциалом железомарганцевых корок – 2421,6 км² и площадь сосуществования конкреций и корок – 18 777 км². При этом приоритетными районами для будущих разведок являются районы с высоким потенциалом конкреций площадью 18 110 км² и районы с высоким потенциалом корок площадью 882,6 км². На основании полученных материалов произведено районирование дна Вьетнамской эксклюзивной зоны Южно-Китайского моря и составлены карты ресурсно-прогнозной перспективности морского дна, в пределах которых необходимо организовывать поисково-разведочные работы.

Ключевые слова

ресурсный потенциал, шельф, глубоководные районы, многофакторный анализ, россыпи, железомарганцевые образования, месторождение, конкреции, корки, прогнозная перспективность, районирование, Южно-Китайское море, Вьетнам

Для цитирования

Kirichenko Yu.V., Ngo T.T.Q., Shchyokina M.V. The engineering and geological substantiation of the resource potential of the bed of the South China Sea. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2023;8(1):5–12. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-09-14>

MINERAL RESOURCES EXPLOITATION

Research paper

**The Engineering and geological substantiation of the resource potential
of the bed of the South China Sea**Yu. V. Kirichenko¹ , Tran Thien Quy Ngo² , M. V. Shchyokina¹ ✉¹ University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russian Federation² Vietnam National University Ho Chi Minh City, University of Science, Ho Chi Minh City, Vietnam✉ mshchekina@yandex.ru**Abstract**

The program for the development of the national economy based on own mineral raw materials as adopted in the Socialist Republic of Vietnam requires an increase the volumes of minerals. This includes both liquid hydrocarbons, and non-traditional solid minerals. This paper examines the resource base of mineral deposits



in the South China Sea. The objective was to determine and scientifically establish classification criteria for zoning (regionalization), as well as to identify prospective areas with deposits of ferromanganese formations and other solid minerals. An analysis was undertaken of placers on the shelf and deposits of ferromanganese formations in the deep areas of the Vietnam Sea. A multiparameter analysis of the hydrological, geophysical, engineering and geological, environmental conditions of the deposit positions was conducted. In addition, criteria for the prospects of the formation and development of deposits of ferromanganese formations were established. These criteria enabled areas with different prospectivity ratings to be identified. Within the South China Sea, zones (areas) with a high, medium, and low potential for the presence of nodules were identified. Similar zoning for the crusts was also identified. The areas of these zones were determined. The results of the research established that the total potential area of ferromanganese nodules is 91,480 km². The area with the potential of ferromanganese crusts is 2,421.6 km², while the area of coexistence of nodules and crusts is 18,777 km². Furthermore, priority regions for future exploration are those with high nodule potential covering an area of 18,110 km² and the regions of high crust potential with an area of 882.6 km². Based on the materials obtained, the bed of the Vietnamese Exclusive Zone of the South China Sea was zoned. Maps of the resource and predictive prospects of the seabed were drawn, and the prospecting and exploration operations can be established within this framework.

Key words

resource potential, shelf, deep water areas, multiple factor analysis, placers, ferromanganese formations, deposit, nodules, crusts, predictive prospects, zoning, South China Sea, Vietnam

For citation

Kirichenko Yu.V., Ngo T.T.Q., Shchyokina M.V. The engineering and geological substantiation of the resource potential of the bed of the South China Sea. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2023;8(1):5–12. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-09-14>

Принятая в Социалистической Республике Вьетнам программа развития народного хозяйства, базирующегося на собственной минерально-сырьевой базе, требует повышения объемов добычи полезных ископаемых (ПИ), в том числе жидких углеводородов, вовлечения видов твердых ПИ, месторождений которых на суше практически нет¹ [1–3].

Наличие у страны протяженной береговой линии западной окраины Тихого океана, близкое расположение северо-западной границы мегатояса и северного приэкваториального пояса железомарганцевого конкрециеобразования, результаты анализа геологических исследований морского дна, положительный опыт освоения прибрежных и шельфовых россыпей, а также активизация и претензии Китая на освоение акватории Южно-Китайского моря (ЮКМ) предопределяют актуальность организации и развития геологоразведочных работ и освоения морских месторождений Вьетнамом [1–3, 4, 5].

Морские твердые полезные ископаемые (ТПИ) содержат компоненты, имеющие стратегическое значение для экономического и промышленного развития Вьетнама, особенно в области высокотехнологичного машиностроения, включают россыпи ильменита, рутила, циркона, монацита, касситерита и т.п., железомарганцевые конкреции и корки, полиметаллические сульфиды и, возможно, обогащенно-полиметаллические илы [6, 7].

Поэтому исследование, поиск и разведка морских полезных ископаемых во Вьетнаме имеют большое значение, способствуя ориентации на рациональное использование минеральных ресурсов для процесса индустриализации, утверждению суверенитета стра-

ны в исключительной экономической зоне, развитию Вьетнама на пути к тому, чтобы стать сильной морской державой. Вьетнам принял Стратегию устойчивого морского экономического развития страны до 2020 г. (начиная с 2007 г.), до 2030 г. и до 2045 г.²

Для решения проблемы развития ресурсной базы проведено инженерно-геологическое обоснование перспектив освоения морских месторождений твердых полезных ископаемых Вьетнама на основе использования карт ресурсно-прогнозного районирования дна. Идея исследований заключалась в выделении и научном обосновании классификационных критериев зонирования (районирования) и выделении перспективных участков с залежами железомарганцевых образований (ЖМО) и других ТПИ. Классификационные признаки использовались при составлении карт районирования по приоритетности организации поисковых работ морских месторождений и разработки средств и методов инженерно-геологических исследований донных отложений шельфовой зоны и глубинных районов Вьетнамского моря (эксклюзивной экономической зоны) [2, 3].

С этой целью нами были выполнены следующие исследования:

- проведены анализ и оценка современного уровня и состояния морских геологоразведочных работ и степени изученности шельфовой зоны и глубинных районов Южно-Китайского моря Республикой Вьетнам;

- определены условия образования и накопления строительных материалов и россыпей в прибрежных районах и шельфовой зоне как предпосылки для выявления зон и районов с потенциальными и перспек-

¹ Резолюция № 36-NQ/TW (22 октября 2018 г.) «Стратегия устойчивого развития морской экономики Вьетнама до 2030 г., видение до 2045 г.»

² Резолюция № 36-NQ/TW (22 октября 2018 г.) «Стратегия устойчивого развития морской экономики Вьетнама до 2030 г., видение до 2045 г.»

тивными условиями образования и развития железомарганцевых месторождений в морях Вьетнама;

- проведены обзорная оценка и анализ потенциала твердых полезных ископаемых морского дна Вьетнама, включая результаты исследований месторождений строительных материалов, россыпей во вьетнамских водах и месторождений железомарганца в глубинных районах Южно-Китайского моря;

- создана батиметрическая карта дна ЮКМ, обобщены и проанализированы другие факторы, влияющие на формирование и развитие железомарганцевых месторождений в Мировом океане, с целью выявления этих признаков во Вьетнамском море (рис. 1);

- определены благоприятные критерии, влияющие на формирование железомарганцевых руд, с целью зонирования дна ЮКМ по потенциалу их образования в виде грануляций и корок для будущих поисков и разведки.

При выполнении этих исследований использовались многочисленные результаты ранее проведенных исследований в самых различных областях: геологии [4, 5, 8, 9], геофизики [5], петрографии [5, 10],

геохимии [6, 7], гидрологии [7, 11–13], океанографии [7, 11, 12, 14], геоморфологии [6, 7, 9, 13, 15], инженерной геологии [7, 16–18], минералогии [19], топографии морского дна [20] и т.д. [21, 22].

На основании многофакторного анализа были разработаны критерии, которые приведены в табл. 1–3.

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

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

Критерии, используемые для выделения участков, неблагоприятных для образования и роста железомарганцевых конкреций и корок, представлены в табл. 4.

Разработанные критерии позволили произвести районирование дна Вьетнамского моря и выделить ряд участков, в пределах которых целесообразно организовать поисково-разведочные работы на наличие железомарганцевых образований (рис. 2).

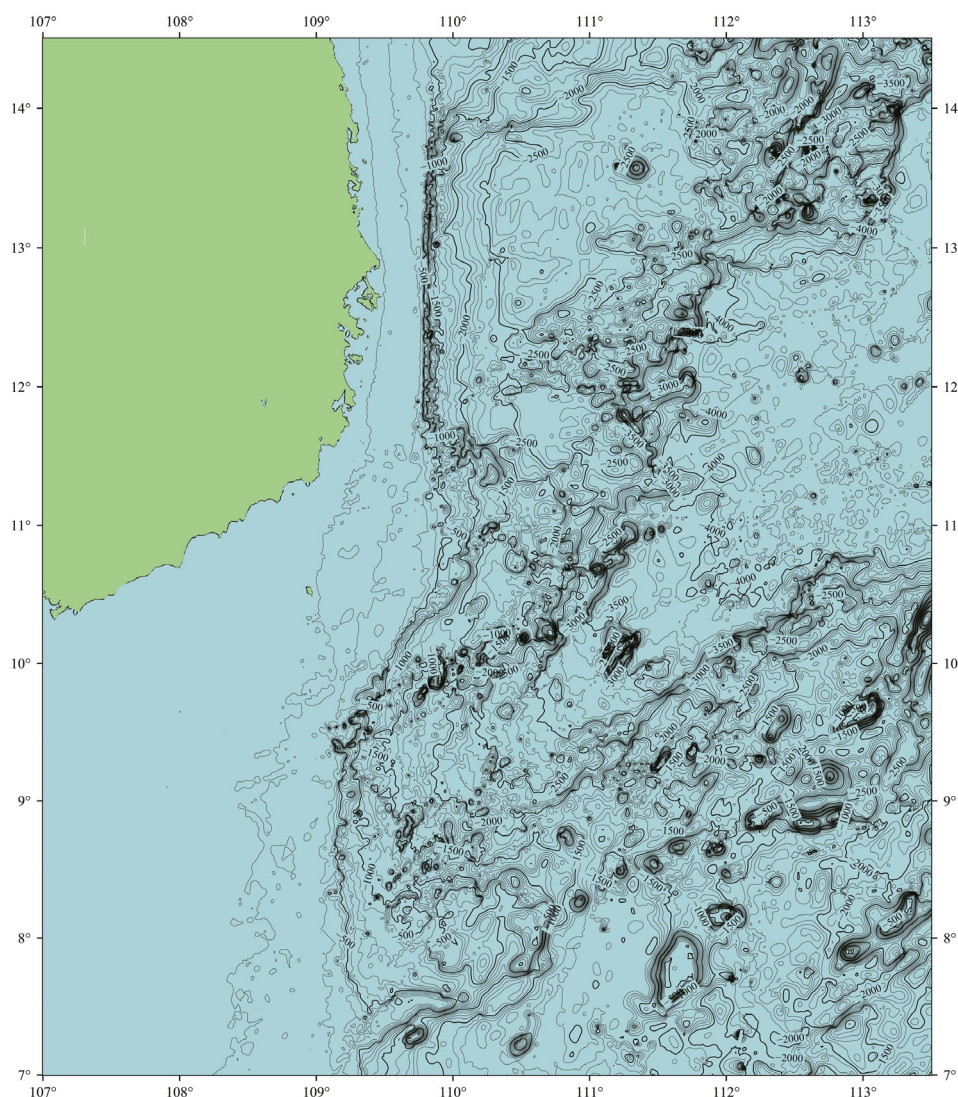


Рис. 1. Батиметрическая карта морского дна ЮКМ



Таблица 1

Критерии районирования месторождений железомарганцевых конкреций

№	Критерий	Значение критерия для присваиваемого рейтинга		
		высокий	средний	низкий
1	Глубина моря, м	3000–4000	> 4000	2000–3000 абиссальные равнины после континентального склона и поднятия
2	Углы наклона морского дна, град	0–3	0–3	0–3
3	Возраст формирования рельефа дна (подводные горы/равнины), млн лет	Многие миллионы лет (Очень благоприятные условия – морское дно старое: 15,5–24 млн лет)	Морское дно сформировалось 15,5–24 млн лет назад	Многие миллионы лет
4	Наличие ядер для об- разования 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 для диагенетических	< 3	Не влияет
6	Осадки на поверхности морского дна	Практически отсутствуют	Практически отсутствуют	Практически отсутствуют

Таблица 2

Критерии районирования месторождений железомарганцевых корок

№	Критерий	Значение критерия для присваиваемого рейтинга		
		высокий	средний	низкий
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). Более древний возраст способствует образованию руд	Многие миллионы лет (>3). Более древний возраст способствует образованию руд	Относительно малый возраст поверхности
4	Поверхность коренной породы	Нет осадка и на базальтовой поверхности (очень высокий), на поверхности известняка, гранита, риолита (высокий)	Нет осадка	В некоторых местах есть осадок
5	Скорость течения, см/с	4–5	4–15 (500–800 м); и < 3 (на глубинах > 1800 м)	Нет необходимости рассматривать
6	Осадки на поверхности морского дна	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют

Таблица 3

Критерии районирования месторождений железомарганцевых конкреций и корок

№	Критерий	Значение критерия для присваиваемого рейтинга	
		средний	низкий – нулевой
1	Глубина моря, м	500–4000	500–4000
2	Углы наклона морского дна, град	7–15	7–15
3	Возраст формирования рельефа дна (подводные горы/равнины), млн лет	> 3	< 3
4	Поверхность коренной породы	Есть ядра. Скопление осадка на поверхности неоднородно	Есть ядра. Скопление осадка на поверхности неоднородно
5	Ядро для развития конкреций		
6	Скорость течения, см/с	4–15	4–15

Таблица 4

Области без потенциально-перспективных условий образования конкреций и корок

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

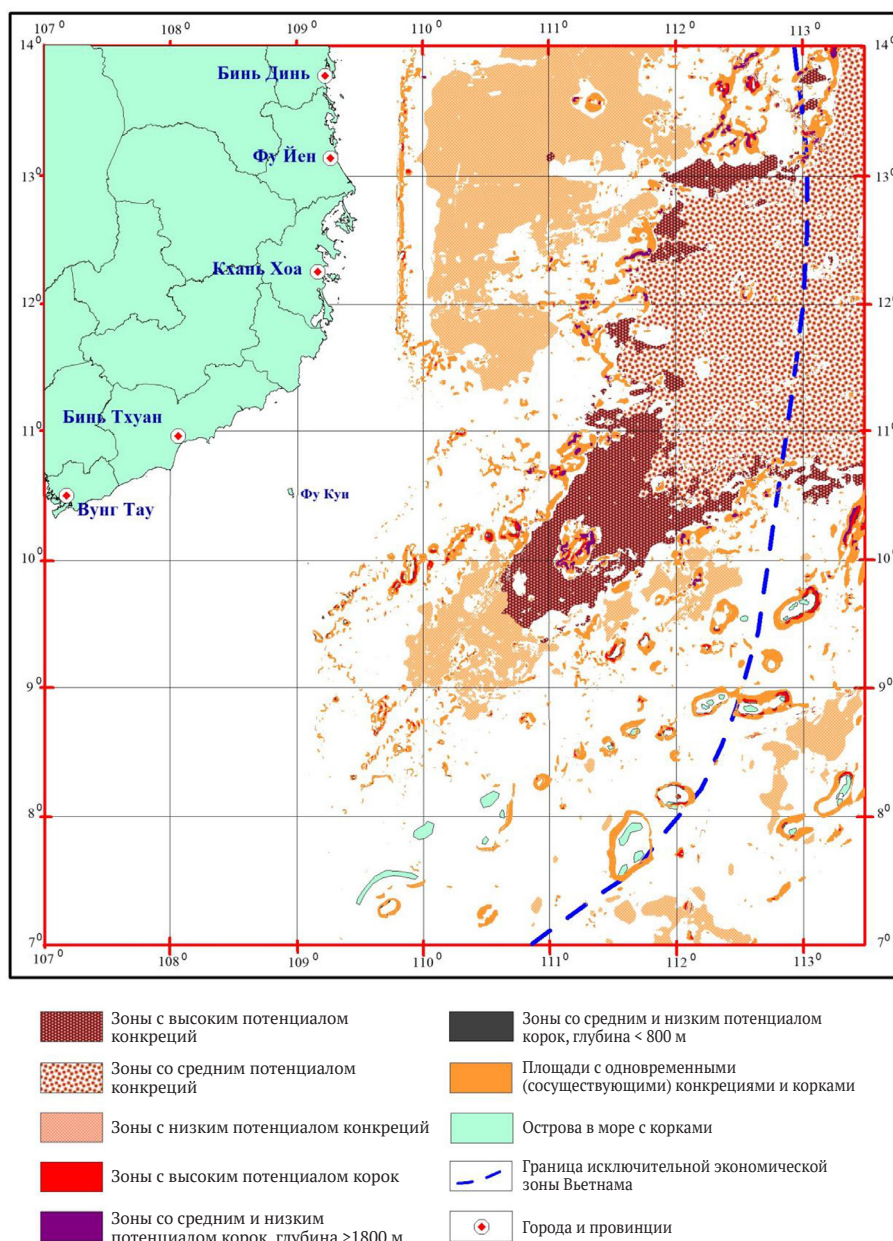


Рис. 2. Карта районирования дна ЮКМ по потенциалу нахождения перспективных железомарганцевых месторождений (район/карта зон поисково-разведочных работ)



Результаты исследований позволили выделить в исключительной морской зоне Вьетнама потенциальные площади железомарганцевых месторождений:

Группа конкреций

– Площадь с высоким потенциалом нахождения конкреций – 18 110 км², из которых наибольшая площадь составляет 13 460 км² – в центральной долине на юго-западе Южно-Китайского моря.

– Площадь со средним потенциалом нахождения конкреций – 28 400 км².

– Площадь с низким потенциалом нахождения конкреций – 44 970 км², включая 4 участка, из которых самый большой площадью 34 110 км² находится на севере исследуемой территории.

Группа корок

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

– площадь с высоким потенциалом – 882,6 км²,

– площади со средним и низким потенциалом – 1539 км².

Группа одновременных (сосуществующих) конкреций и корок – 18,777 км².

Эти карты служат основой для планирования геологоразведочных работ в пределах Вьетнамского моря с высокой степенью обнаружения залежей ЖМО и дальнейшего планирования добычных работ.

Выводы

Вьетнамское море имеет типичное геологическое строение окраинных морей, включающих шельф с россыпными месторождениями, абиссальные равнины с подводными горами и залежами железомар-

ганцевых образований различных типов на них, что значительно повышает минерально-сырьевой потенциал Вьетнама.

Прогнозное районирование дна ЮКМ по перспективности участков для организации поисковых и разведочных работ необходимо производить по классификационным признакам, выявленным на основании результатов многофакторного анализа известных подводных месторождений ТПИ, существующих данных геологических, гидрологических, геофизических, инженерно-геологических и т.п. исследований.

Проведённое районирование позволило выделить на дне Южно-Китайского моря (в том числе в пределах эксклюзивной экономической зоны Вьетнама) участки с различным потенциалом нахождения конкреций и корок по следующим категориям: высокий, средний и низкий, с определениями площадей.

Результаты исследований показали, что общая потенциальная площадь железомарганцевых конкреций составляет 91 480 км², площадь с потенциалом железомарганцевых корок – 2421,6 км² и площадь сосуществования конкреций и корок – 18 777 км². При этом приоритетными районами для будущих разведок являются районы с высоким потенциалом конкреций площадью 18 110 км² и районы с высоким потенциалом корок площадью 882,6 км².

Планирование и проведение морских геологоразведочных работ в ЮКМ необходимо производить на основании выделенных перспективных участков с классификационными особенностями.

Список литературы

1. Нго Чан Тхиен Кюи, Кириченко Ю.В., Щёкина М.В. Перспективные и разведываемые месторождения твердых минеральных ресурсов шельфа и глубинных районов Вьетнама. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(9):103–112. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_9_0_103
2. Кириченко Ю.В., Нго Чан Тхиен Кюи, Фам Ба Чунг и др. 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>
3. Кириченко Ю.В., Нго Чан Тхиен Кюи, Фам Ба Чунг и др. Геологическая характеристика, потенциал и генезис образования железомарганцевых руд на дне юго-западной части Южно-Китайского моря. Ч. 2. Результаты исследований образцов руд дна Южно-Китайского моря. *Горная промышленность*. 2022;(2):67–75. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-67-75>
4. Le D.T. Fundamental Problems. In: *South China Sea*. Vol. 1. Hanoi: Publ. House of Natural Science and Technology; 2009. 317 p.
5. Mai T.T. Geology and Geophysics. In: *South China Sea*. Vol. 3. Hanoi: Publ. House of Natural Science and Technology; 2003. 458 p.
6. Hein J.R., Koschinsky A. Deep-ocean ferromanganese crusts and nodules. In: *Treatise on Geochemistry*. 2nd ed. 2014;13:273–291. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01111-6>
7. Sharma R. (ed.) *Deep sea mining: resource potential, technical and environmental considerations*. Springer Cham; 2017. 548 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0>
8. Chao Sh.-Y., Shaw P.-T., Wu S.Y. Deep water ventilation in the South China Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 1996;43(4):445–466. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(96\)00025-8](https://doi.org/10.1016/0967-0637(96)00025-8)
9. Gillard B., Purkiani K., Chatzievangelou D. et al. Physical and hydrodynamic properties of deep sea mining-generated, abyssal sediment plumes in the Clarion Clipperton Fracture Zone (eastern-central Pacific). *Elementa: Science of the Anthropocene*. 2019;7(1):5. <https://doi.org/10.1525/elementa.343>
10. Long B.H., Thu P.M., Trung N.N. Initial understanding and assessment of role of oceanographic features for ferromanganese crust and nodules in the East Vietnam Sea. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*. 2020;20(4):383–397. <https://doi.org/10.15625/1859-3097/15775>



11. Du D., Ren X., Yan S. et al. An integrated method for the quantitative evaluation of mineral resources of cobalt-rich crusts on seamounts. *Ore Geology Reviews*. 2017;84:174–184. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.01.011>
12. Hein J.R., Conrad T.A., Dunham R.E. Seamount characteristics and mine-site model applied to exploration- and mining-lease-block selection for cobalt-rich ferromanganese crusts. *Marine Georesources & Geotechnology*. 2009;27:160–176. <https://doi.org/10.1080/10641190902852485>
13. Yeo I.A., Howarth S.A., Spearman J. et al. Distribution of and hydrographic controls on ferromanganese crusts: Tropic Seamount, Atlantic. *Ore Geology Reviews*. 2019;114:103131. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103131>
14. Wang P., Li Q. (eds.) *The South China sea: paleoceanography and sedimentology*. Springer Dordrecht; 2009. 516 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9745-4>
15. Yamazaki T., Sharma R. Morphological features of Co-rich manganese deposits and their relation to seabed slopes. *Marine Georesources and Geotechnology, Marine Georesources & Geotechnology*. 2000;18(1):43–76. <https://doi.org/10.1080/10641190009353782>
16. Генов Р., Димитров Т., Киров Б. и др. *Геология и минеральные ресурсы Мирового океана*. Варшава: Intermorgeo; 1990. 756 с.
17. Hein J.R., Konstantinova N., Cherkashov G. et al. Arctic deep water ferromanganese-oxide deposits reflect the unique characteristics of the arctic ocean. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2017;18(11):3771–3800. <https://doi.org/10.1002/2017GC007186>
18. Emelyanov E. *The barrier zones in the ocean*. Springer Berlin, Heidelberg; 2005. 631 p. <https://doi.org/10.1007/b137218>
19. Hoang N., Trinh P.T. 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*. 2009;312(5–6):39–57. (In Vietnamese)
20. Conrad T., Hein J.R., Paytan A., Clague D.A. Formation of Fe-Mn crusts within a continental margin environment. *Ore Geology Reviews*. 2017;87:25–40. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.010>
21. Yang K., Yao H., Ma W. et al. A step-by-step relinquishment method for cobalt rich crusts: a case study on Caiqi Guyot, Pacific Ocean. *Marine Georesources & Geotechnology*, 2022;40(9):1139–1150. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2021.1973161>
22. Zhong Y., Chen Zh., González F.J. 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>

References

1. Ngo Tran Thien Quy, Kirichenko Yu. V., Shchyokina M. V. Promising and provable solid mineral resources in the shelf and abyssal deposits in Vietnam. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(9):103–112. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_9_0_103
2. Kirichenko Yu. V., Ngo Tran Thien Quy, Pham Ba Trung et al. 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*. (In Russ.) 2022;(1):104–109. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-104-109>
3. Kirichenko Yu. V., Ngo Tran Thien Quy, Pham Ba Trung et al. Geological characteristics, potential and genesis of iron-manganese ore formation at the bottom of the southwestern part of the South China Sea. Part 2. Results of studying ore samples from the bottom of the South China Sea. *Russian Mining Industry*. 2022;(2):67–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-67-75>
4. Le D. T. Fundamental Problems. In: *South China Sea*. Vol. 1. Hanoi: Publ. House of Natural Science and Technology; 2009. 317 p.
5. Mai T. T. Geology and Geophysics. In: *South China Sea*. Vol. 3. Hanoi: Publ. House of Natural Science and Technology; 2003. 458 p.
6. Hein J.R., Koschinsky A. Deep-ocean ferromanganese crusts and nodules. In: *Treatise on Geochemistry*. 2nd ed. 2014;13:273–291. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01111-6>
7. Sharma R. (ed.) *Deep sea mining: resource potential, technical and environmental considerations*. Springer Cham; 2017. 548 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0>
8. Chao Sh.-Y., Shaw P.-T., Wu S.-Y. Deep water ventilation in the South China Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 1996;43(4):445–466. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(96\)00025-8](https://doi.org/10.1016/0967-0637(96)00025-8)
9. Gillard B., Purkiani K., Chatzievangelou D. et al. Physical and hydrodynamic properties of deep sea mining-generated, abyssal sediment plumes in the Clarion Clipperton Fracture Zone (eastern-central Pacific). *Elementa: Science of the Anthropocene*. 2019;7(1):5. <https://doi.org/10.1525/elementa.343>
10. Long B.H., Thu P.M., Trung N.N. Initial understanding and assessment of role of oceanographic features for ferromanganese crust and nodules in the East Vietnam Sea. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*. 2020;20(4):383–397. <https://doi.org/10.15625/1859-3097/15775>



11. Du D., Ren X., Yan S. et al. An integrated method for the quantitative evaluation of mineral resources of cobalt-rich crusts on seamounts. *Ore Geology Reviews*. 2017;84:174–184. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.01.011>
12. Hein J.R., Conrad T.A., Dunham R.E. Seamount characteristics and mine-site model applied to exploration- and mining-lease-block selection for cobalt-rich ferromanganese crusts. *Marine Georesources & Geotechnology*. 2009;27:160–176. <https://doi.org/10.1080/10641190902852485>
13. Yeo I.A., Howarth S.A., Spearman J. et al. Distribution of and hydrographic controls on ferromanganese crusts: Tropic Seamount, Atlantic. *Ore Geology Reviews*. 2019;114:103131. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103131>
14. Wang P., Li Q. (eds.) *The South China sea: paleoceanography and sedimentology*. Springer Dordrecht; 2009. 516 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9745-4>
15. Yamazaki T., Sharma R. Morphological features of Co-rich manganese deposits and their relation to seabed slopes. *Marine Georesources and Geotechnology*, *Marine Georesources & Geotechnology*. 2000;18(1):43–76. <https://doi.org/10.1080/10641190009353782>
16. Genov R., Dimitrov T., Kirov B. et al. *Geology and mineral resources of the World Ocean*. Warsaw: Intermorgeo; 1990. 756 p. (In Russ.)
17. Hein J.R., Konstantinova N., Cherkashov G. et al. Arctic deep water ferromanganese-oxide deposits reflect the unique characteristics of the Arctic ocean. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2017;18(11):3771–3800. <https://doi.org/10.1002/2017GC007186>
18. Emelyanov E. *The barrier zones in the ocean*. Springer Berlin, Heidelberg; 2005. 631 p. <https://doi.org/10.1007/b137218>
19. Hoang N., Trinh P.T. 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*. 2009;312(5–6):39–57. (In Vietnamese)
20. Conrad T., Hein J.R., Paytan A., Clague D.A. Formation of Fe-Mn crusts within a continental margin environment. *Ore Geology Reviews*. 2017;87:25–40. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.010>
21. Yang K., Yao H., Ma W. et al. A step-by-step relinquishment method for cobalt rich crusts: a case study on Caiqi Guyot, Pacific Ocean. *Marine Georesources & Geotechnology*, 2022;40(9):1139–1150. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2021.1973161>
22. Zhong Y., Chen Zh., González F.J. 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>

Информация об авторах

Юрий Васильевич Кириченко – доктор технических наук, профессор кафедры геологии и маркшейдерского дела, Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация; Scopus ID [7007186248](https://orcid.org/0000-0001-9146-2448); e-mail kirichenko.iv@misis.ru

Чан Тхиен Кюи Нго – аспирант, Университет естественных наук, Вьетнамский национальный университет Хошимина, г. Хошимин, Вьетнам; Scopus ID [57222072264](https://orcid.org/0000-0002-7226-2644); e-mail nttquy@hcmus.edu.vn

Марина Владимировна Щёкина – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии и маркшейдерского дела, Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация; Scopus ID [57271022000](https://orcid.org/0000-0002-7226-2644); e-mail mshchekina@yandex.ru

Information about the authors

Yuriy V. Kirichenko – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Geology and Mine Surveying, University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; Scopus ID [7007186248](https://orcid.org/0000-0001-9146-2448); e-mail kirichenko.iv@misis.ru

Tran Thien Quy Ngo – PhD-Student, University of Natural Sciences, Viet Nam National University Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Viet Nam; Scopus ID [57222072264](https://orcid.org/0000-0002-7226-2644); e-mail nttquy@hcmus.edu.vn

Marina V. Shchyokina – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Geology and Mine Surveying, University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; Scopus ID [57271022000](https://orcid.org/0000-0002-7226-2644); e-mail mshchekina@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.09.2022
Поступила после рецензирования 08.12.2022
Принята к публикации 15.12.2022

Received 05.09.2022
Revised 08.12.2022
Accepted 15.12.2022