

## Перспективы разработки подводных россыпей Вьетнама

Ю.В. Кириченко<sup>1</sup>, Нго Чан Тхиен Кюи<sup>1, 2</sup>✉

<sup>1</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Государственный университет города Хошимина, Институт естественных наук, г. Хошимин, Вьетнам

✉ nttquy@hcmus.edu.vn

**Резюме:** Рассматриваются вопросы актуальности разведки и освоения месторождений морского дна. Приводятся сведения об истории и составе исследований месторождений твердых полезных ископаемых, проводимых в Южно-Китайском море учеными Демократической Республики Вьетнам. Дается океанографическая и геологическая характеристика тихоокеанского побережья Вьетнама, его шельфа и континентального склона. Приводятся условия, формирующие россыпные месторождения в эксклюзивной экономической зоне Вьетнама, дается их краткая характеристика. Приводятся примеры различных россыпей в шельфовой зоне, их особенности, даны принципиальные схемы залегания. Анализируется зависимость ширины литорали от высоты приливной волны и угла наклона шельфа. Приводятся предложения о возможности разработки россыпных месторождений в литорали сухой техникой, изложены преимущества и недостатки такой технологии. Отмечены особенности влияния климатических условий тихоокеанского побережья Вьетнама на применение гидромеханизированных технологий при разработке подводных россыпей. Сделан акцент на сохранении экологического равновесия в местах разработки и продолжении дальнейших исследований в Южно-Китайском море.

**Ключевые слова:** подводные месторождения, побережье Вьетнама, Южно-Китайское море, россыпи, титан, рутил, ильменит, шельф, приливная волна, литораль, геологоразведочные работы, океаническое ложе, добычное оборудование, гидромеханизированные технологии, экологические проблемы, обогащение, полезные компоненты, перспективы освоения

**Для цитирования:** Кириченко Ю.В., Нго Чан Тхиен Кюи. Перспективы разработки подводных россыпей Вьетнама. *Горная промышленность*. 2021;(4):140–144. DOI 10.30686/1609-9192-2021-4-140-144.

## Prospects for development of Vietnam underwater springs

Yu.V. Kirichenko<sup>1</sup>, Ngo Tran Thien Quy<sup>1, 2</sup>✉

<sup>1</sup>National University of Science & Technology (MISIS), Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Vietnam National University Ho Chi Minh City, University of Science, Ho Chi Minh, Vietnam

✉ nttquy@hcmus.edu.vn

**Abstract:** The issues of the relevance of exploration and development of seabed deposits are considered. The article provides information on the history and composition of studies of solid mineral deposits carried out in the South China Sea by scientists of the Democratic Republic of Vietnam. The oceanographic and geological characteristics of the Pacific coast of Vietnam, its shelf and continental slope are given. The conditions that form placer deposits in the exclusive economic zone of Vietnam are given, and their brief description is given. Examples of various placers in the shelf zone, their features are given, and schematic diagrams of occurrence are given. The dependence of the littoral width on the height of the tidal wave and the angle of inclination of the shelf is analyzed. Proposals are given on the possibility of developing alluvial deposits in the littoral zone using dry drilling equipment, the advantages and disadvantages of this technology are stated. The features of the influence of climatic conditions of the Pacific coast of Vietnam on the use of hydromechanized technologies in the development of underwater placers are noted. Emphasis is placed on maintaining the ecological balance in the fields of development and the continuation of further research in the South China Sea.

**Keywords:** subsea deposits, the coast of Vietnam, the South China Sea, placers, titanium, rutile, ilmenite, shelf, tidal wave, littoral, geological exploration, ocean bed, mining equipment, hydromechanized technologies, environmental problems, beneficiation, useful components, prospects development

**For citation:** Kirichenko Yu.V., Ngo Tran Thien Quy. Prospects for development of Vietnam underwater springs. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(4):140–144. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2021-4-140-144.

### Введение

Морское дно эксклюзивной экономической зоны Демократической Республики Вьетнам (ДРВ) и прилегающих международных вод Южно-Китайского моря стало объектом пристального геологоразведочного внимания на государственном уровне с 80-х годов прошлого столетия. Геологические исследования различной степени интенсивности и масштабности проводились и продолжают по настоя-

щее время как по собственным государственным программам, так и в рамках специализированных международных проектов.

Усилиями вьетнамских ученых-геологов (в том числе с участием советской научной школы) результаты первоначальных многолетних исследований были реализованы в виде серии минерально-геологических карт масштаба 1:200 000. Эти карты при последующих исследованиях дета-

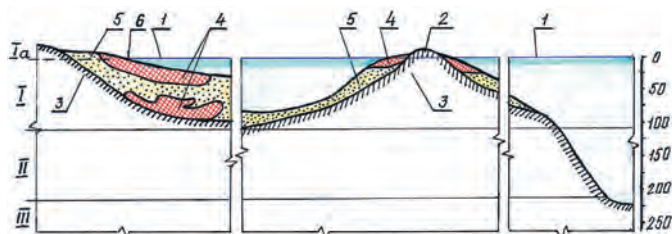
лизировались, уточнялись и классифицировались по различным типам морских месторождений [1–7].

**Основные сведения об эксклюзивной экономической зоне Вьетнама**

Тихоокеанская береговая линия Вьетнама, омываемая Южно-Китайским морем, протянулась на 3444 км (включая острова). Практически на всей своей протяженности она изобилует различными полезными ископаемыми, часть из которых используется с древних времен. 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 [8].

По структуре акватория Южно-Китайского моря (как и всего Мирового океана) делится на три зоны (рис. 1):

- континентальный шельф – глубина до 500 м;
- континентальный склон – глубина от 200 до 4000 м;
- ложе океана – глубина от 2500 до 6000 м.



**Рис. 1**  
Обобщенный разрез эксклюзивной экономической зоны Вьетнама в Южно-Китайском море: I – шельф; Ia – песчаная береговая зона; II – континентальный склон; III – ложе океана; 1 – уровень моря; 2 – остров; 3 – плотик; 4 – россыпь; 5 – вмещающие породы; 6 – линия прибоя

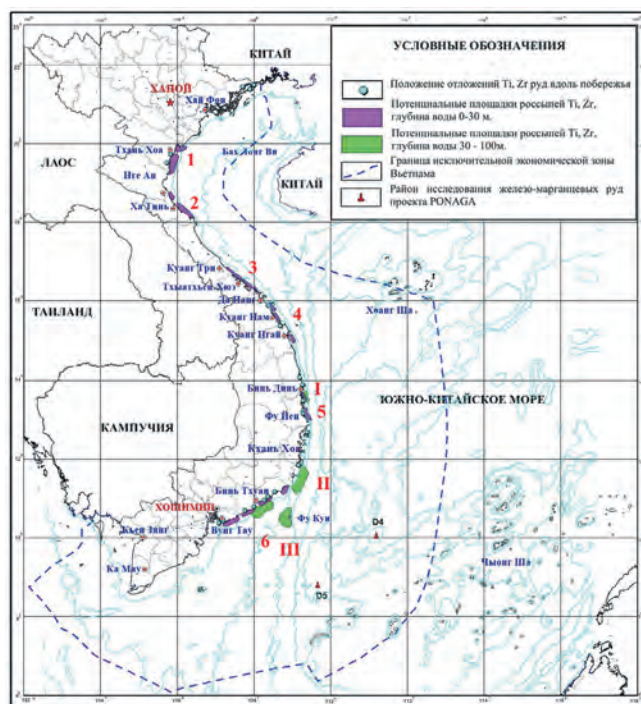
**Fig. 1**  
Generalized section of the exclusive economic zone of Vietnam in the South China Sea: I – shelf; Ia – sandy coastal zone; II – continental slope; III – ocean bed; 1 – sea level; 2 – island; 3 – raft; 4 – placer; 5 – host rocks; 6 – surf line

Континентальный шельф Вьетнама относится к «исключительной экономической зоне» (200 миль от берега для открытого моря и 350 миль для континентального шельфа) и попадает под юрисдикцию этой страны (рис. 2). Поэтому геологоразведка в пределах этой зоны проводится довольно интенсивно, что позволило выявить большое количество разнообразных полезных ископаемых, в основном россыпного типа [4; 6–9].

Континентальный шельф Вьетнама представляет практически по всей своей протяженности почти горизонтальную равнину с небольшим углом наклона менее 0,1° (рис. 3). 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.

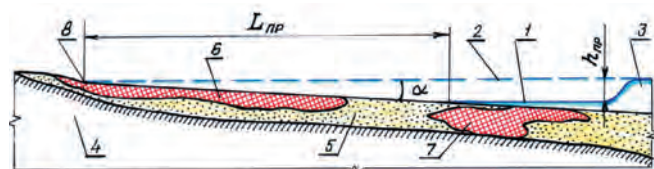
В пределах континентального шельфа процессы выветривания являются определяющими при формировании большинства месторождений. Гидродинамический режим определил деление прибрежного шельфа на три зоны:

- а) надводная зона действия волн и приливов (пляж); расположена между урезом воды во время отлива и верхней границей действия штормовых волн;
- б) подводная волновая зона, в пределах которой волны активно преобразовывают морское дно; она распространяется до глубины 10–20 м и, в зависимости от рельефа побе-



**Рис. 2**  
Карта распространения морских полезных ископаемых Вьетнама: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – Потенциальные районы россыпей Ti, Zr, глубина моря 0–30 м; I, II, III – Потенциальные районы россыпей Ti, Zr, глубина моря 30–100 м

**Fig. 2**  
Map of the distribution of marine minerals in Vietnam: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – Potential areas of Ti, Zr placers, sea depth 0–30 m; I, II, III – Potential areas of Ti, Zr placers, sea depth 30–100 m



**Рис. 3**  
Схема действия приливной волны в пляжной зоне побережья Вьетнама: 1 – уровень моря во время отлива; 2 – уровень моря во время прилива; 3 – приливная волна; 4 – плотик; 5 – вмещающие породы; 6 – россыпь I; 7 – россыпь II; 8 – линия прибоя;  $\alpha$  – угол наклона шельфа;  $h_{пр}$  – высота приливной волны;  $L_{пр}$  – ширина обнажаемого при отливе пляжа (литорали)

**Fig. 3**  
The scheme of action of a tidal wave in the beach area of the coast of Vietnam: 1 – sea level at low tide; 2 – sea level at high tide; 3 – tidal wave; 4 – raft; 5 – host rocks; 6 – placer I; 7 – placer II; 8 – surf line;  $\alpha$  – is the angle of inclination of the shelf;  $h_{pr}$  – is the height of the tidal wave;  $L_{pr}$  – width of the beach exposed at low tide (littoral)

режья, ширина зоны достигает нескольких сотен метров и даже первых километров;

в) неволновая зона, в которой основное действие на дно производят подводные морские течения, находится на глубинах до 200–300 м.

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

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

- абразии – разрушения волнами и течениями материнских горных пород, слагающих берега и мелководье;
- транспортировки – переноса и сортировки терригенного (обломков горных пород с суши) и другого материала;
- аккумуляции – накопления осадков [1; 10; 11].

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

Применительно к рассмотренному выше диапазону (прибрежный район – шельфовая зона) обнаружен целый ряд месторождений ТПИ, которые непосредственно связаны с четвертичными отложениями и морскими осадками. В частности, промышленное значение имеют россыпи ильменита ( $\text{FeTiO}_3$ ), рутила ( $\text{TiO}_2$ ), циркона ( $\text{ZrSiO}_4$ ), монацита [ $(\text{Ce}, \text{La})\text{PO}_4$ ], магнетита ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ), касситерита ( $\text{SnO}_2$ ), золота ( $\text{Au}$ ), гранатов, корунда ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), 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 г. во Вьетнаме производится геологоразведочные изыскания на уран, в основном с применением радиометрического картирования, дополняемого бурением. Часть этих россыпных месторождений успешно разрабатывается, освоение других планируется в будущем.

В предыдущей статье («Горная промышленность» №1/2020) был рассмотрен ряд морских россыпных месторождений Вьетнама элювиального и делювиального происхождения (рис. 2):

- титановое Куанг Сюон с запасами 80,2 тыс. т (в том числе ильменит 71,9 тыс. т и циркон 2,3 тыс. т);
- титановое Кам Хоа со средним содержанием титана  $92,84 \text{ кг/м}^3$  (в том числе ильменит  $81,4 \text{ кг/м}^3$  и циркон  $5,76 \text{ кг/м}^3$ );
- титаново-редкоземельное Ки Нинь с запасами 550,7 тыс. т (в том числе ильменит 443,5 тыс. т, циркон 35,1 тыс. т и монацит 0,2 тыс. т);
- титаново-редкоземельное Ке Сунг с двумя рудными скоплениями и основными запасами: по титановой руде 3370 тыс. т, циркону 100 тыс. т, монациту 1,2 тыс. т;
- титаново-редкоземельное Де Джи с запасами по титану более 2000 тыс. т (в том числе ильменит 1750 тыс. т, циркон 78,5 тыс. т, монацит и ксенотим 23,7 тыс. т);
- титановое (с двумя рудными телами) Хам Тан с запасами по ильмениту 1300 тыс. т, циркону 440 тыс. т;
- несколько месторождений стекольных и оптических песков с общими запасами около 600 тыс. т.

Разведка и изыскания на морских месторождениях на тяжелые, цветные, драгоценные и редкоземельные металлы продолжаются и в настоящее время.

**Особенности промышленного освоения подводных россыпей**

В принципе разработка прибрежных месторождений и в пределах шельфа на малых глубинах особых технологических сложностей не представляет и практикуется во многих странах мира. Единственным существенным ограничением является обеспечение безопасности окружающей природной среды. Основным фактором, обеспечивающим охрану ОПС при морских разработках, должна являться достаточная адекватность применяемой технологии и оборудования состоянию природной среды. Для рассматриваемых месторождений проблема окружающей среды усугубляется тем, что эти районы являются зонами развитого туризма и отдыха практически в течение всего календарного года.

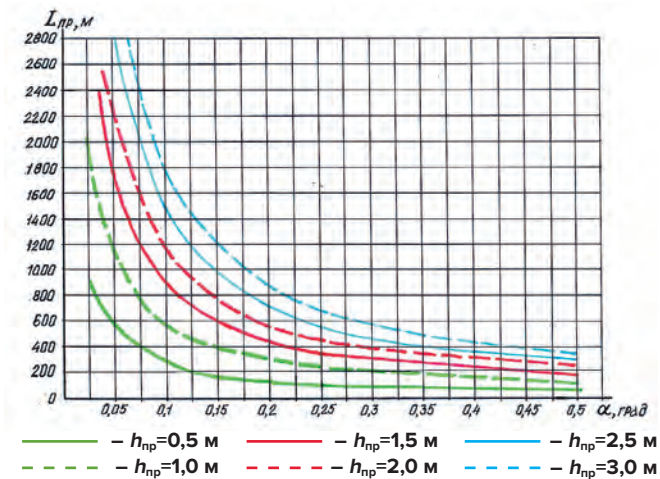
Россыпные месторождения (в том числе и рассматриваемые) весьма разнообразны как в геометрии (форма, размеры, угол падения и т.п.), так и по распределению полезных ископаемых (моно- и поликомпонентные) и характеру залегания (поверхностные без вскрыши и погребенные со вскрышей). Например: месторождения Ке Сунг и Хам Тан имеют по две рудные залежи, рассредоточенные в плане, а Де Джи – в плане и профиле; россыпь Куанг Сюонг имеет мощность в среднем 0,82 м, а Хам Тан до 7,5 м. Вблизи островов также существуют россыпи металлического и строительного сырья. На рис. 1 представлена принципиальная схема россыпных месторождений Вьетнама в пределах шельфа Южно-Китайского моря. Необходимо отметить, что в пределах океанического ложа и континентального склона тоже существуют месторождения твердого минерального сырья, часть из которых уже разведана, а поиск других интенсивно производится как самостоятельно Вьетнамом, так и в рамках международного сотрудничества.

Существующие и проектируемые добычные комплексы для разработки морских месторождений твердых полезных ископаемых неоднократно описывались в технической и научной литературе. Подробно (с различных точек зрения и применительно к поставленной задаче) анализировались их достоинства и недостатки [10–13]. Для разработки россыпных месторождений в пределах шельфа на небольшой глубине (до 50 м) эффективно используются землесосные снаряды с трюмными и погружными насосами, эжекторные и эрлифтные драги и т.п., на больших глубинах (50–100 м) – земснаряды с пневматическими камерными насосами, подводные земснаряды типа «Моллюск», эрлифтные, грейферы и т.п. [10; 11]. Кроме того, при близком к горизонтальному залегании шельфа ( $\alpha < 0,5^\circ$ ) частую зона разработки отгораживается дамбами, осушается и месторождение обрабатывается сухойной обработкой (алмазонасные россыпи в Намибии и т.д.).

Некоторые россыпи Вьетнама залегают полностью или частично непосредственно в пляжной части шельфа (рис. 1, 3). Разработка таких месторождений в литорали возможна сухойной техникой (погрузчиками, бульдозерами, скреперами и т.д.) во время отлива. Периодичность отливов, как известно, составляет 24 ч, то есть около 12 ч в сутки прибрежная зона бывает свободна от воды. Ширина литорали зависит от высоты приливной волны и угла наклона прибрежного шельфа. Наблюдения свидетельствуют – высота прилива на побережье Вьетнама различна, так как зависит от многих природных факторов, и составляет в среднем (с севера на юг): в районе Тхань Хоа до 3,1 м; Ха Тинь – около 2,5 м; Куанг Намь -1,5–1,6 м; Вунг Тау -2,0–3,5 м (рис. 2). На рис. 4 представлены зависимости ширины обнажаемой при отливах зоны (литорали) при различных высотах приливной волны и наклоне дна в диапазоне, характерном для побережья Вьетнама в Южно-Китайском море. Находящиеся в пределах литорали россыпные месторождения на период до 12 ч освобождаются от воды и становятся доступными для сухойной техники.

Время доступности зависит в основном от местоположения россыпи: ближе к линии прибоя на больший промежуток, дальше – на меньший (рис. 1, 3).

Разработка этих месторождений может производиться таким мобильным оборудованием, как погрузчики, скреперы и бульдозеры. Несущая способность дна обнажаемой зоны довольно высокая и достигает в среднем  $0,4\text{--}0,8 \text{ кг/см}^2$ . Ведущие машиностроительные фирмы мира (Белаз, Caterpillar, ЧТЗ, УРАЛТРАК, Volvo, Hyundai, Liu Cong и др.)



**Рис. 4**  
График зависимости ширины обнажаемого при отливе пляжа (литорали –  $L_{пр}$ ) от угла наклона шельфа ( $\alpha$ ) и высоты прилива ( $h_{пр}$ )

**Fig. 4**  
Graph of the dependence of the width of the beach exposed at low tide (littoral –  $L_{пр}$ ) on the angle of inclination of the shelf ( $\alpha$ ) and the height of the tide ( $h_{пр}$ )

выпускают оборудование самой различной производительности и мощности с удельным давлением на грунт приблизительно в этих пределах: погрузчики – 0,3–0,6 кг/см<sup>2</sup>; скреперы – 0,25–0,5 кг/см<sup>2</sup>; бульдозеры – 0,3–0,9 кг/см<sup>2</sup>.

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

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

Последний недостаток можно нивелировать организацией промежуточных складов у береговой черты и использованием добычного оборудования для отгрузки и транспортирования полезного ископаемого на обогатительную фабрику или иному потребителю. Для добычи особо ценных полезных ископаемых можно ограждать места добычи дамбами по примеру разработки алмазоносных россыпей в прибрежных зонах Африки.

За пределами литорали на глубинах до 30 м для разработки россыпных месторождений, как уже отмечалось, могут применяться существующие гидромеханизированные технологии и оборудование. В более глубоких районах шельфа требуются специализированное оборудование и технологии [10–13]. Необходимо отметить, что первый положительный опыт подводной разработки глубоководных россыпей был приобретен при эксплуатации подводного земснаряда «Моллюск» (СССР) с 1972 г. Земснаряд был разработан в Московском горном институте и построен на Уфимском заводе горного оборудования [10]. Опытно-промышленная добыча касситеритовых песков и других россыпных полезных ископаемых в Восточно-Сибирском море, море Лаптевых и на Балтике выявила сложности в организации обогащения и транспортирования добытого материала. Подобные проблемы, влияющие на ритмичность работы добычного оборудования и снижение его производительности, возникнут при освоении россыпей во Вьетнаме.

Кроме того, при планировании морских разработок необходимо учитывать климатические факторы. Сезонное

усиление ветров начинается с мая, а с сентября по январь высока вероятность штормов на прилегающей к Вьетнаму акватории Южно-Китайского моря.

Строительные пески и песчано-гравийные смеси вследствие их широкого распространения в пределах шельфа разрабатываются в мире уже несколько столетий и объем их ежегодной добычи давно превышает 0,5 млрд м<sup>3</sup>. На побережье Вьетнама такие работы достаточно просто организируются зачастую для местных нужд коммун.

Разработка глубинных месторождений твердых полезных ископаемых, особенно конкреций и корок, в промышленных масштабах до сих пор не решена. Планируемая международной компанией Nautilus Minerals разработка корок в море Бисмарка у берегов Папуа – Новая Гвинея с глубины более 1000 м уже несколько лет откладывается из-за технологических и экологических проблем.

Экологические последствия при разработке подводных месторождений во многом схожи с негативными экологическими последствиями, сопровождающими горные работы на континентальной суше [14]. Разработка месторождений морского дна будет негативно воздействовать на устойчивые биосообщества в районе работ, в том числе и посредством уничтожения областей их обитания. В местах проведения горных выработок будет меняться рельеф, загрязняться вода, возможно изменение гидрологического режима в придонной части. Особое внимание необходимо обращать на возможное негативное воздействие на тех представителей флоры и фауны, которые присущи лишь Южно-Китайскому морю.

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

Определенные ограничения для развития морской добычи твердых полезных ископаемых представляют экономические риски.

### Выводы

Многие из обнаруженных в пределах эксклюзивной экономической зоны Вьетнама и глубинных районов Южно-Китайского моря месторождений твердых полезных ископаемых являются перспективными для разработки или более детальной разведки.

Россыпные месторождения в пределах шельфа с глубинами морей до 30 м могут разрабатываться с применением существующих гидромеханизированных технологий и оборудования. Россыпи, залегающие в диапазоне 30–100 м, требуют специальных технологий и оборудования, типа погружного земснаряда «Моллюск», грейферов, комплекса погружных землесосов и т.п.

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

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

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

## Список литературы

1. Генев Р., Димитров Т., Киров Б. и др.; Димов Г. (ред.) *Геология и минеральные ресурсы Мирового океана*. Варшава: Intermergeo; 1990. 756 с.
2. Le Duc To. *South China Sea*. Vol. 1: Fundamental Problems. Hanoi: Natural Science and Technology Publishing House; 2009. 317 p.
3. Mai Thanh Tan. *South China Sea*. Vol. 3: Geology and Geophysics. Hanoi: Hanoi National University Press; 2003. 458 p.
4. *Ministry of Natural Resources and Environmental Protection. Geology and land resources of Vietnam*. Science and Technology Publishing House; 2011. 590 p.
5. *General Department of Geology and Minerals. Geology and Mineral Resources Map of Vietnam 1:1000.000*. Hanoi; 2010.
6. Bui Xuan Nam, Ho Si Giao. Status of development orientations for mining titanium placers in Vietnam. *Mining Sciences and Technologies*. 2016;(1):40–50. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2016-1-40-50>
7. Dang Xuan Fong. *Alluvial exploration methods*. Hanoi: Construction Publishing House; 2006.
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. Кириченко Ю. В., Каширский А. С. Месторождения твердого минерального сырья Мирового океана и потенциал его использования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(9):251–259.
10. Ржевский В.В., Нурок Г.А. (ред.) *Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов*. М.: Недра; 1979. 381 с.
11. Дробаденко В.П., Калинин И.С., Малухин Н.Г. *Методика и техника морских геологоразведочных и горных работ*. Волгоград: Ин-Фолио; 2010. 352 с.
12. Кириченко Ю.В. Глубоководный аппарат для разработки железомарганцевых образований морского дна. *Горный журнал*. 2014;(1):84–87. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/1277/article/21732/>
13. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. История и перспективы развития глубоководной добычи твердых полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(11S):123–134.
14. Кириченко Ю. В., Каширский А. С., Иващенко Г. С. Анализ экологического воздействия разработок подводных месторождений твердых полезных ископаемых. *Горная промышленность*. 2019;(3):92–97.

## References

1. Genov R., Dimitrov T., Kirov B. et al.; Dimov G. (eds) *Geology and Mineral Resources of the World Ocean*. Warsaw: Intermergeo; 1990. 756 p. (In Russ.)
2. Le Duc To. *South China Sea*. Vol. 1: Fundamental Problems. Hanoi: Natural Science and Technology Publishing House; 2009. 317 p.
3. Mai Thanh Tan. *South China Sea*. Vol. 3: Geology and Geophysics. Hanoi: Hanoi National University Press; 2003. 458 p.
4. *Ministry of Natural Resources and Environmental Protection. Geology and land resources of Vietnam*. Science and Technology Publishing House; 2011. 590 p.
5. *General Department of Geology and Minerals. Geology and Mineral Resources Map of Vietnam 1:1000.000*. Hanoi; 2010.
6. Bui Xuan Nam, Ho Si Giao. Status of development orientations for mining titanium placers in Vietnam. *Mining Sciences and Technologies*. 2016;(1):40–50. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2016-1-40-50>
7. Dang Xuan Fong. *Alluvial exploration methods*. Hanoi: Construction Publishing House; 2006.
8. Ngo Chan Thien Quy, Kirichenko Yu.V. Mineral potential of subsea deposits in Vietnamese part of South China Sea. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2020;(1):140–143. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-140-143>
9. Kirichenko Yu.V., Kashirskiy A.S. Hard minerals and use potential of the World Ocean. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015;(9):251–259. (In Russ.)
10. Rzhnevsky V.V., Nurok G.A. (eds) *Technology for extracting minerals from the bottoms of seas and oceans*. Moscow: Nedra; 1979. 381 p. (In Russ.)
11. Drobadenko V.P., Kalinin I.S., Malukhin N.G. *Methods and techniques of offshore exploration and mining operations*. Volgograd: In-Folio; 2010. 352 p. (In Russ.)
12. Kirichenko Yu.V. Deep-diving vehicle for development of ferrimanganese formations of sea bottom. *Gornyi Zhurnal*. 2014;(1):84–87. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/1278/article/21762/>
13. Kirichenko Yu.V., Kashirskiy A.S. History and prospects of deep sea hard mineral mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015;(11S):123–134. (In Russ.)
14. Kirichenko Yu. V., Kashirskiy A. S., Ivaschenko G. S. Analysis of Environmental Impact of Deep Sea Development of Mineral Deposits. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2019;(3):92–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2019-3-145-92-97>

## Информация об авторах

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

**Нго Чан Тхиен Кюи** – аспирант кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Горный институт, г. Москва, Российская Федерация; Государственный университет города Хошимина, Институт естественных наук, г. Хошимин, Вьетнам; e-mail: nttquy@hcmus.edu.vn

## Информация о статье

Поступила в редакцию: 10.06.2021  
Поступила после рецензирования: 16.07.2021  
Принята к публикации: 20.07.2021

## Information about the authors

**Yury V. Kirichenko** – Doctor of Technical Sciences, 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

## Article info

Received: 10.06.2021  
Revised: 16.07.2021  
Accepted: 20.07.2021