

# Глубоководный автономный пробоотборник газодинамического типа для опробования рыхлых отложений и залежей плотного сложения

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>Вьетнамский национальный университет Хошимина, г. Хошимин, Вьетнам

✉ nttquy@hcmus.edu.vn

**Резюме:** В статье рассматриваются общие проблемы геологоразведочных работ в Южно-Китайском море по поиску и опробованию месторождений твёрдых полезных ископаемых. Подчёркивается исключительная важность опробования как единственно научно обоснованного способа выявления и определения характеристик полезных ископаемых. Приведены сведения об оборудовании и методах опробования донных месторождений, применяемых Вьетнамом при исследованиях в Южно-Китайском море. Предложен разработанный авторами автономный самовсплывающий пробоотборник газодинамического принципа действия. Конструкция пробоотборника предусматривает закрытие грейферных ковшей и последующее всплытие на поверхность моря за счёт энергии расширяющихся газов. Пробоотборник состоит из грейферных ковшей, рабочего цилиндра с поршнем и подъёмного баллона, смонтированных на жёсткой раме. Отмечается возможность отбора проб плотных грунтов выше III категории по буримости и значительного сокращения времени пробоотбора с одновременным повышением достоверности исследований.

**Ключевые слова:** Южно-Китайское море, донные месторождения, твердые полезные ископаемые, опробование, геологоразведочные работы, пробоотборник, дночерпатель, автономный самовсплывающий пробоотборник, газодинамика, энергия сжатых газов, химическая реакция, усилие резания, подъемная сила, геологоразведочное судно, категоричность пород по буримости

**Для цитирования:** Кириченко Ю.В., Нго Чан Тхиен Кюи. Глубоководный автономный пробоотборник газодинамического типа для опробования рыхлых отложений и залежей плотного сложения. *Горная промышленность*. 2022;(3):106–111. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-106-111>

## Autonomous deep-water gas dynamic sampler for sampling loose sediments and massive formations

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 article reviews general challenges of exploration in the South China Sea related to prospecting and sampling of solid mineral deposits. The importance of sampling as the only scientifically sound method of identifying and defining properties of minerals is emphasized. Information is provided on the equipment and methods used in Vietnam for sampling bottom sediments in the South China Sea. An autonomous gas-dynamic boomerang sampler designed by the authors is presented. The sampler is designed to close the clamshell buckets with subsequent surfacing of the unit using the energy of expanding gases. The sampler consists of clamshell buckets, an operating cylinder with a piston and a lifting cylinder mounted on a rigid frame. The sampler can be used for sampling solid grounds with the drillability grade above III, and it significantly reduces the sampling time, while increasing the reliability of the survey.

**Keywords:** South China Sea, bottom deposits, solid minerals, sampling, geological prospecting, sampler, bottom grab, autonomous boomerang sampler, gas dynamics, energy of compressed gases, chemical reaction, cutting force, lifting force, exploration vessel, classification of rocks by drillability

**For citation:** Kirichenko Yu.V., Ngo Tran Thien Quy. Autonomous deep-water gas dynamic sampler for sampling loose sediments and massive formations. *Russian Mining Industry*. 2022;(3):106–111. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-106-111>

## Введение

Ранее рассматривались проблемы освоения минеральных ресурсов Южно-Китайского моря Социалистической Республикой Вьетнам. Отмечалась перспективность более масштабного развития поисковых работ в этом регионе, особенно в акватории Вьетнамского моря (в исключительной экономической зоне Вьетнама), в том числе с применением новых видов исследовательского оборудования [1–3].

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). В этих исследовательских проектах проведены сейсморазведочные, геологические и геофизические работы. Образцы отложений и донных пород собирались с использованием таких аппаратов, как гравитационный пробоотборник, окно- пробоотборник, цепная драга и грейфер. Образцы руд, полученные в этом районе дна ЮКМ на глубинах от –130 м до –1300 м преимущественно на кровле и флангах подводных гор, в основном относятся к коровому типу [3; 4].

По результатам геологоразведочных работ также составлены геологические карты в масштабе 1: 1 000 000, в том числе геологическая карта моря и суши Вьетнама, Главным управлением геологии и полезных ископаемых Вьетнама (General Department of Geology and Minerals of Viet Nam, 2010). Имеется также Глубоководная геологическая карта, составленная Нгуен Тхе Тьеп и др. (2010).

Проведенный авторским коллективом анализ исследований по оценке минерально-сырьевого потенциала морского дна на основе комплексного учета многих факторов, таких как батиметрия, геоморфология, геология морского дна, процесс осадконакопления и ряда других условий показывает, что акватория Вьетнамского моря имеет перспективу обнаружения россыпей на континентальном шельфе, потенциал железомарганцевых руд в глубоководных районах, на подводных горах и в абиссальной зоне на глубинах от 400 м до 4500 м.

В ближайшем будущем поисково-разведочные работы во Вьетнамском море будут по-прежнему проводиться с использованием многих новых методов и оборудования, включая геофизические методы, отбор проб дна с последующим анализом анализатором изображения, видеосъемку, сканирование, в том числе ультразвуковым профилировщиком [5; 6].

Ранее подчеркивалась сложность и высокая затратность проведения геологоразведочных работ по обнаружению и опробованию месторождений морского дна [1; 2]. Причем опробование – единственно научно обоснованный способ достоверного выявления полезного ископаемого, его качества, геохимической специализации, минерального и химического состава, зональности и внутреннего строения. По данным опробования выделяются потенциальные рудоносные участки недр, природные и технологические типы полезных ископаемых, определяется целый комплекс их разнообразных свойств и т.п.

Аналитические результаты проб руды могут быть использованы на всех этапах геологоразведочных работ, а также при оценке факторов разработки месторождения. Данные опробования имеют высокую достоверную ценность, помогая дополнять и корректировать сейсмическую интерпретацию, геофизические исследования, сканирование и съёмки.

Особенностью опробования является незначительность объема пробы по сравнению с объемами всей залежи. Идеальный результат опробования – получение максимума информации за минимально короткое время и с наименьшей трудоемкостью [7].

Пробой принято называть порцию материала, отобранную механическим способом из скопления минерального сырья, предназначенную для получения какой-либо информации. В принципе проба – это единичное локальное наблюдение изучаемого свойства полезного ископаемого в некотором объеме, которое определяется объемом, формой, размерами и координатами [7]. Уникальность каждой пробы в том, что она не может быть отобранной повторно, поэтому информация, которую несет проба, должна быть использована максимально. Кроме того, все пробы имеют отличие друг от друга, поэтому минимизация различий свидетельствует о более точной оценке обследуемого массива в целом. Так как объем пробы неизмеримо меньше объема опробуемых залежей, то его увеличение или частоты опробования повышает значимость получаемой информации.

Виды опробования и их назначение достаточно подробно освещались в различных исследованиях и методических рекомендациях и требованиях, поэтому далее рассматриваются особенности изысканий применительно к месторождениям морского дна, в частности, залежам железомарганцевых конкреций и корок [8]. Необходимо признать, что содержание полезных компонентов в пробах может быть максимальным (применительно к ориентировочным прогнозам) или минимальным (даже нулевым), а изменчивость содержаний по ряду проб – максимальной из возможных. Следовательно, увеличение объемов проб приводит к выравниванию содержаний и, конечно, к снижению их изменчивости в общем объеме проб. Для выполнения этой задачи в МГУ был разработан касетный трал, обеспечивающий качественное и эффективное крупнообъемное опробование [8; 9].

Однако на первоначальных этапах ГРП весьма важно прозондировать перспективные районы и участки, выбранные аналитически по ряду других параметров [2]. В исследовательских экспедициях в Южно-Китайском море для сбора донных проб использовались цепная драга (крупнообъемное опробование), гравитационные пробоотборники (отбор зерна ненарушенного строения), поршневые пробоотборники (отбор донных отложений), коробчатые пробоотборники Vox Coger (отбор мягких отложений) и дночерпатели грейферного типа. Основным их недостатком является жесткая зависимость от геологоразведочного судна (ГРС) и невысокая скорость опробования (маленькая площадь в единицу времени). Сокращает время пробоотбора и повышает достоверность изысканий применения самовсплывающих дночерпателей [10]. Однако они имеют малую площадь пробоотбора и применимы только на слабых донных отложениях, так как имеют невысокое усилие резания.

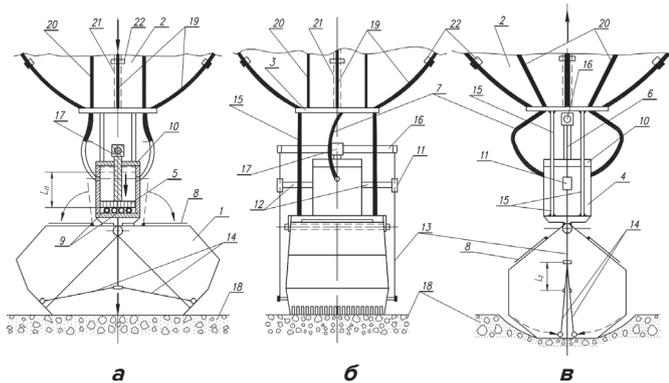
Для опробования плотных и даже коркообразных донных отложений, в частности в акватории Южно-Китайского моря, с высокой скоростью нами разработан автономный самовсплывающий газодинамический пробоотборник (АГДП).

## Структура и принцип работы устройства

Принцип действия устройства основан на энергии расширяющихся газов, получаемых при химической реакции или с помощью ресивера со сжатым газом. Пробоотборник

конструктивно состоит из грейферных ковшей, рабочего цилиндра с разъемным поршнем и подъемного баллона (рис. 1). Эти части монтируются на жестком каркасе, а цилиндр имеет съемную головку, обеспечивающую смену ампул с химреактивами.

Подобный принцип широко используется в авионавтике и подводных аппаратах различного назначения. При проектировании многих донных пробоотборников различных конструкций и добычных морских комплексов в последние годы также существуют предложения по применению сжатых или выделяемых при химреакциях газов [8–13].



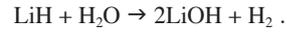
**Рис. 1**  
**Принципиальная схема газодинамического пробоотборника:**  
**а** – этап опускания (момент касания дна и начало раздавливания ампул);  
**б** – то же (вид справа);  
**в** – закрытие ковша и начало подъема;  
**1** – створки грейфера;  
**2** – подъемный баллон;  
**3** – держатель баллона;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

**Fig. 1**  
**Schematic diagram of the gas-dynamic sampler:**  
**a** – sinking stage (the moment the sampler touches the sea bottom and the cartridges start to smash);  
**б** – the same stage, right view;  
**в** – closing of the bucket and start of surfacing;  
**1** – clamshell flaps;  
**2** – lifting cylinder;  
**3** – cylinder holder;  
**4** – dismountable working cylinder; **5** – separable piston;  
**6** – hollow piston rod;  
**7** – flexible high pressure hoses; **8** – spring-loaded covers; **9** – cartridges with the reactant; **10** – removable cylinder head; **11** – guides;  
**12** – guide holders;  
**13** – rigid rods; **14** – bar links;  
**15** – frame; **16** – horizontal removable beam;  
**17** – rod adjusting lug;  
**18** – deposit;  
**19** – elastic arcs;  
**20** – rubber band clamps;  
**21** – vertical hollow post;  
**22** – hinges

Расчеты по определению объемов газов, выделяемых при детонации ВВ или химической реакции различных веществ, а также зависимости подъемной силы от глубины моря приведены в работе [13]. Сделан вывод о целесообразности использования гидрида лития в качестве газогенерирующего вещества.

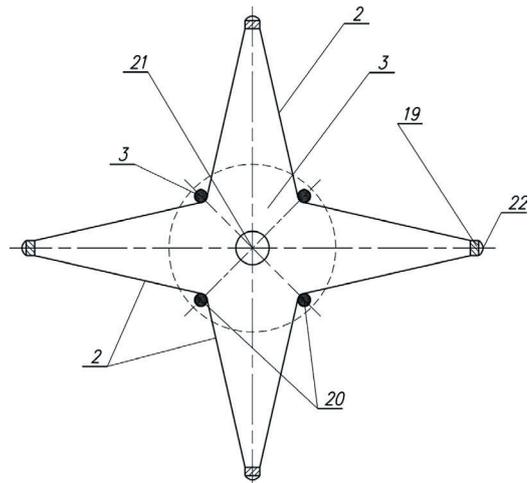
Гидрид лития обладает способностью производить большое количество газа в результате реакции LiH небольшого

объема с водой с образованием LiOH. Выброс гидроксида лития в морскую среду небольшими и постепенными количествами во время всплытия устройства не причинит вреда окружающей среде.



Подробные расчеты применительно к использованию предварительно сжатых газов произведены в работе [14]. Основное условие, которое должно соблюдаться при использовании предлагаемого способа, это обеспечение давления газов в подъемной емкости, превышающего гидростатическое давление воды в месте забора проб. Регулировка давления осуществляется подбором количества (объема) ампул с химреактивом.

Порядок работы газодинамического пробоотборника (АГДП) следующий. Опущенный за борт поискового судна пробоотборник под действием собственного веса устремляется вниз (на дно). Вертикальная траектория падения грейферным ковшом вниз обеспечивается баллоном для газов, который в спущенном состоянии в разрезе имеет крестообразную форму – стабилизатор (рис. 2). Такую форму обеспечивают четыре упругие металлические (полимерные) дуги, растягивающие оболочку баллона, и четыре резиновых жгута, прижимающих ее к вертикальному пустотелому штырю – стойке (см. рис. 1, 2). Для предотвращения опрокидывания грейферного пробоотборника и обеспечения строго вертикального опускания его на дно в надувном баллоне оставляют немного газа с давлением, близким к атмосферному. При погружении АГДП давление воды действует на баллон, уменьшает его объем и общее сопротивление движению. Остаток газа в баллоне создает его положительную плавучесть в воде, максимально смещает центр тяжести пробоотборника вниз и исключает отклонение от первоначально заданной вертикальной траектории. Для уменьшения общего сопротивления падению и снижения величины сноса подводными течениями подпружиненные крышки верхней части ковша удерживаются в открытом состоянии напором воды.



**Рис. 2**  
**Вид сверху (без изображения)**

**Fig. 2**  
**Top view (no image)**

При ударе о дно створки грейфера **1** расходятся и через тяги-кулисы **14** передают движение жестким тягам **13**, смещающимся вниз (рис. 1, а, б). Тяги соединены с горизонтальной съемной балкой **16** и через нее с регулируемым

наконечником 17 штока 6 поршня 5. Движение передается на поршень и тот раздавливает ампулы с химреактивами. Дополнительное усилие поршень получает и за счет инерции, так как он состоит из двух частей, нижняя из которых не имеет уплотнения и свободно скользит в цилиндре 4 (на рис. 1 разъем не показан). Он снабжен небольшим штоком, свободно входящим в основной пустотелый шток 6, что обеспечивает его соосность с передаваемым усилием от жестких тяг, но не препятствует движению за счет инерции. Верхняя часть поршня имеет уплотнительные поршневые кольца, аналогичные применяемым в двигателях внутреннего сгорания. Уплотнение штока с цилиндром обеспечивается съёмными кольцами из отожженной меди (на рис. 1 не показано).

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

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

#### **Применимость автономного газодинамического пробоотборника в геологоразведочных работах во Вьетнамском море**

Как уже отмечалось, геологическое строение дна Южно-Китайского моря в целом отображает геологию дна окраинных морей Мирового океана – основной объем рыхлых отложений сосредоточен в понижениях рельефа и в районах впадения рек, а более плотные породы приурочены к подводным горам [1; 2].

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

Опробование плотных залежей возможно лишь аппаратами с высокими усилиями резания грунтозаборных механизмов. Неуправляемые автономные пробоотборники – дночерпатели применимы лишь для I–III категорий пород по буримости, т.е. от илов, алевролитов и песков до супесей, суглинков и глин с содержанием щепенистого материала до 20% [10; 15].

Глубина забора используемых дночерпателей в среднем

составляет 0,3–0,4 м с площадью захвата (пробоотбора) от 0,1 до 0,5 м<sup>2</sup>. Предлагаемая конструкция пробоотборника с силовым внедрением грунтозаборного органа в дно моря позволяет производить черпание пород значительно более крепких и в больших объёмах, в том числе с разрушением корковых залежей [16; 17]. Усилие резания регулируется объемом цилиндра 4, давлением в нем и размерами створок грейфера 1 (см. рис. 1). Грейфер может оборудоваться съёмными зубьями различной конфигурации и размеров в зависимости от вида и крепости опробуемого массива. Кроме того, обеспечивается увеличение глубины черпания до 0,5–0,8 м и поднимаемой массы с первых десятков до сотен килограммов.

Следует отметить, что предлагаемым устройствам можно точно отбирать пробы в заданных местах, которые будут нести много важной информации о месторождении. Кроме этого, пробоотборник даёт возможность получения организмов с поверхности морского дна для оценки био-разнообразия района исследования.

Основные преимущества разработанного газодинамического пробоотборника по сравнению с типовыми автономными самовсплывающими устройствами заключаются в следующем:

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

Увеличение глубины пробоотбора позволяет также производить забор конкреций в тех местах, где они соскользнули со склонов в результате тектонической деятельности и были погребены иловыми донными отложениями. При этом состав отложений, которые будут сопровождать конкреции, должен также изучаться для определения физико-механических, физико-химических свойств, геотехнических условий и оценки возможного воздействия на окружающую среду вследствие последующих разработок [17; 18]. При опробовании железомарганцевых корок разработанный аппарат может обеспечить отделение рудных корок от поверхности подстилающей твердой породы.

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

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

### Выводы

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

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

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

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

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

### Список литературы

1. Кириченко Ю.В., Нго Чан Тхиен Кюи. Перспективы разработки подводных россыпей Вьетнама. *Горная промышленность*. 2021;(4):140–144. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-140-144>
2. 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](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_9_0_103)
3. 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>
4. 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. 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>
5. Sharma R. (ed.). *Deep Sea Mining*. Springer; 2017. 535 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0>
6. Yong Bai, Qiang Bai. *Subsea engineering handbook*. 2<sup>nd</sup> ed. Elsevier; 2019. 956 p.
7. Каждан А.Б. *Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки*. М.: Недра; 1984. 285 с.
8. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., Адигамов А.Э., Иващенко Г.С. Оценка возможности применения кассетного трала для крупномасштабного опробования глубоководных месторождений железомарганцевых конкреций (ЖМК). *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(5):41–53. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2017/5/41\\_53\\_5\\_2017.pdf?ysclid=l362jecfh0](https://giab-online.ru/files/Data/2017/5/41_53_5_2017.pdf?ysclid=l362jecfh0)
9. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. Кассетный трал для промышленной добычи железомарганцевых конкреций океанического дна. *Горный журнал*. 2015;(12):56–61. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.12.13>
10. Мирчик И.Н., Блумов И.Ф. (ред.) *Технология и технические средства для изучения железомарганцевых образований Мирового океана*. М.: Океангеоресурсы; 1999.
11. Козлов М.Ю., Луконина О.А., Насонов Д.А. Технические средства для освоения глубоководных месторождений дна Мирового океана. В кн.: Лисов В.И., Косьянов В.А., Брюховецкий О.С. (ред.) *Новые идеи в науках о Земле: материалы 12-й междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 8–10 апреля 2015 г.* М.: МГРИ-РГГРУ; 2015. Т. 2. С. 18–19.
12. Кисляков В.Е., Маликова К.В., Катышев П.В. *Автономное устройство для подъема полезных ископаемых со дна акватории*. Патент РФ № 2539508, 21.11.2013. 2015, Бюл. № 2.
13. Кисляков В.Е., Катышев П.В., Шкаруба Н.А., Елизарьев В.С., Башкатова Я.Р. Добыча полезных ископаемых со дна континентального шельфа автономным подводным комплексом. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(3-1):318–329. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_31\\_0\\_318](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_31_0_318)
14. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., Кузин Е.А., Адигамов А.Э., Галиакбарова Р.М. Определение параметров применимости кассетного трала при глубоководном опробовании месторождений железомарганцевых конкреций. *Горная промышленность*. 2017;(5):92–95. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/13016-opredelenie-parametrov-primenimosti-kassetnogo-trala-pri-glubokovodnom-oprobovanii-mestorozhdenij-zhelezomargantsevykh-konkretsiy>
15. Иванов В.Л., Каминский В.Д. (ред.) *60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане*. СПб.: ВНИИОкеангеология; 2008. 650 с.
16. Hashiba K., Fukui K., Miyazaki K., Watanabe K. Mechanical and cutting characteristics of cobalt-rich ferromanganese crusts. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2020;53(6):2929–2934. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02071-w>
17. He S., Peng Y., Jin Y., Wan B., Liu G. Review and analysis of key techniques in marine sediment sampling. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2020;33:66. <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00480-0>
18. Montagna P.A., Baguley J.G., Hsiang C.-Y., Reuscher M.G. Comparison of sampling methods for deep-sea infauna. *Limnology and oceanography: Methods*. 2017;15(2):166–183. <https://doi.org/10.1002/lom3.10150>

## References

1. Kirichenko Yu.V., Ngo Tran Thien Quy. Prospects for development of Vietnam underwater springs. *Russian Mining Industry*. 2021;(4):140–144. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-140-144>
2. 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](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_9_0_103)
3. 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. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-104-109>
4. 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 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>
5. Sharma R. (ed.). *Deep Sea Mining*. Springer; 2017. 535 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0>
6. Yong Bai, Qiang Bai. *Subsea engineering handbook*. 2<sup>nd</sup> ed. Elsevier; 2019. 956 p.
7. Kazhdan A.B. *Search and exploration of mineral deposits. Scientific foundations of search and exploration*. Moscow: Nedra; 1984. 285 p. (In Russ.)
8. Kirichenko Yu.V., Kashirskiy A.S., Adigamov A.E., Ivashchenko G.S. Applicability of bottom trawl to large-scale sampling of deep-sea ferro-manganese nodules. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(5):41–53. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2017/5/41\\_53\\_5\\_2017.pdf?ysclid=l362jecfh0](https://giab-online.ru/files/Data/2017/5/41_53_5_2017.pdf?ysclid=l362jecfh0)
9. Kirichenko Yu.V., Kashirsky A.S. Cassette-type dredging equipment for excavation of iron–manganese concretions from ocean floor. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(12):56–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.12.13>
10. Mirchik I.N., Blumov I.F. (eds). *Technology and technical tools for studying the ferromanganese formations of the World Ocean*. Moscow: Okeangeoresursy; 1999. (In Russ.)
11. Kozlov M.Yu., Lukonina O.A., Nasonov D.A. Technical tools for the development of deep-sea deposits on the bottom of the World Ocean. In: Lisov V.I., Kos'yanov V.A., Bryukhovetsky O.S. (eds). *New Ideas In Earth Sciences: 12<sup>th</sup> International Scientific-Practical Conference, Moscow, 8–10 апреля 2015 г.* Moscow: MGRI-RGGRU; 2015. Vol. 2, pp. 18–19. (In Russ.)
12. Kislyakov V.E., Malikova K.V., Katyshev P.V. *Autonomous device for lifting minerals from the bottom of the water area*. Patent of the Russian Federation No. 2539508, 21.11.2013. 2015, Bull. No. 2.
13. Kislyakov V.E., Katyshev P.V., Shkaruba N.A., Elizariev V.S., Bashkatova Y.R. Autonomous underwater vehicles for mineral mining on continental shelf. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(3-1):318–329. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_31\\_0\\_318](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_31_0_318)
14. Kashirsky A.S., Kuzin E.A., Kirichenko Yu.V., Adigamov A.E., Galiakbarova R.M. Estimating the parameters of the applicability of a cassette sweeping gear for deep-water sampling of ferromanganese nodule deposits. *Russian Mining Industry*. 2017;(5):92–95. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/13016-opredelenie-parametrov-primenimosti-kassetnogo-tralapr-glubokovodnom-oprobovanii-mestorozhdenij-zhelezomargantsevykh-konkretsiy>
15. Ivanov V.L., Kaminskii V.D. (eds). *15. 60 years in the Arctic, Antarctic and the World Ocean. Collection of scientific papers*. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya; 2008. 650 p. (In Russ.)
16. Hashiba K., Fukui K., Miyazaki K., Watanabe K. Mechanical and cutting characteristics of cobalt-rich ferromanganese crusts. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2020;53(6):2929–2934. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02071-w>
17. He S., Peng Y., Jin Y., Wan B., Liu G. Review and analysis of key techniques in marine sediment sampling. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2020;33:66. <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00480-0>
18. Montagna P.A., Baguley J.G., Hsiang C.-Y., Reuscher M.G. Comparison of sampling methods for deep-sea infauna. *Limnology and oceanography: Methods*. 2017;15(2):166–183. <https://doi.org/10.1002/lom3.10150>

**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 Хошимина, г. Хошимин, Вьетнам; e-mail: nttquy@hcmus.edu.vn

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 21.04.2022

Поступила после рецензирования: 12.05.2022

Принята к публикации: 16.05.2022

**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

**Article info**

Received: 21.04.2022

Revised: 12.05.2022

Accepted: 16.05.2022