

Применение гидромонитора при глубоководной гидродобыче твердых полезных ископаемых морского дна

Педан Н. Р.^{1*}, Васянович Ю. А.^{1,2}

¹ Владивостокский государственный университет, г. Владивосток, Россия

² Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

*e-mail: myname@nikpedan.ru

Реферат

Введение. Глубоководная добыча твердых полезных ископаемых требует инновационных решений, сочетающих эффективность и экологическую безопасность. В статье рассматривается технология, объединяющая камуфлетное взрывание, гидромониторную обработку и эрлифтную транспортировку, – перспективный метод освоения морских месторождений.

Методология. Проведен комплексный анализ работы гидромониторного комплекса на глубинах до 5000 м. Исследованы параметры камуфлетных взрывов (глубина заложения зарядов, тип взрывчатого вещества); режимы гидромониторного размыва (давление 15–25 МПа, угол струи 20°–35°), эффективность эрлифтного подъема пульпы. Данные получены в ходе натурных испытаний на полигонах Тихого океана с применением дистанционно управляемых подводных аппаратов для мониторинга (системы мониторинга ROV).

Результаты. Установлено, что комбинированный метод повышает производительность добычи на 35 % по сравнению с традиционными технологиями. Оптимальное давление струи для различных пород составляет 18 ± 2 МПа. Локализованное воздействие сокращает площадь нарушений дна до 50 кв. м. на участке. Время восстановления бентосных сообществ не превышает 18 мес.

Область применения. Разработанные решения внедрены в проекты освоения железомарганцевых конкреций в зоне Кларион–Клиппертон. Технология позволяет минимизировать экологический ущерб за счет сокращения количества взвешенных частиц в воде (менее 10 мг/л), снизить энергопотребление на 22 % благодаря оптимизированным режимам работы, автоматизировать ключевые процессы добычи.

Выводы. Предложенная технология демонстрирует преимущества для устойчивого освоения глубоководных минеральных ресурсов. Дальнейшие исследования направлены на адаптацию метода для арктических условий.

Ключевые слова: гидромонитор; глубоководная добыча; твердые полезные ископаемые; морское дно; камуфлетное взрывание; эрлифт; гидродобыча; размыв породы; горная промышленность.

Введение. Глубоководная добыча твердых полезных ископаемых (ТПИ) становится все более актуальной в условиях истощения традиционных ресурсов на материковой части нашей планеты [1]. Глубоководная добыча ТПИ морского дна представляет собой сложную и многоаспектную задачу, требующую применения передовых технологий [2]. Автором рассматривается инновационный метод гидродобычи ТПИ из камуфлетной полости, расположенной на морском дне. Гидравлический способ добычи полезных ископаемых основан на использовании высоконапорных струй воды, которые по водоводу подаются к гидромонитору – основному инструменту в гидродобыче.

Целью исследования является оценка эффективности гидромониторной технологии в сочетании с камуфлетным взрыванием и эрлифтом, а также анализ ее влияния на производительность и экологическую безопасность.

Методика проведения исследований. В работе проведен сравнительный анализ существующих методов глубоководной добычи, включая механические и гидравлические способы. Основное внимание уделено моделированию процессов гидродобычи с использованием камуфлетных полостей, создаваемых подрывными зарядами, и последующего извлечения породы гидромониторами. Исследованы параметры водяных струй, давление, угол воздействия и эффективность транспортировки измельченной породы эрлифтом.

Принцип действия гидромонитора в составе гидродобычного комплекса при глубоководной добыче твердых полезных ископаемых на морском дне. Гидромониторы находят широкое применение в различных отраслях, включая строительство, нефтяную и сельскохозяйственную промышленность. В контексте глубоководной гидродобычи они используются для:

- разрушения и промывки горных пород (что позволяет сократить их объем для последующего извлечения минералов);
- транспортировки (размытая порода транспортируется самотеком или с помощью эрлифтных установок, что облегчает процесс добычи).

Гидромониторы работают по принципу размыва породы с использованием мощных струй воды и обеспечивают высокую эффективность извлечения [3]. Однако перед началом глубоководной гидродобычи, в предлагаемой автором концепции, проводится этап камуфлетного взрывания, который необходим для первоначального дробления породы

Этапы процесса гидродобычи твердых полезных ископаемых. Камуфлетное взрывание. Перед гидроразрывом проводится контролируемый подводный взрыв с использованием водоустойчивых взрывчатых веществ [4–6], размещаемых в забуренных скважинах. Структура породы разрушается, создаются трещины и камуфлетные полости, что значительно облегчает последующую обработку гидромонитором, без нарушений поверхности морского дна.

Подводная установка гидромонитора. После завершения этапа камуфлетного взрывания с материнского корабля в недра морского дна опускается гидромонитор, оснащенный сопловой системой. Он подготавливается к работе и размещается в камуфлетной полости для размыва породы.

Подача воды под высоким давлением. Насосная система на материнском корабле подает воду под высоким давлением к сопловой системе гидромонитора. Когда вода проходит через сопла, она ускоряется и выходит в виде мощной струи.

Размыв породы. Высоконапорные струи эффективно разрушают и поднимают фрагменты породы, предварительно подготовленные камуфлетным взрыванием.

Мониторинг и управление. Система дистанционного управления позволяет оператору контролировать процесс в реальном времени, настраивая параметры потока воды и маневрируя сопловой системой в зависимости от текущих условий работы. Шарнирная система сопел обеспечивает оперативное изменение угла и направления потока, позволяя адаптировать процесс размыва к сложному рельефу морского дна.

Подъем и транспортировка. Размыв создает водный поток с взвешенными частицами (пульпу), которая направляется через трубопровод эрлифтной установки на материнский корабль. На борту осуществляется первичная переработка добытых ТПИ.

Устройство гидромонитора. Гидромонитор использует высоконапорный поток воды для разрушения и увлечения твердых частиц. Основа маневренности гидромониторной установки в камуфлетной полости для более тщательного размыва взорванной породы взята из патента RU2196062C2 [7].

Устройство состоит из (рис. 1): насоса высокого давления 1 (центробежный/поршневой насос создает высоконапорную струю с системой фильтрации для защиты оборудования); трубопровода 2 (обеспечивает подачу воды к гидромонитору); системы управления 3 (дистанционное регулирование давления и расхода воды в реальном времени); сопловой системы 4 (сменные насадки для регулировки мощности и ширины струи под конкретные условия работы); шарнирных механизмов 5 (обеспечивают точное изменение угла и направления струи для эффективного размыва в сложных условиях, что делает гидромонитор эффективным инструментом для глубоководной добычи полезных ископаемых).

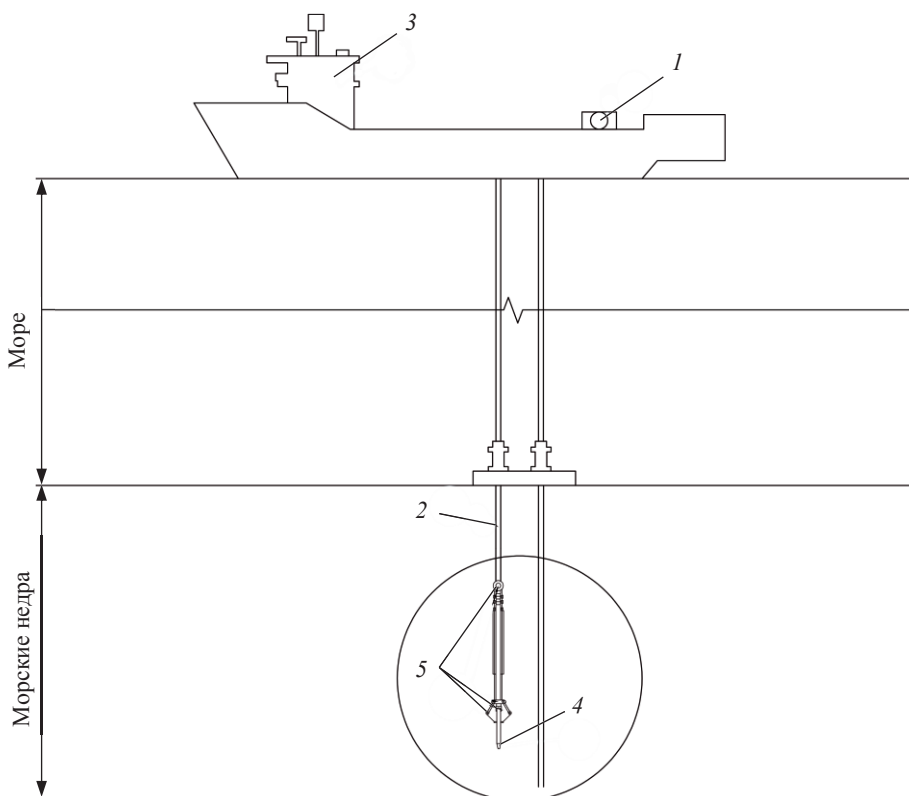


Рисунок 1. Устройство глубоководного гидродобычного комплекса
Figure 1. A scheme of a deep-sea hydraulic mining system

Эффективность гидромонитора при добыче глубоководных ТПИ. Эффективность гидромониторов зависит от множества факторов, которые можно условно разделить на гидравлические, механические, технологические, экологические и экономические.

Гидравлические параметры (давление и расход жидкости) критически влияют на эффективность гидромониторов. Оптимальное давление повышает разрушающую способность струи, ускоряя добычу, избыточное – увеличивает износ

оборудования и энергопотребление. Баланс давления и расхода важен для эффективной и экономичной работы.

Конструкция сопла и угол атаки струи напрямую влияют на эффективность гидромонитора. Различные формы сопел создают оптимальные профили струи, снижая энергозатраты. Правильно подобранный угол атаки повышает разрушающее воздействие на породу, что подтверждается исследованиями [8, 9]. Оптимизация этих параметров позволяет добиться максимальной производительности.

Физико-механические свойства размываемых пород (прочность, плотность, абразивность) существенно влияют на эффективность гидромонитора, требуя индивидуальной настройки оборудования – от стандартных режимов для мягких пород до повышенного давления для твердых [10].

Технические характеристики оборудования. Компоненты гидромонитора, такие как насосы, трубопроводы и системы управления, определяют уровень потерь гидравлического напора, связанных с трением и другими факторами. Техническое состояние и уровень автоматизации оборудования также влияют на его работоспособность и эффективность. Применение современных технологий мониторинга и управления позволяет существенно улучшить координацию систем и уменьшить время простоя за счет своевременного выявления неисправностей [11].

Преимущества и недостатки гидромонитора. В результате интеграции описанных технологий создается система, обладающая рядом существенных преимуществ. Использование камуфлетного взрывания в сочетании с перспективными технологиями гидродобычи превращает процесс в высокоэффективный и безопасный метод глубоководной добычи ТПИ. Преимущества:

- эффективность (использование этапов камуфлетного взрывания, разрыва взорванной массы гидромонитором и подъема пульпы при помощи эрлифта позволяет значительно снизить трудозатраты на размыв и увеличить скорость добычи глубоководных ТПИ);

- безопасность (дистанционное управление всеми этапами глубоководной добычи минимизирует риски для личного состава);

- гибкость (конструкции добычной установки обеспечивают возможность маневрирования в сложных условиях, что улучшает качество добычи глубоководных ТПИ).

Несмотря на очевидные преимущества применения гидромониторов и камуфлетного взрывания в глубоководной гидродобыче, существует несколько значительных недостатков, которые следует учитывать:

- сложность технологии (оборудование требует высокой степени точности в настройках и управлении; необходимость высокого уровня контроля за процессами может привести к увеличению затрат на обучение персонала и поддержание сложного оборудования);

- капитальные вложения (разработка и внедрение этой технологии требуют значительных начальных капиталовложений; высокая стоимость оборудования и его обслуживания может стать препятствием для малых и средних компаний);

- обводненность (в условиях затопленной среды эффективность энергии потока напорной воды уменьшается в несколько раз по сравнению с размывом в безводном пространстве).

Экологические аспекты применения гидромониторов при добыче ТПИ на морском дне. Гидромониторы представляют собой инновационное решение для добычи, сочетающее высокую эффективность с минимальным воздействием на

Таблица 1. Сравнительный анализ методов глубоководной добычи твердых полезных ископаемых
Table 1. A comparative analysis of the methods of deep-sea mining of solid minerals

Название	Эффективность	Безопасность	Экологическое воздействие	Область применения	Капитальные вложения	Операционные затраты
Гидродобычный комплекс	Интеграция технологий камуфлетного взрывания и эрлифта значительно повышает эффективность добычи на больших глубинах.	Обеспечивается использованием современных технологий.	Добыча ТПИ без выхода на поверхность морского дна минимизирует воздействие на морскую экосистему за счет целостности поверхности морского дна.	Эффективен в условиях сложного рельефа морского дна, включая участки с неровностями и разными геологическими формациями.	Значительные инвестиции в гидромониторинг и системы эрлифта могут быть компенсированы за счет высокой производительности.	Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, использование современных технологий может снизить затраты на физический труд и повысить эффективность.
Кассетный трал [13, 14]	Эффективен для отбора крупнообъемных проб, может быть адаптирован к разным свойствам донных отложений и глубине разработки.	Зависит от правильного управления и контроля за процессом, возможен риск повреждения оборудования при высоком давлении.	Возможно поднятие и перемещение донных отложений, что приводит к образованию взвеси и потению качеству воды в районе добычи.	Ровные и стабильные участки морского дна для отбора крупнообъемных проб.	Необходимость в специализированных кассетных ковшах и буксирных судах обуславливает высокие первоначальные затраты на оборудование.	Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования, на обучение персонала.
Проект Solwata-1 [15, 16]	Высокая степень автоматизации и использование дистанционного управления обеспечивают дистанционный контроль работ на больших глубинах.	Снижение рисков для операторов за счет использования техники с дистанционным управлением.	Возможно значительное перемещение донных отложений, что приводит к образованию взвеси.	Подходит для работы на больших глубинах и сложных рельефах.	Высокие капитальные затраты на подводную карьерную технику с дистанционным управлением и вспомогательные системы [17].	Затраты на поддержание работы дистанционно управляемых машин, а также на транспортировку и переработку добытых материалов.

морскую экосистему [12]. Их применение способствует устойчивому развитию горнодобывающей отрасли, снижению энергозатрат и сохранению биоразнообразия. Ключевое преимущество – комбинация камуфлетного взрывания и эрлифта, которая минимизирует объем размываемого материала и снижает загрязнение воды взвешенными частицами по сравнению с традиционными методами. Технология позволяет сохранять места обитания морских видов, поддерживая экосистемный баланс. Современные системы мониторинга с датчиками и автоматизацией обеспечивают точный контроль процесса добычи, оперативно реагируя на изменения окружающей среды и снижая риски для морской биоты.

Сравнительный анализ методов добычи. В табл. 1 представлены наиболее перспективные на взгляд автора методы, применяемые для добычи полезных ископаемых на глубине, а также их преимущества и недостатки.

Результаты. Установлено, что гидромониторная технология обеспечивает высокую производительность при минимальном механическом воздействии на донные отложения. Комбинация с камуфлетным взрыванием повышает эффективность разрушения плотных пород, а эрлифтная транспортировка снижает энергозатраты. Однако выявлены риски увеличения мутности воды, требующие дополнительных мер по экологическому мониторингу.

Выводы и область применения результатов. Разработанная технология демонстрирует значительное преимущество перед традиционными способами добычи как по производительности, так и по экологической безопасности. Полученные результаты показывают, что метод позволяет существенно снизить антропогенное воздействие на морские экосистемы при сохранении высокой экономической эффективности. Разработанный метод гидродобычи с применением гидромониторов перспективен для освоения глубоководных месторождений ТПИ. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании подводных горнодобывающих комплексов, а также для разработки нормативов, минимизирующих экологический ущерб. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию технологических параметров и снижение воздействия на морские экосистемы. Особое значение имеет возможность адаптации технологии к различным геологическим условиям и типам месторождений. Проведенная работа создает научно-техническую основу для дальнейшего совершенствования методов глубоководной добычи полезных ископаемых и разработки соответствующих природоохранных стандартов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rakhyun E. Kim. Should deep seabed mining be allowed? // Marine Policy. 2017. No. 82. P. 134–137.
2. Zenghui Liu, Kai Liu, Xuguang Chen, Zhengkuo Ma, Rui Lv, Changyun Wei, Ke Ma. Deep-sea rock mechanics and mining technology: State of the art and perspectives // International Journal of Mining Science and Technology. 2023. No. 33(9). P. 1083–1115. DOI: 10.1016/j.ijmst.2023.07.007
3. Васянович Ю. А. Научное обоснование эффективности использования технологии скважинной гидродобычи угля в условиях Дальнего Востока: дисс. канд. тех. наук. Владивосток, 1996. 157 с.
4. Педан Н. Р. Применение взрывчатого вещества Гидронит–П в водонасыщенных скважинах на взрывном блоке // Научный аспект. 2023. № 12. С. 4252–4257.
5. Педан Н. Р., Васянович Ю. А. Применение водоустойчивого взрывчатого вещества «Гидронит–П» в горной промышленности // Взрывное дело. 2024. № 143–100. С. 122–132.
6. Gorinov V. S. Frost-resistant emulsion explosives // Minerals and Mining Engineering. 2023. No. 3. P. 36–42. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-3-36-42
7. Способ очистки резервуара от донных отложений и устройство для его осуществления: патент RU 2196062 С2 РФ; № 2000111885/28; заявл. 2000.05.12; опубл. 2003.01.10. 3 с.

8. Поклонов Д. А., Литвин Ю. И., Протасов С. И. Определение необходимых диаметров насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. № 4(92). С. 52–55.
9. Штеренлихт Д. В. Гидравлика. М.: Энергоатомиздат, 1984. 640 с.
10. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
11. Малухин Н. Г., Дробаденко В. П., Вильмис А. Л., Щемеров А. А. Повышение эффективности скважинной гидродобычи за счет оптимизации процессов пульпоприготовления и всасывания // ГИАБ. 2013. № 2. С. 378–385.
12. Sitlhou L., Chakraborty P. Comparing deep-sea polymetallic nodule mining technologies and evaluating their probable impacts on deep-sea pollution // Marine Pollution Bulletin. 2024. No. 206. Art. 116762. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116762
13. Кириченко Ю. В., Каширский А. С. Технология добычи железомарганцевых конкреций с помощью кассетного трала // ГИАБ. 2015. № S11. С. 114–122.
14. Каширский А. С., Рахутин М. Г., Кириченко Ю. В., Кузин Е. А., Иващенко Г. С. Расчет производительности и обоснование параметров кассетного трала для добычи железомарганцевых конкреций // Горная промышленность. 2020. № 1. С. 155–159.
15. Санников В. Добыча ископаемых: как достают алмазы со дна океана // TechInsider. URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/237247-glubokovodnyy-karer-kak-dobyt-almazы-so-dna-okeana/> (дата обращения: 10.08.2025)
16. Dombrowsky J. M. Resource and reserve classification of a Solwara 1 type deposit at an Arctic Mid Ocean ridge // Geology, Environmental Science. 2018. No. 78. P. 217–225.
17. Van Putten E. I., Aswani S., Boonstra W. J., De la Cruz-Modino R., Das J., Glaser M., Heck N., Narayan S., Paytan A., Selim S., Vave R. History matters: societal acceptance of deep-sea mining and incipient conflicts in Papua New Guinea // Maritime Studies. 2023. Vol. 22. No. 3. DOI: 10.1007/s40152-023-00318-0P.32

Поступила в редакцию 14 января 2025 года

Сведения об авторах:

Педан Никита Русланович – аспирант, специалист кафедры горного дела Владивостокского государственного университета. E-mail: myname@nikpedan.ru; <https://orcid.org/0009-0006-9428-4922>
Васянович Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Владивостокского государственного университета; профессор инженерной школы Дальневосточного федерального университета. E-mail: vasyanovich_2011@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2025-5-18-26

Applying a hydromonitor for deep-sea hydraulic mining of solid seabed minerals

Nikita R. Pedan¹, Iurii A. Vasianovich^{1,2}

¹ Vladivostok State University, Vladivostok, Russia.

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia.

Abstract

Introduction. Deep-sea mining of solid minerals requires innovative efficient and environmentally safe. The article discusses a promising method for developing offshore deposits, a technology combining camouflet blasting, hydro jetting and airlift.

Methods of research. An integral analysis of the hydro jetting complex operation at depths of up to 5000 m was carried out. The parameters of camouflet blasts (charge depth and explosive type) were studied together with the hydro jet wash-away modes (pressure 15–25 MPa and jet angle 20°–35°) and the efficiency of pulp airlift. The data were obtained in course of full-scale tests at Pacific Ocean sites using remotely operated underwater vehicles for monitoring (ROV monitoring systems).

Results. It was found that the integrated method improves performance by 35% compared to conventional technologies. The optimum jet pressure for various rocks is 18±2 MPa. Localized action reduces seabed disturbance area to 50 m² per site. Benthic communities recovery does not exceed 18 months.

Application of research results. The developed solutions have been implemented in the manganese nodules mining projects in the Clarion-Clipperton Zone. The technology allows minimizing environmental damage by reducing the amount of suspended particles in water (less than 10 mg/l) as well as reducing energy consumption by 22% due to optimized operating modes and automating key production operations.

Conclusions. The proposed technology enhances the sustainable development of deep-sea mineral resources. Further research is aimed at adapting the method to Arctic conditions.

Keywords: hydromonitor; deep-sea mining; solid minerals; seabed; camouflet blasting; airlift; hydraulic mining; rock wash-away; mining industry.

REFERENCES

1. Rakhyn E. Kim. Should deep seabed mining be allowed? *Marine Policy*. 2017; 82: 134–137.
2. Zenghui Liu, Kai Liu, Xuguang Chen, Zhengkuo Ma, Rui Lv, Changyun Wei, Ke Ma. Deep-sea rock mechanics and mining technology: State of the art and perspectives. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2023; 33(9): 1083–1115. Available from: doi: 10.1016/j.ijmst.2023.07.007
3. Vasianovich Iu. A. *Scientific justification for using the technology of hydraulic borehole mining of coal in the conditions of the Far East: PhD in Eng. diss.* Vladivostok; 1996. (In Russ.)
4. Pedan N. R. Application of the explosive substance Gidronit-P in water-saturated boreholes at the water-saturated wells on the explosive block. *Nauchnyi aspekt = Scientific Aspect*. 2023; 12: 4252–4257. (In Russ.)
5. Pedan N. R., Vasianovich Iu. A. Application of water-resistant explosive substance Gidronit-P in the mining industry. *Vzryvnoe delo = Explosion Technology*. 2024; 143-100: 122–132. (In Russ.)
6. Gorinov V. S. Frost-resistant emulsion explosives. *Minerals and Mining Engineering*. 2023; 3: 36–42. Available from: doi: 10.21440/0536-1028-2023-3-36-42
7. Iakhin Iu. M., Nikitin K. G., Khaziev N. N., Khasanov I. Iu. *Method of and device for leaning tanks from bottom deposits*. Patent RF no. 2000111885/28; 2012. (In Russ.)
8. Poklonov D. A., Litvin Iu. I., Protasov S. I. Determining the required diameters of the hydraulic monitor nozzles taking into account the operating mode of the pumping station. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of The Kuzbass State Technical University*. 2012; 4(92): 52–55. (In Russ.)
9. Shterenlikht D. V. *Hydraulics*. Moscow: Energoatomizdat Publishing; 1984. (In Russ.)
10. Idelchik I. E. *Hydraulic pressure reference book*. Moscow: Mashinostroenie Publishing; 1992. (In Russ.)
11. Malukhin N. G., Drobachenko V. P., Vilms A. L., Shchemerov A. A. Enhanced borehole hydraulic mining due to optimized slurry preparation and suction. *Gornyi informatsionno-analiticheskii bulletin (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2013; 2: 378–385. (In Russ.)
12. Sitlhou L., Chakraborty P. Comparing deep-sea polymetallic nodule mining technologies and evaluating their probable impacts on deep-sea pollution. *Marine Pollution Bulletin*. 2024; 206: 116762. Available from: doi 10.1016/j.marpolbul.2024.116762
13. Kirichenko Iu. V., Kashirskii A. S. Technology for excavation of ferromanganese nodules using cassette-type minesweeper. *Gornyi informatsionno-analiticheskii bulletin (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; S11: 114–122. (In Russ.)
14. Kashirskii A. S., Rakhutin M. G., Kirichenko Iu. V., Kuzin E. A., Ivashchenko G. S. Calculation of productivity and justification of cassette-type sweeper parameters for ferro-manganese nodule mining. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2020; 1: 155–159. (In Russ.)
15. Sannikov V. Mining minerals: how to recover diamonds from the ocean floor. *TechInsider*. (In Russ.) Available from: <https://www.techinsider.ru/technologies/237247-glubokovodnyy-karier-kak-dobyat-almazyso-dna-okeana> [Accessed 10 August 2025].
16. Dombrowsky J. M. Resource and reserve classification of a Solwara 1 type deposit at an Arctic Mid Ocean ridge. *Geology, Environmental Science*. 2018; 78: 217–225.
17. Van Putten E. I., Aswani S., Boonstra W. J., De la Cruz-Modino R., Das J., Glaser M., Heck N., Narayan S., Paytan A., Selim S., Vave R. History matters: societal acceptance of deep-sea mining and incipient conflicts in Papua New Guinea. *Maritime Studies*. 2023; 22: 3. Available from: doi: 10.1007/s40152-023-00318-0P.32.

Information about the authors:

Nikita R. Pedan – PhD student, academic assistant of the Department of Mining, Vladivostok State University.
E-mail: myname@nikpedan.ru; <https://orcid.org/0009-0006-9428-4922>

Iurii A. Vasianovich – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Mining, Vladivostok State University; professor of the School of Engineering, Far Eastern Federal University.
E-mail: vasyanovich_2011@mail.ru

Для цитирования: Педан Н. Р., Васянович Ю. А. Применение гидромонитора при глубоководной гидродобыче твердых полезных ископаемых морского дна // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2025. № 5. С. 18–26. DOI: 10.21440/0536-1028-2025-5-18-26

For citation: Pedan N. R., Vasianovich Yu. A. Applying a hydromonitor for deep-sea hydraulic mining of solid seabed minerals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2025; 5: 18–26 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2025-5-18-26