

УДК 622.236.5

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОМОНИТОРА ПРИ ГЛУБОКОВОДНОЙ ГИДРОДОБЫЧЕ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ МОРСКОГО ДНА

Педан Н. Р.¹, Васянович Ю. А.^{1,2}.

¹ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет» (Владивосток, Россия).

²ФГАОУ ВО "Дальневосточный Федеральный Университет".

Эл.почта: MyName@NikPedan.ru, ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, Россия, 690014.

***Аннотация:** В статье рассматривается применение гидромониторов для добычи твердых полезных ископаемых на больших глубинах, акцентируя внимание на их эффективности и безопасности. Гидромониторы используют струю воды под высоким давлением для размыва и подъема породы с морского дна. Введение камуфлетного взрывания как предварительного этапа размыва в сочетании с эрлифтом создает эффективный метод, минимизируя воздействие на морскую экосистему. Работа гидромонитора начинается с подачи воды через насосную систему на "материнском" корабле. Вода, проходя через сопла, ускоряется и выходит в виде мощной струи, размывающей породу. Шарнирные механизмы в сопловой системе позволяют оператору изменять угол и направление потока, что обеспечивает более тщательное размывание. Эффективность гидромонитора зависит от конструкции сопла и угла атаки струи. Оптимизация этих параметров позволяет повысить скорость разрушения материала и снизить энергозатраты. Однако чрезмерное увеличение давления может привести к эрозии оборудования. Статья подчеркивает важность инновационных решений в горнодобывающей отрасли, особенно в условиях истощения традиционных ресурсов. Комплексный подход к добыче, основанный на современных технологиях, соответствует требованиям устойчивого развития и открывает новые горизонты для эффективного использования морских ресурсов.*

***Ключевые слова:** Гидромонитор, глубоководная добыча, ТПИ, морское дно, камуфлетное взрывание, эрлифт, гидродобыча, размыв породы.*

Введение

Глубоководная добыча твердых полезных ископаемых (ТПИ), таких как руды, минералы и ископаемые, становится всё более актуальной в условиях истощения традиционных ресурсов на материковой части нашей планеты.

Глубоководная добыча твёрдых полезных ископаемых (ТПИ) морского дна представляет собой сложную и многоаспектную задачу, требующую применения передовых технологий и методов [1]. Инновационным методом, предлагаемым автором к изучению, является метод гидродобычи ТПИ из камуфлетной полости, расположенной на морском дне. Гидравлический способ добычи полезных ископаемых основан на использовании высоконапорных струй воды, которые подаются к гидромонитору по водоводу. Основным инструментом в гидродобыче является устройство под названием «гидромонитор».

Целью исследования является изучение эффективности применения гидромониторов в процессе гидродобычи твердых полезных ископаемых на морском дне, а также оценка влияния различных технологий, таких как камуфлетное взрывание и эрлифт, на производительность и безопасность гидродобычи.

Задачами исследования являются проведение сравнительного анализа существующих методов глубоководной добычи, определить и оптимизировать процессы гидродобычи ТПИ на морском дне, оценка экологических последствий.

Эти цели и задачи направлены на развитие технологий глубоководной добычи и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Концептуальной новизной данной работы является внедрение гидромониторной установки в глубоководный гидродобычный комплекс для добычи ТПИ, залегающих в недрах морского дна.

1. Основные определения

Гидромонитор - аппарат для формирования и управления движением (полётом) высокоскоростной водяной струи. Используется при гидроотбойке и размыве горных пород, золы, шлака и другого при проведении открытых горных и земляных работ, подземной разработке месторождений полезных ископаемых, при тушении пожаров [2].

Гидравлическое разрушение горных пород - способ разрушения горных пород напорной струёй воды. Различают три вида разрушения: размыв (для несвязанных или слабо связанных частицами или отдельностями пород), отбойку (для монолитных пород) и гидравлическое резание (для монолитных и крепких пород) [3].

2. Принцип действия гидромонитора в составе гидродобычного комплекса при глубоководной добыче твёрдых полезных ископаемых на морском дне

Гидромониторы находят широкое применение в различных отраслях, включая строительство, нефтяную и сельскохозяйственную промышленность. Концептуальной основой данной работы является В контексте глубоководной гидродобычи они используются для:

- 1. Разрушения и вымывания горных пород:** Гидромониторы применяются для разрушения и вымывания горных пород, что позволяет освободить полезные ископаемые.
- 2. Фильтрация и разделение:** после разрушения пород, гидромониторы используются для фильтрации и разделения ценных компонентов от ненужных материалов.
- 3. Транспортировка:** Размытая порода транспортируется самотёком или с помощью эрлифтных установок, что облегчает процесс добычи.

Гидромониторы являются важными инструментами для добычи ТПИ с морского дна. Они работают по принципу размыва породы с использованием мощных струй воды и обеспечивают высокую эффективность извлечения [4]. Однако перед началом глубоководной гидродобычи часто проводится этап камуфлетного взрывания, который необходим для первоначального дробления породы.

Этапы процесса гидродобычи твёрдых полезных ископаемых:

- 1. Камуфлетное взрывание:** перед использованием гидромониторов производится камуфлетное взрывание — контролируемое взрывное воздействие [5], направленное на первоначальное дробление твёрдой породы без выхода на поверхность морского дна. Это помогает ослабить структурную целостность минеральных залежей, что облегчает последующее размывание. Водостойчивые взрывчатые вещества [6,7] размещаются в ранее забуренные и «обсаженные»

скважины на дне моря в заданных точках, после чего производится взрыв, который создает трещины и разрушает породу, образуя камуфлетную полость. Этапы взрывания для образования камуфлетной полости отображены на рисунке 1.

2. **Подводная установка гидромонитора:** после завершения этапа камуфлетного взрывания гидромонитор опускается на дно с помощью "материнского" корабля. Гидромонитор, оснащённый сопловой системой, подготавливается к работе и размещается в камуфлетной полости для размыва породы.

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

4. **Размыв породы:** Выходящие струи под высоким давлением размывают и поднимают фрагменты породы и минералов, которые возникли в результате камуфлетного взрывания. Шарнирные механизмы, встроенные в сопловую систему, позволяют оператору изменять угол и направление потока, обеспечивая тщательное размывание с учётом сложности формы и состояния дна.

5. **Подъём и транспортировка:** Размытие создаёт водный поток с взвешенными частицами (эмульсию), который направляется через трубопровод эрлифтной установки [8] на "материнский" корабль. На борту осуществляется фильтрация и обработка добытых ГПИ.

6. **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.

3. Технология камуфлетного взрывания на морском дне

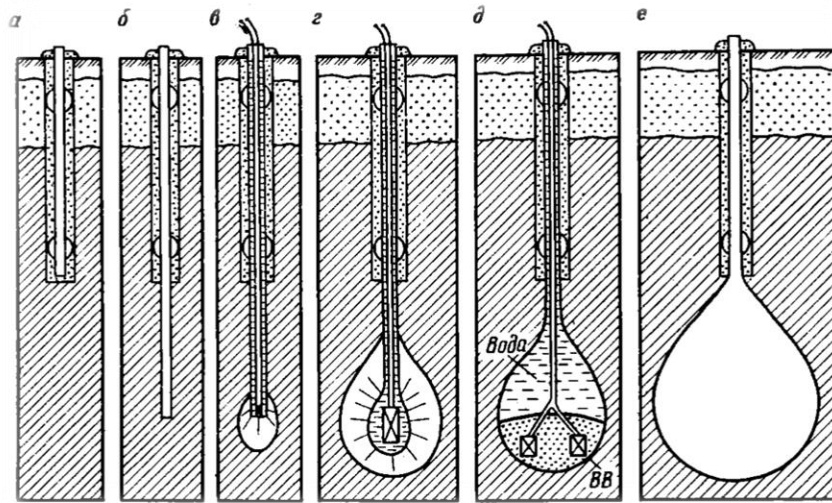


Рисунок 1. Этапы камуфлетного взрывания

а — бурение скважины на начальный размер; б — обсадка скважины (цементация затрубного пространства и бурение скважины на конечный размер); в — первый «прострел» скважины; г — второй «прострел» скважины; д — взрыв основного заряда взрывчатого вещества (ВВ); е — готовое подземное хранилище

Устройство гидромонитора

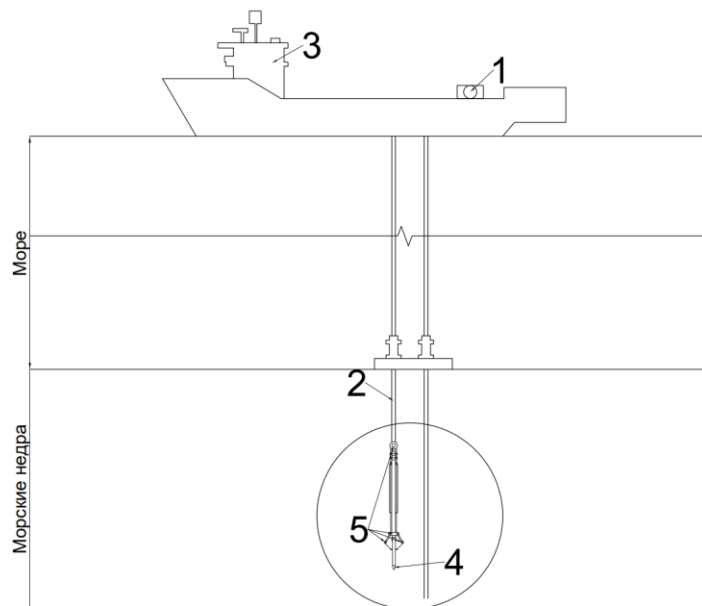


Рисунок 2. Устройство глубоководного гидродобычного комплекса

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 [9].

Устройство (рисунок 2) состоит из:

1. **Насос высокого давления:** Гидромонитор оснащен мощным насосом, который создает высокое давление для подачи водной струи. Этот насос может быть центробежным или поршневым, что обеспечивает увеличение скорости и силы водного потока. Насос использует морскую воду и пропускает её через систему фильтрации для наименьшего износа узлов добычной установки.
2. **Трубопровод:** Система труб, по которым вода подается к гидромонитору.
3. **Системы управления:** Гидромонитор оборудован системой удаленного управления, позволяющей оператору регулировать параметры подачи воды (давление и объем) в реальном времени. Это важно для адаптации к условиям работы на морском дне.
4. **Сопловая система:** Сопло гидромонитора может иметь различные формы и размеры, что позволяет модулировать ширину и мощность водной струи в зависимости от добываемого материала и глубины.
5. **Шарнирные механизмы:** Сопловая система оснащена шарнирными механизмами, обеспечивающими гибкость в маневрировании. Эти механизмы позволяют изменять угол наклона и направление струи, что особенно важно при работе в сложных геологических условиях. Это обеспечивает более тщательное и аккуратное размывание породы и полезных ископаемых.

Эти особенности делают гидромонитор эффективным инструментом для глубоководной добычи полезных ископаемых.

4. Эффективность гидромонитора при добыче глубоководных твердых полезных ископаемых (ТПИ)

За счет использования высокоскоростной водяной струи, они способны разрушать породы и облегчать извлечение минералов из морского дна. Эффективность гидромониторов зависит от множества факторов, которые можно условно разделить на гидравлические, механические, технологические, экологические и экономические.

4.1. Гидравлические параметры

Гидравлические параметры, такие как давление и расход рабочей жидкости, играют решающую роль в эффективности работы гидромониторов. Оптимизация давления позволяет создать струю, способную эффективно разрушать породу. Исследования показывают, что увеличение давления может значительно повысить скорость разрушения материала. В то же время, чрезмерное увеличение давления может привести к нежелательным последствиям, таким как эрозия оборудования и увеличение энергозатрат.

4.2. Конструкция сопла и угол атаки

Конструкция сопла и угол атаки струи также оказывают ощутимое влияние на эффективность процесса [10]. Сопла различных форм обеспечивают разные профили струи, что может быть критическим для достижения высоких скоростей с минимальными затратами энергии. Угол атаки, с которым струя направлена на поверхность породы, должен быть оптимизирован для максимального воздействия. Теоретические исследования и экспериментальные данные указывают на то, что определенные углы наклона могут значительно повысить эффективность работы гидромонитора.

4.3. Свойства размываемых пород

Разнообразие физических и механических свойств пород, залегающих на морском дне, подлежащих добыче, также является важным фактором, определяющим эффективность работы гидромонитора. Различные породы имеют свои характеристики прочности, плотности и абразивности, что требует гибкой настройки параметров работы оборудования [11].

Например, для менее прочных материалов может быть достаточно стандартного режима работы, в то время как для более твердых пород может потребоваться повышенное давление и специальные технологии.

4.4. Технические характеристики оборудования

Компоненты гидромонитора, такие как насосы, трубопроводы и системы управления, определяют уровень потерь, 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.

5. Преимущества и недостатки гидромонитора

В результате интеграции технологий, описанных выше, образуется система, обладающая рядом существенных **преимуществ**. Использование камуфлетного взрывания в сочетании с высокооцененными технологиями гидродобычи превращает процесс в высокоэффективный и безопасный метод глубоководной добычи ТПИ.

1. **Эффективность:** Использование этапов камуфлетного взрывания, размыва взорванной массы гидромонитором и подъема эмульсии при помощи эрлифта позволяет значительно снизить трудозатраты на размыв и увеличить скорость добычи глубоководных ТПИ.

2. **Безопасность:** Дистанционное управление всеми этапами глубоководной добычи минимизирует риски для личного состава.

3. **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:

1. **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

2. **Капитальные вложения:** Разработка и внедрение данной технологии требует значительных начальных капиталовложений. Высокая стоимость оборудования и его обслуживания может стать барьером для малых и средних компаний в горнодобывающей промышленности.

6. Экологические аспекты применения гидромониторов при добыче ТПИ на морском дне.

Технологии гидромониторов представляют собой инновационное решение, способное значительно повысить эффективность добычи при минимизации негативного воздействия на морскую экосистему. Данный параграф рассматривает преимущества применения гидромониторов, акцентируя внимание на их роли в обеспечении устойчивого развития горной промышленности, снижении энергозатрат и сохранении биоразнообразия.

1. Минимизация воздействия на экосистему: Введение камуфлетного взрывания как предварительного этапа размыва в сочетании с эрлифтом в сравнении с другими концептуальными методами добычи глубоководных ТПИ (подводные машины, драги и т.п.) создает метод, который минимизирует воздействие на морскую экосистему [12]. Этот подход позволяет сократить объемы размываемого материала и уменьшить количество взвешенных частиц в воде, что способствует сохранению качества водной среды.

2. Сохранение биоразнообразия: Применение гидромониторов может быть интегрировано в стратегии устойчивого развития, которые направлены на сохранение биоразнообразия. Например, использование технологий, минимизирующих разрушение мест обитания, может помочь сохранить экосистемы и поддерживать численность морских видов.

3. Улучшение контроля за процессами: Современные технологии мониторинга и управления позволяют более точно контролировать процессы добычи, что снижает риск негативного воздействия на морскую биоту. Это включает в себя использование датчиков и систем автоматизации, которые помогают оперативно реагировать на изменения в условиях окружающей среды.

7. Сравнительный анализ методов добычи

В таблице представлены методы наиболее перспективные на взгляд автора, применяемые для добычи полезных ископаемых на глубине, а также их преимущества и недостатки. Сравнительный анализ этих методов позволяет выявить их эффективность, экономическую целесообразность и влияние на окружающую среду.

Таблица. Сравнительный анализ методов глубоководной добычи ТПИ

Название метода	Эффективность	Безопасность	Экологическое воздействие	Область применения	Капитальные вложения	Операционные затраты
Гидродобычной комплекс	Позволяет значительно повысить эффективность добычи на больших глубинах благодаря интеграции различных технологий, таких как камуфлетное взрывание и эрлифт.	Предлагает более безопасные методы благодаря минимизации воздействия на морскую экосистему и использованию современных технологий, что позволяет снизить риски.	Добыча ТПИ без выхода на поверхность морского дна позволяет снизить затраты на восстановление экосистемы благодаря минимизации негативного воздействия могут сделать этот метод более экономически выгодным.	Этот метод эффективен в условиях сложного рельефа морского дна, включая участки с неровностями и различными геологическими формациями.	Инвестиции в гидромониторы и системы эрлифта могут быть значительными, но они могут быть компенсированы за счет высокой производительности.	Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, однако использование современных технологий может снизить затраты на труд и повысить эффективность.

<p>Кассетный тралл [13,14]</p>	<p>Эффективен для отбора крупнообъемных проб и может быть адаптирован в зависимости от глубины разработки и свойств донных отложений.</p>	<p>Безопасность зависит от правильного управления и контроля за процессом, однако может возникнуть риск повреждения оборудования при высоком давлении .</p>	<p>может вызывать поднятие и перемешивание донных отложений, что приводит к образованию взвеси и потенциальному ухудшению качества воды в районе добычи</p>	<p>Эффективен на ровных и стабильных участках морского дна для отбора крупнообъемных проб</p>	<p>Необходимость в специализированных кассетных ковшах и буксирных судах может привести к высоким первоначальным затратам на оборудование.</p>	<p>Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования, а также на обучение персонала.</p>
<p>Проект Solwara – 1 [15,16]</p>	<p>Обеспечивает высокую степень автоматизации и возможность работы на больших глубинах, что делает его эффективным для добычи в сложных условиях.</p>	<p>Использует дистанционное управление, что снижает риски для операторов, однако работа на больших глубинах всегда сопряжена с определенными опасностями .</p>	<p>может вызывать значительное перемешивание донных отложений, что приводит к образованию взвеси, которая может негативно сказаться на местной экосистеме, затрудняя фотосинтез у водорослей и влияя на морскую фауну</p>	<p>Подходит для сложных рельефов с сульфидными месторождениями, использует подводную карьерную технику с дистанционным управлением</p>	<p>Высокие капитальные затраты на подводную карьерную технику с дистанционным управлением и вспомогательные системы [17].</p>	<p>Затраты на поддержание работы дистанционно управляемых машин, а также на транспортировку и переработку добытых материалов.</p>

Выводы

Каждый из методов имеет свои уникальные преимущества и недостатки, что делает их подходящими для различных условий добычи.

Гидродобычный способ выделяется высокой эффективностью и адаптивностью к глубоководным условиям, в то время как проект Solwara-1 предлагает специализированные решения для глубоководных сульфидных месторождений. Кассетный трал, в свою очередь, обеспечивает универсальность и возможность работы на различных глубинах, но может быть менее эффективным в сложных геологических условиях. Ключевым преимуществом гидродобычного комплекса является его минимизация негативного воздействия на окружающую среду и морскую биоту за счёт проведения добычных работ без выхода на поверхность

Таким образом, интеграция гидромонитора в процессы глубоководной морской гидродобычи представляет собой значимую новизну в горной промышленности. Применение данной технологии позволяет значительно повысить эффективность и безопасность добычи твердых полезных ископаемых на больших глубинах. Введение камуфлетного взрывания как предварительного этапа размыва, в сочетании с эрлифтом, создает уникальный метод, который сочетает в себе высокую производительность и минимизацию воздействия на морскую экосистему. Такой комплексный подход не только соответствует современным требованиям устойчивого развития, но и открывает новые горизонты для горнодобывающей отрасли, подчеркивая важность инновационных решений в условиях возрастающей нагрузки на ресурсы морских экосистем.

Библиографический список

1. Liu Z, Liu K, Chen X, Ma Z, Lv R, Wei C, et al. Deep-sea rock mechanics and mining technology: State of the art and perspectives. Int J Min Sci Technol [Internet]. 2023;33(9):1083–115. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmst.2023.07.007>.
2. Гидромонитор / [Электронный ресурс] // Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия» : [сайт]. — URL: <https://bigenc.ru/c/gidromonitor-383bde?ysclid=m3s3a0zc7r543616483>.
3. Гидравлическое разрушение горных пород / [Электронный ресурс] // Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия» : [сайт]. — URL: <https://bigenc.ru/c/gidravlichesкое-razrushenie-gornykh-porod-75f8d6>.
4. Васянович Ю.А. Научное обоснование эффективности использования технологии скважинной гидродобычи угля в условиях Дальнего Востока: дис. канд. тех. наук Ждамиров В.М., канд. техн. наук Оганян О.А. тех. наук: 11.00.11. - Владивосток, 1996. - 157 с.
5. Камуфлетное взрывание / [Электронный ресурс] // Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия» : [сайт]. — URL: <https://bigenc.ru/c/kamuфлетное-vzryvanie-dd5226>.
6. Педан Н.Р. Применение взрывчатого вещества Гидронит - П в водонасыщенных скважинах на взрывном блоке. // Научный аспект. - 2023. - №12. - С. 4252-4257. (дата обращения: 02.02.2024).
7. Педан, Н. Р., Васянович, Ю. А. Применение водостойчивого взрывчатого вещества «Гидронит – П» в горной промышленности [Текст] / Н. Р. Педан, Ю. А. Васянович // Взрывное дело. — 2024. — № 143/100. — С. 122-132.
8. Эрлифт / [Электронный ресурс] // Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия» : [сайт]. — URL: <https://bigenc.ru/c/erlift-1aee99>.
9. Патент № Российский патент 2003 года по МПК В60S3/00 В08В9/08. СПОСОБ ОЧИСТКИ РЕЗЕРВУАРА ОТ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ : № RU2196062C2 : заявл. 2000.05.12 : опубл. 2003.01.10 / Яхин Ю.М. Никитин К.Г. Хазиев Н.Н. Хасанов И.Ю. – 3 с.
10. Поклонов, Д. А. Определение необходимых диаметров насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции / Д. А. Поклонов, Ю. И. Литвин, С. И. Протасов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4(92). – С. 52-55. – EDN OYERBJ.
11. Повышение эффективности скважинной гидродобычи за счет оптимизации процессов пульпоприготовления и всасывания / Н. Г. Малухин, В. П. Дробаденко, А. Л. Вильмис, А. А. Щемеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 2. – С. 378-385. – EDN RGRCSJ.
12. Sitlhou L, Chakraborty P. Comparing deep-sea polymetallic nodule mining technologies and evaluating their probable impacts on deep-sea pollution. Mar Pollut Bull [Internet]. 2024;206(116762):116762. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116762>

13. Кириченко, Ю. В. Технология добычи железомарганцевых конкреций с помощью кассетного трала / Ю. В. Кириченко, А. С. Каширский // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S11. – С. 114-122. – EDN VKHFJR.

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. Добыча ископаемых: как достают алмазы со дна океана // Сетевое издание TechInsider URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/237247-glubokovodnyy-karer-kak-dobyt-almazы-so-dna-okeana/>

16. Dombrowsky Resource and Reserve Classification of a Solwara 1 type Deposit at an Arctic Mid Ocean Ridge. 2018;78.

17. van Putten EI, Aswani S, Boonstra WJ, De la Cruz-Modino R, Das J, Glaser M, et al. History matters: societal acceptance of deep-sea mining and incipient conflicts in Papua New Guinea. Marit Stud [Internet]. 2023;22(3). Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40152-023-00318-0>

Информация об авторах

ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет» (Владивосток, Россия),
ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, Россия, 690014

Педан Н.Р. Аспирант. Специалист кафедры горного дела ВВГУ.

Эл.почта: MyName@NikPedan.ru тел. +79244352989

Васянович Ю.А. Д-р техн. наук, профессор кафедры горного дела ВВГУ, профессор инженерной школы ДВФУ

эл.почта: Vasyanovich_2011@mail.ru тел. +79020775988