

АНАЛИЗ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ МАШИН ДЛЯ ДОБЫЧИ ИСКОПАЕМЫХ В ТИХОМ ОКЕАНЕ

Н. Ю. Свинцов, Ю. А. Васянович

*ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет»,
Владивосток, Россия*

Ключевые слова: анализ воздействия на окружающую природную среду; глубоководная машина для добычи железомарганцевых конкреций; добыча твердых полезных ископаемых в океане; морские экосистемы; распространение плюма взвешенных веществ.

Аннотация: Проанализировано воздействие на окружающую природную среду машин, используемых для глубоководной добычи железомарганцевых конкреций (ЖМК) в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана. Рассмотрены основные виды воздействия на морскую среду, включая механическое разрушение донных осадков, образование плюма взвешенных веществ и нарушение структуры бентосных сообществ. Проведена сравнительная оценка различных механизмов передвижения добычных машин (гусеничных, винтовых, буксируемых и на основе архимедовой спирали) и способов сбора ЖМК (механических, гидравлических). Предложены меры для минимизации ущерба при глубоководной добыче ЖМК.

Введение

Глубоководная добыча полезных ископаемых, в частности железомарганцевых конкреций (ЖМК), приобретает все большую актуальность в условиях растущего спроса на редкоземельные металлы и истощения наземных месторождений. Провинция Кларион-Клиппертон в Тихом океане является одним из ключевых районов, где сосредоточены значительные запасы ЖМК, что делает ее объектом пристального внимания для государств и частных компаний. Однако эксплуатация этих ресурсов сопровождается значительной неопределенностью в оценке воздействия на окружающую природную среду (ОПС).

Свинцов Никита Юрьевич – ассистент кафедры горного дела, e-mail: Nikitakorolev92@mail.ru, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Россия; Васянович Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Россия.

Применение специализированных машин для сбора ЖМК приводит к механическому воздействию на донные осадки, нарушению структуры бентосных сообществ и возможному распространению взвешенных частиц в толще воды. Эти процессы могут вызывать долгосрочные изменения в ОПС, включая снижение биоразнообразия и нарушение баланса глубоководных экосистем. В связи с этим необходима комплексная оценка последствий использования подобных технологий для разработки устойчивых подходов к освоению минеральных ресурсов океана.

Цель исследования – анализ воздействия машин для сбора ЖМК на окружающую природную среду в провинции Кларион-Клиппертон.

В работе рассматриваются:

- характеристики добывающей техники и ее влияние на морское дно;
- изменения в бентосных сообществах вследствие механического воздействия;
- риски распространения шлейфов взвешенных веществ;
- возможные меры по минимизации экологического ущерба.

Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования нормативной базы в области глубоководной добычи, а также для разработки природоохранных технологий, направленных на снижение антропогенной нагрузки на морские экосистемы.

Требования к технологии и оборудованию для глубоководной добычи ЖМК

Добычные работы на дне океана можно рассматривать как антропогенный механизм трансформации геоэкологических условий территории. Деятельность по поиску и разведке глубоководных полезных ископаемых находится под усиленным экологическим контролем, так как при будущей разработке существует риск серьезных изменений состояния морской среды вследствие ее загрязнения.

Производственная мощность должна составлять не менее 3 млн т сухой массы ЖМК в год, с непрерывным периодом добычи на протяжении не менее 20 лет.

Требования Международной организации по морскому дну для глубоководной добычи ЖМК, направленные на обеспечение экологической безопасности, рационального использования ресурсов и технической надежности оборудования, представлены в табл. 1 [1 – 5].

Комплекс добычи на основе глубоководной машины для сбора ЖМК

Комплекс добычи на основе глубоководной машины для сбора ЖМК состоит из следующих основных элементов: добычное судно, системы транспортировки рудной массы на поверхность и самой глубоководной машины для сбора ЖМК (рис. 1) [6].

Рассмотрим подробнее машину для сбора ЖМК и ее воздействие на окружающую природную среду.

Глубоководная машина для сбора ЖМК является ключевым компонентом добычного комплекса и представляет сложную конструкцию, состоящую из механизма сбора ЖМК, устройства обеспечения плавучести, системы гидравлического управления, механизма передвижения, конструкции ходовой части и системы транспортировки и измельчения (рис. 2).

Таблица 1

**Требования Международной организации
по морскому дну для глубоководной добычи ЖМК**

Рекомендации	Описание
<i>Экологическая безопасность</i>	
Оценка воздействия на окружающую среду	Проведение всесторонних экологических оценок до начала добычи для определения потенциальных рисков и воздействия на морские экосистемы, включая флору и фауну
	Регулярное обновление экологических оценок по мере развития проекта и в ответ на новые данные или изменения в условиях
Мониторинг и контроль	Осуществление постоянного мониторинга состояния окружающей среды на всех этапах добычи, включая операционные и постоперационные фазы
	Применение современных технологий для мониторинга, таких как дистанционное зондирование, подводные датчики и регулярные полевые исследования
	Подготовка регулярных отчетов о состоянии окружающей среды и предоставление их в соответствующие органы и заинтересованным сторонам
<i>Соответствие техническим стандартам</i>	
Оборудование и технологии	Использование экологически чистых и энергоэффективных технологий и оборудования, соответствующих международным стандартам
	Внедрение новейших технологий и инноваций для минимизации экологического воздействия и повышения эффективности добычи
Безопасность и надежность	Обеспечение высокой степени надежности и безопасности всех используемых систем и механизмов
	Установка резервных систем для обеспечения непрерывности операций и минимизации рисков аварий
	Регулярное техническое обслуживание и проверки оборудования для предотвращения неисправностей и обеспечения долгосрочной эксплуатации
Обучение и развитие	Содействие обучению и развитию персонала, задействованного в процессе добычи, в целях повышения их квалификации и осведомленности в вопросах экологии и безопасности
	Организация регулярных тренингов и семинаров по вопросам экологической безопасности и рационального использования ресурсов
<i>Рациональное использование ресурсов</i>	
Управление ресурсами	Применение методов, способствующих рациональному использованию минеральных ресурсов, минимизация потерь и отходов
	Использование компьютерного моделирования для оптимизации процессов добычи и управления ресурсами
Рециркуляция и переработка	Внедрение процессов, направленных на рециркуляцию и переработку добытых материалов для снижения экологического воздействия
	Поиск возможностей для вторичного использования отходов и побочных продуктов добычи



Рис. 1. Комплекс добычи на основе глубоководной машины для сбора ЖМК

Из-за большого разнообразия и различной степени воздействия на окружающую природную среду, особое внимание следует уделить механизмам сбора и передвижения. Рассмотрим их более детально.

Механизм сбора ЖМК.

В зависимости от механизма способы сбора ЖМК с поверхности морского дна можно разделить на два метода: механический (рис. 3) и гидравлический (рис. 4).

Модель механического сбора конкреций предложена компанией Ocean Minerals Company в 1976 году. Данная модель использовала вращающийся барабан с зубьями для сбора ЖМК с поверхности морского дна и транспортировки их к добычному судну.

В зависимости от характеристик потока гидравлический метод сбора можно классифицировать на три вида: всасывающий, настенный струйный и двухрядный струйный.

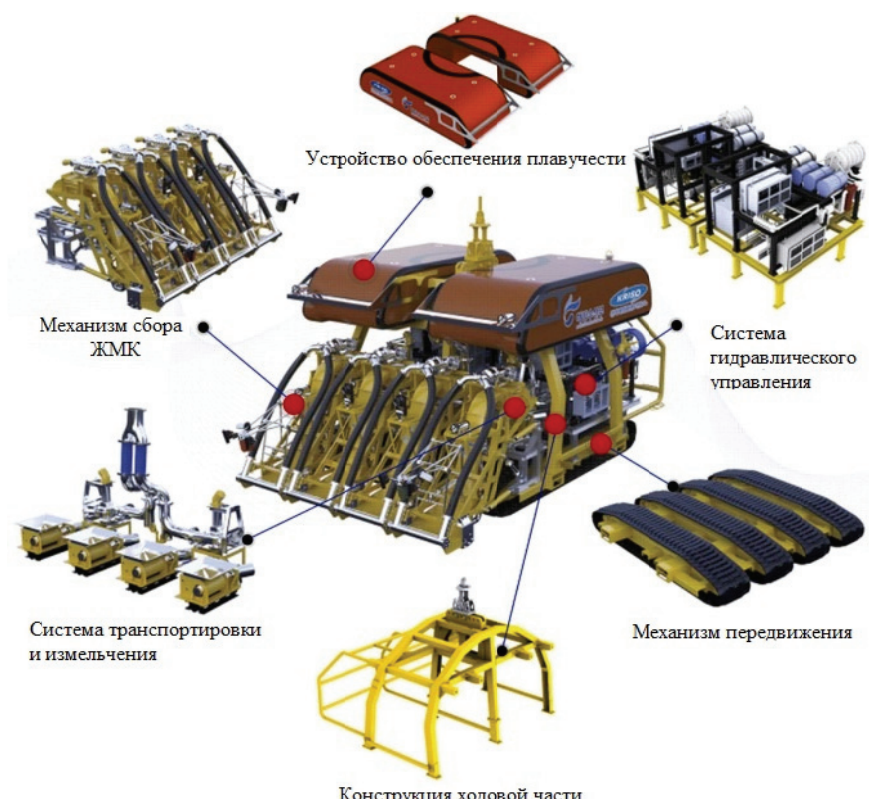


Рис. 2. Принципиальная схема глубоководной машины для сбора ЖМК

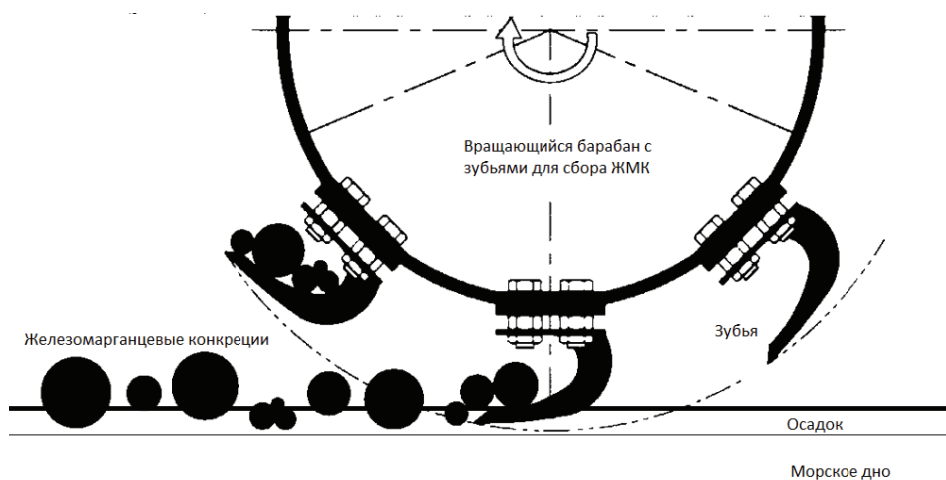


Рис. 3. Модель механического сбора, предложенная компанией Ocean Minerals Company в 1976 году

Принцип работы всасывающего вида сравним с пылесосом, использующим насос для всасывания конкреций через плоское отверстие. Далее конкреции попадают в приемный бункер для их дальнейшей транспортировки на поверхность (см. рис. 4, а).

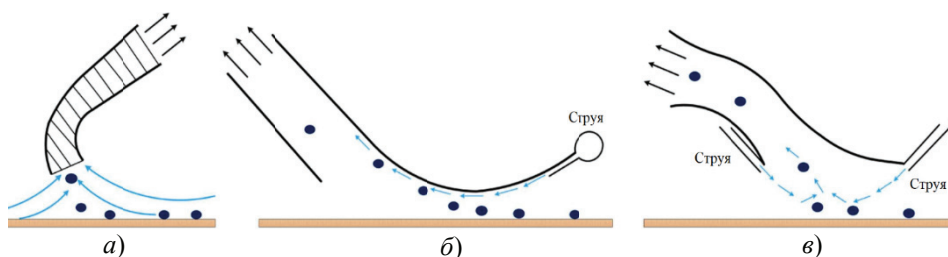


Рис. 4. Виды гидравлического метода сбора железомарганцевых конкреций:
а – всасывающий; *б* – настенный струйный; *в* – двухрядный струйный

Принцип действия настенного струйного вида гидравлического метода сбора основан на эффекте Коанда, при котором образуется выпуклое поверхностное поле потока с низким давлением вблизи стенки и высоким давлением вдали от нее, в результате чего конкреции разрыхляются за счет разницы давления и перемещаются к механизму сбора (см. рис. 4, б). В процессе работы конец устройства механизма сбора не контактирует с морским дном, а струя воды прилипает к стенке, при этом дно размывается незначительно.

На рисунке 4, в показан двухрядный струйный вид гидравлического метода сбора ЖМК. В данном способе используются две струи, находящиеся друг напротив друга. В процессе работы происходит размыв дна и ЖМК поднимаются к механизму сбора.

По сравнению с механическим оборудованием для сбора, гидравлическое оборудование имеет меньше движущихся частей и более простую конструкцию, менее подвержено повреждениям и с меньшей вероятностью засорится. Все это обеспечивает надежность в условиях высокого давления и мутности при добыче ЖМК.

Механизмы передвижения

В зависимости от механизма передвижения машины для сбора ЖМК можно разделить на два типа: буксируемые (рис. 5, а) и самоходные (рис. 5, б – в). Испытания по глубоководной добыче ЖМК на основе буксируемых машин проведены в начале 1980-х годов. Результаты показали, что добыча ЖМК с помощью таких машин технически осуществима, несмотря на то что контролировать и собирать конкреции в соответствии с запланированными маршрутами добычи, особенно в условиях высокой степени изменчивости рельефа морского дна, нелегко. Среди недостатков также следует отметить низкую эффективность и большие потери полезного ископаемого. Буксируемые машины не получили широкого развития и применения, и их постепенно заменили машины с самоходным механизмом передвижения.

Самоходный тип передвижения в свою очередь можно разделить на следующие виды: с винтовым двигателем, с архимедовой спиралью и самоходный гусеничный.

Машина для добычи ЖМК на основе винтового двигателя напоминает подводную лодку с простой конструкцией. Однако она обладает недостаточной тягой, большим энергопотреблением и низкой эффективностью. Данный вид самоходного механизма передвижения не получил широкого применения.

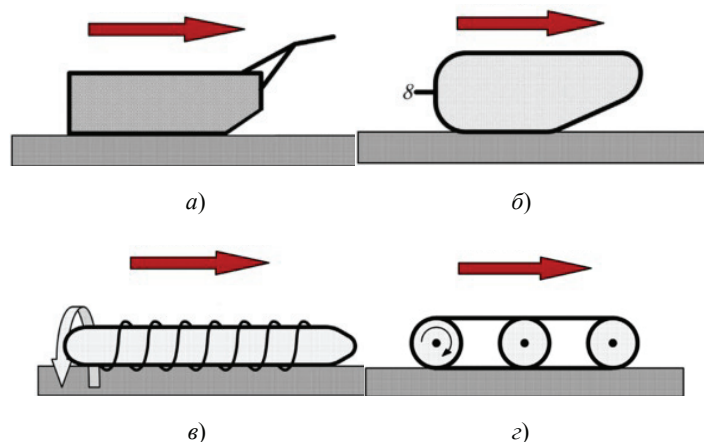


Рис. 5. Механизмы передвижения машин для сбора ЖМК:
а – буксируемый; *б* – с винтовым двигателем; *в* – архимедова спираль;
г – самоходный гусеничный

Самоходная машина для сбора ЖМК, имеющая механизм передвижения на основе архимедовой спирали, была предложена компанией Ocean Minerals из США. Данная машина имеет хорошую проходимость по морскому дну и простую конструкцию. Однако у данной машины существует большая вероятность пробуксовки и трудности при поворотах, эти недостатки связаны с тем, что спиральные канавки легко забиваются осадками морского дна. Кроме того, процесс передвижения на основе архимедовой спирали вызывает значительные нарушения осадочного слоя во время процесса добычи ЖМК.

Машина для сбора ЖМК, имеющая самоходный гусеничный механизм передвижения, обладает такими преимуществами, как большое тяговое усилие, большая прочность, преодоление препятствий и высокая работоспособность. В настоящее время самоходные гусеничные машины разрабатываются в большинстве стран, включая Китай, Германию, Индию и Корею.

Согласно научным исследованиям особенностей свойств, характеризующих структуру осадков и поровых вод [7 – 9], донные отложения в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана в основном представляют собой очень мелкий силикатный ил, в котором содержится большое количество влаги. Прочность на сдвиг отложений составляет 0...10 кПа, сопротивление проникновению составляет 0...15 кПа, а сцепление составляет 0...8 кПа, с внутренним углом трения от 0° до 7°. Из-за очень малого внутреннего угла трения движение транспортных средств по донным отложениям не может полагаться на силу трения, от которой зависят наземные транспортные средства. В основном передвижение машин добычи ЖМК зависит от сопротивления сдвигу отложений. С другой стороны, глубоководные машины для добычи ЖМК весят десятки тонн и подвергаются воздействию различных внешних сил, а процесс погружения на мягкие донные отложения также весьма сложен. Поэтому проектирование машин на основе гусеничного механизма передвижения требует полного понимания и освоения сложных законов для глубоководной добычи ЖМК.

Анализ воздействия на окружающую природную среду в результате применения машины для сбора ЖМК

Проанализировав механизмы для сбора ЖМК, отметим, что гидравлический метод сбора оказывает меньшее воздействие на донные осадочные отложения, чем механический. Механический метод сбора с большей вероятностью повредит уплотненный осадочный слой морского дна, что вызовет более масштабное образование плюма взвешенных веществ. Результаты морских испытаний [10 – 14] показали, что гидравлический метод сбора лучше приспосабливается к рельефу, у него выше эффективность сбора и более надежная конструкция устройства сбора, в то время как механический метод сбора имеет меньшее потребление энергии. В целом, по сравнению с механическим методом сбора ЖМК, гидравлический более надежен и оказывает меньшее потенциальное воздействие на окружающую природную среду, но при этом потребляет больше энергии. В настоящее время не хватает достаточно данных и экспериментов для сравнительного анализа, чтобы определить все преимущества и недостатки гидравлического и механического методов сбора ЖМК.

Однако, основываясь на разработке глубоководных машин для сбора ЖМК разными странами с 2000 года, гидравлический метод сбора является более предпочтительным. Помимо Индии, которая изучала как механический метод сбора, так и гидравлический метод сбора всасывающего вида, другие страны исследовали исключительно гидравлический метод. Например, Китай изучал двухрядный струйный вид сбора; Южная Корея – двухрядный струйный и настенный струйный вид сбора; Бельгия и Голландия приняли настенный струйный вид сбора для исследования и разработки глубоководных машин для сбора ЖМК.

В результате исследования проведенных морских испытаний с использованием различных механизмов передвижения выявлены следующие значимые воздействия на окружающую природную среду:

- *разрушение среды обитания.* Передвижение машины для сбора ЖМК по морскому дну напрямую разрушает донные отложения, где обитают многие организмы, что может привести к гибели или перемещению сидячих и малоподвижных видов, таких как губки, кораллы, черви и другие;

- *поднятие плюма взвешенных частиц.* В результате передвижения машины добычи ЖМК по дну происходит значительное взмучивание донных отложений, в воду поднимается большое количество осадка, образуя облако взвеси, что может привести к забиванию фильтрационных аппаратов (жаберных щелей) у живых организмов;

- *уплотнение грунта.* Многотонные машины для сбора ЖМК могут уплотнять донные отложения, в результате чего затрудняется их восстановление и заселение организмами;

- *изменение рельефа дна.* Передвижение машин для сбора ЖМК изменит рельеф дна, создав траншеи и углубления, что повлияет на гидродинамические процессы, такие как увеличение скорости течений в траншеях, формирование вихревых зон и т.д.

Таблица 2

**Сравнение параметров воздействия на окружающую природную среду
в зависимости от механизма передвижения по морскому дну**

Параметр	Гусеничный	Винтовой	Архимедова спираль	Буксируемый
Глубина нарушения, см	20...30	10...15	30...40	5...10
Взвешенные вещества (ВВ), кг/м ²	4...6	1...2	6...8	0,5...1
Время осаднения ВВ, месяцев	8...10	2...4	10...12	1...2
Гибель бентоса, %	80...90	70...80	90...100	30...50
Восстановление, лет	20...25	15...20	25...30	5...10

В таблице 2 приведено сравнение параметров воздействия на окружающую природную среду в зависимости от механизма передвижения по морскому дну.

Наибольшее негативное воздействие на окружающую природную среду наносят гусеничные системы и архимедовы спирали, тогда как буксируемые механизмы наиболее экологичны, но имеют ограниченную эффективность добычи.

**Возможные меры по минимизации ущерба
от глубоководной добычи ЖМК**

Проектирование и фактическая эксплуатация оборудования для глубоководной добычи должны быть направлены на минимизацию нарушения глубоководного морского дна, уменьшение образования плюма взвешенных веществ и их подавление [15 – 17].

Предлагаем рассмотреть возможность модернизации наиболее распространенного механизма передвижения машины для добычи ЖМК с помощью гусениц путем увеличения их ширины до 1...1,5 м, в результате чего снизится удельное давление на грунт до 6...12 кПа, что уменьшит глубину погружения в донные отложения с 20...30 до 15...20 см. Также стоит особое внимание уделить системам контроля глубины погружения в донные осадки. Это позволит сохранить допустимую глубину погружения в донные в условиях изменчивости рельефа морского дна.

Заключение

Высокая неопределенность экологических последствий глубоководной добычи ЖМК требует пересмотра подходов к ее регулированию. Необходим баланс между экономическими интересами и сохранением океана как глобального экологического ресурса. Проведенный анализ показывает, что современные технологии добычи, несмотря на предприни-

маемые меры минимизации воздействия, все еще несут существенные риски для хрупких глубоководных экосистем.

Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на разработке точных методов оценки кумулятивного воздействия, совершенствовании технологий дистанционного мониторинга и изучении долгосрочных последствий антропогенного вмешательства в глубоководные экосистемы. Это позволит перейти от концепции минимизации ущерба к созданию действительно устойчивой модели глубоководной добычи ЖМК.

Список литературы

1. Environmental Management Plan for the Clarion-Clipperton Zone (ISBA/17/LTC/7): International Seabed Authority. – URL : <https://www.isa.org.jm/protection-of-the-marine-environment/regional-environmental-management-plans/ccz/> (дата обращения: 21.04.2025).
2. План экологического обустройства для зоны Кларион-Клиппертон (ISBA/17/LTC/7) : офиц. сайт Международного органа по морскому дну. – Текст : электрон. – URL : https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-17ltc-7_1_1.pdf (дата обращения: 21.04.2025).
3. Решение Совета Международного органа по морскому дну относительно поправок к Правилам поиска и разведки полиметаллических конкреций в Районе и смежных вопросов от 22.07.2013 (ISBA/19/C/17). – Текст : электрон. – URL : https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19c-17_1_1.pdf (дата обращения: 21.04.2025).
4. Решение Ассамблеи Международного органа по морскому дну относительно поправок к Правилам поиска и разведки полиметаллических конкреций в Районе от 25.07.2013 (ISBA/19/A/9). – Текст : электрон. – URL : https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19a-9_1_1.pdf (дата обращения: 21.04.2025).
5. Руководящие рекомендации контракторам по оценке возможного экологического воздействия разведки морских полезных ископаемых в Районе от 30.03.2020 (ISBA/25/LTC/6/Rev.1). – Текст : электрон. – URL : <https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/25ltc-6-rev1-ru.pdf> (дата обращения: 21.04.2025).
6. Technology and Equipment of Deep-Sea Mining: State of the Art and Perspectives / Qi. Zhang, X. Chen, L. Luan [et al.] // Earth Energy Science. – 2024. – doi: 10.1016/j.ees.2024.08.002
7. Гурвич, Е. Г. Глубоководные железомарганцевые конкреции: состав, генезис и проблемы освоения / Е. Г. Гурвич. – М. : Науч. мир, 2006. – 342 с.
8. Андреев, С. И. Литолого-геохимические особенности донных отложений Кларион-Клиппертон / С. И. Андреев, И. С. Грамберг // Океанология. – 1990. – Т. 30, № 4. – С. 645 – 652.
9. Юбко, В. М. Геологоразведочные работы на месторождении железомарганцевых конкреций в зоне Кларион-Клиппертон Тихого океана: история и результаты исследований / В. М. Юбко, И. Н. Пономарева, Т. И. Лыгина // Океанологические исследования. – 2023. – Т. 51, № 4. – С. 90 – 134. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(4).5

10. Interoceanmetal Joint Organization. Benthic Impact Experiment (BIE): Technical and Environmental Results / Interoceanmetal Joint Organization. – Szczecin : IOM, 1998. – 78 p.
11. Global Sea Mineral Resources. Patania II Trials in the CCZ: Environmental Monitoring Results / Global Sea Mineral Resources. – Brussels : GSR, 2021. – 64 p.
12. Environmental Impacts of Deep-Sea Mining: A Review of Current Knowledge and Future Challenges / D. O. B. Jones, S. Kaiser, A. K. Sweetman [et al.] // Oceanography. – 2017. – Vol. 30, No. 4. – P. 142 – 157.
13. Understanding Mn-Nodule Distribution and Mining Impacts Using AUV Data / A. Peukert, T. Schoening, E. Alevizos [et al.] // Biogeosciences. – 2018. – Vol. 15, No. 8. – P. 2525 – 2549. doi: 10.5194/bg-15-2525-2018
14. China Ocean Mineral Resources Research and Development Association. Technical Specifications for Deep-Sea Tracked Vehicles / COMRA. – Qingdao : COMRA Press, 2021. – 112 p.
15. Свинцов, Н. Ю. Анализ возможного экологического воздействия при добыче железомарганцевых конкреций в рудной провинции Кларион-Клипертон Тихого океана / Н. Ю. Свинцов // Научный аспект. – 2023. – Т. 29, № 12. – С. 3670 – 3677.
16. Свинцов, Н. Ю. Воздействие на окружающую природную среду распространения плюма взвешенных частиц в водной толще при глубоководной добыче ЖМК в провинции Кларион-Клипертон Тихого океана / Н. Ю. Свинцов, Ю. А. Васянович // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 8(146). doi: 10.60797/IRJ.2024.146.41. URL : <https://research-journal.org/archive/8-146-2024-august/10.60797/IRJ.2024.146.41> (дата обращения: 25.09.2024).
17. Свинцов, Н. Ю. Комплексный мониторинг окружающей природной среды при геологоразведке и глубоководной добыче железомарганцевых конкреций в провинции Кларион-Клипертон Тихого океана / Н. Ю. Свинцов, Ю. А. Васянович, П. А. Кузнецов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2024. – № 4(94). – С. 30 – 40. doi: 10.17277/voprosy.2024.04.pp.030-040

References

1. Environmental Management Plan for the Clarion-Clipperton Zone (ISBA/17/LTC/7): International Seabed Authority, available at: <https://www.isa.org.jm/protection-of-the-marine-environment/regional-environmental-management-plans/ccz/> (accessed 21 April 2025).
2. Available at: https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-17ltc-7_1_1.pdf (accessed 21 April 2025).
3. Decision of the Council of the International Seabed Authority concerning amendments to the Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Nodules in the Area and Related Matters of 22.07.2013 (ISBA/19/C/17), available at: https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19c-17_1_1.pdf (accessed 21 April 2025).
4. Decision of the Assembly of the International Seabed Authority regarding amendments to the Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Nodules in the Area dated 25.07.2013 (ISBA/19/A/9), available at: https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19a-9_1_1.pdf (accessed 21 April 2025).

5. Guidance to contractors on assessing the potential environmental impacts of exploration for marine minerals in the Area dated 30.03.2020 (ISBA/25/LTC/6/Rev.1), available at: <https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/25ltc-6-rev1-ru.pdf> (accessed 04 April 2025).
6. Zhang Qi., Chen X., Luan L. [et al.] Technology and equipment of deep-sea mining: State of the art and perspectives, *Earth Energy Science*, 2024, doi: 10.1016/j.ees.2024.08.002
7. Gurvich E.G. *Glubokovodnyye zhelezomargantsevyye konkretsii: sostav, genezis i problemy osvoyeniya* [Deep-sea ferromanganese concretions: composition, genesis and development problems], Moscow: Nauch. mir, 2006, 342 p. (In Russ.)
8. Andreev S.I., Gramberg I.S. [Lithological and geochemical features of the Clarion-Clipperton bottom sediments], *Okeanologiya* [Oceanology], 1990, vol. 30, no. 4, pp. 645-652 (In Russ., abstract in Eng.)
9. Yubko V.M., Ponomareva I.N., Lygina T.I. [Geological exploration work at the deposit of ferromanganese concretions in the Clarion-Clipperton zone of the Pacific Ocean: history and results of research], *Okeanologicheskie issledovaniya* [Oceanological research], 2023, vol. 51, no. 4, pp. 90-134. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(4).5
10. *Interoceanmetal Joint Organization. Benthic Impact Experiment (BIE): Technical and Environmental Results*, Interoceanmetal Joint Organization, Szczecin: IOM, 1998, 78 p. (IOM Technical Report ; No. 3).
11. *Global Sea Mineral Resources. Patania II Trials in the CCZ: Environmental Monitoring Results*, Global Sea Mineral Resources, Brussels: GSR, 2021, 64 p.
12. Jones D.O.B., Kaiser S., Sweetman A.K. [et al.], Environmental Impacts of Deep-Sea Mining: A Review of Current Knowledge and Future Challenges, *Oceanography*, 2017, vol. 30, no. 4, pp. 142-157.
13. Peukert A., Schoening T., Alevizos E. [et al.], Understanding Mn-Nodule Distribution and Mining Impacts Using AUV Data, *Biogeosciences*, 2018, vol. 15, no. 8, pp. 2525-2549. doi: 10.5194/bg-15-2525-2018
14. *China Ocean Mineral Resources Research and Development Association. Technical Specifications for Deep-Sea Tracked Vehicles*, COMRA, Qingdao: COMRA Press, 2021, 112 p.
15. Svintsov N.Yu. [Analysis of the possible environmental impact during the extraction of ferromanganese nodules in the Clarion-Clipperton ore province of the Pacific Ocean], *Nauchnyy aspekt* [Scientific aspect], 2023, vol. 29, no. 12, pp. 3670-3677. (In Russ., abstract in Eng.)
16. Svintsov N.Yu., Vasyanovich Yu.A. [Impact on the environment of the spread of a plume of suspended particles in the water column during deep-sea mining of iron ore in the Clarion-Clipperton province of the Pacific Ocean], *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International research journal], 2024, no. 8(146), doi: 10.60797/IRJ.2024.146.41, available at: <https://research-journal.org/archive/8-146-2024-august/10.60797/IRJ.2024.146.41> (accessed 25 April 2024).
17. Svintsov N.Yu., Vasyanovich Yu.A., Kuznetsov P.A. [Integrated monitoring of the environment during geological exploration and deep-sea mining of ferromanganese nodules in the Clarion-Clipperton Province of the Pacific Ocean], *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2024, no. 4(94), pp. 30-40. doi: 10.17277/voprosy.2024.04.pp.030-040

The Analysis of Negative Consequences of Using Deep-Sea Mining Machines in the Pacific Ocean

N. Yu. Svintsov, Yu. A. Vasyanovich

Vladivostok State University, Vladivostok, Russia

Keywords: analysis of environmental impact; deep-sea mining machine for iron-manganese nodules; mining of solid minerals in the ocean; marine ecosystems; spread of suspended matter plume.

Abstract: The environmental impact of machines used for deep-sea mining of iron-manganese nodules (IMN) in the Clarion-Clipperton Province of the Pacific Ocean is analyzed. The main types of impact on the marine environment are considered, including mechanical destruction of bottom sediments, formation of a suspended matter plume and disruption of the structure of benthic communities. A comparative assessment of various mining machine movement mechanisms (tracked, screw, towed and based on the Archimedean spiral) and methods of collecting ferrometre metal (mechanical, hydraulic) was carried out. Measures for minimizing damage during deep-sea ferrometre metal mining were proposed.

© Н. Ю. Свинцов, Ю. А. Васянович, 2025