

ГЕОЭКОЛОГИЯ / GEOECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.41>

**ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛЮМА
ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ ПРИ ГЛУБОКОВОДНОЙ ДОБЫЧЕ ЖМК В ПРОВИНЦИИ
КЛАРИОН-КЛИППЕРТОН ТИХОГО ОКЕАНА**

Обзор

Свинцов Н.Ю.^{1,*}, Васянович Ю.А.²

^{1,2} Владивостокский государственный университет, Владивосток, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (nikitakorolev92[at]mail.ru)

Аннотация

В настоящей работе рассмотрены перспективы освоения железомарганцевых конкреций (ЖМК) в рудной провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана с возможностью минимизировать ущерб для морских экосистем. Представлено строение осадочного чехла в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана. Рассмотрены ранее используемые добычные комплексы и их воздействие на морское дно при глубоководной добыче ЖМК. Проведен анализ распространения плюма взвешенных частиц в водной толще, при глубоководной добыче ЖМК в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана. Изложена оценка негативного воздействия на окружающую природную среду. Предложен перечень мероприятий для охраны природы в океане. Рекомендовано разработать мероприятия по смягчению удаления субстрата, предусматривать естественную реколонизацию морского дна, разрабатывать методы сведения к минимуму пространственных и временных масштабов воздействия непосредственного физического контакта техники с морским дном и осадения материалов из образовавшегося плюма.

Ключевые слова: глубоководная добыча железомарганцевых конкреций (ЖМК), морские экосистемы, оценка экологического воздействия, добыча твердых полезных ископаемых в океане, распространение плюма взвешенных веществ.

**ENVIRONMENTAL IMPACTS OF SPREADING A PLUME OF SUSPENDED SEDIMENT IN THE WATER
COLUMN FROM DEEP-SEA FMN MINING IN THE CLARION-CLIPPERTON PROVINCE OF THE PACIFIC
OCEAN**

Review article

Svintsov N.Y.^{1,*}, Vasyanovich Y.A.²

^{1,2} Vladivostok State University, Vladivostok, Russian Federation

* Corresponding author (nikitakorolev92[at]mail.ru)

Abstract

This study examines the prospects for the development of ferromanganese nodules (FMN) in the Clarion-Clipperton ore province of the Pacific Ocean, with the possibility of minimizing damage to marine ecosystems. The structure of the sedimentary cover in the Clarion-Clipperton Province of the Pacific Ocean is presented. Previously used mining complexes and their impact on the seafloor during deep-sea mining of FMN are reviewed. The distribution of suspended sediment plume in the water column during deep-sea mining in the Clarion-Clipperton Province of the Pacific Ocean is analysed. An evaluation of the negative impact on the natural environment is outlined. A list of measures for nature protection in the ocean is proposed. It is recommended to develop measures to mitigate substrate removal, to provide for natural recolonization of the seabed, to develop methods to minimize the spatial and temporal scale of the impact of direct physical contact of machinery with the seabed and deposition of materials from the resulting plume.

Keywords: deep-sea mining of ferromanganese nodules (FMN), marine ecosystems, environmental impact evaluation, ocean mining of solid minerals, suspended sediment plume spreading.

Введение

Начавшееся инженерно-геологическое изучение глубоководных областей Мирового океана, и в частности, рудной провинции Кларион-Клиппертон в приэкваториальной части Тихого океана, связано с необходимостью установления реальной возможности промышленного освоения твердых полезных ископаемых океанского дна и в первую очередь железомарганцевых конкреций, обогащенных никелем, медью, кобальтом и некоторыми другими микроэлементами. Железомарганцевые образования широко распространены в глубоководных областях Мирового океана. Наиболее богатой из них в настоящее время считается рудная провинция (поле) Кларион-Клиппертон, выделенная на площади, ограниченной координатами 5-19° с. ш. и 115-158° з. д. (рис. 1). В рудной провинции Кларион-Клиппертон Международным органом по морскому дну (МОМД) при ООН выданы сертификаты на разведку и промышленное освоение железомарганцевых конкреций Российской Федерации (1987 г.), Японии, Французской Республики, Китайской Народной Республики, Республики Корея, а также СО «Интерокеанметалл» (1991 г.) в составе Республики Болгария, Республики Куба, Республики Польша, Российской Федерации, Словацкой Республики и Чешской Республики. Для каждого заявителя выделены участки (Разведочные районы) площадью 75 тыс. км² [1].

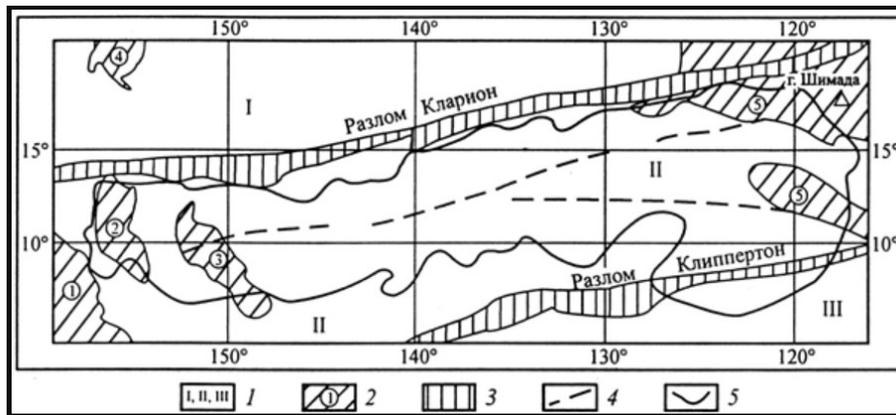


Рисунок 1 - Морфологическая схема рудной провинции Кларрион-Клиппертон:

1 — впадины (I — Молокаи-Кларрион, II — Кларрион-Клиппертон, III — Клиппертон-Галапагос); 2 — поднятия (1 — архипелаг Лайн, 2 — Лаптева, 3 — Купера, 4 — Гавайское, 5 — западных отрогов Гор Математиков); 3 — зоны трансформных разломов; 4 — другие разломы, отраженные в рельефе; 5 — граница рудной провинции
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.41.1>

Российский контрактор АО «Южморгеология» ежегодно с соблюдением сроков представляет в МОМД развернутые годовые отчеты о выполнении программы деятельности в разведочном районе. Однако стоит отметить, что 28.03.2026г. завершается период второго продления контракта с МОМД. До истечения данного срока Российским контрактором должна быть подана заявка на утверждение плана работ по разработке месторождения или на очередное продление геологоразведочных работ.

На этапе поиска и разведки морских полезных ископаемых МОМД предписано, в частности, устанавливать и подвергать периодическому обзору природоохранные нормы, правила и процедуры, необходимые для обеспечения эффективной защиты морской среды от вредных для нее последствий, которые могут возникнуть в результате деятельности в районе, и вместе с поручившимися государствами применять осторожный подход к такой деятельности, опираясь на рекомендации юридической и технической комиссии. Кроме того, в контракты на разведку полезных ископаемых включается требование о том, чтобы контрактор собирал океанографические и фоновые экологические данные и устанавливал экологический фон, используемый для оценки вероятного воздействия его программы деятельности в рамках плана работы по разведке на морскую среду, а также программу мониторинга такого воздействия и сообщения о нем.

Фоновые данные, документирующие природные условия до начала добычных испытаний, крайне необходимы для мониторинга изменений в результате воздействия добычных испытаний и для прогнозирования последствий коммерческой добычной деятельности.

В рамках сбора данных применительно к свойствам осадков по требованию МОМД необходимо:

- устанавливать основные свойства осадочного чехла, в том числе измерять механику и состав почв, чтобы адекватно выявить характеристики поверхностных осадочных отложений, из которых может потенциально образоваться глубоководный шлейф;
- брать пробы осадков с учетом изменчивости морского дна.

Сбор фоновых данных (свойства осадков, включая химию поровых вод) ориентирован на прогнозирование поведения шлейфа сбросов и воздействия испытательных добычных работ на состав осадков. В этой связи следует измерять следующие параметры: удельная масса, объемная плотность, сопротивление сдвигу и зернистость, а также глубина, на которой осадочная среда меняется с окисной на субокисную или с субокисной на окисную. Следует замерять присутствие органического, равно как и неорганического, углерода в осадках, присутствие металлов, которые могут быть вредными в какой-либо форме (железо, марганец, цинк, кадмий, свинец, медь и ртуть), питательных веществ (фосфат, нитрат, нитрит и силикат) и карбоната (щелочность), а также окислительно-восстановительную систему в поровой воде. На глубину до 20 см следует определить геохимию поровой воды и осадочного чехла [2], [3], [4], [5].

Оценка экологического воздействия требуется, если площадь, охватываемая одним комплексом пробоотборных работ, выполняемых эгипентическими салазками, драгой, тралом или аналогичным методом, превышает 10 000 м².

В 2024 году совет МОМД проведет 29-ую сессию, на которой обсудят создание и утверждение проекта правил глубоководной добычи полезных ископаемых с морского дна. В настоящее время не представляется возможным оценить ущерб окружающей природной среде при промышленной добычи полезных ископаемых с морского дна. Это является одной из основных причин, по которой начиная с 2014 года проект правил глубоководной добычи так и не утвержден.

Строение осадочного чехла в провинции Кларрион-Клиппертон Тихого океана

Основы изучения стратиграфии рудной провинции Кларрион-Клиппертон заложены исследованием кернов скважин глубоководного бурения. По результатам обработки данных глубоководного бурения в экваториальной части Тихого океана были выделены океанические формации.

Большая часть слоев кайнозойской осадочной толщи выходит на донную поверхность, где они изучены по многочисленным грунтовым колонкам длиной 5-6 м, отобранным в процессе как геологоразведочных работ на

железомарганцевые конкреции, так и при других видах морских геологических исследований. Отметим, что детально опробованная легкими техническими средствами верхняя (придонная) часть разреза кайнозойских отложений довольно часто отсутствует в кернах глубоководных скважин. Исследование колонок донных грунтов позволило построить весь разрез осадочного чехла кайнозоя от голоцена до среднего эоцена, провести биостратиграфическое обоснование их возраста, корреляцию с разрезами скважин глубоководного бурения и увязку с сейсмоакустическими разрезами, расстояние между которыми не менее 50 км. (рис. 2).

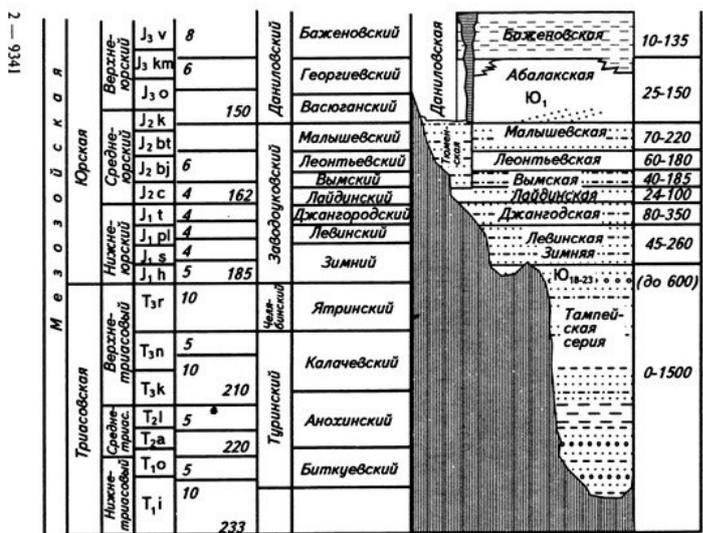
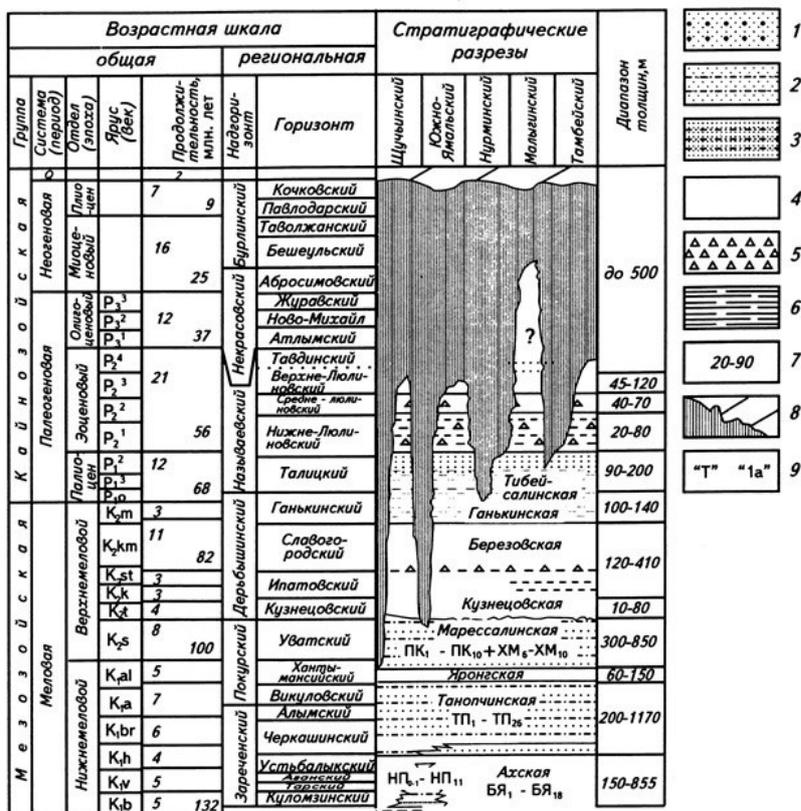


Рисунок 2 - Стратиграфическая схема верхнемеловых-верхнекайнозойских отложений зоны Клариион-Клиппертон: 1 — глинистые осадки и отложения; 2 — карбонатные и глинисто; 3 — кремнистые; 4 — карбонатно-глинистые; 5 — металлонесные (глины, карбонаты обогащённые Fe-Mn окислами) отложения; 6 — перерыв в осадконакоплении; 7 — кремни; 8 — цеолиты; 9 — базальты; 10 — Fe-Mn конкреции; 11 — фациальные замещения
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.41.2>

Примечание: приводится по источнику [6]

Геохимически активный слой осадка является средой обитания бентосных сообществ. Поля ЖМК создают благоприятные условия для их жизнедеятельности, что приводит к увеличению численности биоты в местах наибольшего скопления ЖМК [7]. При добыче наиболее продуктивных залежей конкреций уничтожается большое количество живых организмов, что приводит к снижению видового разнообразия. Физическое нарушение поверхностного слоя осадка может вызвать образование плюма взвешенных частиц, который переносится придонными течениями и создает слой переотложенных осадков. Этот слой может практически захоронить бентосную фауну и лишить ее питания. Переотложенный слой также лишает доступа к питательным веществам геохимически активного слоя бентических сообществ. Воздействие нарушений осадочного слоя ведет к высвобождению тяжелых металлов, увеличению концентрации питательных веществ в водной толще и увеличению мутности воды взвешенными частицами осадка [8].

Обзор некоторых испытаний с образованием плюма взвешенных веществ на морском дне

Исследования в области распространения осадочного шлейфа в районах залегания ЖМК ограничены результатами испытаний, проведенных в 1970-х годах компанией Ocean Mining Inc. (OMI) и Ocean Mining Associates (OMA), а также результатами экспериментов по воздействию на бентос и моделированию деятельности, проведенной в 1990-х годах Федеративной Республикой Германии (DISCOL/ATESEPP; Peru Basin), Японией (JET; Japanese CCFZ claim area) и РФ /США (NOAA-BIE; российско-американские эксперименты BIE-I и BIE-II). Они были сосредоточены в первую очередь на определении воздействия перемещенного шлейфа донных отложений на бентическую фауну. В этих экспериментах объем повторно отложенных осадков в окрестностях пострадавших участков был определен на основе снимков морского дна и численного моделирования, проведенного измерения временных рядов океанических придонных течений и установленных статических размеров частиц и скоростей осаждения. Технология глубоководных наблюдений на момент проведения этих экспериментов не позволяла проводить всесторонний мониторинг реальных шлейфов наносов, поскольку они распространялись в поперечном и вертикальном направлении от места источника, а также оценивать процессы дифференциальной агрегации частиц, которые определяют повторное осаждение взвешенных частиц из шлейфа [9].

В эксперименте JET глубоководный механизм по ресуспендированию донных отложений (DSSRS) буксировали 19 раз вдоль двух параллельных зон буксировки длиной 2000 м в течение 1 месяца, выбрасывая 352 тонны суспензии донных отложений со скоростью около 60 л/с на высоте примерно 5 м над морским дном. Анализ улавливания отложений и результаты моделирования показали, что повторное осаждение достигало мощности до 2,6 мм. Более того, эмпирические данные, данные моделирования и технически очень похожие эксперименты NOAA-BIE показали, что 90% взвешенных частиц, созданных искусственным возмущением морского дна, осели в радиусе 2 км от зоны воздействия. Время рассеивания шлейфа, создаваемого одним коллектором с предполагаемой производительностью 10 кг/с (примерно в 5 раз превышающей производительность DSSR) на относительно небольшой площади (длина пути около 1500 м), составило от 1,5 до 6 дней.

Оборудование, которое использовалось в ранее проведенных экспериментах не позволило получить результаты с высокой точностью, в связи с тем, что измерения были точечными. Современное оборудование и методы позволяют производить измерения непрерывно на протяжении всего диапазона глубин. Кроме того, проведенные эксперименты и моделирование были в большей степени сосредоточены на разрушении дна и восстановлении фауны, чем на рассеивании шлейфа в толще воды, и они представляют собой относительно мелкомасштабные разовые выбросы, которые, нельзя экстраполировать на промышленный масштаб, непрерывную добычу ЖМК.

В 2021 году компанией Global Sea Mineral Resources (GSR) и Федеральным институтом наук о Земле и природных ресурсов Германии в течение 30 дней были проведены испытания добычного комплекса Patania II по сбору ЖМК. На рисунке 3 представлены кадры, полученные во время испытаний Patania II.

На фотографии сверху показано образование седиментационного плюма после прохождения добычного комплекса. На фотографиях снизу, представлена мощность переотложенного осадка в зависимости от расстояния до участка испытаний.

В результате данных испытаний производился непрерывный мониторинг седиментационного плюма, полученного при воздействии добычного оборудования на донные осадки.

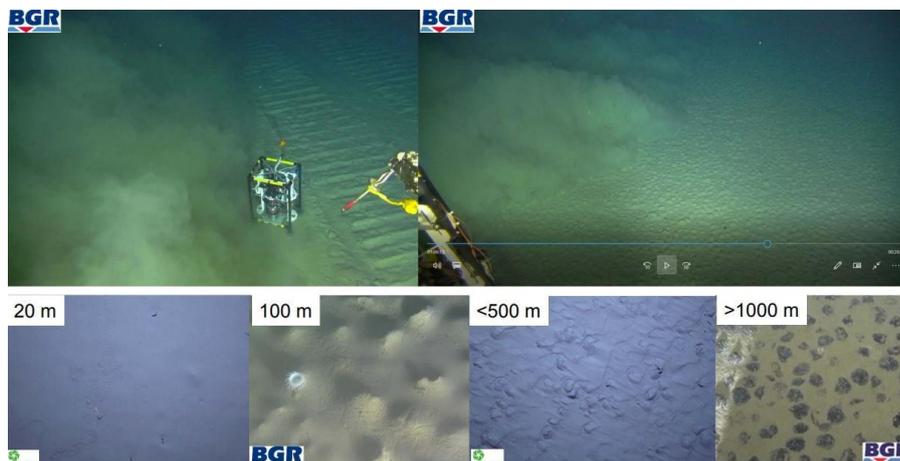


Рисунок 3 - Фотографии сделанные во время испытания добычного комплекса Patania II

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.41.3>

Исследование свидетельствует о том, что при удалении верхнего слоя грунта толщиной от четырёх до восьми сантиметров, образующийся плюм не подымается более чем на 5–10 метров над дном. Толщина слоя перераспределенного осадка в зоне проведения тестов достигает 2–3 см, в то время как в тысяче метров от места исследований их совсем не обнаруживается. Было также установлено, что плюм распространяется с помощью придонных течений: за 24 часа частицы в низких концентрациях перемещаются на расстояние в 4000 м.

Воздействие на окружающую природную среду распространения плюма взвешенных частиц в водной толще

Потенциальные экологические проблемы, связанные с образованием плюма в ходе глубоководной добычи ЖМК, включают:

- искусственное переотложение частиц осадочного чехла из распространяющегося плюма и покрытие ими дна в непосредственной близости от места добычи,
- погребение бентических организмов и засорение дыхательных поверхностей питающих фильтров,
- нарушение кислородного обмена на морском дне,
- загрязнение донных отложений, отложение потенциально токсичных металлов, что может привести к биоаккумуляции загрязняющих веществ.

Эти процессы повлияют на структуру и функционирование глубоководной экосистемы в определенной, но в настоящее время неизвестной степени. На сегодняшний день лишь немногие исследования были сосредоточены на анализе и моделировании масштабов этого воздействия в различных экологически значимых временных и пространственных масштабах, что зависит от множества местных и региональных факторов, таких как физические и химические свойства донных отложений, характер гидродинамического режима (ближнее поле и дальнее поле), рельеф дна, тип используемого горного оборудования и скорость добычи. На данный момент количество отложений из плюма, образовавшегося в результате добычи полезных ископаемых, неизвестно.

Сбор конкреций и удаление связанных с ними мелкозернистых илов существенно нарушает среду обитания бентоса в районе добычи полезных ископаемых, что приводит к значительному изменению среды обитания морского дна и влечет за собой образование шлейфов наносов вблизи морского дна. С точки зрения физического воздействия, удаление конкреций (и отложений) с морского дна также изменит рельеф добычного участка (например, уменьшит трение из-за удаления конкреций; образование небольших борозд и гребней), что, в свою очередь, влияет на локальный гидродинамический режим течения вблизи морского дна, а также на процессы седиментации / повторного осаждения.

При исследовании горизонтальной протяженности плюма взвешенных частиц в результате работы добычного комплекса Patania II была получена модель, отражающая расстояние переноса взвешенных частиц от места добычи (рис. 4).

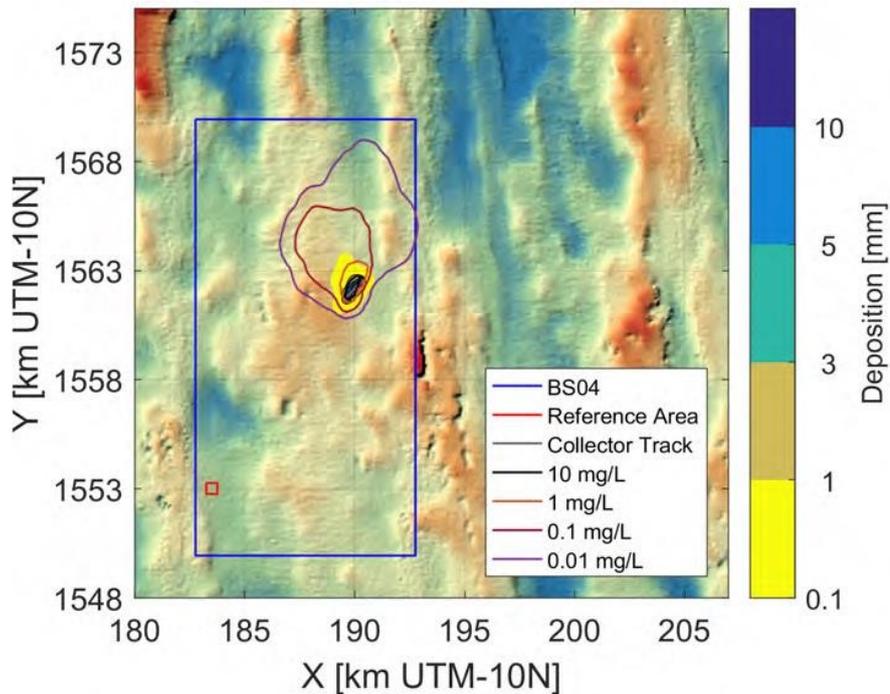


Рисунок 4 - Площадь распространения плюма взвешенных веществ в результате работы добычного комплекса Patania II
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.41.4>

Непосредственно в конце испытания Patania II контур концентрации 0,1 мг/л имеет протяженность 5 км при моделировании в марте 2009 г., около 7 км при моделировании в апреле 2009 г. и до 10 км при моделировании в мае 2009 г. Шлейф имел вытянутую форму и большую длину в мае 2009 г. период из-за более сильного и постоянного течения в течение этого периода моделирования. Напротив, форма шлейфа более концентрична для моделирования в марте 2009 года из-за переменного направления течения в данном периоде.

Через пять дней после окончания испытания Patania II шлейф в значительной степени исчез из водной толщи из-за осаждения и разбавления, и виден только контур 0,01 мг/л (вблизи или за пределами предела зоны обнаружения для современных измерительных устройств). Контур частоты возникновения имеют в основном ту же форму, что и контуры мгновенной концентрации, и в значительной степени определяются преобладающим направлением течения во время испытания.

Оставшийся более глубокий и плотный слой отложений покрыт несколькими сантиметрами осадков, образующихся при выпадении шлейфа. Кроме того, уплотнение отложений, вызванное гусеницами добычного комплекса, приведет к вытеснению поровых вод. В обоих случаях такие более жесткие и менее пористые отложения, труднее повторно колонизировать биотурбирующим организмам, которые смешиваются с рыхлыми, нетронутыми осадками.

Удаление верхних отложений в зоне непосредственного испытания и повторное осаждение этих отложений после сброса и рассеивания в более отдаленные районы приведет к удушью состояния организмов, закупорке органов дыхания и фильтрационного питания отдельных организмов [10]. Также будут затронуты процессы круговорота питательных веществ и реминерализации органических веществ. Численность и биомасса всех размерных классов фауны (мейо, макро- и мегафауна) уменьшается по градиенту продуктивности от относительно эвтрофных (восточных) к олиготрофным (западным) средам. Это подчеркивает важность поступления питательных веществ и бенто-пелагического взаимодействия для определения структуры экосистемы и потенциальное негативное воздействие на бентос.

Заключение

В рамках данной статьи были проанализированы различные эксперименты, при которых было зафиксировано образование плюма взвешенных частиц в водной толще из-за воздействия добычных систем на морское дно в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана. Результаты анализа показали, что действие добывающего оборудования влияет на подводное окружение и на их условия жизни в существующей природной среде. Обнаружено, что образование переосажденного слоя осадочных частиц ухудшает условия существования бентосных существ, таких как губки, актинии, полихеты и голотурии, погребая их и ограничивая доступ к питательным элементам, находящимся в нижнем слое водной толщи. При извлечении конкреций также теряется множество прикрепленной фауны, и разрушение верхнего слоя осадков лишает местную биоту, включая морские звезды и голотурии, возможности поддерживать питание.

Учитывая современные технологии добычи твердых полезных ископаемых с морского дна, любая добычная техника будет разрушать или удалять часть поверхностного слоя (порода, конкреции и осадки), создавая придонный операционный плюм взвешенных частиц, который будет воздействовать на морскую жизнь. Исходя из выше сказанного рекомендуем разработать мероприятия по смягчению удаления субстрата, предусматривать естественную

реколонизацию морского дна, разрабатывать методы сведения к минимуму пространственных и временных масштабов воздействия непосредственного физического контакта техники с морским дном и осадения материалов из образовавшегося плуама.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Свинцов Н.Ю. Анализ возможного экологического воздействия при добыче железомарганцевых конкреций в рудной провинции Клариион-Клипертон Тихого океана / Н.Ю. Свинцов // Научный аспект. — 2023. — Т. 29. — № 12. — С. 3670-3677.
2. План экологического обустройства для зоны Клариион-Клипертон (ISBA/17/LTC/7). Официальный сайт Международного органа по морскому дну. — URL: https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-17ltc-7_1_1.pdf (дата обращения: 19.04.2024).
3. Решение Совета Международного органа по морскому дну относительно поправок к Правилам поиска и разведки полиметаллических конкреций в Районе и смежных вопросов от 22.07.2013г. (ISBA/19/C/17). — URL: https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19c-17_1_1.pdf (дата обращения: 19.04.2024).
4. Решение Ассамблеи Международного органа по морскому дну относительно поправок к Правилам поиска и разведки полиметаллических конкреций в Районе от 25.07.2013г. (ISBA/19/A/9). — URL: https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19a-9_1_1.pdf (дата обращения: 19.04.2024).
5. Руководящие рекомендации подрядчикам по оценке возможного экологического воздействия разведки морских полезных ископаемых в Районе от 30.03.2020г. (ISBA/25/LTC/6/Rev.1). — URL: <https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2> (дата обращения: 19.04.2024).
6. Неизвестнов Я.В. Инженерная геология рудной провинции Клариион – Клипертон в Тихом океане / Я.В. Неизвестнов, А.В. Кондратенко, С.А. Козлов [и др.] // Тр. ВНИИ Океангеологии М-ва природн. ресурсов РФ и РАН. — СПб.: Наука, 2004. — Т. 197. — 281 с.
7. GSR. Environmental Impact Statement Small-Scale Testing of Nodule Collector Components on the Seafloor of the Clarion-Clipperton Fracture Zone and Its Environmental Impact. — Ostend: Global Sea Mineral Resources NV, 2019.
8. Halfar J. Ecology. Danger of deep-sea mining / J. Halfar, R. Fujita // Science. — 2007. — Vol. 316. — P. 987. — DOI: 10.1126/science.1138289.
9. Gena K. Deep Sea Mining of Submarine Hydrothermal Deposits and its Possible Environmental Impact in Manus Basin, Papua New Guinea / K. Gena // Procedia Earth. — 2013.
10. PC (The Secretariat of the Pacific Community, European Union) (2013) Deep Sea Minerals in the Pacific Islands Region a Legal and Fiscal Framework for Sustainable Resource Management Project. Summary Highlights. — URL: https://dsm.gsd.spc.int/public/files/meetings/TrainingWorkshop4/UNEP_summary.pdf (accessed: 04.19.2024).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Svintsov N.Yu. Analiz vozmozhnogo ekologicheskogo vozdeystviya pri dobyche zhelezomargancevyh konkretij v rudnoj provincii Klarion-Kliperton Tihogo okeana [Analysis of the possible environmental impact of mining ferromanganese nodules in the Clarion-Clipperton ore province of the Pacific Ocean] / N.YU. Svintsov // Nauchnyj aspekt [Scientific aspect]. — 2023. — Vol. 29. — № 12. — P. 3670-3677. [in Russian]
2. Plan ekologicheskogo obustrojstva dlya zony Klarion-Kliperton (ISBA/17/LTC/7) [Environmental Management Plan for the Clarion-Clipperton Area (ISBA/17/LTC/7)]. Official website of the International Seabed Authority. — URL: https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-17ltc-7_1_1.pdf (accessed: 04.19.2024). [in Russian]
3. Reshenie Soveta Mezhdunarodnogo organa po morskemu dnu otnositel'no popravok k Pravilam poiska i razvedki polimetallicheskikh konkretij v Rajone i smezhnyh voprosov ot 22.07.2013g. (ISBA/19/C/17) [Decision of the Council of the International Seabed Authority regarding amendments to the Rules for prospecting and exploration of polymetallic nodules in the Area and related issues dated July 22, 2013. (ISBA/19/C/17)]. — URL: https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19c-17_1_1.pdf (accessed: 04.19.2024). [in Russian]
4. Reshenie Assamblei Mezhdunarodnogo organa po morskemu dnu otnositel'no popravok k Pravilam poiska i razvedki polimetallicheskikh konkretij v Rajone ot 25.07.2013g. (ISBA/19/A/9) [Decision of the Assembly of the International Seabed Authority regarding amendments to the Rules for prospecting and exploration of polymetallic nodules in the Area dated July 25, 2013. (ISBA/19/A/9)]. — URL: https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19a-9_1_1.pdf (accessed: 04.19.2024). [in Russian]
5. Rukovodyashchie rekomendacii kontraktoram po ocenke vozmozhnogo ekologicheskogo vozdeystviya razvedki morskikh poleznyh iskopaemyh v Rajone ot 30.03.2020g [Guidance recommendations for contractors on assessing the possible environmental impact of exploration for marine minerals in the Area dated March 30, 2020]. (ISBA/25/LTC/6/Rev.1). — URL: <https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/25ltc-6-rev1-ru.pdf> (accessed: 04.19.2024). [in Russian]

6. Neizvestnov Ya.V. Inzhenernaya geologiya rudnoj provincii Klarion – Klipperton v Tihom okeane [Engineering geology of the Clarion-Clipperton ore province in the Pacific Ocean] / Ya. V. Neizvestnov, A.V. Kondratenko, S.A. Kozlov [et al.] // Tr. VNII Okeangeologii M-va prirod. resursov RF i RAN [Proc. All-Russian Research Institute of Okeangeology of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation and RAS]. — St. Petersburg: Nauka, 2004. — Vol. 197. — 281 p. [in Russian]

7. GSR. Environmental Impact Statement Small-Scale Testing of Nodule Collector Components on the Seafloor of the Clarion-Clipperton Fracture Zone and Its Environmental Impact. — Ostend: Global Sea Mineral Resources NV, 2019.

8. Halfar J. Ecology. Danger of deep-sea mining / J. Halfar, R. Fujita // Science. — 2007. — Vol. 316. — P. 987. — DOI: 10.1126/science.1138289.

9. Gena K. Deep Sea Mining of Submarine Hydrothermal Deposits and its Possible Environmental Impact in Manus Basin, Papua New Guinea / K. Gena // Procedia Earth. — 2013.

10. PC (The Secretariat of the Pacific Community, European Union) (2013) Deep Sea Minerals in the Pacific Islands Region a Legal and Fiscal Framework for Sustainable Resource Management Project. Summary Highlights. — URL: https://dsm.gsd.spc.int/public/files/meetings/TrainingWorkshop4/UNEP_summary.pdf (accessed: 04.19.2024).