

## КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ И ГЛУБОКОВОДНОЙ ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ В ПРОВИНЦИИ КЛАРИОН-КЛИППЕРТОН ТИХОГО ОКЕАНА

Н. Ю. Свинцов, Ю. А. Васянович, П. А. Кузнецов

*ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет»;  
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,  
Владивосток, Россия*

**Ключевые слова:** автоматические системы контроля; глубоководная разведка и добыча железомарганцевых конкреций; глубоководные донные автономные станции; добыча твердых полезных ископаемых в океане; комплексный экологический мониторинг; морские экосистемы; распространение плюма взвешенных веществ; фоновые экологические данные.

**Аннотация:** Рассмотрена важность устойчивого использования океанских ресурсов с учетом вредного воздействия геологоразведки и глубоководной добычи твердых полезных ископаемых на морскую экосистему в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана. Обсуждаются инициативы международных компаний, которые выступают за введение моратория на добычу твердых полезных ископаемых с океанского дна, а также за разработку эффективных мер по охране окружающей среды. Уделено внимание автоматизированным системам контроля качества воды, представляющим собой важный инструмент для мониторинга загрязнений и оценки состояния экосистем, особенно в уязвимых зонах провинции Кларион-Клиппертон в Тихом океане. Рассмотрено применение автономных глубоководных станций для мониторинга окружающей природной среды на значительных глубинах. Установлена необходимость создания автоматизированной информационной системы экологического мониторинга в районе провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана для эффективного контроля состояния природной среды и разработки оптимальных стратегий защиты морской экосистемы от антропогенного воздействия.

---

Свинцов Никита Юрьевич – ассистент кафедры горного дела, e-mail: Nikitakorolev92@mail.ru, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет»; Васянович Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор департамента мониторинга и освоения георесурсов, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»; Кузнецов Петр Анатольевич – руководитель Инженерной школы, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Россия.

## Введение

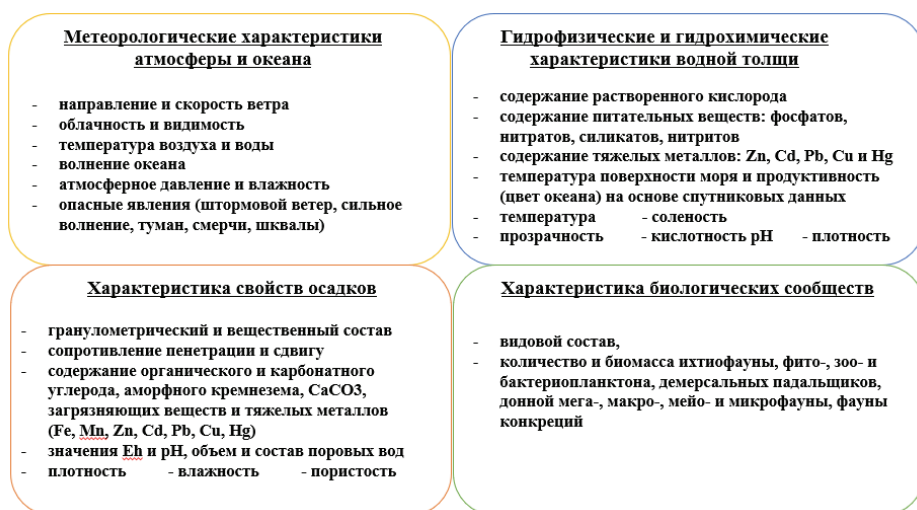
Глобализация и нехватка ископаемых для перехода на зеленую энергетику вызывают растущий интерес как со стороны бизнеса, так и государств к добыче ресурсов с глубоководного морского дна. В то же время ученые предостерегают, что данный способ извлечения природных богатств может причинить значительный вред экологии. Первые международные компании, такие как BMW, Volvo и Google, поддержали предложение о введении моратория на добычу полезных ископаемых с океанского дна, пока не будут установлены действенные меры по охране морской экосистемы. Рассматриваемые компании взяли на себя обязательства не покупать металлы, полученные в результате глубоководной добычи, исключить подобные материалы из своих цепочек поставок и не финансировать организации, занимающиеся такой геологоразведкой и разработкой ресурсов.

Международный орган по морскому дну (МОМД) придает большое значение экологической повестке и предпринимает усилия, направленные на обеспечение эффективной защиты морской среды от вредных для нее последствий, которые могут возникнуть в результате геологоразведки и глубоководной добычи железомарганцевых конкреций (ЖМК) в провинции Клариян-Клиппертон Тихого океана. Деятельность МОМД в данном направлении включает составление свода экологических руководств, в том числе по разведке залежей полиметаллических конкреций, указаний по разведке полиметаллических сульфидов и кобальтоносных железомарганцевых корок, создание рабочих и заповедных эталонных полигонов в контрактных районах глубоководной добычи и др.

Международный орган по морскому дну активно работает над защитой морской среды, особенно в контексте потенциального воздействия геологоразведки и добычи ресурсов в океане. Провинция Клариян-Клиппертон, расположенная в центральной части Тихого океана, является важным объектом интереса из-за богатых запасов ЖМК и других минералов. Экологическое руководство, разработанное МОМД, включает рекомендации по минимизации экологических рисков, связанных с добычей полезных ископаемых. Например, в нем рассматриваются методы, которые могут снизить негативное воздействие на морские экосистемы и помочь сохранить биоразнообразие в районах, подверженных разработке [1 – 4].

Создание рабочих и заповедных эталонных полигонов позволяет проводить мониторинг и оценку воздействия добычи на морскую среду, а также служит основой для разработки более устойчивых практик эксплуатации ресурсов. Эти усилия ориентированы не только на защиту экосистем, но и обеспечение устойчивого использования океанских ресурсов для будущих поколений. Работа МОМД в этой области отражает растущее осознание важности охраны окружающей среды в контексте глобального экономического развития и использования природных ресурсов.

Требование по сбору океанографических и фоновых экологических данных в контрактах на разведку твердых полезных ископаемых, заключенных с МОМД, подчеркивает важность оценки и минимизации воздействия добычных операций на морскую экосистему.



**Рис. 1. Перечень фоновых экологических данных, содержащих обобщенные сведения о параметрах природной среды и ее биотического населения**

Сбор фоновых экологических данных в провинции Кларион-Клиппертон является важным этапом подготовки к проведению добычных работ в этой зоне. Эти данные помогают лучше понять естественные условия, присущие рассматриваемой экосистеме, и предоставляют необходимую информацию для оценки возможного воздействия на морскую среду в результате глубоководной добычи ЖМК в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана [5, 6].

### **Фоновые экологические данные, получаемые при мониторинге природной окружающей среды**

В рамках экологических исследований в зоне Кларион-Клиппертон Тихого океана подрядчиками осуществляется сбор фоновых экологических данных, связанных с различными аспектами природной среды и ее биотического населения. Основные параметры, которые входят в такие исследования, представлены на рис. 1 [7].

Сбор данных позволяет создавать базу для оценки состояния экосистемы, ее устойчивости к изменениям, а также разработки мер по охране окружающей среды в рассматриваемой зоне.

### **Использование автоматических систем контроля для мониторинга загрязнений водной среды**

Автоматизированные системы контроля качества водной среды представляют собой важный инструмент в сфере охраны окружающей среды и устойчивого управления водными ресурсами. Их применение обеспечивает не только непрерывный мониторинг, но и высокую точность данных, что критически важно для оценки состояния экосистем, особенно на участках, представляющих особый экологический интерес, в зоне разломов Кларион-Клиппертон.

Одним из основных преимуществ автоматизированных систем является возможность выполнения большого объема измерений без необходимости постоянного человеческого вмешательства, что позволяет сократить трудозатраты и повысить эффективность сбора данных. Кроме того, такие системы могут быть адаптированы для работы в сложных условиях, что делает их идеальными для использования в районах с высокой степенью загрязнения или в местах, где традиционные методы мониторинга могут быть затруднены.

Система контроля обычно содержит несколько ключевых компонентов: датчики, которые обеспечивают измерение различных параметров (например, уровня pH, содержания загрязняющих веществ, температуры), устройства для передачи данных, использующие различные протоколы связи для передачи информации в реальном времени, и центральную станцию, где осуществляется анализ и визуализация полученных данных.

Единую систему мониторинга формируют три уровня:

- средства оперативного автоматического контроля загрязнения вод;
- передвижные и стационарные гидрохимические лаборатории;
- центр обработки информации, полученной от автоматических станций, передвижных и стационарных лабораторий.

Оперативный автоматический контроль загрязнения вод представляет собой важный инструмент для охраны окружающей среды и здоровья населения. Автоматические станции контроля качества воды (АСККВ) и анализаторы позволяют эффективно и быстро оценивать состояние водных ресурсов в реальном времени, что существенно упрощает процесс мониторинга и принятия решений. На рисунке 2 представлены методы, которые предлагается применять для автоматизации анализа водной толщи в провинции Кларифон-Клиппертон Тихого океана.

Центр обработки гидрохимической информации выполняет ключевую роль в мониторинге состояния водных объектов, сосредотачивая внимание на обработке и интерпретации данных, получаемых от автоматизированных систем контроля качества воды, передвижных и стационарных лабораторий. Это позволяет не только собирать и систематизировать информацию, но и обеспечивать ее достоверность, что критически важно для принятия решений в области охраны окружающей среды.

Автоматизированные станции контроля качества воды в рассматриваемой зоне способны осуществлять многопараметрический мониторинг. Они могут непрерывно или с заданной периодичностью проводить отбор проб, что позволяет оперативно фиксировать изменения в состоянии водной среды. В условиях аварийной ситуации такие станции автоматически переключаются в режим, позволяющий детально фиксировать данные в реальном времени и проводить отбор проб для лабораторного анализа.

### **Глубоководные донные автономные станции для мониторинга окружающей природной среды**

Акустические глубоководные донные автономные станции (ГДАС) серии «Монитор» представляют собой высокотехнологичные устройства, предназначенные для изучения и мониторинга гидроакустических полей на значительных глубинах. Создание первых опытных образцов в 1986 – 1990 гг. стало значительным шагом в области подводной акустики [8].

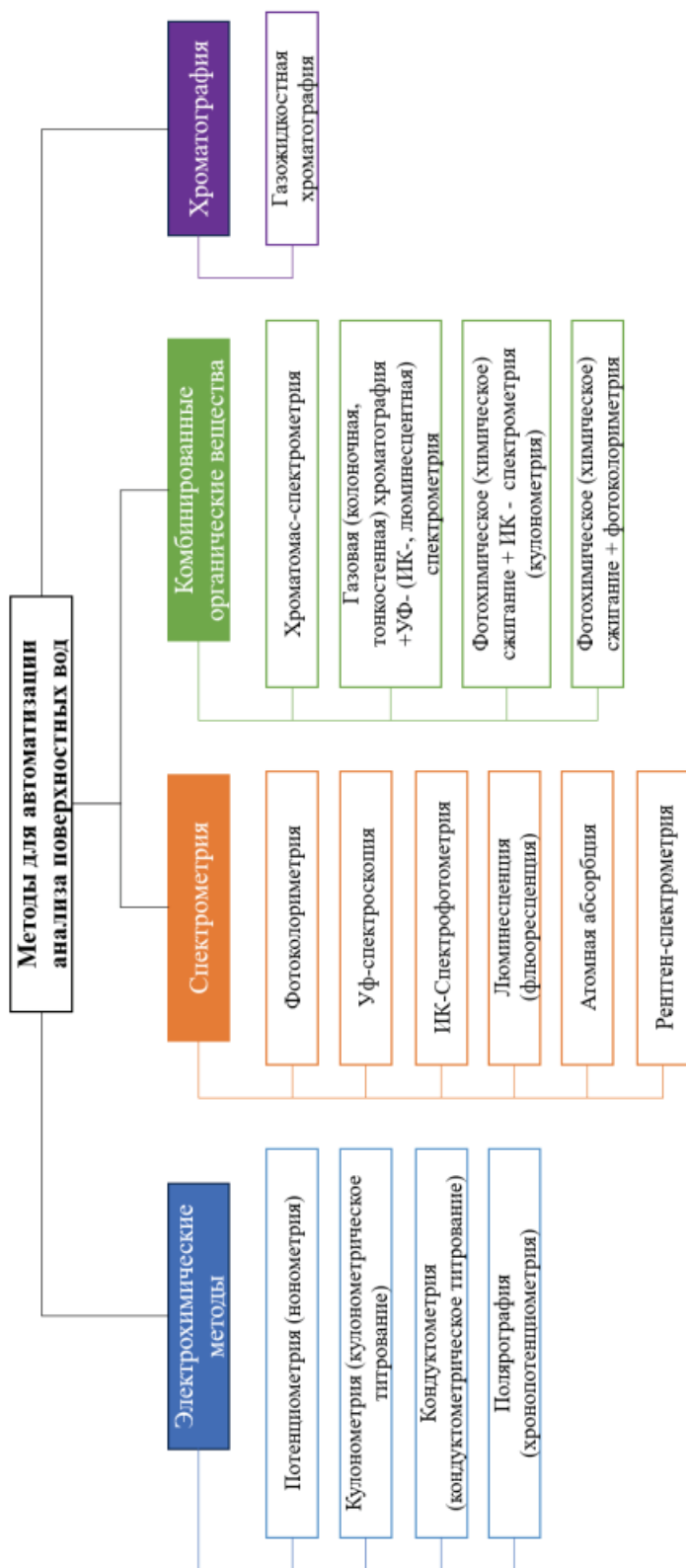


Рис. 2. Методы для автоматизации анализа поверхностных вод

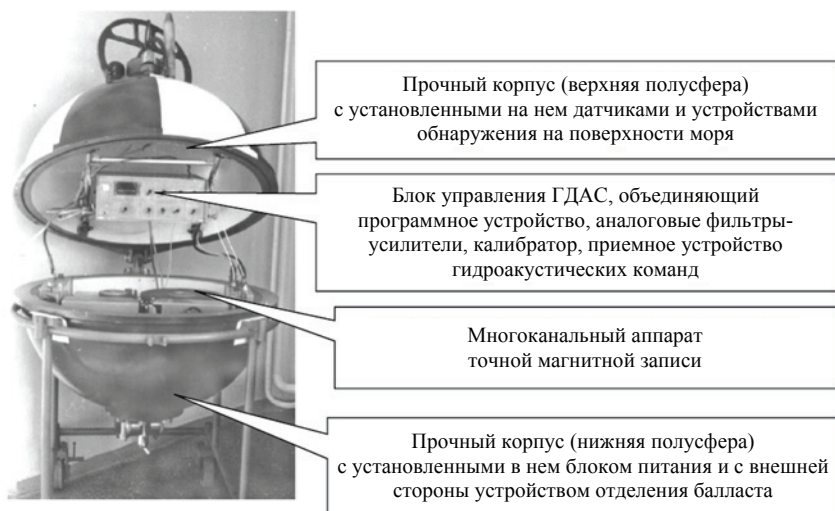
Главное назначение ГДАС – длительное, автономное измерение физико-акустических параметров воды на глубинах до 5000 м. Особенность конструкции станции – возможность свободного погружения на дно океана, благодаря использованию системы балластов и принципу всплытия за счет положительной плавучести, что значительно облегчает эксплуатацию в сложных условиях.

Акустическая глубоководная донная автономная станция оборудована высокочувствительными системами, которые позволяют проводить 14-канальное измерение и регистрацию гидроакустической информации. Станция также может взаимодействовать с различным оборудованием, включая магнитный регистратор, измеритель глубины и механизмы управления сбросом балласта.

Корпус ГДАС, выполненный из алюминиевого сплава, гарантирует надежную защиту от значительных гидростатических давлений на больших глубинах. Станции можно легко транспортировать и подготавливать к работе с помощью специального оборудования, обеспечивающего безопасную установку и вывод на поверхность (рис. 3).

Комплект специальных устройств для постановки и выборки ГДАС с борта судна обеспечивает эффективное выполнение операций даже при условиях волнения до 5 баллов, что позволяет значительно сократить время на проведение работ – процесс постановки и выборки может занять всего 10 – 15 мин. Благодаря данной системе, управление гидроакустическими устройствами становится более надежным и оперативным, что особенно важно в сложных морских условиях.

Внешний вид ГДАС серии «Монитор» с комплектом гидрофизических датчиков после всплытия на поверхность моря представлен на рис. 4. В практике используют более трех станций, чтобы гарантировать высокую степень надежности в получении измерений. Это позволяет в любых условиях, независимо от того, где находятся исследуемые объекты, выделить две линии, пересекающиеся под углом, близким к перпендикулярному.



**Рис. 3. Внешний вид ГДАС «Монитор» на монтажно-транспортной тележке**



**Рис. 4. Глубоководные донные автономные станции серии «Монитор» с комплектом гидрофизических датчиков после всплытия на поверхность моря**

Такой подход обеспечивает максимальную точность при определении местоположения объекта. Кроме того, можно выделить следующие преимущества:

- высокую надежность: использование нескольких ГДАС снижает вероятность ошибок и ложных срабатываний;
- высокую точность: оптимальный угол пересечения линий положения обеспечивает наилучшую точность определения местоположения;
- гибкость: комплексное использование стационарных и автономных средств позволяет адаптироваться к различным условиям и задачам.

Технические характеристики автономных гидроакустических средств позволяют их использовать для мониторинга окружающей природной среды при геологоразведке и добыче ЖМК в провинции Кларифон-Клиппертон Тихого океана. Состав комплекса глубоководных донных станций серии «Монитор» приведен на рис. 5.



**Рис. 5. Состав комплекса ГДАС серии «Монитор»**

## Комплексный экологический мониторинг окружающей природной среды в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана

Комплексный экологический мониторинг окружающей природной среды (КЭМОПС) в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана представляет собой важную инициативу, направленную на систематический анализ состояния океанической экосистемы. Его основными компонентами являются физические, геохимические и биологические аспекты, что позволяет получить полное представление о состоянии морской среды и ее изменениях под воздействием различных факторов [9].

В рамках КЭМОПС можно выделить три вида мониторинга, которые представлены в табл. 1.

Одним из ключевых аспектов КЭМОПС является биологическая индикация состояния экосистем. Такой подход основан на том, что изменения в биологических процессах отражают качественные изменения в окружающей среде. Включение различных морских сообществ (нейстона, планктона, бентоса и др.) в мониторинг позволяет:

- оценивать скорость и направленность экологических изменений;
- определять места накопления химических веществ в экосистемах;
- использовать биотесты для оценки уровня загрязнения.

Стоит отметить, что биологический мониторинг реализуется на индивидуальном уровне (изучение морфологических, физиологических и других характеристик отдельных видов) и на популяционно-биоценологическом уровне. Используются разные виды фитопланктона, зоопланктона, моллюсков, рыб и микроорганизмов в качестве биотестов для оценки состояния морской среды. Для организации станций мониторинга важно выбирать экосистемы с различными трофическими уровнями и находящиеся на расстоянии от источников загрязнения. Это позволяет получить более точные данные о состоянии экосистем, особенно если они подвержены риску.

Таблица 1

### Виды комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды

Вид мониторинга	Описание
Физический	Включает измерение параметров, таких как температура, соленость, плотность воды, а также наблюдение за изменениями в течениях и волнении. Такие данные помогают понять, как физические условия моря влияют на распределение живых организмов и их взаимодействие
Геохимический	Ключевая задача – отслеживание концентраций различных химических соединений, включая питательные вещества и загрязнители. Измерение уровня двуокиси углерода является особенно важным, поскольку оно напрямую связано с изменениями климата и состоянием экосистем
Биологический	Включает в себя исследование морских экосистем на всех трофических уровнях. Важно наблюдать за изменениями в составе и биоразнообразии нейстона, планктона, перифитона и бентоса, поскольку они являются индикаторами здоровья морской среды

Комплексный экологический мониторинг окружающей природной среды играет важную роль в обеспечении устойчивого управления ресурсами и защитой морской экосистемы от негативного воздействия антропогенных факторов в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана.

### **Заключение**

Недостаточность информационного наполнения в виде сбора фоновых экологических данных является основной проблемой устойчивого и надежного функционирования комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана. Анализ показывает, что наиболее полная и достоверная информация об экологическом состоянии окружающей природной среды добывается в ходе комплексных морских экспедиционных исследований. Однако такие работы носят в основном локальный характер и проводятся достаточно редко для того, чтобы адекватно оценить динамику процесса антропогенного воздействия на природную среду в целом и как следствие сделать прогноз развития экологической обстановки на различных уровнях.

Для решения рассматриваемой проблемы в фокусе должны быть следующие задачи:

- систематические наблюдения и оценивание состояния водной толщи, определение влияния загрязнения на природные физико-химические и гидробиологические процессы;

- изучение путей и параметров распространения и природной утилизации загрязняющих веществ для дальнейшего определения возможного режима их захоронения;

- прогнозирование динамики загрязнения вод в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана на ближайшую, отдаленную перспективы в результате геологоразведки и добычи твердых полезных ископаемых;

- разработка рекомендаций для оптимального режима добычи и геологоразведки твердых полезных ископаемых в определенных участках провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана.

Решить данные задачи возможно путем создания автоматизированной информационной системы экологического мониторинга окружающей природной среды в провинции Кларион-Клиппертон Тихого океана, где в качестве ее основных элементов могут выступать автономные технические средства и робототехнические комплексы.

#### *Список литературы*

1. 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](https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-17ltc-7_1_1.pdf) (дата обращения: 25.09.2024)

2. 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](https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19c-17_1_1.pdf) (дата обращения: 25.09.2024)

3. 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](https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19a-9_1_1.pdf) (дата обращения 25.09.2024)

4. 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: 25.09.2024)

5. 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.

6. 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). – URL : <https://research-journal.org/archive/8-146-2024-august/10.60797/IRJ.2024.146.41> (дата обращения: 25.09.2024). doi: 10.60797/IRJ.2024.146.41

7. Юбко, В. М. Геологоразведочные работы на месторождении железомарганцевых конкреций в зоне Кларион-Клипертон 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

8. Глубоководные донные автономные станции в системе мониторинга полей морских акваторий / Р. Н. Алифанов, М. В. Мироненко, П. А. Стародубцев, А. П. Шевченко // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – Т. 8, № 3. – Текст : электрон. – URL : <http://naukovedenie.ru/PDF/38TVN316.pdf> (дата обращения: 25.09.2024)

9. Минаев, Д. Д. Принципы построения региональной автоматизированной информационно-экологической системы мониторинга морских акваторий с применением автономных технических средств и робототехнических комплексов / Д. Д. Минаев // Подводные исследования и робототехника. – 2011. – № 2(12). – С. 64 – 68.

#### References

1. Available at: [https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-17ltc-7\\_1\\_1.pdf](https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-17ltc-7_1_1.pdf) (accessed 25 September 2024)

2. Available at: [https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19c-17\\_1\\_1.pdf](https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19c-17_1_1.pdf) (accessed 25 September 2024)

3. Available at: [https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19a-9\\_1\\_1.pdf](https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/isba-19a-9_1_1.pdf) (accessed 25 September 2024)

4. Available at: <https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/25ltc-6-rev1-ru.pdf> (accessed 25 September 2024)

5. Svintsov N.Yu. [Analysis of the potential environmental impact of ferromanganese nodule mining 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.)

6. Svintsov N.Yu., Vasyanovich Yu.A. [Impact on the environment of the propagation 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), available at: <https://research-journal.org/archive/8-146-2024-august/>

10.60797/ IRJ.2024.146.41 (accessed 25 September 2024). doi: 10.60797/ IRJ.2024.146.41 (In Russ., abstract in Eng.)

7. Yubko V.M., Ponomareva I.N., Lygina T.I. [Geological exploration work at the ferromanganese nodule deposit in the Clarion-Clipperton zone of the Pacific Ocean: history and research results], *Okeano-logicheskiye issledovaniya* [Oceanological studies], 2023, vol. 51, no. 4, pp. 90-134. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(4).5 (In Russ., abstract in Eng.)

8. Alifanov R.N., Mironenko M.V., Starodubtsev P.A., Shevchenko A.P. [Deep-sea bottom autonomous stations in the system of monitoring marine water fields], *Internet-zhurnal "Naukovedeniye"* [Internet journal "Science of Science"], 2016, vol. 8, no. 3, available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/38TVN316.pdf> (accessed 25 September 2024)

9. Minayev D.D. [Principles of constructing a regional automated information system for environmental monitoring of marine areas using autonomous technical means and robotic systems], *Podvodnyye issledovaniya i robototekhnika* [Underwater research and robotics], 2011, no. 2(12), pp. 64-68. (In Russ., abstract in Eng.)

---

## **Integrated Environmental Monitoring during Geological Exploration and Deep-Sea Mining of Ferromanganese Nodes in the Clarion-Clipperton Province of the Pacific Ocean**

**N. Yu. Svintsov, Yu. A. Vasyanovich, P. A. Kuznetsov**

*Vladivostok State University;  
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

**Keywords:** automatic control systems; deep-sea exploration and mining of ferromanganese nodules; deep-sea autonomous stations; mining of solid minerals in the ocean; integrated environmental monitoring; marine ecosystems; suspended matter plume propagation; background environmental data.

**Abstract:** The importance of sustainable use of ocean resources is considered, taking into account the harmful impact of geological exploration and deep-sea mining of solid minerals on the marine ecosystem in the Clarion-Clipperton Province of the Pacific Ocean. Initiatives of international companies that advocate for a moratorium on the extraction of solid minerals from the ocean floor, as well as the development of effective measures to protect the environment are discussed. Attention is paid to automated water quality control systems, which are an important tool for monitoring pollution and assessing the state of ecosystems, especially in vulnerable areas of the Clarion-Clipperton Province in the Pacific Ocean. The use of autonomous deep-sea stations for monitoring the natural environment at significant depths is considered. The need to create an automated information system for environmental monitoring in the Clarion-Clipperton Province of the Pacific Ocean is established for effective monitoring of the state of the natural environment and the development of optimal strategies for protecting the marine ecosystem from anthropogenic impact.

---

© Н. Ю. Свинцов, Ю. А. Васянович, П. А. Кузнецов, 2024