

Санкт-Петербургский государственный университет

ПАПЫЛЕВ Иван Иванович

Выпускная квалификационная работа

Экологические аспекты освоения глубоководных полезных ископаемых (на примере конкрециеносной провинции Кларион-Клиппертон в Тихом океане)

Уровень образования: магистратура

Направление 05.04.01 «Геология»

Основная образовательная программа ВМ 5515.2020 «Геология».

Научный руководитель:

профессор кафедры геологии месторождений полезных ископаемых,

Институт наук о Земле, доктор г-м.н.,

Черкашёв Георгий Александрович

Рецензент:

Ведущий инженер,

Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и
минеральных ресурсов мирового океана имени академика И.С.Грамберга»,

Ермакова Ливия Анатольевна

Санкт-Петербург

2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ	5
1.1 Физико-географическая характеристика района исследования.....	5
1.2 Геологическая характеристика района исследования.....	5
1.3 Характеристика железомарганцевых конкреций (ЖМК).....	9
1.4 Экологическая характеристика изучаемой акватории.....	11
1.4.1 Гидрофизическая характеристика водной толщи	12
1.4.2 Гидрохимическая характеристика водной толщи	13
1.4.3 Характеристика свойств осадков и поровых вод	16
1.4.4 Характеристика биологических сообществ	18
1.4.5 Метеорологические характеристики атмосферы	20
1.5 Потенциальное влияние изменения характеристик окружающей среды на биологические сообщества	20
2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВЕДКИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ В ПРОВИНЦИИ КЛАРИОН-КЛИППЕРТОН.....	23
2.1 Правовое регулирование: анализ существующих нормативных правовых актов и их проектов.....	23
2.2 Фоновые экологические исследования и мониторинг: опыт зарубежных подрядчиков	29
2.3 Фоновые экологические исследования и мониторинг: опыт российского подрядчика	43
2.4 Выводы, полученные по результатам исследования отчетов подрядчиков	46
3 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕХОДА ОТ РАЗВЕДКИ К РАЗРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ В ПРОВИНЦИИ КЛАРИОН-КЛИППЕРТОН	48
3.1 Результаты испытаний добычной техники и анализ воздействия будущей разработки на окружающую среду	48
3.2 Проблемы перехода от разведки к разработке и рекомендации по их решению	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	55

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время к нетрадиционным видам полезных ископаемых проявлено большое внимание. Одним из перспективных нетрадиционных видов сырья являются глубоководные полезные ископаемые мирового океана.

Но, несмотря на довольно быстро растущий интерес к ним, существует ряд проблем, которые не позволяют в данный момент начать промышленную разработку. Одна из таких проблем – экологическая.

До начала изучения глубоководных полезных ископаемых не было известно, как проводимые в будущем работы повлияют на окружающую среду, поэтому вся деятельность по их поиску, разведке, а также испытаниям добычной техники находится под серьезным экологическим контролем с целью максимального снижения негативного воздействия будущей промышленной разработки.

Целью ВКР является изучение экологических аспектов освоения глубоководных полезных ископаемых (на примере конкрециеносной провинции Кларион-Клиппертон в Тихом океане).

Для достижения цели были выполнены следующие задачи:

1) Дать физико-географическую и геологическую характеристику района исследования;

2) Проанализировать экологические характеристики изучаемого района;

3) Проанализировать экологические аспекты перехода от разведки к разработке залежей ЖМК в провинции Кларион-Клиппертон:

- провести обзор отчетов российского и зарубежных контракторов по результатам фоновых экологических исследований;

- рассмотреть результаты экспериментов по влиянию разработки ЖМК на окружающую среду;

- выявить существующие проблемы, дать рекомендации по их решению.

Материалами для ВКР послужили:

1. Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву;

2. Документы Международного органа по морскому дну в части экологического регулирования;

3. Отчеты российского и зарубежных контракторов по проведению разведочных работ на железомарганцевые конкреции, презентации испытаний добычного оборудования и оценки их воздействия на окружающую среду;

4. Литература по изучению железомарганцевых конкреций и экологических аспектов их освоения.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Физико-географическая характеристика района исследования

Конкрециеносная провинция Кларион-Клиппертон расположена в северной приэкваториальной области Северо-Восточной котловины Тихого океана между 7° и 18° с.ш., в глубоководной впадине, протягивающейся в восток-северо-восточном направлении от 160° до 115° з.д. На севере и на юге ограничена зонами глубинных разломов Кларион и Клиппертон, на востоке - хребтом Математиков, на западе - центральной частью поднятия островов Лайн (Рисунок 1). Протяженность впадины составляет около 4700 км при ширине около 1100 км. Площадь данной гигантской рудной провинции более 2,5 млн. км² (Авдонин и др., 2014).

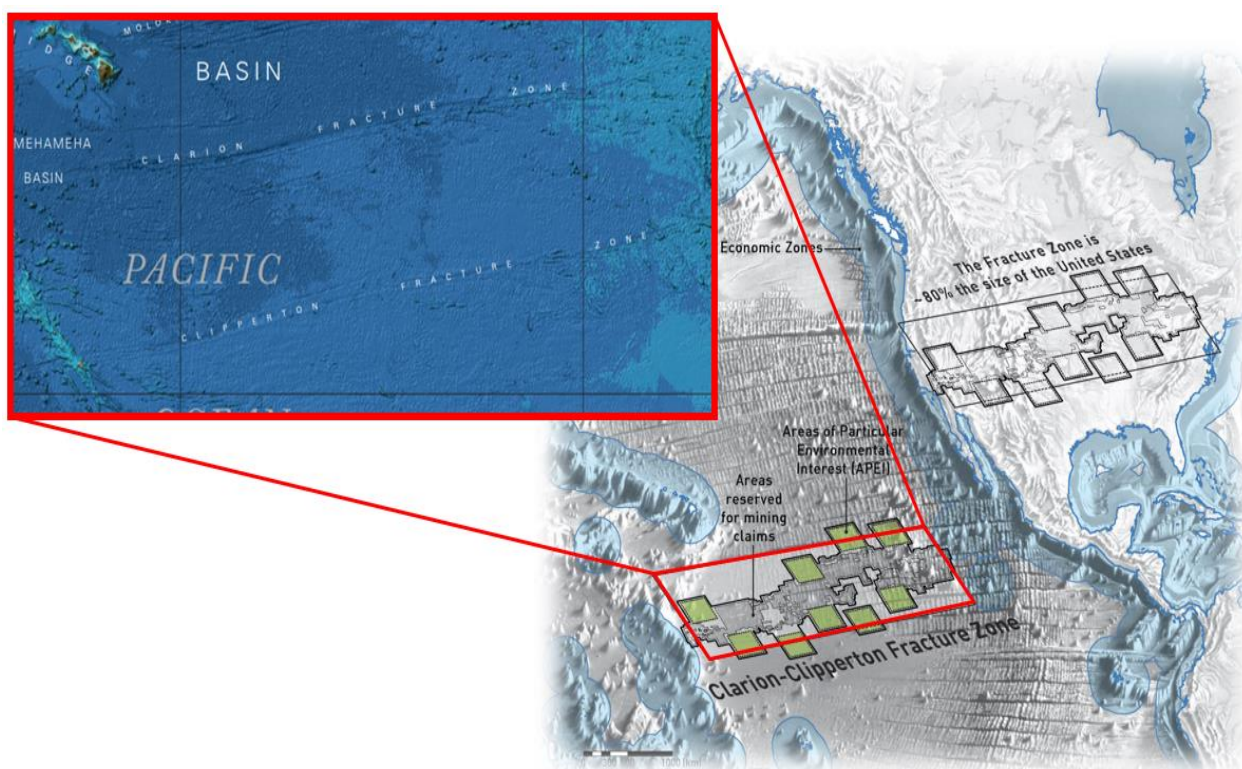


Рисунок 1. Обзорная схема расположения конкрециеносной провинции Кларион-Клиппертон (батиметрическая схема - https://www.gebco.net/data_and_products/printable_maps/documents/gebco_world_map_2014.pdf; схема географического расположения - Science Magazine — “Managing Mining of the Deep Seabed”. [Science 349, no. 6244](https://doi.org/10.1126/science.1270000) (July 10, 2015))

1.2 Геологическая характеристика района исследования

В строении рельефа дна провинции выявлены три крупные зоны (или ступени), которые характеризуются различными батиметрическими уровнями: восточная (к востоку от 125° з.д.) с глубинами менее 4000 м, центральная (между 125° и 143° з.д.) с глубинами

от 4000 м до 4500 м, и западная (к западу от 140° - 143° з.д. до поднятия Лайн), в пределах которой глубины превышают 5000 м. Наиболее глубоководная часть провинции – западная зона разлома Клиппертон с глубинами более 5500 м (Авдонин и др., 2014).

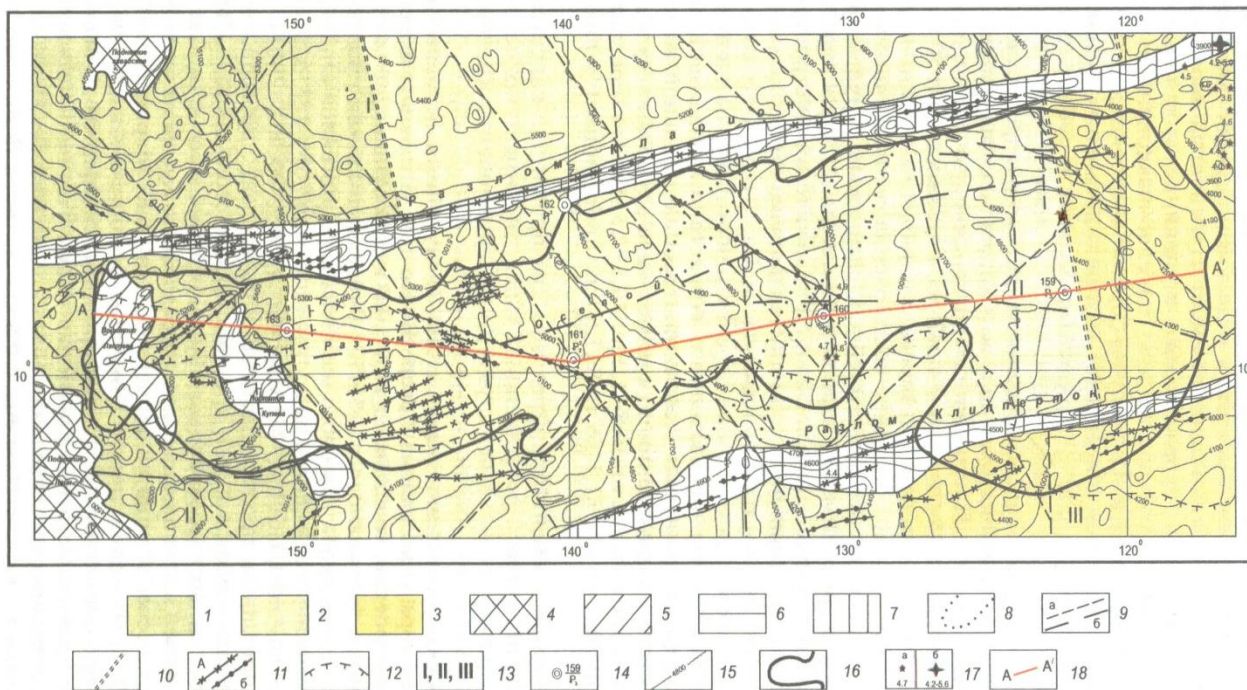


Рисунок 2 – Геолого-структурная схема строения рудной провинции Кларион-Клиппертон (Авдонин и др., 2014).

1 – межплитная неспрединговая переходная зона (K_{1a} – K_{2km} , 119 – 80 млн. лет); 2 – молодая океаническая плита спредингового происхождения (K_{2km} – P_3 , 80–26 млн. лет); 3 – фланг сох/талассид/ $(P_3$ – N_2 , 26–10 млн. лет); внутриокеанические поднятия: 4 – вулканотектоническое (Гавайское, Лайн), 5 – вулканическое (Лапева), 6 – тектоническое (Купера); 7 – зона трансформных разломов; 8 – ослабленная зона; 9 – разломы (а – диагональные и поперечные, б - продольные); 10 – границы между различными океаническими плитами; 11 – грядовые поднятия (а) и желоба (б); 12 – северная граница осадочного чехла мощностью 0,2 км и более; 13 – геоблоки (I – Молокаи, II – Кларион, III – Клиппертон); 14 – скважина глубокого бурения (номера и возраст вскрытых в забое пород); 15 – изобаты; 16 – рудная провинция Кларион-Клиппертон; 17 – эпицентры землетрясений по Г.П. Аветистову (а – единичных, б – групповых; цифра - магнитуда); 18 – линия геолого-структурного разреза.

Рельеф дна представлен пологими валообразными, реже хребтообразными поднятиями шириной от 100 до 400 км и протяженностью до 1000 км и более с относительными амплитудами в несколько сотен метров (поднятие Восточное, Центральное и Купер). Эти поднятия имеют ортогональную по отношению к простиранию провинции ориентацию – от запад-северо-западной (поднятие Восточное) до северо-северо-западной (поднятие Купер) (Авдонин и др., 2014).

Субгоризонтальные и пологонаклонные участки абиссальной равнины, разделяющие региональные поднятия, также имеют линейный характер. Их протяженность достигает 1000 км при ширине 700 км (Авдонин и др., 2014).

В структуре провинции прослеживаются направления, субпараллельные зонам трансформных разломов, к ним относится в первую очередь разлом Май-Май, а также более мелкие, разбивающие крупные поднятия на отдельные блоки (Авдонин и др., 2014).

Превышения вершинных поверхностей поднятий над днищами долин составляют обычно несколько десятков метров, в отдельных случаях достигая 200 м и более. Поперечный профиль поднятий имеет ступенчатый характер. Вершинные поверхности поднятий, террасовидные ступени, как и днища долиноподобных впадин, имеют субгоризонтальную или слабонаклоненную поверхность и ограничены крутыми (до 45° и круче) бортами и склонами (Авдонин и др., 2014).

Клавишная структура провинции определяет позицию локальных рудных залежей, имеющих лентовидную форму и ориентированных в субмеридиональном направлении (Авдонин и др., 2014).

Кроме линейных структур на площади провинции широко распространены холмы и горы вулканического происхождения, возвышающиеся над поверхностью осадков на сотни метров. Постройки имеют коническую форму, диаметр основания часто достигает 15-20 км, а у наиболее крупных – 40 и 50 км. Вершины поверхностей куполообразные, иногда с углублениями типа кратера или кальдеры. Вулканические постройки часто расположены цепочками. Часть таких структур связана с системой линейных разрывных нарушений, параллельных трансформным разломам Кларифон и Клиппертон. Другая часть вулканических сооружений приурочена к локальным положительным структурам субмеридионального простирания, в этом случае цепочки подводных гор вытянуты вдоль хребтов и венчают их гребневые части (Авдонин и др., 2014).

Геологическое строение провинции определяется следующими основными особенностями. Земная кора этого района Северо-Восточной котловины имеет типичное трехчленное строение: толщина её 10,6–10,8 км. Соотношение мощностей первого, второго и третьего слоёв 1:15:50. Фундамент сложен продуктами толеитобазальтового и ферробазальтового магматизма рифтогенной стадии. (Van Andel, Heath, 1973, Magnetic...1989, Ocean...2001).

Осадочная толща провинции представляет собой чередование субгоризонтально залегающих слоёв карбонатного и кремнисто-глинистого состава. По результатам обработки данных глубоководного бурения в экваториальной части Тихого океана были выделены океанические формации (formations), наиболее близко соответствующие понятию свиты в российской специальной литературе. По Куку, кайнозойские отложения экваториальной части Пацифики подразделены на четыре океанические формации (сверху

вниз): Клиппертон, Сан-Блас, Маркизскую и о-ва Лайн (Кругляков В. Н., Пономарева И. Н., 2001; Cook, 1975).

По мере удаления от ВТП в западном направлении за счёт постепенного появления в нижней части разреза все более древних отложений толщина осадочного чехла возрастает от 100-150 м в восточных частях провинции до 350 м на западе. (Авдонин и др., 2014).

Кроме этого, в соответствии с погружением поверхности фундамента, наблюдается региональное увеличение мощности осадочной толщи с севера на юг от 100 до более 300 м. При этом в северном направлении на донную поверхность выходят все более древние породы – от плиоцена и квартера до нижнего олигоцена (Авдонин и др., 2014).

Формации Клиппертон принадлежит маломощный, но представляющий огромный интерес продуктивный слой толщиной от 2 до 15 см, известный в отечественной литературе под названием «геохимически активный слой», в котором локализуются железомарганцевые конкреции (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

В распределении количественных и качественных параметров конкрециенности на площади провинции отмечается влияние региональной зональности двух типов. Широтная зональность проявлена в приуроченности максимальных концентраций железомарганцевых руд к осевой части провинции и нарастании марганцовистости конкреций в южном направлении, субмеридиональная выражена в обогащённости железом и кобальтом ЖМК западного фланга провинции. Такой характер конкрециенности сформировался под влиянием разнообразных факторов; возможно, указанная зональность обусловлена связью с источниками рудного материала (рисунок 3) (Авдонин и др., 2014).

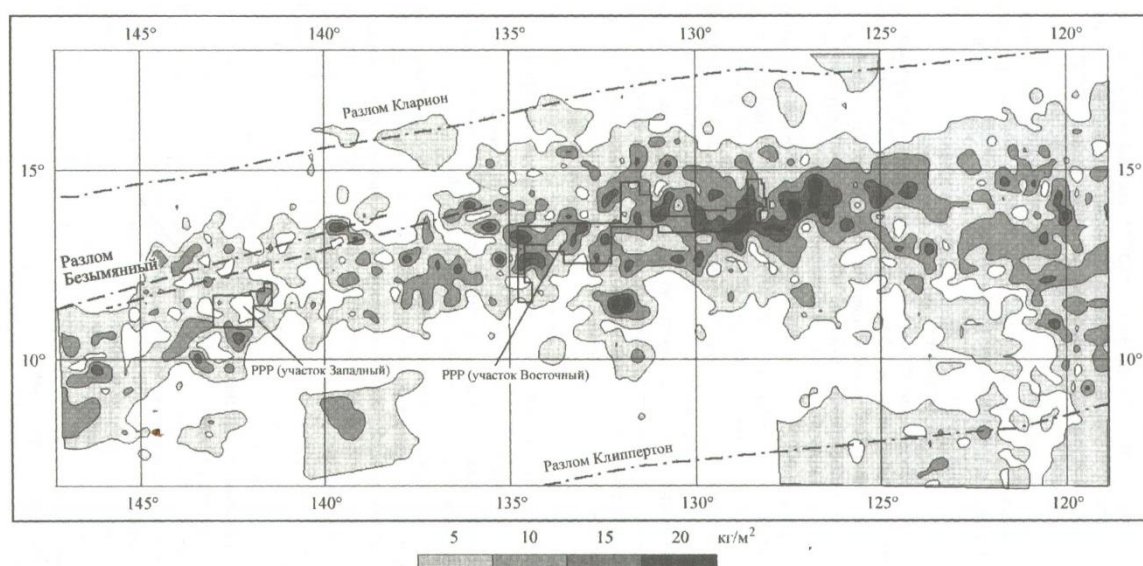


Рисунок 3 – Схема конкрециенности рудной провинции Кларийон-Клиппертон с контурами Восточного и Западного участков Разведочного района России (по В.М. Юбко) (Авдонин и др., 2014)

Структурно-тектонические особенности дна провинции определяют позицию и морфологию индивидуальных рудных скоплений. Размеры рудных залежей, их границы контролируются локальными геоморфологическими элементами в сочетании с определенными типами донно-поверхностных осадочных отложений. Залежи конкреций приурочены к пологим участкам рельефа дна с уклонами до 10°, в пределах которых развиты плиоцен-четвертичные глинистые, кремнисто-глинистые и глинисто-кремнистые отложения и отсутствуют проявления донной эрозии руслового и площадного характера. Характер локальной структуры дна определяет форму рудных тел: общее очертание залежи в плане определяют форму геоморфологических элементов, к которым они приурочены. (Авдонин и др., 2014).

Таким образом, выделены четыре основных типа рудных залежей: ленточный, струйчатый (оба этих типа представлены на рисунке 4), плащеобразный и гнездовый, наибольшее распространение и практическое значение из которых имеют первые три (Авдонин и др., 2014).

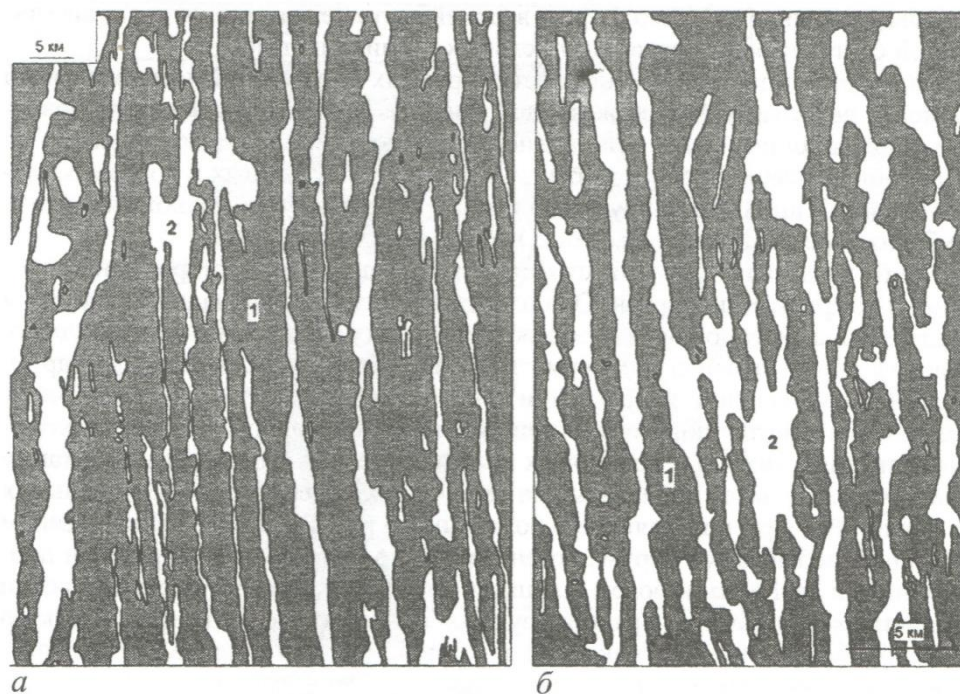


Рисунок 4 – Структурные типы рудных залежей (Авдонин и др., 2014)

а – ленточный; б – струйчатый. 1 – рудные залежи; 2 – безрудные зоны

1.3 Характеристика железомарганцевых конкреций (ЖМК)

Железомарганцевые конкреции представляют собой полиметаллические руды, содержащие высокие концентрации не только железа и марганца, но и таких элементов, как медь, никель, кобальт, цинк, молибден, иттрий, а также редкоземельных элементов (Hein and Koschinsky, 2013).

Конкреционные руды – это скопления округлых стяжений черного или буровато-черного цвета с гладкой или шероховатой поверхностью, которые образуют на дне океана обычно один слой, полупогруженный в осадок. Размеры конкреций в поперечнике обычно варьируются от 1 до 15 см. Форма, размеры, особенности поверхностной структуры и внутреннего строения конкреционных образований зависят от условий локализации (Авдонин и др., 2014).

Основными рудными элементами абиссальных железомарганцевых конкреций являются марганец, железо, никель, медь и кобальт. По оценке С. И. Андреева (Андреев, 1994), средние содержания основных рудных элементов в железомарганцевых образованиях Мирового океана всех типов составляют (вес. %): Mn – 18,30, Fe – 12,68, Ni – 0,60, Cu – 0,41, Co – 0,26. Касательно ЖМК, то, согласно последним оценкам ГНЦ «Южморгеология», в среднем по мировому океану конкреции содержат (вес. %): Mn – 24,7, Fe – 8,70, Ni – 1,04, Cu – 0,82, Co – 0,23. Помимо основных металлов, ЖМК содержат относительно повышенные концентрации Mo (0,04 – 0,06%), Au, Ag, элементов платиновой группы, элементов редкоземельной группы, Se, Te, Pb, Zn, Cd, Bi, Ga, Ge, In, Sn, Re, Tl, Cr. Содержание P₂O₅ низкое – менее 1%. (Андреев, 1994; Батурин, 1986; Юбко и др., 2002).

Особенности состава железомарганцевых руд, так же, как и масштабы развития процессов рудообразования на океаническом дне, вероятнее всего зависят от сочетания многих природных факторов. Наиболее значимыми из них являются скорость осадконакопления, уровень и характер биологической продуктивности приповерхностных вод, положение дна относительно уровня критической глубины карбонатакопления (КГК), характер рельефа, придонная гидродинамическая обстановка, наличие выходов коренных пород, подвергающихся гальмиролизу, а также проявления вулканизма и гидротермальной деятельности. Поэтому даже в пределах одного и того же поля или провинции химический состав конкреций непостоянен, и в содержаниях как основных, так и второстепенных элементов отмечаются существенные колебания (Авдонин и др., 2014).

Существует две альтернативные концепции происхождения ЖМК: химического осаждения и бактериального происхождения.

Сторонники концепции химического осаждения, обсуждая проблему источников рудного вещества, рассматривают в качестве альтернативных два основных источника – базальтовый вулканизм и гальмиролиз. Другим важнейшим нерешенным вопросом является способ осаждения рудных компонентов. Для объяснения ритмичного чередования различных по составу слоев эти исследователи привлекают механизм автоколебательных реакций (Авдонин и др., 2012).

Концепция химического осаждения сталкивается с весьма существенными трудностями, обусловленными сильной недосыщенностью морской воды в отношении MnO_2 , что исключает возможность хемогенного формирования ЖМК на границе раздела вода – дно (Chen Juanlin et al., 1997).

Локальное пересыщение раствора, необходимое для образования твердой фазы может быть достигнуто только при участии живых организмов. Отсюда делается вывод о том, что формирование ЖМК должно быть отнесено к биогенным процессам. Подобные соображения легли в основу биогенно-диагенетической модели формирования пелагических ЖМК (Савенко, 2004).

Сторонники биологической концепции в качестве основного фактора, определяющего характер формирования ЖМК, рассматривают свойственное им строматолитовое строение. Было высказано предположение, что конкреции могут являться бактериальными строматолитами, а их тонкие слойки последовательно продуцируются органическими плёнками (Кругляков и др., 2000).

1.4 Экологическая характеристика изучаемой акватории

Добычные работы на дне океана можно рассматривать как антропогенный механизм трансформации геоэкологических условий территории. Изначально 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. Поэтому важно понять, какие экологические характеристики имеет среда до начала добычных работ.

Для составления экологической характеристики важнейшими показателями являются:

- гидрофизические (температура, солёность, мутность воды, направление и скорость течений) и гидрохимические (рН, концентрация растворенного кислорода, содержание биогенных веществ, тяжелых металлов, в том числе Cu, Pb, Cd, Zn, Hg, карбонатная система) свойства водной толщи;

- геологические свойства и свойства осадков (включая данные о химическом составе поровых вод);

- данные о биологических сообществах по всей водной толще и на морском дне (микрофауна, макрофауна, мейофауна, мегафауна, ихтиофауна, демерсальные падальщики, эпифауна конкреций, фито-, зоо- и бактериопланктон, морские млекопитающие);

- метеорологические данные.

1.4.1 Гидрофизическая характеристика водной толщи

Описываемая территория лежит в области тропического циклонического круговорота течений. На севере района динамику вод определяет Северное Пассатное течение, направленное на запад, на юге – Межпассатное экваториальное противотечение обратного (восточного) направления. Скорости этих течений на поверхности составляют 0,5 – 0,7 м/с. Летом в связи с уменьшением интенсивности атмосферной циркуляции оба течения ослабевают до 0,15 – 0,30 м/с, зимой в восточной части района течения могут достигать скорости 1,0 – 1,3 м/с (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Установлено, что глубина проникновения Северного Пассатного течения в районе превышает 1000 м. Здесь в верхнем 1000-метровом слое наблюдаются средние скорости течений до 0,30 м/с с максимумами 0,60 – 0,80 м/с (Рожков В. А., Ляшенко А. Ф., 1990).

Что касается срединной части водной толщи, то по данным измерений, проведенных в 1984–1987 гг., на глубинах 1000–3000 м наблюдались средние скорости 0,05–0,11 м/с (с максимумами 0,20–0,40 м/с) и постепенной сменой направления с западного на северное, а на глубине 4500 м зарегистрированы течения южного и юго-западного направления со средними скоростями от 0,03 до 0,16 м/с (максимальная скорость – 0,30–0,40 м/с) (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Придонные течения территории характеризуются значительной изменчивостью – зарегистрированы течения всех направлений при некотором преобладании северо-западного переноса и средней скоростью 0,08–0,04 м/с (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Поверхностные воды (до 250 – 300 м) относятся к числу одних из самых теплых в северной части Тихого океана. В январе температура почти по всей площади территории выше 25 °С. Летом она на 1 °С выше (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Характеристика распределения температур по глубине имеет следующие особенности: в этом районе океана максимально развит верхний изотермический слой, толщина которого местами превышает 100 м. Непосредственно под ним расположен сезонный термоклин, нижняя граница которого отмечается на 200 м. Термоклин интенсивен, его структура нормального профиля характеризуется наличием одного максимума градиентов на 50–75 м. Наибольшие градиенты прослеживаются вдоль оси Северного Пассатного течения – до 0,12–0,30 °С на 1 м. С востока на запад этот подповерхностный максимум градиентов в ядре сезонного термоклина заглубляется и ослабевает. Главный термоклин прослеживается до 800–1000 м. Ниже 1500–2000 м температура медленно и монотонно убывает до среднего значения – около 1,5 °С на глубине

4500 м. Здесь термическая структура вод однородна и близка к изотермии. Температура придонной воды 1,4–2,0°C (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Значения солености воды на поверхности изменяются от 33,5 на востоке до 34,5‰ на западе. В восточной, более обширной по площади, части в профилях солености выявлен поверхностный распресненный слой, который имеет мощность 20–30 м (33,92–34,04‰). Ниже следует высокосоленный слой мощностью 200–250 м (34,78–34,75‰), после чего соленость медленно убывает до глубин 800–1000 м; здесь намечается размытый минимум (34,54‰). Небольшое увеличение солености можно проследить в слое 1000–2000 м (до 34,66‰), глубже она практически не меняется – на глубине 4000 м ее значение составляет 34,70‰. В западной части района соленость имеет более сложное распределение по вертикали. На глубине 100–125 м отмечается четкий максимум (34,65–34,99‰), а на глубине 200–250 м – минимум (34,61–34,59‰). На 800–1000 м соленость составляет 34,55–34,56‰. Начиная с 1000 м отмечается медленное ее увеличение до 34,70‰ на горизонте 4000 м (Рожков В. А., Ляшенко А. Ф., 1990, Панфилова С. Г. И др., 1981).

Исследуемая территория расположена в области очень чистых океанских вод. Средняя относительная прозрачность от 28 до 37 м (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Деятельность по разработке ЖМК не повлияет на характеристики течений, однако вследствие образования плюмов взвешенных частиц осадка уменьшится показатель видимости, увеличится шумовое загрязнение от работающих добычных устройств, есть риск увеличения температуры придонного слоя воды в результате работы добычной техники на дне. Также существует риск изменения показателей температуры и солености слоя воды, на глубине которого будет осуществляться сброс воды при первичной обработке конкреций на борту добычного судна.

На этапе разведки ЖМК важно проводить фоновые экологические исследования придонных течений. Это необходимо для установления характера распространения плюмов взвешенных частиц осадка, образующихся при нарушении поверхности дна.

1.4.2 Гидрохимическая характеристика водной толщи

Рассматриваемая территория является зоной смешения вод с самыми различными физико-химическими свойствами и характеризуется довольно интенсивным подъемом вод, который ведет к обогащению поверхностного слоя биогенными веществами (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

В вертикальной структуре вод выделяется три главных слоя:

1) Поверхностный. Только в этом слое происходит химический обмен океана с атмосферой и идет фотосинтез. Это два главнейших процесса, определяющих круговорот

химических элементов в океане. Слой характеризуется наибольшими концентрациями кислорода, повышенными значениями рН, наименьшими содержаниями биогенных веществ.

2) Промежуточный слой. В этом слое происходит биохимическое и химическое разложение биогенного органического вещества, сопровождаемое потреблением кислорода; суммарный результат обратен фотосинтезу. Интенсивность химических и биологических процессов затухает с глубиной. Напротив, концентрация фосфатов и нитратов в промежуточном слое увеличивается.

3) Глубинный слой. Интенсивность биохимических процессов очень мала. В этом слое окисляется стойкое органическое вещество. Содержание кислорода с глубиной увеличивается, Концентрация кремния достигает наибольших значений на глубине 2000 – 3000 м и ко дну несколько убывает и остается постоянной (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Значения растворенного кислорода на поверхности океана в границах изучаемой акватории находятся в пределах 4,75–4,96 л/м³ и до глубин 50–75 м его концентрация практически не изменяется. Область минимальных концентраций кислорода (зона кислородного минимума) расположена в основном на глубинах от 100–150 м до 500–600 м. Здесь концентрация кислорода на глубинах 300–500 м составляет всего 0,11–0,18 л/м³. Начиная с глубины 600 м содержание кислорода постепенно и незначительно увеличивается до 2,10–2,20 л/м³ на 2000 м. Глубинный кислородный слой располагается от 2000 м и до дна. Содержание кислорода в этом слое повышается до 3,57–3,62 л/м³ у дна (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Значения рН на поверхности океана лежат в пределах 8,22 – 8,33 и меняются незначительно. С глубиной происходит резкое уменьшение до 7,8 на нижней границе слоя скачка, и далее до самого дна значения параметра остаются неизменными (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Фосфор, азот и кремний относятся к главным биогенным элементам. Азот и фосфор выполняют важнейшие биогеохимические функции. Азот входит в состав белков и многих других органических соединений, без которых невозможно существование живых клеток. Фосфор встречается во всех клеточных образованиях и регулирует важнейшие жизненные процессы – фотосинтез, дыхание и обмен веществ (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Главная черта распространения неорганических форм фосфатов, нитратов, кремния и других биогенных веществ заключается в том, что наименьшие концентрации находятся в слое фотосинтеза, т.е. где они потребляются (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Концентрация **фосфатов** в поверхностном слое незначительна – 1,6 – 4,9 * 10⁻⁶ кг/м³. Затем (в слое 70-150 м) она резко возрастает до (60 – 70) * 10⁻⁶ кг/м³ и постепенно

увеличивается до $(98,6-100,9) \cdot 10^{-6}$ кг/м³ на глубинах 800-1000 м. У дна она немного убывает до $(70,12-6,43) \cdot 10^{-6}$ кг/м³ (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Нитратный азот, как и фосфаты, имеет минимум концентрации в поверхностном слое, глубина которого зависит от гидродинамических условий полигона (в водах Северного Пассатного течения нижняя граница однородного слоя достигает 100–125 м, в зоне дивергенции и Межпассатного противотечения не опускается ниже 50–75 м). Концентрация нитратов здесь достигает $(200-300) \cdot 10^{-6}$ кг/м³. В слое скачка нитратов концентрации их резко возрастают до значений $(444,5-496,4) \cdot 10^{-6}$ кг/м³. В промежуточном слое концентрация постепенно увеличивается до $(492-676) \cdot 10^{-6}$ кг/м³, а в водах глубинной структуры постепенно убывает до $(465,74-470,94) \cdot 10^{-6}$ кг/м³ (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Нитриты не встречаются в больших концентрациях из-за неустойчивости нитритной формы азота, но при этом он служит индикатором окислительно-восстановительных процессов в море. В поверхностном слое концентрации нитритов не превышают $(1,6-1,7) \cdot 10^{-6}$ кг/м³. Данные о распределении нитритов по глубине свидетельствуют о наличии нитритных максимумов, число которых определяется гидродинамическими и гидрохимическими условиями. В области Северного Пассатного течения обнаружено два нитритных максимума: верхний – в слое скачка гидрохимических компонентов (значения концентрации нитритов составляют $(10-15) \cdot 10^{-6}$ кг/м³), нижний – в слое минимальных концентраций кислорода на глубине 200–400 м, с наивысшим значением концентрации нитритов $28,0 \cdot 10^{-6}$ кг/м³ на глубине 300 м. В зонах дивергенции и Межпассатного противотечения зафиксирован максимум нитритов в слое от 80–150 м, где происходит интенсивный распад погружающегося детрита. Наибольшие значения концентрации нитритов $21,4 \cdot 10^{-6}$ кг/м³ отмечены на глубине 100 м. В глубинных водах нитриты либо отсутствуют, либо концентрации их ничтожно малы (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Концентрации **кремния** на поверхности акватории в среднем составляет около $(50-60) \cdot 10^{-6}$ кг/м³. В поверхностном слое концентрация кремния невелики и меняются незначительно. В слое скачка содержание кремния увеличивается до $(550-650) \cdot 10^{-6}$ кг/м³ на его нижней границе (150 м). В промежуточном слое концентрация возрастает до величин $(1091,8-1325,24) \cdot 10^{-6}$ кг/м³ на глубине 500 м и далее продолжает увеличиваться, достигая максимальных значений – $(4000-4400) \cdot 10^{-6}$ кг/м³ на глубине 3000 м. Глубинные воды характеризуются уменьшением концентрации кремния до $3459,62 \cdot 10^{-6}$ кг/м³. (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Данные по содержанию в водной толще *органического углерода*, а также по *тяжелым металлам*, представленные ниже, приводятся по результатам исследований Российского разведочного района.

Содержание *органического углерода* характеризуется постепенным уменьшением его концентрации от поверхности до придонного слоя практически в 2 раза. На поверхности водной толщи концентрация достигает 1,8 мг/дм³, в промежуточном слое – 1,2–1,7 мг/дм³, в придонном слое – 0,9 мг/дм³ («Годовой отчет...», 2021).

Тяжелые металлы. Средние концентрации меди в поверхностном слое составляют 2,71–2,82 мкг/л, постепенно увеличиваясь до 3,25 мкг/л на глубине 600 м. Затем, до глубины 1500 м регистрируется снижение концентрации до 2,65 мкг/л. До глубины 2500 м снова наблюдается увеличение концентрации до 3,32 мкг/л, которая практически не меняется до глубины 4000 м. В глубоководной части концентрация меди снова падает до 2,30 мкг/л, и затем немного повышается до 2,87 мкг/л (Информация..., 2021).

Средние концентрации свинца в поверхностном слое составляют 1,29–1,59 мкг/л, на глубине 100–150 м наблюдается зона скачка с концентрациями 2,14–2,26 мкг/л. До глубины 600 м концентрация падает и до самого дна остается в пределах 1,01–1,56 мкг/л (Информация..., 2021).

Концентрации кадмия в водной толще распределены следующим образом: в поверхностном слое они максимальны и составляют в среднем 0,22–0,27 мкг/л, а с глубины 50 м и до придонного слоя они остаются постоянными и находятся в пределах 0,15–0,10 мкг/л (Информация..., 2021).

Распределение цинка в водной толще характеризуется пониженным содержанием его в поверхностном слое (0,74 мкг/л). На глубине 50 м средняя концентрация цинка немного увеличивается и до глубины 600 м остается постоянной (1,05–1,27 мкг/л). До глубины 1500 м средняя концентрация падает до 0,85 мкг/л и затем постепенно возрастает до 1,40 мкг/л на глубине 4700 м. В придонном слое средняя концентрация цинка немного ниже, и составляет 1,24 мкг/л (Информация..., 2021).

Концентрации ртути имеют характер уменьшения с глубиной – со значения 0,025 мкг/л в поверхностном слое идет постепенное снижение до 0,010 мкг/л в глубинных слоях (Информация..., 2021).

1.4.3 Характеристика свойств осадков и поровых вод

Геохимически активный (продуктивный) слой (см. п. 1.2) является рудовмещающим и будет нарушаться при разработке ЖМК, образуя плюм – облако взвешенных частиц

осадка. Поэтому важно изучить свойства осадков слоя и содержащихся в нем поровых вод для установления их вещественного состава.

Слой образован двумя типами осадков – кремнисто-глинистыми илами и глинисто-карбонатными породами (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

Ниже представлены характеристики осадков, изученных в Российском разведочном районе.

Таблица 1

Компоненты вещественного состава кремнисто-глинистых осадков
(Информация..., 2021)

№ п.п.	Осадкообразующие компоненты	Содержание (%)	
		В илах	В глинах
1	Глинистая	83,5 ± 4,3	82,5 ± 4,2
2	Кремнистая	9,0 ± 2,0	7,5 ± 1,7
3	Карбонатная	1,76 ± 0,46	1,80 ± 0,43
4	Полимиктовая	0,50 ± 0,17	0,50 ± 0,17
5	Рудная (микроконкреции)	1,00 ± 0,33	0,50 ± 0,17

Значения pH у илов – $7,62 \pm 0,09$, у глин – $7,44 \pm 0,11$. Содержание **органического углерода** – $0,39 \pm 0,06$ в илах, $0,24 \pm 0,10$ в глинах; **неорганического углерода** – $0,21 \pm 0,05$ в илах и $0,22 \pm 0,05$ в глинах (Информация..., 2021).

Фоновые уровни содержаний **тяжелых металлов** в осадках: медь – 314 мг/кг в илах и 453 мг/кг в глинах; свинец – 53 мг/кг в илах и 34 мг/кг в глинах; кадмий – 0,50 мг/кг в илах и 0,26 мг/кг в глинах; цинк – 147 мг/кг в илах и 129 мг/кг в глинах; ртуть – 0,082 мг/кг в илах и 0,095 мг/кг в глинах (Информация..., 2021).

При изучении экологических характеристик поровых вод исследуется содержание **биогеенных элементов** $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$, $Si-SiO_3^{2-}$ и **тяжелых металлов** Cu, Pb, Cd, Zn, Hg.

Концентрация **нитритного азота** имеет максимум в поверхностном слое осадка (до 9 мгк/дм³), а с глубиной концентрация примерно одинаковая (5-7 мгк/дм³). У **нитратного азота** наблюдается та же картина: максимум концентрации – в поверхностном слое (до 400 мгк/дм³, затем на остальном интервале составляет 300-350 мгк/дм³). Концентрация **фосфатов** имеет такую же закономерность (до 80 мгк/дм³ на поверхности и 55-60 мгк/дм³ на оставшемся интервале). Здесь выделяются лишь показатели концентрации **кремния** – с глубиной его концентрация постепенно увеличивается (от 7000-8000 мгк/дм³ на поверхности до 15000 мгк/дм³ на глубине 20 см) («Годовой отчет...», 2021).

По **тяжелым металлам** в поровых водах наблюдается следующая тенденция. Для меди и кадмия наблюдается снижение средних концентрации с глубиной (с 10,64 мкг/л до 7,43 мкг/л у меди и с 0,43 мкг/л до 0,25 мкг/л у кадмия), когда для свинца и цинка зафиксировано увеличение средних концентраций (с 2,90 мкг/л до 4,11 мкг/л у свинца и с 6,80 мкг/л до 7,19 мкг/л у цинка). Ртуть в поровых водах по всему интервалу имеет практически одинаковые значения концентраций (около 1,0 мкг/л) (Информация..., 2021, («Годовой отчет...», 2021).

1.4.4 Характеристика биологических сообществ

В пределах провинции Кларион-Клиппертон наблюдается большое видовое разнообразие живых организмов – ихтиофауны, фито-, зоо- и бактериопланктона, демерсальных падальщиков, донной мега-, макро-, мейо- и микрофауны, фауны конкреций.

Среди сообществ мегафауны встречаются виды как свободно передвигающиеся, так и прикрепленные. Это разнообразные губки, иглокожие (морские лилии, морские ежи, голотурии, офиуры), стрекающие (медузы, коралловые полипы), брюхоногие моллюски, различные виды ракообразных (Uhlenkott et al., 2021).



Рисунок 5 – Прикрепленная фауна на твердом субстрате (Vanreusel et al., 2015)

а–с) актинии; d-g) мягкие кораллы; h–l) губки.

По обобщенным материалам исследований бентических сообществ, самой многочисленной свободно передвигающейся группой макрофауны являются полихеты, танаиды и изоподы, среди прикрепленных - губки, оболочники, энтопроткты и мшанки (Washburn et al., 2017, Wilson, 2017).

Среди мейофауны широко распространены нематоды (круглые черви), аннелиды (кольчатые черви), веслоногие рачки, лорициферы (животные, обитающие в поровых водах) и ракушковые. Внутренние полости отдельных конкреций служат местом обитания мелких бентосных организмов (инфауны), в основном относящихся к мейофауне – фораминиферы и гарпактикоиды (Uhlenkott et al., 2021).

К эпифауне конкреций относятся прикрепленные группы организмов, многие из которых уже перечислены выше.

Микрофауна, представленная одноклеточными организмами размером < 2 мкм, по численности преобладает над всеми сообществами. Морские микроорганизмы разнообразны и включают все три домена (эукариоты, археи и бактерии) (Church et al., 2019).

Среди донной ихтиофауны и демерсальных падальщиков больше всего распространены тупорылый макрурус (*Coryphaenoides* spp.) батизаурус (*Bathysaurus mollis*), *Pachycara*, басозетус (*Bassozetus*) (Harbour et al., 2020).

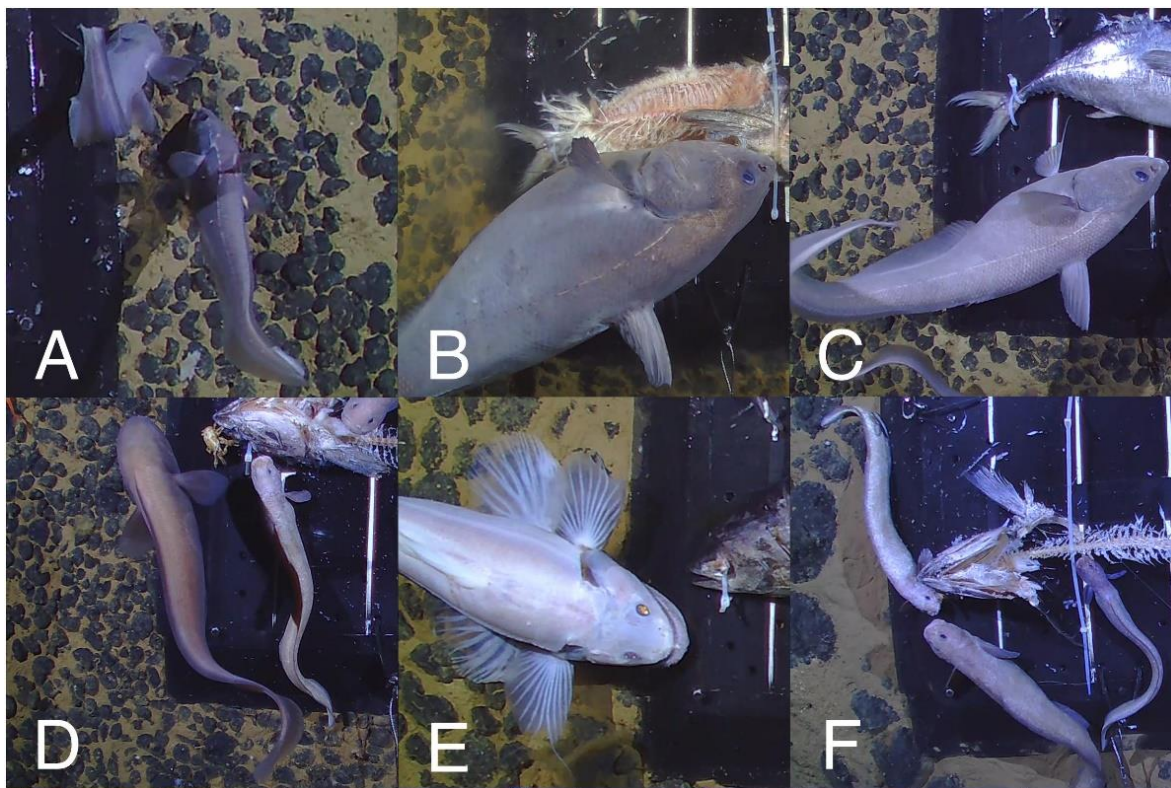


Рисунок 6 – Часто встречающиеся виды рыб в провинции Кларин-Клиппертон (Harbour et al., 2020).

(A–C) *Coryphaenoides* spp., (D) *Bassozetus* sp. (E) *Bathysaurus mollis*, (F) *Pachycara nazca*

Поверхностная зона пелагиали характеризуется массовым развитием одноклеточных водорослей (фитопланктона), главным образом диатомовых, перидиниевых и кокколитофорид. В зоопланктоне наибольшее значение имеют различные ракообразные и их личинки, главным образом копеподы (не менее 1000 видов) и эвфаузииды; значительна

примесь радиолярий (несколько сотен видов), кишечнополостных (сифонофоры, медузы, гребневики), икры и личинок рыб и донных беспозвоночных (Шаповалов С. М. и др., 2017).

Фауна пелагических рыб представлена многочисленными и разнообразными семействами и родами, например семейством изовые, щетинозубые, лактаровые (*Lactariidae*), анчоусовые (в том числе ликотрисса *Lycotrissa crocodilus*), кузовковые (*Ostraciontidae*) (Абдурахманов Г. М., 2001).

Среди млекопитающих известны: кашалот, несколько видов полосатиков (Шаповалов С. М. и др., 2017).

1.4.5 Метеорологические характеристики атмосферы

Провинция Кларион-Клиппертон находится в субэкваториальной климатической зоне (Атлас океанов, 1974), тем самым преобладающими ветрами здесь являются пассаты северо-восточных и восточных направлений. Северо-восточный пассат преобладает с ноября по май, восточный пассат – с мая по ноябрь. Средняя скорость ветра летом 6-7 м/с, зимой - 8 м/с.

Акватория находится в зоне максимального выпадения осадков от 1000 до 3000 мм в год, среднегодовой балл облачности составляет 5 баллов, среднегодовой показатель влажности: относительная – 77%, абсолютная – 25 гПа.

Зима немного прохладнее лета: температура воздуха зимой 24 – 25 °С, летом 26 – 27 °С. Среднегодовое атмосферное давление 1112 гПа.

Важной особенностью метеорологических характеристик провинции является прохождение через нее тропических циклонов, которые вызывают максимальные скорости ветра во время штормов (17 – 30 м/с) и ураганов (свыше 30 м/с) и создают наиболее высокие волны. Все тропические циклоны наблюдались в период с июня по ноябрь, в остальное время не было отмечено ни одного циклона.

На изучаемой акватории отчетливо выражено преобладание ветрового волнения зыби от северо-востока и востока, что обусловлено пассатными ветрами. От 70 до 80 % случаев это волнение высотой до 2 м, в сезон тропических ураганов высота штормовых волн может достигать 10 м и более (Неизвестнов Я. В. и др., 2004).

1.5 Потенциальное влияние изменения характеристик окружающей среды на биологические сообщества

Биологическим сообществам уделяется особое внимание в рамках экологических исследований, так как они будут подвергаться прямому антропогенному воздействию во время добычных работ, поэтому важно сохранить биоразнообразие провинции Кларион-Клиппертон.

Нарушение физических параметров морской среды негативно скажется на биологических сообществах: в процессе подъема конкреций на добычное судно и сбросе воды при первичной переработке на борту будет происходить перемешивание теплых поверхностных вод с холодными глубинными. Это повлечет изменения температурного баланса, вследствие чего изменятся температурные характеристики среды обитания пелагической фауны. Шумовое загрязнение от работающих на дне добычных устройств будет негативно сказываться на таких видах биологических сообществ, которые используют эхолокацию для ориентации в водной толще (к примеру, киты и дельфины). Увеличение мутности придонного слоя воды в результате сброса неочищенных вод с добычного судна или при авариях сделает его непригодным для обитания бентосной фауны, а увеличение мутности поверхностных слоев негативно скажется на интенсивности фотосинтеза планктона. Взвешенные частицы не будут пропускать солнечный свет, следовательно, фотосинтетическая активность уменьшится. Вследствие этого уменьшится содержание кислорода в воде, что может повлечь гибель пелагической фауны от недостатка кислорода. Световое загрязнение придонной части водной толщи (от осветительных приборов добычной техники) может пагубно влиять на бентосную фауну, адаптированную к жизни в темноте. Излишки света могут вызвать нарушение ориентации в пространстве, создадут стрессовые условия, которые отрицательно повлияют на размножение и другие жизненные циклы организмов.

Негативным для жизнедеятельности живых организмов будет и изменение химических характеристик водной толщи. При разработке залежей ЖМК будет происходить высвобождение тяжелых металлов и питательных веществ, увеличение их концентрации в придонном слое воды, а также в верхних слоях при сбросе неочищенной воды после первичной переработки ЖМК с борта добычного судна или при авариях (концентрация тяжелых металлов, превышающая ПДК, оказывает токсичное воздействие на живые организмы, а увеличение концентрации питательных веществ может привести в эвтрофикации). Может повлиять и существенное изменение показателя рН морской среды – каждый из видов морских организмов может существовать только при определенных значениях рН. Изменение показателя повлечет за собой угнетение или гибель организмов, зона оптимума которых не будет входить в существующий диапазон рН.

Геохимически активный слой осадка является средой обитания бентосных сообществ, причем поля ЖМК создают благоприятные геохимические условия для их жизнедеятельности: существует прямая зависимость увеличения численности биоты и мест наибольшего скопления ЖМК. Вследствие чего, при разработке наиболее продуктивных залежей конкреций будет уничтожаться соразмерное количество живых организмов (как

итог, изъятие больших площадей конкреций приведет к снижению видового разнообразия). Физическое нарушение поверхностного слоя осадка приведет к образованию плюма взвешенных частиц, который будет переноситься придонными течениями, создавая слой переотложенных осадков. Этот слой может перекрывать огромные площади морского дна вместе с прикрепленной бентосной фауной (губки, актинии), практически захоранивая ее и лишая возможности питаться. Также переотложенный слой лишит доступа к питательным веществам геохимически активного слоя бентических сообществ, питающихся органикой с поверхности дна (голотурии, полихеты). Что касательно высвобождения тяжелых металлов при нарушении осадочного слоя и вскрытии поровых вод, увеличении концентрации питательных веществ в разных слоях водной толщи и увеличении мутности воды взвешенными частицами осадка, то последствия описаны выше.

2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВЕДКИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ В ПРОВИНЦИИ КЛАРИОН-КЛИППЕРТОН

2.1 Правовое регулирование: анализ существующих нормативных правовых актов и их проектов

Нормативная правовая база разработана для регулирования деятельности контракторов, в том числе одной из задач является уменьшение экологического воздействия на окружающую среду в процессе разведки полезных ископаемых морского дна.

Основными международными правовыми документами по вопросам охраны окружающей среды в ходе разведки ЖМК, являются:

1) Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву (от 10.12.1982) и Соглашение об осуществлении Части XI Конвенции (от 28.07.1994);

2) Документы Международного органа по морскому дну (МОМД), а именно:

- Правила поиска и разведки полиметаллических конкреций в Международном районе морского дна в редакции 2013 г. (ISBA/19/C/17, ISBA/19/A/9);

- Руководящие рекомендации контракторам по оценке возможного экологического воздействия разведки морских полезных ископаемых в Районе (ISBA/25/LTC/6/Rev.1);

- План экологического обустройства для зоны Кларион-Клиппертон (ISBA/17/LTC/7).

Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву была принята 10 декабря 1982 года. Конвенцию ратифицировали 167 государств и ЕС, Российская Федерация ратифицировала Конвенцию 12 марта 1997 года.

Данная Конвенция является одним из наиболее комплексных инструментов международного права. Ее 320 статей и 9 приложений содержат всеобъемлющий правовой режим мировых океанов и морей, устанавливающий правила, регулирующие всю деятельность в океанах и использование их ресурсов, разведку и добычу минеральных ресурсов, сохранение и загрязнение окружающей среды. В ней закреплено понятие о том, что все проблемы, связанные с океаническим пространством, тесно взаимосвязаны и должны рассматриваться в комплексе. Это единый документ, совмещающий кодификацию традиционных правил использования океанов и разработку новых норм, регулирующих вновь возникающие проблемы (Официальный сайт ООН).

Практически всеобщему принятию Конвенции способствовало принятие Генеральной Ассамблеей 28 июля 1994 года Соглашения об осуществлении Части XI Конвенции, устранившего некоторые барьеры, препятствовавшие подписанию Конвенции

главным образом промышленно развитыми странами. Соглашение в настоящее время широко принято, его подписало более 110 государств-участников (Официальный сайт ООН).

Конвенцией учрежден Международный орган по морскому дну (МОМД), его состав, определены полномочия Органа.

МОМД является межправительственной организацией, через посредство которой ее участники организуют и контролируют деятельность в глубоководных районах морского дна за пределами национальной юрисдикции, особенно в целях управления минеральными ресурсами этих районов.

Согласно Конвенции, Район и его ресурсы являются общим наследием человечества (в отличие от недр, находящихся на территории государств), и ни одно государство не может претендовать на территорию Района и на его ресурсы. Все права на ресурсы Района принадлежат человечеству, от имени которого действует МОМД. В связи с этим, любая деятельность в Районе возможна только на основе контракта с Органом.

Конвенцией указана необходимость в принятии мер по обеспечению эффективной защиты морской среды от вредных для неё последствий в результате деятельности в Районе. С этой целью МОМД принимает соответствующие нормы, правила и процедуры для предотвращения, сокращения и сохранения под контролем загрязнения морской среды.

На данный момент существуют следующие нормативные правовые документы МОМД в области поиска и разведки ЖМК:

1) Правила поиска и разведки полиметаллических конкреций в Международном районе морского дна в редакции 2013 г. (ISBA/19/C/17, ISBA/19/A/9).

. В документе прописаны необходимые действия подрядчиков в рамках контракта на разведку полиметаллических конкреций в Районе, в том числе по защите морской среды.

В Части V «Защита и сохранение морской среды» указано, что подрядчик обязан соблюдать следующие положения:

- предотвращать, сокращать и сохранять под контролем загрязнения и другие опасности для морской среды;
- применять осторожный подход к деятельности в Районе и использовать передовую природоохранную практику;
- осуществлять сбор фоновых экологических данных для установления экологического фона;
- производить мониторинг воздействия на окружающую среду;
- создавать рабочие (для оценки воздействия деятельности в Районе на морскую среду) и заповедные (в которых работы не проводятся и сохраняется ненарушенность

условий окружающей среды и населяющих ее живых организмов для оценки изменения биоразнообразия в ходе освоения минеральных ресурсов морского дна) эталонные полигоны.

2) Руководящие рекомендации контракторам по оценке возможного экологического воздействия разведки морских полезных ископаемых в Районе (ISBA/25/LTC/6/Rev.1).

В контракты на разведку полезных ископаемых включаются требования сбора океанографических и фоновых экологических данных, установления экологического фона до воздействия на морскую среду, разработки программы мониторинга такого воздействия. Принятые Рекомендации регулируют данные требования.

Экологические исследования в ходе разведки основываются на плане, предложенном контрактором и утвержденным МОМД после проверки на полноту, точность и статистическую надежность.

Работы, проводимые в ходе разведки глубоководных полезных ископаемых, делятся две группы: требующие ОВОС и не требующие ОВОС (Часть VI Рекомендаций).

Исходя из имеющейся информации, считается, что ряд технологий, используемых в настоящее время в разведке, не способны причинить серьезного вреда морской среде, и поэтому в их отношении не требуется проводить оценку экологического воздействия (ОВОС).

К числу работ, при проведении которых используются такие технологии, относятся:

- 1) гравитационные и магнитометрические наблюдения и измерения;
- 2) получение акустических или электромагнитных профилей морского дна;
- 3) взятие проб воды, осадков, горных пород и образцов биоты для изучения экологического фона, метаболических изменений живых существ и проведения их ДНК-анализа;
- 4) метеорологические и океанографические наблюдения и измерения;
- 5) видео/кино- и фотографические наблюдения и измерения с помощью глубоководных управляемых аппаратов;
- 6) исследование и анализ полезных ископаемых на борту судна;
- 7) эксплуатация систем определения координат;
- 8) замеры плюма взвешенных частиц с помощью буксируемых датчиков (химический анализ, нефелометры, флуорометры и т. д.);

Для широкого спектра технологий, используемых в разведке ЖМК, остаётся необходимым проведение ОВОС. И исследования в рамках ОВОС, проводимые в данном случае, будут являться первичными источниками информации для оценки воздействия будущей разработки ЖМК на морскую среду.

ОВОС необходима при:

- 1) использовании систем, нарушающих стратификацию осадочного чехла и применяющихся для создания плюма взвешенных частиц осадка;
- 2) испытании компонентов добычной системы;
- 3) добычных испытаниях;
- 4) испытаниях сбрасывающих систем и оборудования;
- 5) буровых работах с использованием бортовых бурильных установок;
- 6) пробоотборе эпилентическими салазками, драгой или тралом или каким-либо аналогичным методом на конкреционных полях, по площади превышающих 10000 м².

Перечисленные выше виды деятельности при будущей промышленной разработке будут иметь масштабный характер, и для моделирования последствий стоит острая необходимость проведения ОВОС именно на этапе поиска и разведки ЖМК.

В соответствии с Руководящими рекомендациями контракторам по оценке возможного экологического воздействия разведки морских полезных ископаемых, в каждом плане работы принимаются во внимание следующие виды экологических исследований:

- 1) фоновые экологические исследования;
- 2) мониторинг с целью обеспечить, чтобы в ходе поисково-разведочной деятельности не причинялось ущерба морской среде;
- 3) мониторинг в ходе и по завершении испытаний компонентов добычной системы.

Особенно важно получить достаточную информацию из разведочного района, чтобы задокументировать естественные условия, существовавшие до начала добычных испытаний и испытаний добычной техники, и изучить природные процессы так, как это максимально возможно.

Для этих целей и проводятся фоновые экологические исследования. Они включают в себя:

- 1) Исследование физических (давление, температура, солёность, мутность воды, направления и скорости течений по всей водной толще) и химических (рН, концентрация растворенного кислорода, содержание биогенных веществ, тяжелых металлов, в том числе Cu, Pb, Cd, Zn, Hg, карбонатная система) свойств водной толщи – для установления фоновых характеристик, необходимых для проведения экологического мониторинга и контроля за состоянием окружающей среды;
- 2) Исследование геологических свойств – составление региональных геоинформационных карт с высококачественной батиметрией и указанием типа морского

дна, определение основных свойств поверхностных отложений для моделирования поведения взвешенных частиц в водной толще, регистрация исходных уровней содержания тяжелых металлов и микроэлементов в осадках и поровых водах, необходимых для установления масштабов изменения морской среды при их высвобождении;

3) Изучение биологических сообществ с целью составления характеристики биоразнообразия района и принятия мер для его сохранения;

4) Регистрация и описание биотурбационной активности и перемешивания осадков для понимания естественных процессов восстановления нарушенных территорий;

5) Изучение процессов седиментации – сбор данных об оседающих материалах и их составе (включая рассеянные органические вещества), начиная с верхних слоев водной толщи и заканчивая морским дном.

В тексте Рекомендаций прописаны требования к содержанию определяемых фоновых данных и методам пробоотбора при их сборе.

В ходе проведения геологоразведочных работ подрядчики должны проводить экологический мониторинг с целью обеспечить, чтобы в ходе поисково-разведочной деятельности не причинялся ущерб окружающей среде. Но, как показывает практика, ущерба морской среде поисково-разведочная деятельность не приносит из-за локального воздействия на окружающую среду и благодаря серьезному экологическому контролю.

Испытания добычной техники рассматриваются как возможность определения экологических последствий добычной деятельности. Подрядчик предоставляет Органу план таких испытаний, включающий подробные сведения о мониторинге окружающей среды, как минимум за год до начала испытаний.

3) План экологического обустройства для зоны Кларион-Клиппертон (ISBA/17/LTC/7).

Данным документом предусмотрено создание участков, представляющих особый экологический интерес.

Эти участки являются системой охраняемых районов, где запрещена любая деятельность по освоению глубоководных полезных ископаемых, они не должны подвергаться прямому физическому воздействию или воздействию опосредованных явлений добычи, таких как плюмы взвешенных частиц.

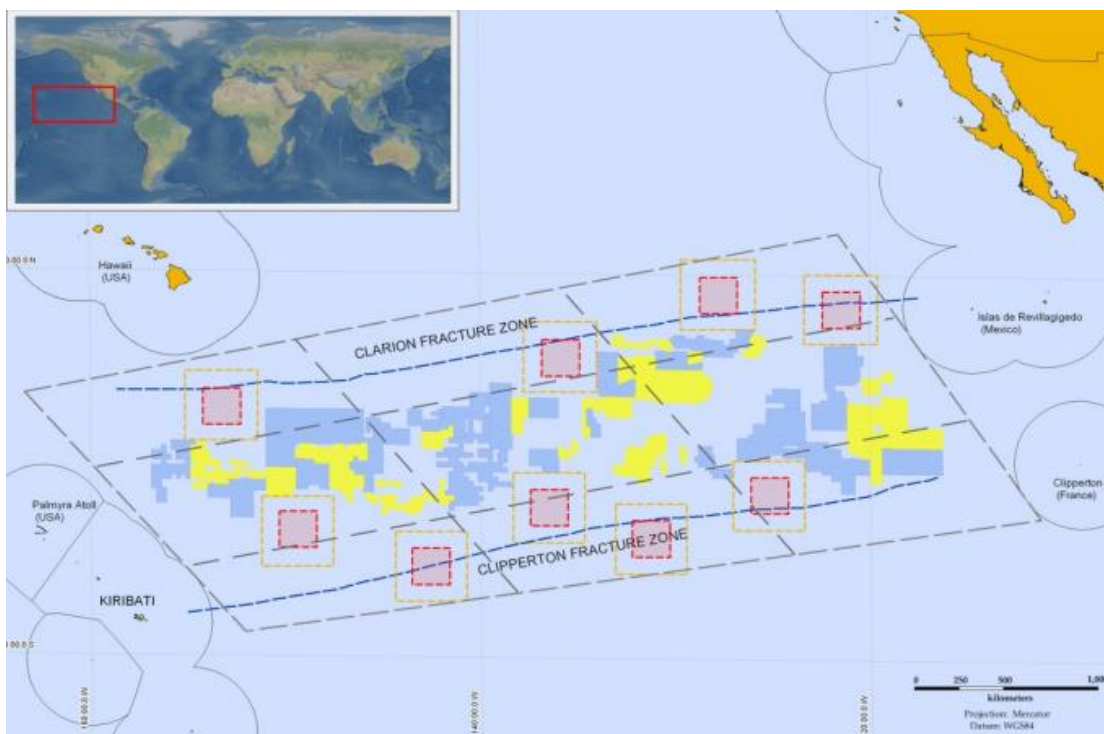


Рисунок 7 – Местонахождение участков, представляющих особый экологический интерес, с указанием девяти биogeографических субрегионов (серая пунктирная линия – границы субрегионов), сердцевины каждого участка (красный квадрат с пунктирной обводкой) и буферных зон (желтая пунктирная линия) (ISBA/17/LTC/7)

Участки охватывают весь диапазон изменчивости местообитаний и поддерживать жизнеспособность биологических сообществ для сохранения регионального биоразнообразия.

Для регулирования будущей разработки глубоководных полезных ископаемых (в том числе, ЖМК) МОМД ведет работу над проектом Правил разработки минеральных ресурсов в Районе (ISBA/25/C/WP.1). На данный момент существует редакция от 22.03.2019, но Проект в настоящее время находится на стадии доработки и не является окончательным.

В части защиты окружающей среды в проекте прописаны обязательства подрядчиков во время добычных работ, меры по экологическому обустройству контрактных районов, необходимость разработки подрядчиками целого комплекса так называемых экологических планов, включая план действий на случай чрезвычайных экологических ситуаций.

Результаты комплексного изучения фоновых экологических характеристик будут служить основой для подготовки отчета о состоянии окружающей среды и проведения ОВОС и, как следует из Правил разработки, отчеты о состоянии окружающей среды и ОВОС будут одними из необходимых условий одобрения МОМД контракта на разработку железомарганцевых конкреций.

Все вышеперечисленное является результатом применения экологического подхода к будущей разработке с целью сохранения уникальных морских экосистем. Немаловажным является то, что Рекомендациями предписывается применение подрядчиками наилучших имеющихся методов в защите окружающей среды.

Проанализированные нормативные правовые документы тщательно проработаны, при этом правила и рекомендации регулярно пересматриваются и дорабатываются, в том числе с учетом результатов фоновых экологических исследований, а также начинающейся уже опытной добычи и испытаний компонентов добычных систем подрядчиками. Благодаря работам подрядчиков, формируется обширная база данных о состоянии окружающей среды, населяющих ее живых организмов, а также увеличивается знание о потенциальном воздействии будущей разработки и его последствиях.

2.2 Фоновые экологические исследования и мониторинг: опыт зарубежных подрядчиков

Представленная ниже характеристика составлена по результатам проведенных работ 14 подрядчиков. Подрядчики имеют разный опыт исследований при поисках и разведке ЖМК и их работы отличаются масштабностью исследований.

1. Компания UK Seabed Resources Ltd (UKSRL), Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии

Компания заключила контракт с МОМД на разведку ЖМК в 2013 году.

За это время подрядчиком совершено только три научно-исследовательских рейса. Несмотря на то, что темпы исследований контрактного района невелики, работы, проводимые подрядчиком, масштабны, благодаря применению разнообразного научного оборудования и методов пробоотбора (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

Кроме этого, компания проводит работы в пределах участка особого экологического интереса по сбору фоновых экологических данных, ускоряя процесс их изучения.

Из проблемных моментов стоит учесть то, что подрядчик не приступал к сбору данных о свойствах осадков и поровых вод. Но это компенсируется тем, что производится изучение процессов биотурбации, что изучается не всеми подрядчиками.

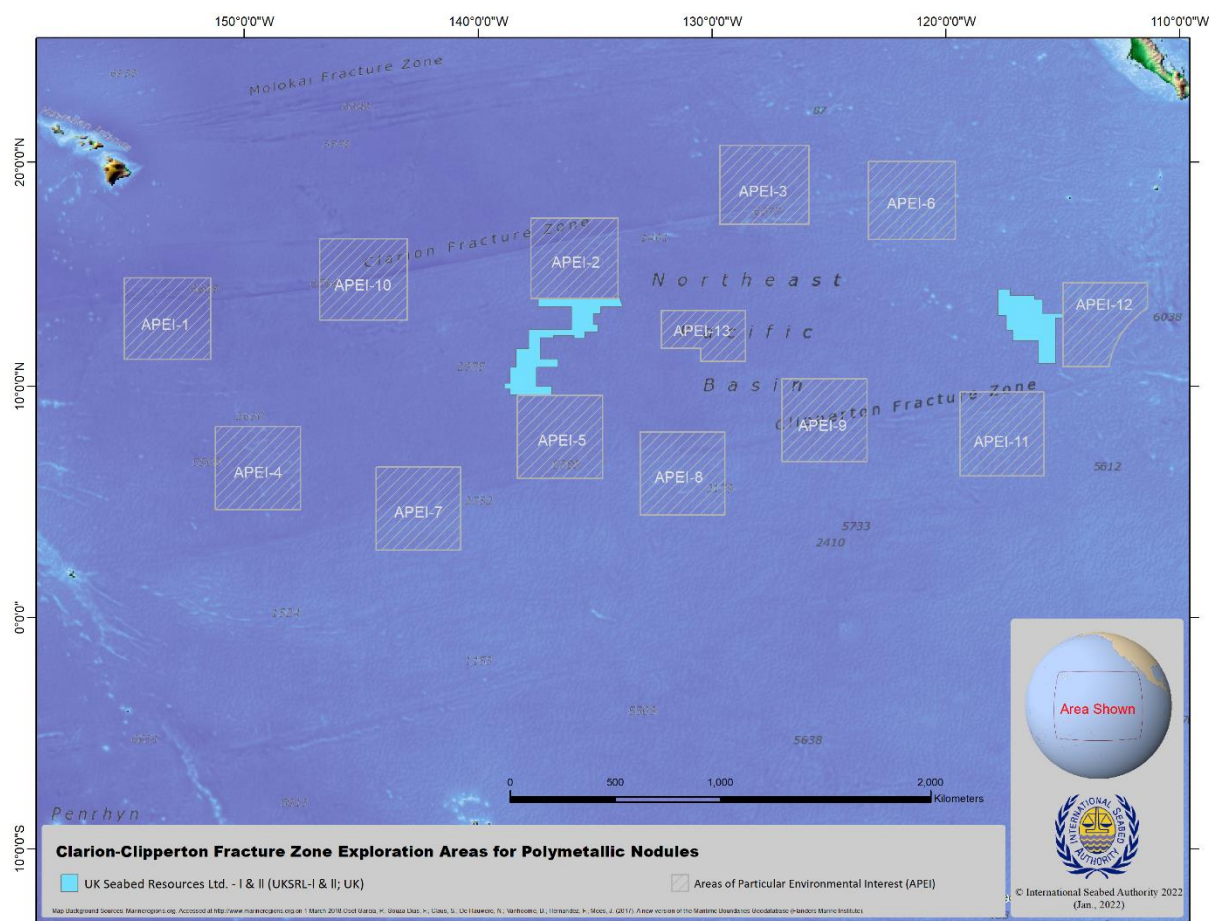


Рисунок 8 – Расположение разведочных районов компании UK Seabed Resources (UK Seabed Resources Ltd (I and II), ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/map/uk-seabed-resources-ltd-i-and-ii>)

В 2023 году планируется проведение испытаний добычного оборудования и последующей за этим оценки воздействия на окружающую среду в рамках программы Seabed Mining And Resilience To EXperimental impact (SMARTEX).

2. Компания Tonga Offshore Mining Limited (TOML), Королевство Тонга

Компания заключила контракт с МОМД на разведку ЖМК в 2012 году. С этого времени было выполнено три научно-исследовательских рейса. Несмотря на небольшое количество полученных фоновых экологических данных, подрядчик провел сбор большинства видов данных, согласно Рекомендациям МОМД, включая исследования биотурбации (не изучался только химический состав поровых вод). Также у подрядчика есть опыт проведения оценки воздействия на окружающую среду после отбора мелкомасштабных проб конкреций, а именно изучение распространения плюма взвешенных частиц специальным регистратором и скорости седиментации взвеси с помощью седиментационных ловушек (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

Этим подрядчик показывает свое ответственное отношение к выполнению контрактных условий и Рекомендаций.

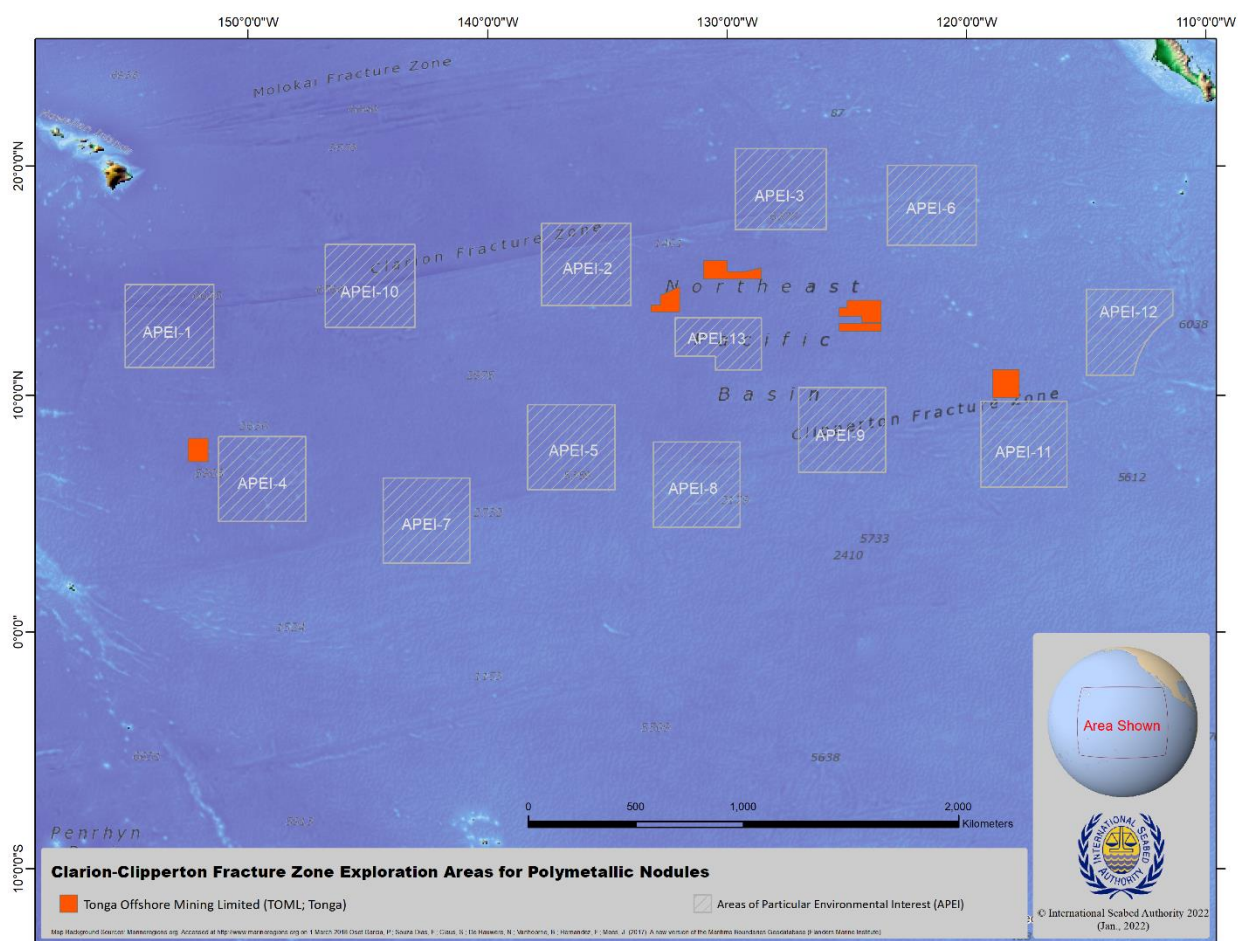


Рисунок 9 – Расположение разведочного района компании Tonga Offshore Mining Limited (Tonga Offshore Mining Limited, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/map/tonga-offshore-mining-limited>)

3. Компания Ocean Mineral Singapore Pte Ltd (OMS), Республика Сингапур

Компания заключила контракт с МОМД на разведку ЖМК в 2015 году и за это время провела только два научно-исследовательских рейса совместно с UK Seabed Resources, так как районы контракторов граничат друг с другом. В результате была получена часть фоновых экологических данных. При этом контрактор занимался изучением участка особого экологического интереса (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

У контрактора имеется опыт проведения численного моделирования и экспериментов: моделирование поведения плюма взвешенных частиц при турбулентных движениях водной толщи, лабораторные исследования распространения частиц разного размера при образовании плюма, эксперимент по воздействию металлического лезвия и плиты на поверхность осадочного слоя.

Контрактором пока не собраны данные по физической, химической океанографии, биотурбации и седиментации, но при этом были проведены исследования состава поровых вод.

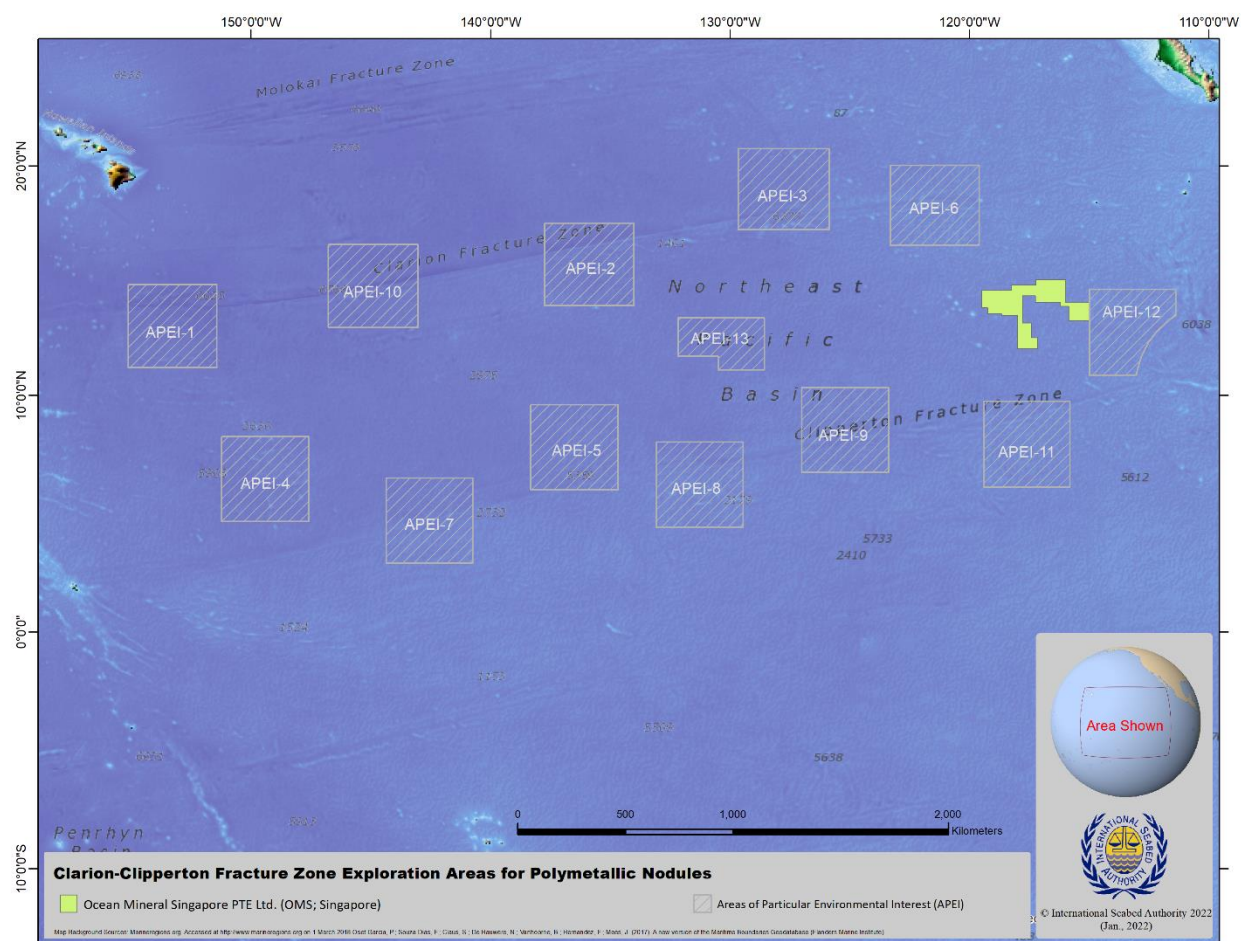


Рисунок 10 – Расположение разведочного района компании Ocean Mineral Singapore (Ocean Mineral Singapore Pte Ltd, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/map/ocean-mineral-singapore-pte-ltd>)

4. Компания Nauru Ocean Resources Inc. (NORI), Республика Науру

Компания заключила контракт с МОМД на разведку ЖМК в 2011 году (Рисунок 11). За это время было проведено 6 научно-исследовательских рейсов и собрана часть фоновых экологических данных, за исключением свойств поровых вод и биотурбации (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

С 2018 года контрактор проводит детальные фоновые экологические исследования на участках, выбранных под добычные испытания, которые запланированы на 2022 год.

Кроме этого, контрактор проводил лабораторные эксперименты по изучению распространения плюма взвешенных частиц в водной толще, образованного при воздействии добычной системы на дно, в результате чего была создана модель поведения плюма и получены численные данные о распространении и седиментации взвеси.

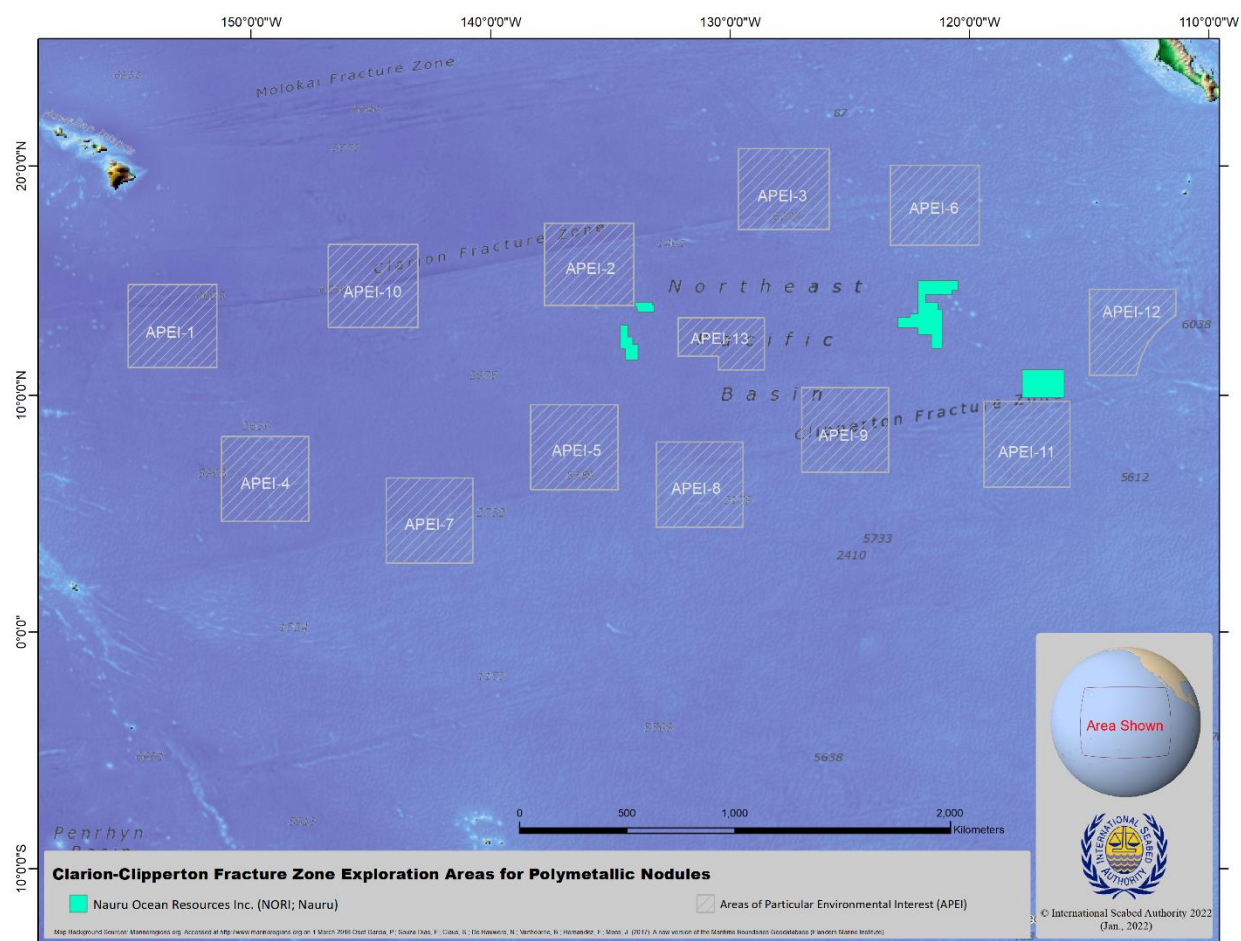


Рисунок 11 – Расположение разведочного района компании Nauru Ocean Resources (Nauru Ocean Resources Inc, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/map/nauru-ocean-resources-inc>)

5. Компания Marawa Research and Exp. Ltd, Республика Кирибати
Компанией заключен контракт с МОМД на разведку ЖМК в 2015 году.

Совместно с компанией Nauru проведен один научно-исследовательский рейс, где были собраны данные о физических характеристиках водной толщи (температуре и скорости звука), некоторых характеристиках осадков (питательные вещества, физико-механические свойства) и данные о биологических сообществах (мега-, макро-, мейо- и микрофауна; наблюдения за млекопитающим и птицами) (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

Основными проблемами является то, что за время действия контракта не выполнены исследования химических характеристик водной толщи, не изучена геологическая характеристика дна района, не отобраны образцы для исследования состава поровых вод. Также остаются не изученными процессы биотурбации и седиментации.

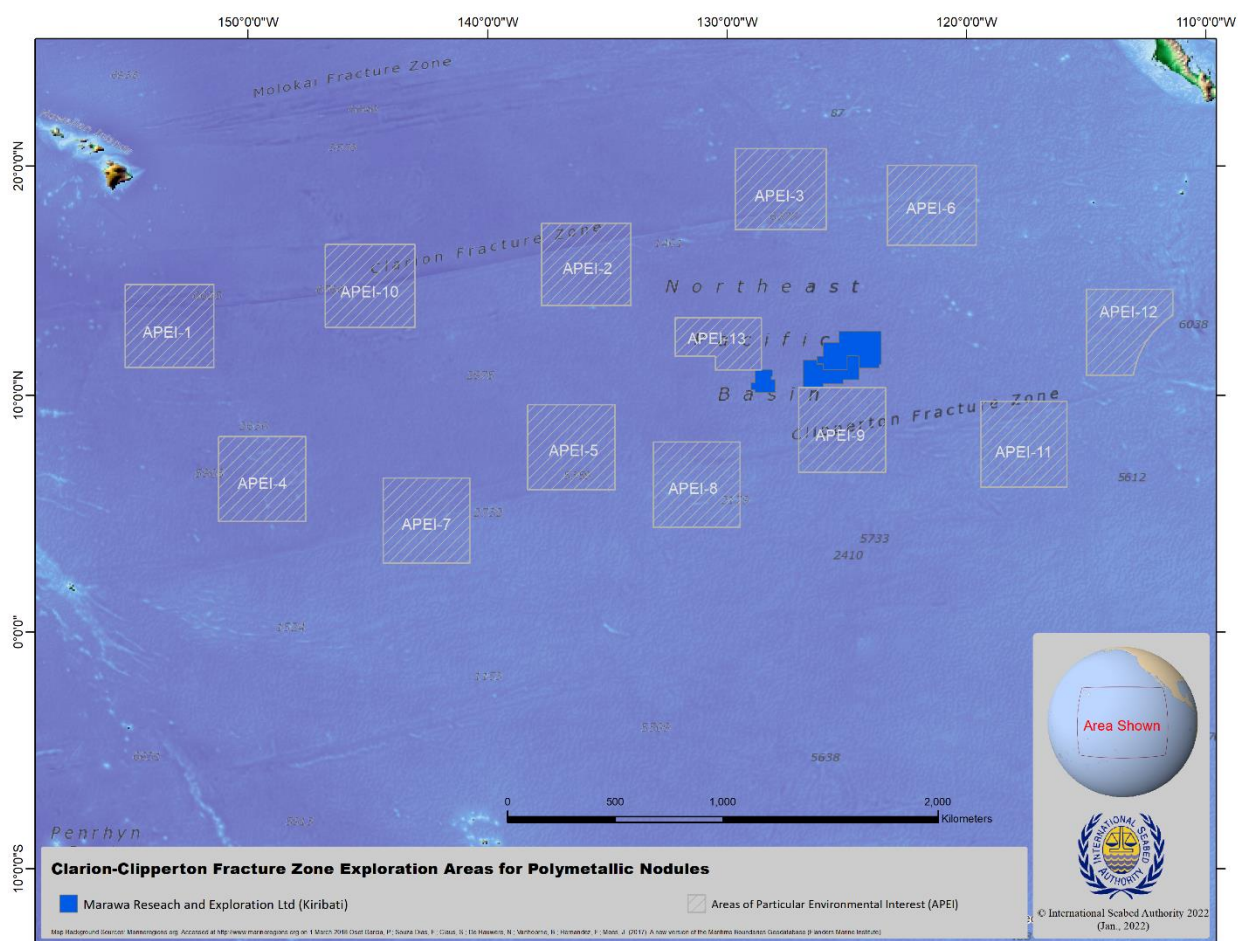


Рисунок 12 – Расположение разведочного района компании Marawa (Marawa Research and Exp. Ltd, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/map/marawa-research-and-exploration-ltd>)

6. Министерство океанов и рыболовства, Республика Корея
 Между Правительством Республики Корея и МОМД контракт заключен в 2001 году.
 За 13 научно-исследовательских рейсов подрядчиком собран обширный массив фоновых экологических данных.

Контрактор принимает активное участие в изучении фоновое экологического состояния двух участков особого экологического интереса.

Также контрактор имеет опыт проведения лабораторных экспериментов по изучению скорости осаждения взвешенных частиц в водной толще, свойств отходов, образующихся при переработке ЖМК на добычном судне, исследований свойств флокуляции невидимых частиц осадка и построения моделей образования флокулированных осадков (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

Немаловажным вкладом контрактора является участие в метаанализе закономерностей биоразнообразия макрофауны в провинции Кларин-Клиппертон,

проводящемся по результатам изучения биологических сообществ 11 контрактных районов, куда входит и корейский.

Недостатком в работе подрядчика является отсутствие исследований характеристик биотурбации. Но в целом исследования носят масштабный характер, изучение фонового экологического состояния окружающей среды проводится большими темпами в последнее время.

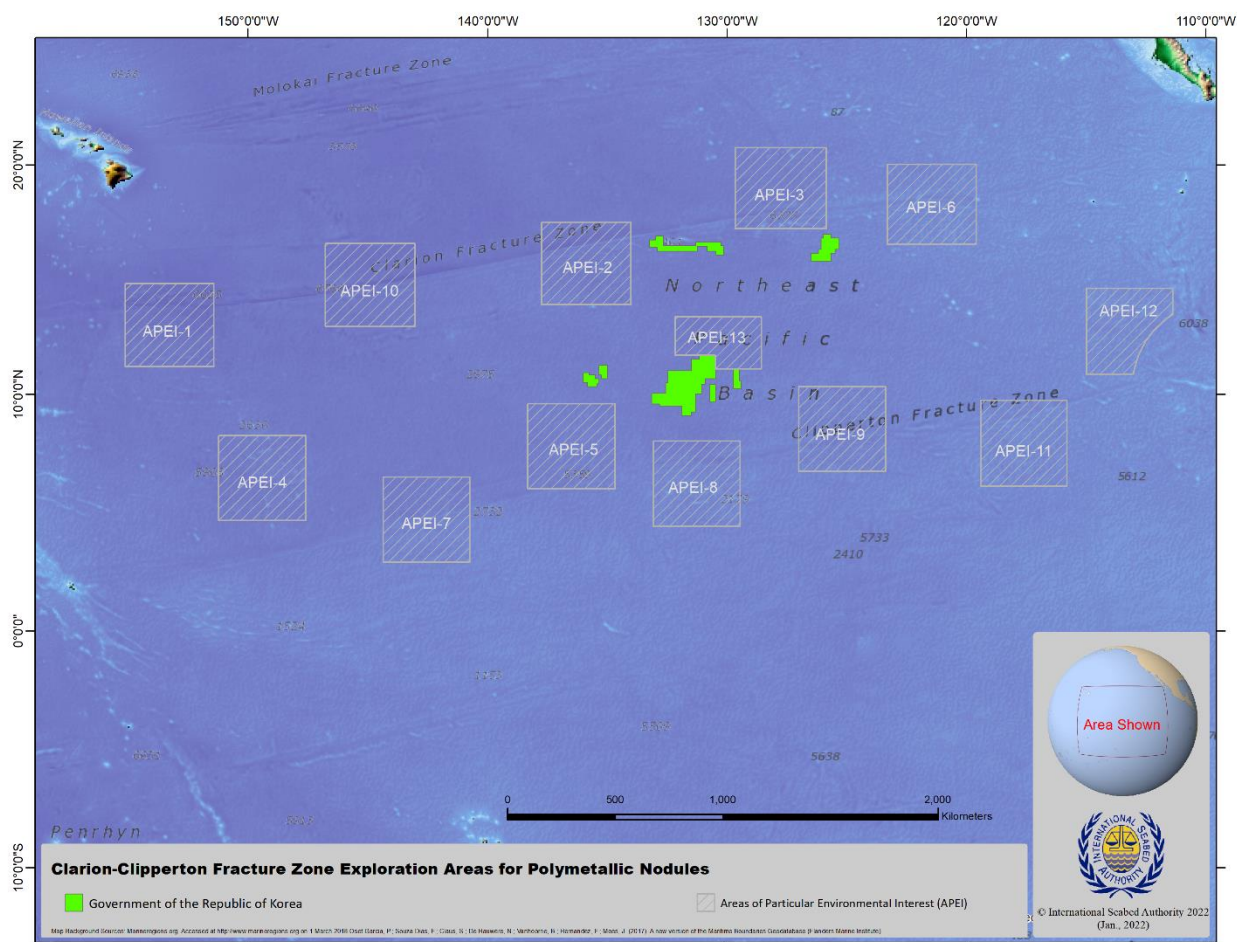


Рисунок 13 – Расположение разведочного района Республики Корея (Government of the Republic of Korea, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/index.php/map/government-republic-korea>)

7. Совместная организация «ИНТЕРОКЕАНМЕТАЛЛ»

В состав организации входят Болгария, Куба, Чехия, Польша, Российская Федерация и Словакия. Контракт между организацией и МОМД заключен в 2001 году.

За это время было проведено четыре научно-исследовательских рейса, в трех из которых подрядчик выполнял более детальное изучение состава осадков и поровых вод. В дополнение к этому подрядчик занимается обработкой информации, полученной в доконтрактный период и во время эксперимента Benthic Impact Experiment, проведенного в

1995 году (ВЕ-95), направленного на нарушение дна и изучение темпов восстановления биоты на нарушенных площадях (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

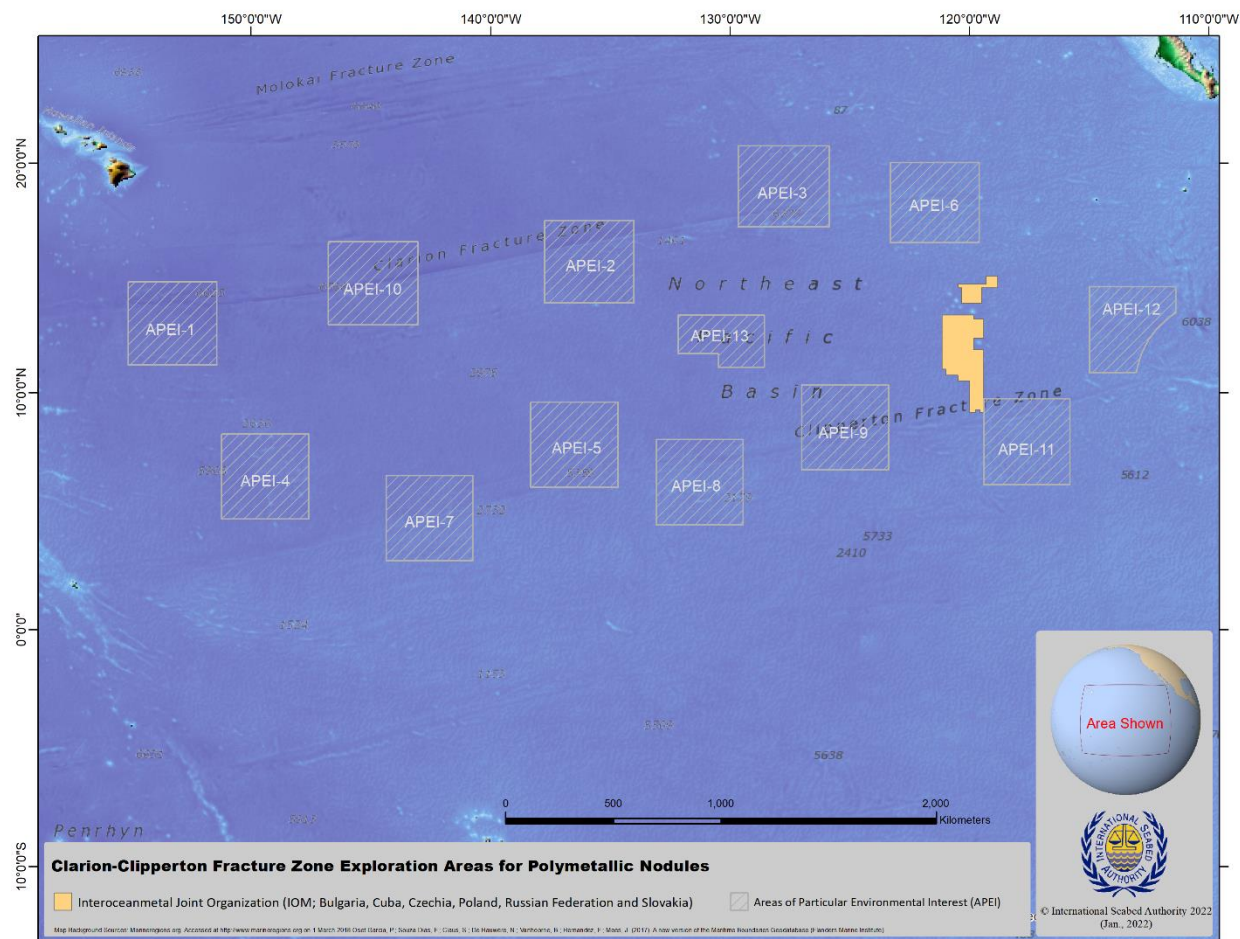


Рисунок 14 – Расположение разведочного района совместной организации «ИНТЕРОКЕАНМЕТАЛЛ» (Interoceanmetal Joint Organization, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/index.php/map/interoceanmetal-joint-organization>)

Также контрактор имеет опыт проведения численного моделирования распространения плюмов взвешенных частиц в водной толще.

Несмотря на длительный срок контракта, контрактором проведено недостаточное количество рейсов, не изучены процессы биотурбации и седиментации.

8. Французский научно-исследовательский институт по освоению морских ресурсов (IFREMER), Французская Республика

Контракт с МОМД заключен в 2001 году.

Кроме изучения фонового экологического состояния своего района, контрактор выполняет исследования в пределах одного из участков особого экологического интереса. Также контрактор участвовал в проведении совместного с МОМД проекта NAPOLEON, направленного на изучение биологических сообществ железомарганцевых конкреций.

Является одним из немногих контракторов, изучавших во время своих рейсов химический состав поровых вод (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

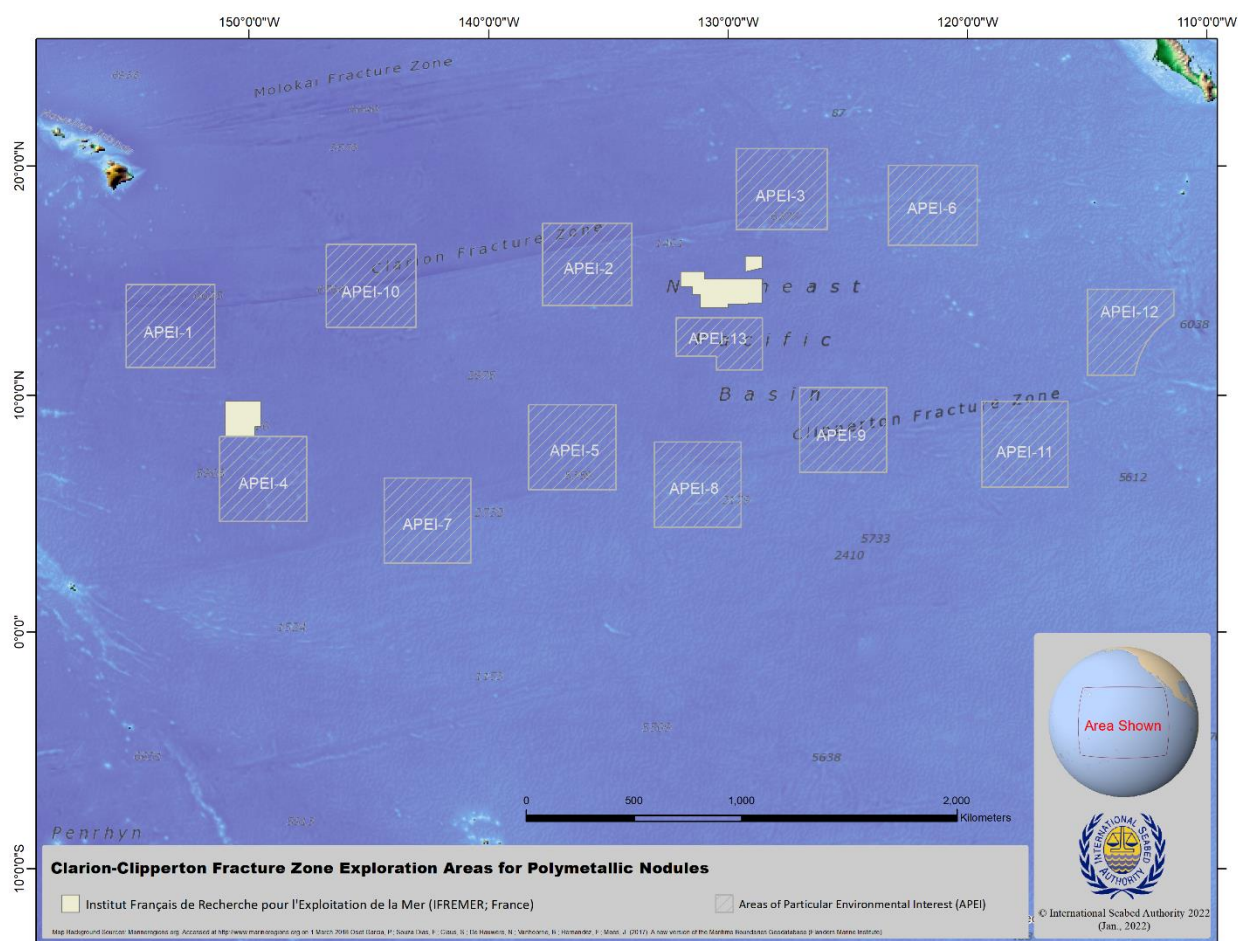


Рисунок 15 – Расположение разведочного района INFEMER (Institut française de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/index.php/map/institut-francaise-de-recherche-pour-l-exploitation-de-la-mer-ifremer>)

Несмотря на то, что контракт действует уже длительное время, контрактор провел только четыре научно-исследовательских рейса, с 2015 года рейсы не проводятся, вместо этого ведется изучение данных, собранных за предыдущие годы. Остаются и проблемные моменты – до сих пор не изучаются характеристики биотурбации и седиментации, и в целом темпы исследований невелики.

У контрактора имеется опыт проведения экологического мониторинга и оценки воздействия на окружающую среду в рамках программы MIDAS, направленной на изучение последствий масштабного воздействия на морское дно во время предполагаемой добычи, а также опыт участия в проекте JPI Oceans, по результатам которого были сделаны выводы о важности полиметаллических конкреций для глубоководного биоразнообразия (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

9. Компания Deep Ocean Resources Development Co Ltd (DORD), Япония

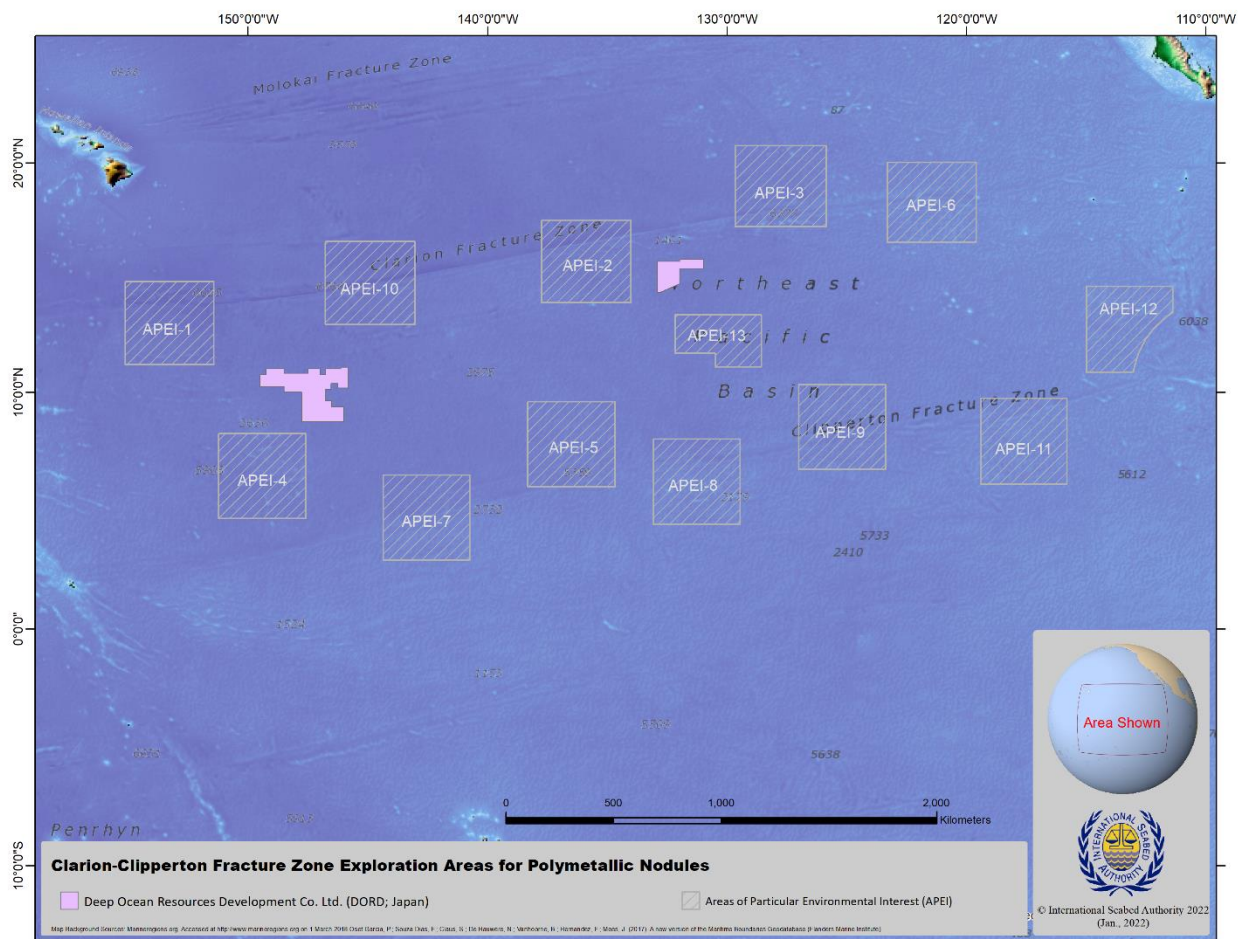


Рисунок 16 – Расположение разведочного района компании Deep Ocean Resources Development Co Ltd (DORD) (Deep Ocean Res. Dev. Co Ltd, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/index.php/map/deep-ocean-resources-development-co-ltd>)

Компания заключила контракт с МОМД на разведку ЖМК в 2001 году, но научно-исследовательские рейсы для фоновых экологических исследований начали проводиться только с 2011 года. За это время подрядчиком собрана представительная часть фоновых экологических данных, большая часть из них – в отдельных рейсах, посвященных экологическим исследованиям (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

Контрактор имеет опыт изучения процессов биотурбации в рамках экологического мониторинга эксперимента JET. В пределах контрактного района биотурбация еще не изучалась.

В настоящее время подрядчик ведет усиленную работу по изучению фоновому экологическому состоянию на участках предполагаемой разработки ЖМК.

Несмотря на длительный период, в котором исследования не проводились, подрядчик проводит исследования интенсивными темпами и согласно Рекомендациям МОМД.

10. Китайская ассоциация по исследованию и разработке минеральных ресурсов океана (China Ocean Mineral Resources Research and Development Association (COMRA)), Китайская Народная Республика

COMRA также является одним из первых контракторов, заключивших контракт с МОМД на разведку ЖМК в 2001 году.

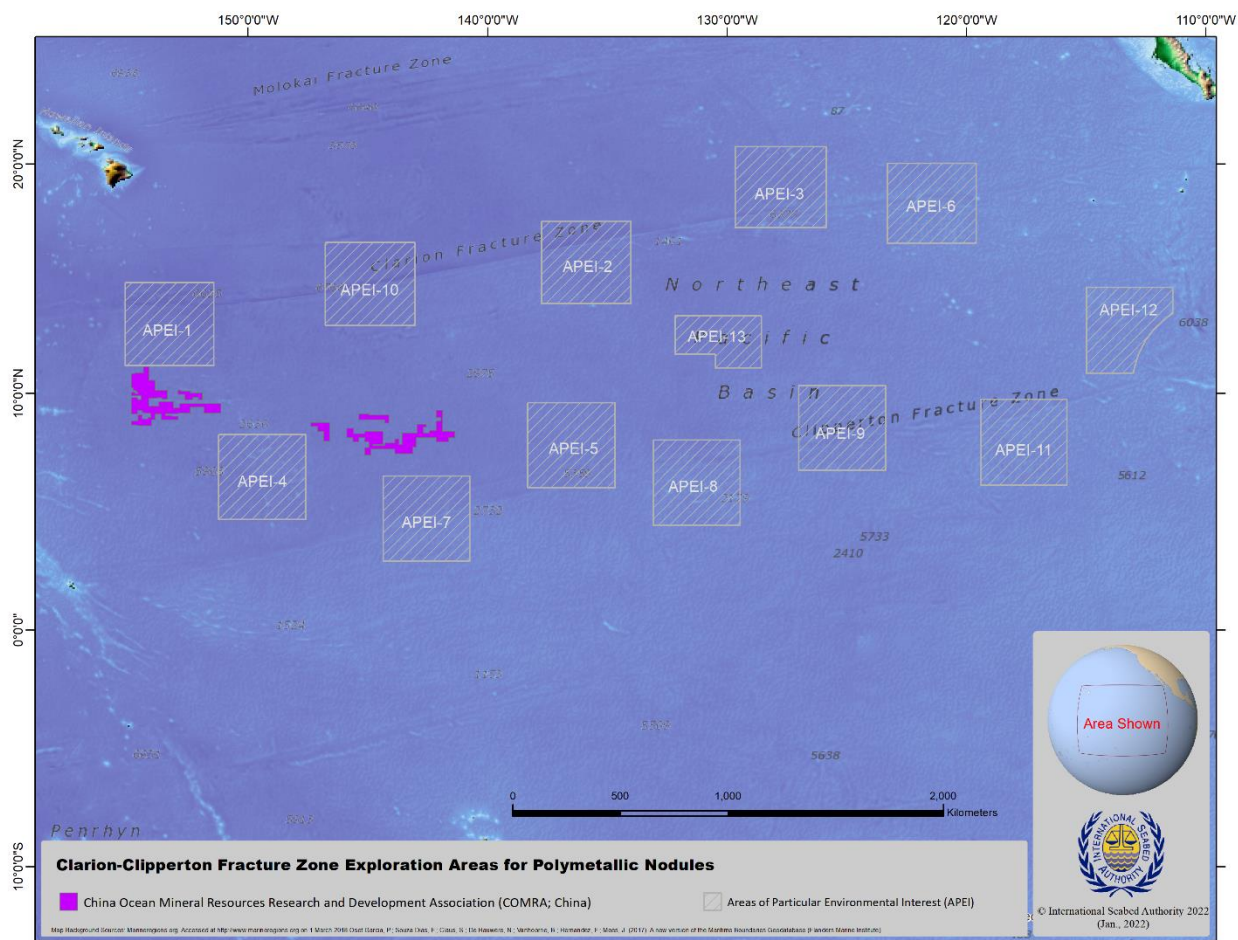


Рисунок 17 – Расположение разведочного района COMRA (China Ocean Mineral Resources Research and Development Association, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/index.php/map/china-ocean-mineral-resources-research-and-development-association>)

За это время контрактор провел исследования всех фоновых характеристик среды (включая изучение осадков, биотурбации, седиментации и характеристик поровых вод).

Кроме этого, контрактор проводил работы по изучению участков особого экологического интереса.

В настоящее время ведется подробное изучение фоновых экологических характеристик участка, выбранного под опытную добычу.

Подход контрактора отличается применением разнообразного научного оборудования и широкого спектра методов исследований (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

11. Федеральный институт наук о Земле и природных ресурсах (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)), Федеративная Республика Германия

Контракт на разведку ЖМК заключен в 2006 году. За это время проведено 10 научно-исследовательских рейсов.

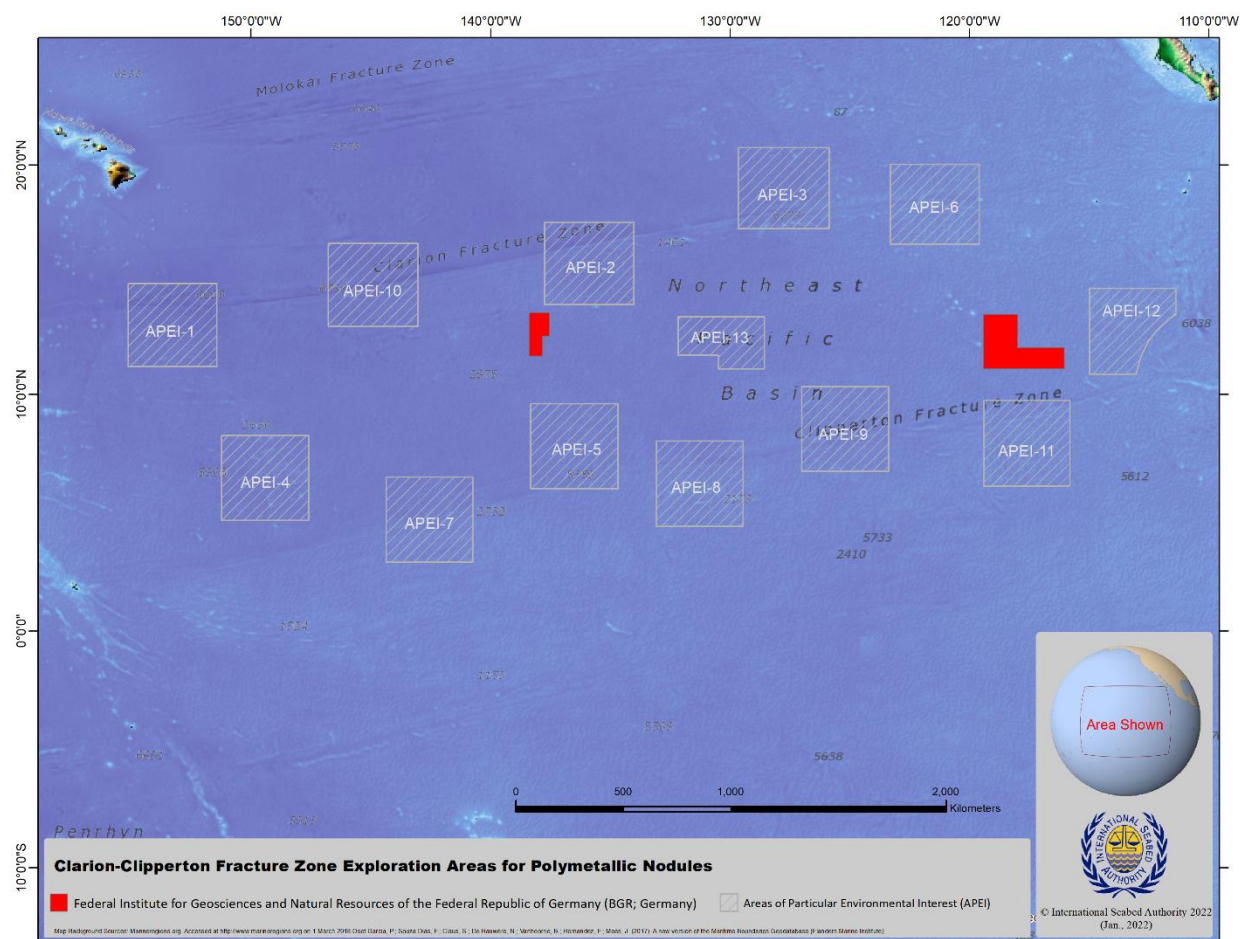


Рисунок 18 – Расположение разведочного района BGR (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources of Germany, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/index.php/map/federal-institute-geosciences-and-natural-resources-germany>)

Благодаря применению новейших методов исследования и точному соблюдению Рекомендаций МОМД, контрактору удалось собрать данные о всех фоновых характеристиках окружающей среды, включая процессы биотурбации, седиментации, химический состав осадков и поровых вод (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

Также контрактор имеет опыт проведения долгосрочного фонового экологического мониторинга и оценки воздействия на окружающую среду в рамках множества проектов (MIDAS, JPI Oceans, DISCOL).

Большим успехом в работе контрактора стали совместные с бельгийским контрактором испытания предпрототипа добычного коллектора Patania II в 2021 году, в рамках которого до, во время и после испытаний проводился непрерывный мониторинг

состояния морской среды, а в настоящее время выполняется оценка воздействия на окружающую среду. Также подрядчиком проводится серия натурных экспериментов по движению органического вещества через пищевую цепь в морской среде. Подробнее про испытания *Patania II* будет раскрыто в следующей главе.

По результатам вышеописанных проведенных работ немецкого подрядчика можно назвать образцовым. Четкое выполнение поставленных задач и требований со стороны МОМД позволили ему выполнить все экологические исследования за небольшой срок, что пока удалось не каждому подрядчику.

12. Компания Global Sea Mineral Resources (GSR), Королевство Бельгия

Подрядчик ведет разведочные работы с 2013 года и за это время выполнил четыре научно-исследовательских рейса.

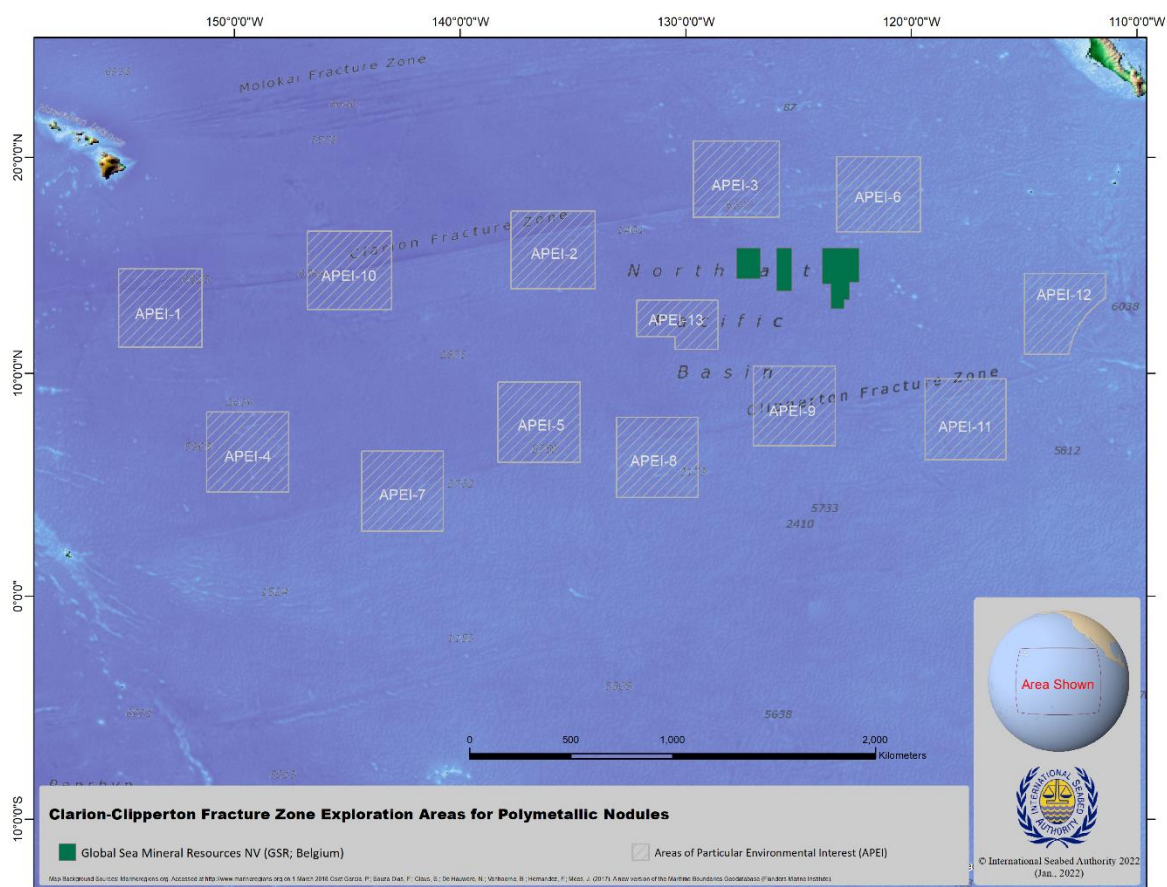


Рисунок 19– Расположение разведочного района компании GSR (Global Sea Mineral Resources NV, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/index.php/map/global-sea-mineral-resources-nv>)

Несмотря на малый период деятельности в контрактном районе и небольшое количество научно-исследовательских рейсов, подрядчик собрал достаточный уровень фоновых экологических данных для подготовки заключения о воздействии испытаний прототипа добычного коллектора *Patania II* и проведения экологического мониторинга

состояния морской среды в рамках указанных испытаний (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

Как и немецкий контрактор, бельгийский имеет опыт проведения оценки воздействия на окружающую среду, а также опыт проведения экспериментов – PLUMEX (эксперимент по созданию плюма взвешенных частиц осадка и изучению его распространения в Калифорнийском заливе, проводимым Массачусетским технологическим институтом, Институтом океанографии Скриппса Университета Калифорнии и МОМД, проведенный в 2018 году).

13. Компания Cook Islands Investment Corporation, Острова Кука

Контракт с МОМД заключен в 2016 году. Пока проведен только один научно-исследовательский рейс, где были собраны данные о физической океанографии, некоторых свойствах осадков, геологическом строении дна, а также о распространении мегафауны (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

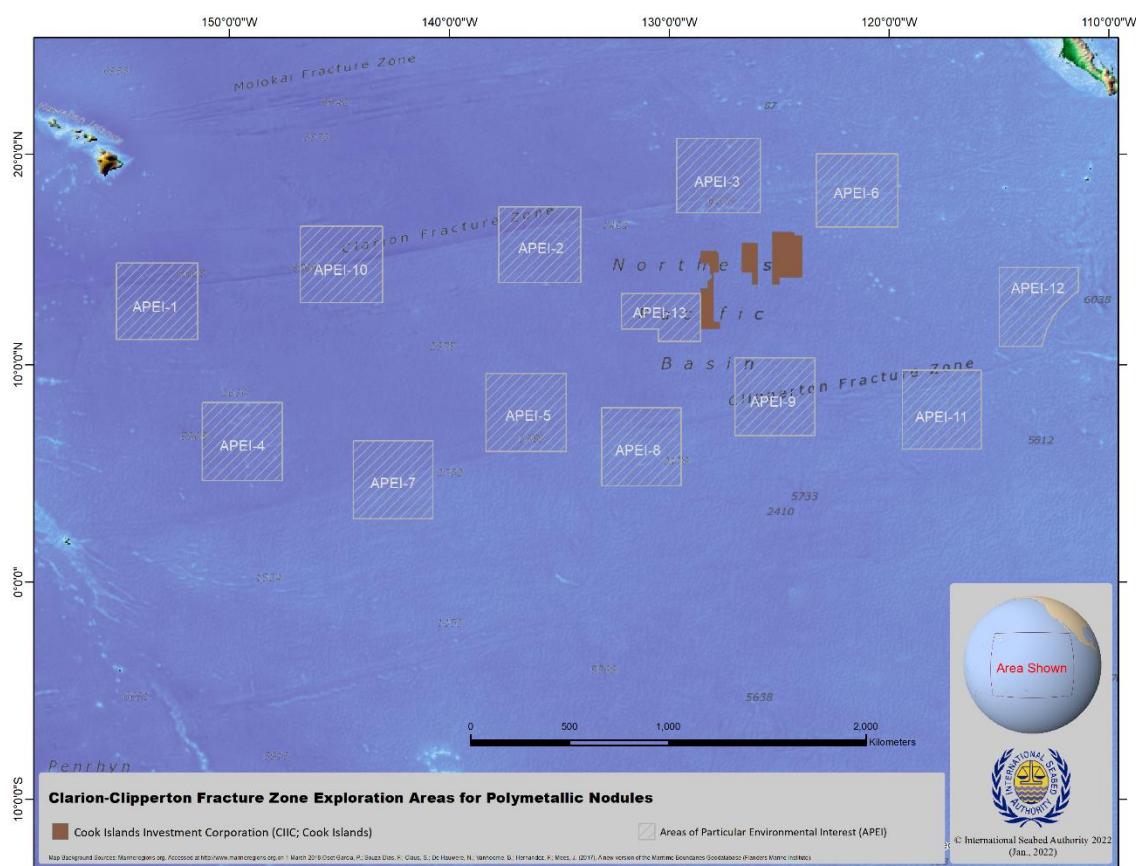


Рисунок 20– Расположение разведочного района компании Cook Islands Investment Corporation (Cook Islands Investment Corp., ISA / URL: <https://www.isa.org/jm/index.php/map/cook-islands-investment-corporation>)

14. Компания China Minmetals Corporation, Китайская Народная Республика

Компания заключила контракт с МОМД на разведку ЖМК в 2017 году.

За это время контрактор провел три научно-исследовательских рейса. Была изучена большая часть фоновых экологических характеристик (не исследовались только процессы

биотурбации). В дополнение к этому контрактор произвел сбор фоновых экологических данных в пределах одного из участков особого экологического интереса (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

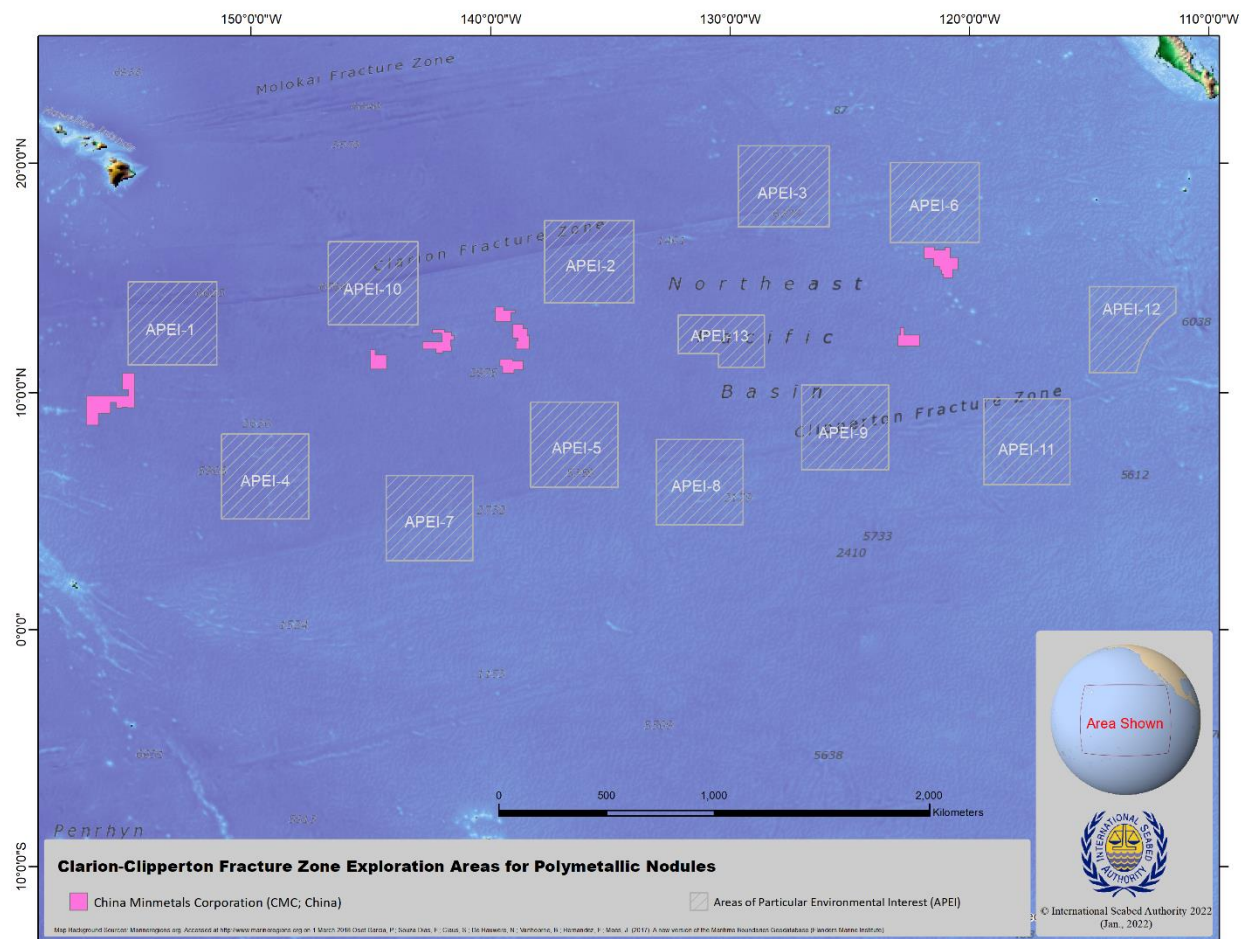


Рисунок 21– Расположение разведочного района компании China Minmetals Corporation (China Minmetals Corporation, ISA / URL: <https://www.isa.org.jm/index.php/map/china-minmetals-corporation>)

2.3 Фоновые экологические исследования и мониторинг: опыт российского контрактора

В качестве контрактора от Российской Федерации выступает Акционерное общество «Южморгеология», которое является предприятием холдинга «Росгеология». Контракт с МОМД на проведение поисково-разведочных работ был заключен 29 марта 2001 года.

В каждом экспедиционном периоде контрактором собираются данные о фоновом состоянии морской среды, но при этом работ, которые требуют оценки воздействия на окружающую среду, ещё не проводилось (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

В данный момент контрактор ведет фоновые экологические исследования в пределах эксплуатационных участков, предназначенных под предполагаемую разработку ЖМК (Отчет о научно-исследовательской..., 2021).

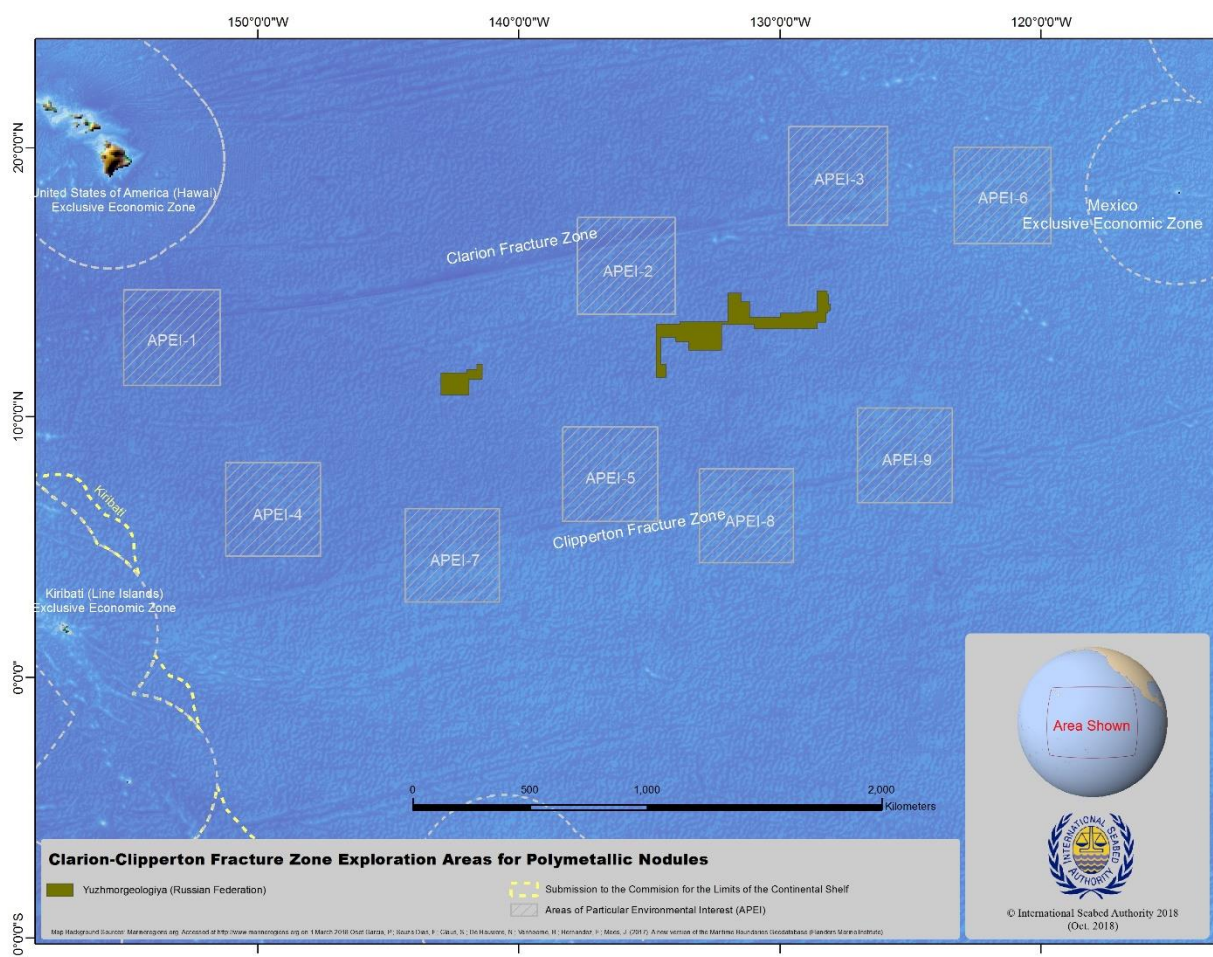


Рисунок 22 – Расположение разведочного района АО «Южморгеология» (Yuzhmorgeologiya, ISA / URL: <https://www.isa.org/jm/index.php/map/yuzhmorgeologiya>)

За время проведенных исследований собрано достаточно большой объем информации о фоновых экологических характеристиках Российского разведочного района, но при этом до сих пор не изучаются такие характеристики, как биотурбация, седиментация, некоторые группы биологических сообществ (фито- и зоопланктон, планктон, нектон, птицы и млекопитающие, микробиота и демерсальные падальщики), а химические параметры водной толщи, свойства осадков (включая химию поровых вод), скорость и направление придонных течений изучаются только последние несколько лет (и как следствие по данным параметрам собрано крайне мало данных).

Кроме того, собранная база данных об экологических характеристиках не охватывает всей пространственной и временной изменчивости фоновых показателей.

Существуют и другие проблемные моменты в работе контрактора:

- не производятся некоторые виды исследований, рекомендованных МОМД: контрактор не проводит генно-молекулярные исследования, не изучает характер потребления кислорода биологическими сообществами осадков;

- из-за недостатка финансирования и опытных ученых подрядчику не всегда удавалось вовремя провести биологические исследования за отчетный период деятельности;

- нет каких-либо положительных результатов в разработке добычных систем, и как следствие отсутствие проведения испытаний добычной техники, проведении экологического мониторинга в рамках испытаний и оценки воздействия на окружающую среду во время и после испытаний.

- для проведения научно-исследовательских рейсов используется НИС «Южморгеология», которое спущено на воду в 1985 году и характеристики которого во многом отстают от судов, используемых ведущими зарубежными подрядчиками.

У российских ученых есть опыт проведения экспериментов по изучению механического воздействия на поверхность дна и создания плюма взвешенных частиц (российско-американские эксперименты ВІЕ-I и ВІЕ-II). Этот эксперимент заключался в воздействии специальным устройством – дистербером на океаническое дно для создания плюма взвешенных частиц. Первый эксперимент ВІЕ-I проводился в 1991-1992 гг., но результаты изучения переотложений были неудовлетворительными. В 1993 году был проведен эксперимент ВІЕ-II (Отчет о научно-исследовательской..., 2021)

До начала эксперимента на рабочем полигоне произвели сбор данных о донных сообществах, физических и химических параметрах водной толщи и осадков для установления экологического фона. После этого была проведена серия буксировок дистербера по заранее намеченным профилям с нарушением поверхности дна на глубину более 5 см. В заключение эксперимента по истечении от нескольких месяцев до нескольких лет произвели картирование переотложенных осадков, выполнили химический и биологический пробоотбор в пределах нарушенной территории (Отчет о научно-исследовательской..., 2021)

На подготовительной стадии эксперимента были установлены седиментационные ловушки, предназначенные для улавливания взвешенных частиц для определения величины слоя переотложения и регистрации распространения плюма. По результатам исследования было выяснено, что переотложенный слой составлял от 0,03 до 0,21 мм, что было намного меньше, чем предполагалось, а также то, что основная часть осадка сбрасывалась прямо на месте нарушения, а тонкая фракция выносилась за пределы буксировки на небольшое расстояние.

Заключительный этап эксперимента ВІЕ-II был включен в деятельность по контракту ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» с МОМД за 2001 год. Через 7 лет после воздействия дистербера на поверхность дна был изучен состав бентических сообществ. Было выяснено,

что в пределах механически нарушенных зон восстановление изначального биоразнообразия происходило медленно и общая численность бентоса оставалась ниже, чем в пределах зон переотложения осадка (Годовой отчет..., 2001).

2.4 Выводы, полученные по результатам исследования отчетов подрядчиков

По результатам проведенного исследования информации, представленной в отчетах зарубежных подрядчиков, можно сделать выводы:

1) некоторые подрядчики добились значительных результатов в изучении фонового экологического состояния изучаемой территории благодаря проведению широкомасштабных исследований и применению наилучших доступных методов исследований. Образцовыми примерами здесь являются Китайская ассоциация по исследованию и разработке минеральных ресурсов океана, Федеральный институт наук о Земле и природных ресурсах Германии, бельгийская компания Global Sea Mineral Resources и компания NORI (Науру);

2) в отличие от российского подрядчика, несколько зарубежных подрядчиков в дополнение к изучению своих разведочных районов проводят изучение фонового состояния морской среды в пределах участков особого экологического интереса;

3) с другой стороны, есть подрядчики, которые за достаточно большое время не смогли собрать фоновые экологические данные для своих разведочных районов в достаточном количестве: остается проблема с изучением характеристик химического состава поровых вод, процессов биотурбации, седиментации, изучаются не все группы биологических сообществ (Корея, СО «ИНТРЕОКЕАНМЕТАЛЛ», IFREMER);

По результатам изучения фонового состояния морской среды, представленным в годовых отчетах российского подрядчика, можно сделать следующие выводы:

1) подрядчиком приобретён опыт проведения натуральных экспериментов по исследованию распространения седиментационных плюмов в водной толще (эксперименты ВЕ);

2) подрядчиком собрана обширная база данных по температуре, солености, мутности, давлению водной толщи, батиметрическим характеристикам дна, бентосной фауне (макрофауна, мегафауна, эпифауна конкреций).

3) несмотря на то, что контракт заключен в 2001 году, до сих пор не изучаются процессы биотурбации и седиментации, некоторые группы биологических сообществ (микробиота, планктон, ихтиофауна, демерсальные падальщики, млекопитающие), а химические параметры водной толщи и свойства осадков (включая химию поровых вод), скорость и направление придонных течений изучаются только последние несколько лет (и

как следствие по данным параметрам собрано крайне мало данных), практически не изучаются поверхностные течения и течения в промежуточной и глубинной структурных зонах;

4) контрактом не применяются рекомендованные МОРД генно-молекулярные исследования;

5) полученные фоновые экологические данные не охватывают их пространственную и временную изменчивость.

3 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕХОДА ОТ РАЗВЕДКИ К РАЗРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ В ПРОВИНЦИИ КЛАРИОН-КЛИППЕРТОН

3.1 Результаты испытаний добычной техники и анализ воздействия будущей разработки на окружающую среду

Для отработки технологии добычи ЖМК и определения характера воздействия на окружающую среду проводятся испытания добычных систем, сопровождающиеся экологическим мониторингом.

Чем больше степень изученности фоновых экологических характеристик, тем больше контрактор готов к проведению экологического мониторинга при испытании добычных систем и дальнейшей оценке воздействия на окружающую среду.

В настоящее время испытания добычных систем проводятся компанией Global Sea Mineral Resources (GSR) и Федеральным институтом наук о Земле и природных ресурсов Германии (BGR).

Компанией GSR был разработан и построен предпрототип сборщика конкреций Patania II, представляющего собой коллектор на гусеничном ходу с закрепленными на борту датчиками мониторинга состояния окружающей среды (De Bruyne, 2022).



Рисунок 23 – Общий вид предпрототипа коллектора для сбора конкреций Patania II (<https://deme-gsr.com/>)

Компания совместно с BGR провела испытания предпрототипа в апреле-мае 2021 года в бельгийском и немецком контрактных районах. Испытания проходили в течение 30 дней (16 дней в пределах контрактного района GSR, 14 – в пределах контрактного района

BGR). Испытания включали в себя опробование технологии сбора конкреций и тестирование системы мониторинга распространения седиментационного плюма, образующегося при механическом воздействии на верхний слой осадка. До, во время и после активной стадии эксперимента проводился непрерывный экологический мониторинг (MiningImpact. Environmental Impacts & Risks of Deep-Sea Mining).

В результате были получены данные о распространении седиментационного плюма, показывающие, что при снятии от 4 до 8 см поверхностного слоя образующийся плюм не поднимается выше 5–10 м над дном. Слой переотложения непосредственно на участке испытаний составляет 2–3 см, а на расстоянии 1000 м от участка испытаний переотложенного осадка уже не наблюдается. Также была измерена скорость распространения плюма придонными течениями – в низких концентрациях взвешенные частицы осадка переносятся за 24 часа на расстояние 4 километра (MiningImpact. Environmental Impacts & Risks of Deep-Sea Mining).

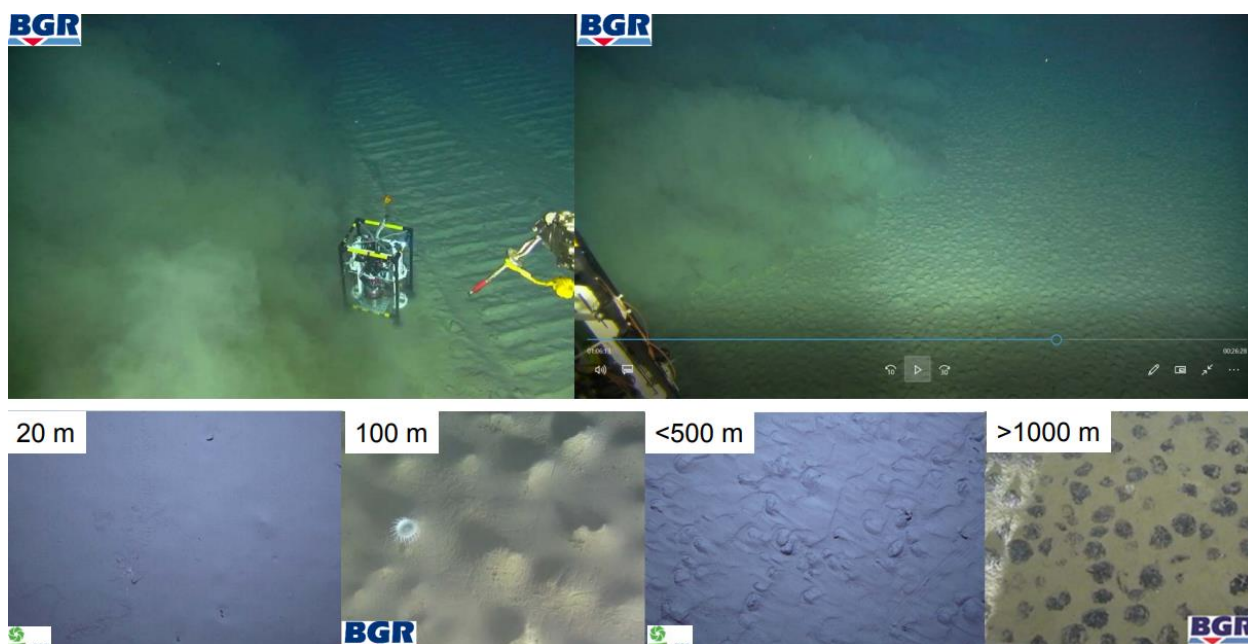


Рисунок 24 – Кадры, полученные во время испытаний прототипа коллектора Patania II (вверху – образование седиментационного плюма за коллектором, внизу – фотографии, показывающие мощность переотложенного осадка в зависимости от расстояния до участка испытаний).

URL: <https://miningimpact.geomar.de/events>).

3.2 Проблемы перехода от разведки к разработке и рекомендации по их решению

В настоящее время, несмотря на проведенные подрядчиками работы, существует ряд проблем, откладывающих начало масштабной разработки залежей ЖМК.

Одна из самых серьезных проблем – наличие существенных различий в полноте изученности подрядчиками фоновых экологических характеристик в пределах своих

контрактных районов. Из-за этого невозможно построить общую картину фонового экологического состояния морской среды для всей провинции. Причинами появления этой проблемы являются различия в темпах исследований у подрядчиков. Каждый подрядчик проводил экологические исследования в зависимости от своих возможностей. Как следствие, наблюдается и различный объем результатов, полученных за научно-исследовательские рейсы, и длительное отсутствие рейсов. Для решения данной проблемы необходимо продолжить работы по стандартизации методов исследования фоновых характеристик среды, разработать единую систему сбора фоновых экологических данных, ужесточить Рекомендации подрядчикам до четких требований по исследованию контрактных районов, за невыполнение которых возможно наложение санкций.

Большая проблема будущей разработки – образование плюма взвешенных частиц осадка в результате нарушения морского дна. Расстояния, на которые могут переноситься такие плюмы (и затем переотлагаться, создавая слой, захоранивающий бентическую биоту), пока до конца не ясны (и данных экспериментов (ВІЕ, Ратаіа ІІ) не достаточно для их окончательной оценки). В этой связи подрядчикам необходимо разрабатывать добычную технику, позволяющую минимализировать образование плюма.

До сих пор не понятно влияние добычной техники на весь комплекс фоновых экологических характеристик. Все проведенные эксперименты по влиянию будущей разработки на окружающую среду носили локальный характер: это либо исследования распространения седиментационного плюма и переотложения взвешенного осадка, либо изучение влияния разработки на биологические сообщества и т.д. Будущая разработка железомарганцевых конкреций в провинции Кларион-Клиппертон будет иметь более масштабное воздействие на окружающую среду, поэтому необходимо проведение комплексных экспериментов с мониторингом воздействия на все компоненты окружающей среды.

Для обеспечения эффективного фонового экологического мониторинга при будущей разработке ЖМК на дне океана нужно учитывать множество параметров одновременно: следить за изменениями фоновых характеристик физических и химических свойств морской среды, знать химический состав осадков и поровых вод, изучить максимально возможное количество биологических сообществ, которые будут затронуты разработкой ЖМК, проанализировать процессы биотурбации и седиментации. Поэтому стоит острая необходимость в создании систем постоянного мониторинга фоновых характеристик и системы предупреждения чрезвычайных экологических ситуаций. Также нужна разработка мер по рекультивации возможных чрезвычайных происшествий. А со стороны МОМД –

создание единой системы сбора информации об экологическом мониторинге всей провинции Кларион-Клиппертон.

Существует прямая связь численности биоразнообразия с размерами конкреционного поля. Поэтому при разработке высокопродуктивных залежей ЖМК будет уничтожаться соизмеримое число биологических видов. При этом удаление конкреций с морского дна лишит местообитания многих бентосных организмов, что приведет к существенному снижению биоразнообразия провинции Кларион-Клиппертон. Для того чтобы не допустить массового уничтожения биологических сообществ, нужно отдать предпочтение такой технологии добычи, которая не ставит в приоритет полную разработку залежей ЖМК. Для поддержания биоразнообразия нужно оставлять нетронутые участки залежей.

По результатам эксперимента ВЕ был сделан вывод, что биоразнообразие на нарушенных участках морского дна восстанавливается очень длительное время. При будущей разработке есть риск растянуть восстановление экосистем на более длительный срок из-за большего масштаба нарушений осадочного слоя. Чтобы не допустить этого, нужно провести исследования по реколонизации биологических сообществ из участков особого экологического интереса и заповедных полигонов, создаваемых подрядчиками внутри своих разведочных районов.

Российским подрядчиком до сих пор не изучаются процессы биотурбации и седиментации, некоторые группы биологических сообществ (микробиота, планктон, икhtiофауна, демерсальные рыбы, млекопитающие), собрано слишком мало достоверных данных по течениям (изучаются только придонные и только последние несколько лет). В свою очередь уже собранная база данных не охватывает пространственную и временную изменчивость фоновых экологических характеристик морской среды. В связи с этим подрядчику не получится провести оценку потенциального воздействия на окружающую среду будущих добычных испытаний и разработки. В дополнение ко всему сказанному подрядчиком не ведется разработка добычных систем. Поэтому в настоящее время подрядчик не готов к проведению добычных испытаний. Для решения данных проблем необходимо увеличить темпы исследований малоизученных фоновых экологических характеристик, а также провести повторные исследования на участках, где фоновые экологические характеристики уже получены, для установления характера их естественной изменчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологоразведочные работы и испытания добычной техники на дне океана и находятся под серьезным экологическим контролем для минимизации потенциального вреда окружающей среде. Чтобы не допустить загрязнения океана и снижения биоразнообразия, нужно контролировать фоновые экологические характеристики морской среды.

В ходе работы над магистерской диссертацией была дана характеристика экологического состояния конкрециеносной провинции Кларион-Клиппертон, необходимая для проведения экологического мониторинга при освоении железомарганцевых конкреций и выяснено, что для проведения качественной оценки фонового состояния окружающей среды необходимо учитывать данные о физических и химических характеристиках водной толщи, физическом и химическом составе донных осадков, химическом составе поровых вод осадка, знать состав биологических сообществ. Также были проанализированы данные о биологических сообществах провинции и сделан вывод, что данная территория обладает высоким биоразнообразием, которое подвергнется негативному воздействию при будущей разработке.

Деятельность подрядчиков по освоению глубоководных полезных ископаемых регулируется Конвенцией ООН по морскому праву, а также нормативными правовыми документами, разрабатываемыми Международным органом по морскому дну (Правила поиска и разведки, рекомендации, проект Правил разработки). Для поддержания биоразнообразия МОМД в рамках Плана экологического обустройства зоны Кларион-Клиппертон организовал участки особого экологического интереса.

Был сделан обзор отчетов, содержащих данные об экологических работах подрядчиков, ведущих деятельность в провинции, который показал, что некоторые зарубежные подрядчики максимально изучили фоновые экологические характеристики своих контрактных районов и готовы к проведению испытаний добычной техники. Российский подрядчик, несмотря на продолжительный срок действия контракта и собранный за это время материал, отстает от своих коллег как в изучении фоновых экологических характеристик своего района, так и в разработке добычного оборудования.

Были рассмотрены результаты экспериментов по воздействию добычной техники на морскую среду, показавшие, что толщина переотложенного слоя частиц осадка негативно влияет на жизнедеятельность бентосной фауны (например, губки, актинии, полихеты, голотурии), захоранивая их и ограничивая доступ к питательным веществам придонного слоя воды. Вместе с конкрециями изымается большое количество прикрепленной фауны, а

разрушение верхнего слоя осадка при сборе конкреций, в свою очередь, лишает биоту, живущую на осадках (морские звезды, голотурии и др.) среды для питания.

Были выявлены проблемы, существующие на данный момент:

- неравномерная изученность фоновых экологических характеристик провинции Кларион-Клиппертон из-за различий в темпах исследований в пределах контрактных участков;

- большая проблема будущей разработки – образование плюма взвешенных частиц осадка в результате нарушения морского дна и в результате сброса отработанных вод с борта судна;

- все проведенные эксперименты носили только локальный характер и не учитывали комплексного изменения фоновых экологических характеристик;

- для обеспечения эффективного экологического мониторинга при будущей разработке ЖМК на дне океана стоит проблема учета множества параметров одновременно;

- при разработке высокопродуктивных залежей ЖМК будет уничтожаться соизмеримое число биологических видов;

- по результатам эксперимента ВЕ был сделан вывод, что биоразнообразие на нарушенных участках морского дна восстанавливается очень длительное время;

- российским контрактором до сих пор не изучаются процессы биотурбации и седиментации, целый ряд групп биологических сообществ, собрано слишком мало достоверных данных по течениям, а собранная база данных не выражает из пространственную и временную изменчивость.

Для решения выявленных проблем были предложены рекомендации.

Контракторам – разрабатывать добычную технику, которая бы снижала риск возникновения плюма взвешенных частиц, проводить комплексные испытания добычной техники с целью исследования влияния процесса добычи на все фоновые экологические характеристики одновременно, продолжить разработку систем экологического мониторинга, в том числе позволяющих отслеживать изменения фонового состояния морской среды дистанционно в режиме реального времени, не допускать полную разработку залежей ЖМК в целях поддержания биоразнообразия, провести исследования по реколонизации биологических сообществ из участков особого экологического интереса и заповедных полигонов, разработать меры по смягчению последствий возможных чрезвычайных происшествий.

Для российского контрактора –увеличить темпы исследований малоизученных фоновых экологических характеристик, а также провести повторные исследования на

участках, где фоновые экологические характеристики уже получены, для установления характера их естественной временной изменчивости.

Международному органу по морскому дну: ужесточить Рекомендации контракторам до четких требований по исследованию контрактных районов, за невыполнение которых возможно наложение санкций, создать единую систему сбора информации об экологическом мониторинге всей провинции Кларион-Клиппертон.

Выводы по проделанной работе:

1) существует множество проблем для перехода от разведки к разработке железомарганцевых конкреций в провинции Кларион-Клиппертон. Одна из важнейших проблем – экологическая, которая в настоящий момент активно решается;

2) на данном этапе наблюдается неравномерная изученность всей провинции Кларион-Клиппертон из-за различий в темпах исследований в пределах контрактных участков;

3) некоторым контракторам удалось достичь успехов как в изучении фоновых экологических характеристик, так и в разработке мер по проведению экологического мониторинга, оценки воздействия на окружающую среду и разработке добычных систем;

4) российский контрактор отстает от ряда зарубежных контракторов по степени изученности фоновых экологических характеристик и не готов к проведению добычных испытаний ни с технологической, ни с экологической точек зрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ann Vanreusel, Ana Hilário, Pedro A. Ribeiro, Lenaick Menot, Pedro Martinez Arbizu. Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Scientific Reports* 6(1), 2016. DOI:10.1038/srep26808;
2. Chen Jianlin, Zhang Fusheng, Bian Lizeng et al. Ultra-microbes are the constructor of multimetallic nodules of the ocean floor // *Chinese Science Bulletin* (in Chinese). 1997. V. 42 (4). P. 377;
3. Church, M.J., Wear, E.K., Orcutt, B.N., Young, C.R., Smith, J.M. Taxonomic diversity of Bacteria and Archaea in the Clarion-Clipperton Zone of the North Pacific. *Ocean Deep CCZ Biodiversity Synthesis Workshop*. Friday Harbor, Washington, USA, 1-4 October 2019;
4. Cook, H. E. North American stratigraphic principles as applied to deep-sea sediments // *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*. 1975. Vol. 59. №5. P. 817 – 837;
5. George D. F. Wilson. Macrofauna abundance, species diversity and turnover at three sites in the Clipperton-Clarion Fracture Zone. *Mar Biodiv* (2017) 47:323–347 DOI 10.1007/s12526-016-0609-8;
6. Hein, J.R., Koschinsky, A., 2013. In: *Deep-Ocean Ferromanganese Crusts and Nodules*, 2nd ed, *Treatise on Geochemistry*, second ed. Elsevier Inc.. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01111-6>;
7. Kris De Bruyne. Patania II trial: GSR update. A precautionary approach to developing seafloor nodule collector technology, 2022. URL: https://miningimpact.geomar.de/documents/1082101/1461089/MI2_Feb2022_De_Bruyne_GSR_SE_V2.pdf/b92164c1-d6aa-4f6e-a53e-e030fc0c3517;
8. Magnetic lineation of the World's Ocean basins // *Map of the Lamont-Dorethy Geological Observatory of Columbia University AAPG*. 1989;
9. MiningImpact. Environmental Impacts & Risks of Deep-Sea Mining, 2022. URL: https://miningimpact.geomar.de/documents/1082101/1463518/MI2_Feb2022_MH_SE.pdf/84066dac-13f8-4c63-ba94-aa6d1bc3e3cf;
10. Ocean Drilling Program. Leg 199. 2001.
11. Rob P. Harbour¹, Astrid B. Leitner, Carsten Ruehlemann, Annemiek Vink and Andrew K. Sweetman. Benthic and Demersal Scavenger Biodiversity in the Eastern End of the Clarion-Clipperton Zone – An Area Marked for Polymetallic Nodule Mining. *Front. Mar. Sci.*, 30 June 2020. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00458>;

12. Uhlenkott, K.; Vink, A.; Kuhn, T.; Gillard, B.; Martínez Arbizu, P. Meiofauna in a Potential Deep-Sea Mining Area—Influence of Temporal and Spatial Variability on Small-Scale Abundance Models. *Diversity* 2021, 13, 3. <https://dx.doi.org/10.3390/d13010003>;
13. Van Andel, T. H., Heath, G. R. Geological results of Leg 16 The Central Equator Pacific West of the East Pacific Rise // *Jnit. Rep. Deep-Sea Drill. Proj. Washington*. 1973. Vol. 16. P. 937 – 949;
14. Washburn TW, Menot L, Bonifácio P, Pape E, Błazewicz M, Bribiesca-Contreras G, Dahlgren TG, Fukushima T, Glover AG, Ju SJ, Kaiser S, Yu OH and Smith CR (2021) Patterns of Macrofaunal Biodiversity Across the Clarion-Clipperton Zone: An Area Targeted for Seabed Mining. *Front. Mar. Sci.* 8:626571. doi: 10.3389/fmars.2021.626571;
15. Авдонин, В. В., Кругляков, В. В., Лыгина, Т. И., Мельников, М. Е., Сергеева, Н.Е. Оксидные железомарганцевые руды океана: генетическая интерпретация текстур и структур. (отв. ред. В. В. Авдонин) – Москва: ГЕОС, 2014. 163 с. ISBN 978-5-89118-656-9;
16. Авдонин, В. В., Мельников, М. Е., Сергеева, Н. Е. О природе железомарганцевых оксидных руд Мирового океана // *Изв. ВУЗов. Геология и разведка*. 2002. №4. С. 20 – 26;
17. Андреев, С. И. Металлогения железомарганцевых образований Тихого океана. СПб: Недра, 1994. 191 с;
18. Атлас океанов. Тихий океан. Л.: Изд-во ГУНиО МО СССР, 1974. 302 с.;
19. Батурин, Г. Н. Геохимия железомарганцевых конкреций океана. М.: Наука, 1986. 325 с;
20. Годовой отчет контрактора «Южморгеология» Международному органу по морскому дну о выполнении программы деятельности в 2001 году (в соответствии с контрактом на разведку полиметаллических конкреций между Международным органом по морскому дну и контрактором «Южморгеология»)
21. Годовой отчет контрактора «Южморгеология» Международному органу по морскому дну о выполнении программы деятельности в 2021 году (в соответствии с контрактом на разведку полиметаллических конкреций между Международным органом по морскому дну и контрактором «Южморгеология»);
22. Инженерная геология рудной провинции Клариион – Клиппертон в Тихом океане/Я. В. Неизвестнов, А. В. Кондратенко, С. А. Козлов и др. Тр. ВНИИОкеангеологии М-ва природн. ресурсов РФ и РАН; Т. 197. – СПб.: Наука, 2004. – 281 с. ISBN 5-02-024979-3;

23. Информация, сопровождающая просьбу подрядчика АО «Южморгеология» (Российская Федерация) о продлении его контракта на разведку полиметаллических конкреций на пятилетний период по 28 марта 2026 года. АО «Южморгеология, 2021. 61 с;
24. Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву. Официальный сайт ООН [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.un.org/ru/law/lawsea/convention.shtml> (Дата обращения: 10.04.2022);
25. Кругляков В. В., Мельников М. Е., Пономарева И. Н. Биологические факторы при формировании оксидных океанических руд // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 2000. №5. С. 52 – 58;
26. Кругляков В. В., Пономарева И. Н. Проблемы освоения железомарганцевых конкреций // Вестн. МГУ. Сер. 4: Геология. 2001. №1. С. 65–69;
27. Отчет о научно-исследовательской работе «Подготовить научно-обоснованные предложения по организации государственного управления, регулирования и координации разведки и добычи месторождений стратегических видов минерального сырья дна Мирового океана по теме: «Научные исследования в области современных тенденций освоения месторождений стратегических видов минерального сырья дна Мирового океана и подготовка научно-обоснованных предложений по организации государственного управления, регулирования и координации их разведки и добычи» (заключительный, этап 2) в соответствии с Государственным контрактом на выполнение научно-исследовательской работы от 18.11.2020 № 0173100011320000015 и Дополнительными соглашениями от 16.02.2021 № 0173100011320000015-1, от 21.05.2021 № 0173100011320000015-2 и от 28.10.2021 № 0173100011320000015-3», ФГБУ «ВНИИОкеангеология», отв. исп. Ермакова Л.А., 2021;
28. Официальный сайт компании Global Sea Mineral Resources [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://deme-gsr.com/> (Дата обращения 09.05.2022);
29. Панфилова С. Г., Галеркин Л. И., Кутько В. П., Моисеев Л. К., Олейников С. А., Степанов В. Н., Щербинин А. Д., Климатическая изменчивость солености воды северной части Тихого океана. М.: Гидрометеиздат, 1981. 212 с.;
30. План экологического обустройства для зоны Кларион-Клиппертон (ISBA/17/LTC/7). Официальный сайт Международного органа по морскому дну [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.isa.org.jm/documents/isba17l7c7> (Дата обращения 10.04.2022);
31. Правила поиска и разведки полиметаллических конкреций в Международном районе морского дна (ISBA/19/C/17, в ред. 2013 г.). Официальный сайт Международного

органа по морскому дну [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://isa.org.jm/node/19270> (Дата обращения 10.04.2022);

32. Проект правил разработки минеральных ресурсов в Районе (ISBA/25/C/WR.1). Официальный сайт Международного органа по морскому дну [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.isa.org.jm/node/19311> (Дата обращения 11.05.2022);

33. Результаты океанографических исследований в восточной части тропической зоны Тихого океана / Под ред. В. А. Рожкова, А. Ф. Ляшенко. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 293 с.

34. Руководящие рекомендации контракторам по оценке возможного экологического воздействия разведки морских полезных ископаемых в Районе (ISBA/25/LTC/6/Rev.1). Официальный сайт Международного органа по морскому дну [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://isa.org.jm/node/19270> (Дата обращения 10.04.2022);

35. Савенко, В. С. Физико-химический анализ процессов формирования железомарганцевых конкреций в океане. М.: ГЕОС, 2004. 156 с;

36. Юбко, В. М., Голева, Р. В., Мельников, М. Е., Коноплева, Е. В. Минералы кобальта в океанических железомарганцевых корках и конкрециях // ДАН. 2002. Т. 384. №6. С. 1 – 4.

37. Шаповалов С. М., Меланхолина Е. Н. и др. ТИХИЙ ОКЕАН // Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2017); <https://bigenc.ru/geography/text/4193673> Дата обращения: 14.05.2022;

38. Абдурахманов Г. М. Тропический регион: Индо-Пацифическая область // Основы зоологии и зоогеографии: Учеб. для студентов высш. пед. учеб. заведений, обучающихся по специальности «Биология», «География», «Педагогика и методика нач. образования» / Г. М. Абдурахманов, И. К. Лопатин, Ш. И. Исмаилов. — М.: Академия, 2001. — 496 с. — ISBN 5-7695-0625-3;