

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И БИОРЕСУРСЫ ГЛУБОКОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

© 2023 г. А. В. Адрианов^{a,b,*}, В. В. Мордухович^{a,c,**}

^aНациональный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

^bМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^cДальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

*E-mail: avadr@mail.ru

**E-mail: vvmara@mail.ru

Поступила в редакцию 01.08.2023 г.

После доработки 07.08.2023 г.

Принята к публикации 15.08.2023 г.

В статье рассматриваются современные проблемы изучения биоразнообразия и биоресурсов Мирового океана, а также задачи инвентаризации биоразнообразия и биоресурсов океанских глубин. Приводятся данные по результатам серии глубоководных экспедиций ННЦМБ ДВО РАН по оценке биоразнообразия в наиболее глубоководных районах дальневосточных морей и прилегающих акваторий северо-западной части Тихого океана. Рассматриваются результаты экспедиционных работ консорциума научных организаций в рамках комплексного проекта РАН «Фундаментальные проблемы изучения и сохранения глубоководных экосистем в потенциально рудоносных районах северо-западной части Тихого океана» (проект № 3.1902.21.0012). Приводится описание ряда уникальных глубоководных экосистем в местах залегания ценных минеральных ресурсов на морском дне и районах активного рыболовства. Рассматриваются возможности сохранения этих экосистем путём ограничения применений технических средств, травмирующих донные ландшафты, а также придания им природоохранного статуса.

Ключевые слова: морское биоразнообразие, биоресурсы, минеральные ресурсы, глубоководная добыча, глубоководные экосистемы, глубоководные ландшафты, глубоководные охраняемые районы.

DOI: 10.31857/S0869587323090025, EDN: IEXWUK



АДРИАНОВ Андрей Владимирович — академик РАН, научный руководитель (президент) ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН; профессор МГУ им. М.В. Ломоносова. МОРДУХОВИЧ Владимир Владимирович — кандидат биологических наук, заместитель директора по науке ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, доцент ДФВУ.

Мировой океан, занимающий 71% поверхности нашей планеты, при средней глубине около 3700 м представляет собой колоссальный объём жизненного пространства, на два порядка превышающий объём жизненного пространства на суше, жизнь наполняет его от поверхности до максимальных глубин. Однако глубины океана остаются слабоизученными даже по сравнению с ближайшим космосом, где уже побывало на порядок больше космонавтов и туристов, чем пилотов и учёных, спускавшихся глубже 6 км. До сих пор сохраняются представления, в соответствии с которыми биоразнообразие на суше в части видового богатства на порядок больше такового в морской среде [1, 2], а биомасса биоты в наземных экосистемах почти на два порядка превышает биомассу морских организмов (~6 Гт С) [3]. За исключением филогенетического (макротаксономического) уровня, такие диспропорции отмечают-

ся и при сравнении всех других уровней биоразнообразия — от генетического до экосистемного (при широком понимании этого термина, подразумевающего *все* основанные на наследственности вариации на *всех* уровнях организации живой материи) [4]. Однако новые данные позволяют усомниться в верности подобных утверждений.

В последние годы благодаря развитию подводной робототехники и технологий отбора донных проб глубоководные исследования Мирового океана динамично развиваются. Комплексное изучение биологического разнообразия в глубоководье привело к интереснейшим открытиям, заставляющим существенно пересмотреть наши представления о количественном и качественном составе глубоководной биоты. Повышенное биологическое разнообразие обнаружено на континентальных склонах, абиссальных равнинах, в глубоководных желобах, описываются многие сотни новых видов из самых разных таксонов морской биоты, происходящих из этих зон.

Пересматриваются представления и о биоресурсах Мирового океана. В течение последнего десятилетия за счёт использования новых технологий практически на порядок выросла оценка реальной биомассы мезопелагических рыб — до 11–19 млрд т [5–8]. Открыты удивительные особенности биологии этих глубоководных рыб, например, их сверхчувствительное зрение [9]. Такие рыбы, составляющие по биомассе до 90% всех рыб в Мировом океане, при внедрении соответствующих технологий добычи и переработки, только при изъятии 1% их биомассы могут увеличить ежегодный объём рыбопродукции до 200 млн т, в то время как на протяжении двух последних десятилетий общий ежегодный вылов всех водных биоресурсов стабилизировался на уровне 90–96 млн т в год [10]. Пересматриваются и оценки возможной биомассы зоопланктона. Так, биомасса мезопелагических и батипелагических глубоководных креветок может составить порядка 1.7 млрд т [11].

Помимо потенциальных источников высококачественной белковой продукции, глубоководные экосистемы привлекают особое внимание как гигантский резервуар уникальных лекарственных молекул с высоким химическим разнообразием [12]. Глубоководные организмы адаптировали свои биохимические механизмы для выживания в экстремальных условиях, они обладают большим потенциалом индукции первичных и вторичных метаболических путей для создания структурно уникальных метаболитов. Показано, что около 76% всех соединений, выделенных из глубоководных объектов, обладают биологической активностью, причём почти половина из них проявляет цитотоксичность в отношении ряда линий раковых клеток человека, а часть соеди-

нений демонстрирует выраженную антипролиферативную и антимикробную активность [12, 13].

В глубинах Мирового океана сосредоточены гигантские минеральные и энергетические ресурсы. Согласно экспертным оценкам, на его дне сосредоточено до 70% запасов нефти (60% на шельфе, 40% на континентальном склоне). Здесь присутствуют огромные запасы “топлива будущего” — газогидратов (~5–15 трлн м³), вдвое превышающие общемировые запасы всех традиционных видов топлива [14]. Минеральные ресурсы многих наименований также кратно превышают ресурсы суши. Особый интерес с ресурсной точки зрения представляют железо-марганцевые конкреции (ЖМК), встречающиеся на поверхности бескрайних абиссальных равнин; кобальтоносные марганцевые корки (КМК), залегающие на склонах подводных гор и гайотов; глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС), встречающиеся в зонах гидротермальной активности в районах островных дуг и срединно-океанических хребтов [14]. Да и сама морская вода, содержащая более 70 химических элементов и около 50×10^{15} т солей, — перспективный ресурс для химической промышленности будущего [14, 15].

Биологические, минеральные и энергетические ресурсы Мирового океана всё чаще рассматриваются в качестве определяющего фактора будущего устойчивого развития нашей цивилизации. При их рациональном использовании они способны покрыть потребности всего человечества на сотни лет вперёд, обеспечив будущие поколения практически неисчерпаемыми источниками энергии, минеральными ресурсами для промышленного развития, высококачественными продуктами питания и лекарственными средствами.

Однако уже сейчас, в условиях роста народонаселения и уровня потребления, а также в связи с осознанием ограниченности ресурсного потенциала суши, богатства океана становятся предметом острой конкуренции, геополитической борьбы и попыток ограничения доступа к ним стран-конкурентов [10]. Один из примеров — возникшие несколько лет тому назад претензии к России на площадке Комиссии по сохранению морских живых ресурсов Антарктики при рассмотрении квот для Российской Федерации по добыче криля и глубоководных рыб. Напряжённость удалось снизить благодаря возобновлению совместно с Росрыболовством биоресурсных исследований в этом районе Мирового океана в рамках иницированной РАН научной экспедиционной программы 2020–2022 гг. [10, 16]. Другой механизм давления на площадках упомянутой комиссии — поддержка идеологии создания многочисленных морских охраняемых районов на высокопродук-

тивных антарктических акваториях без достаточного научного обоснования [10].

После раздела шельфа предпринимаются попытки раздела открытых районов Мирового океана за пределами национальных юрисдикций. Уже не только традиционные морские державы, но и динамично развивающиеся страны Азии наращивают современный научно-исследовательский флот, строят глубоководные аппараты, расширяют районы морских исследований, организуют новые институты, ориентированные на изучение минеральных и биологических ресурсов глубин океана.

Россия активно участвует в освоении океанских ресурсов. По соглашению с Международным органом по морскому дну (International Seabed Authority), действующим в рамках Конвенции ООН по морскому праву и регулирующим доступ к минеральным ресурсам океанского дна за пределами национальных юрисдикций, в Международном районе морского дна Мирового океана за нашей страной для разведки и возможной последующей эксплуатации закреплены участки с крупными запасами ЖМК в зоне Кларион-Клиппертон и КМК в районе Магеллановых гор в Тихом океане, а также ГПС на участке Срединно-Атлантического хребта в Атлантике [14]. Отметим, что только одна зона Кларион-Клиппертон, уже разделённая на большое количество участков для многих стран, содержит никеля и кобальта больше, чем все разведанные ресурсы суши [14].

В отношении добычи биоресурсов на морских акваториях вне зон национальных юрисдикций в настоящее время нет единого международного регулятора. Практически вся площадь Мирового океана вне зон национальных юрисдикций учтена в сети региональных межправительственных соглашений, регулирующих лов отдельных ресурсных видов. Россия участвует в 24 региональных организациях по управлению рыболовством и в 62 межправительственных соглашениях по рыболовству с 46 странами [10]. В настоящее время обсуждается вопрос о создании единой международной организации по регулированию рыболовства в Тихом океане. Следует оговориться, что действующие международные соглашения регулируют добычу биоресурсов вне зон национальных юрисдикций только до глубин 1000 м, поскольку на больших глубинах имеющиеся технические возможности не позволяют оценить запасы промысловых пелагических видов и обитателей морского дна [10].

В рамках действующих международных конвенций и соглашений важнейшим условием получения лицензий и квот на добычу минеральных и биологических ресурсов в Международном районе морского дна Мирового океана служит проведение научных исследований, обеспечиваю-

щих достоверную оценку имеющихся запасов, понимание условий их восстановления, рациональное использование добываемого ресурса, а также наличие технических средств и технологий, обеспечивающих сохранение морских экосистем в районах активного международного природопользования. Не отстать в этих ресурсных исследованиях, не допустить технического отставания, поставив благополучие последующих поколений под угрозу ограничений доступа к огромным ресурсам океана — важнейшая государственная задача Российской Федерации.

Особое значение для России имеет ресурсный потенциал дальневосточных морей и прилегающих акваторий северо-западной части Тихого океана. Они обеспечивают около 80% всех добываемых у нас водных биоресурсов. На шельфе и континентальном склоне в этом районе Мирового океана сосредоточены большие запасы нефти, газа, газогидратов, обнаружены значительные залежи ЖМК, КМК, ГПС, причём эти участки расположены гораздо ближе, чем лицензионные участки России в центральных частях Тихого и Атлантического океанов.

Значительный вклад в изучение биоразнообразия глубоководных экосистем северо-западной части Тихого океана внесла серия совместных глубоководных российско-германских экспедиций, организованных Национальным научным центром морской биологии имени А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения РАН (ННЦМБ ДВО РАН). За 2010—2016 гг. в рамках 4 комплексных экспедиций была выполнена оценка биоразнообразия в наиболее глубоководной части Японского моря (SoJaBio, 2010 г., до 3660 м); в районе тихоокеанского абиссального плато, примыкающего к Курило-Камчатскому жёлобу (KuramBio I, 2012 г., до 6000 м); глубоководной Курильской котловине Охотского моря и глубоководье у Курильских островов со стороны Курило-Камчатского жёлоба (SokhoBio, 2015 г., до 4700 м); в Курило-Камчатском жёлобе (KuramBio II, 2016 г., до 9500 м).

Несмотря на то, что Японское море принято считать одним из наиболее изученных в северо-западной Пацифике и здесь уже были известны около 100 глубоководных видов животных, в ходе экспедиции SoJaBio вдоль трансекты от глубин 500 до 3660 м был собран 621 вид морских беспозвоночных, из которых 201 вид (32%) оказался новым для науки, а 105 видов (17%) впервые были отмечены для Японского моря [17, 18]. Ещё более впечатляющие результаты экспедиции KuramBio I. За 16 лет глубоководных тралений в середине XX столетия в северо-западной части Тихого океана (1949—1966 гг., 10 экспедиций научно-исследовательского судна “Витязь”) в диапазоне глубин 5000—6000 м были собраны около 600 глубо-

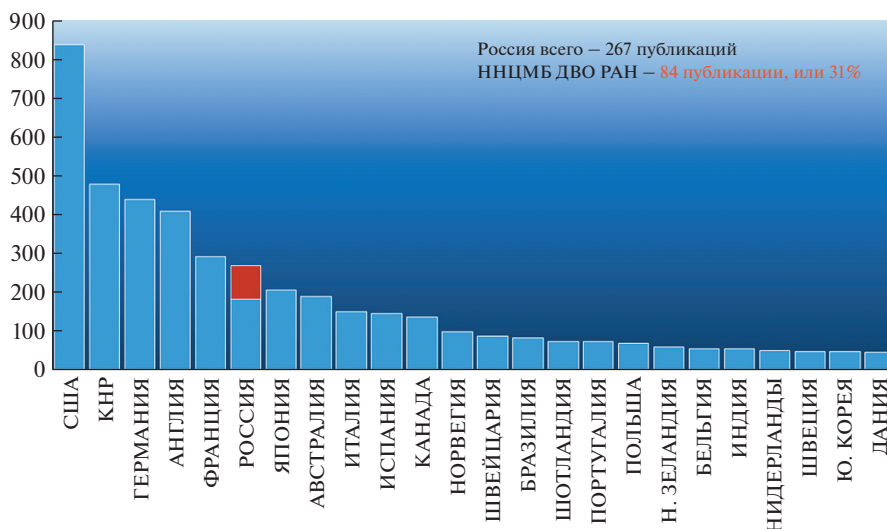


Рис. 1. Число опубликованных в 2015–2023 гг. работ, проиндексированных в Web of Science и посвящённых изучению абиссальной зоны (abyssal zone)

ководных видов, из которых около 300 видов — в районе работ KuramBio I [19]. Благодаря использованию новых технических средств (бокс-кореры, мультикореры, автоматизированные слэджи) в ходе KuramBio I в диапазоне глубин 4830–5830 м собраны более 1800 видов (22 типа животного царства), из которых около 60% оказались новыми для науки [19–21]. В экспедиции SokhoBio в диапазоне глубин 1700–4700 м собраны более 1000 видов, из которых около 50% — новые для науки (ранее в Охотском море были известны только 50 глубоководных видов беспозвоночных животных) [22]. В ходе KuramBio II в диапазоне глубин от 5120 до 9585 м собраны 1328 видов, опять-таки 50% из которых оказались новыми для науки [23]. Эти цифры наглядно свидетельствуют о крайне низкой степени изученности глубоководной биоты и в то же время о её удивительном разнообразии. По результатам этих экспедиций НИЦМБ ДВО РАН опубликованы отдельные тома ведущих научных журналов “Deep-Sea Research Part II” (2013, 2015, 2018) и “Progress in Oceanology” (2020), в которых представлены более 130 статей с описаниями глубоководной биоты. Анализ публикаций в системе Web of Science за 2015–2023 гг. по абиссальной тематике показывает, что доля НИЦМБ ДВО РАН составляет треть всех российских статей, а среди российских статей по морской биологии в абиссали статьи НИЦМБ ДВО РАН составляют почти половину (рис. 1, 2).

Тысячи новых видов из собираемых в последние годы с помощью специальных технических средств представителей глубоководной биоты, к сожалению, могут так и остаться неописанными, ибо скорость описания новых видов совре-

менным научным сообществом не превышает 25 тыс. в год, то есть для описания очередных двух миллионов нам потребуется немногим менее 100 лет.

Полученные данные о реальном биоразнообразии в абиссальных глубинах северо-западной Пацифики хорошо согласуются с результатами масштабного изучения батимальной глубоководной биоты в северо-западной Атлантике в начале 1990-х годов [24]. Вдоль трансект на континентальном склоне (батималь, от 1500 до 2100 м) у берегов Нью-Джерси и Дэлавера были взяты 233 дночерпательных пробы, собраны десятки тысяч экземпляров беспозвоночных животных (около 800 видов из 14 типов животного царства на общей площади дночерпательных проб 21 м²). 58% видов оказались новыми для науки [24]. Эти работы были продолжены у берегов Северной и Южной Каролины, общее количество собранных в батии экземпляров доведено до 270 тыс., а общее число собранных видов до 1600 (на общей площади дночерпательных проб 56 м²). Интересно, что новыми для науки также оказались более половины всех собранных видов [24].

В отличие от наших абиссальных сборов в северо-западной части Тихого океана, где значительно преобладали ракообразные перакариды (более 50%), на континентальном склоне в северо-западной Атлантике преобладали полихеты (до 48%), а перакариды составляли лишь 23%. Здесь также отмечена очень высокая степень глубоководного эндемизма (90% видов представлены менее 1% от собранных и около 28% видов были собраны только один раз) [24]. Значительное биологическое разнообразие в северной Атлантике, как и в северной Пацифике, связано с очень

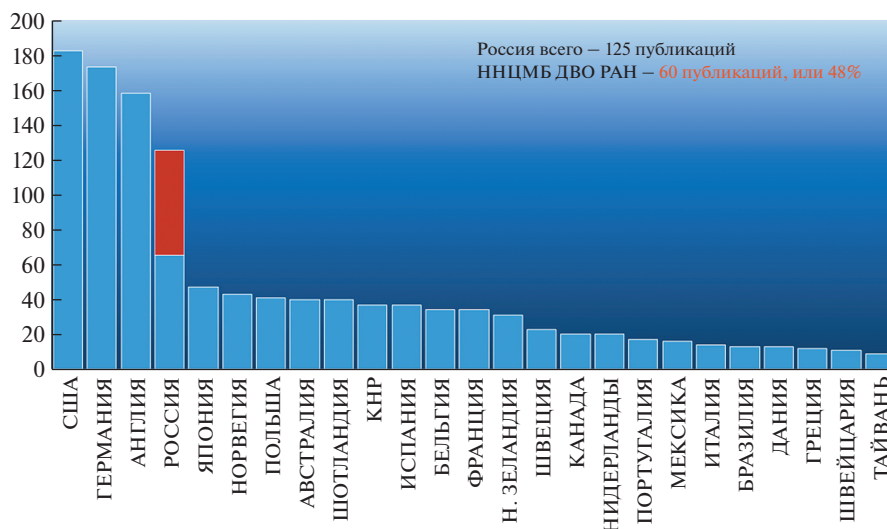


Рис. 2. Число опубликованных в 2015–2023 гг. работ, проиндексированных в Web of Science и посвящённых изучению морской биологии абиссальной зоны (abyssal zone: marine biology)

высоким уровнем первичной продукции в поверхностных слоях океана, что позволяет значительным объёмам пищи достигать батимальных и даже абиссальных глубин. В итоге своих исследований авторы предположили, что каждый квадратный километр континентального склона может дать как минимум 1 новый вид. В целом же, с учётом пространственных олиготрофных абиссальных районов, где уровень первичной продукции может быть очень низким, эти авторы экстраполировали видовое богатство в Мировом океане на глубинах более 1 км на уровне 10 млн видов [24]. Однако, несмотря на многочисленность выполненных проб, общее покрытие исследованного морского дна дночерпателями де-факто составило лишь несколько десятков квадратных метров, что послужило основанием для критики таких количественных расчётов [1, 2, 25]. Но эта пионерская работа имела огромное значение, поскольку обратила внимание морских биологов и океанологов на потенциальное биоразнообразие в глубинах Мирового океана.

В последующем сходные результаты относительно количества новых видов и степени глубоководного эндемизма были получены в ходе аналогичных работ в других глубоководных районах Мирового океана (западной и восточной Атлантике, юго-западной Пацифике и др.) [26–28]. В этих исследованиях количество новых для науки видов составило не менее 50% от числа собранных.

В наших работах мы не считаем полученные данные достаточными для глобальных количественных экстраполяций, однако очевидно, что и на абиссальных глубинах количество видов мно-

гократно выше, чем это предполагают сложившиеся представления.

По данным Мирового регистра морских видов (World Register of Marine Species, WoRMS), на октябрь 2022 г. зарегистрировано лишь 241 589 валидных (признаваемых) видов, из которых животные составляют 206 462, тогда как наземных организмов описано уже около двух миллионов видов. Безусловно, такая диспропорция связана лишь с уровнем наших знаний о жизни в океанских глубинах, и реальное биологическое разнообразие в Мировом океане вряд ли сильно уступает таковому в наземных экосистемах.

Смена представлений о глубоководном биоразнообразии, в том числе в районах сосредоточения полезных ископаемых, породила одну из актуальных проблем современной глубоководной океанологии — поиск научно-обоснованного компромисса между добычей ценных минеральных и энергетических ресурсов, развитием рыбного промысла и сохранением глубоководных экосистем с их огромным биологическим разнообразием. Уже сейчас нефтеразведочное бурение идёт на глубинах до 3 км; отработаны технологии добычи ЖМК на глубинах до 5 км; ведётся, в том числе и в северо-западной части Тихого океана, промысел ценных видов рыб на глубинах до 2.5 км [10, 14].

В российских дальневосточных морях насчитывается около 110 подводных гор и вулканов, десятки глубоководных каньонов, гидротермальные источники и холодные метановые сипы, абиссальные плато и глубоководные желоба, а также около 50 так называемых коралловых садов — глубоководных оазисов с высоким биологическим разнообразием. Особый интерес пред-

ставляют уникальные глубоководные экосистемы, связанные с гидротермальной активностью, залежами газогидратов, просачиваниями нефтеуглеводородов и залежами минерального сырья. Исследованию таких экосистем в 2011–2021 гг. была посвящена серия глубоководных экспедиций ННЦМБ ДВО РАН.

Оценка степени ландшафтного разнообразия и уникальности глубоководных экосистем, определяющих необходимость их обязательного сохранения или возможность щадящей эксплуатации, требует максимальной визуализации изучаемых участков морского дна и возможности прицельного (точечного) отбора проб и отдельных гидробионтов для последующих генетических, молекулярно-биологических и фармакологических исследований. В этом случае уже не могут быть использованы травмирующие донные ландшафты технические средства (донные тралы, дночерпатели, кореры и даже современные слэджи). В наших исследованиях были задействованы робототехнические средства: телеуправляемые (ТНПА) и автономные (АНПА) подводные аппараты с высокочувствительной оптикой, манипуляторами и возможностями штучного отбора и сохранения глубоководных гидробионтов.

В 2011 и 2013 гг. на НИС “Академик Лаврентьев” с помощью ТНПА “Команч” (рабочая глубина до 6000 м) в наших дальневосточных морях выполнены работы по видеопрофилированию морского дна и описанию донных экосистем в районе Баритовых гор во впадине Дерюгина в Охотском море; в 2016 и 2018 гг. выполнено вертикальное зонирование и описание экосистем вулкана Пийпа в массиве Вулканологов в Беринговом море; в 2018 и 2021 гг. исследованы сообщества в районе метановых сипов на Корякском склоне Берингова моря; в 2020 и 2021 гг. выполнены комплексные исследования в Гамовском каньоне в Японском море. Вне зоны национальной юрисдикции России в 2019 и 2021 гг. подобные исследования выполнены на подводных горах и гайотах Императорского хребта в сопредельных водах северо-западной части Тихого океана. Подробно описаны глубоководные экосистемы и донные ландшафты, изучен состав и особенности пространственного распределения глубоководной биоты, собран богатейший материал для генетических, молекулярно-биологических, биохимических и фармакологических исследований на глубинах от 400 до 4000 м.

С 2020 г. эти работы удалось консолидировать в рамках инициированного Российской академией наук комплексного научного проекта “Фундаментальные проблемы изучения и сохранения глубоководных экосистем в потенциально рудноносных районах северо-западной части Тихого океана” (2020–2022 гг., № 3.1902.21.0012). Для ра-

бот в рамках проекта был создан консорциум, объединивший учёных Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Института проблем морских технологий ДВО РАН, Дальневосточного федерального университета, что позволило выполнить комплексные мультидисциплинарные исследования этих экосистем.

Впадина Дерюгина в Охотском море (от 1400 до 1600 м) является зоной рифтогенной деструкции с активной эмиссией эндогенных газов с высокой концентрацией метана, интенсивной карбонатно-баритовой минерализацией, железомарганцевыми и полиметаллическими сульфидными образованиями и рассматривается как перспективный район добычи ценных минеральных ресурсов [29–31]. Экспедициями консорциума изучены различные типы симбиотрофных сообществ в районах метановых просачиваний, проведена инвентаризация биоты на массивных баритовых постройках (баритовые “курильщики” высотой до 40 м), покрытых бактериальными матами разных расцветок [18, 32]. В складках рельефа этих построек встречались крабы *Munidopsis beringianus* и *Paralomis verrilli*, креветки *Eualus biunguis*. В точках просачиваний и по краям бактериальных матов формируются крупные “гнезда” двустворчатых моллюсков-везикомиид *Archivesica gigas* и *Phreagena soyoe*. В донных осадках на глубинах до 1500 м обнаружены симбиотрофные черви – погонофоры-зибоглиниды *Siboglinum caulleryi* [33]. Эти черви, симбиотическим бактериям которых нужны высокие концентрации метана, служат одним из самых надёжных биоиндикаторов залегания нефтеуглеводородов [33]. Мягкий субстрат вокруг гор покрыт сплошным ковром бесчисленных трубок фораминифер *Bathysiphon* sp. из сульфата бария, формирующих огромную биомассу и пищевой ресурс для донных беспозвоночных и рыб. У подножия Баритовых гор на твёрдых субстратах обнаружены простирающиеся на сотни метров “луга” гидрокораллов *Stylaster eximius* f. *minor* с плотностью от 10–15 до 30–50 колоний на м² – самые масштабные из описанных в Охотском море скопления глубоководных кораллов. Интересно, что, несмотря на многочисленные геологические экспедиции, такие кораллы в Охотском море были лишь однажды обнаружены в качестве единичных находок только у побережья о. Парамушир Курильской гряды. На мягких грунтах отмечены хищные губки *Asbestopluma* sp., *Chondrocladia* cf. *lampadiglobus*, актинии *Actinostola callosa* и *Liponema brevicornis*. На крупных валунах видны скопления крупных актиний *Phelliactis* cf. *callicyclus* и

красивейших морских звёзд-бризингид *Hymenodiscus ochotensis* (до 20 экз./м²).

Использование робототехнических средств позволяет отслеживать скопления промысловых гидробионтов и проводить наблюдения за представителями ихтиофауны. Во впадине Дерюгина с помощью ТНПА отмечены бентопелагические чёрные (*Coryphaenoides acrolepis*), пепельные (*C. cinereus*) и малоглазые (*Albatrossia pectoralis*) макрурусы, тихоокеанские белокорые палтусы (*Hippoglossus stenolepis*), длиннопёрые щипошёки (*Sebastolobus macrochir*), получешуйники (*Hemilepidotus jordani*), мелкочешуйные антиморы (*Antimora microlepis*), слизеголовы (*Bothrocara zestum*), ликоды (*Lycodes soldatovi*), глубоководные скаты (*Bathyraxia parvifera* и *B. minispinosa*), а непосредственно вокруг газовых просачиваний наблюдались группы длиннорылых люмпенов (*Lumpenella longirostris*). Отслеживались скопления крабов-стригунов опилио (*Chionocetes opilio*), особи осьминогов *Muusoctopus* sp. Впадина Дерюгина стала первым полигоном изучения глубоководных сообществ Охотского моря с использованием ТНПА [18, 21].

Вулкан Пийпа в Беринговом море — единственный известный активный глубоководный гидротермальный район в территориальных водах России и самый северный гидротермальный район в Тихом океане с богатой облигатной фауной восстановительных биотопов [34]. В 1990 г. здесь состоялись погружения российских обитаемых аппаратов “Мир-1” и “Мир-2”, описаны вершины вулкана, в диапазоне глубин 450–900 м выявлены 30 видов гидробионтов [35, 36]. В наших экспедициях в 2016 и 2018 гг. с использованием ТНПА “Команч” были обследованы северный и южный склоны вулкана, выполнено его вертикальное зонирование от подножия в Командорской котловине до двух вершин с гидротермальной активностью (глубины 368–4288 м) [37–39].

У подножия вулкана со стороны Командорской котловины (северный склон, 4288 м) на мягких грунтах обнаружены огромные скопления глубоководных голотурий *Kolga kamchatica* и *Scotoplanes kurilensis* (до 15 экз./м²). Далее по склону на глубинах до 2500 м встречаются скопления более крупных голотурий *Paelopatides solea*, отдельные очень крупные (до 40 см) экземпляры *Psychropotes longicaudata* и отдельные группы *Pannychia moseleyi*. На мягких грунтах на глубинах 1800–2300 м доминируют кишечнодышащие *Quatuoralsia malakhovi*, встречаются также скопления трахимедуз *Benthocodon* sp., обнаруженные и на южном склоне вулкана на глубинах 2500–2600 м. На этих же глубинах на фрагментах твёрдого субстрата обнаружены губки *Docosaccus rappi* и *Caulophacus* sp., кораллы *Thouarella* sp., морские лилии *Ptilocrinus pinnatus*, осьминоги *Muusoctopus profundorum*, хищные асцидии *Megalodicopia* sp. В диапа-

зоне глубин 750–1800 м описаны сообщества губок с преобладанием *Farrea* sp., сменяющиеся на отметке 750 м сообществами альционарий *Heteropolypus ritteri*. Выше по северному склону до глубин 390 м отмечаются пространственные коралловые рифы из зоантарий *Epizoanthus* sp., образующих сплошное покрытие (до 500 экз./м²) на скальных грунтах. Здесь же встречаются скопления альционарий *Heteropolypus ritteri* и актиний *Sagartiogeton rufus*. Помимо этих кораллов на склонах вулкана на разных глубинах выявлены скопления крупных “древовидных” *Paragorgia arborea*, изящные колонии представителей *Nephtidae* и *Isididae*, а на южном склоне — протяжённые сообщества морских перьев *Anthoptilus* sp. Среди представителей ихтиофауны у подножия вулкана отмечены несколько видов макрурусов, а на каменистых склонах скопления щипошёков (*Sebastolobus macrochir*).

Гидротермальная активность отмечена на обеих вершинах вулкана, где описаны обширные восстановительные сообщества. Благодаря ТНПА на вершинах (368–495 м) удалось собрать около 130 видов гидробионтов, четверть из которых оказались новыми для науки; отмечена высокая степень эндемизма обитающих на вулкане глубоководных животных, многие из которых обнаружены только здесь [34]. В районах бактериальных матов у активных карбонатных и ангидритовых гидротермальных построек (так называемые курильщики) встречаются поселения симбиотрофных двустворчатых моллюсков *Caliptogena pacifica*, гастроподы *Parvaplustrum wareni*, кораллиморфрии *Corallimorphus* cf. *pilatus*, актинии *Sagartiogeton rufus*, губки *Vulkanella coltuni*. Помимо выраженной вертикальной зональности сообществ, отмечена их значительная горизонтальная изменчивость между вершинами вулкана вдоль гидрохимических градиентов и в связи с локальной гетерогенностью субстрата [34]. В ходе биохимических исследований с использованием биогеохимических маркеров — состава жирных кислот и соотношений стабильных изотопов биогенных элементов — описаны трофические взаимоотношения гидробионтов [40–42]. Показано, что развитие богатейшей и разнообразной фауны на вулкане Пийпа, в том числе эндемичных сообществ гидробионтов, обеспечивается притоком пищи из высокопродуктивного фотического слоя вод Берингова моря, а также благодаря притоку органики за счёт хемосинтетической активности на вершинах вулкана. Более подробные описания сообществ на склонах вулкана, а также обнаруженных здесь новых видов глубоководных гидробионтов (губки, актинии, моллюски, ракообразные) приведены в многочисленных статьях в отдельном томе журнала “Deep-Sea Research Part II” (2022–2023, Deep-sea benthic fauna and communities in the vicinity of methane seeps and hydrothermal

vents in the Bering Sea [43]), а также в нескольких обобщающих работах [34, 37, 39].

Вулкан Пийпа в Беринговом море рассматривается как очень перспективный район для разработки глубоководных полиметаллических сульфидов и в то же время представляет собой уникальный природный объект с высоким разнообразием биоты (в том числе глубоководными коралловыми рифами, губочными и коралловыми “садами”, уникальными восстановительными сообществами с высокой степенью эндемизма). По результатам этой работы предложено создать первую в России глубоководную особо охраняемую природную территорию федерального значения “Вулкан Пийпа” с целью сохранения его уникальной экосистемы.

В ходе экспедиций 2018 и 2021 гг. в Берингово море также были изучены восстановительные биотопы, связанные с полями высачиваний метана на Корякском участке континентального склона Берингова моря на глубинах 430–695 м [39, 44]. В местах газовых высачиваний здесь формируются обширные бактериальные маты, в районе которых описаны сообщества симбиотрофных двустворчатых моллюсков *Calymene pacifica*, массовые скопления зарывающихся морских ежей *Brisaster latifrons*, поля морских перьев *Halipteris* cf. *willemoesi* [44]. В фоновых сообществах вокруг зоны сипов доминировали офиуры *Ophiophthalmus normani*. В местах выхода твёрдых пород обнаруживаются локальные скопления промысловых крабов-стригунов *Chionocetes opilio*, а на полях из морских перьев отмечены локальные группы промысловой чёрной трески *Anoplopoma fimbria*. На некоторых участках морские перья плотно облеплены крупными офиурами *Asteronix loveni*. В ходе работ в районе сипов обнаружены 335 видов макробентосных гидробионтов. Проведённые в ходе двух экспедиций исследования показали интересную межгодовую динамику донных сообществ, приуроченных к метановым сипам на Корякском континентальном склоне. Наблюдаемые здесь метановые высачивания – самые северные из восстановительных биотопов, известных на сегодняшний день в Тихом океане. Полученные результаты подробно описаны в публикациях консорциума в отдельном томе Deep-Sea Research Part II (2022–2023, Deep-sea benthic fauna and communities in the vicinity of methane seeps and hydrothermal vents in the Bering Sea [43]).

В ходе двух отдельных экспедиций в 2018 и 2021 гг. проведены комплексные исследования глубоководных экосистем гор и гайотов Императорского хребта [45]. Этот район Мирового океана является зоной активного международного рыболовства и в то же время рассматривается в качестве одного из наиболее перспективных для

промышленной добычи кобальтоносных марганцевых корок. Мощность кобальтоносных марганцевых корок на его возвышенностях сопоставима с рудными образованиями Магеллановых гор (где у России имеется участок, выделенный Международным органом по морскому дну), но отличается более высоким содержанием никеля, скандия и суммы редкоземельных элементов. В условиях сильных круговых течений на гайотах образуются залежи железомарганцевых формаций, по содержанию ценных элементов сопоставимые с россыпными железомарганцевыми рудопроявлениями с высоким содержанием стратегических металлов (в том числе платины и золота) [46]. В случае возможной разработки месторождений возникнет угроза подводным горным экосистемам и устойчивому рыболовству в этом районе Мирового океана. Северо-Тихоокеанская комиссия по рыболовству (NPFC, <https://www.npfc.int>), регулирующая здесь добычу биоресурсов, в 2018 г. признала отсутствие необходимой научной информации по оценке степени уникальности и возможности восстановления таких экосистем, призвав заинтересованные страны интенсифицировать научные исследования. В качестве основных характеристик уникальности и уязвимости глубоководных экосистем в местах потенциального природопользования рассматривается наличие медленно восстанавливающихся сообществ губок (Hexactinellidae) и восьмилучевых кораллов (Octocorallia) (“губочные луга” и “коралловые сады”), поддерживающих высокое биоразнообразие и дающих убежище молоди промысловых рыб и беспозвоночных. Это так называемые индикаторные группы, уже использующиеся, например, Северо-Атлантической комиссией по рыболовству (NEAFC) в зоне активного международного промысла над Срединно-Атлантическим хребтом [45]. В экспедициях, организованных ННЦМБ ДВО РАН, с помощью ТНПА “Команч” были описаны донные ландшафты и сообщества гидробионтов на гайотах Суйко, Нинтоку, Оджин, Коко и горах Джингу и Милуоки в диапазоне глубин от 338 до 2242 м, проведено предварительное вертикальное зонирование их склонов. В работе Т.Н. Даутовой с соавторами [45] подробно описано разнообразие кораллов и губок; на склонах гайота Коко и к югу от него обнаружены и описаны масштабные “коралловые сады” из горгонарий, а на склонах горы Джингу – обширные “луга” из крупных стебельчатых и воронковидных губок (“губочные луга”). На примере возвышенностей хребта впервые показано изменение фауны кораллов в широтном направлении.

Помимо кораллов и губок на склонах гайотов и гор Императорского хребта также отмечены сообщества образующих плотные скопления морских ежей (*Aspidodiadema* sp.), глубоководных голотурий (*Peniagone* sp.), морских лилий и офиур,

локальные группировки крабов *Chaceon imperialis*. Описаны новые виды морских организмов, выявлена высокая степень эндемизма гидробионтов на поднятиях хребта. Показана взаимосвязь разнообразия биотических комплексов с разнообразием субстрата и особенностями течений вокруг и над возвышенностями хребта. Показано, что хребет выполняет важную биогеографическую функцию в формировании глубоководной биоты этого района Мирового океана. Вдоль цепи поднятий тропические и субтропические виды распространяются в северном направлении, а бореальные тихоокеанские виды могут смещаться в южном. В частности, было показано, что фауна гайотов Суйко и Нинтоку имеет бореальный генезис, Оджин-Джингу — смешанный, а Коко — тропический [45]. Как уже отмечалось, Императорский хребет — зона активного международного рыболовства. В ходе исследований с помощью ТНПА отмечено большое количество представителей ихтиофауны, в том числе важных промысловых видов. В настоящее время для отдельного тома Deep See Research Part II готовится серия статей по описанию экосистем и биоразнообразия Императорского хребта, выполненных в рамках проекта РАН.

Важно отметить, что массовые поселения губок и кораллов встречаются и непосредственно на кобальтоносных корках, мощность которых достаточна для долговременной рентабельной добычи. В то же время в местах скопления кораллов и губок обнаружены следы донных тралений, что недопустимо на таких участках морского дна. Информация по этим участкам на склонах возвышенностей Императорского хребта может служить для НРФС обоснованием принятия ограничений использования травмирующих ландшафты донных орудий лова и ограничения добычи биоресурсов только ярусным ловом. Для Международного органа по морскому дну данная информация служит основанием для ограничений в будущем возможной разработки месторождений полезных ископаемых в этом районе Мирового океана.

В рамках проекта РАН также изучены процессы биоаккумуляции микроэлементов представителями биоты глубоководных восстановительных биотопов Охотского и Берингова морей, проведены исследования влияния биотических и абиотических характеристик биотопов на биоаккумуляцию микроэлементов специализированной донной фауны. В ходе работ по изучению потоков вещества в глубоководных экосистемах проведены исследования трофического статуса массовых видов гидробионтов с использованием состава жирных кислот и соотношений стабильных изотопов азота и углерода как биогеохимических маркеров [39–41]. Показана высокая избиратель-

ность в питании глубоководных организмов, в значительной степени обеспечиваемая очень высокой продуктивностью поверхностных вод и наличием свежего фитодетрита для поддержания необходимого уровня полиненасыщенных жирных кислот, причём недостающие кислоты могут самостоятельно синтезироваться некоторыми глубоководными гидробионтами. Благодаря экспедициям ННЦМБ ДВО РАН в северо-западной Пацифике из глубоководных организмов уже открыты и описаны около 50 новых уникальных полиненасыщенных жирных кислот [40, 41].

В ходе комплексных исследований глубоководных экосистем северо-западной Пацифики силами консорциума выполнен широкий спектр молекулярно-генетических работ по изучению механизмов адаптации глубоководной биоты к среде обитания, особенностей репродуктивной биологии, а также биохимических характеристик уникальных биологически-активных соединений, выделенных из глубоководных гидробионтов.

Глубоководные экосистемы представляют собой экстремальные и необычные местообитания, обуславливающие появление новых структур органических соединений с высокой биологической активностью. Из глубоководных бактерий, морских грибов, губок, кишечнорастворимых, моллюсков и иглокожих выделены ранее неизвестные соединения, обладающие цитотоксическими, гемолитическими, антибактериальными, противовоспалительными, противоопухолевыми и противораковыми свойствами [47–51]. Установлено их полное химическое строение. В рамках отчётности по проекту РАН подготовлены и опубликованы подробные обзоры по результатам работ в области глубоководной фармакологии [13, 41, 51].

Уникальный биологический материал из наших глубоководных экспедиций, помимо музейных научных коллекций, размещён в центре коллективного пользования “Морской биобанк” при ННЦМБ ДВО РАН.

Исследования биоресурсного потенциала глубоководных экосистем, промысловых видов (рыб и беспозвоночных) и потенциальных новых биоресурсных объектов также выполнялись в интересах Росрыболовства в рамках действующего соглашения о сотрудничестве между федеральным агентством и Российской академией наук, подписанного руководителями этих организаций в 2019 г. Президент РАН и руководитель Росрыболовства утверждают на каждый год отдельную программу совместных исследований силами консорциума ВНИРО и группы научных институтов, функционирующих под научно-методическим руководством РАН. Работы продолжены в 2023 году.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Williamson M.* Marine biodiversity in its global context // *Marine Biodiversity. Patterns and Processes* / Eds. R.F.G. Ormond, J.D. Gage, M.V. Angel. Cambridge Univ. Press, 1999. P. 1–17.
2. *May R.M.* Bottoms up for the ocean // *Nature*. 1993. V. 357. P. 278–279.
3. *Bar-On Y.M., Phillips R., Milo R.* The biomass distribution on Earth // *PNAS*. 2018. V. 115 (25). P. 6506–6511. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1711842115
4. *Адрианов А.В.* Современные проблемы изучения морского биоразнообразия // *Биология моря*. 2004. Т. 30. № 1. С. 3–19.
5. *Wilson R.W. et al.* Contribution of Fish to the Marine Inorganic Carbon Cycle // *Science*. 2009. V. 323. P. 359–362.
6. *Irigoiien X., Klevjer T.A., Rostad A. et al.* Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean // *Nature Communications*. 2014. V. 5. Art. 3271. <https://doi.org/10.1038/ncomms4271>
7. *Proud R., Handegard N.O., Kloser R.J. et al.* From siphonophores to deep scattering layers: uncertainty ranges for the estimation of global mesopelagic fish biomass // *ICES Journal of Marine Sciences*. 2019. V. 76. № 3. P. 718–733. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy037>
8. *Hidalgo M., Browman H.* Developing the knowledge base needed to sustainably manage mesopelagic resources // *ICES Journal of Marine Sciences*. 2019. V. 76. № 3. P. 609–615. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz067>
9. *Musilova Z., Cortesi F., Matschiner M. et al.* Vision using multiple distinct rod opsins in deep-sea fishes // *Science*. 2019. V. 364. P. 588–592. <https://doi.org/10.1126/science.aav4632>
10. Проблемы и перспективы освоения биоресурсов Мирового океана в интересах российской экономики // *Аналитический вестник*. № 25(739). Аналитическое управление Аппарата Совета Федерации ФС РФ. М., 2019.
11. *Vereshchaka A.L., Lunina A.A., Sutton T.* Assessing Deep-Pelagic Shrimp Biomass to 3000 m in The Atlantic Ocean and Ramifications of Upscaled Global Biomass // *Scientific Reports*. 2019. V. 9. Art. 5946. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42472-8>
12. *Skropeta D., Wei L.* Recent advances in deep-sea natural products // *Natural Products Report*. 2014. V. 18. P. 54–57. <https://doi.org/10.1039/c3np/0118b>
13. *Katanaev V.I., Falco S.D., Khotimchenko Y.S.* The Anticancer Drug Discovery Potential of marine Invertebrates from Russian Pacific // *Marine Drugs*. 2019. V. 17. Art. 474. <https://doi.org/10.3390/md17080474>
14. Геология будущего. Освоение ресурсов Мирового океана. Росгеология, 2018. www.rosgeo.com
15. *Bardi U.* Extracting Minerals from Seawater: An Energy Analysis // *Sustainability*. 2010. № 2. P. 980–992. <https://doi.org/10.3390/su20140980>
16. *Морозов Е.Г.* Краткие итоги антарктической экспедиции 2021–2022 гг. 87-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанологические исследования*. 2022. Т. 50. № 1. С. 126–128.
17. *Malyutina M.V., Brandt A.* Introduction to SoJaBio (Sea of Japan Biodiversity Studies) // *Deep-Sea Research Part II*. 2013. V. 86–87. P. 1–9.
18. *Adrianov A.V., Ivin V.V., Malyutina M.V.* Deep-sea investigations of the A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences // *Proceedings of the Russian-German Workshop “Future Vision II” – Deep-sea Investigations in the Northwestern Pacific, Vladivostok, Russia, September 6–12, 2013. Vladivostok: Dalnauka*. P. 15–20.
19. *Brandt A., Malyutina M.V.* The German-Russian deep-sea expedition KuramBio (Kurile Kamchatka biodiversity studies) on board of the RV Sonne in 2012 following the footsteps of the legendary expeditions with RV Vityaz // *Deep-Sea Research Part II*. 2015. V. 111. P. 1–9.
20. *Brandt A., Elsner N., Brenke N. et al.* Abyssal macrofauna of the Kuril-Kamchatka Trench area collected by means of a camera-epibenthic sledge (Northwest Pacific) // *Deep Sea Research Part II*. 2015. V. 111. P. 175–188. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.11.002>
21. *Adrianov A.V., Ivin V.V., Malyutina M.V.* Deep-sea investigations in the North-West Pacific: marine expeditions of the A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology FEB RAS // *Unique Marine Ecosystems: Modern Technologies of Exploration and Conservation for Future Generations. Abstracts of International Conference, August 4–7, 2016. Vladivostok, Russia*. P. 9–12.
22. *Malyutina M.V., Chernyshev A.V., Brandt A.* Introduction to the SokhoBio (Sea of Okhotsk Biodiversity Studies) expedition 2015 // *Deep-Sea Research Part II*. 2018. V. 154. P. 1–9.
23. *Brandt A., Brix S., Riehl T., Malyutina M.V.* Biodiversity and biogeography of the abyssal and hadal Kuril-Kamchatka trench and adjacent NW Pacific deep-sea regions // *Progress in Oceanography*. 2020. V. 181. Art. 102232.
24. *Grassle J.F., Maciolek N.J.* Deep-sea richness: Regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples // *American Naturalist*. 1992. V. 139. P. 313–341.
25. *May R.M.* Conceptual aspects of the quantification of the extent of biological diversity // *Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B*. 1994. V. 345. P. 13–20.
26. *Poore G.C.B., Wilson G.D.F.* Marine species richness // *Nature*. 1993. V. 361. P. 597–598.
27. *Rex M.A., Stuart C.T., Hessler R.P. et al.* Global-scale latitudinal patterns of species diversity in the deep-sea benthos // *Nature*. V. 365. P. 636–639.
28. *Snelgrove P.V.P.* Marine sediments // *Encyclopedia of biodiversity*. N.Y: Academic Press. 2001. V. 4. P. 71–84.

29. Кулинич Р.Г., Обжиров А.И. Барит-карбонатная минерализация, аномалии метана и геофизические поля во впадине Дерюгина (Охотское море) // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 4. С. 35–40.
30. Астахов А.С., Ивин В.В., Карнаух В.Н. и др. Современные геологические процессы и условия формирования баритовой залежи в котловине Дерюгина Охотского моря // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 2. С. 200–214. <https://doi.org/10.15372/GiG20170202>
31. Семакин В.П., Кочергин А.В., Питуна Т.И. Глубинное строение глубоководных впадин Охотского моря // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9. № 1. С. 109–122. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-1-0340>
32. Kharlamenko V.I., Kiyashko S.I., Sharina S.N. et al. An ecological study of two species of chemosymbiotic bivalve molluscs (Bivalvia: Vesicomidae: Pliocardinae) from the Deryugin Basin of the Sea of Okhotsk using analyses of the stable isotope ratios and fatty acid compositions // Deep Sea Research Part I. 2019. V. 150. Art. 103058. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.06.004>
33. Karaseva N., Gantsevich M., Obzhirov A. et al. Correlation of the siboglinid (Annelida: Siboglinidae) distribution to higher concentrations of hydrocarbons in the Sea of Okhotsk // Marine Pollution Bulletin. 2020. V. 158. Art. 111448. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111448>
34. Rybakova E., Krylova E., Mordukhovich V. et al. Mega- and macrofauna of the hydrothermally active submarine Piip Volcano (the southwestern Bering Sea) // Deep Sea Research Part II. 2023. V. 208. Art. 105268. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2023.105268>
35. Сагалевиц А.М., Торохов П.В., Матвеевков В.В. и др. Гидротермальные проявления подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // Изв. РАН. Серия геол. 1992. № 9. С. 104–114.
36. Галкин С.В., Сагалевиц А.М. Гидротермальные экосистемы Мирового океана. Исследования с глубоководных аппаратов “Мир”. М.: ГЕОС, 2012.
37. Galkin S.V., Mordukhovich V.V., Krylova E.M. et al. Comprehensive research of ecosystems of hydrothermal vents and cold seeps in the Bering Sea (Cruise 82 of the R/V Akademik M.A. Lavrentyev) // Oceanology. 2019. V. 59. P. 618–621. <https://doi.org/10.1134/S0001437019040052>
38. Rybakova E., Galkin S., Gebruk A. et al. Vertical distribution of megafauna on the Bering Sea slope based on ROV survey // PeerJ. 2020. V. 8. Art. e8628. <https://doi.org/10.7717/peerj.8628>
39. Mordukhovich V.V., Krylova E.M., Dando P.R. Introduction. Seeps and vents of the Bering Sea // Deep-Sea Research Part II. 2023. V. 209. Art. 105290.
40. Kharlamenko V.I. Abyssal foraminifera as the main source of rare polyunsaturated fatty acids in deep-sea ecosystems // Deep-Sea Research Part II. 2018. V. 154. P. 374–382.
41. Svetashev V.I. Investigation of Deep-Sea Ecosystems Using Marker Fatty Acids: Sources of Essential Polyunsaturated Fatty Acids in Abyssal Megafauna // Marine Drugs. 2022. V. 20. Art. 17. <https://doi.org/10.3390/md20010017>
42. Rodkina S.A., Kiyashko S.I., Mordukhovich V.V. Diet of deep-sea holothurians in the Volcanologists Massif, Bering Sea, as inferred from stable isotope and fatty acid analyses // Deep Sea Research Part II. 2023. V. 208. Art. 105266. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2023.105266>
43. Deep-sea benthic fauna and communities in the vicinity of methane seeps and hydrothermal vents in the Bering Sea / Mordukhovich V., Krylova E., Dando P., eds. <https://www.sciencedirect.com/journal/deep-sea-research-part-ii-topical-studies-in-oceanography/special-issue/104SZFTQ70Z> (дата обращения 15.08.2023).
44. Rybakova E., Krylova E., Mordukhovich V. et al. Methane seep communities on the Koryak slope in the Bering Sea // Deep-Sea Research Part II. 2022. V. 206. Art. 105203.
45. Даутова Т.Н., Галкин С.В., Табачник К.Р. и др. Первые сведения о структуре уязвимых морских экосистем Императорского хребта – индикаторные таксоны, ландшафты, биогеография // Биология моря. 2019. Т. 45. № 6. С. 374–383.
46. Михайлик П.Е., Ханчук А.И., Михайлик Е.В. и др. Самородное золото в железомарганцевых корках гайота Детройт (Императорский хребет, Тихий океан) // Вестник ДВО РАН. 2014. Т. 4. С. 13–24.
47. Dyshlovoy S.A., Kudryashova E.K., Kaune M. et al. Uropocidin C: a new marine guanidine alkaloid which selectively kills prostate cancer cells via mitochondria targeting // Scientific Reports. 2020. V. 10. Art. 9764.
48. Silchenko A.S., Avilov S.A., Kalinin V.I. Separation procedures for complicated mixtures of sea cucumber triterpene glycosides with isolation of individual glycosides, their comparison with HPLC/MS metabolomic approach, and biosynthetic interpretation of the obtained structural data // Studies in Natural Product Chemistry / Ed. Rahman A.U., Elsevier B.V. Amsterdam, The Netherlands, 2022. V. 72. P. 103–146.
49. Kalinin V.I., Silchenko A.S., Avilov S.A., Stonik V.A. Progress in the studies of triterpene glycosides from sea cucumbers (Holothuroidea, Echinodermata) between 2017 and 2021 // Natural Product Communications. 2021. V. 16 (10). P. 1–24. <https://doi.org/10.1177/1934578X211053934>
50. Ponomarenko A., Tyrtysheva A., Ivashkevich D. et al. Synaptamide modulates astroglial activity in mild traumatic brain injury // Marine Drugs. 2022. V. 20. Art. 538. <https://doi.org/10.3390/md20080538>
51. Khotimchenko Y.S., Silachev D.N., Katanaev V. Marine natural products from the Russian Pacific as sources of drugs for neurodegenerative diseases // Marine Drugs. 2022. V. 20 (11). Art. 708. <https://doi.org/10.3390/md20110708>

BIODIVERSITY AND BIORESOURCES OF DEEP-SEA ECOSYSTEMS OF THE NORTHWESTERN PACIFIC

A. V. Adrianov^{1,2,#} and V. V. Mordukhovich^{1,3,##}

¹*A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Vladivostok, Russia*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

³*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

[#]*E-mail: avadr@mail.ru*

^{##}*E-mail: vvmara@mail.ru*

Modern problems of the investigation of marine biodiversity and bio-resources and their inventory in the deep-sea of the World Ocean are considered. The discussion of these problems is also based on the data of a series of deep-water marine expeditions of the National Scientific Center of Marine Biology of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (NSCMB FEB RAS) in the deepest areas of the Far Eastern Seas and adjacent waters of the North-West Pacific. New results of a series of the deep-sea expeditions within the special RAS Project “Fundamental problems of investigation and conservation of the deep-sea ecosystems in the potentially ore-reach areas in the North-West Pacific” are briefly introduced and discussed (project of RAS № 3.1902.21.0012). Several “unique” deep-sea ecosystems found in the ore bearing sites and the active fishing areas in the North-West Pacific are described. Some safety opportunities for these “unique” ecosystems and possible limitations in the use of dangerous mining and fishing techniques disturbing deep-sea landscapes are considered, including various conservation statuses.

Keywords: marine biodiversity, bio-resources, mineral resources, deep-sea mining, deep-sea ecosystems, deep-sea landscapes, deep-sea protected areas.