

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ И КОБАЛЬТОНОСНЫХ ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ КОРОК МИРОВОГО ОКЕАНА

В. М. Юбко, И. Н. Пономарева, Т. И. Лыгина

*ГНЦ АО «Южморгеология»,
Россия, 353461, г. Геленджик, ул. Крымская, 20,
e-mail: PonomarevaIN@rusgeology.ru*

В статье дан обзор отечественных и зарубежных достижений в области развития технологий разведки и добычи железоманганцевых конкреций и кобальтоносных железоманганцевых корок на дне Мирового океана. Охарактеризованы задачи, которые решаются на основе использования современных глубоководных технических комплексов, в том числе автономных необитаемых, телеуправляемых и обитаемых. Отмечена отчетливая тенденция внедрения в практику геологоразведочных работ новых типов технических средств с высоким уровнем роботизации. Приведены конкретные примеры технических разработок в этой области. Отмечается, что основной тенденцией в развитии техники разведки глубоководных месторождений океанских руд и их добычи является оснащение подводных необитаемых и обитаемых подводных аппаратов комплексом оборудования, которое позволит решить широкий круг задач, связанных с этими процессами.

Ключевые слова: Мировой океан, железоманганцевые конкреции, кобальтоносные железоманганцевые корки, месторождения, геологоразведочные работы, добычные работы, подводно-технические средства

Введение

Многие десятилетия изучения океанских руд принесли принципиально важный результат: стало очевидным, что Мировой океан обладает богатейшими минерально-сырьевыми ресурсами, которые, по мере своего освоения, внесут решающий вклад в устойчивое развитие мировой цивилизации. Переход от эпохи изучения твердых полезных ископаемых (ТПИ) Мирового океана к эпохе их освоения, несомненно, ставит принципиально новые задачи перед всем технологическим комплексом в области разведочных и добычных работ. Исходя из сказанного, целью настоящей статьи является обзор отечественных и зарубежных достижений в развитии технологий разведки и добычи железоманганцевых конкреций (ЖМК) и кобальтоносных железоманганцевых корок (КМК), а также современных тенденций развития техники и технологий в данной области.

Обзор современных отечественных достижений в области технологий разведки и добычи ЖМК

Перед геологоразведочными работами (ГРР) на месторождениях железомарганцевых конкреций на всех их стадиях ставятся задачи, требующие применения специализированных аппаратурно-технических средств. Это продиктовано тем, что помимо получения данных о геологии рудных скоплений, необходимо также собрать сведения о характеристиках океанского дна с учетом возможной будущей работы добычного комплекса. Перечислим эти задачи с указанием технических средств, используемых для их решения:

- картирование поверхности дна с использованием эхолотов различной конструкции и гидролокаторов бокового обзора (ГЛБО);
- оконтуривание рудных залежей ЖМК и осложняющих их строение элементов строения дна с использованием фототелекомплексов (ФТК) и ГЛБО в комплексе с акустическими профилографами (АП), применяемых как в буксируемом варианте, так и в форме оснащения телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА), автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) и обитаемых подводных аппаратов (ОПА);
- изучение строения верхней части разреза осадочного чехла с использованием акустических профилографов различной конструкции;
- отбор проб донных, в т. ч. рудных образований с использованием пробоотборников различной конструкции;
- изучение инженерно-физических свойств субстрата ЖМК *in situ* с использованием специальных установок;
- изучение гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик водной толщи с использованием специализированных зондирующих установок;
- навигационное обеспечение всех видов ГРР и исследований.

В отечественной практике комплекс подводно-технических средств (ПТС), обеспечивавших эффективное решение перечисленных выше задач, сложился еще в период до начала контрактной деятельности по разведке ЖМК в пределах Российского разведочного района (РРР–ЖМК) в Тихом океане в зоне Клариян–Клиппертон. Дальнейшее развитие этого комплекса осуществлялось уже в период контрактной деятельности с Международным органом по морскому дну (МОМД). Оно заключалось, в основном, в модернизации ПТС отечественной разработки: гидролокатора бокового обзора типа «МАК», фототелевизионного комплекса типа «Нептун», зондирующей установки (ЗУ) типа «УГИ-ЖМК» (УГИ – Установка глубоководная исследовательская, предназначенная для измерения прочностных свойств осадков в естественных условиях (*in situ*) на месторождении ЖМК) и других аппаратов, путем их перевода на современную элементную базу. Это дало возможность реализовать цифровые технологии сбора и передачи на борт судна разнообразной информации, получаемой с помощью указанных устройств. Одновременно, в качестве достаточно серьезного достижения следует отметить разработку и внедрение в практику ГРР комплекса

картирования поверхности дна «МАК-Рельеф», включающего придонный многолучевой эхолот (МЛЭ) с рабочей частотой 200 кГц. Достижением явилась также разработка по заказу «Роснедра» многоканального буксируемого комплекса «Абиссаль-Ц», предназначенного для одновременного картирования океанского дна, изучения разреза осадочного чехла, оценки параметров рудоносности и горно-геологических условий локализации глубоководных месторождений ТПИ Мирового океана (патент № 2011101171/28). К сожалению, модернизация упомянутых технических средств осуществлялась и продолжает осуществляться с использованием элементов электроники почти исключительно (на 95 %) иностранного производства. В нынешних условиях это создает значительные проблемы при закупке этих элементов; это касается не только их стоимости и сроков, но и самой возможности их поставки.

К отрицательным тенденциям развития отечественных технологий разведки глубоководных месторождений рудных полезных ископаемых, в т. ч. ЖМК, следует отнести недостаточное внимание к прежним отечественным разработкам: телеуправляемым аппаратам (ТПА), автономным необитаемым (АНПА) и обитаемым подводным аппаратам (ОПА), а также системам подводной навигации. Так в 2003 г. в Государственном научном центре (ныне АО) «Южморгеология» были прекращены научно-исследовательские и конструкторские работы (НИОКР) по созданию нового поколения высокоточной акустической системы навигации «АСМОД-3», даже в условиях их стоимости в половину более низкой, по сравнению со стоимостью зарубежных аналогов. Были приостановлены также работы над автономным необитаемым аппаратом «Янтарь», предназначенным для поиска ЖМК на глубинах до 6 000 м. Сходная ситуация сложилась и в отношении разработки телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) для поисков и разведки твердых полезных ископаемых Мирового океана.

В то же время, несмотря на указанные упущения, нельзя не отметить, что на текущий момент наша страна обладает достаточно серьезным научным и промышленным потенциалом, который позволяет в оперативном порядке удовлетворить потребности морской геологической службы в проведении геологоразведочных работ на океанских глубинах. Свидетельством тому служит целый ряд разработок, выполненных различными организациями, специализирующимися в области создания техники для изучения океанских глубин:

- ФГБУ «Институт проблем морских технологий» Дальневосточного отделения РАН (ИПМТ ДВО РАН) – разработка серии предназначенных для проведения исследований на глубинах до 6 000 м АНПА («МТ-88», «СР-01», «СР-02», «ОКРО-6000», «Клавесин-1Р» и «МТ-98» и успешное испытание их в процессе ГРП на ЖМК, выполненных российскими (ПО «Дальморгеология», ГНЦ ФГУГП «Южморгеология»), китайскими (COMRA) и корейскими (KORDI) специализированными предприятиями в зоне Клариян–Клиппертон Тихого океана;

- Центральное конструкторское бюро «Рубин» (АО «ЦКБ МТ «Рубин») – разработка и успешные испытания в Марианской впадине на глубине 10 028 м АНПА «Витязь-Д»;

- ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор» – разработка АНПА гражданского назначения типа «Янтарь» с глубиной погружения до 6 000 м;
- АО «СПМБМ «Малахит» – разработка ОПА «Русь» и ОПА «Консул»;
- АО «Южморгеология» – разработка и малосерийное производство ТПА рабочего класса типа «РТ-6000» с глубиной погружения 6 000 м.

В целом, есть основания полагать, что в области технико-технологического обеспечения задач разведки ЖМК наша страна находится на достаточно высоком уровне, однако для поддержания этого уровня и дальнейшего наращивания технического потенциала потребуются совокупные усилия и государственных органов, и бизнес-структур.

Еще более актуальным данное утверждение является по отношению к направлению контрактной деятельности, связанной с разработкой технологии и созданием технических средств добычи ЖМК, поскольку из всего комплекса задач, предусмотренных контрактными обязательствами, к настоящему времени исполнено лишь обязательство по разработке эскизного проекта добычного комплекса и в самое ближайшее время требуется решение следующих непростых задач:

- проектирование и изготовление моделей основных подсистем и компонентов комплекса, испытание их в лабораторных и прибрежно-морских условиях, имитирующих натурную среду;
- разработка технического проекта экспериментального добычного комплекса;
- изготовление и полномасштабные испытания в натуральных условиях экспериментального добычного комплекса (уменьшенного прототипа промышленной добычной системы).

Нельзя не упомянуть в этой связи начавшиеся сравнительно недавно разработки технических средств для глубоководной добычи железомарганцевых конкреций и кобальтоносных корок силами отечественной компании ООО «ГИКО» в сотрудничестве с Санкт-Петербургским горным университетом (СПГУ). В июне 2023 г. на 10-й конференции «Полезные ископаемые Мирового океана», состоявшейся в ФГБУ ВНИИОкеангеология, был представлен доклад о том, что на кафедре машиностроения СПГУ совместно с ООО «ГИКО» разработан «комплекс для промышленной добычи на больших глубинах рассредоточенных по морскому дну полезных ископаемых (ЖМК и КМК) (Патент № 2788227 РФ), с возможностью их предварительного разрушения и отделения от подложки, включающий дистанционно управляемые подводные аппараты, полный цикл работы которых автономно координируется с базового судна» (Юнгмейстер и др., 2023). В состав комплекса входит базовое судно с тремя лебедками; спускаемое оборудование включает станцию с шагающими роботами-сборщиками/отбойщиками, грузовой бункер-накопитель руды с захватным устройством и бокс-ангар, вмещающий в себя автономных роботов-сборщиков. Для перемещения по дну бокс-ангаров с роботами и бункера-накопителя планируется использование шагающего портала с возможностью захвата и переустановки придонного оборудования. При этом предусматривается использование специальной гидросистемы с гидравлическими цилиндрами, необходимой для быстрого перемещения

сборщиков и приемного бункера. Разработчиками подчеркнута, что общая идея этого комплекса позволяет разработать опытный образец, но для обеспечения рентабельной производительности требуется высокоэффективная подъемная установка.

Система «Рой», предлагаемая для добычи железомарганцевых конкреций, принципиально отличается от традиционно рассматриваемой структуры комплекса добычи ЖМК, включающей в числе прочих элементов насосную гидротранспортную систему транспортировки вынутой рудной массы на поверхность (рисунок 1).

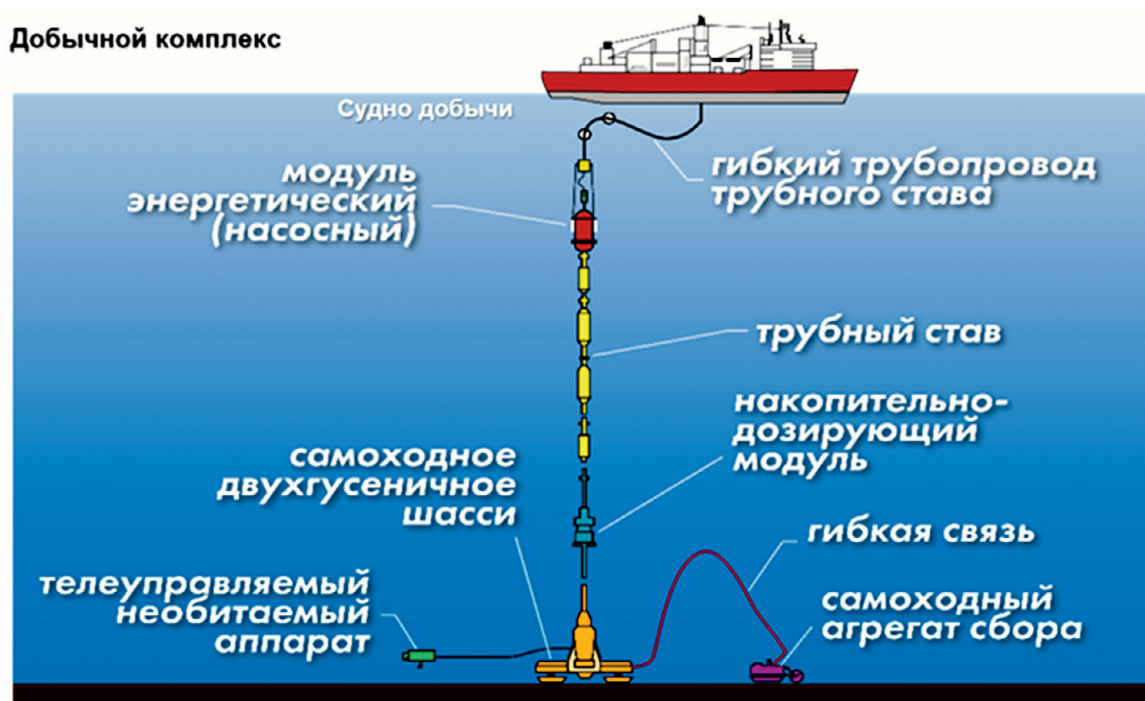
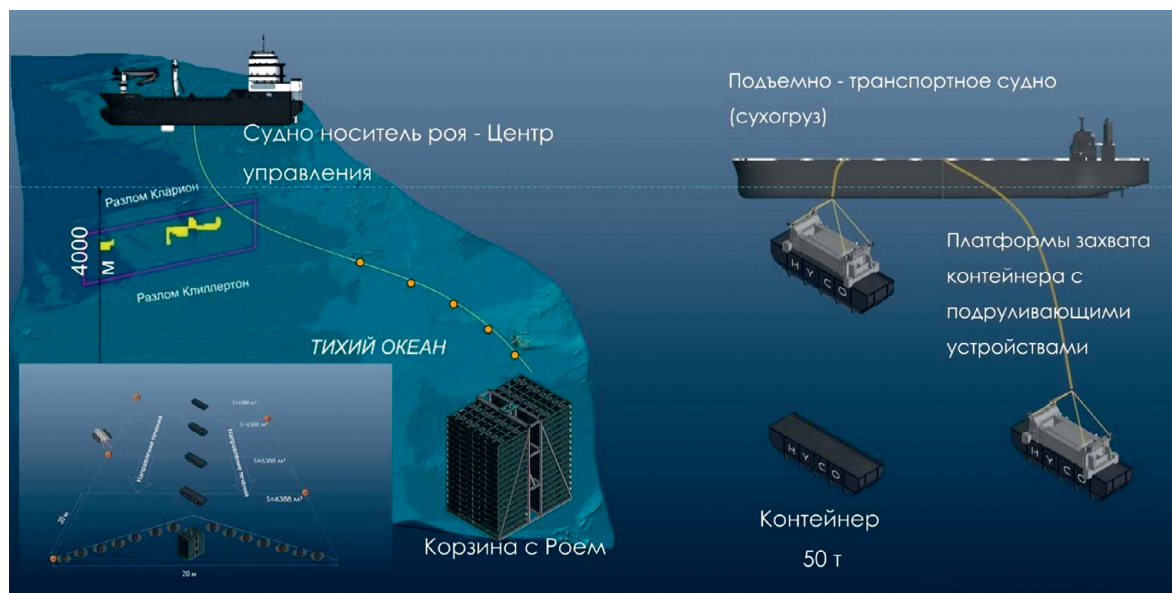


Рис. 1 – Принципиальная структура комплекса добычи ЖМК

Система «Рой» состоит из группы («роя») роботов-сборщиков (рассматривается группа из 512 роботов), судна-носителя «роя», выполняющего функции центра управления, второго судна – подъемно-транспортного сухогруза, корзины с «роем» и контейнера для сбора конкреций (рисунок 2) (ГИКО – глубоководная добыча..., 2023).

При использовании системы предполагается одновременная работа 350 особей-роботов, оснащенных двигателями, руками-манипуляторами для сбора конкреций, интеллектуальными камерами для обеспечения 3D зрения с целью распознавания объектов на морском дне и сбора конкреций, приборами освещения и антеннами связи и навигации. Планируется, что роботы будут двигаться фронтом со скоростью 1 м/с навстречу течению, каждая особь-робот будет обеспечивать сбор конкреций на участке шириной 0.6 м и за один цикл будет собирать до 20 кг конкреций при 60-процентном подборе ЖМК. Контейнер для сбора руды вместимостью 46 т на специальной платформе поднимается на транспортное судно с использованием тросового подъема. По расчетам разработчиков, проектируемые кинематика и энергетика роботов позволят обеспечить производительность «роя» из 512 особей

до 0.5 млн т влажной руды в год. В настоящее время имеется дорожная карта по реализации этого довольно экзотического проекта, разработка системы находится на начальном этапе.



а



б

Рис. 2 – Структура (а) и схема работы (б) комплекса добычи ЖМК «Рой» разработки ООО ГИКО (ГИКО – глубоководная добыча..., 2023) (<https://ocean-minerals.ru/page/roi-glubokovodnyh-robotov.php>)

К достоинствам системы «Рой» разработчики относят экологичность, обеспечиваемую за счет неинвазивного извлечения конкреций из грунта (Судариков и др., 2022), технологичность, обусловленную конвейерным производством особей-сборщиков,

надежность, связанную с отсутствием единой точки отказа, и линейное масштабирование за счет роста производительности системы путем увеличения числа роботов-сборщиков. Применение роботов в системе «Рой» соответствует современным тенденциям развития технических средств в области технологий разведки и добычи океанических твердых полезных ископаемых.

Обзор современных отечественных достижений в области технологий разведки и добычи КМК

Для проведения геологоразведочных работ на кобальтоносные железомарганцевые корки может быть задействован комплекс технических средств, используемый для разведки скоплений ЖМК с той лишь спецификой, что при работах на корки требуется получить данные об их мощности.

С этой целью, еще до начала контрактной деятельности по разведке КМК, усилиями АО «Севморгео» была осуществлена разработка и обеспечено малосерийное производство погружной глубоководной буровой установки ГБУ-1/4000-2, оказавшейся весьма эффективным средством определения значений упомянутого выше параметра. В течение достаточно продолжительного времени АО «Севморгео» обеспечивало устойчивую поставку образцов данной установки для проведения геологоразведочных работ в пределах Магеллановых гор Тихого океана, но в 2017 г. эти поставки были прекращены в связи с закрытием этого направления работ в АО «Севморгео». В этой связи, а также в целях сохранения данного перспективного направления, АО «Южморгеология» по собственной инициативе на базе созданных АО «Севморгео» разработок, с учетом имеющегося опыта бурения и особенностей морской среды района работ, сконструировало в сотрудничестве с ООО «ГИКО» морскую глубоководную буровую установку «МГБУ-К» кассетного типа (рисунок 3).

В ноябре 2020 г. установка прошла успешные испытания в натуральных условиях в рейсе НИС «Геленджик», в ноябре–декабре 2022 г. при выполнении оценочных работ на кобальтоносные железомарганцевые корки в пределах Российского разведочного района (РРР–КМК) «МГБУ-К» использовалась в производственном режиме.

Что же касается отечественных разработок в области технологий добычи КМК, то здесь также можно упомянуть проект компании ГИКО, осуществляемый в сотрудничестве с Горным университетом Санкт-Петербурга (ГИКО – глубоководная добыча..., 2023), в рамках которого предлагается концепция сбора КМК с управляемым устройством захвата контейнера. Разработано и запатентовано устройство для сбора КМК, представляющее собой конструкцию, обеспечивающую возможность предварительного разрушения и отделения кобальтомарганцевых корок от субстрата, их отбор и надежный захват в условиях перемещения по сложно пересеченной поверхности морского дна (патент № 203596). Устройство включает грейферы, внутри которых размещена ударная пика для разрушения массива корки, и приемный бункер (рисунок 4).



Рис. 3 – Морская глубоководная буровая установка «МГБУ-К» в процессе испытаний в лабораторных условиях

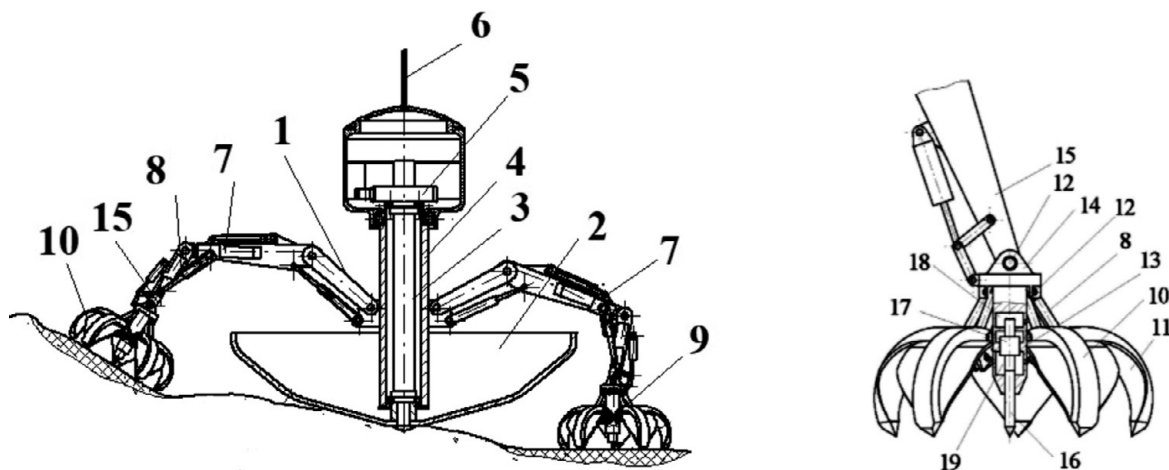


Рис. 4 – Устройство для добычи КМК (ГИКО – глубоководная добыча..., 2023)
1 – устройство для добычи КМК; 2 – приемный бункер; 3 – стойка; 4 – центральная цапфа;
5 – механизм поворота; 6 – кабель-трос; 7 – шарнирно-рычажный механизм; 8 – гидро-цилиндр; 9 – захват; 10 – грейфер; 11 – челюсть; 12 – шарнир; 13 – цилиндрический корпус;
14 – проушина; 15 – свободный конец; 16 – ударная пика; 17 – поршень-боек; 18 – камера прямого хода; 19 – камера обратного хода
(<https://ocean-minerals.ru/page/dobycha-morskih-mineralov.php>)

В целом же современное состояние этого направления в отечественной науке свидетельствует о том, что для разработки технологии добычи кобальтоносных железомарганцевых корок, как и в случае с ЖМК, необходимо предпринять весьма серьезные усилия со стороны и государственных органов, и бизнеса, и проектно-конструкторских организаций.

Обзор современных зарубежных достижений в области технологий разведки и добычи ЖМК

Прогресс в развитии комплекса технических средств, используемых большинством зарубежных стран и их организаций-контракторов, т. е. тех, которые ведут разведочные работы на ЖМК по контрактам с МОМД, начиная с 2001 г., состоял в реализации двух направлений:

- модернизация ранее созданных технических средств путем их перевода на современную элементную базу;
- разработка и внедрение в практику геологоразведочных работ новых типов технических средств: телеуправляемых аппаратов, автономных необитаемых и обитаемых аппаратов с высоким уровнем роботизации.

Отметим, что конструкторские работы с техническими средствами, предназначенными для контактных методов исследования дна: пробоотборниками грейферного и коробчатого типов, прямоточными ударными трубками, тралами и драгами различных конструкций, уже не проводились, так как в предшествующие годы их конструкции были доведены практически до совершенства.

Что же касается прогресса в развитии технических средств для дистанционных методов разведки ЖМК: гидролокаторов бокового обзора, акустических профилографов и фототелевизионных комплексов в буксируемом варианте, то примерно с 2005 г. в нем наметилась отчетливая тенденция к замещению буксируемых вариантов этих ПТС моделями, которыми оснащаются телеуправляемые аппараты, автономные необитаемые и обитаемые аппараты. Особенно ярко эта тенденция проявлена применительно к автономным необитаемым подводным аппаратам (таблица 1). Часть из них уже применяются такими зарубежными контракторами, как японский ДОРД (DORD), китайский КОМРА (COMRA), корейский КОРДИ (KORDI), немецкий БГР (BGR), английский ЮКСРЛ (UKSRL – UK Seabed Resources Ltd), бельгийский ГСР (GSR – Global Sea Mineral Resources NV). Некоторые АНПА проходят стадию тестовых испытаний, осуществляемых такими контракторами, как французский ИФРИМЕР (IFREMER).

Табл. 1 – Характеристика моделей автономных необитаемых подводных аппаратов, используемых подрядчиками для разведки ЖМК

Контрактор	Используемый АНПА	Производитель АНПА	Примечания
БГР (BGR)	“ABYSS”	HYDROID company (США) (Linke, 2016)	В 2015 г. в 239-м рейсе НИС «Зонне» использован для высокоточного картирования дна (Martinez, Haeckel, 2015)
ГСР (GSR)	“ABYSS”	HYDROID company (США) (Linke, 2016)	В 2015 г. в 239-м рейсе НИС «Зонне» использован для изучения локальной изменчивости ЖМК (Gazis et al., 2018)
ДОРД (DORD)	“Sentry”	Институт Вудс-Хоул (США) (Sentry AUV)	В 2012 г. в рейсе НИС “Ka’imikai-o-Kanaloa” (“КоК”) выполнены комплексные исследования ЖМК в пределах западного участка РР ДОРД (Tsune, Okazaki, 2015)
ИФРИМЕР (IFREMER)	“UlyX”	Технологическое оборудование - iXblue (iXblue)	Проходит тестовые испытания
КОМРА (COMRA)	“CR-01” “CR-02”	ИПМТ ДВО РАН (1)	–
	«Цяньлун-1» (“Qianlong-1”)	Совместная разработка Шэньянского института автоматизации Китайской АН (SIA), Института акустики CAS и Харбинского инж. университета (Li et al., 2018, Qianlong No.1)	В 2013 г. в рейсе НИС «Хайян-6» успешно испытан в натуральных условиях разведочного района КОМРА (AUV Qianlong-1)
КОРДИ (KORDI)	«ОКРО-6000»	Совместная разработка ИПМТ ДВО РАН и DAEWOO (Ю. Корея) (4)	В 1998 г. испытан в районе Микронезии
ЮКСРЛ (UKSRL)	Autosub6000	Саутгемптонский Национальный океанографический центр (Великобритания) (McPhail et al., 2010)	В 2015 г. в рейсе НИС «Джеймс Кук» использован для изучения геоморфологии дна и обнаружения следов деятельности крупных позвоночных животных (Marsh et al., 2018)
ИПМТ ДВО РАН – Институт проблем морских технологий им. академика М. Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук			

Благодаря оснащению новейшими образцами акустических и видеосистем, а также разного рода датчиками для измерения гидрофизических параметров водной толщи, АНПА приобретают роль универсального средства для выполнения значительной доли контрактных обязательств на недостижимом ранее уровне точности.

В частности, использование в оснащении автономных и телеуправляемых подводных аппаратов двух-, трехчастотных (в диапазоне от 100 до 900 кГц) ГЛБО на сложных сигналах и с синтезированной апертурой типа Klein UUV-3500-Deep (Klein), Edgetech FS 2200-M (Edgetech), SAMS-150 (SAMS-150), разработки компаний Klein Associates Inc., EdgeTech Inc. и iXBlue соответственно, обеспечивает достижение разрешения съемки поверхности дна поперек линии движения автономного аппарата от 10 до 2 см, и вдоль – от 500 до 60 см.

Кроме этого, весьма важным в практическом отношении показателем применения автономных необитаемых аппаратов является высокая производительность съемки, которая в 5–6 раз превышает производительность, достигаемую при использовании буксируемых вариантов подводных технических средств. Например, за 1 цикл работ (до 80 часов) автономного аппарата «HUGIN» фирмы Kongsberg на глубинах около 6 000 м средняя производительность съемки океанского дна со сплошным его покрытием составляет 2 км² в час (Kongsberg AUV Systems).

Следующим значимым показателем прогресса в развитии технологий разведки ЖМК является фактор использования в них таких компонент, как телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА). В число стран, представители контрактов которых используют такие аппараты с рабочими глубинами до 6 000 м собственной разработки, входят Франция (ТНПА “Victor” (Simeoni et al., 2007)), Китай (ТНПА “Haixing 6000” (Haixing 6000 ROV)) и Япония (ТНПА “КАИКО 7000” (КАИКО 7000 ROV_JAMSTEC)).

Национальным институтом океанических технологий (National Institute of Ocean Technology) – представителем индийского контрактора «Министерство наук о Земле, Правительство Индии» (“Ministry of Earth Sciences, Government of India”) была осуществлена разработка ТНПА “ROSUB-6000” (ROSUB 6000 ROV_NIOT), способного погружаться на глубину 6000 м. Контрактор БГР (BGR) в своей деятельности предпочел использовать арендованный ТНПА “KIEL 6000” (Assessing the Impacts ...) разработки компании Schilling Robotics (США). Остальные контракторы от применения телеуправляемых аппаратов пока воздерживаются.

Технологические возможности оснащения телеуправляемых аппаратов тем же оборудованием, что и оборудование автономных необитаемых аппаратов, делают их привлекательными для изучения суперлокальных элементов строения океанского дна, в том числе препятствий для агрегатов сбора конкреций, либо для точечных наблюдений за бентическим населением.

Однако главным достоинством ТНПА, как правило, оснащенных манипуляторами с большим количеством степеней свободы, является расширение возможностей при работах на глубине, в том числе отбора проб, а также доставки в выбранные точки дна разного рода оборудования. К такого рода аппаратам принадлежат упомянутый выше ТНПА “KIEL 6000”, который оснащен двумя манипуляторами, число степеней свободы одного из них составляет 5, а второго – 7 (ROV KIEL 6000). По-видимому, вершиной технологического прогресса в области техники глубоководных исследований является создание обитаемых подводных аппаратов (ОПА), способных

погружаться на глубины шесть и более километров. По состоянию на сегодняшний день, из числа зарубежных стран лишь четыре обладают такими аппаратами: США с ОПА «Алвин» (“Alvin”), Франция с ОПА «Наутиль» (“Nautile”), Япония с ОПА «Шинкай 6500» (“Shinkai 6500”) и Китай с ОПА «Цзяолун» (“Jiaolong”) (William, 2018). При этом организациям-контракторам принадлежат лишь два из упомянутых ОПА: «Наутиль» – французскому ИФРИМЕР (Tilot et al., 2018) и «Цзяолун» – китайскому КОМРА (Cui, 2013).

На фоне ярких достижений контракторов в области технологий разведки ЖМК значительно более скромными являются их достижения в том, что касается разработки технологий добычи этого вида полезных ископаемых. Несмотря на то, что шесть первоначальных вкладчиков, первыми заключившие контракты с МОМД на разведку ЖМК (Индия, Китай, Южная Корея, СССР, Франция, Япония), брали на себя обязательства по истечению пятнадцатилетнего срока их контрактов разработать и испытать в натурных условиях прототипы (уменьшенные копии) добычных комплексов, никому из них выполнить эти обещания в полном объеме не удалось.

На сегодняшний день как бывшие первоначальные вкладчики, так и присоединившиеся к ним новые контракторы, пока находятся лишь на различных стадиях НИОКР по разработке технологии добычи ЖМК. Концептуально практически все упомянутые контракторы придерживаются одинаковых представлений о принципиальной структуре будущего комплекса добычи ЖМК: обязательными элементами в его составе являются добычное судно, система выемки рудной массы на базе самоходного агрегата сбора и насосная гидротранспортная система транспортировки вынутой рудной массы на поверхность (рисунок 1).

В рамках этих представлений наибольшего прогресса в плане проектирования, изготовления и испытания упоминавшихся систем комплекса опытной добычи ЖМК добились бельгийский, индийский, китайский и корейский контракторы. В этих целях каждым из них созданы мощные испытательные базы (рисунок 5), изготовлены и опробованы в лабораторных и имитирующих натурные условия прототипы агрегатов сбора ЖМК (рисунок 6). Рисунки 5 и 6 приведены по данным:

<http://www.lbeg.niedersachsen.de/download/137704>;
<https://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Pubs/Chennai.pdf>;
https://miningimpact.geomar.de/documents/1082101/1433168/Smith_StakeholderID_2021.pdf/392bba75-469e-41ea-af34-3f41ad1fa021;
http://www.justdial.com/Chennai/National-Institute-Of-Ocean-Technology-Pallikaranai/044PS002549_BZDET;
<https://ioccg.org/2016/05/may-2016>;
<https://geoexpro.com/toward-responsible-deep-sea-mining>;
<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/23/12729>;
<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/23/12729>;
<https://www.dw.com/en/deep-sea-mining-blessing-or-curse/video-64910979>;
<https://www.kv.by/content/326266-ispytaniya-yuzhnokoreiskogo-robota-minero-podobyche-resursov-so-dna-okeana-zavershil>.


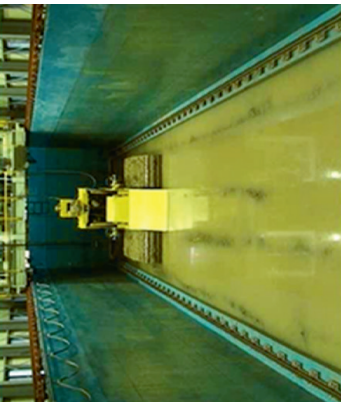
<p>Бельгия (De Bruyne, 2018; Smith, 2021) (GSR)</p>	 <p>а</p>	 <p>б</p>	<p>Стенд (а) и бассейны (б) испытаний агрегата сбора</p>
<p>Индия (Atmanand, Kathirol, 2008) (NIOT)</p>	 <p>а</p>	 <p>б</p>	<p>Камера высокого давления (а), стенды испытаний агрегата сбора (б) и системы подъема (в)</p>
<p>Китай (Ning, 2008) (COMRA)</p>	 <p>а</p>	 <p>б</p>	<p>Стенды испытаний агрегата сбора (а) и системы подъема (б)</p>
<p>Ю. Корея (Hong, 2008) (KORDI)</p>	 <p>а</p>	 <p>б</p>	<p>Стенд испытаний агрегата сбора (а), опытовое судно (б)</p>

Рис. 5 – Стендовые элементы испытательных баз, созданных подрядчиками


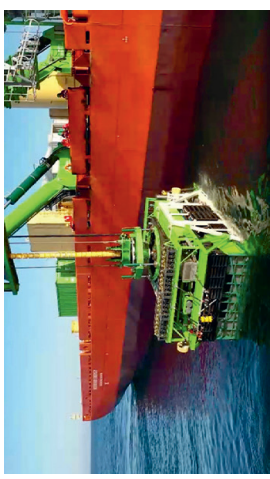


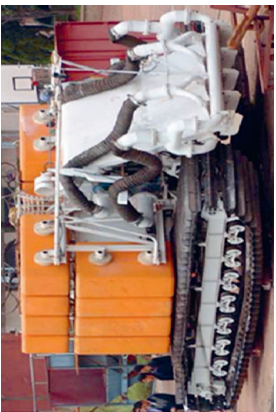



<p>Бельгия (De Bruyne, 2018; Smith, 2021) (GSR)</p>	 <p>а</p>	 <p>б</p>	<p>Индия (Atmanand, Kathirol, 2008) (NIOT)</p>	 <p>а</p>	 <p>б</p>	<p>Китай (Ning, 2008) (COMRA)</p>	 <p>а</p>	 <p>б</p>	<p>Ю. Корея (Hong, 2008) (KORDI)</p>	 <p>а</p>	 <p>б</p>	<p>Агрегат сбора (а) и его испытания (б)</p>
--	--	---	---	--	---	--	---	--	---	--	---	--

Рис. 6 – Разработанные и испытанные в имитирующих натурные условиях модели агрегатов сбора ЖМК

По состоянию на текущий момент, особых успехов в области разработки системы выемки рудной массы добился бельгийский подрядчик ГСР (GSR), выполнивший в апреле 2021 г. натурные испытания прототипа агрегата сбора ЖМК «Патания II» (“Patania II”), разработанного собственными силами и в 2017 г. изготовленного в сотрудничестве с бельгийской компанией De Meyer (GSR presents Patania).

«Патания II», названная в честь самой быстрой в мире гусеницы, представляет собой 25-тонный сверхглубоководный робот на гусеничном ходу. Впервые он был успешно развернут 8 апреля 2021 г. Робот был спущен с надводного корабля по кабелю двусторонней связи длиной 5 км, операция заняла 4 часа. На морском дне «Патания II» продемонстрировала свою способность пересекать морское дно, собирая конкреции во время движения. Система сбора конкреций состоит из коллекторной головки, струйных водяных насосов и сборного барабана. В ходе этой миссии «Патания II» не была подключена к вертикальной трубе для вывода конкреций на поверхность, на данном этапе испытания и мониторинг проходили только донные коллекторы конкреций. После пятидесяти часов пребывания на дне в период с 18 по 20 апреля 2021 г., продемонстрировавшего работоспособность коллектора, он был поднят на борт судна-носителя. Хотя этот начальный этап испытаний прошел благополучно, на следующем этапе случился тревожный инцидент: 28 апреля 2021 г. произошел обрыв грузонесущего троса, после чего связь с коллектором «Патания II», находящимся на дне на глубине 4500 м, была потеряна (Successful trial of seabed ...). Однако, благодаря весьма высокому уровню технологической оснащенности всего комплекса, уже 29 апреля 2021 г. авария с коллектором была ликвидирована, и он был поднят на борт судна (Patania II ...). Следующий этап испытаний, в том числе испытание системной интеграции, состоящей из полномасштабного прототипа сборщика конкреций морского дна и стояка для вывода конкреций на поверхность, запланирован на 2024 г.

Обзор современных зарубежных достижений в области технологий разведки и добычи КМК

Состав технико-технологического обеспечения задач разведки КМК практически ничем не отличается от такового применительно к ЖМК. Правда, имеется существенное исключение, связанное с покровным характером скоплений КМК, что требует точного определения такого параметра как мощность (толщина) корок.

По состоянию на текущий момент технический прогресс в этой области характеризуется развитием двух методов определения указанного параметра:

- 1) путем бурения мелких скважин с использованием погружных буровых установок;
- 2) применением зондирующих акустических устройств.

Потенциальными возможностями реализации первого из упомянутых способов обладают не менее десятка зарубежных стран.

Так, японская нефтяная, газовая и рудная национальная корпорация JOGMEC (Japan Oil, Gas and Metals National Corporation) имеет в своем распоряжении многоствольную систему бурения “BMS” (Benthic Multicoring System), обеспечивающую бурение скважин диаметром 48 мм на глубину до 20 м под дном при глубинах моря до 6000 м. Геологическая служба Великобритании располагает установкой “Rockdrill 2 (BGS RD2 15)”, которая обеспечивает бурение 15-метровых скважин при глубинах моря до 3500 м. Вашингтонский университет (г. Сиэтл, США) имеет установку для бурения 3-метровых скважин при глубинах моря до 5000 м, компания Benthic GeoTech Pty, Ltd. (Австралия) – установку “PROD” (Portable Remotely Operated Drill) для бурения 100-метровых скважин при глубинах моря до 2000 м, Центр морских исследований (MARUM) Бременского университета (Германия) располагает установкой “MeBo” (Meeresboden-Bohrgerät) для бурения 70-метровых скважин при глубинах моря до 2000 м (Report from a Workshop ..., 2000). Недавно к числу эти стран присоединились Канада, компания CELLULA которой разработала погружную буровую установку “CRD 100”, способную бурить 65-120-метровые скважины при глубинах дна до 3000 м (CRD 100 Seafloor Drill), а также Китай с буровой установкой конструкции предприятия КОМРА (COMRA), рассчитанной для бурения полуметровых скважин диаметром 56 мм при глубинах дна до 4500 м (Ren et al., 2020).

Что касается использования погружных буровых установок для бурения скважин в местах скопления КМК, то пока это удалось сделать лишь Японии и Китаю. Представители подрядчиков этих государств JOGMEC и COMRA применили имеющиеся у них буровые установки в процессе изучения КМК Маршалловых островов (SPC-EU EDF10 Deep Sea Minerals (DSM) Project, 2012) и Магеллановых гор (Du et al., 2020), соответственно.

Пионером в области разработки методов и технических средств определения мощности корок посредством акустического зондирования стала в 2010 г. японская корпорация JOGMEC. Разработанный этой компанией экспериментальный образец двухчастотного (1 MHz и 100 kHz) акустического зонда был включен в состав оборудования телеуправляемого подводного аппарата “Hyper Dolphin” и успешно испытан в рейсе NT10-11 НИС «Нацусима» (R/V “Natsushima”) на подводной горе Такуйо (Такуйо Seamount) в северо-западной части Тихого океана. Результаты испытаний зонда продемонстрировали уверенный характер диагностики верхней и нижней границ коркового покрова мощностью 80–100 мм в движении аппарата вдоль профиля протяженностью 24 м (NT10-11 R/V “Natsushima” cruise report, 2010). В 2013, 2016 и 2017 гг. корпорация JOGMEC продолжила успешные испытания зонда в процессе трех морских экспедиций в район подводной горы Такуйо: NT 13-13 на НИС «Нацусима» (R/V “Natsushima”), KR 16-01 на НИС «Кайри» (R/V “Kairei”) и YK 17-23C на НИС «Йокосука» (R/V “Yokosuka”). В результате испытаний суммарная протяженность профилей измерения мощности корок была доведена до 11 км. Благодаря большому количеству измерений удалось с 90-процентным уровнем уверенности установить, что мощность корок, варьируя от 10 мм до 250 мм в пределах изученного участка площадью 12 510 м², в среднем составляет 69.6 мм (Neettiyath et al., 2021).

В 2017 г. аналогичный по принципу действия двухчастотный (1 MHz и 100 kHz) акустический зонд “PPPAAP17” (Programmable Phased Parametric Array Acoustic Probe, 2017) был разработан для компании КОМПА Шанхайской акустической лабораторией АН Китая (Hong et al., 2019). Так же, как и в рассмотренном выше японском аппарате, зонд “PPPAAP17” был включен в состав оборудования телеуправляемого подводного аппарата «ХАЙМА» (HAIMA ROV) и в этом составе был испытан в натуральных условиях на одном из гайотов Западной части Тихого океана. Однако в китайском варианте измерения мощности корок осуществлялись не в процессе движения ТНПА, а лишь при посадке его на дно. Как показали результаты испытаний, диапазон измерений мощности корок соответствовал проектному (30–350 мм), а наиболее точные результаты измерений были получены в случаях, когда средние значения мощности КМК были близки к 257 мм. Тогда стандартное отклонение измерений составляло всего 1.20 мм (Hong et al., 2019).

Научные исследования в области разработки технологий добычи кобальтоносных железомарганцевых корок до недавнего времени находились на начальном этапе, соответственно, рассматриваемые варианты технических средств носили преимущественно умозрительный характер (Hein, 2004). Но в 2020 г. сразу две страны – Япония (JOGMEC Conducts ..., 2020) и Китай (Chinese deep-sea mining system, 2021) – сообщили, что ими разработаны, изготовлены и испытаны в натуральных условиях прототипы агрегатов выемки КМК. Разработкой японского прототипа (рисунок 7а), как и следовало ожидать, занималась корпорация JOGMEC. В июле 2020 г. JOGMEC впервые в мире удалось провести с борта НИС «Хакурей» успешные испытания агрегата в натуральных условиях (рисунок 7б), в результате которых была подтверждена работоспособность прототипа, удостоверенная выемкой 649 кг КМК (JOGMEC Conducts ..., 2020).

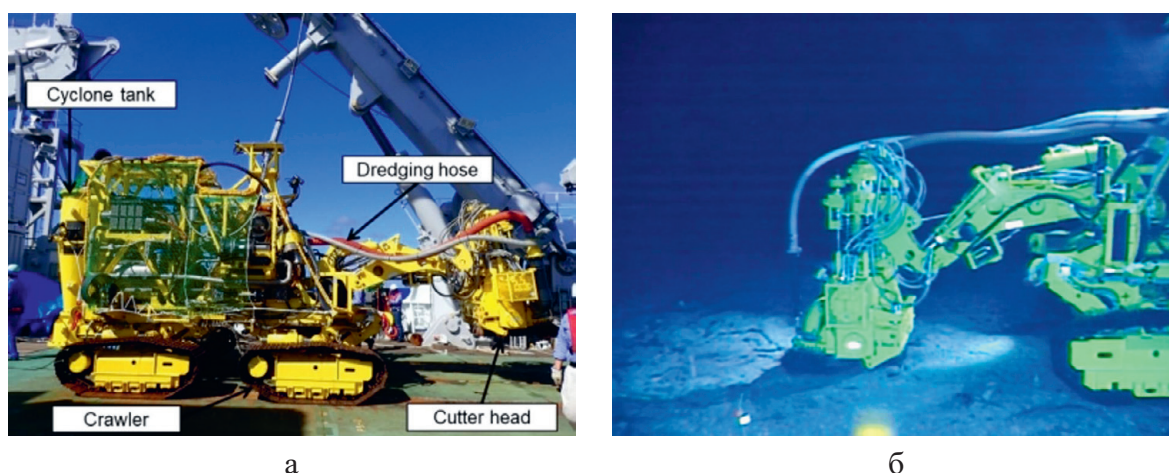


Рис. 7 – Прототип агрегата выемки КМК разработки корпорации JOGMEC (а) и его испытания в натуральных условиях (б)
(<http://www.jogmec.go.jp/english/news/release/content/300368332.pdf>)

Китайский прототип агрегата выемки КМК был разработан Научно-исследовательским Центром “China Merchants Group Marine Engineering”. В октябре 2020 г.

Центр осуществил испытания прототипа в Южно-Китайском море на глубине 1300 м, т. е. в условиях, близких к натурным (рисунок 8). Во время испытаний прототип выполнил под наблюдением из обитаемого подводного аппарата “Deep Sea Warrior” отдельные операции по передвижению по морскому дну, резке, дроблению и сбору образцов, а также других функциональных действий (Chinese deep-sea mining system, 2021).

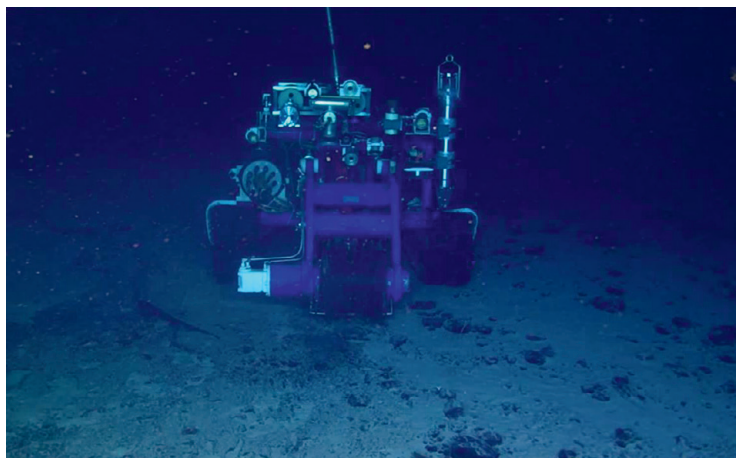


Рис. 8 – Китайский прототип агрегата выемки КМК в процессе натурных испытаний (Chinese deep-sea mining system, 2021) (<https://im-mining.com/2021/01/25/american-bureau-shipping-gives-design-approval-chinese-deep-sea-mining-system>)

Современные тенденции развития техники и технологий в области разведки и добычи железомарганцевых конкреций и кобальтоносных железомарганцевых корок дна Мирового океана

Результаты анализа современных достижений в области технологий разведки и добычи ЖМК и КМК показывают, что главным трендом развития необходимых для этого технических средств является рост уровня их роботизации. Это касается и подводных технических средств, предназначенных для дистанционных исследований геологического строения и рудоносности океанского дна. Целями роботизации являются повышение производительности и экономичности этих средств, качества получаемой с их помощью информации, а также снижение их массогабаритных характеристик. Особенно ярко эти тенденции проявлены применительно к автономным необитаемым подводным аппаратам, оснащение которых обеспечивает синхронное получение высокоточных данных о рельефе дна, строении разреза осадочного чехла, аномалиях магнитного поля, температуре, прозрачности, гидростатическом давлении и солености придонных вод. Стандартный набор упомянутого оснащения, сложившийся, например, в практике норвежской промышленной компании Kongsberg Gruppen (Kongsberg AUV Systems) – одного из лидеров в области создания и использования АНПА, предназначенных для выполнения картировочных работ при

глубинах дна до 6000 м (HUGIN Autonomous Underwater Vehicles), включает: гидролокатор бокового обзора (ГЛБО), многолучевой эхолот (МЛЭ), профилограф морского дна, магнитометр, STD-датчик температуры, проводимости и глубины, HD-камера (CathX Ocean still), дополнительное оборудование: лазерный датчик CathX прозрачности воды и метана.

Перспективные планы компаний, осуществляющих реализацию коммерческих проектов глубоководных исследований обзорного, поискового и геологического характера, в качестве дальнейшего развития применяемых технологий предусматривают существенное повышение их производительности за счет одновременного использования нескольких АНПА, разворачиваемых с одного надводного судна-носителя. Рядом компаний, в первую очередь американской “Ocean Infinity”, уже накоплен опыт картирования дна с использованием восьми АНПА “Kongsberg HUGIN” (Rumson, 2018). В дальнейшем эта компания собирается с данной технологией принять участие в амбициозном проекте “Seabed 2030”, реализуемом компанией GEBSCO при поддержке японской частной некоммерческой организации “Nippon Foundation”, по составлению новой редакции батиметрической карты Мирового океана с разрешением ее растровой версии порядка 400×400 м в интервале глубин 3000–5750 м (Mayer et al., 2018). В ближайшем будущем компания “Ocean Infinity” намерена внедрить в практику своей деятельности революционные варианты технологий картирования и обследования морского дна, основанные на использовании «стай» АНПА и ТНПА, разворачиваемых с индивидуальных носителей, роль которых будут исполнять суда-роботы (корабли-беспилотники), управляемые с суши с использованием спутниковых каналов связи. Компания уже разместила у норвежской судостроительной фирмы VARD заказ на строительство флота из восьми таких кораблей, получившего наименование «Армада» (“Armada”) (Ocean Infinity’s Armada ..., 2020; Ocean Infinity to Expand Armada ..., 2020). Разработанные для решения сегодняшних задач, но с учетом завтрашнего дня, эти исключительно экономичные суда с береговым управлением изначально будут использовать на борту лишь небольшой экипаж. Со временем они смогут работать без персонала на шельфе, потребляя при этом исключительно возобновляемое топливо, такое как аммиак. Первый из 23 инновационных 78-метровых кораблей «Армада» был спущен на воду во Вьетнаме в мае 2022 г., и в сентябре 2022 г. прошел ходовые испытания (Armada launches to sea, 2022).

Наряду с тем, что новая технология обеспечит практически десятикратное увеличение производительности морской составляющей работ, все же ее главным достоинством будет полная автоматизация процессов сбора и предварительной обработки батиметрической информации непосредственно в судовых условиях, а также передача результатов обработки на сушу в виде растровых файлов и в векторной форме с использованием средств интернета. Необходимо подчеркнуть, что компанией “Ocean Infinity” в сотрудничестве с компаниями EIVA, IXblue, Esri / Geodata и CathX – известными авторитетами в области работы с геоданными, уже подготовлен комплект программного обеспечения “Work Flow Manager”, реализующий упомянутые операции с огромными объемами данных (Rumson, 2018).

Не будет преувеличением сказать, что в перспективе применение передовой технологии, разработанной компанией “Ocean Infinity”, в практике разведочной деятельности контракторов с МОМД существенно повысит эффективность этой деятельности, как в части сроков, необходимых для ее осуществления, так и в связи с существенным повышением качества и информативности ее результатов, при этом – на фоне снижения себестоимости работ.

В отличие от АНПА, прогресса в развитии телеуправляемых аппаратов не просматривается. Главные направления совершенствования этих технологий состоят в оптимизации оборудования существующих моделей ТНПА применительно к решению конкретных задач разведки. Однако в любом из вариантов этих задач в стандартный набор оборудования ТНПА рекомендуется включать следующие компоненты (Коноплин и др., 2020):

- мощную систему освещения;
- видеокамеры, фотокамеры;
- гидролокатор кругового или секторного обзора;
- манипуляторный комплекс (1–2 манипулятора с 5–7 степенями свободы);
- высокоточную навигационную систему;
- комплект океанографических приборов (датчики давления, температуры, солености, прозрачности и др.).

Кроме этого, в зависимости от специфики решаемых задач, в состав оборудования ТНПА могут включаться:

- гидроакустические приборы для картирования дна (МЛЭ, ГЛБО) и изучения разреза осадочного чехла (АП);
- приборы для измерения параметров естественных полей (в т. ч. магнитометры);
- приборы для определения параметров рудоносности дна (в частности, мощности корок);
- специальные пробоотборники для отбора проб грунта;
- специальные пробоотборники для отбора биологических образцов.

Заключение

Проведенный обзор дает основания сделать вывод, что в развитии технологии разведки океанских твердых полезных ископаемых основной тенденцией является создание технологических возможностей для оснащения автономных необитаемых, телеуправляемых и обитаемых аппаратов комплексом оборудования, предназначенного для решения широкого круга задач, связанных с этим процессом. Намечается отчетливая тенденция внедрения в практику геологоразведочных работ новых типов технических средств с высоким уровнем роботизации. Можно также с большой вероятностью предполагать, что в будущих технологических комплексах, предназначенных для разработки месторождений ЖМК и КМК, огромную роль сыграют подводные аппараты, как необитаемые, так и обитаемые, способные обеспечивать контроль за ведением добычных операций, а также ликвидацию возможных аварий с

системами выемки рудной массы и транспортировки вынудой массы на поверхность. Что же касается тенденций развития собственно технологий добычи океанских руд, то они пока не просматриваются в силу того обстоятельства, что добычные технологии еще предстоит разработать и испытать на практике.

Список литературы

1. Автономные необитаемые подводные аппараты Китая. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://oosif.ru/anpa-kitaya> – свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.
2. ГИКО – глубоководная добыча полезных ископаемых на океанических шельфах не нарушающими экосистему методами. 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ocean-minerals.ru/page/dobycha-morskih-mineralov.php>; <https://ocean-minerals.ru/page/roi-glubokovodnyh-robotov.php> – свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.
3. Комплекс многоцелевого глубоководного ТПА рабочего класса ROSUB-6000. [Электронный ресурс]. <http://www.edboe.ru/products/rosub.htm> – свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.
4. Коноплин А. Ю., Денисов В. А., Даутова Т. Н., Кузнецов А. Л., Московцева А. В. Технология использования ТНПА для выполнения глубоководных исследовательских операций // Труды 31-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». Санкт-Петербург. 2020. С. 246–251 [Электронный ресурс]. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44406807_42148415.pdf – свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.
5. Патент № 2788227 РФ. Комплекс для добычи рассредоточенных по морскому дну полезных ископаемых / Д. А. Юнгмейстер, В. А. Шпенст, А. В. Григорчук, А. И. Исаев, М. П. Смоленский. Заявка № 2022123385 от 01.09.2022; опубл. 17.01.2023. Бюллетень № 2.
6. Патент 203596 Рос. Федерация: МПК E21C 50/00 (2006.01) E02F 3/413 (2006.01) Устройство для сбора кобальтомарганцевых корок со дна морей / Юнгмейстер Д. А., Королёв Р. И., Сержан С. Л., Уразбахтин Р. Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». Заявка № 2021103823 от 16.02.2021; опубл. 13.04.2021, Бюл. № 11.
7. Подводная робототехника. [Электронный ресурс]. <http://www.imtp.febras.ru/podvodnaya-robototexnika.html?start=13> – свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.
8. Судариков С. М., Юнгмейстер Д. А., Королёв Р. И., Петров В. А. О возможности уменьшения техногенной нагрузки на придонные биоценозы при добыче твердых полезных ископаемых с использованием технических средств различной модификации // Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 82–96. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.14>.
9. Технологический комплекс «Абиссаль 3» для морских глубоководных геологоразведочных работ: пат. 106965 Рос. Федерация: МПК⁷ G01V 11/00(2006.01) G05D 27/00(2006.01) / Тарасенко А. А., Логойда И. Р., Амелин В. В., Мусатова М. М., Котов И. Н., Губанов Ю. Н. Родичев А. П.; заявитель и патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает государственный заказчик – Федеральное агентство по недропользованию. № 2011101171/28, заявл. 13.01.2011; опубл. 27.07.2011.
10. Юнгмейстер Д. А., Исаев А. И., Королёв Р. И., Ефимов Ф. А., Смоленский М. П. Анализ параметров машин комплекса для добычи рассредоточенных по морскому дну полезных ископаемых // Сборник тезисов 10-й Международной конференции «Полезные

- ископаемые Мирового океана», 20–22 июня 2023 года. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2023. С. 133–136.
11. Юнгмейстер Д. А. Обоснование типов глубоководной техники для добычи морских железомарганцевых конкреций / Д. А. Юнгмейстер, С. М. Судариков, К. А. Киреев // Записки Горного института. 2019. Т. 235. С. 88–95. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.1.88>.
 12. Armada launches to sea. 09.05.2022. [Электронный ресурс]. <https://oceaninfinity.com/armada-launches-to-sea/> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 13. Assessing the Impacts of Nodule Mining on the Deep-Sea Environment. [Электронный ресурс]. <https://www.geomar.de/en/news/article/assessing-the-impacts-of-nodule-mining-on-the-deep-sea-environment#gallery-1> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 14. Atmanand M. A., Kathirolu S. The Status of India's Mining Programme // Proceedings of the Workshop jointly organized by the International Seabed Authority and the Ministry of Earth Sciences, Government of India, National Institute of Ocean Technology, Chennai, India 18–22 February 2008. P. 130–142. [Электронный ресурс]. <https://www.isa.org/jm/files/documents/EN/Pubs/Chennai.pdf> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 15. AUV Qianlong-1 Finished First Scientific Expedition and Back Home. http://english.cas.cn/newsroom/archive/news_archive/nu2013/201502/t20150216_140565.shtml – свободный. Загл. с экрана. Яз. Англ.
 16. Chinese deep-sea mining system. 2021. [Электронный ресурс]. <https://im-mining.com/2021/01/25/american-bureau-shipping-gives-design-approval-chinese-deep-sea-mining-system/> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 17. CRD 100 Seafloor Drill. [Электронный ресурс]. <https://static1.squarespace.com/static/591b4a93725e254bd9bea803/t/59ea72db1f318d9008cd7ba9/1508537068056/CRD100+Datasheet+%28New%29.pdf> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 18. Cui W. C. Development of the Jiaolong deep manned submersible // Marine Technology Society Journal. 2013. 47 (3). P. 37–54. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.47.3>. [Электронный ресурс]. https://www.researchgate.net/publication/272204383_Development_of_the_Jiaolong_Deep_Manned_Submersible – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 19. De Bruyne K. GSR's PROCAT-Project: Technical derisking of deep sea mining equipment. 29.10.2018. [Электронный ресурс]. <http://www.lbeg.niedersachsen.de/download/137704> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 20. Du D., Yan S., Yang G., Shi F., Zhu Z., Song O., Yang F., Cui Y., Shi X. Depositional patterns constrained by slope topography changes on seamounts // Sci Rep. 2020. Nov 25. Vol. 10 (1). P. 20534. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77573-2>. [Электронный ресурс]. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-77573-2.pdf> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 21. Edgetech FS 2200-M ГЛБО. [Электронный ресурс]. http://svarog.ru/wp-content/uploads/2017/01/EdgeTech-2200-m_brochure.pdf – свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.
 22. Gazis I. Z., Schoening T., Alevizos E., Greinert J. Quantitative mapping and predictive modeling of Mn nodules' distribution from hydroacoustic and optical AUV data linked by random forests machine learning // Biogeosciences. 2018. Vol. 15. P. 7347–7377. [Электронный ресурс]. <https://bg.copernicus.org/articles/15/7347/2018/bg-15-7347-2018.pdf> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 23. GSR presents Patania. [Электронный ресурс]. <https://www.deme-gsr.com/news/article/gsr-presents-patania-i-to-the-flemish-minister-of-innovation/> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
 24. Naixing 6000 ROV. [Электронный ресурс]. <https://steemit.com/botbod/@infocomm/kitayskiy-podvodniy-robot-morskaya-zvezda-ustanovil-rekord-raboty-na-glubine> – свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.

25. *Hein J. R.* Cobalt-rich ferromanganese crusts: Global distribution, composition, origin and research activities. In *Minerals Other than Polymetallic Nodules of the International Seabed Area*; International Seabed Authority: Kingston, Jamaica. 2004. Chapter 5. P. 188–256. [Электронный ресурс]. <https://www.researchgate.net/publication/264382918> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
26. *Hong F., Feng H., Huang M., Wang B., Xia J.* China's First Demonstration of Cobalt-rich Manganese Crust Thickness Measurement in the Western Pacific with a Parametric Acoustic Probe. *Sensors* 2019. Vol. 19. 4300. <https://doi.org/10.3390/s19194300>. [Электронный ресурс]. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/19/4300/htm> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
27. *Hong S. A.* Way to Accomplish the Mining Technology for Polymetallic Nodules // *Proceedings of the Workshop jointly organized by the International Seabed Authority and the Ministry of Earth Sciences, Government of India, National Institute of Ocean Technology, Chennai, India, 18–22 February 2008*. P. 185–201. [Электронный ресурс]. <https://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Pubs/Chennai.pdf> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
28. HUGIN Autonomous Underwater Vehicles. [Электронный ресурс]. <https://www.kongsberg.com/ru/maritime/products/marine-robotics/autonomous-underwater-vehicles/AUV-hugin/> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
29. iXblue – поставщик технологического оборудования Uyx AUV. [Электронный ресурс]. <https://www.ixblue.com/news/ifremer-chooses-ixblues-technology-equip-its-new-6000-meter-auv> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
30. JOGMEC Conducts World's First Successful Excavation of Cobalt-Rich Seabed in the Deep Ocean. 2020. [Электронный ресурс]. <http://www.jogmec.go.jp/english/news/release/content/300368332.pdf> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
31. КАИКО 7000 ROV_JAMSTEC. [Электронный ресурс]. <https://www.jamstec.go.jp/e/about/equipment/ships/kaiko7000.html> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
32. Klein SSS_UUV-3500-Deep.pdf. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://kleinmarinesystems.com/wp-content/uploads/MIND_Klein_UUV_3500-Deep.pdf – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
33. Klein Specification_UUV-3500-Deep. [Электронный ресурс]. <http://www.teledynemarine.com/klein-side-scan-sonar-module> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
34. Kongsberg AUV Systems. [Электронный ресурс]. <https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/naval-auv-product-range> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
35. *Li S., Liu J., Xu H., Zhao H., Wang Y.* Research status of autonomous underwater vehicles in China. *SCIENTIA SINICA Informationis*. 2018. Vol. 48. Iss. 9. P. 1152–1164. <https://doi.org/10.1360/N112017-00264>. [Электронный ресурс]. <https://www.sciengine.com/publisher/scp/journal/SSI/48/9/10.1360/N112017-00264?slug=fulltext> – свободный. Загл. с экрана. Яз. кит.
36. *Linke P., Lackschewitz K.* Autonomous Underwater Vehicle ABYSS // *Journal of large-scale research facilities JLSRF*. 2016. Vol. 2. No. 79. [Электронный ресурс]. <https://jlsrf.org/index.php/lrf/article/view/149/pdf> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
37. *Marsh L., Huvenne V. A. I., Jones D. O. B.* Geomorphological evidence of large vertebrates interacting with the seafloor at abyssal depths in a region designated for deep-sea mining // *Royal Society Open Science*. 2018. No. 5 (8). [180286]. <https://doi.org/10.1098/rsos.180286>. [Электронный ресурс]. <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsos.180286> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.

38. *Martínez Arbizu P., Haeckel M.* RV SONNE Fahrtbericht / Cruise Report SO239: EcoResponse assessing the ecology, connectivity and resilience of polymetallic nodule field systems, Balboa (Panama) – Manzanillo (Mexico) 11.03.2015–30.04.2015 // GEOMAR Report (N. Ser.). 2015. Vol. 25. 204 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
39. *Mayer L., Jakobsson M., Allen G., Dorschel B., Falconer R., Ferrini V., Lamarche G., Snaith H., Weatherall P.* The Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World's Oceans Completely Mapped by 2030 // *Geosciences*. 2018. No. 8 (2). P. 63. <https://doi.org/10.3390/geosciences8020063>. [Электронный ресурс]. <https://www.mdpi.com/2076-3263/8/2/63/html> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
40. *McPhail S., Furlong M., Pebody M.* Lowaltitude terrain following and collision avoidance in a flight-class autonomous underwater vehicle // *J. Eng. Marit. Environ.* 2010. No. 224. P. 279–292. <https://doi.org/10.1130/G39091.1>. [Электронный ресурс]. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/14750902jeme196> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
41. *Neettiyath U., Thornton B., Sangekar M., Nishida Y., Ishii K., Bodenmann A., Sato T., Ura T., Akira Asada A.* Deep-Sea Robotic Survey and Data Processing Methods for Regional-Scale Estimation of Manganese Crust Distribution. *IEEE // Journal of Oceanic Engineering*. 2021. Vol. 46. Iss. 1. P. 102–114. <https://doi.org/10.1109/JOE.2020.2978967>. [Электронный ресурс]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9094038> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
42. *Ning Y.* Research and Development of Polymetallic Nodule Mining Technology in China. Nodules // *Proceedings of the Workshop jointly organized by the International Seabed Authority and the Ministry of Earth Sciences, Government of India, National Institute of Ocean Technology, Chennai, India, 18–22 February. 2008. P. 214–226.* [Электронный ресурс]. <https://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Pubs/Chennai.pdf> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
43. NT10-11 R/V Natsushima cruise report, 25th June–7th July, 2010, #5 Takuyo Seamount. http://www.godac.jamstec.go.jp/catalog/data/doc_catalog/media/NT10-11_all.pdf – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
44. Ocean Infinity's Armada To Aid Ambitious Seabed Mapping Project / *Industry Europe*. 2020.02.13. <https://industryeurope.com/sectors/transportation/ocean-infinitys-armada-to-aid-ambitious-seabed-mapping-project/>.
45. Ocean Infinity to Expand Armada Fleet with 'World's Largest' Robotic Vessels / *Offshore Engineer*. 2020.11.23. [Электронный ресурс]. <https://www.oedigital.com/news/483415-ocean-infinity-to-expand-armada-fleet-with-world-s-largest-robotic-vessels> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
46. Patania II successfully reconnected 29.04.2021. [Электронный ресурс]. <https://www.demegsr.com/news/article/deep-seabed-mining-robot-patania-ii-successfully-reconnected-mission-continues> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
47. *Ren Z., Zhou F., Zhu H., Zhang P., Chen J., Zhou P., Tian L., Liu C., Zhang X.* The Research on the Mobile Drilling Rig for Deep Seabed Shallow Strata. *Preprints*. 2020. 2020120345. <https://doi.org/10.20944/preprints202012.0345.v1>. [Электронный ресурс]. <https://www.preprints.org/manuscript/202012.0345/v1> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
48. Report from a Workshop “Requirements for Robotic Underwater Drills in U.S. Marine Geologic Research” 3–4 November. 2000. Texas A&M University College Station, TX, http://www.odplegacy.org/pdf/admin/workshops/2000_11_robotic_drills.pdf. – Загл. с экрана. Яз. англ.
49. ROSUB 6000 ROV_NIOT. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.niot.res.in/niot1/dst_intro.php – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
50. ROV KIEL 6000. [Электронный ресурс]. https://wikichi.ru/wiki/ROV_KIEL_6000 – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.

51. *Rumson A.* Mapping the Deep Ocean with Multiple AUVs. Hydro international, 2018.04.21. [Электронный ресурс]. <https://www.hydro-international.com/content/article/mapping-the-deep-ocean-with-multiple-auvs> – свободный. Загл. с экрана. Яз. Англ.
52. SAMS-150 SSS – iXBlue. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ixblue.com/products/sams-series> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
53. Sentry AUV. [Электронный ресурс]. <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/underwater-vehicles/sentry/> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
54. *Simeoni P., Sarrazin J., Nouze H., Sarradin P. M., Ondreas H., Scalabrin C., Siquin J. M.* Victor 6000: New high resolution tools for deep-sea research. Oceans 2007 – Europe. 2007. Vol. 1–3. IEEE, New York. 133–138 p. [Электронный ресурс]. http://www.ifremer.fr/momarsat2010/biblio/Simeoni_2007_publication-3596.pdf – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
55. *Smith S.* Update on the Patania II Trial and Monitoring Plans. 2021. https://miningimpact.geomar.de/documents/1082101/1433168/Smith_StakeholderID_2021.pdf/392bba75-469e-41eaf34-3f41ad1fa021 – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
56. SPC-EU EDF10 Deep Sea Minerals (DSM) Project. 2012. Information Brochure 12. Republic of the Marshall Islands Deep-sea Minerals Potential. [Электронный ресурс]. <http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=spc-eu%20edf10%20brochure%2012&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CEsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fict.sopac.org%2Flibrary%2Fdownload%2Findex%2F540%3Ffile%3DPR98.pdf&ei=P1z-T5aECcj74QJh-GOBw&usg=AFQjCNF8-LioNyd8Zeh3YpxEL5oYOJFzkg&cad=rjt> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
57. Successful trial of seabed polymetallic nodule collector suffers temporary stranding of robot on ocean floor. [Электронный ресурс]. <https://www.greencarcongress.com/2021/04/20210429-get.html> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
58. *Tilot V., Ormond R., Moreno Navas J., Catalá T. S.* The Benthic Megafaunal Assemblages of the CCZ (Eastern Pacific) and an Approach to their Management in the Face of Threatened Anthropogenic Impacts. *Front. Mar. Sci.* 2018. Vol. 5. No. 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00007> [Электронный ресурс]. https://www.researchgate.net/publication/323285078_The_Benthic_Megafaunal_Assemblages_of_the_CCZ_Eastern_Pacific_and_an_Approach_to_their_Management_in_the_Face_of_Threatened_Anthropogenic_Impacts – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
59. *Tsune A., Okazaki M.* Current Situation of Manganese Nodule Exploration in Japanese License Area. *Journal of MMIJ.* 2015. Vol. 131. Iss. 12. P. 602–609. <https://doi.org/10.2473/journalofmmij.131.602>. [Электронный ресурс]. https://www.jstage.jst.go.jp/article/journalofmmij/131/12/131_602/_pdf-char/ja – свободный. Загл. с экрана. Яз. яп.
60. Qianlong. No. 1. [Электронный ресурс]. <https://www.globalsecurity.org/military/world/china/qianlong-1.htm> – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
61. *William K.* MTS manned underwater vehicles 2017–2018 global industry overview // Marine Technology Society Journal. 2018. Vol. 52 (5). P. 125–151. [Электронный ресурс]. [https://static1.squarespace.com/static/54deab4ce4b00617870d18ad/t/5b27ffaf8a922da8d4679d74/1529348080566/2017-2018+MUV+Global+Overview+\(Hydrospace+5-17-18\).pdf](https://static1.squarespace.com/static/54deab4ce4b00617870d18ad/t/5b27ffaf8a922da8d4679d74/1529348080566/2017-2018+MUV+Global+Overview+(Hydrospace+5-17-18).pdf) – свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.

Статья поступила в редакцию 07.09.2023, одобрена к печати 22.12.2023.

Для цитирования: Юбко В. М., Пономарева И. Н., Лыгина Т. И. Современные тенденции развития техники и технологий разведки и добычи железомарганцевых конкреций и кобальтоносных железомарганцевых корок Мирового океана // Океанологические исследования. 2023. № 51 (4). С. 186–215. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(4\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(4).8).

**THE MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT
OF EQUIPMENT AND TECHNOLOGY EXPLORATION AND MINING
OF MANGANESE NODULES AND COBALT-RICH FERROMANGANESE
CRUSTS IN THE WORLD OCEAN**

V. M. Yubko, I. N. Ponomareva, T. I. Lygina

*State Scientific Center JSC “Yuzhmorgeology”,
20, Krymskaya, Gelendzhik, 353461, Russia,
e-mail: PonomarevaIN@rusgeology.ru*

The article provides an overview of domestic and foreign achievements in the field of development of technologies for exploration and production of manganese nodules and cobalt-rich crusts on the bottom of the World Ocean. The problems that are solved through the use of modern deep-sea technical complexes, including autonomous uninhabited, remote-controlled and manned ones, are characterized. A clear tendency has been noted to introduce new types of technical means with a high level of robotization into the practice of geological exploration. Specific examples of technical developments in this area are given. It is noted that the main trend in the development of technology for exploration of deep-sea deposits of ocean ores and their extraction is the equipping of underwater uninhabited and manned underwater vehicles with a set of equipment that will allow solving a wide range of problems associated with these processes.

Keywords: World Ocean, manganese nodules, cobalt-rich ferromanganese crusts, deposits, geological exploration, mining, underwater equipment

Referenses

1. *Avtonomnyye neobitayemye podvodnyye apparaty Kitaya (Autonomous uninhabited underwater vehicles of China)*. <http://oosif.ru/anpa-kitaya>.
2. *Armada launches to sea*. 09.05.2022, [Электронный ресурс], <https://oceaninfinity.com/armada-launches-to-sea/>.
3. *Assessing the Impacts of Nodule Mining on the Deep-Sea Environment*. [Электронный ресурс], <https://www.geomar.de/en/news/article/assessing-the-impacts-of-nodule-mining-on-the-deep-sea-environment#gallery-1>.
4. Atmanand, M. A. and S. Kathirolu, The Status of India’s Mining Programme. *Proceedings of the Workshop jointly organized by the International Seabed Authority and the Ministry of Earth Sciences, Government of India, National Institute of Ocean Technology, Chennai, India, 18–22 February 2008*, 130–142, <https://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Pubs/Chennai.pdf>.
5. *Chinese deep-sea mining system*. 2021, [Электронный ресурс], <https://im-mining.com/2021/01/25/american-bureau-shipping-gives-design-approval-chinese-deep-sea-mining-system/>.
6. *CRD 100 Seafloor Drill*. [Электронный ресурс], <https://static1.squarespace.com/static/591b4a93725e254bd9bea803/t/59ea72db1f318d9008cd7ba9/1508537068056/CRD100+Datasheet+%28New%29.pdf>.
7. Cui, W. C., 2013: Development of the Jiaolong deep manned submersible. *Marine Technology Society Journal*, **47** (3), 37–54, <https://doi.org/10.4031/MTSJ.47.3>. <https://>

- www.researchgate.net/publication/272204383_Development_of_the_Jiaolong_Deep_Manned_Submersible.
8. De Bruyne, K. *GSR's PROCAT-Project: Technical derisking of deep sea mining equipment*. 29.10.2018, <http://www.lbeg.niedersachsen.de/download/137704>.
 9. Du, D., S. Yan, G. Yang, F. Shi, Z. Zhu, O. Song, F. Yang, Y. Cui, and X. Shi, 2020: Depositional patterns constrained by slope topography changes on seamounts. *Sci Rep.*, Nov. 25, **10** (1), 20534, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77573-2>, [Электронный ресурс], <https://www.nature.com/articles/s41598-020-77573-2.pdf>.
 10. *Edgetech FS 2200-M ГЛБО*. [Электронный ресурс], http://svarog.ru/wp-content/uploads/2017/01/EdgeTech-2200-m_brochure.pdf.
 11. *First Scientific Expedition and Back Home*. http://english.cas.cn/newsroom/archive/news_archive/nu2013/201502/t20150216_140565.shtml.
 12. Gazis, I. Z., T. Schoening, E. Alevizos, and J. Greinert, 2018: Quantitative mapping and predictive modeling of Mn nodules' distribution from hydroacoustic and optical AUV data linked by random forests machine learning. *Biogeosciences*, **15**, 7347–7377, [Электронный ресурс], <https://bg.copernicus.org/articles/15/7347/2018/bg-15-7347-2018.pdf>.
 13. *GIKO – glubokovodnaya dobycha poleznykh iskopayemykh na okeanicheskikh shel'fakh ne narushayushchimi ekosistemu metodami (GIKO – deep-sea mining of minerals on ocean shelves using methods that do not disturb the ecosystem)*. 2023, <https://ocean-minerals.ru/page/dobycha-morskikh-mineralov.php>; <https://ocean-minerals.ru/page/roi-glubokovodnyh-robotov.php>.
 14. *GSR presents Patania*. <https://www.deme-gsr.com/news/article/gsr-presents-patania-i-to-the-flemish-minister-of-innovation/>.
 15. *Haixing 6000 ROV*. <https://steemit.com/botbod/@infocomm/kitayskiy-podvodnyiy-robot-morskaya-vezda-ustanovil-rekord-raboty-na-glubine>.
 16. Hein, J. R., 2004: Cobalt-rich ferromanganese crusts: Global distribution, composition, origin and research activities. In: *Minerals Other than Polymetallic Nodules of the International Seabed Area*. International Seabed Authority: Kingston, Jamaica, **5**, 188–256, <https://www.researchgate.net/publication/264382918>.
 17. Hong, F., H. Feng, M. Huang, B. Wang, and J. Xia, 2019: China's First Demonstration of Cobalt-rich Manganese Crust Thickness Measurement in the Western Pacific with a Parametric Acoustic Probe. *Sensors*, **19**, 4300, <https://doi.org/10.3390/s19194300>, [Электронный ресурс], <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/19/4300/htm>.
 18. Hong, S. A., 2008: Way to Accomplish the Mining Technology for Polymetallic Nodules. *Proceedings of the Workshop jointly organized by the International Seabed Authority and the Ministry of Earth Sciences, Government of India, National Institute of Ocean Technology, Chennai, India, 18–22 February, 185–201*, [Электронный ресурс], <https://www.isa.org/jm/files/documents/EN/Pubs/Chennai.pdf>.
 19. *HUGIN Autonomous Underwater Vehicles*. [Электронный ресурс], <https://www.kongsberg.com/ru/maritime/products/marine-robotics/autonomous-underwater-vehicles/AUV-hugin/>.
 20. *iXblue – поставщик технологического оборудования Ulyx AUV*. [Электронный ресурс], <https://www.ixblue.com/news/ifremer-chooses-ixblues-technology-equip-its-new-6000-meter-auv>.
 21. *JOGMEC Conducts World's First Successful Excavation of Cobalt-Rich Seabed in the Deep Ocean*. 2020, [Электронный ресурс], <http://www.jogmec.go.jp/english/news/release/content/300368332.pdf>.
 22. *KAIKO 7000 ROV JAMSTEC*. [Электронный ресурс], <https://www.jamstec.go.jp/e/about/equipment/ships/kaiko7000.html>.

23. Klein SSS_UUV-3500-Deep.pdf. [Электронный ресурс], Режим доступа: http://kleinmarinesystems.com/wp-content/uploads/MIND_Klein_UUV_3500-Deep.pdf.
24. Klein Specification_UUV-3500-Deep. [Электронный ресурс], <http://www.teledynemarine.com/klein-side-scan-sonar-module>.
25. Kompleks mnogotselevogo glubokovodnogo TPA rabocheho klassa ROSUB-6000 (Complex of multi-purpose deep-sea ROV working class ROSUB-6000). <http://www.edboe.ru/products/rosub.htm>.
26. Kongsberg AUV Systems. [Электронный ресурс], <https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/naval-auv-product-range>.
27. Konoplin, A. Yu., V. A. Denisov, T. N. Dautova, A. L. Kuznetsov, and A. V. Moskovtseva, 2020: Tekhnologiya ispol'zovaniya TNPA dlya vypolneniya glubokovodnykh issledovatel'skikh operatsiy (Technology for using ROVs to perform deep-sea research operations). *Trudy 31 Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Ekstremal'naya robototekhnika"*, Saint Petersburg, 246–251, https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44406807_42148415.pdf.
28. Li, S., J. Liu, H. Xu, H. Zhao, and Y. Wang, 2018: Research status of autonomous underwater vehicles in China. *SCIENTIA SINICA Informationis*, **48** (9), 1152–1164, <https://doi.org/10.1360/N112017-00264>, [Электронный ресурс], <https://www.sciengine.com/publisher/scp/journal/SSI/48/9/10.1360/N112017-00264?slug=fulltext>.
29. Linke, P. and K. Lackschewitz, 2016: Autonomous Underwater Vehicle ABYSS. *Journal of large-scale research facilities JLSRF*, **2**, 79, [Электронный ресурс], <https://jlsrf.org/index.php/lsf/article/view/149/pdf>.
30. Marsh, L., V. A. I. Huvenne, & D. O. B. Jones, 2018: Geomorphological evidence of large vertebrates interacting with the seafloor at abyssal depths in a region designated for deep-sea mining. *Royal Society Open Science*, **5** (8), [180286], <https://doi.org/10.1098/rsos.180286>, [Электронный ресурс], <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsos.180286>.
31. Martínez, Arbizu, Pedro, and Matthias Haeckel, 2015: RV SONNE Fahrtbericht. Cruise Report SO239: EcoResponse assessing the ecology, connectivity and resilience of polymetallic nodule field systems, Balboa (Panama) – Manzanillo (Mexico) 11.03.2015–30.04.2015. *GEOMAR Report* (N. Ser.), **25**, 204, Режим доступа: https://www.portal.forschungsschiffe.de/lw_resource/datapool/_items/item_146/so_239_fahrtbericht.pdf.
32. Mayer, L., M. Jakobsson, G. Allen, B. Dorschel, R. Falconer, V. Ferrini, G. Lamarche, H. Snaith, and P. Weatherall, 2018: The Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World's Oceans Completely Mapped by 2030. *Geosciences*, **8** (2), 63, <https://doi.org/10.3390/geosciences8020063>; <https://www.mdpi.com/2076-3263/8/2/63/html>.
33. McPhail, S., M. Furlong, and M. Pebody, 2010: Lowaltitude terrain following and collision avoidance. <https://doi.org/10.1130/G39091.1>, [Электронный ресурс], <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/14750902jeme196>.
34. Neettiyath, U., B. Thornton, M. Sangekar, Y. Nishida, K. Ishii, A. Bodenmann, T. Sato, T. Ura, and A. Akira Asada, 2021: Deep-Sea Robotic Survey and Data Processing Methods for Regional-Scale Estimation of Manganese Crust Distribution. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, **46** (1), 102–114, <https://doi.org/10.1109/JOE.2020.2978967>, [Электронный ресурс], <https://ieeexplore.ieee.org/document/9094038>.
35. Ning, Y., 2008: Research and Development of Polymetallic Nodule Mining Technology in China. Nodules. *Proceedings of the Workshop jointly organized by the International Seabed Authority and the Ministry of Earth Sciences*, Government of India, National Institute of Ocean Technology, Chennai, India, 18–22 February, 214–226, <https://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Pubs/Chennai.pdf>.

36. *NT10-11 R/V Natsushima cruise report, 25th June – 7th July, 2010, #5 Takuyo Seamount*. http://www.godac.jamstec.go.jp/catalog/data/doc_catalog/media/NT10-11_all.pdf.
37. *Ocean Infinity's Armada To Aid Ambitious Seabed Mapping Project / Industry Europe*, 2020.02.13, <https://industryeurope.com/sectors/transportation/ocean-infinitys-armada-to-aid-ambitious-seabed-mapping-project/>.
38. *Ocean Infinity to Expand Armada Fleet with 'World's Largest' Robotic Vessels / Offshore Engineer*, 2020.11.23, [Электронный ресурс], <https://www.oedigital.com/news/483415-ocean-infinity-to-expand-armada-fleet-with-world-s-largest-robotic-vessels>.
39. *Patania II successfully reconnected*, 29.04.2021, [Электронный ресурс], <https://www.demegsr.com/news/article/deep-seabed-mining-robot-patania-ii-successfully-reconnected-mission-continues>.
40. *Patent № 2788227 RF. Kompleks dlya dobychi rassredotochennykh po morskomu dnu poleznykh iskopayemykh (Complex for the extraction of minerals dispersed along the seabed)*. Yungmeyster D. A., Shpenst V. A., Grigorochuk A. V., Isayev A. I., Smolenskiy M. P. Zayavka No. 2022123385 ot 01.09.2022; opubl. 17.01.2023. Byulleten' No. 2.
41. *Patent 203596 Ros. Federatsiya: MPK E21C 50/00 (2006.01) E02F 3/413 (2006.01) Ustroystvo dlya sbora kobal'tomargantsevykh korok so dna morey (Device for collecting cobalt-manganese crusts from the bottom of the seas)*. Yungmeyster D. A., Korolov R. I., Serzhan S. L., Urazbakhtin R. Zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO "Sankt-Peterburgskiy gorniy universitet". Zayavka No. 2021103823 ot 16.02.2021; opubl. 13.04.2021, Byul. No. 11.
42. *Podvodnaya robototekhnika (Underwater robotics)*. <http://www.imtp.febras.ru/podvodnaya-robototekhnika.html?start=13>.
43. Ren, Z., F. Zhou, H. Zhu, P. Zhang, J. Chen, P. Zhou, L. Tian, C. Liu, and X. Zhang, 2020: The Research on the Mobile Drilling Rig for Deep Seabed Shallow Strata. *Preprints*, 2020120345 (<https://doi.org/10.20944/preprints202012.0345.v1>), [Электронный ресурс], <https://www.preprints.org/manuscript/202012.0345/v1>.
44. *Report from a Workshop "Requirements for Robotic Underwater Drills in U.S. Marine Geologic Research"*, 3–4 November 2000, Texas A&M University College Station, TX, http://www.odplegacy.org/pdf/admin/workshops/2000_11_robotic_drills.pdf.
45. *ROSUB 6000 ROV_NIOT*. https://www.niot.res.in/niot1/dst_intro.php.
46. *ROV KIEL 6000*. https://wikichi.ru/wiki/ROV_KIEL_6000.
47. Rumson, A. *Mapping the Deep Ocean with Multiple AUVs*. *Hydro international*, 2018.04.21, [Электронный ресурс], <https://www.hydro-international.com/content/article/mapping-the-deep-ocean-with-multiple-auvs>.
48. *SAMS-150 SSS – iXBlue*. <https://www.ixblue.com/products/sams-series>.
49. *Sentry AUV*. [Электронный ресурс], <https://www.who.edu/what-we-do/explore/underwater-vehicles/sentry/>.
50. Simeoni, P., J. Sarrazin, H. Nouze, P. M. Sarradin, H. Ondreas, C. Scalabrin, and J. M. Siquin, 2007: *Victor 6000: New high resolution tools for deep-sea research*. *Oceans 2007 – Europe*, 1–3, IEEE, New York, 133–138, [Электронный ресурс], http://www.ifremer.fr/momarsat2010/biblio/Simeoni_2007_publication-3596.pdf.
51. Smith, S., 2021: *Update on the Patania II Trial and Monitoring Plans*. https://miningimpact.geomar.de/documents/1082101/1433168/Smith_StakeholderID_2021.pdf/392bba75-469e-41ea-af34-3f41ad1fa021.
52. *SPC-EU EDF10 Deep Sea Minerals (DSM) Project*. 2012. Information Brochure 12. Republic of the Marshall Islands Deep-sea Minerals Potential, <http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=spc-eu%20edf10%20brochure%2012&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CEsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fict.sopac.org%2Flibrary%2Fdownload%2Findex%2F540%3Ffile%3DPR98>.

- pdf&ei=P1z-T5aECcj74QsJh-GOBw&usg=AFQjCNF8-LioNyd8Zeh3YpxEL5oYOJFzkg&cad=rjt.
53. Successful trial of seabed polymetallic nodule collector suffers temporary stranding of robot on ocean floor. <https://www.greencarcongress.com/2021/04/20210429-get.html>.
 54. Sudarikov, S. M., D. A. Yungmeister, R. I. Korolov, and V. A. Petrov, 2022: O vozmozhnosti umen'sheniya tekhnogennoy nagruzki na pridonnye biotsenozy pri dobyche tverdykh poleznykh iskopayemykh s ispol'zovaniyem tekhnicheskikh sredstv razlichnoy modifikatsii (On the possibility of reducing the technogenic load on bottom biocenoses during the extraction of solid minerals using technical means of various modifications). *Zapiski Gornogo instituta*, **253**, 82–96, <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.14>.
 55. *Tekhnologicheskyy kompleks "Abissal'-3" dlya morskikh glubokovodnykh geologorazvedochnykh rabot (Technological complex "Abyssal-3" for offshore deep-sea geological exploration: Pat. 106965 Ross. Federation: pat. 106965 Ros. Federatsiya: MPK G01V 11/00(2006.01) G05D 27/00(2006.01). Tarasenko A. A., Logoyda I. R., Amelin V. V., Musatova M. M., Kotov I. N., Gubanov Yu. N. Rodichev A. P.; applicant and patent holder Russian Federation, on behalf of which the state customer acts – Federal Agency for Subsoil Use, No. 2011101171/28, application. 01/13/2011; publ. 07/27/2011.*
 56. Tilot, V., R. Ormond, J. Moreno Navas and T. S. Catalá, 2018: The Benthic Megafaunal Assemblages of the CCZ (Eastern Pacific) and an Approach to their Management in the Face of Threatened Anthropogenic Impacts. *Front. Mar. Sci.*, **5**, 7, <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00007>, [Электронный ресурс], https://www.researchgate.net/publication/323285078_The_Benthic_Megafaunal_Assemblages_of_the_CCZ_Eastern_Pacific_and_an_Approach_to_their_Management_in_the_Face_of_Threatened_Anthropogenic_Impacts.
 57. Tsune, A. and M. Okazaki, 2015: Current Situation of Manganese Nodule Exploration in Japanese License Area. *Journal of MMIJ*, **131** (12), 602–609, <https://doi.org/10.2473/journalofmmij.131.602>. [Электронный ресурс], https://www.jstage.jst.go.jp/article/journalofmmij/131/12/131_602/_pdf/-char/ja.
 58. *Qianlong*. No. 1, <https://www.globalsecurity.org/military/world/china/qianlong-1.htm>.
 59. William, K., 2018: MTS manned underwater vehicles 2017–2018 global industry overview. *Marine Technology Society Journal*, **52** (5), 125–151, [Электронный ресурс], [https://static1.squarespace.com/static/54deab4ce4b00617870d18ad/t/5b27ffaf8a922da8d4679d74/1529348080566/2017-2018+MUV+Global+Overview+\(Hydrospace+5-17-18\).pdf](https://static1.squarespace.com/static/54deab4ce4b00617870d18ad/t/5b27ffaf8a922da8d4679d74/1529348080566/2017-2018+MUV+Global+Overview+(Hydrospace+5-17-18).pdf).
 60. Yungmeister, D. A., A. I. Isayev, R. I. Korolov, F. A. Yefimov, and M. P. Smolenskiy, 2023: *Analiz parametrov mashin kompleksa dlya dobychi rassredotochennykh po morskomu dnu poleznykh iskopayemykh (Analysis of machine parameters of a complex for the extraction of minerals dispersed along the seabed)*. Sbornik tezisov 10-y Mezhdunarodnoy konferentsii "Poleznye iskopayemye Mirovogo okeana", 20–22 iyunya 2023 goda, Saint Petersburg: VNIIOkeangeologiya, 133–136.
 61. Yungmeister, D. A. Obosnovaniye tipov glubokovodnoy tekhniki dlya dobychi morskikh zhelezomargantsevykh konkretsiy (Justification of the types of deep-sea equipment for the extraction of marine ferromanganese nodules), Eds. D. A. Yungmeister, S. M. Sudarikov, K. A. Kireyev. *Zapiski Gornogo instituta*, 2019, **235**, 88–95, <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.1.88>.

Submitted 07.09.2023, accepted 22.12.2023.

For citation: Yubko, V. M., I. N. Ponomareva, and T. I. Lygina, 2023: The modern trends in the development of equipment and technology exploration and mining of manganese nodules and cobalt-rich ferromanganese crusts in the World Ocean. *Journal of Oceanological Research*, **51** (4), 186–215, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(4\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(4).8).