

УДК 624.131

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА (к 50-летию лаборатории инженерной геологии дна Мирового океана ФГБУ “ВНИИОкеангеология”)

© 2019 г. А. В. Кондратенко^{1,*}, С. А. Козлов^{2,**}, М. С. Захаров^{1,***}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана
имени академика И.С. Грамберга,
Английский проспект, 1, Санкт-Петербург, 190121 Россия

*E-mail: kondr@vniio.nw.ru

***E-mail: zhMike@mail.ru

²Акционерное общество “Полярная морская геологоразведочная экспедиция”,
ул. Победы, 24, г. Ломоносов, Санкт-Петербург, 198412 Россия

**E-mail: kozlovSA@rusgeology.ru

Поступила в редакцию 23.08.2019 г.

В статье рассматривается история становления и развития инженерно-геологических исследований дна Мирового океана в нашей стране, неразрывно связанных с работами лаборатории инженерной геологии дна Мирового океана – научно-исследовательского подразделения ФГБУ “ВНИИОкеангеология” за последние 50 лет. Перспективы освоения минеральных ресурсов глубоководных районов Мирового океана заставляют уделять данному разделу инженерной геологии особое внимание как в части полученных результатов, так и определения задач инженерно-геологических исследований в Мировом океане на ближайшую перспективу.

Ключевые слова: Мировой океан, Арктический шельф России, инженерно-геологические исследования, гидрогеологические исследования, геокриологические исследования, железомарганцевые конкреции (ЖМК), кобальтоносные железомарганцевые корки (КМК), глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС), российские разведочные районы в Тихом и Атлантическом океанах.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-7809201963-18>

ВВЕДЕНИЕ

Инженерно-геологические исследования на континентальном шельфе и глубоководных районах Мирового океана – перспективное направление развития инженерной геологии, востребованное наукой и практикой в современную эпоху. В нашей стране это направление инженерно-геологической деятельности неразрывно связано с лабораторией инженерной геологии дна Мирового океана ФГБУ “ВНИИОкеангеология”. В историческом разрезе процесс становления и развития инженерно-геологических исследований в институте прошел путь от объектов прибрежной и островной арктической суши к шельфам арктических морей и далее к глубоководным районам Мирового океана.

В 1960-е гг. в Советской Арктике проводились проектные и строительные работы для обеспечения противовоздушной обороны на северных рубежах СССР. В связи с этим возникла необхо-

димость постановки инженерных изысканий на арктических островах и в прибрежной островной части шельфа. Для решения этой задачи в 1967 г. была создана высокоширотная комплексная проектно-изыскательская экспедиция под кодовым названием “Бурый уголь”, участие в которой, наряду с целым рядом производственных, проектных и научных организаций, принял и Научно-исследовательский институт геологии Арктики (НИИГА, создан в 1948 г.). В этой экспедиции сотрудники института обеспечивали выполнение инженерно-геологических исследований в основном геофизическими методами.

В 1969 г. в составе НИИГА было создано новое научное подразделение – лаборатория инженерной геологии и геофизики (заведующий Я.В. Неизвестнов), основное внимание которой было направлено на региональное инженерно-геологическое изучение арктической шельфовой зоны и разработку научно-методического обеспечения

инженерно-геологических исследований на базе широкого применения геофизических методов.

В 1976 г. лаборатория инженерной геологии и геофизики была преобразована в лабораторию гидрогеологии и инженерной геологии при отделе геологии нефти и газа, после чего ее задачи пополнились региональными гидрогеологическими исследованиями субмаринных артезианских бассейнов Арктики с позиций оценки перспектив их нефтегазоносности.

В 1981 г. лаборатория гидрогеологии и инженерной геологии в связи с рядом административных преобразований (НИИГА был преобразован в ВНИИОкеангеология) и частичной переориентацией института на глубоководные объекты в Мировом океане была выделена в самостоятельное научное подразделение – лабораторию инженерной геологии дна Мирового океана. Этот переход был обусловлен началом широкомасштабного изучения твердых полезных ископаемых в глубоководных районах Мирового океана.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, МЕРЗЛОТНЫЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

В 1970-е и в начале 1980-х годов основные исследования лаборатории были посвящены изучению региональных инженерно-геологических условий Арктической шельфовой зоны, островов Северного Ледовитого океана и некоторых районов окружающей суши. Полевыми и морскими исследованиями сотрудниками лаборатории были охвачены шельфы и континентальный склон окраинных арктических морей, включая островные архипелаги (Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля и Новосибирские острова) и районы прилегающей суши (Кольско-Канинское побережье, Пай-Хой, Ямал, Предтаймырский прогиб).

В этот период сотрудниками лаборатории во главе с Я.В. Неизвестным создаются обобщающие региональные очерки по инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии Арктического шельфа и крупных островов Северного Ледовитого океана, включенные в такие фундаментальные издания, как 8-томная монография “Инженерная геология СССР” [10], сводный том “Гидрогеология СССР” [8] и в более поздние издания “Геокриология СССР” [3-6], “Гидрогеология Европы” [7], “Engineering Geology of the Earth” [43], “Инженерная геология СССР” [11, 12], Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000 [2].

Составление региональных инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических описаний и карт Советской Арктики к дан-

ному моменту опиралось на труды по геологии Арктики, включающие ряд монографий и обзорных мелкомасштабных карт, выполненных учеными и геологами-полярниками НИИГА [39].

Закономерным итогом этого периода стало оформление нового направления региональной инженерной геологии континентов – инженерной геологии шельфа как субмаринной части континентов с установлением закономерностей формирования региональных инженерно-геологических условий строительства на арктических шельфах и разработкой методологических основ их прогнозной оценки [29]. Указанное направление научных исследований было закреплено в докторской диссертации Я.В. Неизвестнова “Инженерная геология зоны Арктических шельфов СССР” (1979 г.).

В этот период результаты исследований сотрудников лаборатории были отмечены специальной премией за изучение отрицательно-температурных подземных вод (криопэгов) Арктической суши и шельфа [36]. Премия Госстроя СССР в 1977 г. присуждена М.А. Холмянскому и Я.В. Неизвестнову за результаты картирования кровли поддонных многолетнемерзлых пород северных морей с помощью электроразведки, осуществленного при изысканиях по трассе газопровода [38].

В результате исследований С.А. Козлова [13, 16], направленных на изучение инженерно-геологических условий арктического шельфа, была предложена модель формирования состава и свойств песчано-глинистых грунтов Западно-Арктического шельфа России; выявлены основные закономерности распространения и пространственной изменчивости инженерно-геологических свойств компонентов геологической среды в условиях полярного литогенеза; обоснованы практические рекомендации, вносящие большой вклад в решение важной народно-хозяйственной проблемы – планируемую в ближайшем будущем добычу углеводородов на шельфе. Им же была составлена инженерно-геологическая карта Западно-Арктического шельфа России, инженерно-экогеологическая схема Печорского моря, предложена система геоэкологической паспортизации морских нефтегазовых месторождений, подготовлена инженерно-геологическая карта Штокмановского газоконденсатного месторождения [15].

В 2009 г. было завершено обобщение материалов мерзлотных исследований Российской Арктики и Субарктики, начатых еще в 1970-е гг. Краткие результаты этого обобщения изложены в работе [35]. Наиболее интересный вывод по выполненному обобщению заключается в том, что практически повсеместно в пределах нефтегазоносных бассейнов шельфа и суши северной Ев-

разии наблюдается развитие криолитозоны (палеокриолитозоны). На глубинах свыше 100-200 м распространены гидратоносные “квазимерзлые” породы с положительной температурой, мощностью до нескольких сотен метров, образующие “горячую мерзлоту” (по терминологии американских коллег), приуроченную к зоне стабильности газовых гидратов.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОСТАВЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ МИРОВОГО ОКЕАНА

В 1982 г. Советский Союз совместно со 166 государствами подписал Конвенцию ООН по морскому праву, определяющую деятельность государств в границах Международного района морского дна за пределами действия национальной юрисдикции. Для правового регулирования деятельности государств в пределах Международного района морского дна в 1994 г. был создан Международный орган по морскому дну (МОМД, англ. International Seabed Authority – ISA). МОМД контролирует соблюдение предусмотренного в Конвенции режима для поощрения и регулирования разведки и разработки глубоководных полезных ископаемых государствами, юридическими лицами и другими субъектами. По этой системе любая подобная деятельность может осуществляться на законном основании только тогда, когда между заинтересованным субъектом и МОМД подписан соответствующий контракт. В соответствии с положениями Конвенции ООН юридические лица и поручившиеся за них государства, прошедшие по линии МОМД процедуру утверждения планов работ на разведку определенных видов минеральных ресурсов и заключившие с МОМД соответствующие контракты, сохраняют права на доступ к этим ресурсам только при безусловном выполнении контрактных обязательств.

Основные виды твердых полезных ископаемых на океаническом дне, представляющие коммерческий интерес, – железомарганцевые конкреции, глубоководные полиметаллические сульфиды и кобальтоносные железомарганцевые корки. По состоянию на 2019 г. МОМД подписаны типовые 15-летние контракты с 29 подрядчиками: 17 контрактов на разведку ЖМК, из них 16 в зоне Кларион-Клиппертон в Тихом океане и 1 в Индийском океане; 7 контрактов на разведку ГПС в Индийском океане и в Срединно-Атлантическом хребте; 5 контрактов на разведку КМК в западной части Тихого океана и южной части Атлантического океана. Согласно подписанным контрактам, каждый из контракторов имеет экс-

клюдивное право на разведку участка начальной площадью не более 75 000 км² по ЖМК, не более 100 000 км² по ГПС и не более 3000 км² по КМК. В соответствии с принятыми стандартными условиями каждый контрактор наряду с изучением полезных ископаемых на предоставленном участке обязан выполнять экологические исследования; заниматься созданием аппаратурно-технических средств для обеспечения разведочных работ; разрабатывать технологии и оборудования для подводной добычи; ежегодно предоставлять в МОМД отчеты о своей деятельности [28].

Изучение и освоение минеральных ресурсов Международного района морского дна – одно из приоритетных направлений национальной морской политики, предусмотренное Морской доктриной Российской Федерации. В настоящее время Федеральное агентство по недропользованию (“Роснедра”) финансирует геологоразведочные работы на твердые полезные ископаемые в Мировом океане по трем направлениям, названным выше – ЖМК, КМК и ГПС. Работы ведутся специализированными организациями “Полярная морская геологоразведочная экспедиция” (АО “ПМГРЭ”) и АО “Южморгеология”, подведомственными холдингу “Росгеология”. Научно-методическое и информационно-аналитическое сопровождение геологоразведочных работ осуществляет “ВНИИОкеангеология”.

Инженерно-геологические исследования, выполняемые в рамках контрактных обязательств перед МОМД, являются составной частью геологоразведочного процесса и направлены на комплексную оценку инженерно-геологических условий разведки рудных объектов и разработки потенциальных месторождений. Без инженерно-геологических исследований рудных залежей невозможны обоснование запасов по промышленным категориям, разработка, планирование натуральных испытаний добычных систем и разработка проектов промышленной добычи. При этом инженерно-геологическая оценка включает в себя системное многоуровневое рассмотрение геологического строения, рельефа морского дна, физико-механических свойств полезных ископаемых, вмещающих горных пород и донных осадков, опасных геологических процессов.

Железомарганцевые конкреции

Железомарганцевые конкреции представляют собой комплексную руду, основные компоненты которой Ni, Cu, Co и Mn. Конкреции в виде своеобразных россыпей залегают на поверхности абиссальных котловин океанского дна, образуя гигантские по площади (сотни тысяч – первые

миллионы квадратных километров) скопления (рудные поля ЖМК) (рис. 1).

Всего в Мировом океане насчитывается порядка 15 таких полей с общими ресурсами руды более 500 млрд т [28].

К планомерному изучению залежей ЖМК в Мировом океане научные и производственные организации Мингео СССР приступили в 1974 г., когда объединением “Севморгеология” была организована первая морская экспедиция. Большое значение для развития глубоководных инженерно-геологических работ имело указание Управления минеральных ресурсов Мирового океана Мингео СССР от 19.12.1980 г., в котором перед подведомственными организациями была поставлена задача в короткие сроки создать базу исходных данных по составу, структуре и физико-механическим свойствам донных океанских осадков, необходимых для разработки технологий глубоководной разведки и добычи железомарганцевых конкреций.

Первые инженерно-геологические материалы для этой базы на единой методической основе были получены во время морских попутных инженерно-геологических работ на гидрографических судах в Тихом океане (1982-1984 гг.).

Таким образом, деятельность лаборатории в содержательном и организационном отношениях с 1982 г. вышла на новый уровень, требующий максимальной концентрации сил и средств для достижения значимых научных и практических результатов в Мировом океане. В это время основные геологоразведочные и опытно-методические работы на ЖМК были связаны с рудной провинцией Кларин-Клиппертон (Северо-Восточная котловина Тихого океана), где в дальнейшем Советскому Союзу в лице объединения “Южморгеология” (1987 г.) и совместной организации “Интерокеанметалл”¹ (1992 г.) были выделены участки морского дна площадью по 75 000 км² для разведки и промышленной эксплуатации ЖМК.

В период 1983-1989 гг. в рудной провинции Кларин-Клиппертон объединением “Севморгеология” на г/с “Федор Матиссен” и НИС “Академик Александр Карпинский” под научно-методическим руководством и с участием сотрудников лаборатории (А.В. Кондратенко, Н.А. Куринный, С.А. Козлов, С.А. Жамойда, В.С. Гарсков) были выполнены специализированные инженерно-геологические работы.

Выход инженерно-геологических работ в глубоководные районы Мирового океана потребовал

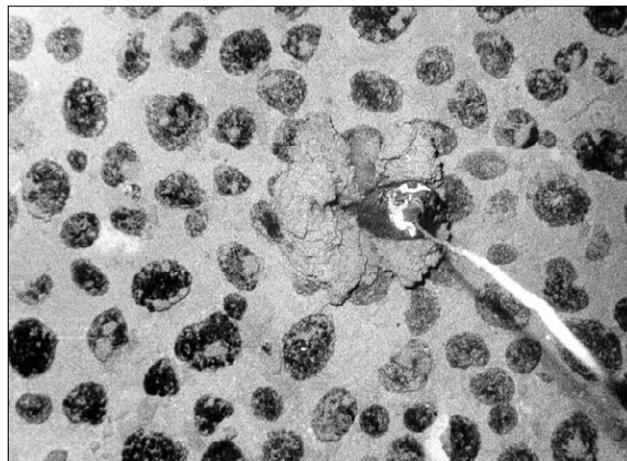


Рис. 1. Железомарганцевые конкреции на дне океана. Глубоководная фотография (площадь дна 1.2-1.4 м², груз-разведчик диаметром 100 мм, плотность залегающих ЖМК – 18.6 кг/м³) [20].

решения сложных научно-технических, технологических и методических задач. В этот период лаборатория стала инициатором и куратором разработки набортной инженерно-геологической аппаратуры, новых средств грунтового пробоотбора (коробчатый пробоотборник КП-1.5, дночерпатель ДГ-1.5), а также глубоководной исследовательской установки УГИ-М, позволяющей выполнять измерения показателей механических свойств донных грунтов в естественном залегании и моделировать работу различных устройств сбора ЖМК. Новые аппаратно-технические разработки позволили отработать методику глубоководной инженерно-геологической съемки масштаба 1:200 000 и провести на должном уровне инженерно-геологические исследования восьми полигонов в заявочных районах СССР и СО “Интерокеанметалл”. В рамках решения этой проблемы в 1985 г. сотрудники лаборатории (С.А. Козлов, Н.А. Куринный) успешно выполнили поиск грунтов-имитаторов тихоокеанских илов в искусственных водоемах суши.

На основе накопленного опыта получил дальнейшее развитие пакет методических разработок, позволивших утвердить инженерно-геологические исследования как необходимую составляющую геологоразведочных работ на ЖМК в глубоководных районах Мирового океана [25, 26].

Следует отметить значительный вклад в создание аппаратно-методической базы для инженерно-геологических работ в Мировом океане профессорско-преподавательского состава Ленинградского инженерно-строительного института (В.Н. Бронин, Х.З. Бакенов, А.А. Ананьев) и Ленинградского института инженеров железно-

¹ Совместная организация “Интерокеанметалл” в составе Болгарии, Кубы, Польши, России, Чехии и Словакии.

дорожного транспорта (В.М. Бевзюк, В. А. Алпысова).

Несмотря на то, что в постсоветский период финансовые средства на НИОКР по разработке разведочной и добычной техники практически не выделялись, благодаря поддержке руководства “ВНИИОкеангеология”, сотрудникам лаборатории, и прежде всего ее руководителю Я.В. Неизвестному удалось не только сохранить приборно-аппаратурную базу для дальнейших инженерно-геологических исследований, но в значительной степени расширить ее возможности за счет подключения к инженерно-геологической интерпретации материалов многолучевого эхолотирования, придонного геоакустического и телевизионного профилирования [31].

В период 1995-2001 гг. в лаборатории были выполнены научно-исследовательские работы по обобщению инженерно-геологических материалов, полученных в процессе геологоразведочных работ на ЖМК российскими экспедициями в рудной провинции Клариион-Клиппертон, включая разведочные районы Российской Федерации и СО “Интерокеанметалл” (отв. исполнитель А.В. Кондратенко, научный руководитель Я.В. Неизвестнов).

В результате этих исследований:

- разработаны теоретические, методологические и аппаратно-методические основы инженерно-геологических исследований в глубоководных районах дна Мирового океана;
- дана характеристика основных компонентов инженерно-геологических условий региона и разведочных районов, включая их инженерно-геологическое районирование;
- выявлены особенности формирования и закономерности пространственной изменчивости физико-механических свойств донных отложений.

В этот же период Я.В. Неизвестным, Е.В. Поляковым и О.В. Решетовой с использованием результатов структурных и седиментационных исследований С.А. Козлова была построена модель распространения загрязнений при разработке месторождения ЖМК в регионе Клариион-Клиппертон, создан компьютерный фильм, наглядно демонстрирующий экологические последствия подводной добычи ЖМК [34].

Крупнейшим достижением этого периода стал выход в свет монографии “Инженерная геология рудной провинции Клариион-Клиппертон в Тихом океане”, обобщившей результаты морских, лабораторных и экспериментальных работ, выполненных в период с 1976 по 2001 год [9]. Мо-

нография была написана большим коллективом авторов, но основными ее составителями выступили сотрудники “ВНИИОкеангеология” во главе с Я.В. Неизвестным. В этой монографии впервые были сформулированы и обоснованы принципиально новые положения о составе, состоянии и свойствах донных осадков, сформировавшихся в условиях пелагического литогенеза, о закономерностях пространственной изменчивости их состава и свойств, о моделях механического поведения донных осадков, также были приведены обширные данные по физико-механическим свойствам ЖМК. В широком аспекте были рассмотрены закономерности формирования инженерно-геологических условий разработки залежей конкреций и сформулированы задачи дальнейших исследований:

- уточнение поведения донных грунтов под воздействием динамических и длительных статических нагрузок от подводных сооружений и движущихся механизмов;
- совершенствование моделирования геологических процессов, вызванных, в первую очередь, техногенными факторами при разработке и обогащении ЖМК;
- определение износостойкости материалов для подводных механизмов и сооружений в термодинамических условиях океанического дна.

В 2001 г. были подписаны 15-летние контракты на разведку ЖМК в зоне Клариион-Клиппертон между Российской Федерацией (в лице объединения “Южморгеология”), СО “Интерокеанметалл” и МОМД. В 2016 г., после истечения срока действия контрактов, они были пролонгированы МОМД на последующие 5 лет со сроком завершения работ в 2021 г. В настоящее время АО “Южморгеология” реализует последний этап разведочных работ с целью отбора эксплуатационных участков (блоков) на оконтуренных ранее залежах конкреций для разработки проекта опытной добычи ЖМК. Детальность исследований должна быть достаточной для проектирования добычного комплекса, планирования и ведения добычных работ. Кроме того, разведочные работы должны позволить выработать рекомендации по выбору участка опытной добычи ЖМК.

В период с 2001 по 2014 г. лабораторией были организованы и проведены попутные инженерно-геологические исследования в разведочном районе СО “Интерокеанметалл” (рейсы НИС “Южморгеология”, 2001, 2004, 2009, 2014 гг.). В инженерно-геологических работах на НИС “Южморгеология” в разные годы принимали участие сотрудники лаборатории А.В. Кондратенко (руководитель работ), Т.Н. Францева, Д.Л. Келль, сотрудники

АО «Южморгеология» В.В. Артеменко, И.В. Пономарев, А.Т. Ермакова и сотрудник СО «Интерокеанметалл» И. Дрейсейтл. Выполненные исследования позволили сформировать представительную информационную базу по физико-механическим свойствам донных осадков и ЖМК разведочного района СО «Интерокеанметалл», необходимую для его комплексной инженерно-геологической характеристики и оценки. Долгосрочное научно-техническое сотрудничество СО «Интерокеанметалл» с «ВНИИОкеангеология» позволяет решать оперативные и среднесрочные инженерно-геологические задачи в разведочном районе организации, в полной мере используя компетенции сотрудников и аппаратурно-методические разработки лаборатории.

Для Российского разведочного района ЖМК по заказу АО «Южморгеология» в лаборатории были подготовлены методические рекомендации по инженерно-геологическим исследованиям месторождения ЖМК на разведочной стадии работ. Для выполнения этой задачи есть все необходимые предпосылки, включая нормативно-методическую базу, технические средства, накопленный опыт проведения инженерно-геологических и разведочных работ, включая отработанные технологии детальных исследований.

Основные научные результаты инженерно-геологических исследований сотрудников лаборатории по проблеме ЖМК отражены в различных публикациях, охватывающих такие актуальные направления исследований, как разработку теоретических основ инженерной геологии глубоководных областей океана, создание инженерно-геологической классификации донных грунтов океана, формирование инженерно-геологических условий глубоководных конкреционных площадей и формирование физико-механических свойств глубоководных донных отложений [9, 17, 20, 22, 23, 30, 32, 40].

Глубоководные полиметаллические сульфиды

Глубоководные полиметаллические сульфиды представляют собой Cu, Zn, Pb, Ag, Au руды массивного типа, слагающие холмообразные постройки высотой до первых десятков метров на участках гидротермальной деятельности в пределах рифтовых зон срединно-океанических хребтов и задуговых бассейнов на глубинах 1000-5000 м (рис. 2). Рудные тела мощностью до 100 м имеют грибовидную форму с подводящим штокверком. Предварительно оцененные ресурсы ГПС Мирового океана составляют сотни миллионов тонн рудной массы [28].

Российские исследования ГПС осевой зоны Срединно-Атлантического хребта (САХ) прово-

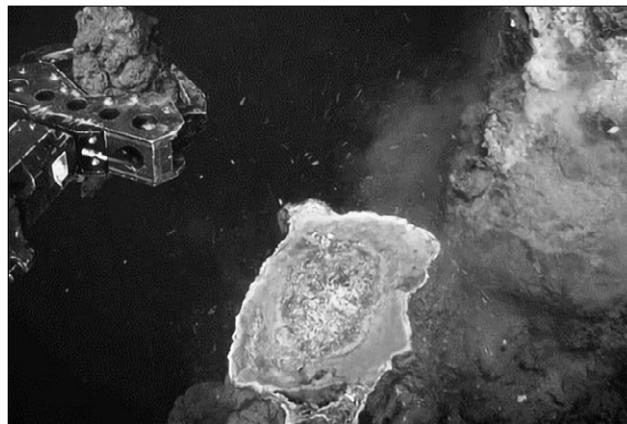


Рис. 2. Рудоносные столбы ГПС на океаническом дне (сайт Nautilus Minerals Inc. Instagram.com)

дятся АО «ПМГРЭ» и «ВНИИОкеангеология» с 1986 г. В ходе этих работ в пределах САХ были открыты перспективные объекты ГПС, содержащие руды богатые медью, цинком, золотом, серебром и другими полезными элементами. В октябре 2012 г. был заключен контракт на разведку полиметаллических сульфидов между Минприроды России и МОМД. Российский разведочный район ГПС в осевой зоне САХ общей площадью 10 000 км² (100 блоков размером 10×10 км сгруппированы в 7 кластеров от «А» до «Г») расположен в северной приэкваториальной части хребта в интервале от 12°48' до 20°54' с.ш.

Геологоразведочные работы первого 6-летнего этапа исследований (2012-2018 гг.) были ориентированы на выполнение задач, сформулированных в контракте: площадная батиметрическая съемка, профильная сонарная съемка в комбинации с измерением естественного электрического поля, телепрофилеирование, гидрофизическое зондирование, донный пробоотбор, инженерно-геологические и экологические исследования. В результате работ первого этапа должны быть выявлены первоочередные перспективные районы для проведения более детальных разведочных работ, для чего требуется комплексное геолого-геофизическое, экологическое и инженерно-геологическое изучение всех блоков разведочного района с использованием указанных в контракте методов. По состоянию на 2019 г. поисковые работы завершены в 82 блоках.

Второй этап геологоразведочных работ, связанный с более детальными исследованиями, начинается с 2019 г. Не позднее середины 2020 г. предстоит подготовить обоснованный отказ от 50 (менее перспективных) блоков из 100, входящих в разведочный район. Не позднее середины 2022 г. предстоит отказ еще от 25 блоков из отобранных 50. Окончательное заключение о перспективности оставшихся 25 блоков следует подготовить не позднее середины 2027 г.

По состоянию на 2016 г. в пределах Российского разведочного района ГПС открыто 12 гидротермальных рудных объектов с прогнозными ресурсами рудной массы категорий $P_2 + P_3$ 101.7 млн т [18]. Более точный прогноз возможен на более поздних стадиях исследований при использовании инновационных геофизических методов и контрольного бурения перспективных рудных залежей на глубину 15–50 м от поверхности дна.

Для успешного осуществления второго и третьего этапов геологоразведочных работ на ГПС необходимы модернизация существующего технико-технологического обеспечения этих работ и расширение его состава за счет новых подводно-технических средств разведки, таких как многофункциональные роботизированные телеуправляемые подводные аппараты (ТПА) и погружные буровые установки. Определенный задел в области создания таких средств в нашей стране имеется. Речь идет, прежде всего, о ТПА РТ-6000, разработанном АО «Южморгеология», и донной буровой установке ТК-15. Отдельно следует упомянуть подводный гидроакустический комплекс МАК-1М с электроразведочной косой для измерения потенциала естественного поля, позволяющий выявлять перспективные рудные зоны. Данный комплекс является инновационной российской разработкой (совместная разработка АО «Южморгеология» и АО «ПМГРЭ»). Указанные направления технического обеспечения разведочных работ, несомненно, открывают новые возможности для инженерно-геологических исследований с целью детализации строения рельефа дна и изучения свойств руд, вмещающих пород и донных осадков.

Инженерно-геологическое изучение ГПС в лаборатории началось в 1990-х годах по отдельным образцам, отобранными специалистами АО «ПМГРЭ» из рудопроявлений Срединно-Атлантического хребта и Восточно-Тихоокеанского поднятия. По результатам этих исследований Я.В. Неизвестновым и С.А. Козловым составлены «Методические рекомендации по определению физико-механических свойств глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС) Мирового океана» [27].

С 2005 г. в осевой зоне САХ в составе поисковых геологоразведочных работ на ГПС ведутся попутные инженерно-геологические исследования. На борту НИС «Профессор Логачев» (2005, 2007 г.) А.В. Кондратенко в экспедиционных условиях и сотрудниками лаборатории в стационарных условиях выполнен большой комплекс исследований физико-механических свойств гидротермальных образований (сульфидные руды, корки), вмещающих магматических пород (перидотиты, габбро, базальты) и донных осадков.

В рамках 15-летнего контракта Минприроды России с МОМД (2012–2027 гг.), «ВНИИОкеангеология» совместно с АО «ПМГРЭ» в 2012 г. приступили к выполнению систематических инженерно-геологических исследований на площади Российского разведочного района ГПС.

В соответствии с планом работ по разведке сульфидных руд на первом этапе разведочной деятельности инженерно-геологическая оценка выявленных рудопроявлений и рудных полей базировалась на комплексном подходе, который включает инженерно-геологическое районирование рудных объектов с прогнозом развития опасных геологических (гравитационных) процессов, оценку сейсмической (в пределах разведочного района) и микросейсмической (в пределах разведочных кластеров) активности, изучение физико-механических свойств сульфидных руд, вмещающих пород и донных осадков. К настоящему моменту эти работы позволили дать комплексную оценку инженерно-геологических условий разведки и разработки рудных объектов, выявленных в процессе геологоразведочных работ в северной части разведочного района (рудные поля «Пюи де Фолль», «Зенит-Виктория», «Юбилейное», «Петербургское», «Холмистое», «Победа-1», «Победа-2», «Краснов» и рудопроявление «Сюрприз»).

Результаты изучения физико-механических свойств донных образований, оценки сейсмической и микросейсмической активности разведочного района, инженерно-геологического районирования рудных объектов свидетельствуют о высокой степени неоднородности инженерно-геологических условий как в пределах изученных рудных полей, так и относительно их друг друга [41, 42]. В северной части Российского разведочного района инженерно-геологические условия разведки (разработки) на 50% рудных объектов характеризуются как сложные (рудные поля «Победа-1», «Победа-2», «Зенит-Виктория» и «Петербургское»). В инженерно-геологических условиях средней сложности локализованы рудные поля «Юбилейное», «Холмистое» и «Краснов». В простых инженерно-геологических условиях залегает только рудное поле «Пюи де Фолль».

На втором этапе разведочной деятельности характер инженерно-геологических исследований будет определяться планом дальнейших разведочных работ, связанных с разбраковкой разведочных блоков и выделением наиболее перспективных разведочных площадей, на которых будут выполняться детальные геологоразведочные и инженерно-геологические работы. Актуальность инженерно-геологических исследований на данном этапе определяется задачами создания добычной техники. Разработка ходовой части таких машин

и разрушающего инструмента невозможна без оценки инженерно-геологических условий рудных объектов, включая такие моменты, как строение морского дна и физико-механические свойства руд, вмещающих пород и донных осадков (рис. 3).

Кобальтоносные железомарганцевые корки

Еще одним объектом работ лаборатории являются кобальтоносные железомарганцевые корки, разведка которых в Мировом океане регулируется для российской стороны контрактом Минприроды России с МОМД от 10.03.2015 г.

Кобальтоносные железомарганцевые корки представляют собой комплексную руду, содержащую Co, Ni, Cu, Mn и редкоземельные элементы. Корки в виде сплошных покровов мощностью до 24 см покрывают склоны подводных гор и поднятий (рис. 4). Рудные поля КМК распространены во всех океанах, но наиболее значительные из них сосредоточены в западном секторе Тихого океана. Общие ресурсы КМК в Мировом океане составляют около 10 млрд т [28].

Российский разведочный район КМК расположен в пределах Магеллановых гор (северо-западная часть Тихого океана) на четырех гайотах (Альба, Вулканолог, Говорова, Коцебу) и включает 150 блоков площадью 20 км² каждый. Прогнозные ресурсы КМК в разведочном районе составляют порядка 280 млн т. Ожидается, что к концу контрактного срока в контурах 50 блоков, которые составят разведочный район, будут разведаны за-



Рис. 4. Образец слоистой гидрогенной корки (гайот Бу-такова, Тихий океан) [1].

пасы КМК категорий С1 и С2 общим объемом не менее 45 млн т [28].

Первые инженерно-геологические исследования КМК в лаборатории были выполнены в течение 1992-1994 гг. на гайотах Магеллановых гор Тихого океана. Изучались физико-механические свойства КМК и пород субстратов, отобранных в рейсах НИС “Геолог Петр Антропов” и НИС “Морской геолог” [19]. Была подготовлена горно-геологическая модель одной из рудных залежей КМК [14] и выпущены соответствующие методические рекомендации [24]. Был выявлен очень важный фактор, связанный с добычей КМК:

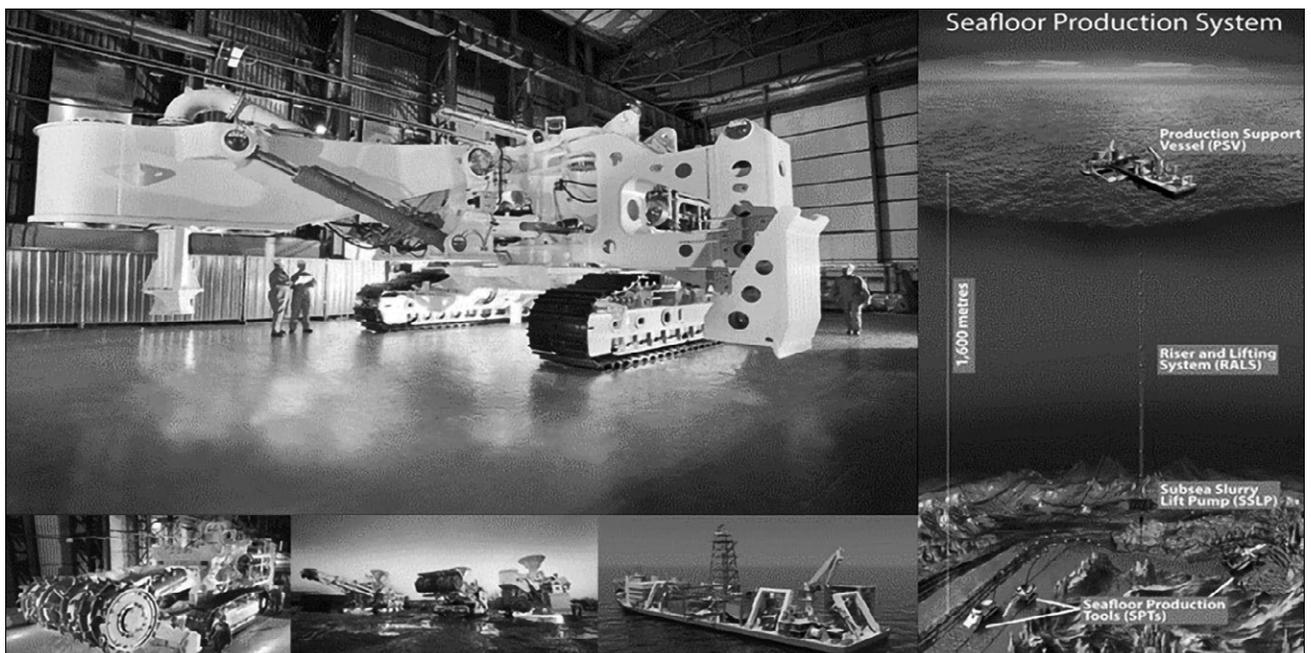


Рис. 3. Основные машины добычного комплекса, судовое обеспечение и технологическая схема освоения подводного месторождения ГПС, разработанные для компании Nautilus Minerals (сайт Nautilus Minerals Inc. Instagram.com).

оказалось, что второй (средний) слой КМК, как правило, имеет прочность в 2-7 раз меньшую относительно двух других. Это может спровоцировать отрыв корок во время добычи не по контакту с субстратом, а гораздо выше – на глубине 2-4 см, вызывая значительные (до 50%) потери полезного ископаемого [19].

Начиная с 2002 г. и по настоящее время, сотрудники лаборатории совместно с АО “Южморгеология” принимают активное участие в лабораторном изучении физико-механических свойств КМК и пород субстрата (А.В. Кондратенко – ответственный исполнитель, С.А. Козлов, О.В. Боровик, Т.Н. Францева, Д.Л. Келль, М.С. Степанова, Е.М. Кондратюк). За прошедшие годы исследовались образцы, отобранные на 18 гайотах в северо-западной части Тихого океана (рудный район Магеллановых гор). С 2015 г. геологоразведочные работы на КМК сосредоточены в пределах Российского разведочного района КМК.

В процессе лабораторных исследований выполняются стандартизированные определения основных показателей физико-механических свойств КМК и пород субстрата (влажность, плотность пород, плотность минеральной части КМК, предел прочности на одноосное сжатие, модули упругости и остаточной деформации), необходимые для инженерно-геологической характеристики изученных рудных залежей. В результате изучения физико-механических свойств выявлена высокая степень неоднородности разреза КМК и пород субстрата, что определяется слоистостью корок и многообразием пород субстрата. Кроме того, по отношению прочности пород субстрата к прочности различных слоев КМК выделено три основных типа контактов: I – КМК – базальт; II – КМК – (известняк, брекчия, туфобрекчия и конгломерат); III – КМК – (туф, туффит). Типизация контактов КМК и пород субстрата по их прочности – основа специального инженерно-геологического районирования залежей КМК по условиям их отработки.

В 2005-2009 гг. лаборатория совместно с Петербургским государственным университетом путей сообщений (В.А. Алпысова) провела экспериментальные комплексные лабораторные исследования по изучению КМК, пород субстрата и контактов между слоями (в том числе по отделению КМК от пород субстрата) методами ультразвукового просвечивания, магнитоакустическим, одноосного сжатия и скола ударной нагрузкой.

Расширение круга привлеченных методов исследований позволило оценить возможность использования косвенных методов определения прочностных показателей для корректировки методики прямых измерений, применительно к поставленной задаче – отделения КМК от субстрата.

Представляется, что ультразвуковые испытания могут рассматриваться как составная часть комплекса исследовательских работ по данной проблеме. Анализ результатов испытания массива (КМК+субстрат) методом одноосного сжатия показал, что его прочность зависит от прочности отдельных слоев, развития в них трещиноватости и кавернозности, их взаиморасположения и ориентации относительно приложения нагрузки. Прочность пород субстрата определяется типом субстрата и степенью его трещиноватости.

Следует отметить, что дальнейшее развитие инженерно-геологических исследований в Мировом океане связано с вводом в эксплуатацию новых специализированных судов и разработкой современных технических средств. Сегодня океанский научно-исследовательский флот Минприроды России насчитывает 4 специализированных судна водоизмещением 5200 т каждое, спроектированных по техническим требованиям начала 1970-х годов.

Новые специализированные суда, проектируемые в ФГУП “Крыловский государственный научный центр” для геологоразведочных работ в Мировом океане, будут оборудованы современными лабораторными комплексами инженерно-геологического назначения. В рамках этого проекта рассматривается конструирование двух типов судов – разведочного и добычного. Одной из задач этого проекта было разработать универсальные суда, которые могли бы выполнять самые различные морские работы, в том числе инженерно-геологические. Предполагается, что такие суда смогут полностью обеспечить выполнение комплексных глубоководных исследований в рамках российских контрактов с МОМД. В их концепции учтены все современные требования безопасности, предъявляемые к работам, проводимым в открытом море. Они обладают системой динамического позиционирования, улучшенными показателями по экономичности, высокой автономностью, позволяющей достаточно долго работать на полигоне, предусмотрена возможность установки различного геологоразведочного и добычного оборудования.

Опыт разнообразных инженерно-геологических работ, накопленный в лаборатории за многие годы, позволяет постоянно привлекать ее сотрудников к различным научно-производственным проектам как на шельфе, так и в глубоководных районах Мирового океана. Отметим лишь некоторые из них. В 1991 г. А.В. Кондратенко и С.А. Козловым были проведены инженерно-геологические исследования в Норвежском море на борту НИС “Академик Мстислав Келдыш”. Изучались инженерно-геологические условия в районе затонувшей

АПЛ “Комсомолец” с целью оценки возможности ее подъема [21].

В 1992-1994 г. г. по договору с институтом “Гипроспецгаз” проводились инженерно-геологические исследования под ТЭО обустройства Штокмановского газоконденсатного месторождения в Баренцевом море (варианты примыкания трассы газопровода к Кольско-Канинскому побережью). В 1998-1999 гг. сотрудники лаборатории Н.А. Куринный, С.А. Козлов и др. по заданию ДАОО “Гипроспецгаз” совместно с сотрудниками “ВСЕГЕИ” и ГОСНИНГИ (МО РФ) выполнили морские инженерно-геологические изыскания на стадии ТЭО по трассе Северо-Европейского газопровода (русская часть трассы по дну Балтийского моря). Эти работы стали основой для разработки проекта строительства подводной системы трубопроводов, соединяющих Россию и Европу.

В 2000 г. А.В. Кондратенко на борту ГС “Гидролог” в составе экспедиции ГНПП “Севморгео” участвовал в инженерно-геологических исследованиях на месте гибели АПЛ “Курск” (Баренцево море). В 2000-2001 гг. НИС “Профессор Штокман” совместно с ОАО “Ленморниипроект” и ФГБУ “ВСЕГЕИ”, сотрудниками лаборатории Н.А. Куринным, С.А. Козловым и др. по заданию ОАО “Гипросвязь” были выполнены инженерно-геологические изыскания по проектируемой трассе волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) Санкт-Петербург-Калининград в Балтийском море.

В заключение следует отметить, что деятельность лаборатории инженерной геологии дна Мирового океана неразрывно связана с именем доктора геолого-минералогических наук Ярослава Владимировича Неизвестнова, основателя и долгие годы руководителя лаборатории (рис. 5).

Я.В. Неизвестнов внес определяющий вклад в развитие инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических исследований на шельфах, островах и прилегающей суше арктических морей России и дна глубоководных районов Мирового океана, перспективных на твердые полезные ископаемые. Его научные работы (более 200 публикаций) базируются на обширных фактических данных, полученных в течение продолжительной научной и производственной деятельности (с 1953 г.), отличаются глубокой проработкой фактического материала, являются фундаментальным вкладом в развитие инженерной геологии морского дна, морского грунтоведения, гидрогеологии, геокриологии, геоэкологии.

В последние годы своей жизни Я.В. Неизвестнов уделял большое внимание системным исследова-

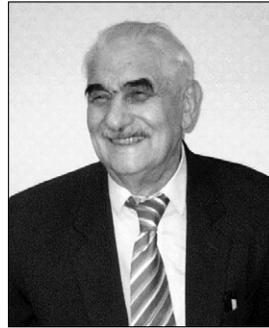


Рис. 5. Я.В. Неизвестнов (1930-2014 гг.)

ованиям, направленным на изучение закономерностей энерго-массопереноса в геосферах Земли с целью совершенствования прогноза развития опасных эндогенных геологических процессов на дне океана с использованием методов сравнительной планетологии [33, 37].

В 2014 г. Я.В. Неизвестнов ушел из жизни, передав в 2013 г. руководство лабораторией своему ученику и последователю А.В. Кондратенко. В лаборатории удачно сочетается опыт старшего поколения с инициативой молодых специалистов, в работе постоянно участвуют студенты старших курсов Санкт-Петербургских вузов (рис. 6).

В настоящее время лаборатория инженерной геологии дна Мирового океана ФГБУ “ВНИИОкеангеология”, используя накопленный опыт, отечественные и зарубежные научные достижения, богатую фактографическую базу, продолжает развивать основные свои традиционные направления:

- научно-методическое обеспечение инженерно-геологических исследований на объектах твердых полезных ископаемых в Мировом океане;
- разработка рекомендаций по аппаратурно-техническому обеспечению при изучении инженерно-геологических условий разведки и добычи ЖМК, КМК и ГПС;



Рис. 6. Сотрудники лаборатории инженерной геологии дна Мирового океана (2008 г.):

Нижний ряд слева направо: Кошелева В.А., Неизвестнов Я.В., Кондратенко А.В.

Верхний ряд слева направо: Куринный Н.А., Колчина Н.Л., Боровик О.В., Францева Т.Н., Булдаков С.В.

- опытно-методические исследования физико-механических свойств донных образований Мирового океана *in situ* и в судовых лабораториях;
- комплексное изучение инженерно-геологических условий разведки и разработки глубоководных месторождений твердых полезных ископаемых, включая железомарганцевые конкреции, кобальтоносные корки и глубоководные полиметаллические сульфиды в пределах Российских разведочных районов в Тихом и Атлантическом океанах;
- инженерно-геологические исследования в рамках государственного мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовых зон Российской Федерации;
- оказание экспертных, консультационных и информационных услуг по основным направлениям деятельности лаборатории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асавин А.М., Чесалова Е.И., Мельников М.Е. Прогнозная ГИС модель формирования кобальто-марганцевых корок гайота Бутакова (Магеллановы горы, Тихий океан) // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2007. №2. Вып. 10. С. 105-117.
2. Геокриологическая карта СССР. Масштаб 1: 2 500 000. Арктический шельф / К.А. Кондратьева, В. Е. Афанасенко, А. В. Гаврилов и др. Винница: Винницкая картографическая фабрика, 1996. 16 с.
3. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 514 с.
4. Геокриология СССР. Европейская территория СССР / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1988. 358 с.
5. Геокриология СССР. Западная Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 454 с.
6. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 413 с.
7. Гидрогеология Европы. В 2-х томах. Т. 1. Общая характеристика подземных вод / Под ред. Н.А. Маринова, Н.И. Толстихина. М.: Недра, 1989. 536 с.
8. Гидрогеология СССР. Св. том в 5 вып. Вып.1. Основные закономерности распространения подземных вод на территории СССР. М.: Недра, 1976. 656 с.
9. Инженерная геология рудной провинции Кларифон-Клиппертон в Тихом океане / Я.В. Неизвестнов, А. В. Кондратенко, С. А. Козлов и др. Тр. ВНИИОкеангеологии Мин-ва природных ресурсов РФ и РАН. Т. 197. СПб.: Наука, 2004. 281 с.
10. Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т. 1-5. Разделы: шельф и острова Арктики, Таймыр и Предтаймырский прогиб / Под ред. Е.М. Сергеева. М.:Изд-во МГУ, 1976-1978.
11. Инженерная геология СССР. Урал, Таймыр и Казахская складчатая страна / [Бочкарёв В.П., Печёркин И.А., Неизвестнов Я.В. и др.]; Под ред. Печёркина И. А. и др. М.: Недра, 1990. 408 с.
12. Инженерная геология СССР. Шельфы СССР / [Джанджгава К. И., Комаров И. С., Неизвестнов Я. В. и др.]; Под ред. Джанджгава К. И. и др. М.: Недра, 1990. 239 с.
13. Козлов С.А. Инженерная геология Западно-Арктического шельфа России // Тр. НИИГА—ВНИИОкеангеология. Т. 206 / Под ред. Я.В. Неизвестнова. СПб., 2004. 147 с.
14. Козлов С.А. Инженерно-геологические свойства кобальтомарганцевых корок и их субстратов, особенности их формирования // Инженерно-геологические условия разработки полезных ископаемых морского дна. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1996. С.15-29.
15. Козлов С.А. Инженерно-экогеологическая схема (м-б 1: 2500 000) // Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1: 1000 000 (новая серия). Лист R-38-40 — о. Колгуев. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2003.
16. Козлов С.А. Роль позднекайнозойского промерзания в диагенезе донных отложений Баренцево-Карского шельфа // Геоэкология. 2006. № 1. С. 72-83.
17. Козлов С.А. Формирование структуры и инженерно-геологических свойств глубоководных отложений Тихого океана // Морские инженерно-геологические исследования. Труды НИИГА—ВНИИОкеангеология. Т. 198. СПб., 2003. С. 99-113.
18. Козлов С.А., Бельтенёв В.Е., Иванов В.Н., Каулио В.М., Самоваров М.Л. Перспективы изучения полиметаллических сульфидов Атлантики // Разведка и охрана недр. 2016. № 12. С. 24-32.
19. Козлов С.А., Решетова О.В., Неизвестнов Я.В. Горно-геологические условия разработки глубоководных кобальто-марганцевых корок // Кобальтоносные железомарганцевые корки Тихого океана. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1993. С. 117-123.
20. Кондратенко А.В. Физико-механические свойства донных образований на глубоководных месторождениях железомарганцевых конкреций // Горный журнал. 2012. № 3. С. 37-41.
21. Кондратенко А.В., Козлов С.А. Физико-механические свойства донных осадков // Океанологические исследования и подводно-технические работы на месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец». М.: Наука, 1996. 362 с. (монография, коллектив авторов) С. 304-307.

22. *Кондратенко А.В., Неизвестнов Я.В.* Инженерная геология месторождения железомарганцевых конкреций, закреплённого за Российской Федерацией в зоне Кларион-Клиппертон Тихого океана // Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Сергеевские чтения. Вып. 2. (23-24 марта 2000). М.: ГЕОС, 2000. С. 203-208.
23. *Кондратенко А.В., Неизвестнов Я.В.* Формирование инженерно-геологических условий глубоководных конкрециеносных площадей зоны Кларион-Клиппертон Тихого океана // Записки Санкт-Петербургского горного института. 1992. Т. 133. С. 90-101.
24. Методические рекомендации по изучению физико-механических свойств кобальто-марганцевых корок Мирового океана. СПб.: ВНИИ-Океангеология, 1994. 40 с.
25. Методические рекомендации по инженерно-геологическим исследованиям при проведении геологоразведочных работ на железомарганцевые конкреции Мирового океана. СПб.: ВНИИ-Океангеология, 2000. 36 с.
26. Методические рекомендации по определению физико-механических и коррозионных свойств донных осадков в судовых лабораториях при инженерно-геологических исследованиях глубоководных областей океана. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1993. 54 с.
27. Методические рекомендации по определению физико-механических свойств глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС) Мирового океана / Методические рекомендации по технологии геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в Мировом океане (железомарганцевые образования, глубоководные полиметаллические сульфиды, донные осадки). Кн. 3. Контактные методы исследования. М., 2001. С. 84-103.
28. *Муравьев К.Г., Черкашёв Г.А., Лайба А.А., Козлов С.А.* и др. Станет ли Россия морской сырьевой державой // Редкие земли. 2016. №1(6). С. 12-26.
29. *Неизвестнов Я.В.* Методологические основы изучения инженерной геологии арктических шельфов СССР // Инженерная геология. 1982. №1. С. 3-14.
30. *Неизвестнов Я.В.* Общая инженерно-геологическая классификация донных грунтов океана // Методы изучения физико-механических свойств донных отложений Мирового океана. Л.: ПГО Севморгеология, 1989. С. 47-58.
31. *Неизвестнов Я.В.* Становление и развитие инженерной геологии морского дна // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. Сб. науч. трудов. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. С. 449-468.
32. *Неизвестнов Я.В., Бронин В.Н.* Теоретические основы инженерной геологии глубоководных областей океана // Методы изучения физико-механических свойств донных отложений Мирового океана. Л.: ПГО Севморгеология, 1989. С. 7-18.
33. *Неизвестнов Я.В., Погребницкий Ю.Е., Филиппов Б.В.* Глобальный перенос вещества и энергии с позиций теории открытых термодинамических систем // Геология морей и океанов. Тез. докл. XIII Междунар. школы морской геологии. Т. 1. М.: 1999. С. 138-139.
34. *Неизвестнов Я.В., Поляков Е.В., Решетова О.В.* Численные эксперименты на модели распространения и осаждения взвеси в океане при добыче железомарганцевых конкреций // Инженерно-геологические условия разработки полезных ископаемых морского дна. СПб.: ВНИИ-Океангеология, 1996. С. 55-63.
35. *Неизвестнов Я.В., Супруненко О.И., Боровик О.В.* и др. Мерзлотно-геотермические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов Российской Арктики // Сб. Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 2 (82). С. 50-59.
36. *Неизвестнов Я.В., Семёнов Ю.П.* Подземные криопэги шельфа и островов Советской Арктики // II междунар. конф. по мерзлотоведению. Доклады и сообщения. Вып. 5. Подземные воды криолитосферы. Якутск: Кн. изд-во, 1973. С. 103-106.
37. *Неизвестнов Я.В., Филиппов Б.В.* Материальные и энергетические потоки в земной коре и верхних слоях мантии // Тр. XV сессии Международной школы по моделям механики сплошной среды. СПб.: СПбГУ, 2001. С. 78-83.
38. *Неизвестнов Я.В., Холмянский М.А.* Применение электроразведочных работ для решения геокриологических задач на шельфах северных морей // Сб. Методика инженерно-геологических исследований и картирования области вечной мерзлоты. Вып. 2. Якутск, 1977. С. 6-7.
39. НИИГА–ВНИИОкеангеология 70 лет / Под ред. В.Д. Каминского, Г.П. Аветисова, М.А. Холмянского. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2018. 145 с.
40. *Kondratenko A., Dreiseitl I.* Physical and mechanical properties of sediments of the IOM exploration area (features of formation, patterns of spatial variability) // J. International conference Minerals of the Ocean-9. (5-7 June, 2018. Saint Petersburg), VNIIOkeangeologia, 2018. P. 67-72.
41. *Kondratenko A.V., Egorov I.V., Ivanov V.N., Kell D.L.* Engineering Geological Study of Hydrothermal Polymetallic Sulphides Ore Fields // Proc. of the Twenty-seventh (2017) International Ocean and Polar Engineering Conference. San Francisco, CA, USA, June 25-30, 2017. V.1. P. 52-57.

42. Kondratenko A.V., Egorov I.V., Ivanov V.N., Kell D.L., Stepanova M.S. Physical-Mechanical Properties of the Bottom Formations of the Hydrothermal Ore Fields on the Mid-Atlantic Ridge // The Proc. of The Twenty-eighth (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference. Sapporo, Japan, June 10-15, 2018. P. 106-111.
43. Neizvestnov Y.V., Komarov J.S. The Shelf of the Arctic Ocean within the USSR // Engineering Geology of the Earth / Eds. W.R. Dearman, E.M. Sergeev, V.S. Shibakova. M.: Nauka Publishers, 1989. P. 168-171.

REFERENCES

1. Asavin, A.M., Chesalova, E.I., Mel'nikov, M.E. *Prognoznaya GIS model' formirovaniya kobal'tmargantsevykh korok gaiota Butakova (Magellanovy gory, Tikhii okean)* [Formation of cobalt-manganese crusts at Butakov Guyot (Magellan mountains, Pacific Ocean) by the predictive GIS model]. *Vestnik KRAUNTS, Nauki o Zemle*, 2007, is. 10, no. 2, pp. 105-117. (in Russian)
2. *Geokriologicheskaya karta SSSR. Msshtab 1 : 2 500000. Arkticheskii shel'f.* [Geocryological map of the USSR. Scale 1: 2500000. Arctic shelf]. Kondrat'eva, K.A., Afanasenko, V.E., Gavrilov, A.V. et al. Vinnitsa, *Vinnitskaya kartograficheskaya fabrika*, 1996, 16 p. (in Russian)
3. *Geokriologiya SSSR. Vostochnaya Sibir' i Dal'nii Vostok* [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East]. Ershov, E.D., Ed., Moscow, Nedra, 1989, 514 p. (in Russian)
4. *Geokriologiya SSSR. Evropeiskaya territoriya SSSR.* [Geocryology of the USSR. European territory]. Ershov, E.D., Ed., Moscow, Nedra, 1988, 358 p. (in Russian)
5. *Geokriologiya SSSR. Zapadnaya Sibir'* [Geocryology of the USSR. Western Siberia]. Ershov, E.D., Ed., Moscow, Nedra, 1989, 454 p. (in Russian)
6. *Geokriologiya SSSR. Srednyaa Sibir'.* [Geocryology of the USSR. Central Siberia]. Ershov, E.D., Ed., Moscow, Nedra, 1989, 413 p. (in Russian)
7. *Gidrogeologiya Evropy.* [Europe Hydrogeology], 2 volumes. Vol. 1. *Obshchaya kharakteristika podzemnykh vod* [General characteristics of groundwater]. Marinov, N.A., Tolstikhin, N.I., Eds. Moscow, Nedra, 1989, 536 p. (in Russian)
8. *Gidrogeologiya SSSR. Vyp.1. Osnovnye zakonomernosti rasprostraneniya pdzemnykh vod na territorii SSSR* [Hydrogeology of the USSR. Issue 1. General regularities of groundwater distribution in the USSR territory]. Moscow, Nedra, 1976, 656 p. (in Russian)
9. *Inzhenernaya geologiya rudnoi provintsii Klarion-Klipperton v Tikhom okeane* [Engineering geology of the Clarion-Clipperton ore province in the Pacific Ocean]. Neizvestnov, Ya.V., Kondratenko, A.V., Kozlov, S.A., etc. *Trudy VNIIOkeangeologii Ministerstva prirodnnykh resursov RF i RAN* [Proceedings VNIIOkeangeologiya, Ministry of Natural Resources and Russian Academy of Sciences], St. Petersburg, Nauka, 2004, vol. 197, 281 p. (in Russian)
10. *Inzhenernaya geologiya SSSR. T. 1-5. Razdely: shel'f i ostrova Arktiki, Taimyr i Predtaimyrskii progib* [Engineering Geology of the USSR. Vol. 1-5, Chapters: The Arctic Offshore and Islands, Taimyr and CisTaimyr trough]. Sergeev, E.M., Editor-in-Chief. Moscow, izd-vo MGU, 1976-1978. (in Russian)
11. *Inzhenernaya geologiya SSSR. Ural, Taimyr i Kazakhskaya skladchataya strana* [Engineering Geology of the USSR. Urals, Taimyr and Kazakh orogeny]. Bochkarev, V.P., Pecherkin, I.A., Neizvestnov, Ya.V. et al. Pecherkin, I.A. et al., Eds. Moscow, Nedra, 1990. 408 p. (in Russian)
12. *Inzhenernaya geologiya SSSR. Shel'fy SSSR.* [Engineering Geology of the USSR. Shelves of the USSR]. Dzhandzhgava, K.I., Komarov, I.S., Neizvestnov, Ya.V. et al., Eds., Moscow, Nedra, 1990, 239 p. (in Russian)
13. Kozlov, S.A. *Inzhenernaya geologiya Zapadno-Arkticheskogo shel'fa Rossii* [Engineering geology of the Russian Western Arctic shelf]. *Trudy NIIGA-VNIIOkeangeologiya* [Proc. NIIGA—VNIIOkeangeologia], vol. 206, Neizvestnov, Ya.V., Ed. St. Petersburg, 2004, 147 p. (in Russian)
14. Kozlov, S.A. *Inzhenerno-geologicheskie svoistva kobal'to-margantsevykh korok i ikh substratov, osobennosti ikh formirovaniya* [Engineering geological properties of cobalt-manganese crusts and their substrates and their formation peculiarities]. *Inzhenerno-geologicheskie usloviya razrabotki poleznykh iskopaemykh morskogo dna* [Engineering geological conditions of mining on the seabed]. St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 1996, pp. 15-29. (in Russian)
15. Kozlov, S.A. *Inzhenerno-ekogeologicheskaya skhema (m-b 1 : 2500000)* [Engineering ecogeological scheme (scale 1: 2500000)]. *Gos. Geologicheskaya karta RF. M-b 1 :1000 000 (novaya seriya). List R-38-40 – o. Kolguev. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1000 000 (new series). Sheet R-38-40. The Island of Kolguev. Explanatory note]. St. Petersburg, VSEGEI, 2003. (in Russian)
16. Kozlov, S.A. *Rol' pozdnekainozoiskogo promerzaniya v diagenese donnykh otlozhenii Barentsevo-Karskogo shel'fa* [The role of late Cenozoic freezing in the bottom sediments diagenesis of the Barents-Kara shelf]. *Geoekologiya*, 2006, no. 1, pp. 72-83. (in Russian)
17. Kozlov, S.A. *Formirovanie struktury i inzhenerno-geologicheskikh svoistv glubokovodnykh otlozhenii Tikhogo okeana* [Formation of structure and engineering geological properties of deep-sea Pacific Ocean

- sediments]. *Morskie inzhenerno-geologicheskie issledovaniya. Trudy NIIGA-VNIIOkeangeologiya* [Marine engineering geological research. Proc. NIIGA-VNIIOkeangeologiya], vol. 198, St. Petersburg, 2003, pp. 99-113. (in Russian)
18. Kozlov, S.A., Beltenev, V.E., Ivanov, V.N., Kaulio, M.V., Samovarov, M.L. *Perspektivy izucheniya polimetallicheskikh sulfidov Atlantiki* [Propsects for the study of polymetallic sulfides in Atlantic Ocean]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2016, no. 12, pp. 24-32. (in Russian)
 19. Kozlov, S.A., Reshetova, O.V, Neizvestnov, Ya.V. *Gorno-geologicheskie usloviya razrabotki glubokovodnykh kobal'tovo-margantsevykh korok* [Mining and geological conditions of deep-sea cobalt-manganese crusts development]. *Kobal'tonosnye zhelezo-margantsevye korki Tikhogo okeana* [Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific Ocean]. St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 1993, pp. 117-123. (in Russian)
 20. Kondratenko, A.V. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva donnykh obrazovaniy na glubokovodnykh mestorozhdeniyakh zhelezomargantsevykh konkretykh* [Physico-mechanical properties of bottom formations in deep-water deposits of iron-manganese nodules]. *Gornyi zhurnal*, 2012, no. 3, pp. 37-41. (in Russian)
 21. Kondratenko, A.V., Kozlov, S.A. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva donnykh osadkov* [Physico-mechanical properties of bottom sediments]. *Okeanologicheskie issledovaniya i podvodno-tekhnicheskie raboty na meste gibeli atomnoi podvodnoi lodki "Komsomoletz"* [Oceanological research and underwater technical work at the site of accident with the nuclear submarine "Komsomolets"]. Moscow, Nauka Publ., 1996, pp. 304-307. (in Russian)
 22. Kondratenko, A.V., Neizvestnov, Ya.V. *Inzhenernaya geologiya mestorozhdeniya zhelezo-margantsevykh konkretykh, zakreplennogo za Rossiiskoi Federatsiei v zone Klarion-Klipperton Tikhogo okeana* [Engineering Geology of ferromanganese nodule deposit, assigned to the Russian Federation in the area of the Clarion-Clipperton in the Pacific Ocean]. Proc. Annual Session of the Sci. Council RAS "Sergeevskie chteniya", iss. 2, (March 23-24, 2000). Moscow, GEOS, 2000, pp. 203-208. (in Russian)
 23. Kondratenko, A.V., Neizvestnov, Ya.V. *Formirovaniye inzhenerno-geologicheskikh uslovii glubokovodnykh konkretykh ploshchadei zony Klarion-Klipperton Tikhogo okeana* [Formation of engineering-geological conditions of deep-sea nodule areas in Clarion-Clipperton zone, the Pacific Ocean]. *Zapiski Sankt-Peterburgskogo gornogo instituta*, St. Petersburg, 1992, vol. 133, pp. 90-101. (in Russian)
 24. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu fiziko-mekhanicheskikh svoystv kobal'to-margantsevykh korok Mirovogo okeana* [Guidelines for the study of physico-mechanical properties of cobalt-manganese crusts of the World Ocean]. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya, 1994, 40 p. (in Russian)
 25. *Metodicheskie rekomendatsii po inzhenerno-geologicheskim issledovaniyam pri provedenii geologo-razvedochnykh работ na zhelezomargantsevykh konkretykh Mirovogo okeana* [Methodical recommendations on engineering geological research at carrying out prospecting works on iron-manganese nodules in the World Ocean]. St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 2000, 36 p. (in Russian)
 26. *Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu fiziko-mekhanicheskikh i korrozionnykh svoystv donnykh osadkov v sudovykh laboratoriyakh pri inzhenerno-geologicheskikh issledovaniyakh glubokovodnykh oblastei okeana* [Methodical recommendations for determination of physico-mechanical and corrosion properties of bottom sediments in ship laboratories upon engineering geological researches in deep-sea ocean areas]. St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 1993, 54 p. (in Russian)
 27. *Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu fiziko-mekhanicheskikh svoystv glubokovodnykh polimetallicheskikh sulfidov (GPS) Mirovogo okeana* [Methodical recommendations on determination of physico-mechanical properties of deep-sea polymetallic sulphides (DPS) of the World Ocean]. *Metodicheskie rekomendatsii po tekhnologii geologo-razvedochnykh работ na tverdye poleznye iskopaemye v Mirovom okeane (zhelezomargantsevye obrazovaniya, glubokovodnye polimetallicheskie sulfidy, donnye osadki)* [Methodical recommendations on technology of exploration works on solid minerals in the World Ocean (iron-manganese formations, deep-sea polymetallic sulphides, bottom sediments)]. Moscow, 2001, no. 3, pp. 84-103. (in Russian)
 28. Murav'ev, K.G., Cherkashyov, G.A., Laiba, A.A., Kozlov, S.A., etc. *Stanet li Rossiya morskoi syr'evoi derzhavoi?* [Will Russia become a marine raw power?]. *Redkie zemli*, 2016, no. 1(6), pp. 12-26. (in Russian)
 29. Neizvestnov, Ya.V. *Metodicheskie osnovy izucheniya inzhenernoi geologii arkticheskikh shelfov SSSR* [Methodological fundamentals of the engineering geological study at the Arctic offshore of the USSR]. *Inzhenernaya geologiya*, 1982, №1, pp. 3-14. (in Russian)
 30. Neizvestnov, Ya.V. *Obschchaya inzhenerno-geologicheskaya klassifikatsiya donnykh gruntov okeana* [General engineering-geological classification of bottom soils of the ocean]. *Metody izucheniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv donnykh otlozhenii Mirovogo okeana* [Studying methods of the physical and mechanical properties of World Ocean bottom sediments]. Leningrad, PGO Sevmorgeologia, 1989, pp. 47-58. (in Russian)
 31. Neizvestnov, Ya.V. *Stanovlenie i razvitiye inzhenernoi geologii morskogo dna* [Engineering Geology of the seabed zone: formation and development]. *60 let v Arktike, Antarktike i Mirovom okeane. Sb. Nauchnykh trudov* [Sixty years in the Arctic, Antarctic and the World Ocean. Sci. Proceedings] St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 2008, pp. 449-468. (in Russian)

32. Neizvestnov, Ya.V., Bronin, V.N. *Teoreticheskie osnovy inzhenernoi geologii glubokovodnykh oblastei okeana* [Theoretical foundations of Engineering Geology of the Ocean deep-water regions]. *Metody izucheniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv donnykh otlozhenii Mirovogo okeana* [Studying methods of the physical and mechanical properties of World Ocean bottom sediments]. Leningrad, PGO Sevmorgeologiya, 1989, pp. 7-18. (in Russian)
33. Neizvestnov, Ya.V., Pogrebetskii, Yu.E., Filippov, B.V. *Global'nyi perenos veshchestva i energii s pozitsii teorii otkrytykh termodinamicheskikh sistem* [Global transport of matter and energy from the standpoint of the theory of open thermodynamic systems]. *Geologiya morei i okeanov. Tez. Dokl. XIII Mezhd. Shkoly morskoi geologii* [Geology of seas and oceans. Abstracts of reports XIII Intern. School of Marine Geology], vol. 1, Moscow, 1999. pp. 138-139. (in Russian)
34. Neizvestnov, Ya.V., Polyakov, E.V., Reshetova, O.V. *Chislennyye eksperimenty na modeli rasprostraneniya i osazhdeniya vzvеси v okeane pri dobyche zhelezomargantsevyykh konkretov* [Numerical experiments on the model of distribution and deposition of suspension in the ocean during the extraction of iron-manganese nodules]. Engineering-geological conditions for the development of seabed minerals. St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 1996, pp. 55-63. (in Russian)
35. Neizvestnov, Ya.V., Suprunenko, I.O., Borovik, O.V., et al. *Merzlotno-geotermicheskie problemy osvoeniya neftegazovykh resursov Rossiskoi Arktiki* [Cryological and geothermal problems in the development of oil and gas resources in the Russian Arctic]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2009, no. 2 (82), pp. 50-59. (in Russian)
36. Neizvestnov, Ya.V., Semenov, Yu.P. *Podzemnye kriopegi shel'fa i ostrovov Sovetskoi Arktiki* [Highly mineralized underground water on the shelf and islands of Soviet Arctic]. II Intern. Conf. on Geocryology. Yakutsk, Knizhnoe izd-vo, 1973, iss. 5, pp. 103-106. (in Russian)
37. Neizvestnov, Ya.V., Filippov, B.V. *Material'nye i energeticheskie potoki v zemnoi kore i verkhnikh sloyakh mantii* [Material and energy flows in the Earth's crust and the upper layers of the mantle]. Proc. XV session of the International School on models of Continuum Mechanics. St. Petersburg, SPbGU Publ., 2001. pp. 78-83. (in Russian)
38. Neizvestnov, Ya.V., Kholmyanskii, M.A. *Primenenie elektrorazvedochnykh rabot dlya resheniya geokriologicheskikh zadach na shel'fakh severnykh morei* [Application of electromagnetic survey for solving permafrost problems on the shelf of the Northern Seas]. The methods of engineering-geological investigations and mapping of the permafrost regions, Yakutsk, 1977, iss. 2, pp. 6-7. (in Russian)
39. *NIIGA-VNIIOkeangeologiya – 70 let* [NIIGA-VNIIOkeangeologiya 70 years]. Kaminskii, V.D., Avetisov, G.P., Kholmyanskii, M.A., Eds. St. Petersburg, VNIIOkeangeologia, 2018. 145 p. (in Russian)
40. Kondratenko, A., Dreiseitl, I. Physical and mechanical properties of sediments of the IOM exploration area (features of formation, patterns of spatial variability). *J. International conference Minerals of the Ocean-9*. (5-7 June, 2018. St. Petersburg), VNIIOkeangeologiya, 2018, pp. 67-72.
41. Kondratenko, A.V., Egorov, I.V., Ivanov, V.N., Kell, D.L. Engineering geological study of hydrothermal polymetallic sulphides ore fields. *Proc. of the Twenty-seventh (2017) International Ocean and Polar Engineering Conference*. San Francisco, CA, USA, June 25-30, 2017, vol. 1, pp. 52-57.
42. Kondratenko, A.V., Egorov, I.V., Ivanov, V.N., Kell D.L., Stepanova M.S. Physical-mechanical properties of the bottom formations of the hydrothermal ore fields on the Mid-Atlantic Ridge. *The Proc. of the Twenty-eighth International Ocean and Polar Engineering Conference*. Sapporo, Japan, June 10-15, 2018, pp. 106-111.
43. Neizvestnov, Ya.V., Komarov, I.S. The Arctic Ocean Shelf within the USSR. Engineering Geology of the Earth. Dearman, W.R., Sergeev, E.M., Shibakova, V.S. Eds. Moscow, Nauka Publ., 1989. pp. 168-171.

**ENGINEERING GEOLOGY OF THE WORLD OCEAN SEABED
(to the 50th anniversary of the Laboratory of Engineering Geology of the World
Ocean Seabed FSBI “VNIIOkeangeologiya”)**

© 2019 A. V. Kondratenko^{1,*}, S. A. Kozlov^{2,**}, M. S. Zakharov^{1,***}

¹*Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean (FSBI “VNIIOkeangeologiya”), Angliyskii pr., 1, St. Petersburg, 190121 Russia*

**E-mail: kondr@vniio.nw.ru*

****E-mail: zhMike@mail.ru*

²*Polar Marine Exploration Expedition Joint-Stock Co.
ul. Pobedy, 24, Lomonosov, St. Petersburg, 198412 Russia*

***E-mail: kozlovSA@rusgeology.ru*

This paper reviews the development of engineering geological studies at the Ocean seabed in the Russian Federation for the last 50 years in relation to the works undertaken by Engineering Geology Laboratory of the Ocean seabed – the department of FSBI “VNIIOkeangeologiya”. The potential perspectives of the Ocean mineral resources exploration and extraction attract the attention of experts to the seabed engineering geology. This includes an analysis of the geological, engineering geological and other survey results undertaken so far, as well as the future planning for the engineering geological studies in the Ocean seabed.

Keywords: *World Ocean, Arctic shelf of Russia, engineering-geology research, hydrogeological research, permafrost research, ferromanganese nodules (FMC), cobalt-rich ferromanganese crusts (KMC), deep-sea polymetallic sulfides (DPS), Russian exploratory regions in the Pacific and Atlantic Oceans.*

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-7809201963-18>