

Egorov I.V.

FSBI VNIIOkeangeologia, Saint-Petersburg, Russia

Kondratenko A.V.

FSBI VNIIOkeangeologia, Saint-Petersburg, Russia

Grigortsuk A.V.

HYCO, Saint-Petersburg, Russia

Prospects for Development of Deep-water Machinery for Exploration and Exploitation of Polymetallic Sulphides in Russian Exploration Area (the Mid-Atlantic Ridge)

ABSTRACT В рамках работ по разведке полиметаллических сульфидов, которые проводит Россия на Срединно-Атлантическом хребте, выполняются систематические инженерно-геологические исследования. Они направлены на комплексную оценку инженерно-геологических условий разведки и разработки потенциальных месторождений полиметаллических сульфидов. В процессе исследований выявлены основные специфические инженерно-геологическим факторы рудных полей PPP, влияющие на конструктивные особенности разведочной и добычной техники, такие как: высокая степень расчлененности рельефа дна, значительная крутизна склонов и связанные с ними опасные гравитационные процессы, широкий диапазон показателей физико-механических свойств сульфидных руд и вмещающих их магматических пород, перекрывающие рудные залежи слабые донные осадки.

В работе рассмотрены перспективы конструирования глубоководной техники, исходя из инженерно-геологических особенностей рудных полей PPP. Представлены экспериментальные образцы российских разработок глубоководной техники для выполнения детальных разведочных работ.

KEY WORDS: Атлантический океан, Срединно-Атлантический хребет, Российский разведочный район, полиметаллические сульфиды, инженерно-геологические исследования, разведочная и добычная техника.

Введение

На протяжении последних нескольких лет Российская Федерация проводит разведку полиметаллических сульфидов на Срединно-Атлантическом хребте на основе контракта, заключенного с Международным органом по морскому дну (МОМД) в 2012 г. [.....]. Кроме обязательств по разведке, положений юридического и финансового характера, контракт включает в себя позиции, по которым подрядчику надлежит осуществлять разработку разведочной и добычной глубоководной техники, а также провести испытания опытной добычной системы в глубоководных условиях.

As of 2019, 18 hydrothermal ore fields, being potential targets of PS mining, have been identified within the REA [Мировой океан, 2018]. In parallel with the exploration of the ore fields engineering-geological studies are carried out [Kondratenko, 2017, Kondratenko, 2018].. Their results largely determine the requirements for the development of deep-water machinery. Для реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию новых технических средств для разведки и добычи ПС представляют интерес анализ следующих компонентов инженерно-геологических условий PPP в пределах выявленных рудных объектов: особенности геологического строения; расчлененность рельефа дна;

проявления опасных гравитационных процессов на крутых склонах; сейсмическая активность региона; физико-механические свойства донных образований.

Цель работы.

Целью работы является выявление специфических особенностей инженерно-геологических условий гидротермальных рудных полей Российского разведочного района полиметаллических сульфидов и, исходя из этого, определение перспектив конструирования глубоководной разведочной и добычной техники для работы на полях развития ПС.

Общие сведения о рудных объектах РРР.

Российский разведочный район ПС располагается в рифтовой зоне САХ в интервале $12^{\circ}48' - 20^{\circ}54' \text{ с.ш.}$ В РРР выявлено 18 гидротермальных рудных полей, которые включают в себя 55 рудных тел. Общая площадь рудных полей составляет ~ 14 кв.км. Рудные гидротермальные поля РРР локализованы в интервале глубин 1900-4100 м. Статистический анализ показывает, что больше половины рудных полей - 10 (55%) из 18 - приурочены к интервалу глубин 2000-3000 м (Рис. 1).

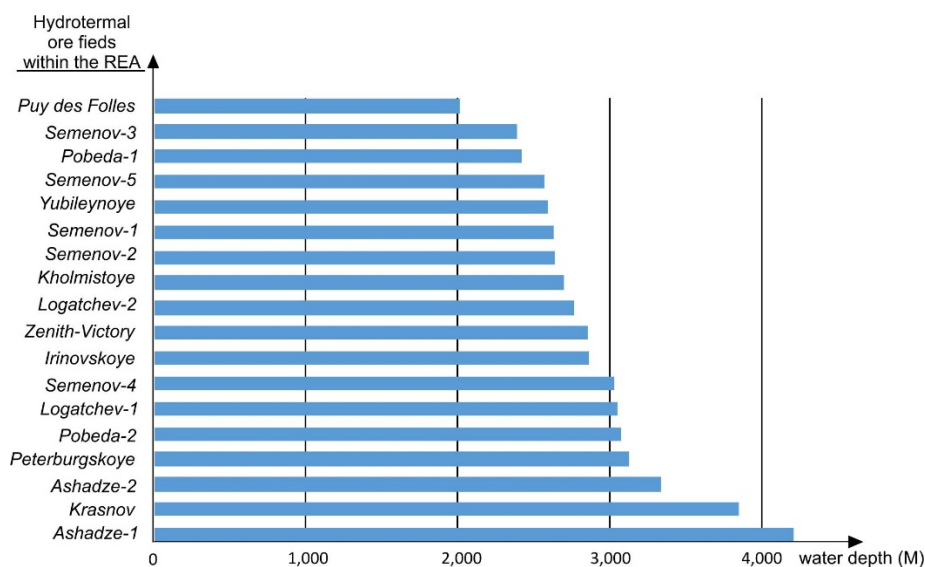


Рис. 1. Глубина океана в пределах рудных полей РРР.

Часть рудных полей приурочены к склонам и характеризуются определенной «вертикальной протяженностью» (разница между верхним и нижним батиметрическими экстремумами границы рудного поля) (Табл.1), что является одним из показателей сложности инженерно-геологических условий на рудных полях. Максимальная «вертикальная протяженность» отмечается на поле *Зенит-Виктория* – 510 м. Минимальной – «вертикальной протяженностью» характеризуется поле *Семенов 1* – 60 м.

Таблица 1

Интервалы глубин океана в пределах рудных полей
(«вертикальная протяженность рудных полей»)

Перепад глубин, м	Количество рудных полей
<100	3
100-200	5
200-300	5
300-400	2
400-500	2
>500	1

Район характеризуется относительно интенсивной сейсмической активностью [.....], определяющей характер морфологической расчлененности донной поверхности (см. ниже).

На современном этапе разведочной деятельности в РРР, инженерно-геологические исследования выполнены фрагментарно, на отдельных рудных объектах [ISOPE 2017, 2018]. Однако, уже на данном этапе изученности, накопленный фактический материал позволяет использовать полученные данные при разработке новых технических средств, актуальных при проведении разведочных, а в дальнейшем и добычных работ в пределах РРР.

Инженерно-геологические факторы, влияющие на разработку разведочной и добычной техники

Геологическое строение РРР (по ISOPE 2018)

Основные черты геологического строения района характеризуются следующим образом (по []). Горные породы РРР, вмещающие сульфидные руды, представлены базальтами и габбро-перидотитовым комплексом. Базальты занимают большую часть площади РРР. Они развиты в приосевой части рифта (днище и бортах рифтовой долины) и на его флангах. Базальты формируют разнообразные подводные горные массивы (рифтовые гряды, вулканические постройки центрального типа и т.д). Породы габбро-перидотитового комплекса встречаются в виде значительных по размерам блоков глубинных пород, экспонированных в донной поверхности. В литературе они известны как внутренние океанические комплексы (ВОК) [.....]. В пределах РРР ВОК имеют значительное распространение, к ним приурочено 12 (из 18) рудных полей.

Осадочный чехол в пределах РРР представлен в основном биогенными карбонатными осадками. В пределах рудных полей встречаются карбонатные осадки, обогащенные продуктами гидротермальной деятельности. Осадочный чехол прерывистый, мощность карбонатных осадков, как правило, не превышает первые метры. Некоторые рудные поля, такие как рудное поле «Пюи де Фолль», характеризуются отсутствием донных осадков. Другие, например, рудное поле «Холмистое», полностью перекрыты осадками, мощность которых достигает 12 метров (по данным акустического профилирования).

Сульфидные руды представлены как отдельными сульфидными постройками, так и крупными рудными телами. Сульфидные постройки представляют собой морфологически разнообразные образования высотой до нескольких метров. Наиболее типичная морфология массивных сульфидных образований - это рудные холмы, зачастую увенчанные трубами различной высоты. В настоящее время (в отсутствие работ по бурению) мощность рудных залежей носит прогностический характер. На большей части рудных полей, мощность рудных залежей прогнозируется на глубину около 10 м. Максимальная мощность рудных образований прогнозируется на рудном поле «Краснов» -

до 60 м. Основными потенциальными объектами разработки являются сплошные скопления полиметаллических сульфидов (рудные тела), площадь которых варьирует в интервале от 0,0002 до 0,5 кв. км.

1.3. Рельеф дна

Bottom surface dissection.

Большое значение для оценки степени благоприятности проведения разведочных и добычных работ в пределах рудных полей имеет характер микрорельефа дна. По результатам изучения геоморфологического строения дна отмечается значительная расчлененность донной поверхности. По [ISOPE 2017 с сокращениями] выделяются следующие типы поверхностей: слабо- и среднерасчлененные полого-холмистые и холмисто-грядовые горизонтальные, квазигоризонтальные и наклонные поверхности. Они, в свою очередь, осложнены такими формами микрорельефа как: развалы коренных эффузивных и глубинных пород; экзогенные отложения как результаты гравитационных процессов – конусы оползания и обрушения; трещины, уступы (первые метры); вулканогенные террасы (высота склонов – первые метры), сформированные лавовыми потоками незначительной мощности; сульфидные постройки с трубными комплексами, максимальная зафиксированная высота которых в РРР достигает 40м) и их развалы; сульфидные холмы высотой 10-20м; развалы массивных сульфидных руд. Очевидно, что сложный микрорельеф рудных полей будет создавать определенные трудности при размещении на них буровой техники и агрегатов добычи ГПС.

Dangerous gravitational processes.

В процессе изучения рельефа донной поверхности на рудных полях зафиксировано проявление различного рода гравитационных геологических процессов, развивающихся в результате сейсмической (в первую очередь – *микросейсмической*) активности. Так, например, к северу от РРР (37°с.ш.) зафиксировано от 10 до 30 (!) микроземлетрясений в день [Macdonald К.С., 1977]. В результате двухлетнего мониторинга микросейсмической активности на САХ в интервале от 15° до 35°с.ш. зафиксировано 3485 акустических событий (~10 событий в день) [Smith and al, 2003]. Гравитационные отложения, являющиеся результатом таких процессов как: landslipping, screeing, landfalling of debris, accumulation of debris and biogenic material on slopes with low angles широко развиты в пределах рудных полей - Рис.2. The angular range of slopes inclination, which correlate to various gravitational processes is quite wide (up to >50°) and processes occur very complicatedly. Сочетания этих поверхностей в пределах рудных полей формируют разнообразные, зачастую крайне сложные, инженерно-геологические условия для работы на рудных полях.

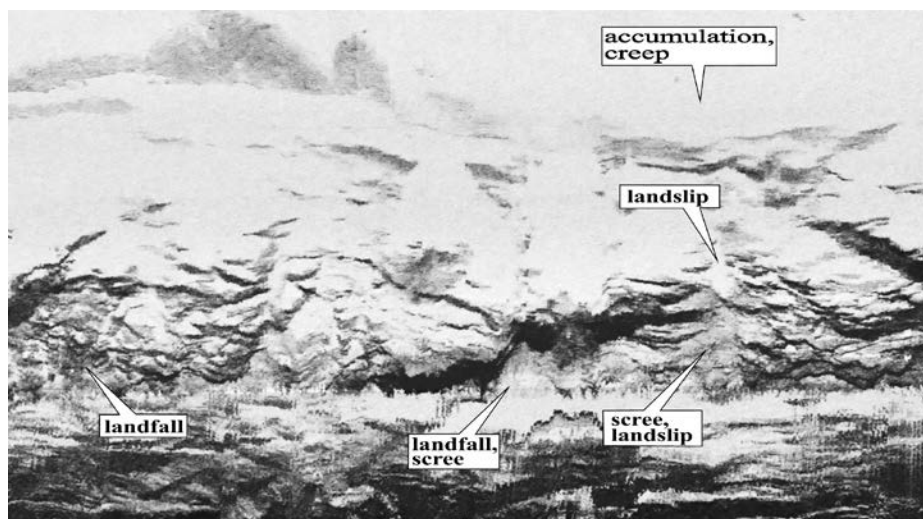


Рис.2. Сонарное изображение донной поверхности (район рудного поля Зенит-Виктория), иллюстрирующее типы геологических гравитационных процессов.

1.4. Инженерно-геологическое районирование

При инженерно-геологических исследованиях РРР, инженерно-геологическое районирование рассматривается как один из наиболее эффективных методов картографического анализа инженерно-геологических условий выявленных рудных объектов ГПС. Единый методический подход, использованный при инженерно-геологическом районировании рудных объектов, позволяет выполнить сравнение изученных рудных объектов по степени благоприятности инженерно-геологических условий проведения разведочных и добычных работ.

В качестве критерия инженерно-геологического районирования рудных объектов РРР был принят геоморфологический признак, определяющий морфологические особенности поверхности дна и их связь с развитием гравитационных процессов. На основе морфологической типизации на схемах инженерно-геологического районирования были выделены три типа инженерно-геологических участков: благоприятные (уклоны дна до 5°); относительно благоприятные (уклоны дна от 5° до 15°); неблагоприятные (уклоны дна свыше 15°). При сейсмической активизации на склонах свыше 15 градусов прогнозируется развитие опасных гравитационных процессов в виде осыпания и обвалов горных пород [Kondratenko et al., 2017]. При этом в пределах РРР, по данным мировой сети сейсмостанций за период 1964-1995 гг., максимальное значение магнитуды достигает 5,8, а в среднем на РРР приходится до 9 сейсмических событий в год [Болдырев, 1998].

По состоянию на 2019 год, инженерно-геологическое районирование выполнено в северной части РРР на 7 рудных объектах. Сводные результаты инженерно-геологического районирования свидетельствуют о высокой степени неоднородности инженерно-геологических условий изученных рудных объектов (Рис. 3). В пределах изученных рудных полей неблагоприятные участки, расположенные на склонах свыше 15 градусов, варьируют в довольно широких пределах, от 21 % на рудном поле «Юбилейное» до 86 % на рудном поле «Победа-2». И только в пределах рудного поля «Пюи де Фолль», полностью отсутствуют неблагоприятные участки.

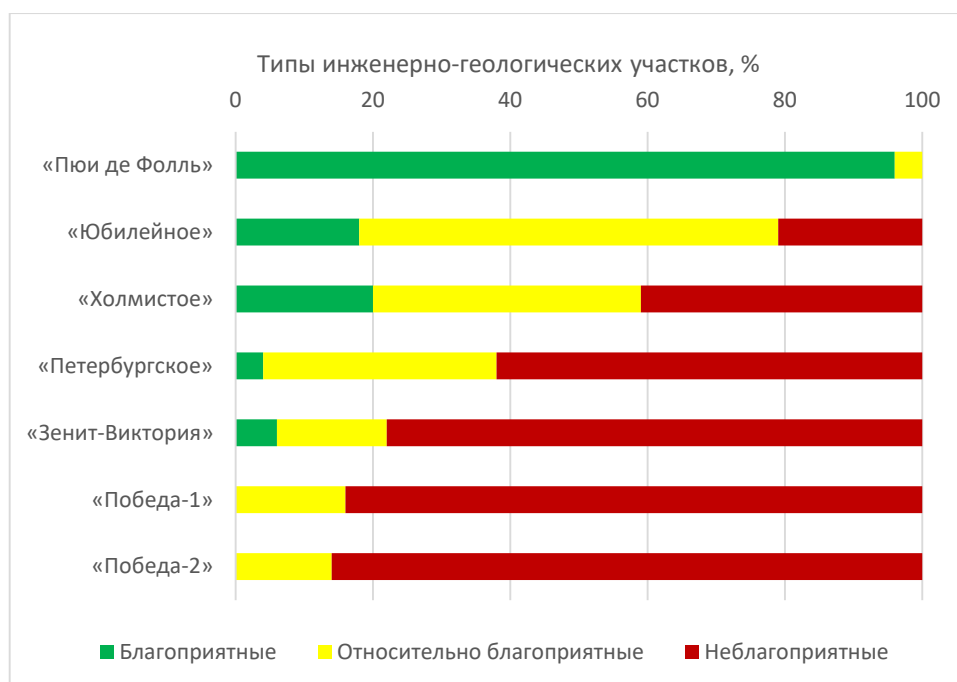


Рис. 3. Площади различных типов инженерно-геологических участков в пределах рудных полей РРР ПС: благоприятные - склоны до 5° ; относительно благоприятные - склоны от 5° до 15° ; неблагоприятные - склоны свыше 15° .

1.5. Физико-механические свойства донных образований

Донные образования РРР представлены сульфидными рудами, вмещающими их магматическими породами и донными осадками.

Массивные сульфидные руды встречаются в различных минеральных ассоциациях. Главные рудообразующие минералы – пирит, халькопирит и сфалерит. Из нерудных минералов присутствуют - кварц, опал и арагонит. В связи с разнообразием минерального состава и особенностями образования сульфидных руд, их физико-механические свойства изменяются в широких пределах: плотность породы – $1,77-4,52 \text{ г/см}^3$, предел прочности на одноосное сжатие - $0,6-198,0 \text{ МПа}$ (Рис. 4).

Магматические породы, вмещающие сульфидные руды, базальты и породы габбро-перидотитового комплекса. Базальты, как правило, породы высокой плотности и прочности (плотность породы – $2,64-2,94 \text{ г/см}^3$, предел прочности на одноосное сжатие - $93,4-295,0 \text{ МПа}$). По своим физико-механическим свойствам габбро (плотность породы – $2,60-3,06 \text{ г/см}^3$, предел прочности на одноосное сжатие - $28,3-164,0 \text{ МПа}$) близки к серпентинизированным перидотитам (плотность породы – $1,45-2,82 \text{ г/см}^3$, предел прочности на одноосное сжатие - $1,8-131,8 \text{ МПа}$). При этом, те и другие существенно уступают базальтам по прочностным характеристикам. Существенное влияние на физико-механические свойства вмещающих пород оказывают процессы гидротермальной деятельности. В процессе гидротермальной проработки базальты и породы габбро-перидотитового комплекса претерпевают изменения, которые приводят к их разуплотнению и разупрочнению [ISOPE 2018]. Таким образом, сульфидные руды, локализованные в породах габбро-перидотитового комплекса и прошедшие гидротермальную проработку, по сравнению с базальтами, являются более благоприятными для отработки. Большинство рудных полей РРР (12 из 18 рудных полей) связано с породами габбро-перидотитового комплекса.

Карбонатные донные осадки, включая их разновидности, обогащенные продуктами гидротермальной деятельности, представляют собой слабые донные образования с низкой плотностью (1,40-1,59 г/см³) и прочностью (4,3-12,2 кПа).

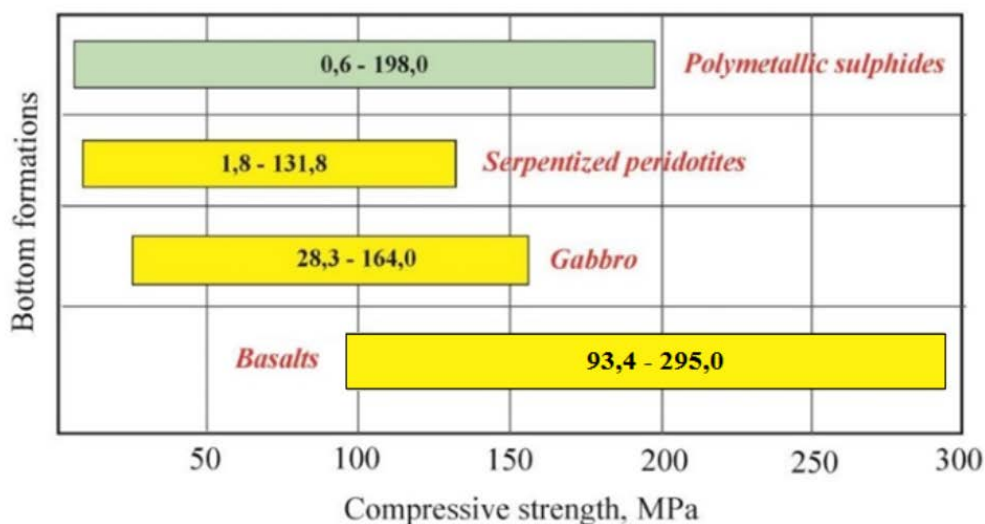


Fig. 4. Compressive strength of polymetallic sulphides and rocks of the REA (по [ISOPE 2018]).

2. Перспективы разработки глубоководной разведочной и добычной техники

Базируясь на результатах изучения инженерно-геологических условий рудных гидротермальных полей РРР и анализа мировых тенденций разработки глубоководных технических средств, были рассмотрены возможные перспективы конструирования разведочной и добычной техники для работы в конкретных условиях РРР.

Крайне актуальной первостепенной задачей в настоящее время, в соответствии с контрактом на разведку полиметаллических сульфидов, является разработка разведочных средств. В ближайшие годы необходимо установить точные границы рудных залежей; определить их мощность, оценить ресурсный потенциал, продолжить инженерно-геологические исследования для подготовки потенциальных месторождений к опытной добыче. В связи с этим, повышенное внимание в работе было уделено рассмотрению ключевых особенностей глубоководной техники, обеспечивающей выполнение именно этих задач.

В первую очередь необходима разработка *буровой техники*, возможности бы которой позволили бурение скважин глубиной до 50-60 м в условиях высокой расчлененности рельефа и на крутых склонах до 50°, при наличии слабых донных осадков мощностью до 10-12 м. Кроме того, рассмотрена перспективность использования *многофункциональных аппаратов* для выполнения разведочной деятельности с максимальной эффективностью.

2.1. Разведочная техника.

Основные сложности эксплуатации разведочной технике, с позиций инженерно-геологических условий РРР, заключаются в возможности работы на поверхностях с большими уклонами, а также перекрытых донными осадками. В настоящее время российскими разработчиками предлагаются следующие решения данной задачи.

Буровое оборудование

Для выполнения задач с поставленными условиями предполагается, что разведочная техника для ГПС может быть представлена 2-мя модификациями бурового станка ТК 15 (Рис. 5), на первом этапе с глубиной бурения до 15м, и на втором этапе, соответственно, до 50м. Буровые работы позволят повысить достоверность оценки прогнозные ресурсы и выбрать наиболее перспективные рудные поля для дальнейшего освоения. Буровая установка ТК-15 производства ООО «ГИКО» обеспечивает бурение на глубину до 15 метров» и прошедшая морские испытания. Бурение на глубину до 50 метров может быть обеспечено за счет модернизации ТК-15 в виде увеличения количества и размера буровых штанг и, соответственно, увеличения энергоснабжения станка.

Управление этими буровыми станками производится с судна-носителя, оснащенного бортовой системой питания (БСП), спуско-подъемным устройством (СПУ), порталом, палубным краном, оптическим кабель тросом, техникой сопровождения (ROV) для визуального контроля и системой динамического позиционирования. В качестве судна-носителя для работы в РРР предполагается использовать НИС «Профессор Логачев», который в 2016 году (ПМГРЭ) прошел модернизацию на КСЗ и снабжен данными опциями (<http://www.pmge.ru/index.php?id=22&lang=RUS>)

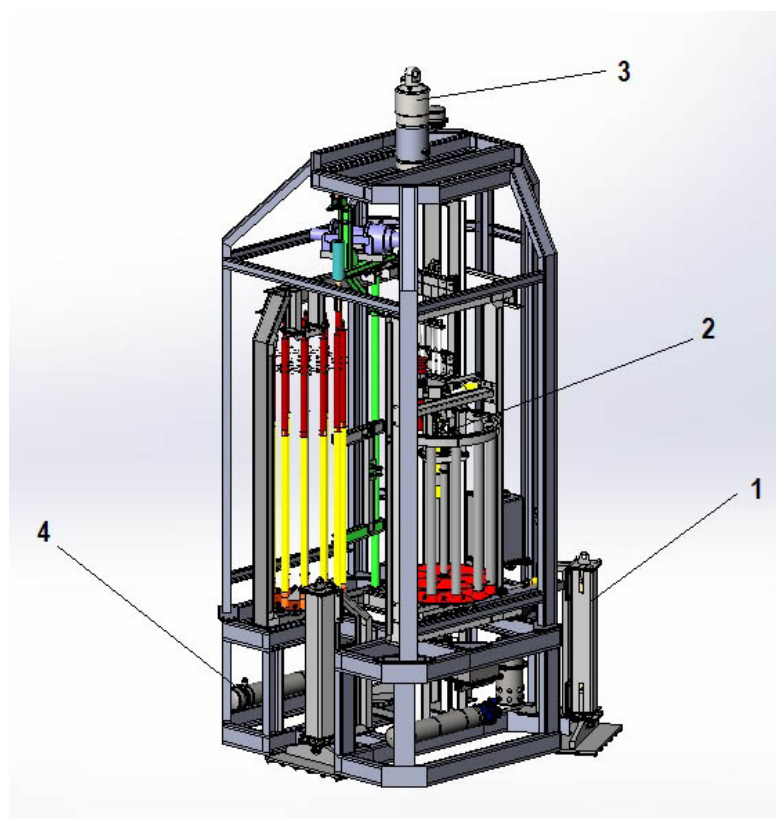


Рис.5. Буровой станок ТК 15. 1. Цилиндр горизонтирования; 2. Буровой модуль; 3. Глубоководный вертлюг (токоъем) - снимает скручивающие напряжения с кабель-троса; 4. ГЭП - гидроэлектропривод.

Таблица 2.

Технические характеристики бурового станка ТК-15

Характеристика	Значение
Максимальная глубина погружения (м)	6000

Характеристика	Значение
Глубина бурения (м)	15
Диаметр бурения (мм)	76
Диаметр керна (мм)	50,5
Максимальный наклон поверхности дна, град.	15
Способ (технология) бурения	вращательное, со съемными штангами
Количество буровых штанг в барабане	12
Длина буровой штанги (мм)	1360
Наклонное бурение	До 15 ⁰
Тип привода	электрогидравлический
Электропитание	3 фазы 380 Вольт (автомат 40А)
Потребляемая мощность, не более, кВт	24
Габариты: высота / ширина / длина (м)	4.8 / 2.85 / 3.79
Масса (кг)	не более 6000

В настоящее время ведутся разработки по усовершенствованию бурового станка ТК 15 с целью решения проблемы горизонтального выравнивания аппарата на склонах более 15⁰.

Многоцелевые самоходные аппараты

На протяжении ряда лет в ООО «ГИКО» (Россия) ведутся разработки многоцелевого самоходного аппарата УНПА ГК-5000 - Рис. 6.

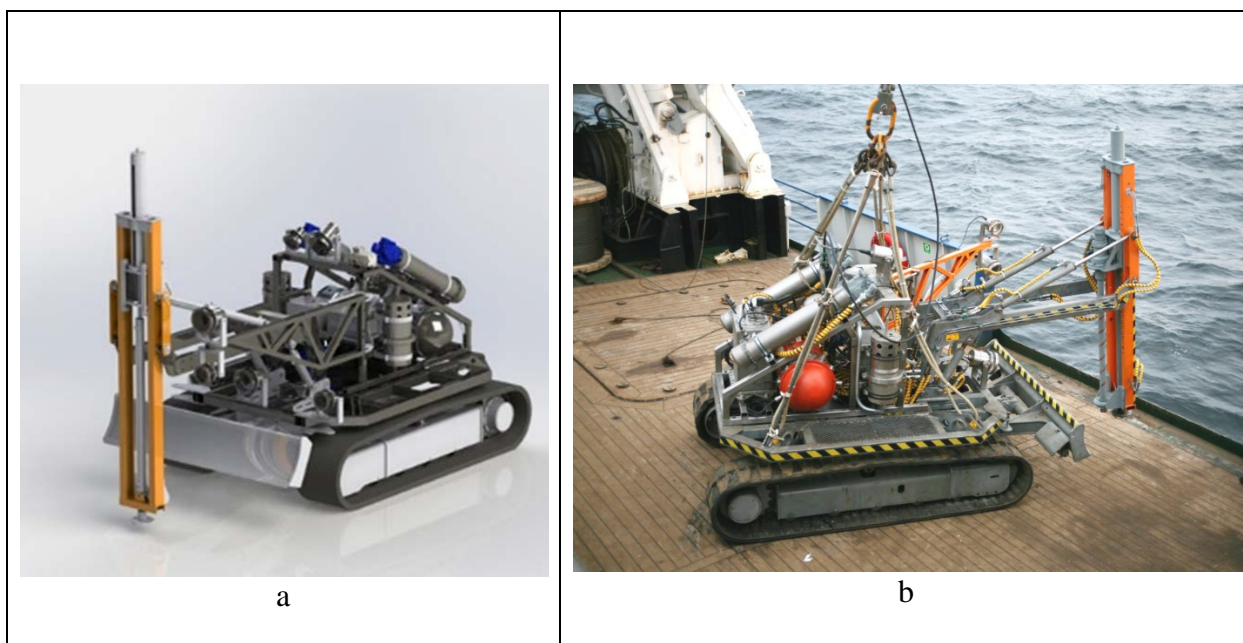


Рис. 6. Универсальный необитаемый подводный аппарат УНПА ГК-5000: а – макет, б – а палубе НИС «Профессор Логачев» во время морских испытаний

Решения, реализованные в УНПА ГК-5000 (Табл. 3.) показывают реальность создания *семейства* установок, оснащенных средствами пробоотбора и бурения для глубин до 6000м под унифицированную систему управления и телеметрии.

Таблица 3.

Технические характеристики многоцелевого самоходного аппарата УНПА ГК-5000

Характеристика	Значение
Глубина бурения (м)	1,0
Диаметр бурения (мм)	40-60
Мощность гидроагрегата (кВт)	22
Давление гидросистемы рабочее (бар)	150
Расход гидросистемы макс. (л/мин.)	80
Питание гидроагрегата, переменное	2500 V
Привод гусеничной тележки	гидравлический
Скорость гусеничного хода (км/час)	до 3
Привод подъема-опускания бура	гидравлический
Привод вращения бура	гидравлический
Частота вращения бура (об/мин)	до 900
Максимальная высота подъема бурильной штанги над опорной поверхностью (м)	0.5
Максимальное заглубление бурильной штанги ниже опорной поверхности (м)	0.25
Управление установкой	дистанционное (по кабелю)
Габариты: высота / ширина / длина (м)	1,9 / 1,84 / 3,65
Масса (кг)	не более 4500

Такие установки обладают неоспоримыми преимуществами перед существующими и используемыми в настоящее время и позволят производить отбор проб максимально приближенных к требованиям методик глубоководных ГРР.

Возможность контролируемого перемещения установки по дну позволяет отбирать необходимые пробы пород (руды) с высокой точностью привязки. Неоспорима и экономическая целесообразность применения такого типа установок за счет сокращения времени на проведение геологических работ. Способность дистанционно контролировать выбор мест пробоотбора сведет к минимуму количество взятых «пустых» проб, а возможность такими установками отбирать сразу несколько проб за одно погружение, значительно сократит число необходимых спуско-подъемных операций, являющихся наиболее трудоемкими при проведении глубоководной разведки.

Аппарат типа УНПА ГК-5000 может быть использован для картировочного бурения с целью оценки точности и достоверности контура рудного тела, его внутреннего строения (сплошности). При буровой и горно-буровой системах разведки скважины обычно располагаются в геологических разрезах (профилях), ориентированных вкрест основному простиранию рудных тел. В каждом профиле следует пересечь рудное тело скважинами (с учетом пересечений горными выработками) не менее чем в 3-4 местах, что позволяет достаточно надежно увязать эти пересечения между собой. Представляется, что с использованием данного типа буровой установки подобные работы могут быть выполнены с большей эффективностью, чем при работе со станками типа ТК 15.

Такой тип установок востребован уже сегодня для выполнения контрактных работ с МОМД ООН, которые проводит РФ в РРР-ПС. Данный тип установок имеет и перспективу дальнейшего развития за счет оснащения их различными видами оборудования и приборов для проведения глубоководных геологоразведочных и инженерно-геологических исследований:

- ✓ модулем для бурения мелких картировочных скважин,
- ✓ зондом для определения механических показателей донных осадков in situ методом статического зондирования,
- ✓ системами видео, сонарной, лидарной, съемок для создания панорамных 3D моделей рудных объектов,
- ✓ аппаратурой точного позиционирования,
- ✓ манипулятором для отбора штучных проб,
- ✓ бульдозерным отвалом для перемещения или удаления донных осадков,
- ✓ аппаратурой экологического мониторинга и т.п.

Также УНПА ГК-5000 может производить установку анкерных креплений [], в т.ч. для стационарной аппаратуры длительного использования типа: датчиков сейсмического мониторинга, маяков топографической привязки, аппаратуры экологического мониторинга, например, состояния водной толщи, контроля придонных течений и т.п.

Кроме того, в связи с сильной расчлененностью донной поверхности на рудных полях, представляется перспективным применение УНПА ГК-5000 как технического средства для крупнообъемного пробоотбора. Для этого следует предусмотреть возможность использования, в качестве сменного оборудования, экскаваторного ковша и бокса для сбора проб. Данная необходимость обоснована тем, что донная поверхность в пределах некоторых рудных тел РРР имеет ступенчатое (террасированное) строение. Часто присыпанные осадками квазигоризонтальные поверхности чередуются почти вертикальными стенами, сложенными сульфидной рудой. При таком строении отбор крупнообъемной рудной пробы телегрейфером невозможен, а использование самоходной телеуправляемой платформы, оснащенной средствами пробоотбора, позволило бы решить эту проблему.

Использование в процессе ГРР донных установок на гусеничном ходу со съемным оборудованием позволит существенно повысить детальность проводимых исследований и эффективность работ. *Опыт по созданию такого оборудования, в дальнейшем, может быть использован и для создания техники для разработки полезных ископаемых морского дна.*

2.2. Добычная техника

С позиций инженерно-геологических особенностей РРР для разработки добычной техники особый интерес представляют системы: агрегатов размельчения и сбора сульфидной руды, промежуточный коллектор, подъема руды на борт судна. В мировой практике уже наметился определенный тренд разработки добычных машин для эксплуатации сульфидных месторождений и основные проблемы являются общими для всех подрядчиков. В настоящее время, как известно, многие мировые организации имеют

альтернативные проекты по разработке добычной техники: Nautilus Minerals (International Company), JOGMEG (Япония), China Ship Scientific Research Center (Китай), «BAUER», Германия, «Neptun Minerals» США и др.

С другой стороны, как показывают проведенные авторами исследования, при разработке техники для добычных работ на рудных полях РРР, которые имеют свои специфические инженерно-геологические особенности, необходимо учитывать такие факторы как: работа в условиях сильно расчлененного рельефа и поверхностях с большими углами наклона (как минимум, при начальной организации добычной инфраструктуры); предварительное перемещение значительных объемов карбонатных донных осадков и отложений, образовавшихся в результате гравитационных процессов; выработка одновременно различных по своим механическим свойствам донных образований.

Так, например, в отличие от комплекса аппаратов, разрабатываемых ведущими фирмами и ориентированными на размельчение и сбор рудного материала, для условий РРР *необходимо предусмотреть разработку специального агрегата* для удаления донных осадков, перекрывающих рудные залежи. Пока что в мире не существует альтернатив системе энергетического снабжения с поверхности (с судна) через кабель-трос. По всей вероятности, *необходимы специальные разработки более эффективных энергоснабжающих установок* в связи с предстоящей выработкой высокой прочностью сульфидных руд и вмещающих пород (рис. 4).

Анализ агрегатов сбора глубоководных полиметаллических сульфидов показывает, что наиболее эффективными, для работы в РРР, являются агрегаты с топографической адаптивной способностью (JOGMEG (Япония), China Ship Scientific Research Center (Китай)), чем агрегаты с традиционным гусеничным шасси. Такая конструкция шасси позволяет производить сбор руды и перемещаться на склонах до 20° . *Это направление видится перспективным для решения проблемы сильной расчлененности рельефа донной поверхности на рудных полях РРР, при этом необходимы конструкторские решения для увеличения угла работы, в связи с объективными условиями РРР.*

Выводы

Проводимые инженерно-геологические исследования, задают основные требования к разработке глубоководных разведочных и добычных систем и позволяют вести конструирование техники максимально целесообразно в соответствии со спецификой инженерно-геологических условий рудных объектов РРР. По мере изучения рудных объектов требования к глубоководной технике будут уточняться. По состоянию работ на настоящее время можно сделать следующие выводы.

1. Рудные поля, выявленные в РРР, локализованы как правило, в сложных инженерно-геологических условиях при глубине океана от 1900 до 4100 м. К основным факторам, которые необходимо учитывать при разработке разведочной и добычной техники следует отнести: значительную вертикальную протяженность рудных полей от 50 до 450 м; сложный микрорельеф рудных полей; приуроченность части рудных полей к крутым склонам до 50° и связанные с ними проявления опасных гравитационных процессов; сейсмическая активность САХ как катализатор развития склоновых гравитационных процессов; высокая прочность сульфидных руд и вмещающих их магматических пород; присутствие в пределах рудных полей слабых донных осадков, перекрывающих непосредственный доступ разведочной и добычной техники к рудным залежам.

2. Рудные гидротермальные поля РРР характеризуются специфическими инженерно-геологическими условиями, что следует учитывать при разработке разведочной техники. В первую очередь, это затрагивает разработку бурового оборудования. В связи с этим, перспективы разработки буровой техники заключаются в модернизации установки ТК-15. В первую очередь, это разработка системы горизонтального выравнивания на

крутых склонах (до 50°). Кроме и того, следует предусмотреть возможность работы техники в условиях развития донных осадков, достигающих на рудных полях РРР значительной мощности.

Широкие перспективы для проведения широкого спектра детальных разведочных работ, необходимых для изучения потенциальных месторождений ТПИ (в том числе и в сложных инженерно-геологических условиях), открывает разработка самоходных аппаратов с взаимозаменяемым сменным оборудованием. На базе опытного образца аппарата УНПА ГЛ-5000, разработанного ООО ГИКО (Россия) ведутся конструкторские работы, учитывающие специфику инженерно-геологических условий рудных полей РРР и требования к выполняемым разведочным работам.

3. Основные направления разработки добычной техники для работы на рудных объектах РРР определяются, во, первых, необходимостью создания системы предварительного удаления донных осадков, перекрывающих большую часть рудных полей. При этом особое внимание необходимо уделить разработке экологически безопасных технологий, отвечающих требованиям МОМД о сохранении окружающей среды. Во, вторых, сульфидные руды и вмещающие их породы (базальты, габбро, перидотиты) относятся преимущественно к группе скальных пород высокой прочности, что потребует создание энергоемкого оборудования для их разрушения и дробления перед подъемом на борт судна.

Литература.

1. Мировой океан. Том III. Твердые полезные ископаемые и газовые гидраты в океане – М.: Научный мир, 2018. – 708 с.
2. Kondratenko A.V., Egorov I.V., Ivanov V.N., Kell D.L. Engineering Geological Study of Hydrothermal Polymetallic Sulphides Ore Fields / Proceedings of the Twenty-seventh (2017) International Ocean and Polar Engineering Conference San Francisco, CA, USA, June 25-30, 2017 Copyright © 2017 by the International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE) ISBN 978-1-880653-97-5; ISSN 1098-6189. V.I. P.52-57.
3. 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 / Proceedings of the Twenty-eighth (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference Sapporo, Japan, June 10-15, 2018 Copyright © 2018 by the International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE) ISBN 978-1-880653-87-6; ISSN 1098-6189. V.I. P.106-111.
4. Macdonald K.C., Luyendyk B.P. Deep-tow studies of the structure of the Mid-Atlantic Ridge crest near lat. 37 N // Geol. Soc. Amer. Bull. 1977. Vol. 88. P. 621- 636.
5. Smith Deborah K., Javier Escartin, Mathilde Cannat et. al. Spatial and Temporal Distribution of Seismicity Along the Northern Mid-Atlantic Ridge (150–350 N) // Journal of Geophysical Research, vol. 108, no. b3, 2167, DOI:10.1029/2002jb001964, 2003.
6. Boldyrev S.A. Seismogeodynamics of the Mid-Atlantic Ridge. Moscow. “National Geophysical Committee of Russian Federation”. 1998. 126p.
7. Smith Deborah K., Johnson R. Cann, Javier Escartin. Widespread Active Detachment Faulting and Core Complex Formation Near 13.80N on the Mid-Atlantic Ridge //Nature Vol 442|27 July 2006|doi:10.1038/nature04950
- 8.

Cherkashov G.A., Ivanov V.N., Beltenev V.Ye., Lazareva L.I., Rozhdestvenskaya I.I., Samovarov M.L., Poroshina I.M., Sergeev M.B., Stepanova T.V., Dobretsova I.G., Kuznetsov V.Yu. (2013). Seafloor massive sulphide deposits of the northern equatorial mid-atlantic ridge // *Oceanology*. Vol. 53. № 5. PP. 680-693.

GOST 24941-81. (1981) Rocks. Methods for determination of mechanical properties by pressing with spherical indentors. Moscow (in Russian)

GOST 5180-2015. (1985) Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics. Moscow. (in Russian)

Guidelines for determination of physical and mechanical and corrosion properties of bottom sediments in the marine laboratory at engineering-geological studies of deep ocean areas (1993). St. Petersburg, VNIIOkeangeologia, 54 p.

Kondratenko A.V., Ivanov V.N., Beltenev V.Ye., Kozlov S.A. (2008). Physical-mechanical properties of ground formations of ore unit «Ashadze» (MAR, 13o N) // *Minerals of the ocean-4*. The international conference. VNIIOkeangeologia. St. Petersburg,. PP. 89-92.

MacLeod C.,J., Searle R.C., Murton B.J., Casey J.F., Mallows C., Unsworth S.C., Achenbach K.L., Harris M. (2009) Life cycle of oceanic core complexes // *Earth Planet. Sci. Letters*, V.287 PP. 333–344.

Smith Deborah K., Johnson R. Cann, Javier Escartin (2006). Widespread active detachment faulting and core complex formation near 138N on the Mid-Atlantic Ridge // *Nature*. Vol 442|27 July |doi:10.1038/nature04950.

Beltenev V.Ye., Rozhdestvenskaya I.I., Ivanov V.N., Babayeva S.F. New Hydrothermal Fields at the Territory of Russian Exploration Area // *Geology of seas and oceans: Proceedings of XX International Conference on Marine Geology*. Vol. II. – Moscow: GEOS, 2013. PP. 148-150.

Boldyrev S.A. Seismogeodynamics of the Mid-Atlantic Ridge. Moscow. “National Geophysical Committee of Russian Federation”. 1998. 126p.

Cherkashov G.A., Ivanov V.N., Beltenev V.Ye., Lazareva L.I., Rozhdestvenskaya I.I., Samovarov M.L., Poroshina I.M., Sergeev M.B., Stepanova T.V., Dobretsova I.G., Kuznetsov V.Yu. Seafloor Massive Sulphide Deposits of the Northern Equatorial Mid-Atlantic Ridge. *New Discoveries and Perspectives// Oceanology*. 2013. Vol. 53. № 5. PP. 680-693.

Egorov I. V., Dobretsova I. G. New Methodological Aspects of the Prospecting for Oceanic Sulphide Ore. – “Gorny Zhurnal”, 2012. №3. P.18-22.

Kondratenko A.V., Egorov I.V. Engineering-Geological Zoning of Hydrothermal Ore Fields on the Mid-Atlantic Ridge // *Minerals of the ocean-7 & Deep-sea minerals and mining-4*. International Conference 02-05 June, 2014. St. Petersburg, VNIIOkeangeologia, 2014. PP. 52-54.

Kondratenko A.V., Ivanov V.N., Beltenev V. Ye., Kozlov S.A. Physical-Mechanical Properties of Ground Formations of Ore Unit «Ashadze» (Mar, 13o N) // *Minerals of the ocean-4*. International Conference. St. Petersburg, VNIIOkeangeologia, 2008. PP. 89-92.

MacLeod C.,J., Searle R.C., Murton B.J., Casey J.F., Mallows C., Unsworth S.C., Achenbach K.L., Harris M. Life Cycle of Oceanic Core Complexes // Earth Planet. Sci. Letters, 2009, V.287 PP. 333–344.