

УДК 553.065

## ОТКРЫТИЕ НОВЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РУДНЫХ ПОЛЕЙ “КОРАЛЛОВОЕ” (13°07' с.ш.) И “МОЛОДЕЖНОЕ” (13°09' с.ш.) В ПРЕДЕЛАХ СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА

© 2023 г. А. М. Маковиз<sup>1, 3, \*</sup>, А. Е. Мусатов<sup>1, \*\*</sup>, И. А. Сергеева<sup>1, 3</sup>, Г. А. Черкашев<sup>2, 3</sup>,  
Е. В. Наркевский<sup>1</sup>, Р. В. Шипов<sup>1</sup>, З. В. Жидков<sup>1, 4</sup>, Д. А. Крюков<sup>1</sup>, И. Г. Добрецова<sup>1</sup>,  
В. Л. Скаковский<sup>1</sup>, Д. В. Каминский<sup>1</sup>, М. С. Степанова<sup>2</sup>, А. С. Бич<sup>2</sup>, А. С. Савин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО “Полярная морская геологоразведочная экспедиция” (АО “Росгеология”),  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Зоологический институт Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, Россия

\*e-mail: makoviz77@gmail.com

\*\*e-mail: alexejmusatov@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.10.2021 г.

После доработки 04.05.2022 г.

Принята к публикации 16.08.2022 г.

В ходе выполнения 41-ого рейса НИС “Профессор Логачев” в 2019 г. в пределах Российского Разведочного района на Срединно-Атлантическом хребте открыты два новых рудных поля. Рудное поле “Коралловое” расположено в срединной части борта рифтовой долины и залегает на пологом участке склона в интервале глубин 2800–2850 м. Рудное поле “Молодежное” расположено на расстоянии около 5 км к северо-востоку от поля “Коралловое” и залегает на менее крутом участке склона в интервале глубин 3500–3550 м. Поля “Коралловое” и “Молодежное” приурочены к выходу массива габбро-перидотитов на западном борту рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта. Общее количество открытых рудных полей в Российском Разведочном районе увеличено до 14 объектов.

**Ключевые слова:** Срединно-Атлантический хребет, Российский разведочный район, гидротермальное рудообразование, гидротермальное рудное поле

DOI: 10.31857/S0030157423010070, EDN: ANDAWN

### ВВЕДЕНИЕ

В 2012 г. был подписан контракт между Министерством природных ресурсов и экологии РФ и Международным органом по морскому дну при ООН на проведение геологоразведочных работ на полиметаллические сульфидные руды в Международном районе морского дна. Российский разведочный район (РРР) расположен в интервале широт 12°48'–20°54' с.ш. на Срединно-Атлантическом хребте (САХ) и состоит из 100 разведочных блоков размером 10 × 10 км каждый (рис. 1). К 2019 г. в пределах РРР было открыто двенадцать рудных объектов, одиннадцать из которых имеют российский приоритет открытия [3].

Результатом экспедиционных работ в 2019–2020 гг. было открытие двух новых гидротермальных полей. Предварительные данные об этих рудных объектах приводятся в данной статье.

### МЕТОДЫ

В 2019–2020 гг. сотрудниками АО “ПМГРЭ” (АО “Росгеология”) совместно со специалистами ФГБУ ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга в 41-ом рейсе НИС “Профессор Логачев” в ходе проведения поисковой стадии геологоразведочных работ были изучены южные блоки РРР на отрезке САХ 20°01'–20°54' с.ш. Работы проводились по отработанной в рейсах АО “ПМГРЭ” методике, включающей следующие виды работ и инструменты:

- гидролокационное профилирование с электроразведочным модулем (комплекс ГБО “МАК-1М-ЕП” с одновременным измерением потенциала естественного электрического поля (ЕП);

- телевизионное профилирование (комплекс TVS Sperre);

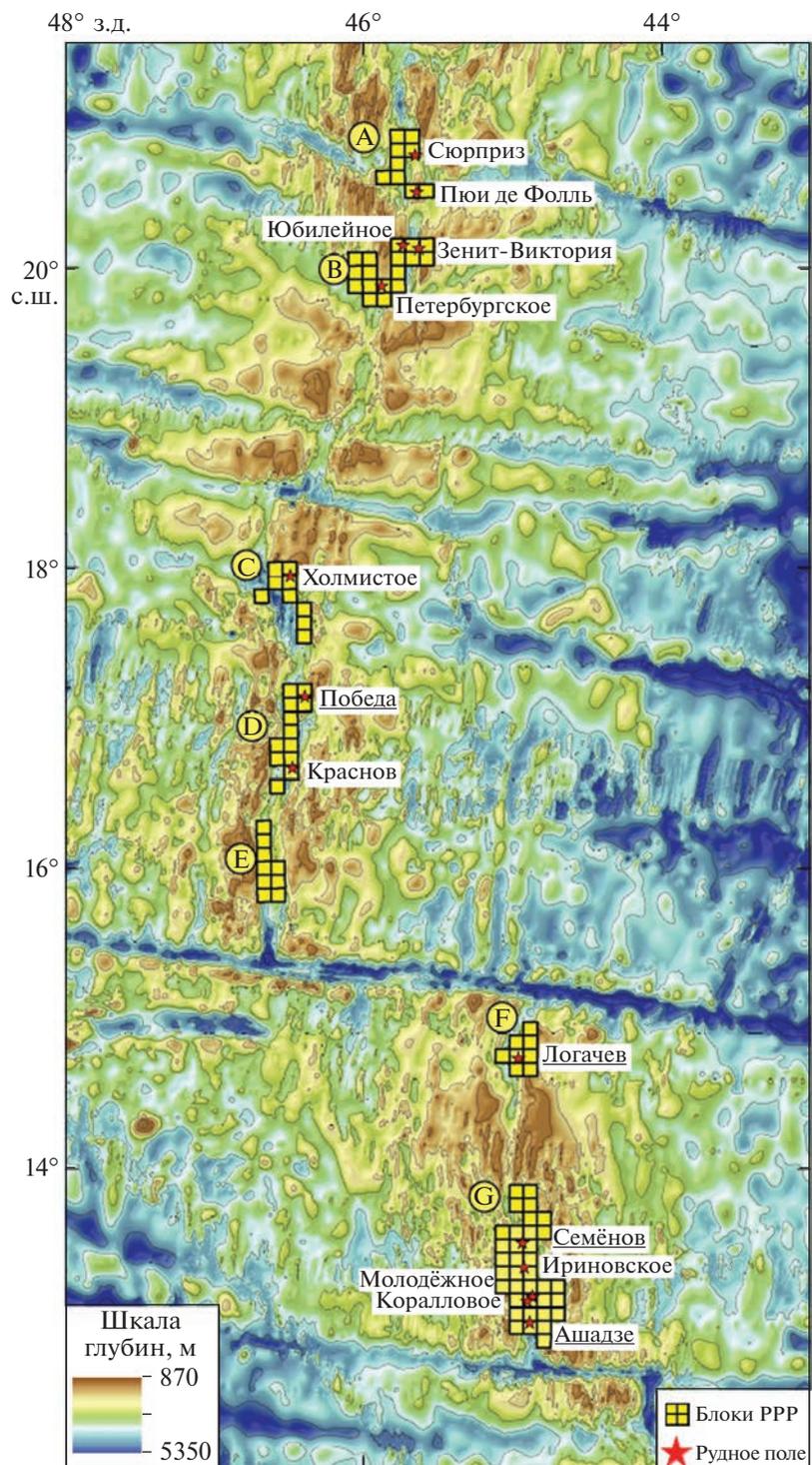
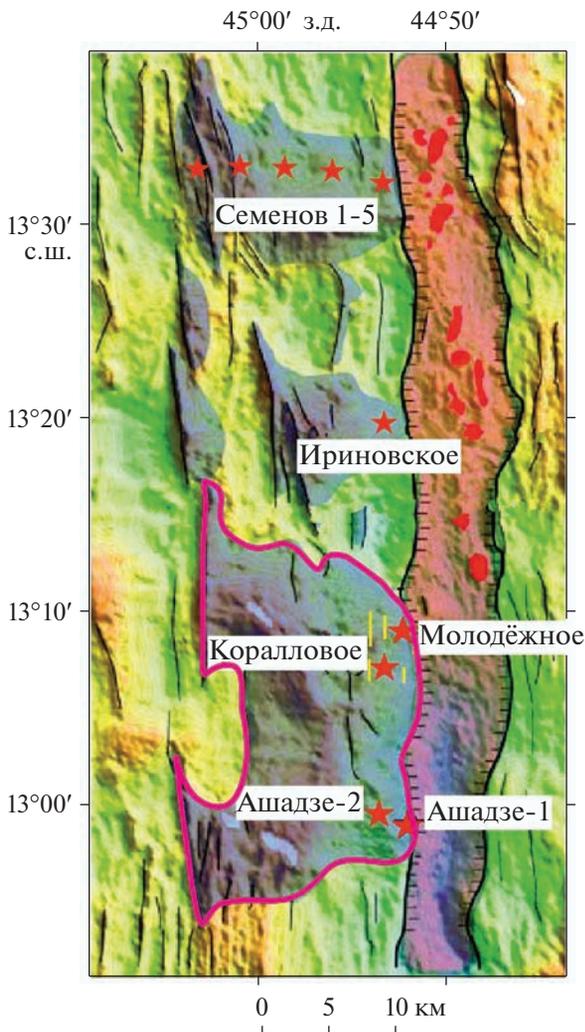


Рис. 1. Российский Разведочный Район и рудные объекты в его пределах [2 с добавлениями].

- геологическое опробование (скальная драга, коробчатый пробоотборник);
- гидрофизическое зондирование (зонд SBE 911 plus);
- привязка аппаратов (система подводной навигации HiRAP-101).

В качестве батиметрической основы использовались материалы многолучевой батиметрической съемки масштаба 1 : 200000, выполненной ГНЦ ФГУП “Южморгеология”. Основным методом при проведении поисково-разведочных работ является гидроакустическое профилирова-



**Рис. 2.** Расположение гидротермальных полей “Коралловое” и “Молодежное” на участке САХ в пределах крупного габбро-перидотитового массива (красный контур) [10 с дополнениями]. Серым цветом отмечены массивы габбро-перидотитовых пород (внутренние океанические комплексы), от светло-красного до фиолетового – днище рифтовой долины разной глубины залегания, ярко-красным – неовулканические поднятия, черной линией с отметками – граница днища рифтовой долины, звездами – гидротермальные рудные поля, желтыми штрихами – аномалии ЕП в районе новых гидротермальных полей.

ние комплексом ГБО “МАК-1М-ЕП”. Методика совместного выполнения гидролокации бокового обзора и измерения ЕП была разработана сотрудниками АО “ПМГРЭ” и показала высокую эффективность ее применения при поисках сульфидных руд [1].

Минеральный состав гидротермальных образований исследовался методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре D2 Phaser фирмы Bruker в центре физики наногетероструктур Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН.

Химический состав гидротермальных образований исследовался в лаборатории Физических и химических методов исследования минерального вещества (центр коллективного пользования “Геоаналитик”) Института геологии и геохимии УрО РАН методом рентгенофлуоресцентного спектрального анализа на следующие компоненты:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$  на спектрометре СРМ-35.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного придонного профилирования на двух участках дна были зафиксированы аномалии ЕП. Исследованиями этих участков при помощи телевизионного профилирования визуально установлены трубные комплексы черных курильщиков, а в ходе последующего пробоотбора подняты массивные сульфидные руды. Дальнейшее оконтуривание рудных тел телепрофилированием и их опробование подтвердило открытие двух новых гидротермальных рудных полей, получивших названия “Коралловое” и “Молодежное”.

Гидротермальные рудные поля “Коралловое” и “Молодежное” расположены в южной части сегмента Срединно-Атлантического хребта, расположенного между трансформными разломами Зеленого Мыса и Марафон. Рифтовая долина на данном участке САХ отличается узким (2 км) и глубоким (4600–4900 м) днищем с высокими склонами бортов. Восточный борт долины сложен преимущественно базальтами, на западном борту установлены несколько выходов глубинных габбро-перидотитовых пород. Поля “Коралловое” и “Молодежное” вместе с рудным узлом “Ашадзе” приурочены к самому крупному массиву габбро-перидотитов (рис. 2).

Выходы глубинных пород габбро-перидотитовой ассоциации в пределах срединно-океанических хребтов связывают с внутренними океаническими комплексами (ВОК), в пределах которых отмечены многочисленные проявления высокотемпературной гидротермальной деятельности и сульфидного оруденения [5, 6, 8, 9, 11]. Ранее в южной части того же массива были открыты гидротермальные рудные поля “Ашадзе-1” и “Ашадзе-2” [4].

В результате открытия двух новых полей количество рудных объектов на отрезке САХ от 13°00' до 13°30' с.ш. увеличилось до шести. Подобное интенсивное скопление гидротермальных полей уникально для всей структуры САХ. Также обращает на себя внимание факт их “регулярного” распределения: на 60-километровом отрезке между рудными узлами “Ашадзе” и “Семенов” рудные объекты располагаются на расстоянии 20 км.

**Гидротермальное рудное поле “Коралловое”** расположено в срединной части борта рифтовой долины и залегает на пологом участке склона в интервале глубин 2800–2850 м. За центр поля приняты координаты 13°07.2' с.ш. и 44°53.8' з.д. По результатам телепрофилирования в пределах поля установлены и оконтурены три рудных тела, а также зафиксированы признаки гидротермальной активности (раковины двустворчатых моллюсков, металлоносные осадки и гидротермальные корки) (рис. 3).

При проведении телевизионной съемки в пределах рудного тела 1 поля “Коралловое” наблюдался дым черного курильщика, и на небольшом удалении от него было зафиксировано повышенное содержания метана на гидрологической станции зондирования 41L173z (рис. 4).

В пределах рудных тел и на небольшом удалении от них телесъемкой зафиксированы двустворчатые моллюски родов *Bathymodiolus* sp. и *Caliptogena* sp., поселения которых приурочены к активным гидротермальным источникам [7].

Рудные тела имеют следующие размеры: 50 × 40 м (1), 150 × 100 м (2) и 20 × 30 м (3). Большая часть рудных тел перекрыта маломощными чехлом донных осадков. Рудные тела 1 и 2 в ходе работ были опробованы семью станциями драгирования (рис. 3). Рудное тело 3 не было опробовано и выделено только по данным телепрофилирования. При проведении телевизионной съемки фиксировались трубные комплексы и их обломки, гидротермальные корки, металлоносные осадки и холмы высотой до 5 м, на поверхности которых развиты колонии двустворчатых моллюсков. В пределах холмов при драгировании подняты прожилково-вкрапленные руды и раковины моллюсков. Корки и металлоносные осадки распространены как в пределах рудных тел, так и на небольшом от них удалении. Всего при помощи скальной драги в пределах поля “Коралловое” поднято около 600 кг гидротермальных образований, представленных прожилково-вкрапленным оруденением (≈525 кг), обломками труб (≈60 кг) и гидротермальными корками (≈15 кг). В драгах также встречались обломки серпентинизированных габбро-перидотитов и базальтов.

Ниже приводится описание выделенных типов гидротермальных образований, сделанное на основе макроскопического описания и исследований под бинокуляром:

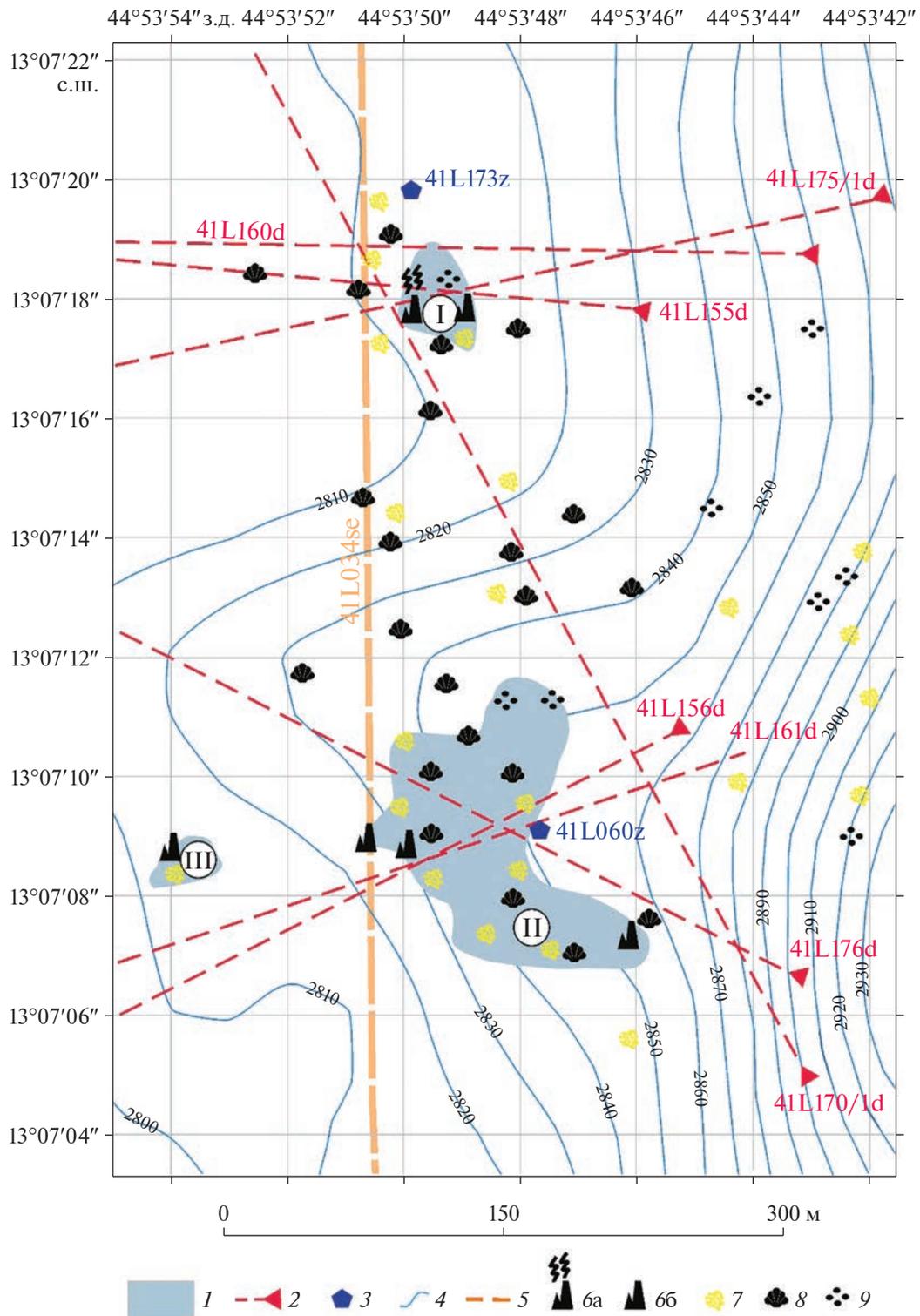
*Фрагменты труб гидротермальных построек* (станция 41L155d) имеют концентрически-зональное строение (выделяются 4 главных зоны) и сложены преимущественно халькопиритом и борнитом: халькопирит/борнит – 60%, ковеллин/халькозин – 30%, опал – 7%, сфалерит – 2%, марказит – 1% (рис. 5).

Внутренняя зона труб сложена рыхлыми синими и розоватыми сульфидами меди, иногда с вкрапленностью мелких кристаллов халькопирита и сфалерита. Сфалерит тяготеет к внешней части зоны, ближе к контакту со следующей халькопирит-борнитовой зоной. Халькопирит-борнитовая зона сложена мелкозернистыми минеральными агрегатами борнита и относительно крупными тетраэдрическими кристаллами халькопирита (до 0.3 мм), на поверхности минералов наблюдается побежалость вторичных сульфидов меди. Помимо относительно крупных кристаллов халькопирит также образует мелкозернистые минеральные агрегаты. На границе со следующей зоной наблюдаются редкие сростки пластинчатых кристаллов марказита (?), на поверхности которых развит черный налет. Следующая зона сложена сливным тонкозернистым борнитом с гнездами мелкозернистого халькопирита. Поверхность борнита покрыта синей и красновато-розоватой побежалостью сульфидов меди. Внешняя зона сложена мелкозернистым халькопиритом, борнитом и опалом. Опал образуется в кавернах и порах, и его количество увеличивается к внешней части трубы, а количество сульфидов наоборот уменьшается. Строение труб осложнено побочными каналами, которые нарушают общую зональность.

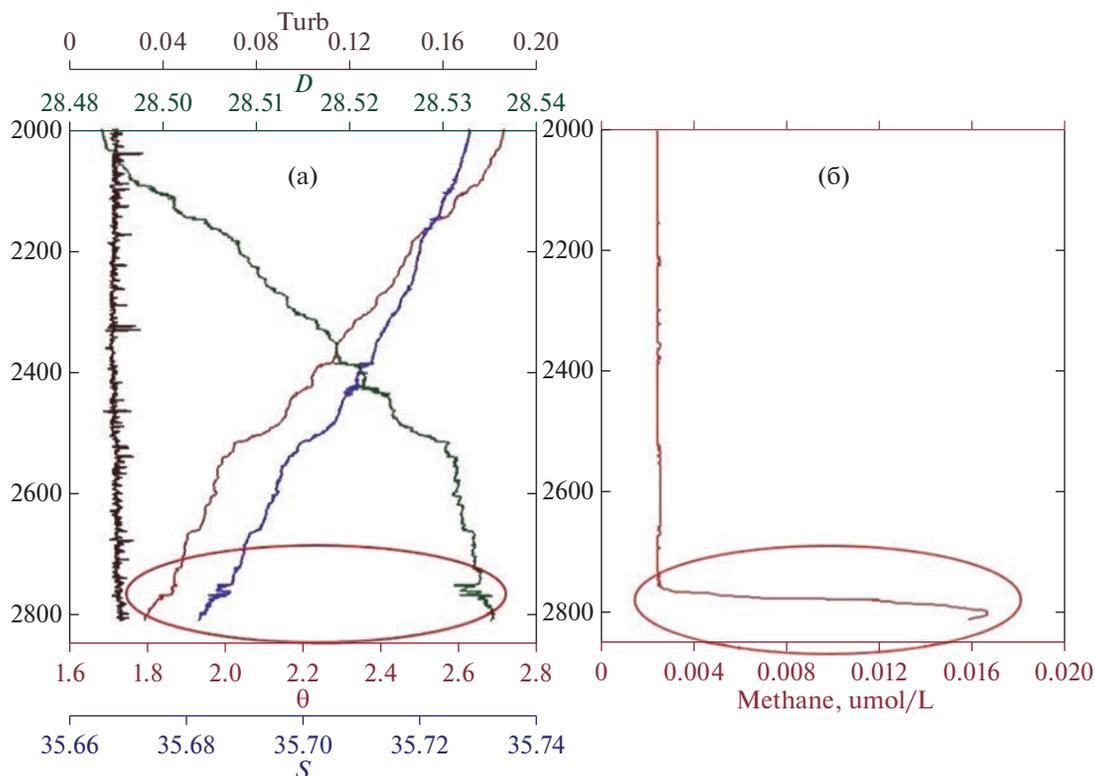
*Сульфиды с прожилково-вкрапленным оруденением* (станции 41L155d, 41L156d, 41L161d, 41L176d, 41L170/1d и 41L175/1d) представлены в основном халькопирит-борнитовым (80%) и, в меньшей степени, пиритовым типами. Также в части образцов присутствуют халькопирит-борнит-пирротинная и пирит-халькопиритовая вкрапленность. Сульфидная вкрапленность условно делится на богатую и убогую. В богатой вкрапленности содержания сульфидов в среднем составляет около 20% от общего объема породы и может достигать 40%. В убогой – 2–3%. В среднем по всем изученным образцам вкрапленность составляет 4–5%.

Вмещающие породы представлены преимущественно тальковыми, тальк-хлоритовыми и тальк-опаловыми разновидностями. В некоторых образцах наблюдаются идиоморфные призматические полости с пластинчатыми агрегатами талька, который вероятно замещает реликты пироксена, в других образцах реликты исходной породы неразличимы, и вмещающая порода принимает мелкоподобный вид.

*Гидротермальные корки* (станции 41L155d, 41L156d, 41L160d) сложены гидроксидами железа и марганца и имеют слоистое строение с кремнисто-железистыми прожилками. В некоторых образцах наблюдаются реликты оталькованных пород и единичные вкрапленники халькопирита, пирита и борнита. Они могут образовывать плотный каркас из сливных агрегатов. В некоторых образцах среди прослоев гидроксидов железа и



**Рис. 3.** Схема строения гидротермального рудного поля “Коралловое”: 1 – рудные тела и их номера (римские цифры), 2 – станции драгирования, 3 – гидрологические станции, 4 – изобаты (через 10 м), 5 – фрагмент профиля с выделенной аномалией ЕП, 6 – гидротермальные постройки: активные (а) и неактивные (б), 7 – металлоносные осадки, 8 – раковины моллюсков, 9 – гидротермальные корки.



**Рис. 4.** Гидрофизические параметры (а) и концентрация метана (б) водной толщи на станции зондирования 41L173z. Turb – мутность;  $D$  – потенциальная плотность, кг м;  $\theta$  – потенциальная температура, °C;  $S$  – соленость, промилле; Methane – концентрация растворенного метана, моль/л; красный контур – зона аномалий в придонно-водной толще.

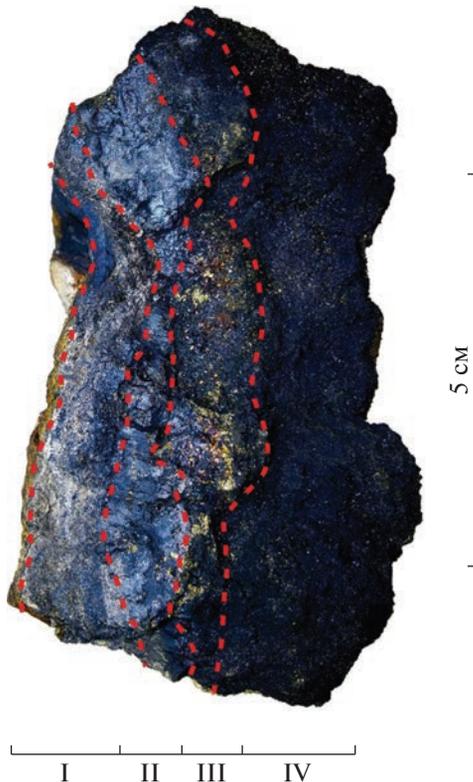
марганца встречается атакамит (до 15%), образующий идиоморфные клиновидные кристаллы изумрудного цвета и скрытокристаллические агрегаты зеленовато-бирюзового цвета. Более крупные агрегаты атакамита чаще наблюдаются в прожилках ближе к внешней поверхности корок. В корках выделено две главные минеральные разновидности: преимущественно марганцевые корки с гидроксидами железа и железомарганцевые корки с атакамитом и реликтами оталькованных пород. По результатам изучения минерального состава корок методом рентгенофазового анализа (РФА) установлено, что преимущественно марганцевые корки (обр. 41L155-14) сложены тодорокитом, бернесситом, кварцем, аморфными гидроксидами железа, кальцитом и арагонитом. В корках отмечаются редкие минералы, такие как шабазит и цинкит. Железистые корки (обр. 41L155-8) сложены аморфными гидроксидами железа, ферригидритом, гетитом, тодорокитом, тальком и кварцем. В железистых корках также установлены клиноатакамит и цинкит.

**Гидротермальное рудное поле “Молодежное”** расположено на расстоянии около 5 км к северо-востоку от поля “Коралловое”. Поле залегает на менее крутом участке склона в интервале глубин 3500–3550 м. За центр поля приняты координаты

13°09.4' с.ш. и 44°52.1' з.д. В пределах гидротермального поля по данным телевизионной съемки установлено рудное тело размером около 370 × 100 м, опробованное двумя станциями драгирования, а также зафиксированы признаки гидротермальной активности (раковины двустворчатых моллюсков, металлоносные осадки и гидротермальные корки) (рис. 6).

При подводных теленаблюдениях наблюдались двустворчатые моллюски, что указывает на гидротермальную активность. По данным гидрофизического зондирования на станции 41L059z зафиксирована повышенная мутность в придонной водной толще (рис. 7).

По данным видеонаблюдений в пределах рудного тела поля “Молодежное” фиксировались фрагменты труб, гидротермальные корки, металлоносные осадки и плитообразные образования, вероятно сложенные сульфидными рудами. Металлоносные осадки установлены только в пределах рудного тела. Корки и раковины двустворчатых моллюсков встречаются в пределах рудного тела, а также выше по склону на небольшом удалении от рудного тела. Также выше по склону на расстоянии около 100 м от рудного тела установлен холм с колониями двустворчатых моллюсков. Холм вероятно сложен прожилково-вкрапленны-



**Рис. 5.** Зональность фрагмента трубы поля “Коралловое” (образец № 41L-155d-17). Зоны: I – Внешняя (халькопирит, борнит и опал), II – Борнит-халькопиритовая, III – Халькопирит-борнитовая, IV – Внутренняя (ковеллин, халькозин и халькопирит).

ми рудами так же, как и аналогичные холмы поля “Коралловое”.

Общий вес гидротермальных образований, драгированных в пределах поля “Молодежное”, составляет около 150 кг. Поднятый материал представлен обломками труб ( $\approx 5$  кг) и прожилково-вкрапленными рудами ( $\approx 145$  кг); в районе поля также подняты серпентинизированные габбро-перидотиты и гидротермально-измененные базальты.

Ниже приводится описание выделенных типов гидротермальных образований.

*Фрагменты труб гидротермальных построек* (станция 41L158d) сложены преимущественно халькопирит-борнитовыми рудами (халькопирит/борнит – 80%, ковеллин/халькозин – 10%, опал – 9%, сфалерит – 1%) и имеют концентрически-зональное строение, но вместо четырех зон, как в трубах поля Коралловое, в них наблюдаются три зоны: редуцированная внутренняя зона вокруг рудоподводящего канала, сложенная рыхлыми сульфидами меди, халькопирит-борнитовая и внешняя опал-сульфидная зоны (рис. 8).

Внутренняя зона рыхлых сульфидов меди в трубах представлена тонкозернистыми минера-

лами зеленоватого, черного и темно-синего цвета и халькопиритом, но в ряде образцов внутренняя зона может отсутствовать. Рыхлые сульфиды по данным РФА представлены преимущественно ковеллином, в единичных кристаллах встречаются кристаллы изокубанита. В халькопирит-борнитовой зоне образуются тетраэдрические кристаллы халькопирита размером до 2 мм; также встречаются натечные агрегаты халькопирита. Борнит образует мелкозернистые агрегаты, и его количество по направлению к внешней зоне постепенно возрастает. В халькопирит-борнитовой зоне также наблюдаются гнезда мелкозернистого сфалерита. Внешняя зона сложена преимущественно опалом и халькопиритом. Халькопирит образует мелкозернистые и редкие кристаллы тетрагонального габитуса. Опал образует глобулярные агрегаты, а также обрастает кристаллы халькопирита. Небольшие каналы труб часто не запечатаны и инкрустированы опалом.

*Прожилково-вкрапленное оруденение* представлено пиритом в оталькованных серпентинитах (станция 41L159d). Рудная вкрапленность во вмещающих породах не превышает 1–2% и иногда образует гнездовые скопления. Гнездовые скопления представлены мелкозернистым пиритом. В измененных вмещающих породах сохранились реликты породообразующих минералов – оливина и пироксена.

**Химический состав гидротермальных образований полей Коралловое и Молодежное** дан в табл. 1.

Химический состав образцов фрагментов труб, поднятых в пределах полей, преимущественно медно-цинковый с преобладанием меди над цинком, за исключением обр. 41L155d-20. Содержания кремнезема в рудах выше по сравнению с рудами, сформированными в пределах ультраосновных комплексов, а кальция в рудах содержится несколько ниже [3, 6].

В химическом составе прожилково-вкрапленного оруденения поля Коралловое отмечается широкое варьирование содержания Cu, Zn и  $Fe_2O_3$  с преобладанием железа над медью и цинком. В составе сульфидного прожилка (обр. 41L156d-17\*) преобладают железо и медь. Прожилково-вкрапленное оруденение поля Молодежное представлено одной пробой, в составе которой содержания рудных элементов ниже, чем в пробах поля Коралловое, но выше  $Na_2O$  и  $Al_2O_3$ .

Корки поля Коралловое по химическому составу представлены железомарганцевой специализацией с высокими содержаниями кремния и магния. Также в корках наблюдается повышенные содержания  $Na_2O$  по сравнению с остальными изученными образцами за исключением обр. 41L159d-8, что может быть связано с цеолитовой минерализацией в корках, установленной по результатам РФА. В составе образцов корок

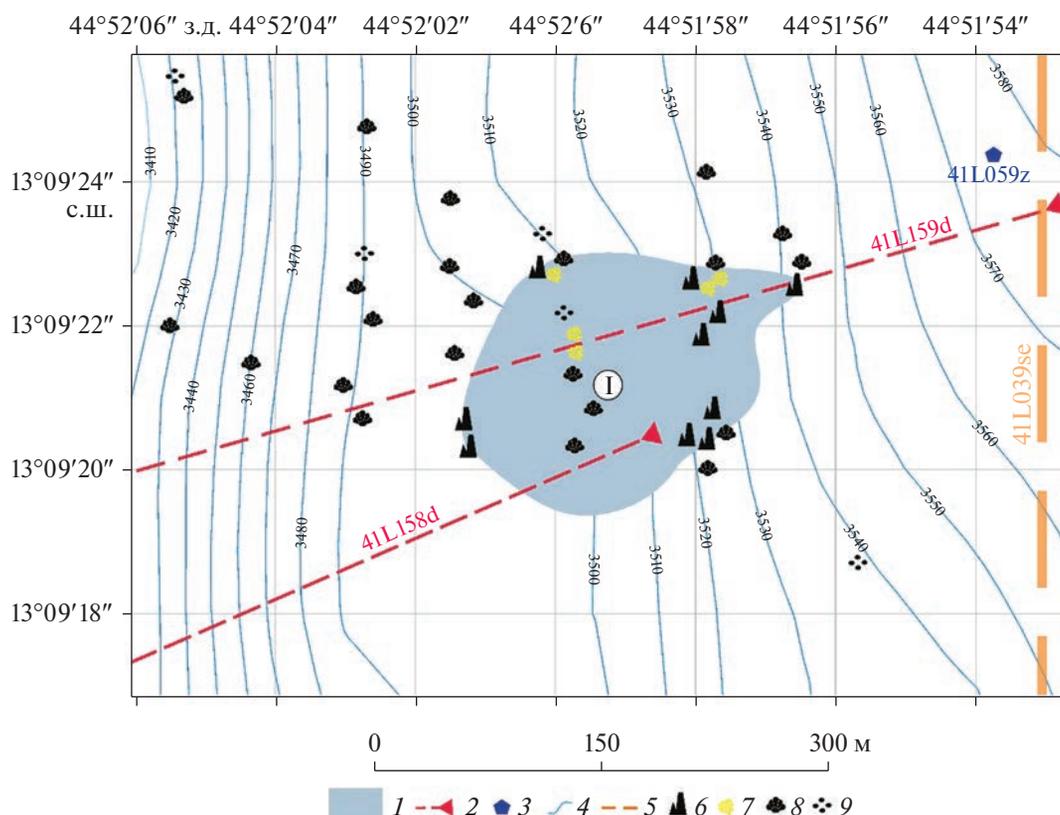


Рис. 6. Схема строения гидротермального рудного поля “Молодежное”. Условные обозначения см. на рис. 3.

Таблица 1. Химический состав фрагментов труб, прожилково-вкрапленного оруденения и гидротермальных корок поля Коралловое и Молодежное, состав приведен в мас. %

Тип г/о	№ обр.	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu	Zn
Коралловое											
Трубы	41L155d-17 ч	0.16	0.33	0.15	9.50	33.00	0.07	0.03	12.13	26.87	8.99
	41L155d-18 ч	0.06	0.46	0.13	23.30	22.00	0.06	0.03	10.07	23.30	9.21
	41L155d-19 ч	0.08	0.14	0.11	28.00	28.50	0.07	0.02	11.98	17.53	13.83
	41L155d-20 ч	0.06	0.26	0.10	17.00	34.00	0.07	0.05	8.48	18.74	21.20
	41L155d-21 ч	0.05	0.57	0.10	16.00	34.00	0.05	0.04	6.29	24.90	18.21
	41L155d-22 ч	0.05	0.04	0.09	13.00	24.50	0.06	0.02	11.47	22.47	11.05
	41L155d-23 ч	0.06	0.42	0.11	16.55	35.20	0.06	0.02	12.71	24.83	9.94
	41L155d-24 ч	0.09	0.44	0.09	19.04	36.00	0.06	0.01	13.13	28.57	2.61
41L155d-25 ч	0.12	0.11	0.18	14.69	36.70	0.09	0.01	12.73	31.88	3.50	
Прж-вкр	41L155d-27 ч	0.09	25.00	0.89	45.90	6.30	0.06	0.06	9.44	7.80	4.44
	41L156d-18 ч	0.17	20.00	0.48	31.00	14.00	0.05	0.06	21.64	12.42	0.34
	41L156d-17*	0.09	0.98	0.25	1.90	42.90	0.06	0.01	36.25	16.80	0.76
Корки	41L155d-11 к	2.07	7.60	0.93	17.23	0.46	1.56	38.50	12.52	0.40	0.30
	41L156d-9 к	1.28	20.70	1.44	31.16	0.94	8.26	8.26	8.51	3.00	1.20
	41L160d-1 к	1.32	23.63	0.27	45.34	0.08	0.32	0.89	6.68	7.00	0.40
Молодежное											
Трубы	41L158d-1 ч	0.054	0.07	0.15	9.17	38.0	0.500	0.006	22.14	29.03	0.96
	41L158d-2 ч	0.049	0.10	0.25	12.73	36.8	0.320	0.005	21.96	26.53	1.36
Прж-вкр	41L159d-8	1.33	16.50	4.03	58.20	0.38	2.77	0.40	6.43	0.17	0.05

Примечание: г/о – гидротермальные образования, Прж-вкр – прожилково-вкрапленное оруденение, 41L156d-17\* – образец сульфидного прожилка.

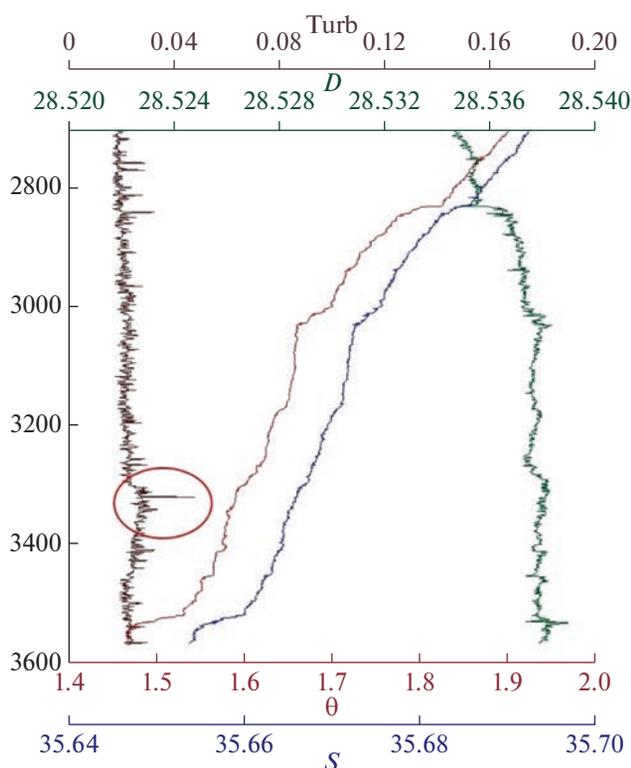


Рис. 7. Гидрофизические параметры водной толщи на станции зондирования 41L059z. Условные обозначения см. на рис. 4.

(41L156d-9 к и 41L160d-1) MgO преобладает над рудными элементами, что обусловлено наличием реликтов оталькованных пород.

В ходе рейса по данным телевизионных наблюдений в пределах рудных полей отмечены многочисленные холмы высотой до 3 м. В ходе рейса в пределах таких холмов по профилям драг были подняты многочисленные прожилково-вкрапленные образования, в том числе с раковинами двустворчатых моллюсков. Многочисленные прожилки в измененных вмещающих породах указывают на трещиноватость, благоприятную для разгрузки гидротермального раствора. Формирование таких холмов может быть связано с базальтовым магматизмом, который происходил вблизи полей и, по всей видимости, протекал после выхода габбро-перидотитов на поверхность. На это указывает отобранный по профилю драги материал (41L098D, 41L101D, 41L114D, 41L156D, 41L159D, 41L161D, 41L170/1D, 41L172D, 41L175D, 41L176D), представленный преимущественно породами серпентинитов и, в меньшей степени, базальтов. При внедрении базальтовых магм поверхность серпентинитов могла претерпеть изменения, выраженные в формировании холмистых гряд. Вероятно, базальтовый магматизм вблизи полей мог служить источником тепла



Рис. 8. Зональность фрагмента трубы поля “Молодежное” (образец № 41L-158d-2-1). Зоны: I – Внешняя (халькопирит, борнит и опал), II – Халькопирит-борнитовая, III – Внутренняя зона (ковеллин, халькозин и халькопирит), IV – Халькопирит-борнитовая, V – Внешняя (халькопирит, борнит и опал).

для формирования циркуляционной гидротермальной системы [6].

По всей видимости, в пределах полей Коралловое и Молодежное гидротермальная разгрузка флюида происходила по двум типам: меньшая часть флюида разгружалась на морском дне, формируя трубы черных курильщиков и металлоносные осадки. Большая часть флюида разгружалась в подповерхностных условиях в трещиноватых формах рельефа и формировала прожилково-вкрапленное оруденение в серпентинитах. Гидротермальные корки формировались как на морском дне, так и во вмещающих породах, на что указывают реликты оталькованных пород в составе корок.

В результате 41-ого рейса НИС “Профессор Логачев”, на отрезке САХ между рудными поля-

ми Ириновское и Ашадзе открыто два новых рудных объекта, расположенных в 5-ти км друг от друга. Сходство геологической обстановки (приуроченность к одной структуре внутреннего океанического комплекса), состава массивного оруденения (халькопирит-борнитового в трубах) и широкое развитие прожилково-вкрапленного оруденения может позволить объединить рудные поля в единый рудный узел по аналогии с рудными узлами Ашадзе (расстояние между полями Ашадзе-1 и Ашадзе-2 составляет 4.3 км) и Логачев (расстояние между полями Логачев-1 и Логачев-2 составляет 6 км). Рассмотрение данного вопроса будет продолжено после обработки всех дополнительных полученных данных.

## ВЫВОДЫ

1. В северной приэкваториальной части САХ в пределах крупного массива габбро-перидотитовых пород, с которым также связан расположенный в 20 км к югу рудный узел Ашадзе, открыты два новых активных гидротермальных рудных поля – “Коралловое” и “Молодежное”, что увеличило количество рудных объектов в Российском разведочном районе до 14.

2. В пределах гидротермальных рудных полей среди гидротермальных образований выделены массивные сульфидные руды в форме трубных комплексов и прожилково-вкрапленное оруденение, а также гидротермальные корки и металлоносные осадки. Обращает на себя внимание преобладание среди сульфидных образований прожилково-вкрапленного (штокверкового) оруденения, что не характерно для других рудных полей PPP.

3. Сульфидные трубы обоих полей представлены халькопирит-борнитовыми рудами; прожилково-вкрапленное оруденение поля “Молодежное” имеет пиритовый, а поля “Коралловое” – халькопирит-борнитовый и пиритовый состав.

4. Открытие новых полей фиксирует регулярный характер распределения 4-х скоплений рудных объектов на расстоянии 60 км вдоль рифтовой зоны с интервалом в 20 км. Дальнейшие исследования позволят провести их сравнение и выявление возможной связи при формировании на данном отрезке Срединно-Атлантического хребта.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность В.Е. Бельтенеу и Е.А. Поповой (ФГБУ ВНИИОкеангеология) за ценные указания при подготовке статьи.

**Источники финансирования.** 41-й рейс НИС “Профессор Логачев” выполнялся в рамках проекта “Поисковые работы на площади Российского разведочного района глубоководных полиметаллических сульфидов в Атлантическом океане в

пределах блоков 75, 78, 81, 84-93, 95-97, 99, 100 с выделением перспективных блоков” (госконтракт № 82/2019-ЮЛ).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бельтенева В.Е., Лазарева Л.И., Черкашев Г.А. и др.* Новые гидротермальные рудные поля на Срединно-Атлантическом хребте: Юбилейное (20°09' с.ш.) и Сюрприз (20°45.4' с.ш.) // Докл. РАН. 2017. Т. 476. № 3. С. 305–310.
2. *Порошина И.М., Черкашев Г.А.* Морфотектоническое строение и сегментация северной приэкваториальной части Срединно-Атлантического хребта (Российский Разведочный Район) // Мировой океан. Т. III. Твердые полезные ископаемые и газовые гидраты в океане / Под ред. Лобковского Л.И., Черкашева Г.А. М.: Научный мир, 2018. С. 60–75.
3. *Черкашев Г.А., Степанова Т., Андреев С. и др.* Рудные объекты в пределах Российского Разведочного Района в северной приэкваториальной части Срединно-Атлантического хребта // Мировой океан. Т. III. Твердые полезные ископаемые и газовые гидраты в океане / Под ред. Л.И. Лобковского, Г.А. Черкашева. М.: Научный мир, 2018. С. 90–121.
4. *Черкашев Г.А., Иванов В.Н., Бельтенева В.Е. и др.* Сульфидные руды северной приэкваториальной части Срединно-Атлантического хребта // Океанология. 2013. Т. 53 № 5. С. 680–693.
5. *Escartín J., Smith D.K., Cann J. et al.* Central role of detachment faults in accretion of slow-spreading oceanic lithosphere // Nature. 2008. V. 455(7214). P. 790–794.
6. *Fouquet Y., Cambon P., Etoubleau J. et al.* Geodiversity of hydrothermal processes along the Mid-Atlantic Ridge and ultramafic hosted mineralization: a new type of oceanic Cu–Zn–Co–Au volcanogenic massive sulfide deposit // Diversity of submarine hydrothermal systems on slow spreading ocean ridges. Geophys. Monogr. 2010. V. 188. P. 297–320.
7. *Gage J., Tyler P.* Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 520 p.
8. *German C.R., Petersen S., Hannington M.D.* Hydrothermal exploration of mid-ocean ridges: Where might the largest sulfide deposits be forming? // Chemical Geology. 2016. V. 420. P. 114–126.
9. *MacLeod C.J., Searle R.C., Murton B.J. et al.* Life cycle of oceanic core complexes // Earth and Planetary Science Letters. 2009. V. 287. P. 333–344.
10. *Smith D.K., Escartín J., Schouten H. et al.* Fault rotation and core complex formation: Significant processes in seafloor formation at slow-spreading mid-ocean ridges (Mid-Atlantic Ridge, 13°–15° N) // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2008. V. 9 (3). P. 1–23.
11. *Smith D.K., Cann J.R., Escartín J.* Widespread active detachment faulting and core complex formation near 13° N on the Mid-Atlantic Ridge // Nature. 2006. V. 442 (7101). P. 440–443.

## Discovery of New Hydrothermal Ore Fields “Korallovoe” (13°07' N) and “Molodezhnoe” (13°09' N) in the Middle Atlantic Ridge

A. M. Makoviz<sup>a, c, #</sup>, A. E. Musatov<sup>a, ##</sup>, I. A. Sergeeva<sup>a, c</sup>, G. A. Cherkashev<sup>b, c</sup>, E. V. Narkevsky<sup>a</sup>, R. V. Shipov<sup>a</sup>, Z. V. Zhidkov<sup>a, d</sup>, D. A. Kryukov<sup>a</sup>, I. G. Dobretsova<sup>a</sup>, V. L. Skakovsky<sup>a</sup>, D. V. Kaminsky<sup>a</sup>, M. S. Stepanova<sup>b</sup>, A. S. Bich<sup>b</sup>, A. S. Savin<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Polar Marine Exploration Expedition, Lomonosov, Saint Petersburg, Russia*

<sup>b</sup>*Acad. Gramberg All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean, Saint-Petersburg, Russia*

<sup>c</sup>*St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg, Russia*

<sup>d</sup>*Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: makoviz77@gmail.com*

<sup>##</sup>*e-mail: alexejmusatov@yandex.ru*

During the 41th scientific cruise of the R/V “Professor Logachev” in 2019, two new ore fields were discovered within the Russian exploration area of the Mid-Atlantic Ridge. The “Korallovoe” ore field is located in the middle part of the rift valley ridge and lies on a gentle slope in the depth range of 2800–2850 m. The “Molodezhnoe” ore field is located at a distance of approximately 5 km northeast of the “Korallovoe” field and lies on a less steeper section of the slope between 3500 and 3550 m in depth. The “Korallovoe” and “Molodezhnoe” fields are confined to the outcrop of a gabbro-peridotite massif on the western side of the Mid-Atlantic Rift valley. The total number of discovered ore fields in the Russian exploration area has been increased to 14 sites.

**Keywords:** Mid-Atlantic ridge, Russian exploration area, hydrothermal ore field, hydrothermal ore formation