

Симонов В. А., Ковязин С. В., Тереня Е. О. и др. Физико-химические параметры магматических и гидротермальных процессов на колчеданном месторождении Яман-Касы, Южный Урал // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48. № 5. С. 423–438.

Симонов В. А. Петрогенезис офиолитов (термобарогеохимические исследования). Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1993. 247 с.

Соболев А. В. Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // Петрология. 1996. Т. 4. № 3. С. 228–239.

Sobolev A. V., Danyushevsky L. V. Petrology and Geochemistry of Boninites from the North Termination of the Tonga Trench: Constraints on the Generation Conditions of Primary High-Ca Boninite Magmas // Journal of Petrology. 1994. Vol. 35. P. 1183–1211.

И. Ю. Мелекесцева¹, В. Е. Бельтнев², В. Н. Иванов², М. Б. Сергеев²

¹ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
melekesteva-irina@yandex.ru

² – ФГУНПП Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Ломоносов

Типы сульфидных руд гидротермального поля Ириновское (13°20' с.ш., Срединно-Атлантический хребет)

Введение. В 34-м рейсе НИС «Профессор Логачев» сотрудниками ФГУНПП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» в Центральной Атлантике было открыто новое гидротермальное поле Ириновское (13°20' с.ш., 44°56' в.д.) [Бельтнев и др., 2012]. Поле находится между трансформными разломами 15°20' с.ш. и Марфон в привершинной части юго-восточного склона горы 13°20' с.ш. на глубинах 2700–2850 м (рис. 1). По данным [MacLeod et al., 2009], гора 13°20' с.ш. представляет собой выход глубинного океанического комплекса (*oceanic core complex*) на поверхность морского дна. С морского дна были подняты гидротермально-измененные основные и ультраосновные породы [Бельтнев и др., 2012]. Подводные теленаблюдения позволили установить, что рудное поле имеет размеры 350 ? 380 м и включает в себя два рудных тела. Еще одно рудопроявление было обнаружено в 1.8 км к северо-западу от гидротермального поля.

В настоящей работе приводится описание руд, макроскопически изученных непосредственно на борту НИС «Профессор Логачев» в 2011 г. В пределах рудного поля сульфидные образцы были подняты с помощью телеграффера и скальной драги.

Сульфидные образцы поля Ириновское и северо-западного рудопроявления можно разделить на несколько типов.

Массивные руды с трубами «курильщикова» подняты с обоих рудных тел (тело № 1 – станции (далее ст.) 34л241, 34л246, 34л227; тело № 2 – ст. 34л247). На ст. 34л241 поднят крупный фрагмент сульфидной постройки размером 65 ? 25 см в основании и высотой до 75 см. В средней и верхней частях постройки присутствовали сросшиеся и, реже, отдельные трубы диаметром от первых до 10–15 см. Постройка сложена пирит-сфалерит-халькопиритовыми (~30 %, основание и центральная часть), халькопирит-пирит-сфалеритовыми (~30 %, трубы) и преимущественно халькопиритовыми (~20 %, нижняя часть) и сфалеритовыми (~20 %, боковые и верхние части) рудами. Для руд характерны массивные и концентрически-зональные текстуры и кристалличе-

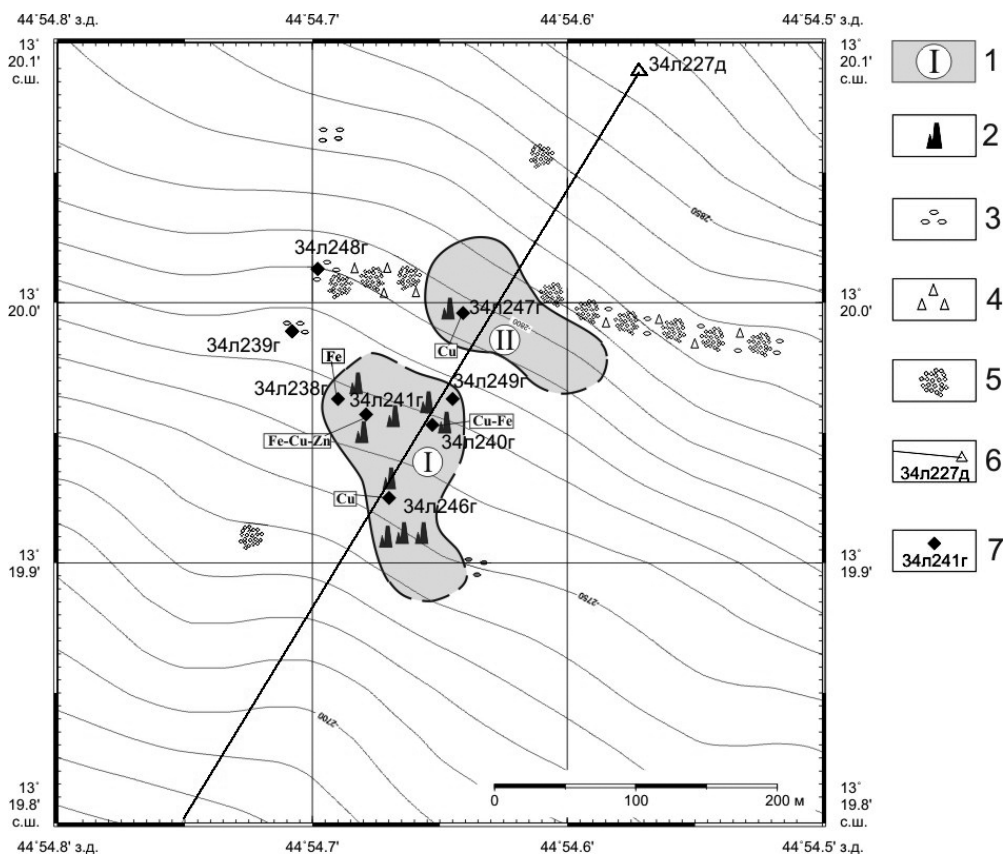


Рис. 1. Схема геологического строения гидротермального поля Ириновское по [Бельтнев и др., 2012] с упрощениями.

1 – рудные тела и их номера; 2 – трубные комплексы; 3 – участки развития гидротермальных рудных корок; 4 – обломки сульфидных руд; 5 – участки развития металлоносных осадков; 6, 7 – станции опробования и их номера: 6 – скальная драга; 7 – телевизионный грейфер. Fe, Cu, Cu-Fe, Cu-Fe,Zn – геохимическая специализация руд. Сечение изобат – через 10 м.

ски-зернистые структуры. Вокруг крупных каналов диаметром около 3–4 см в пирит-сфалерит-халькопиритовых рудах наблюдается зональное распределение минералов. Полость с опалом окаймлена зоной мощностью первые миллиметры, сложенной неокисленными копьевидными кристаллами халькопирита размером около 0.2 мм. Они окружены расплывчатыми участками более мелкозернистого халькопирита, покрытого пленкой опала. В трубах, сложенных сфалеритом, зональность выражена слабо или отсутствует. Главные минералы постройки – халькопирит, сфалерит и опал (~60 %), второстепенные – марказит, пирит, вуртцит, вторичные сульфиды меди (~39 %), редкие – ангидрит(?) (~1 %). В драге 34л227 присутствовал фрагмент трубы сложной формы диаметром 2.5–6 см и высотой около 7 см с тремя каналами. Краевая зона трубы толщиной 1–3 мм сложена тонкозернистым марказитом, следующая к центру зона – быстро окисляющимся массивным халькопиритом мощностью от 1 мм до 1 см. Зона вокруг каналов (мощность 3–6 мм) сложена плотно сросшимися шесто-

ватыми кристаллами халькопирита длиной до 2 мм. Каналы инкрустированы и запечатаны тетрагональными кристаллами халькопирита размером около 0.2 мм.

Образцы ст. 34л246 и драги 34л227 представлены массивными пирит-халькопиритовыми рудами с многочисленными полыми и запечатанными отверстиями диаметром от 1–5 до 0.7–1 см, которые характерны для сросшихся труб «курильщиков» (рис. 2, см. вкладку, с. 157). Для каналов характерны центростремительный рост кристаллов халькопирита, присутствие внешней тонкозернистой оболочки пирита и удлиненно-изогнутая, изометрично-округлая, сглаженно-треугольная морфология. Некоторые каналы характеризуются отсутствием пиритовой оболочки и, возможно, образованы внутри постройки. В местах слияния зональных агрегатов оболочек труб образуются пористые агрегаты, состоящие преимущественно из дисульфида железа. Многие образцы представляют собой фрагменты с продольным срезом каналов диаметром от первых миллиметров до 2–3 см. Структуры руд – кристаллическая и зернистая. Главный минерал – халькопирит (~50 %), второстепенные минералы – опал (~20 %), пирит (~20 %), вторичные сульфиды меди (~10 %).

С рудного тела № 2 были подняты сросшиеся трубы «черных курильщиков» в сильно окисленных массивных халькопиритовых рудах (ст. 34л247, рис. 2). Образцы характеризуются сажистой поверхностью с многочисленными полостями и боковыми каналами, заполненными опалом. Концентрически-зональные агрегаты минералов слабо выражены на поверхности, но хорошо проявлены на спилах. Структуры руд, главным образом, зернистые и, реже, кристаллические. Главные минералы – вторичные сульфиды меди (~40 %), халькопирит (~30 %); второстепенные – опал, гидроксиды железа, пирит (~29 %); редкие – марказит, арагонит (~1 %).

На северо-восточном рудопроявлении (драга 34л250) обнаружены несколько сильно окисленных труб «черных курильщиков». Они характеризуются каналами с единичными реликтами копьевидных кристаллов халькопирита, которые полностью замещены гидроксидами железа. Зоны кристаллического халькопирита вокруг каналов превращены в сливной гетитовый агрегат, местами с реликтовой шестоватой структурой. Канал заполнен дендритовидными сростками нитевидных агрегатов минералов марганца темно-бордового цвета либо почковидными агрегатами черного цвета.

Массивные руды включают несколько минеральных типов и подняты с рудного тела № 1 и северо-восточного рудопроявления.

Сажистые марказитовые руды (ст. 34л238, драга 34л227) характеризуются тонкодисперсной структурой, сильной пористостью и большим количеством опала, из-за которого на образцах наблюдаются белесые налеты. Главные минералы – марказит (~60 %), опал (~35 %), второстепенные и редкие (~5 %) – гидроксиды железа, пирит, халькопирит, барит, минералы группы атакамита, вюртцит(?), вторичные сульфиды меди. В некоторых образцах количество халькопирита и сфалерита увеличивается до халькопирит-марказитовых (драга 34л227) и халькопирит-сфалерит-марказитовых (ст. 34л240) разновидностей.

Образцы сильно окисленных халькопиритовых руд с раковистым изломом были подняты драгой 34л227. Структура руд чаще всего кристаллическая, реже – зернистая. На поверхности и внутри образцов встречаются мелкие (диаметром ~3 мм) отверстия-каналы без явной зональности. Главный минерал руд – халькопирит (~70 %), второстепенные – тенорит? (~20%), опал (~7%), редкие – гидроокислы железа (~3%).

Пиритовые руды были драгированы на северо-восточном рудопроявлении (ст. 34л245). Образцы характеризуются уплощенной формой, коркой сажистого черного

пирита с одной стороны и ноздреватой поверхностью с другой стороны. Внутри образцов наблюдались многочисленные полости и полосчатое распределение минералов. Рудные агрегаты имеют колломорфное и дендритовое строение. Главный минерал – пирит (~60 %), второстепенные минералы – марказит (~30 %) и барит (~9 %), редкий – опал (~1 %).

Халькопирит-пиритовые руды северо-восточного рудопроявления (ст. 34л250) представлены полосчатыми и обломочными текстурными типами. Полосчатость в рудах обусловлена параллельными друг другу разнозернистыми минеральными агрегатами. Мощность полос варьирует от 1 мм до 2–3 см. Местами маломощные полосы характеризуются раздувами. Главный минерал – пирит (~60 %), второстепенные – халькопирит (~20 %), вторичные сульфиды меди (~19 %), редкие – арагонит (~1 %).

Брекчии содержат остроугольные обломки сульфидов размером до 3 см, заключенные в мелкообломочный сульфидно-кварцевый цемент. Обломки сложены пиритовыми и халькопирит-пиритовыми агрегатами кристаллической, сажистой, тонкозернистой структур. На поверхности брекчий наблюдалась корка плотных гидроксидов железа рыжего цвета мощностью до 2 см, под которой имела зона интенсивного окварцевания и ожелезнения мощностью от первых миллиметров до 1 см.

Прожилково-вкрапленные сульфиды нескольких минеральных типов подняты на северо-восточном рудопроявлении. Халькопирит-пиритовые гнезда и прожилки мощностью до 1 см обнаружены в интенсивно окварцованных обломочных породах (драга 34л226). Рудные минералы представлены пиритом (~50 %), халькопиритом (~30 %), вторичными сульфидами меди (~10 %) и гематитом (~10 %). Сульфиды совместно с кварцем образуют гнездовую вкрапленность в порах и полостях породы, а также прожилки, которые рассекают цемент и обломки. Гематит-пиритовые и кварц-пиритовые прожилки мощностью 1–3 мм рассекают серо-зеленые массивные хлоритизированные базальты (драга 34л226). Хлорит-кварцевые, хлоритовые, тальковые метасоматитов и хлоритизированные базальты характеризуются рассредоточенно-, гнездово- и густовкрапленной сфалерит-халькопирит-пиритовой и сфалерит-пирит-халькопиритовой минерализацией (драга 34л237).

На рудном теле № 1 (ст. 34л240 и драга 34л227) также были собраны образцы черного цвета с раковистым изломом. Основная масса образцов сложена плотными непрозрачными агрегатами кварца с субмикроскопическими включениями сульфидов. Последние также инкрустируют в кварце многочисленные эллипсовидные полости-каналы размером до 2.5 ? 1.5 см. Главный минерал – кварц (~60 %), второстепенные минералы (~40 %) – халькопирит, марказит, опал, барит, вторичные сульфиды меди. В образцах драги 34л227 опал превалирует над сульфидами; образцы очень легкие и покрыты белым налетом опала. Поднятые фрагменты часто уплощены до 3–4 см и вытянуты в длину до 20 см.

Выводы. В результате текстурного анализа сульфидных образцов гидротермального поля Ириновское можно сделать вывод о том, что в районе горы 13°20' с.ш. существовала развитая гидротермальная система, неактивная в настоящее время. В результате высокотемпературной (>300 °C) гидротермальной деятельности были образованы халькопиритовые трубы «черных курильщиков» и массивные медные руды. Более низкотемпературная (<300 °C) гидротермальная деятельность привела к формированию сфалеритовых труб «белых курильщиков» и медно-цинково-колчеданных руд. Массивные колчеданные руды отлагались на флангах сульфидных холмов. Сульфидные брекчии свидетельствуют о процессах разрушения рудных тел. Штокверковая часть системы включала прожилково-вкрапленную сульфидную мине-

рализацию в гидротермально-измененных мафических породах. На заключительном этапе руды были подвергнуты интенсивным процессам субмаринного окисления.

Рейс НИС «Профессор Логачев» был организован ПМГРЭ и финансировался Федеральным агентством по недропользованию Министерства природных ресурсов и экологии РФ. Участие И. Ю. Мелекесцевой в рейсе было поддержано Президиумом УрО РАН и программой Президиума РАН № 23 (проект 12-П5-1003).

Литература

Бельтнев В. Е., Иванов В. Н., Сергеев М. Б. и др. Результаты поисковых работ на полиметаллические сульфиды в Атлантике в 2011 г. в свете подачи российской заявки в МОМД // Разведка и охрана недр. 2012. № 8. С. 50–55.

McLeod C. J., Searle R. C., Murton B. J. et al. Life cycle of oceanic core complexes // Earth and Planetary Science Letters. 2009. Vol. 287. P. 333–344.

Ф. Дж. А. С. Баррига, Х. М. Р. С. Релвас
Центр CREMINER, Университет Лиссабона, Португалия
f.barriga@fc.ul.pt

Подводные сульфидные залежи: вершина айсберга?

Постоянно растущий интерес к полезным ископаемым в «сыром» виде, главным образом, связанный с развитием гигантских экономик мира, показывает насущную потребность в новых ресурсах. Компания «Nautilus Minerals» в скором будущем (возможно, в 2013 г.) начнет добычу сульфидных залежей в водах Папуа-Новой Гвинеи (гидротермальное поле Солвара-1, море Бисмарка). Это станет важным событием, поскольку с добычей полезных ископаемых мирового океана связано много надежд. Компания «Nautilus Minerals» и некоторые другие компании будут специализироваться на добыче подводных сульфидов в районах государств Тонга, Вануату, Фиджи, Новая Зеландия и, в дальнейшем, в таких местах, как Азорские острова в Северной Атлантике.

Масштаб предполагаемой добычи весьма скромнен, особенно, учитывая сравнение ее с добычей полезных ископаемых на континентах. Общие ресурсы меди на поле Солвара-1 составляют около 200 тыс. т, в то время как мировое производство меди – примерно $16 \cdot 10^6$ т в год. Размер гидротермального поля Солвара-1 типичен для многих гидротермальных сульфидных полей, ассоциирующих с мафитовыми породами. Сульфидные месторождения большего размера сравнительно редки: наибольшее из них – это впадина Атлантик II в Красном море ($90 \cdot 10^6$ т). Другие заслуживающие внимания примеры связаны с ультрамафитами [Fouquet et al., 2010; Cherkashov et al., 2010]. Количество известных полей с гидротермальной сульфидной минерализацией на морском дне в настоящее время составляет около 150. Общее количество меди, содержащееся с этих полей, может быть грубо оценено примерно в $20 \cdot 10^6$ т, что лишь несколько превышает годовое производство меди в мире. Конечно, такие ресурсы могут стимулировать экономически выгодную добычу, но радикально не изменят глобальную ситуацию по поставке металлов.