
СУЛЬФИДООБРАЗОВАНИЕ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЯХ БРОКЕН СПУР И ВТП — 9° С.Ш.

М.Г. Добровольская, Н.С. Бортников,
О.О. Ставрова, Н.В. Раздолина

Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Изучен минеральный состав представительных образцов в постройках гидротермальных полей Брокен Спур и ВТП — 9° с.ш., выявлены особенности сростаний минералов, на основании которых выделены минеральные ассоциации, рассмотрены последовательность и условия их образования.

Минералогия, геохимия и условия образования современных сульфидных руд на дне океана в различных геодинамических обстановках исследуются более 20 лет [6; 7; 3; 1; 4]. В последние годы обнаружены новые гидротермальные поля, представляющие интерес для исследователей. Выявлено много общих закономерностей в формировании уникальных природных сульфидных залежей и конусовидных труб на дне океана. На примере сульфидных построек гидротермальных полей Брокен Спур и ВТП — 9° с.ш. представлены обобщенные данные по минералогии, минеральным ассоциациям и закономерностям сульфидообразования.

Гидротермальное поле Брокен Спур было открыто в марте 1993 г. Оно обнаружено на 29°10' с.ш. Срединно-Атлантического хребта (САХ), Гидротермальное поле расположено в осевой части грабена неовулканического хребта и прослеживается на площади 150 × 60 м. Ширина вулканического грабена: 100 м, относительная глубина 30 м. В 50-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» с помощью глубоководного обитаемого аппарата «Мир» в гидротермальном поле Брокен Спур отобраны образцы с трех участков: Спайер, Трипл Чимней и постройка «К». Образцы характеризуют верхние, нижние и боковые части активных трубообразных построек. Минеральный состав одинаков, различия заключаются в количественных соотношениях минералов. Главными сульфидами являются пирит, марказит, сфалерит, халькопирит, второстепенные — пирротин, изокубанит, локально распространены борнит, халькозин, реже ковеллин. Нерудные минералы представлены аморфным кремнеземом, ангидритом, баритом.

В гидротермальном поле Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП) 9° с.ш. изучены образцы из трех построек: Q, BV, P, которые представлены заросшими трубами, иногда с полыми каналами, а также слоистой плитой. Образцы характеризуют фрагменты этих труб и плиты. Минеральный состав тот же, что и в Брокен Спур, но распределение главных минералов неравномерно. Одни участки обогащены сульфидами железа, другие — сульфидами цинка или меди. Сульфиды меди и оксиды железа приурочены, главным образом, к краевым частям труб или плиты, образуя разноцветные корки.

Минеральные ассоциации и последовательность их образования.
Изучение сростаний сульфидов разного состава и их структурных особенно-

стей позволило выделить типичные минеральные ассоциации в сульфидных постройках изученных гидротермальных полей. Минеральные ассоциации проявлены в разных постройках неодинаково, но в целом отражают особенности гидротермального процесса. Формы выделений и сростания сульфидов разнообразны. Особенностью сульфидов является кристаллизация их в виде 2—3 генераций, что указывает на неоднократное поступление растворов и меняющиеся условия минералообразования.

В результате обобщения результатов исследования последовательность отложения минеральных агрегатов, независимо от построек, представляется в следующем виде.

К ранней ассоциации относится пирротин-марказит-пиритовая, образование которой происходило при относительно высоких температурах из растворов разной концентрации. Колломорфные агрегаты сульфидов железа, дендриты марказита отлагались, вероятно из высококонцентрированных, возможно вязких растворов. Пирит и марказит встречаются в совместных сростаниях. Характерно отложение сульфидов железа вблизи «каналов» (рис. а, б), сульфиды образуют разной мощности оторочки вокруг «каналов». Пирротин слагает самостоятельные обособления, соотношения его с сульфидами цинка и меди указывают на более раннюю его кристаллизацию.

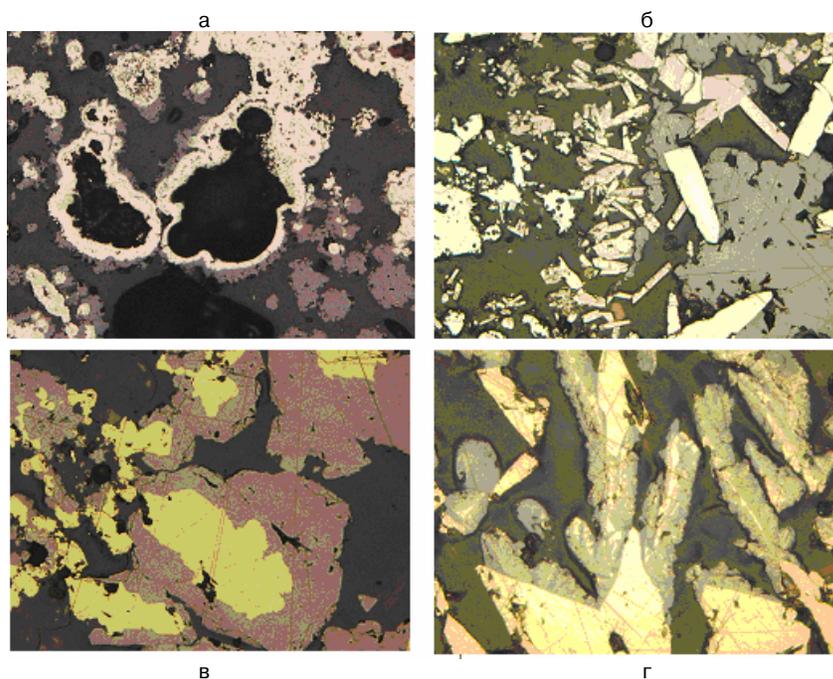


Рис. Формы выделения сульфидов и строение минеральных агрегатов в океанических сульфидных постройках:

а — каймы пирита и марказита вокруг «каналов», колломорфные агрегаты сфалерит-пиритового состава; б — пластинчатые формы выделения пирротина (светло-серое), марказита и пирита (белое), серое — сфалерит, темное — аморфный кремнезем; в — сростания сфалерита (серое) и изокубанит-халькопиритового агрегата (светлое), в изокубаните каймы и ламеллы халькопирита; г — дендриты халькопирит-сфалеритового состава, нарастающие на кристаллы халькопирита (светлое), темное — аморфный кремнезем

Локально развита изокубанит-сфалерит-халькопиритовая ассоциация, близкая по времени образования с ассоциацией сульфидов железа. Главными минералами в ней являются халькопирит I и сфалерит I, изокубанит находится в подчиненном количестве. В зависимости от построек преобладает либо сфалерит, либо халькопирит. В этой ассоциации халькопирит с изокубанитом отлагались раньше сфалерита. Последний замещает изокубанит-халькопиритовые агрегаты, нарастая на них (рис. в). Изокубанит образует каймы вокруг халькопирита или развивается по границе сфалерита и халькопирита. Часто изокубанит образует ламелли в халькопирите, отвечающие структурам распада твердого раствора, наблюдаются ламелли и прожилки халькопирита в изокубаните. В постройке Спайер ассоциация представлена изокубанитом и сфалеритом.

Распространенной ассоциацией является пирит-халькопирит-сфалеритовая, в которой иногда участвуют пирротин II и марказит II. Минералы образуют мелкозернистые сростания или колломорфные агрегаты, в которых обычно центральная зона сложена сфалеритом, следующая — халькопиритом и внешняя — пиритом или марказитом. Своеобразные структуры сростаний сфалерита и халькопирита в виде дендритов (рис. г), обрастающие кристаллы халькопирита без признаков замещения, требуют детального изучения.

Особое место занимает ковеллин-халькозин-борнитовая ассоциация, проявленная в сульфидной постройке Трипл Чимней и в некоторых образцах ВТП — 9° с.ш. Эта ассоциация развита в краевых частях сульфидных корок. Ковеллин-халькозин-борнитовая ассоциация пространственно связана с халькопиритом и является продуктом замещения последнего. Борнит и халькозин образуют каймы и прожилки в халькопирите. Ковеллин присутствует в небольшом количестве и относится в ассоциации к более позднему сульфиду меди.

Соотношения сульфидов с нерудными минералами сложные. Рассматривая место и время отложения нерудных минералов в изученных образцах, можно отметить, что среди них есть минералы, предшествующие сульфидообразованию, сопутствующие этому процессу и завершающие его. Об этом свидетельствуют реликты замещенных минералов, выполнение межзерновых пространств, образование «псевдоморфоз» сульфидов по нерудным минералам.

Таким образом, минералогия в постройках Спайер, «К», Трипл Чимней и ВТП — 9° с.ш. однотипна, сходны структуры сростаний сульфидов и формы их выделений. Различия заключаются в количественных соотношениях сульфидов и в их неравномерном распределении, что влияет на состав минеральных ассоциаций и, следовательно, на зрелость самих построек, условия их формирования и разрушения. Наиболее высокотемпературными минеральными ассоциациями являются пирротин-марказит-пиритовая и изокубанит-сфалерит-халькопиритовая. В постройке Спайер измеренная температура флюидов — 366 °С [5]. Халькопирит-сфалеритовая и ковеллин-халькозин-борнитовая ассоциации отлагались при более низких температурах. Анализ первичных флюидных включений в ангидрите из сульфидных руд в районе Брокен Спур показал $T = -259—317$ °С [2]. Концентрация растворов и скорость кристаллизации сульфидов менялись, о чем свидетельствует сочетание в одном образце мелкозернистых и крупнозернистых

агрегатов, кристаллических, дендритовых, глобулярных и коллоидных структур сульфидов. Изучение структурных особенностей минералов, их соотношений, а также нахождение в сульфидных постройках разных генераций одного и того же минерального вида свидетельствуют о неоднородной их кристаллизации, что привело к последовательному отложению минеральных ассоциаций, образующихся в интервалах разных температур, концентрации растворов и скоростей кристаллизации вещества.

Близкий минеральный состав и строение агрегатов описаны и в других гидротермальных полях, в частности в рифтовой зоне бассейна Манус [3], в гидротермальном поле Рейнбоу [2]. Важной особенностью формирования сульфидных построек в изученных гидротермальных полях является резкое смещение относительно высокотемпературных флюидов (366 °С на выходе) с холодной морской водой (2 °С). В этих условиях происходит охлаждение, нейтрализация, окисление минерализующего флюида и отложение оксидов и сульфидов железа, а также возникновение структур распада твердого раствора (халькопирит-изокубанит). Быстрое пересыщение раствора приводит к высокой его концентрации, ответственной за образование коллоидных структур. В вязкой среде возникают разнообразные дендриты марказита, сфалерита и халькопирита. Дендриты, в которых сфалерит и халькопирит образуют совместные сростания, вероятно, указывают на их сокристаллизацию. В условиях понижения температуры, повышения концентрации меди и серы в отдельных постройках, в их периферических частях, образуются корки халькопирит-халькозин-борнитового состава с ковеллином и другими медными минералами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Богданов Ю.А., Бортников Н.С., Леин А.Ю. и др.* Минералого-геохимические особенности гидротермальных сульфидных руд и флюида поля Рейнбоу, ассоциированного с серпентинитами, Срединно-Атлантический хребет (36° 14' с.ш.) // *Геология рудных месторождений*. — 2002. — Т. 44. — № 6. — С. 510—542.
- [2] *Лисицын А.П., Ланухов А.С., Симонов В.А. и др.* Благородные металлы в рудообразующих гидротермальных системах современных океанов // *Геохимия*. — 1999. — Т. 369. — № 2. — С. 254—257.
- [3] *Шадлун Т.Н., Бортников Н.С., Богданов Ю.А., Туфар и др.* Минеральный состав, текстуры и условия образования современных сульфидных руд в рифтовой зоне бассейна Манус // *Геология рудных месторождений*. — 1992. — Т. 34. — № 5. — С. 3—21.
- [4] *Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Габлина И.Ф. и др.* Минеральные ассоциации как показатели степени зрелости океанских гидротермальных сульфидных построек // *Литология и полезные ископаемые*. — 2005. — № 4. — С. 339—367.
- [5] *Duckworth R.C., Knott R., Fallick A.E.* Mineralogy and sulphur isotope geochemistry of the Broken Spur sulphides, 290N, Mid-Atlantic Ridge // *Hydrothermal Vents and Processes, 1995. Geological Society Special Publication*. — № 87. — P. 175—189.
- [6] *Janecky D.R., Scyfried W.E.Jr.* Formation of massive sulfide deposits on oceanic ridges: Incremental reaction models for mixing between hydrothermal solutions and sea water // *Geochim. Cosmochim. Acta*. — 1984. — V. 48. — P. 2723—2738.
- [7] *Rona P.A.* Hydrothermal mineralization at oceanic ridges // *Canad. Mineralogist*. — 1988. — V. 26. — P. 431—456.

THE FORMATION OF SULFIDES IN HYDROTHERMAL FIELDS OF BROKEN SPUR AND VTP — 90 N.L.

**M.G. Dobrovolskaya, N.S. Bortnikov,
O.O. Stavrova, N.V. Rasdoliina**

Engineering faculty
Peoples' Friendship Russian University
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115923

The mineral composition of specimens in hydrothermal fields of Broken Spur and VTP — 9° n.l. the pictures of textures and structures of mineral aggregates have been investigated. The mineral associations, its sequence and conditions of formation are described.