

дов, которые производили метасоматическое преобразование амфиболитового субстрата вдоль сети трещин кливажа пластического течения. В процессе метасоматоза изменялись хрупко-пластичные свойства пород. Такой автокаталитический процесс прерывался перестройкой системы трещин. Подобный механизм взаимодействия трещинообразования и метасоматоза обусловил дискретность процесса и фрактальные свойства мигматитов. В результате, мигматитообразование представляется ступенчатым самоорганизующимся процессом в системе зона сдвига – флюидный поток в понимании (Летников, 1993). При этом каждый прослой мигматизированных пород отвечает определенной ступени структурно-вещественной эволюции зоны трещиноватости.

Установленная фрактальная организация полосчатости мигматитовых прослоев Хетоламбинской толщи означает, что степень трещиноватости прослоев и интенсивность изменения пород флюидом и мощность зоны активной трещиноватости находятся в нелинейной логарифмической зависимости. Это возможно, если прослои мигматизированных амфиболитов разного состава представляют собой последовательный ряд продуктов единого метасоматического процесса и не являются результатом наследования первичной слоистости протоамфиболитовой толщи. То есть мигматитовая полосчатость имеет наложенную эпигенетическую природу.

Установленная стадийность мигматитообразования и ее связь с эволюцией трещиноватости при сдвиге доказывает, что формирование мигматитовых прослоев проходило синхронно со сдвиговыми деформациями в амфиболитовой толще, а не наложено на ранее образованную систему кливажных трещин.

Нелинейная логарифмическая зависимость между интенсивностью флюидно-метасоматической проработки и мощностью зоны активной трещиноватости свидетельствует о существовании между этими величинами обратных связей. Вероятный механизм их действия основан на снижении хрупкости и увеличении пластичности мигматитовых прослоев от стадии к стадии. Изменение хрупко-пластичных свойств вызвано реакциями пород с флюидом в ходе которых амфиболитовые мигматиты ступенчато сменяются более пластичными кварц-биотитовыми мигматитами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 04-05-65131, Фонда содействия отечественной науке и программы ОНЗ РАН №2.

ЛИТЕРАТУРА

- Борняков С.А., Шерман С.И. // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 7. С 712-718.
Борняков С.А., Шерман С.И., Гладков А.С. // Докл. РАН. 2001. Т. 377. № 1. С. 72-75.
Борняков С.А., Гладков А.С., Матросов В.А. и др. // Геотектоника. 2004. № 5. С. 85-95.
Козловский В.М. // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2004. № 5. С. 15-20.
Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. М.: Наука. 1993. 230с.
Русинов В.Л. В кн.: Флюидные потоки в земной коре и мантии. М.: РАН. 2002. С. 77-83.
Седова И.С., Глебовицкий В.А. // Записки ВМО. 2005. Ч. СXXXIV. № 3. С. 1-24.
Шерман С.И., Буддо В.Ю., Мирошниченко А.И. // Геол. Рудных. Местор. 1991. № 5. С. 13-25.
Щербакова Т.Ф. Амфиболиты Беломорского комплекса и их гранитизация. М.: Наука. 1988. 150 с.
Mandelbrot B.B. // Science. 1967. v. 156. p. 636-638.

МИНЕРАЛЬНЫЙ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУД ПОЛЯ БРОКЕН СПУР (СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ, 29°10' С.Ш.)

Кораблева О.В.
СПбГУ, Санкт-Петербург, olipss@yandex.ru

Работа посвящена изучению вещественного состава гидротермальных сульфидных руд поля Брокен Спур. Оно расположено на 29°10' с.ш. медленно-спредингового (1,3 см/год) Срединно-Атлантического хребта и было открыто в 1993г. Данная территория изучалась в течение нескольких экспедиций, три из которых были с использованием глубоководных обитаемых аппаратов (ГОО): британская 1993г., британско-российская 1994г., русско-американская 2001г.

Материал был представлен НИИ «Океангеология» и состоит из 12-ти полированных шлифов и 4-х образцов. Цель: изучить минеральный состав сульфидных руд с возможной оценкой зрелости гидротермальных построек.

Геологическая позиция поля Брокен Спур. Гидротермальное поле Брокен Спур расположено на Срединно-Атлантическом хребте (рис.1) в пределах одного из сегментов рифта длиной 6 км примерно в 100 км к югу от трансформного разлома Атлантик. Рифтовая долина шириной около 5 км (на широте гидротермального поля) и глубиной до 3200-3300 м ограничена краевыми тектоническими уступами. В западной части долины расположено осевое поднятие (неовулканическая зона), возвышающееся над дном долины примерно на 250м.

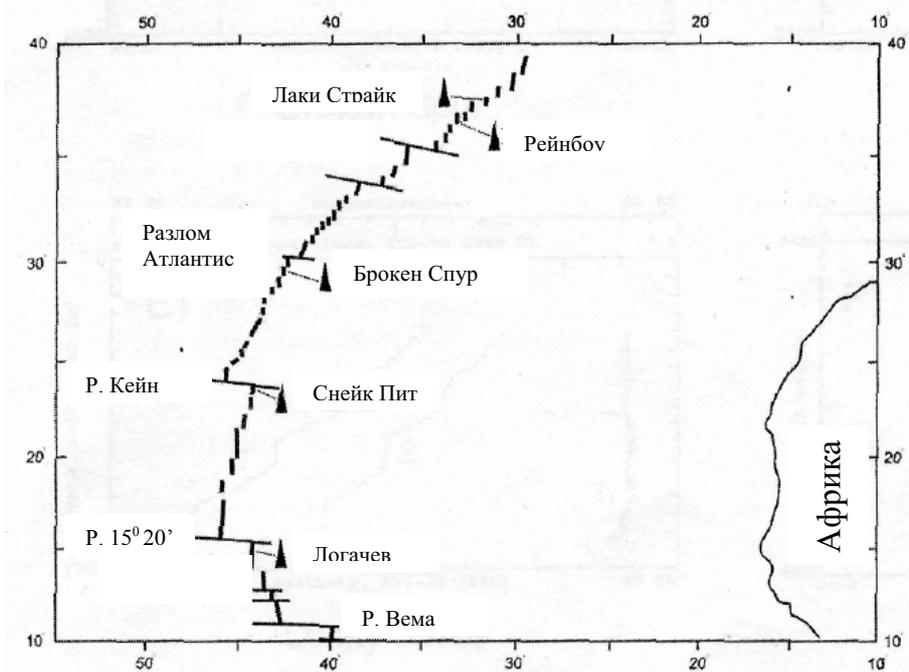


Рис. 1. Положение гидротермального поля Брокен Спур (Судариков, Жирнов, 2001)

Поверхность всей рифтовой долины сложена базальтами, практически лишенными покрова рыхлых донных осадков (не более 10 см). Вулканыты покрыты очень свежей стекловатой коркой закалки. Исходя из средних скоростей осадконакопления в данной природно-климатической зоне (0,5-1 см в 1000 лет) можно полагать, что возраст базальтового ложа не превышает 10-20 тыс. лет (Богданов, 1997).

Процесс формирования гидротермальных построек. Нарастание рудной залежи происходит циклично, продолжительность одного цикла составляет около 10000 лет. Соответственно, в пределах поля Брокен Спур мы имеем дело с самой начальной стадией гидротермального цикла, или с моментом начала рудоотложения.

Начальный этап формирования постройки относится к формированию ее цоколя. При этом сначала накапливались сульфидные отложения медной и медно – цинковой специализации. Этот процесс продолжается до полного «залечивания» основных подводящих каналов. В результате это приводит к «гидротермальному взрыву» - разрушению гидротермальной постройки и формированию новых подводящих каналов.

Гидротермальные флюиды после разрушения цоколя поднимаются по новым каналам к поверхности и отлагают гидротермальное вещество в виде труб. Полная цементация вещества стенок гидротермальной трубы практически прекращает ее наращивание.

Выход на поверхность гидротермальных растворов в пределах данного гидротермального поля происходит через два типа образований: диффузоры (типа пчелиных ульев) или деликатные трубы (типа органических труб).

Морфология и минеральный состав гидротермальных построек. В пределах гидротермального поля Брокен Спур на площади около 10000 м открыто более 10 гидротермальных построек, значительная часть которых активна в настоящее время (рис. 2).

Сарацын Хед. Наиболее крупная из них - сульфидная постройка Сарацын Хед. Она имеет высоту 35-40 м и диаметр у основания около 20 м. Близкие к вертикальным склоны постройки имеют несколько "крылообразных" выступов. Один из выступов имеет активную сульфидную трубу - черный курильщик. Ее слагают выветрелые сульфидные обломки разрушенных гидротермальных труб, разбитые массивные сульфиды. Над ними обнаружены три активных устья с диффузным истечением гидротермальных растворов, напоминающие по форме пчелиные ульи. На вершине этих бульбообразных построек находятся многочисленные трубки высотой 10-20 см и диаметром 1-4 см. Группы трубок, часто срастающиеся, напоминают органические трубки. Температура гидротермальных растворов, разгружающихся в верхней части постройки, составляет 361,7°C, глубина основания под водой 3080 м. (Богданов, 1997).

Гидротермальная постройка Сарацын Хед представлена двумя аншлифами 3348-2 и 3348-3,

Пирит очень часто обрастает ксеноморфными зернами изокубанита. Размеры изокубанита варьирует от 0,01 до 0,250. Почти в каждом зерне видна структура распада твердого раствора. Твердость изокубанита 155,8 – 165,2 кг*с/мм².

Сфалерит обрастает изокубанитом частично, а иногда является включениями в нем. Зерна сфалерита аллотриоморфны, размером до 0,02 мм, сфалерит частично обрастает зерна пирита. Нерудная часть сложена кристаллами кварца, изокубанит занимает межзерновое пространство

Последовательность минералообразования:

Кварц → пирит → сфалерит → изокубанит

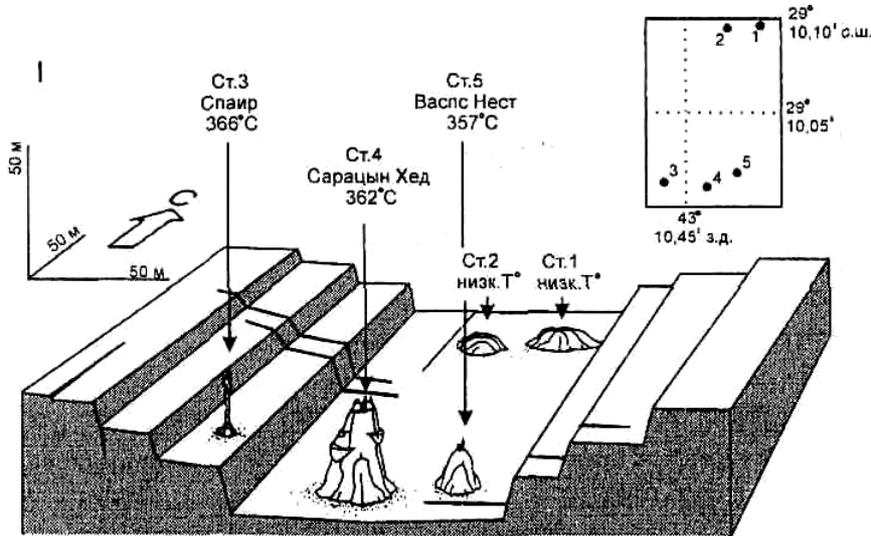


Рис. 2. Строение осевого грабена поля Брокен Спур по данным погружения ГОА «Алвин» в 1993 г. (Murton, VanDover, 1993) Рисунок из (Duckworth et al, 1995)

Спаир. Вторая активная сульфидная постройка, получившая название Спаир, расположена к западу от Сарацын Хед, на поверхности одного из уступов, ограничивающих осевой грабен. Она представляет собой колонну 1-2 м в диаметре и высотой 18 м, стоящую на цоколе высотой 4 м и шириной 10 м. На ее вершине также присутствует диффузор, напоминающий пчелиный улей. Замеренная температура гидротермального раствора на вершине постройки составляет 366°C. Глубина основания 3070 м.

Из данной постройки был изучен один полированный шлиф. Пирротин образует пластинки длиной до 0,15 мм, которые часто разбиты трещинами.

Пирротин частично или полностью обрастается сфалеритом или изокубанитом. Изокубанит обрастается и замещается сфалеритом, иногда от изокубанита остаются только каемки. Размер сростаний до 0,5 мм. Пирит встречается в виде мелкозернистых аллотриоморфных включений в сфалерите, размер включений 0,005-0,01 мм.

Последовательность минералообразования:

Пирит + пирротин → сфалерит + изокубанит

Васпс Нест. Васпс Нест расположен приблизительно в 20 метров на северо-востоке от Сарацын Хед в пределах осевого грабена. Сульфидная постройка на 5 метров ниже Сарацын Хед, но с несколькими активными трубами, ульями и гребневидными структурами. Температура выхода флюидов 357°C, глубина у основания 3110 м.

Постойка Васпс Нест представлена одним полированным шлифом 3426-S-44. В образце преобладает нерудная часть, вероятно, ангидрит, образует идиоморфные кристаллы, из сульфидов большим распространением пользуется гексагональный пирротин. Пластинки пирротина длиной 0,01-0,1 мм, очень часто частично или полностью обрастаются сфалеритом, кристаллы которого аллотриоморфные. Изокубанит образует каемки вокруг кристаллов сфалерита. Из минеральных фаз еще присутствуют пирит-марказитовые пористые агрегаты, которые иногда раскристаллизованы. Кристаллы пирита до 0,15 мм идиоморфные и гипидиоморфные.

Последовательность минералообразования:

Ангидрит (?) → пирротин → сфалерит → изокубанит → пирит + марказит

Богданов сайт. На дне осевого грабена, в 30 м к северу от постройки Васпс Нест есть ещё одна постройка Богданов сайт. Она имеет цоколь высотой около 10 м и диаметром 15-20 м. Глубина основания 3090 м. Цоколь сложен угловатыми обломками сульфидов размером 15-20 см в поперечнике. На цоколе расположено две постройки.

Гидротермальная постройка Богданов сайт наиболее широко представлена образцами и полированными шлифами 3434-S- 49,51 3425-40 и 3425-39,40,41 3434-49,51,52 соответственно. Все образцы можно разделить на три группы: образцы, представляющие цоколь, основная часть и диффузор.

Цоколь (полированные шлифы 3434-49, 3434-52). В образцах цоколя видны следы дробления первоначальных руд сульфидными минералами, в которых были сфалерит и изокубанит. Обе фазы ксеноморфные, размеры зерен 0,05-0,1 мм. Позже раздробленная часть цементировалась пирит-марказитовыми колломорфными пористыми агрегатами, размер зерен до 0,7 мм, которые позже раскристаллизовывались. центральная часть пирит, затем марказит внешняя пирит + марказит.

Последовательность минералообразования:

Сфалерит + изокубанит → пирит + марказит

Основная часть (полированные шлифы 3425-39, 3425-41). В основной части можно выделить три зоны (от канала к периферии): первая колломорфные изометричные агрегаты пирита и марказита, вторая дендриты пирита и марказита, третья колломорфный пирит с редкими кристаллами марказита. Все пирит-марказитовые агрегаты пористые. Ширина внутренней зоны 0,2 мм, внешней 3 мм, дендриты длиной от 0,1 мм до 0,5 мм.

Изокубанит обрастает пирит-марказитовые агрегаты, иногда он встречается в виде включений в сфалерите, размер зерен до 0,1 мм в среднем 0,05 мм.

Сфалерит образует ксеноморфные зерна, которые обрастают как пирит-марказитовые агрегаты так и изокубанит.

Последовательность минералообразования:

Пирит + марказит → изокубанит → сфалерит

Диффузоры (полированные шлифы 3425-S-40, 3434-51). В образцах диффузоров преобладает гексагональный пирротин, его кристаллы идиоморфной и гипидиоморфной формы, размерами от 0,1 до 0,2 мм. По трещинам в пирротине развивается макинавит. Сфалерит образует ксеноморфные зерна размером 0,01-0,05 мм. Изокубанит обрастает сфалерит, но чаще он встречается в виде изометричных зерен размерами 0,05-0,1 мм. Пирит-марказитовые агрегаты встречаются в виде тонкоигловчатых «ежиков», либо в виде изометричной формы с более выраженными кристаллами, размеры которых 0,1-0,2 мм. Очень часто пирит-марказитовые агрегаты раскристаллизованы. По этим сростаниям развиваются вторичные минералы, вероятно, ссомольнокит.

Последовательность минералообразования:

Пирит + марказит → сфалерит + пирротин → макинавит → изокубанит → ссомольнокит → оксигидроксиды железа.

Паркер Стамп. Постройка Паркер Стамп представлена одним полированным шлифом. Основную массу формируют дендриты и ежики нерудного минерала, которые обрастаются или частично замещаются пиритом. Зерна пирита гипидиоморфны в них очень часто видны зоны роста, размер зерен от 0,01 до 1,5 мм. В пирите встречаются аллотриоморфные зерна изокубанита и сфалерита размером от 0,01 до 0,1 мм. Вокруг агрегатов пирита развиваются вторичные минералы.

Последовательность минералообразования:

Нерудный минерал → сфалерит + изокубанит → пирит

В целом минералогия Брокен Спур представлена марказитом, пирротинном, пиритом, халькопиритом, сфалеритом, вюрцитом, изокубанитом, ангидритом, оксигидроксидами железа, опалом, в меньшей степени ковеллином, борнитом, дигенитом, магнетитом, гематитом, арагонитом, баритом, тальком, галенином, иорданитом, халькозином, лепидокрокитом (Duckworth et al, 1995) и нукундамитом (Rona, Scott, 1993).

Заключение. После изучения материала из гидротермальных сульфидных руд поля Брокен Спур можно сделать несколько выводов:

1. Материал из постройки Богданов сайт можно разделить на три вида: образцы (3434-49, 3434-51) и полированные шлифы (3434-49, 3434-51) из цоколя постройки, полированные шлифы (3425-39, 3425-41) из основной части, образец (3425-40) и полированные шлифы (3425-40, 3434-52) из диффузора.

2. Минеральные ассоциации со структурами распада изокубанита и халькопирита в постройке Спаир свидетельствуют о её зрелости, преобладание высокотемпературного гексагонального пирротина в постройке Веспс Нест говорит о её сравнительно молодом возрасте.

3. По данным рентгенофазового анализа были обнаружены новые ранее не описанные минералы (сульфаты): кокимбит, ссомольнокит, пальмиерит.

4. Впервые для поля Брокен Спур выполнены количественные микрозондовые анализы изокубанита, пирротина, пирита и сфалерита.

5. В изученных образцах (BRAVEX/94 и DiversExpedition 2001) по сравнению с образцами из первой экспедиции «Чарльз Дарвин» 1993г., по нашим данным, преобладающим медным минералом является изокубанит, а не халькопирит.

Автор хотел бы выразить благодарность всем кто помог при выполнении данной работы, а именно Сударикову С.М. за предоставление литературы, Бороздину А. и Бритвину С.Н. за ценные консультации,

старшему научному сотруднику Яковлевой О.А. за микрозондовое исследование минералов, Лялинову Д. за помощь в фотографировании и, конечно, Болдыревой М.М. за ценные советы, критику и корректировку данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

- Богданов Ю.А. (1997) Гидротермальные рудопроявления рифтов Срединно-Атлантического хребта. М: Научный мир. 167с.
- Богданов Ю.А., А.М. Сагалевиц (2002) Геологические исследования глубоководных обитаемых аппаратов «Мир». М.: Научный мир. 304с.
- Болдырева М.М., И.В. Романовский, Д.А. Киселев (2002). MicroMin – программное обеспечение для идентификации расчета цветовых характеристик рудных минералов // Минералогические музеи. Материалы IV Международного симпозиума. СПб, Россия, стр. 358-359
- Исаенко М.П., С.С. Борیشانская, Е.Л. Афанасьева (1986) Определитель главнейших минералов руд в отраженном свете. М.: Недра. 381с.
- Мелекесцева И.Ю. Кадастр гидротермальных систем Мирового океана с рудной минерализацией // Металлогения древних и современных океанов, т.2., Миасс. Стр. 233-252
- Мозгова Н.Н., Ю.А. Бородаев, И.Ф. Габлина, Г.А. Черкашев, Т.В. Степанова (2005) Минеральные ассоциации как показатели степени зрелости океанских гидротермальных сульфидных построек // Литология и полезные ископаемые. №4. Стр. 339-367
- Bogdanov Y.A., E.G. Gurvich, A.P. Lisitzin, K.G. Murvion, L.A. Savostin, A.B. Isaeva, G.V. Ivanov Krasnyuk. (1995) Sulfides from the Broken Spur hydrothermal vent field Mid-Atlantic Ridge 29°10' N, 43°10' W// BRIDGE Newsletter. №8. pp.25-29
- Duckworth R.C. R. Knott, A.E. Rickard, B.J. Murton and C. VanDover. (1995) Mineralogy and sulfur isotope geochemistry of the Broken Spur sulfides, 29°N Mid- Atlantic Ridge//Hydrothermal Vents and Processes. L.M. Parson, C.L. Walker, R.D. Dixon-eds. Geological Society Special Publication. London. № 87. pp.175-189.
- Nesbitt R.W. (1995). The geology of Broken Spur hydrothermal vent site; a new look at an old field// BRIDGE Newsletter. Vol.8, pp.30-34
- Nesbitt R.W., Murton B.J. (1995). Chimney growth rates and metal deposition at the Broken Spur vent field, 29°, MAR// BRIDGE Newsletter. Vol.8, pp.35-37
- Rona P., Scott S. (1993). Economic geology. Special issue on sea-floor hydrothermal mineralization: new perspectives. Vol.88. №8. pp. 1933-1974
- Sudarikov S. and E. Zhirnov. (2001). Hydrothermal plums along the Mid-Atlantic Ridge: preliminary results of CTD investigations during the DiverseExpedition (July 2001). // InterRidge News. Vol. 10(2). Pp. 33-36

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕРВИЧНОГО СОСТАВА ПОРОД ХАРБЕЙСКОГО КОМПЛЕКСА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Кузнецова Н.С.

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, nskuznetsova@geo.komisc.ru

Глубоко метаморфизованные породы гнейсовых комплексов привлекают внимание многих геологов с целью выяснения их первичной природы. Нами сделана попытка реконструировать первоначальный состав сильно метаморфизованных пород харбейского гнейсо-мигматитового комплекса. Эта проблема изложена в работах В. А Душина (1997), А. Б. Макарова, Э. А. Сычевой (1983).

Породы харбейского комплекса нами изучались в основном по р. Б. Харбей и ее притокам. Они представлены различными амфиболитами, плагиогнейсами и сланцами. Для реконструкции первичного состава были использованы диаграммы А. Симонена (1953) и А. А. Предовского (1970) с учетом изохимического характера процессов метаморфизма. Химические составы пород были получены с помощью рентгенофлуоресцентного и силикатного анализов.

Амфиболиты по текстурным признакам можно разделить на массивные, слабосланцеватые и сланцеватые разновидности.

Массивные амфиболиты (13-1, 13-10, 116-1, 116-2, 116-5) распространены в среднем течении р. Б. Харбей, ниже устья Париквасьшор. Они имеют равномернозернистую, мелко-, среднезернистую, немагнитоластовую структуру, темно-серую окраску. Состоят из густо-зеленого амфибола с голубоватым оттенком, андезина, единичных зерен эпидота и цоизита, а также титанита и рутила. В отдельных случаях появляется биотит.

Слабосланцеватые (12-5, 12-6, 14-13) амфиболиты находятся выше по р. Б. Харбей и отличаются от массивных амфиболитов параллельным расположением и вытянутыми в одном направлении минералов. Местами те и другие амфиболиты хлоритизированы и эпидотизированы.

Наиболее распространены среди мафитов харбейского комплекса сланцеватые амфиболиты (16-10). Они распространены в верховьях р. Б. Харбей, по р. М. Харбей и ее притокам. Среди них можно выделить