

СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ БРЕКЧИИ ФУТВОЛЛ, САДБЕРИ

Д. В. Пестерев^{1, 2}

¹ – Новосибирский государственный университет, tunderfury@ngs.ru

² – Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

Геологическое строение месторождения Садбери

Рудоносный магматический комплекс Садбери представляет собой гранофир-габбро-норитовую интрузию, имеющую возраст 1.85 млрд лет [Налдретт, 2003]. Брекчия Футволл относится к числу пород, формировавших комплекс Садбери, и образована обломками вмещающих и мафит-ультрамафитовых пород. Комплекс Садбери включает многочисленные месторождения медно-никелевых руд, в том числе жильные, приуроченные к проницаемой брекчии Футволл в лежащем боку [Лихачёв, 2006]. Нами были исследованы сульфидные руды из этих брекчий.

Аналитические методы исследования сульфидов

Руды исследованы с использованием поляризационного микроскопа Carl Zeiss Axiolab 40 Pol и сканирующего электронного микроскопа «LEO 1430 VP» (СЭМ). Составы сульфидов получены на микроанализаторе «Camebax micro» в Институте геологии СО РАН при напряжении 20 кВ, токе 20–30 мА и длительности измерения 10 с на каждой аналитической линии. В качестве стандартов для Ni, Fe, S, Pd, Cu, Co, As были использованы FeNiCo, FeS, FeS, Pd, CuFeS₂, FeNiCo, FeAsS, соответственно. Выбраны следующие рентгеновские линии: L_α для Pd, As; K_α для S, Fe, Cu, Co, Ni; Наложение рентгеновских спектров элементов корректировались с помощью программы, использующей экспериментально рассчитанные коэффициенты [Лаврентьев, Усова, 1994].

Характеристика сульфидных руд

В сульфидных рудах брекчии Футволл преобладает неравномернозернистая структура и отмечаются следующие типы текстур: **массивная** текстура характерна для руд, сложенных, главным образом, халькопиритом, и **вкрапленная**, проявляющаяся в виде вкрапленности пирита, халькопирита, магнетита, ильменита, кубанита, пирротина и пентландита во вмещающих силикатных породах, а также в виде вкрапленности магнетита, кубанита, ильменита, Pt-Pd фаз и др. в халькопиритовой матрице. Характерной особенностью многих вкрапленников являются их округлая, «оплавленная» форма, которая особенно проявляется для магнетита и галенита. Для ильменита характерны катакластические внутренние текстуры, а также текстуры распада твердого раствора ильменит-магнетит-ульвошпинель. Встречаются обособления магнетит-ильменитового твердого раствора шаровидной формы, разбитые внутри на более мелкие шаровидные обособления. Такие текстуры могут свидетельствовать об импактном воздействии при образовании руд. **Прожилково-вкрапленная** текстура встречается в образцах реже и проявлена в виде крупных прожилков в силикатных вмещающих породах или в виде мелких прожилков рудных минералов (обычно галенита) в халькопирите.

Морфология и состав минералов сульфидных руд

Главные рудообразующие минералы месторождений Садбери, как и других медно-никелевых месторождений, относятся к системам Fe-Ni-S и Cu-Fe-S. Минералы первой системы представлены пирротинном, пентландитом, пиритом и моносульфидным твердым раствором (mss) (рис. 1 А). Пирротин встречается в виде обособленных выделе-

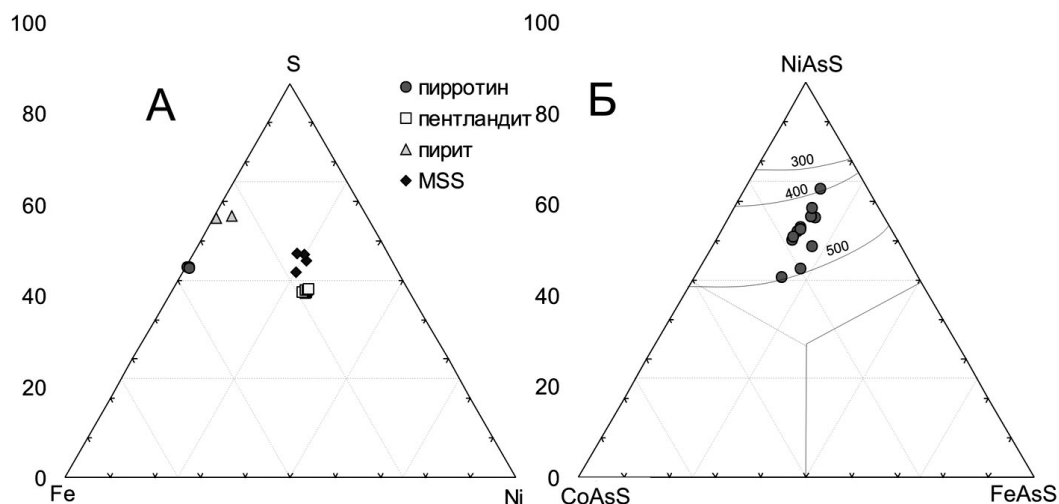


Рис. 1. А. Составы сульфидов в координатах Fe-S-Ni. Б. Составы и температурное поле кристаллизации герсдорфита в системе CoAsS – NiAsS – FeAsS.

ний в халькопирите. Пентландит представлен зёрнами неправильной формы, которые почти полностью замещены виоларитом и валеритом. Пирит представлен в образцах двумя генерациями, пирит I имеет относительно крупные идиоморфные кристаллы (до 0.5 см) и вкраплен во вмещающие породы (рис. 2 Г), пирит II характеризуется резорбированной поверхностью зёрен, вкрапленных в халькопиритовую матрицу и их неправильной формой (рис. 2 Д).

По составу пентландит представлен никелистой разновидностью, отношение Ni/Fe варьирует в интервале 1.22–1.35. Концентрация Co в пентландите достигает 0.65 мас. %. Формула минерала с максимальной концентрацией Ni имеет вид: $Ni_{5.10}Fe_{3.78}Co_{0.04}S_{8.08}$. В mss Ni также преобладает над Fe, и сумма металлов по отношению к сере варьирует в интервале 0.77–0.93. Пирротин относится к гексагональной разновидности, имеют формулу $Fe_{0.88}S$ и содержит примесь Ni до 1.26 мас. %, а также следы Co и Cu. Минералы системы **Cu-Fe-S** представлены халькопиритом, кубанитом и вторичными продуктами по ним (халькозин, ковеллин). В изученных нами образцах преобладает халькопирит, который является матрицей для других рудных минералов. По составу он соответствует стехиометрии, практически не имеет примесей. Кубанит встречается редко в виде оторочек по халькопиритовым зёрнам или мелких обособлений в халькопиритовой матрице. В подчинённом количестве присутствуют галенит, сфалерит, герсдорфит. Галенит обнаружен в виде мелких зёрен (до 70 мкм) округлой, почти овальной формы, либо он заполняет мелкие трещинки в халькопирите. Сфалерит (до 0.05 мм) представлен ксеноморфными обособлениями в халькопирите. Для герсдорфита характерны вариации состава в изоморфном ряду NiAsS-CoAsS (рис. 1 Б). Отношение между Ni и Co в герсдорфите позволяет предположить формирование этих минералов в интервале температур 400–500 °C (рис. 1Б) [Klemm, 1965]. Никелин содержит десятые доли Cu, Fe и S. Пирит характеризуется повышенной концентрацией Ni (5.65 мас. %).

Рудные минералы, в том числе минералы элементов платиновой группы в брекчии Футволл достаточно изучены ранее, выявлено более 60 их разновидностей [Kjarsgaard, Ames, 2010]. Нами выявлены сперрилит, который располагается в халькопиритовой матрице в виде хорошо огранённых крупных (до 2 мм) кристаллов (рис. 2 А), а также ранее нигде не описанная неназванная фаза, имеющая сложный состав $(Pt,Pd,Fe,Cu)_2Te_3S_2Bi$, полученный с помощью СЭМ. Неназванная фаза образует в халькопирите обильную вкрапленность идиоморфных округлых кристаллов до 40 мкм (рис. 2 Б, В).

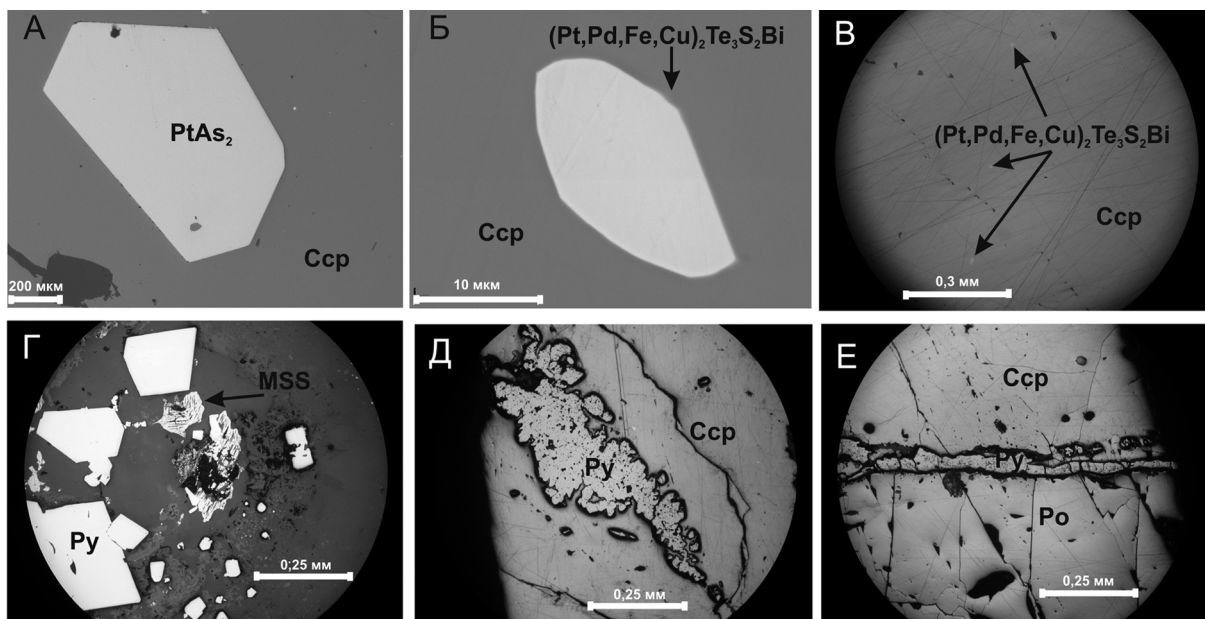


Рис. 2. А, Б – изображения СЭМ. А. Идиоморфный сперрелит в халькопирите. Б. Выделение неназванной фазы в халькопирите. В. Вкрапленность неназванной фазы в халькопирите. Г. Идиоморфные зёрна пирита и выделения MSS в силикатной матрице. Д. Резорбированные зёрна пирита в халькопирите. Е. Выделения пирита на контакте халькопирита и пентландита.

Обсуждение и выводы

Таким образом, минеральные ассоциации, изученные нами, свидетельствуют о некотором температурном интервале их кристаллизации. Массивные халькопиритовые руды, с одной стороны, содержат реликты высокотемпературного mss, с другой – включают в себя более поздние сульфоарсениды (герсдорфит), кристаллизующееся при температуре 400–500 °С. При этом наблюдаются признаки замещения пентландита вторичными минералами (виоларитом). Ассоциация, включающая пирит, находящийся в равновесии с другими рудными минералами свидетельствует о низкотемпературном образовании пентландита [Лихачёв, 2006] или о том, что высокотемпературные руды были подвержены замещению пиритом [Налдретт, 2003]. Можно отметить также, что тонкая вкрапленность галенита, сфалерита и Pt-Pd минералов в халькопирите, скорее всего, образовалась в результате субсолидусных превращений за счет выпадения минеральных фаз, растворенных в халькопирите при более высоких температурах.

Я выражаю благодарность своему научному руководителю Н. Д. Толстых за предоставленную коллекцию образцов и консультации при исследовании руд. Работа выполнена при поддержке программы ОНЗ-2 СО РАН.

Литература

- Лаврентьев Ю. Г., Усова Л. В. Новая версия программы КАРАТ для количественного рентгеноспектрального анализа // Журнал аналитической химии. 1994. 49. С. 462–468.
- Лихачёв А. П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. М.: Эслан, 2006. 496 с.
- Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. СПб.: СПбГУ, 2003. 487 с.
- Klemm D. D. Synthesen und Analysen in den Dreieckdiagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und FeS₂-CoS₂-NiS₂ // N Jb Mineral. 1965. 103: P. 205–255.
- Kjarsgaard I. M., Ames D. E. Ore Mineralogy of Cu-Ni-PGE deposits in North Range Footwall environment, Sudbury, Canada // 11-th International Platinum Symposium, June 21–24. 2010.