

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ЭПГ-МИНЕРАЛОГИИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ АНОРТОЗИТОВ ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО МАССИВА

Пшеницын И.В.¹, Арискин А.А.^{1,2}, Корост Д.В.¹, Хомяк А.Н.¹, Рязанцев К.М.²

1. Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет
2. Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН

Методом рентгеновской компьютерной томографии (далее КТ) нами был изучен образец сульфидоносного анортозита из главного платинометального рифа Довырена - вблизи границы троктолитов и оливиновых габбро в средней части массива [1].

Исходный образец имел размеры 30x10x7 см. Он был изучен с помощью сканера РКТ - 180; данная крупномасштабная съемка проводилась с целью выявления зон, обогащенных сульфидами и (потенциально) минералами элементов платиновой группы (МПГ). На основании этих данных, затем, были намечены участки для дополнительного изучения. С учетом нашего предыдущего опыта [2], они были отсняты на рентгеновском микро-томографе SkyScan-1172 с более высоким разрешением - 3,1 и 4,4 мкм, соответственно. Первичная съемка позволила выявить наиболее богатые сульфидами участки в образце, а также, впервые для минерализованных анортозитов, - сульфидную глобулу. Данная находка может быть свидетельством важной роли сульфидной ликвации в формировании главного ЭПГ-рифа Довырена. Из образца было выбурено два цилиндра: 10мм (DV653-1) - из наиболее обогащенной рассеянными сульфидами зоны, и 16мм (DV653-2) - из участка с сульфидной каплей в ассоциации с рассеянной минерализацией.

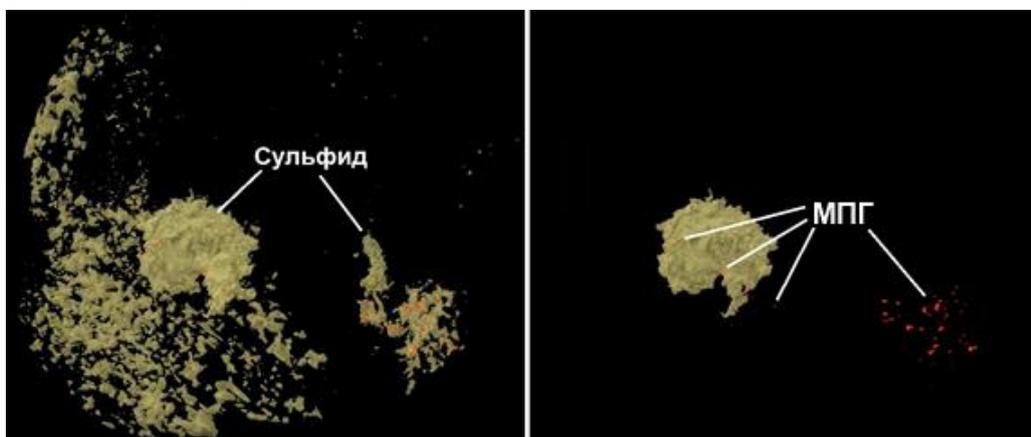


Рис. 1. Результаты КТ-съемки образца DV653-2. Слева - сульфиды + ЭПГ, справа - сульфидная капля отдельно + ЭПГ

Полученные данные использовались для анализа распределения сульфидной фазы, а также выделения отдельных включений, характеризующиеся экстремально высокой рентгеновской абсорбцией, идентифицированные, как вкрапления МПГ, под которые нередко маскируется галенит – PbS (Табл. 1). При этом каждый из отснятых образцов визуально анализировался в программе CTBox путем выделения в объеме образца наиболее контрастной фазы. Из-за малого линейного размера этих фаз (не выше 120 мкм, Табл. 1) их выявление осуществлялось поэтапно. В результате анализа данных для этих образцов установлена слабая связанность сульфидов

(13.7%), которая, впрочем, повышается в образце DV653-2 (до 18%), вместе с их содержанием (с 0.31% до 1.32%), что отражает наличие относительно крупной (около 4мм) сульфидной глобулы. Под связанностью понимается доля наиболее крупного единого кластера в объеме данной фазы. Для этого же образца характерно большее количество, содержание и максимальный размер минералов ЭПГ (Табл.1). Визуальный анализ данных фаз показал, что практически всегда они приурочены к ребрам интерстиций сульфидов, а также располагаются по периферии сульфидной капли. Наш предыдущий опыт изучения подобных пород показывает, что это действительно минералы ЭПГ.

Таблица 1. Характеристики распределения сульфидов и наиболее рентгеноконтрастных фаз

Образец	Силикаты	Сульфид		Минералы ЭПГ ± галенит		
	Содержание %	Содержание %	Связанность %	Содержание %	Количество штук	Макс. размер мкм
16DV653- 1-5-4-1	99,69	0,31	13,7	0,00033	122	41,2
16DV653- 5-4-2	98,68	1,32	18,0	0,00112	314	120,7

4-мм сульфидная глобула из образца 16DV653-5-4-2 была распилена на 6 частей. Из них были изготовлены шашки, и отсняты их панорамы в отраженном свете. Обработка фотографий в программе Adobe Photoshop CS2 позволила подсчитать относительные пропорции основных сульфидных фаз (троилит (35%), кубанит (39%), пентландит (21%) и халькопирит (5%)). Используя микронзондовые анализы для данных фаз, была получена относительная оценка валового химического состава всей сульфидной глобулы: S – 35%, Fe – 47%, Co – 0.4%, Ni – 6.5%, Cu – 11%. Такой средний состав сульфида отвечает позднему низкотемпературному медистому расплаву [4].

Подтверждения этому находятся и в минералогических наблюдениях: в образце наблюдаются типичные структуры распада сульфидного твердого раствора, в виде ламелей, сложенных кубанитом, пентландитом и халькопиритом, находящихся в троилитовой матрице (рис. 2 А, В). Встречаются также и характерные для высокомедистых ассоциаций многочисленные зерна сфалерита и минералов платиновой группы, которые были диагностированы по результатам КТ. В большинстве случаев это мончеит, который встречается по краям сульфида (рис. 2 С).

В результате микронзондовых минералогических исследований было выяснено, что сульфидная ассоциация состоит из троилита с соотношением серы и железа 1/1, иногда даже с небольшим избытком металла, кубанита, с примесью кобальта до 0.24 wt.%, стехеометричного халькопирита и двух разновидностей пентландита – медистого (до 3.5 wt.%) и безмедистого. Возможность существования таких разновидностей пентландита в высокомедистых сульфидных системах была показана в экспериментальной работе Косяковой и Синякова [3]. Также, как по

результатам КТ, так и в ходе минералогических исследований было установлено, что сульфидная сегрегация ассоциирует с крупным кристаллом клинопироксена (рис. 2 D), который является нетипичным минералом для анортозитов платрифа Довырена и встречается как наиболее поздняя интерстициальная фаза в данных породах.

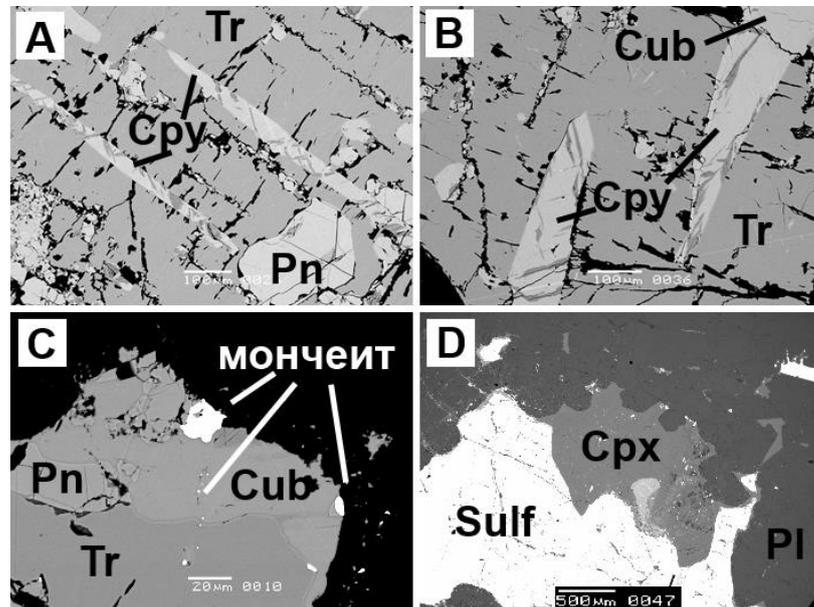


Рис. 2. Фотографии образца 16DV653-5-4-2 в отраженных электронах. А, В – ламели халькопирита в троилите в ассоциации с безмедистым пентландитом. С – мончеит на границе сульфида и вмещающей плагиоклазовой матрицы. D – Ассоциация сульфида, клинопироксена и плагиоклаза

Учитывая данные минералогические и морфологические КТ-наблюдения, можно сделать вывод, что формирование относительно крупных сульфидных сегрегаций происходило при заполнении несмешивающейся сульфидной жидкостью порового пространства анортозитов на поздней стадии их кристаллизации, а не при миграции сульфидных капель в силикатном расплаве, как в низах Довыренской камеры [2]. Об этом свидетельствует как низкотемпературная сульфидная ассоциация, так и сопряженность сульфидов с клинопироксеном - продуктом кристаллизации остаточного силикатного расплава.

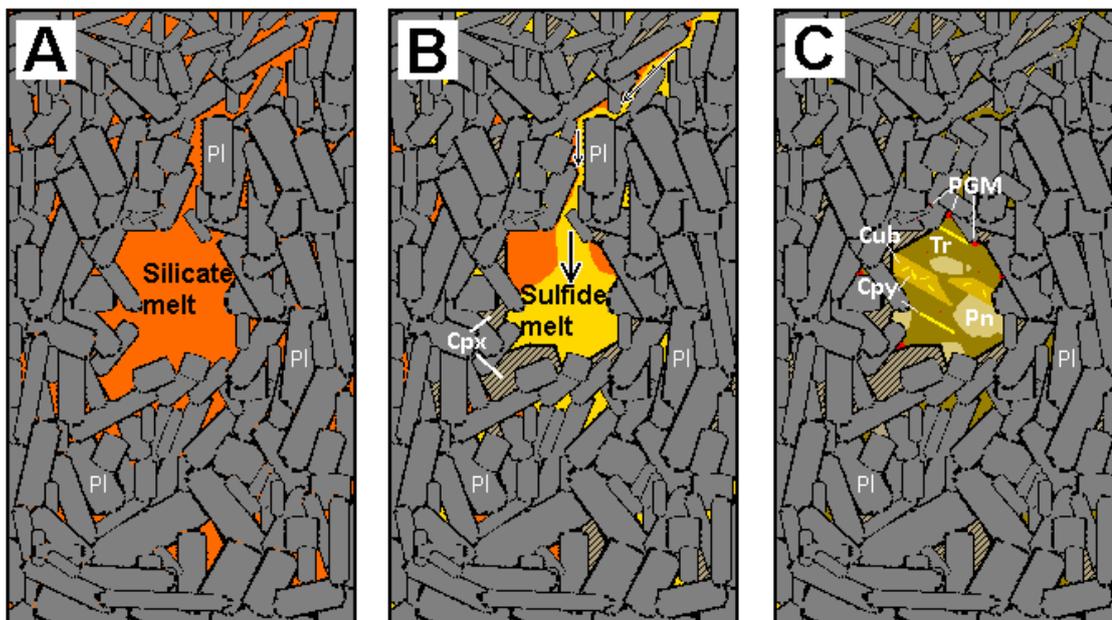


Рис 3. Заполнение пустот с остаточным расплавом в анортозитах. А – Незаполненная открытая пора с силикатным расплавом, В – поступление несмешивающийся сульфидной жидкости и кристаллизация клинопироксена, С – кристаллизация сульфида и всего остаточного силикатного расплава.

Общая предполагаемая схема формирования сульфид-силикатных структур в минерализованных анортозитах показана на рисунке 3: А - На заключительных этапах кристаллизации породы в ней остаются достаточно крупные открытые поры, заполненные остаточным силикатным расплавом. В - Затем, при миграции сульфидной жидкости, они могут заполняться ею, а силикатный расплав частично выжат в сопряженные поры и каналы. С – Происходит кристаллизация сульфидного материала в заполненной им поре, вместе с сосуществующим остаточным расплавом. Поздний медистый сульфид кристаллизуется в виде Iss и распадается на троилит, кубанит, халькопирит и пентландит. Остаточный силикатный расплав кристаллизуется в виде клинопироксена.

ИСТОЧНИКИ И ЛИТЕРАТУРА

1. Кислов Е.В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Уде: БНЦ СО РАН, 1998. 265 с.
2. Пшеницын И.В., Корост Д.В., Аriskин А.А., Хомяк А.Н., Соболев С.Н., Рязанцев К.М. Применение компьютерной томографии в изучении сульфидной и платинометальной минерализации в породах Йоко-Довыренского интрузива. В сборнике Материалы XVIII международной конференции "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле", тезисы, с. 240
3. Синякова Е.Ф., Косяков В.И., Борисенко А.С., Карманов Н.С. Поведение примесей благородных металлов при фракционной кристаллизации Cu-Fe-Ni-(Pt, Pd, Rh, Ir, Ru, Ag, Au, Te) сульфидных расплавов. Геология и геофизика, 2017.
4. Tsujimura, T. & Kitakaze, A. (2004): New phase relations in the Cu-Fe-S system at 800 °C; constraint of fractional crystallization of a sulfide liquid. – N. Jb. Miner. Mh. 2004 (10): 433–444; Stuttgart.