

## ЭКСПЛОЗИВНЫЕ МИНЕРАЛИЗОВАННЫЕ БРЕКЧИИ ОЛОВОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЫСОКОГОРСКОЕ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК) И РЗЭ В КАССИТЕРИТАХ РУДНЫХ ЗОН

*Н. В. Гореликова, С. А. Горбачева, Ф. В. Балашов*

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН, ngor@igem.ru*

Детальное исследование минеральных ассоциаций и редкоземельных элементов в минералах рудных месторождений является необходимой базой для изучения генетических условий формирования рудных месторождений и источников минералообразующих флюидов. Одним из крупных и интересных в генетическом отношении объектов в Приморском крае является касситерит-силикатно-сульфидное месторождение Высокогорское с богатыми касситеритовыми рудами, которое является примером проявления сложной трехэтапной минерализации, сформированной во временном интервале 105–45 млн лет [Финашин, 1978]. Особый интерес на месторождении представляют взрывные брекчии, которые в большей части минерализованы и содержат основную оловянную минерализацию. Взрывные брекчии рассматриваются как особый тип рудоносных структур, и существуют разные точки зрения на их генезис [Туговик, 1984; Портнов, 1979].

Высокогорское оловорудное месторождение расположено в широтной зоне повышенной трещиноватости в западной части Сихотэ-Алинского вулканического пояса [Кокорин и др., 2001]. Рудные тела залегают в осадочных породах  $J_2$  возраста и вулканитах  $K_2$ -Pg. Они представляют собой метасоматические зоны замещения, минерализованные зоны дробления и жилы сложной морфологии субширотного простирания. На месторождении обнаружено около 30 рудных тел протяженностью 10–100 м и мощностью от 0.5 до 5 м. Промышленным типом руд является касситерит-турмалиновый и касситерит-хлоритовый.

Особое внимание уделено детальному исследованию взрывных брекчий (Главной, Взрывной, Айской, Альфа, Рябининской, Туманной, Столичной, Кедровой, Турмалиновой, Кулисной), которые в большей части минерализованы и содержат основную оловянную минерализацию. Флюидно-взрывные структуры представляют значительный интерес при исследовании вопросов генезиса месторождений и источников рудоносных флюидов. Кроме того, они являются более благоприятными структурами для формирования оруденения по сравнению с трещинными структурами, т.к. создают более масштабную и проницаемую структуру для поднимающихся минералообразующих флюидов. По времени проявления среди взрывных брекчий месторождения выделяются дорудные и внутриминерализационные. Дорудные дайки являются ранними образованиями и пересекаются кварц-касситеритовыми жилами. Их мощность варьирует от нескольких см до 5–6 м, в среднем составляя 0.5–1.0 м. Они сложены обломками кремней, песчаников, алевролитов, роговиков, гранодиоритов и гранитов, сцементированных тонкообломочным материалом (рис. 1). В пределах рудных интервалов взрывные дайки подверглись интенсивному метасоматозу и замещаются кварц-турмалиновыми и кварц-хлорит-касситеритовыми образованиями. При интенсивном метасоматозе взрывные брекчии полностью замещаются кварц-турмалин-касситеритовыми и кварц-хлорит-касситеритовыми жилами или сульфидными агрегатами и приобретают облик и состав жил. На основании изучения минерального состава зон можно выделить следующие стадии минерализации: кварц-турмалиновую, кварц-хлорит-мусковит-касситеритовую, кварц-сульфидную и кварц-карбонатную.

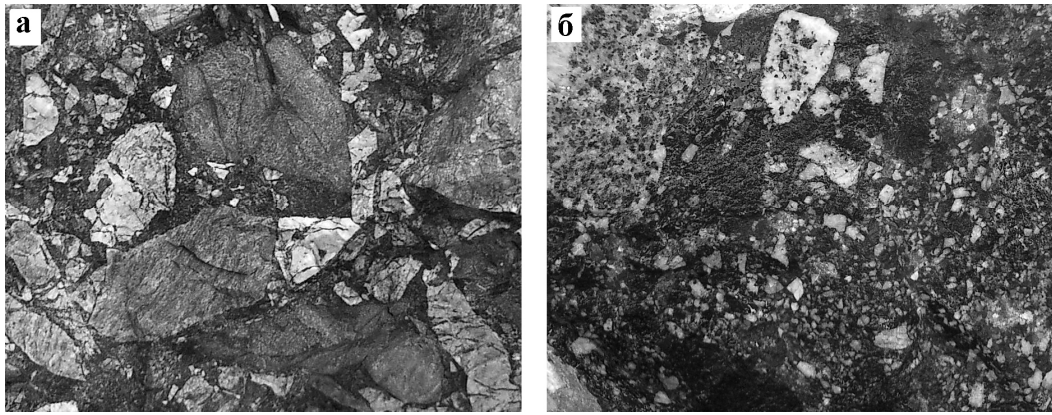


Рис. 1. Эксплозивные брекчии Высокогорского месторождения: а – слабоизмененная брекчия (зона Кулисная) с обломками кремней, кварцитов (светлое) и турмалиновым цементом (темное); б – турмалинизированная брекчия (зона Главная) с обломками окварцованных кремней и гранодиоритов (светлое) и игольчатым турмалином (темное).

На месторождении проявлено 3 этапа минерализации, связанные с разными фазами дифференцированного магматического комплекса, сформированного в интервале 105–45 млн лет [Финашин, 1978]. На первом этапе образовались мощные тела кварцевых турмалинитов с убогой вкрапленностью касситерита и сульфидов. Второй этап характеризуется формированием кварцево-сланцевых метасоматитов с рассеянной вкрапленностью пирита и прожилками молибденита. В течение третьего этапа сформировались основные оловорудные тела, образующие эксплозивные дайки, приуроченные к нижним горизонтам (VI–IV), переходящие на верхних горизонтах (III–I) в жильные тела, обогащенные сульфидами (55 – Тектоническая, 58 и 59 –Тектоническая, Северная, Юбилейная, Капитальная).

Оловорудный этап сформировался в 3 стадии: 1) касситерит-кварцевую с турмалином, хлоритом, слюдами, арсенопиритом с вростками леллингита и включениями висмутовых минералов, 2) кварц-сульфидную, образованную пирротинитом, пиритом, сфалеритом, Ag-содержащим галенитом, станнином, и 3) кварц-флюорит-карбонатную. В процессе минералообразования на месторождении выделяются следующие генерации турмалина: I – ранняя первого этапа; II – поздняя II этапа, входящая в состав пятнистых метасоматитов; III–IV – перекристаллизованный рудный турмалин, приуроченный к минерализованным зонам и жилам. Турмалин I образует тонкоигольчатые и спутановолокнистые агрегаты по вмещающим породам и слагает мелкозернистые кварц-турмалиновые породы однородной текстуры. Турмалин II развит локально и образует друзово-пятнистые и брекчиевые метасоматиты. Он наблюдается в виде тонкоигольчатых агрегатов зеленого цвета и ассоциирует с кварцем, хлоритом, серицитом и ранним касситеритом. Турмалин III ассоциирует с касситеритом продуктивной стадии, арсенопиритом, кварцем, серицитом, хлоритом. Кроме того, в раннем жильном кварце кварц-касситеритовой стадии наблюдается тонкоигольчатый почти бесцветный дравит (IV), образование которого происходило в результате перекристаллизации более раннего турмалина. В соответствии с существующими классификациями турмалинов [Барсанов, Яковлева, 1964, 1965, Hawthorne et. al., 1999], большинство изученных турмалинов можно отнести к Mg-шерлам и гораздо реже встречаются шерлы с содержанием дравитового минала менее 20 %. Для турмалинов характерно повышенное содержание увитового компонента 2.76–7.35 %. Степень окисленности железа турмалина составляет 3.50–11.20 %.

Изучено распределение РЗЭ в касситеритах эксплозивных брекчий и рудных зон месторождения – Главной, Альфа, Северной и Тектонической. Методика разложения

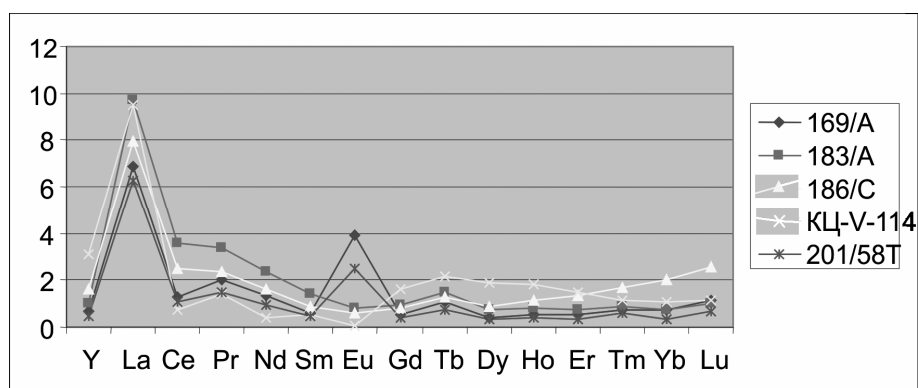


Рис. 2. Хондрит-нормализованные спектры касситеритов месторождения Высокогорское: зоны 169А, 183А – Альфа, 186/С – Северная, КЦ-V-114 – Главная, 201/58Т – 58-ая Тектоническая.

касситерита разработана С. А. Горбачевой [Гореликова и др., 2010]. Навеска растертого материала 50 мг для предварительного кислотного вскрытия помещалась в тефлоновый вкладыш автоклава, добавлялась смесь  $\text{HF} + \text{HNO}_3$ , которая выдерживалась при  $T = 200^\circ\text{C}$  в течение 2 недель. Далее раствор с небольшим осадком переносился во фторопластовый бюкс для выпаривания и дальнейшей обработки  $\text{HF} + \text{H}_3\text{BO}_3$ . После высушивания проба растворялась в 50 мл 5 %  $\text{HNO}_3$  с добавлением в качестве внутреннего стандарта 10 ppb Rh. Растворы проб проанализированы методом ICP-MS на масс-спектрометре X Series 2 Thermo Scientific.

Проанализированные касситериты характеризуются различным уровнем содержания РЗЭ – от 6.73 до 11.24 ppm и преобладанием легких лантаноидов в своем составе. Максимальное содержание РЗЭ имеют касситериты из ранней касситерит-турмалиновой и касситерит-хлоритовой ассоциации, более низкие – касситериты кварц-сульфидной ассоциации. Хондрит-нормализованные спектры касситеритов (рис. 2) свидетельствуют о различных условиях рудоотложения касситерита – касситериты из ранней продуктивной стадии отлагались из окисленного флюида, в то время как в более позднюю щелочную стадию, связанную с отложением сульфидов, их кристаллизация происходила из более восстановленного флюида.

## Литература

- Кокорин А. М., Гоневчук В. Г., Кокорина Д. К. и др. Высокогорское оловорудное месторождение: особенности минерализации и генезиса // Рудные месторождения континентальных окраин. Дальнаука, 2001. С. 156–170.
- Туговик Г. И. Флюидно-эксплозивные структуры и их рудоносность. М.: Наука, 1984. 194 с.
- Портнов А. М. Сульфидная галька в зонах гидротермальных месторождений как индикатор конвективных растворов // Докл. РАН, 1979. Т. 239. № 3.
- Финашин В. К. Об абсолютном возрасте оловянного оруденения Кавалеровского рудного района // Рудоносность Дальнего Востока. Владивосток. 1978. С. 71–79.
- Гореликова Н. В., Бортников Н. С., Гоневчук В. Г. и др. Редкоземельные элементы как индикаторы условий минералообразования. Современная минералогия: от теории к практике // Материалы тезисов XI съезда РМО. СПб., 2010.
- Барсанов Г. П., Яковлева М. Е. О турмалине дравитового ряда // Тр. Минерал. Музея АН СССР. 1964. Вып. 15.
- Барсанов Г. П., Яковлева М. Е. О турмалине шерлового ряда // Тр. Минерал. Музея АН СССР. 1965. Вып. 16.
- Hawthorne F. C. & al. Classification of the minerals of the tourmaline group // Eur. J. Mineral. 1999. 11.