

Л. Ш. БАЗАРОВ

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БЕРИЛЛА
В ЗОНАЛЬНОМ МАССИВЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ГРАНИТОВ
(АПОГРАНИТОВ)**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 28 I 1974)

Проблемы генезиса редкометального оруденения в апогранитах привлекают внимание многих исследователей (⁽¹⁻⁶⁾ и др.).

Методами термобарогеохимии (^(7, 8) и др.) исследовались включения в кристаллах берилла из зонального апогранитового массива. Особенности его геологического строения освещены в (^(2, 9, 10)). Массив составляет апикальную часть куполовидного выхода гранитной интрузии верхнеюрского возраста, приуроченной к пересечению разломов, развитых в мощной толще терригенных отложений среднего палеозоя (⁽⁹⁾). Вокруг массива вмещающие породы (сланцы, песчаники, гравелиты, конгломераты) подверглись метаморфизму и превращены в биотитовые и биотит-амфиболовые роговики. Мощность зоны роговиков 0,5—0,7 км (⁽⁹⁾). Внутреннее строение массива характеризуется наличием вертикальной зональности (^(9, 10)). Наиболее глубокие горизонты сложены неизмененными биотитовыми порфировидными гранитами, переходящими выше по разрезу в двуслюдяные (биотит-мусковитовые) граниты. Последние контактируют с альбитизированными мусковитовыми гранитами порфиробластовой структуры. Следующая зона представлена альбитизированными гранитами, среди которых встречаются участки, обогащенные амазонитом. Выше по разрезу располагается зона лепидолит-альбитовых апогранитов, в пределах которой расположены участки развития лепидолитовых и кварц-топазовых грейзенов (⁽⁹⁾). Среди жильных пород массива выделяются аплиты, амазонит-кварцевые, альбит-кварцевые и кварцевые жилы.

При проведении разведочных работ в апикальной части массива были вскрыты участки, обогащенные бериллом, а также топаз-кварц-берилловая жила, секущая все более ранние зоны и жильные образования массива.

Автором исследовались включения в кристаллах берилла из кварц-топазовых грейзенов, топаз-кварц-берилловой жилы и мелких прожилков. Кристаллы берилла в грейзенах образуют крупнозернистые агрегаты-вкрашеники, неравномерно распределенные по породе. На контактах мелких топаз-кварц-берилловых прожилков довольно часто встречаются участки ритмичной зональности, подчеркиваемой чередованием (10—15 ритмов) топаз-кварц-берилловых и кварц-мусковитовых прожилков. В настоящее время топаз-кварц-берилловая жила с апофизами-прожилками вскрыта лишь в верхних горизонтах массива. Падение жилы близко к вертикальному. На глубину жилы не разведана. Мощность жилы в раздувах достигает 1,5 м. В зоне экзоконтактов жилы представлена серией выклинивающихся прожилков мощностью от 0,1 до 20 см. В апогранитах преобладающим минералом жилы и прожилков является берилл. В подчиненном количестве присутствует кварц, топаз, мусковит. Берилл, топаз и кварц образуют идиоморфные, хорошо ограненные кристаллы. Пустоты в раздувах заполнены минералами группы каолина, слюдами, гидроокислами железа и марганца.

Детальному изучению подвергались включения в кристаллах берилла из берилл-топаз-кварцевых грейзенов (рис. 1а) и из топаз-кварц-берилловых прожилков (рис. 1б). Кристаллы обладают короткопризматическим габитусом и идиоморфной огранкой. Размеры кристаллов до 60 мм в поперечнике и до 80 мм по L_6 . Цвет кристаллов от светло- до желто-зеленого. Окраска равномерная.

Особое внимание было уделено установлению достоверных критериев первичности включений, обнаружению возможных явлений «захвата» аномальных включений и гетерогенной расшнуровки, вопросам герметичности включений. Изучались виды и типы включений, их ориентировка, морфология, характер распространения, фазовый состав и соотношения объемов фаз, агрегатное состояние, температуры частичных и полных гомогенизаций.

Комплекс исследований позволил выделить в кристаллах берилла четыре генетических типа включений: 1) первичные кристаллические; 2) первичные включения растворов-расплавов; 3) мнимовторичные включения растворов-расплавов; 4) вторичные газовой-жидкие.

1. Первичные кристаллические включения представлены мелкими кристалликами берилла, слюды, мельчайшими ксенолитами вмещающих пород и т. д. Нами не изучались.

2. В кристаллах берилла была обнаружена ритмичная зональность, представляющая собой чередование прозрачных и молочно-белых зон роста (рис. 1а, б). Белый цвет обусловлен присутствием большого количества (до 10% объема зоны) первичных включений — зоны интенсивного «захвата» включений. Включения, имеющие одинаковые температуры частичных и полных гомогенизаций, располагаются в одновременно кристаллизовавшихся зонах роста, параллельно плоскостям существовавших ранее граней кристаллов. Все включения, расположенные в пределах одноименных (кристаллизовавшихся одновременно) частей зоны, обладают совершенно одинаковыми фазовыми составами и соотношениями фаз и температурами гомогенизаций, образовались одновременно в процессе формирования кристалла и характеризуют собой условия кристаллизации соответствующей части зоны роста кристалла. Обнаружение включений, приуроченных к зонам «захвата» в кристаллах берилла, позволяет достоверно обосновать их первичность⁽¹⁾. На рис. 2 представлены включения из разных зон роста кристаллов.

Первичные включения растворов-расплавов распространены широко, разнообразны по морфологии и размерам. Их фазовый состав: газ (до 20%) + жидкая CO_2 (до 35%) + водный раствор (до 45%) + твердые фазы (до 70%). Гомогенизация газовой фазы осуществляется при 24–28°. При дальнейшем повышении температуры во включениях развивается высокое давление, вызывающее разгерметизацию (взрывы) подавляющего большинства (99,6%) включений. Из более чем 4000 попыток гомогенизировать включения лишь в 19 случаях была получена температура полной гомогенизации наиболее мелких (около 2 мкм в поперечнике) включений с возвратом изначальных соотношений жидких и газовой фаз при охлаждении. Возврата твердых фаз (кристалликов-узников) получить не удается в связи с тем, что образующееся стекло не раскристаллизовывается даже при длительных выдержках. В интервале от 260 до 390° осуществляется гомогенизация двух жидких фаз. При дальнейшем повышении температуры начинается медленное растворение — расплавление твердых фаз. До 350–400° ни в одном случае не наблюдалось растворения твердых фаз. Интервал температур гомогенизации включений составляет 240° — от 740 до 500°.

Ориентировочное давление, подсчитанное нами по давлению CO_2 , имеющей плотность 0,77–0,80 г/см³, и давлению, развиваемому водным раствором (без учета влияния растворенных твердых фаз и взаимодействия жидких), отвечающее 740°, составляет 4500 атм. (± 500 атм.). Ориентировоч-

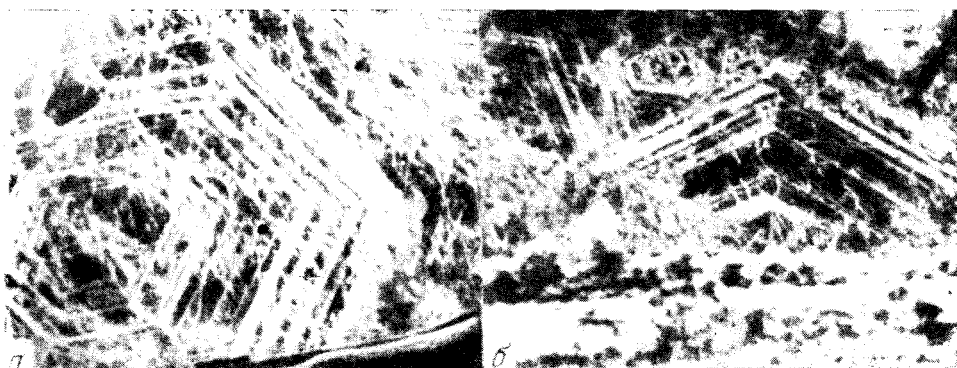


Рис. 1. Зональные кристаллы берилла из топаз-кварц-бериллового прожилка (а) и из кварц-топаз-бериллового грейзена (б)



Рис. 2. Первичные включения растворов-расплавов из центральной (а), средней (б) и внешней (в) зон кристалла

ная плотность гомогенного раствора-расплава (для высокотемпературных включений) составляет $1,75 \text{ г/см}^3 (\pm 0,1 \text{ г/см}^3)$.

3. Минимовторичные включения приурочены к залеченным трещинам, многочисленны, разнообразны по морфологии и фазовым соотношениям. Включения обычно изометричные, частично или полностью ограненные. Фазовый состав: газ (до 20%) + жидкая CO_2 (до 45%) + водный раствор (до 50%) + твердые фазы (до 70% объема включений). Частичная гомогенизация — исчезновение газовой фазы — происходит в интервале $24-28^\circ$. Гомогенизация жидких фаз — в интервале $260-370^\circ$. Полная гомогенизация — растворение твердых фаз — осуществляется аналогично гомогенизации первичных включений. Интервал температур полной гомогенизации $520-740^\circ$.

Образование минимовторичных включений растворов-расплавов связано с резкими охлаждениями кристаллизующейся системы, обусловленными адиабатическими явлениями за счет развития процессов трещинообразования ($12-14$). Содержание твердых фаз во включениях наглядно демонстрирует постепенное уменьшение растворимости силикатов в минералообразующих растворах-расплавах по мере снижения температуры кристаллизации.

На основании кристалломорфологических характеристик кристалликов-узников и определений соотношений фаз в плоских включениях, ориентировочный, весьма приближенный фазовый состав высокотемпературных включений растворов-расплавов может быть представлен в следующем виде: газ (5% объема включений) + жидкая CO_2 (10%) + раствор H_2O (15%) + кварц (15%) + альбит (10%) + берилл (30%) + прочие неопределенные твердые фазы (15%).

4. Вторичные включения распространены довольно широко, разнообразны по морфологии и фазовому составу. Интервал температур гомогенизации от 110 до 370° . Фазовый состав: газ + жидкая CO_2 + водный раствор. Гомогенизация осуществляется в жидкую фазу.

Метасоматический (постмагматический) характер формирования апогранитов установлен ($1, 3, 9$) и др. Количественных данных о температурных условиях процесса формирования апогранитов практически нет. Полученные (14) температуры конечных этапов кристаллизации апогранитов составляют $440-260^\circ$ (цинвальдит-амазонит-альбитовые апограниты). При изучении включений в кристаллах кварца из амазонит-кварцевых и кварцевых жил описываемого массива были получены сравнительно близкие температуры гомогенизации газово-жидких включений: $480-280^\circ$. Поправка за счет давления — с учетом глубины формирования апогранитов 3 км (3) — не превышает 20° .

Как отмечалось, топаз-кварц-берилловые прожилки секут все апикальные зоны и жилные образования массива апогранитов. В свете температурных данных очевидно, что к моменту образования трещины, в которой позже была сформирована топаз-кварц-берилловая жила, температура верхних частей массива не могла превышать 500° . Несомненно также, что кристаллизация берилла (начальные этапы) осуществлялась из растворов-расплавов, имеющих плотность около $1,75 \text{ г/см}^3$, при 740° (минимальная возможная температура начала кристаллизации берилла) и $\sim 4500 \text{ атм}$. В изучавшемся массиве апогранитов на конечных этапах его формирования (температура в массиве не более $500-280^\circ$, литостатическое давление около 750 атм .) кристаллизация топаз-кварц-берилловой жилы при подобных параметрах (740° и 4500 атм .) возможна лишь при существовании прямой связи между полостью трещины — будущей топаз-кварц-берилловой дайкой — и магматическим очагом.

Полная идентичность всех основных характеристик, присущих включениям растворов-расплавов в кристаллах берилла из кварц-топаз-берилловых грейзенов и топаз-кварц-берилловой дайки, однозначно свидетельствует об одновременной кристаллизации берилла в грейзенах и дайке.

Внедрению растворов-расплавов из глубины, по-видимому, предшествовал интенсивный процесс тектонического и контракционного трещинообразования.

Описанный случай формирования дайки объясняет возможность существования необычно высокого (до 5000 атм.) давления в условиях ограниченных глубин.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
20 I 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Беус, А. А. Ситнин, Разведка и охрана недр., № 10 (1960). ² А. А. Беус, Э. А. Северов и др., Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты), Изд. АН СССР, 1962. ³ А. И. Гинзбург, В сб. Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации, М., 1972. ⁴ В. С. Коптев-Дворников, М. Г. Руб и др., В кн. Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса, Изд. АН СССР, 1959. ⁵ А. И. Тугаринов, А. С. Павленко, В. И. Коваленко, Геохимия, № 12 (1968). ⁶ М. В. Кузьменко, Н. А. Акелин, Особенности генезиса субщелочных гранитоидов и связанных с ними альбититов и закономерности распределения в них тантала и ниобия, «Наука», 1965. ⁷ Н. П. Ермаков, Геохимические системы включений в минералах, М., 1972. ⁸ Л. Ш. Базаров, Геология и геофизика, № 8 (1968). ⁹ Ю. И. Темников, Структурные особенности редкометалльных гранитных массивов Вост. Сибири, М., 1972. ¹⁰ Л. Н. Черник, А. С. Бабкин, Зап. Всесоюз. мин. общ., т. 92, в. 2 (1963). ¹¹ Л. Ш. Базаров, Я. А. Косалс, В. И. Гордеева, ДАН, т. 205, № 1 (1972). ¹² Ю. А. Долгов, Геол. и геофиз., в. 15 (1963). ¹³ Ю. А. Долгов, Зап. Всесоюз. мин. общ., в. 1, сер. 2 (1965). ¹⁴ Л. Ш. Базаров, ДАН, т. 165, № 4 (1965).