

МИНЕРАЛОГИЯ

Г. Г. ЛЕММЛЕЙН и М. О. КЛИЯ

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ОТЛОЖЕНИИ ВЕЩЕСТВА КРИСТАЛЛА
НА СТЕНКАХ ПОЛОСТИ ЖИДКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ**

(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 13 XII 1951)

Вопрос о концентрации водных растворов, из которых в гидротермальную стадию пегматитового процесса происходила кристаллизация кварца, полевых шпатов, топаза, берилла, турмалина и других минералов, имеет первостепенное принципиальное значение для понимания природы эволюции пегматитового процесса. На этот счет существует две взаимно противоположные точки зрения. Одна предполагает выделение пегматитовых минералов из высококонцентрированных растворов без существенной их смены лишь в результате постепенного падения температуры. Эта эволюционная идея была высказана А. Е. Ферсманом ⁽¹⁾ на основании сопоставления обширного материала минералогических наблюдений над пегматитовыми месторождениями. Другая точка зрения считает, что выделение таких минералов, как кварц, полевой шпат, топаз и пр., происходило из растворов с небольшой концентрацией веществ, входящих в состав этих минералов, в результате продолжительного протекания раствора и непрерывной замены истощенного раствора свежим. Впрочем, существуют и промежуточные представления.

Одним из доказательств необходимости смены истощенного раствора обычно приводится малая растворимость кремнезема в чистой воде. Странным образом при этом забывается, что сейчас, благодаря изучению жидких включений в минералах, мы знаем, что выделение кварца, топаза и других трудно растворимых в чистой воде минералов происходило из водного раствора, весьма насыщенного щелочногалоидными солями, карбонатами, боратами и содержащего значительный процент свободной угольной кислоты. Совершенно очевидно, что этот весьма концентрированный сложный растворитель, который был удачно назван Н. П. Ермаковым «гидротермальной рапой» ⁽²⁾, несомненно должен был вести себя при повышенных температурах и давлениях совсем иначе, чем чистая вода.

Поскольку несомненно, что жидкие включения в минералах — консервированные остатки среды, из которой происходила их кристаллизация, лучшее и, пожалуй, единственно убедительное доказательство в пользу той или иной из вышеназванных точек зрения может быть найдено лишь при детальном изучении самих жидких включений и состава их содержимого. Одним из нас ⁽³⁾ было предложено первое такое доказательство, которое усматривалось для некоторых высокотемпературных включений в кварце и топазе в зубчатом, кристаллографически неравновесном контуре стенок включения, вокруг которого обнаруживалась замкнутая былая граница включения. Однако вскоре было высказано

сомнение в том, что внутренний зубчатый контур полости включения возник за счет отложения вещества кристалла из полностью изолированного во включении раствора (4). Далее предполагалось, что отложение происходило постепенно из сменявшегося раствора еще до замыкания полости включения. Впрочем, очевидно, из осторожности признавалась возможность отложения незначительного, названного «оболочкой», слоя вещества на стенках полости и из замкнутого во включении раствора.

Не возвращаясь сейчас к вопросу о причинах появления зубчатых контуров включения и происхождения каймы вокруг некоторых включений, мы остановимся на совершенно новых данных, убедительно доказывающих, что из полностью изолированного маточного раствора на стенках полости включений в топазе даже после значительного снижения температуры еще выделялось заметное количество вещества топаза.

Наши наблюдения сделаны над вторичными жидкими включениями в топазах из пегматитов. Газовый пузырек в этих включениях при комнатной температуре занимает около $\frac{1}{3}$ объема всей полости включения. Значительную часть полости занимают кристаллики нескольких твердых фаз, выпавших из заключенного раствора и при осторожном нагревании в определенной очередности вновь переходящих в раствор (рис. 1, А на вклейке). К определению этих твердых фаз мы еще вернемся впоследствии специально. Пока достаточно лишь указать, что, помимо нескольких легко растворимых твердых фаз, во всех включениях этой серии наблюдаются также трудно растворимые и, в частности, олигоклаз, присутствие которого установлено нами прямыми определениями. Полной гомогенизации содержимого включений достигнуть не удастся, так как уже при 400—450° они обычно взрываются. Гомогенизация, повидимому, должна была бы наступить выше 500°.

Опыты нагревания велись на сконструированном нами обращенном нагревательном микроскопе при регистрации изменений во включении с помощью покадровой микрокиносъемки. Для наблюдений мы остановились на включениях, имеющих сильно уплощенную форму, образовавшихся в результате залечивания трещины (5, 6), параллельной плоскости спайности в топазе по (001). В таких включениях газовый пузырек при комнатной температуре имеет форму плоского диска (рис. 1, В). При их нагревании было замечено, что при температурах 180—200° пузырек газовой фазы, сжимаясь, обнаруживает под собой круглое углубление в виде плоской лунки (рис. 1, В). В некоторых включениях удается обнаружить две, три и даже более слегка смещенных друг относительно друга эксцентрических лунок (рис. 2), отличающихся по своему диаметру. Углубления соответствующей формы обнаруживаются и под некоторыми кристалликами твердых фаз, выделившихся из капсулированного раствора. Нам удалось во взорвавшихся в результате перегрева препаратах найти как верхние, так и нижние стенки изучавшихся нами включений. Одинаковые лунки на соответствующих местах, одна против другой, были обнаружены на обеих стенках включений (рис. 3, А, Б).

Иногда пузырек газа оказывается сдвинутым с лунки надвинувшимися на него кристалликами легко растворимых твердых фаз, выпадающих из раствора. В этом случае край лунки виден и при комнатной температуре (рис. 2). Обычно же при комнатной температуре широкий темный контур пузырька газа полностью скрывает под собой всю окружность лунки.

Трудно видеть в описанных лунках, наблюдаемых под газовым пузырьком, что-либо иное, чем результат отложения вещества кристалла на всех стенках полости включения, за исключением круглых участков, заблокированных газовым дискообразным пузырьком, или участков под кристалликами некоторых трудно растворимых твердых фаз. Никакого сомнения не может быть в том, что это выделение вещества кристалла

происходило после полной изоляции раствора в капсулированной полости включения, поскольку лунки отмечают отложение вещества вокруг пузырька газовой фазы, само появление которой во включении в нормальных условиях возможно лишь после замыкания системы и некоторого ее охлаждения. Кстати, момент, когда вещество топаза перестало выделяться и раствор практически истощился, повидимому, зарегистрирован внешним диаметром лунки, соответствующим совершенно определенному объему газовой фазы, т. е. совершенно определенной температуре. Температура эта была во всяком случае несколько ниже 200°.

Конечно, чрезвычайно важно было хотя бы приближенно определить количество вещества, выделившегося из замкнутой в полости включения порции раствора. Это оказалось возможным сделать с достаточной точностью на образцах, у которых включения вскрыты тем или иным путем. На топазе такое вскрытие облегчается наличием весьма совершенной спайности. Для нахождения приближенного значения процентного отношения количества выделившегося вещества к количеству заключенного раствора достаточно, для изучавшихся нами сильно уплощенных включений, измерить толщину слоя вещества, выделившегося на базальных гранях полости, не блокированных пузырьком газовой фазы, и толщину слоя раствора в уплощенном включении, т. е. высоту полости этих включений. Найденный таким образом процент выделившегося вещества будет во всяком случае несколько ниже действительного, поскольку к нему необходимо прибавить еще долю вещества, отложенного на периметрических боковых гранях полости. Однако обнаружить при рассмотрении с торца, а тем более измерить тонкий слой, выделившийся на вертикальных стенках полости включения, конечно, невозможно, поскольку его граница полностью маскируется оптическими явлениями.

Наши измерения мы провели на препарате, который в результате взрыва от перегрева раскололся по спайности на две плоские половинки. При этом трещина раскола вскрыла несколько включений, расположенных в плоскости одной залеченной трещины, параллельной спайности. Высота полости включения определялась измерением глубины обеих разделенных трещиной половинок полости. Измерение глубины производилось под микроскопом с 90× объективом (увеличение 630 раз) по разнице отсчетов микрометричного винта при фокусировке на дно полости и на спайную поверхность трещины у края полости. Точность такого измерения обычно не более 0,5 μ. В табл. 1 мы приводим средние значения из 10 измерений. Высоты изученных нами четырех полостей оказались в пределах 24—40 μ.

Таблица 1

Измерения высоты включений и глубины лунок

№	Высота 1-й половины включения в μ	Высота 2-й половины включения в μ	Высота полости включения в μ	Глубина лунки 1-й половины включения в μ	Глубина лунки 2-й половины включения в μ	Суммарная толщина отложенного слоя в μ	Прогн. отношение толщины отложенн. слоя к высоте включения
1	17,8	9,2	27,0	0,24	0,24	0,48	1,79
2	19,4	21,2	40,6	0,54	0,57	1,11	2,74
3	21,8	17,0	38,8	0,27	~ 0,27	~ 0,54	1,39
4	14,6	9,6	24,2	~ 0,22	0,22	~ 0,44	1,83

Измерение глубины лунок и тем самым нахождение толщины слоя вещества, отложенного на базальных гранях полости включения, производилось микроинтерферометрическим методом. В свете зеленой линии ртути ($\lambda = 546 \text{ м}\mu$) под микроскопом фотографировалась картина одно-

кратной интерференции от поверхности базальной грани полости включения (рис. 3 и 4). Глубина лунки определялась по смещению полос интерференции у борта лунки. Так как бортовые стенки лунки достаточно пологи, то обычно удается проследить ход полосы и по бортовой стенке лунки. Точность измерений этим методом в условиях нашего опыта составляет около 0,1 ширины полосы, что соответствует для длины волны зеленой линии ртути около 0,03 μ . Интерферометрические измерения показали, что на базальных гранях изученных включений за пределами лунок отложился слой от 0,22 до 0,57 μ .

Из табл. 1 видно, что сумма толщин слоев, отложенных на обеих базальных гранях полости включения, составляет около 2% от высоты самой полости или, что то же, от толщины слоя раствора в уплощенном включении. Следовательно, до 2 объемн. % вещества топаза находилось еще в растворенном состоянии при сравнительно невысоких температурах, когда пузырек газовой фазы во включении занимал объем, отмеченный контурами лунки, образование которой было вызвано блокирующим действием этого пузырька.

Таким образом, приведенные нами новые наблюдения над жидкими включениями в топазах из пегматитов с несомненностью показывают, что из замкнутой порции раствора с понижением температуры происходило выделение заметных количеств вещества топаза, свидетельствующее о значительной концентрации гидротермальных растворов, продолжающих «чистую, линию» пегматитового процесса.

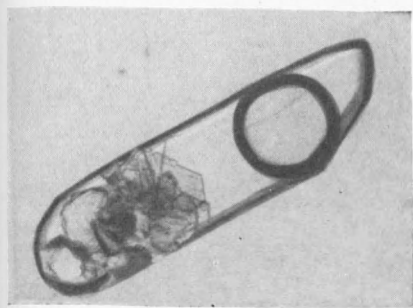
Можно не сомневаться, что подобные же следы отложения растворенного вещества на местах, не заблокированных пузырьком газовой фазы, будут обнаружены и во включениях топазов из других месторождений, а также и во включениях других минералов. Но необходимо помнить, что увидеть эти следы можно только на стенках достаточно уплощенных включений, у которых значительная часть поверхности блокируется сплюснутым пузырьком газовой фазы, что и создает специфические условия для обнаружения отложенного слоя и измерения его высоты. Конечно, и во включениях, имеющих изометричные формы, также происходило отложение вещества на стенках полости, но пузырек газовой фазы, имеющий в них форму шара, не касался стенок полости и не мешал отложению на них вещества кристалла при охлаждении. В таких включениях блокирующую роль иногда могли играть только выпавшие кристаллики трудно растворимых твердых фаз. Однако обнаружить и измерить углубления под этими кристалликами удается только в исключительных случаях.

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

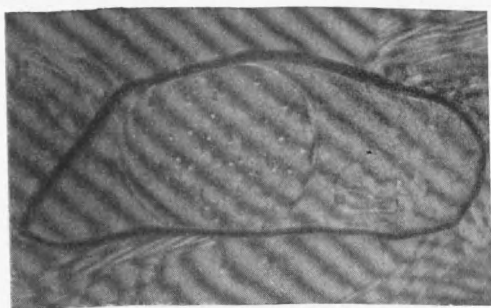
Поступило
12 XII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Е. Ферсман, Пегматиты, 1, 1931. ² Н. П. Ермаков, Минералог. сборн. № 3 Львовск. геол. об-ва. Прилож. 1, 1949. ³ Г. Г. Леммлейн, ДАН, 72, 775 (1950). ⁴ Н. П. Ермаков, Исследования минералообразующих растворов, Харьков, 1950, стр. 146. ⁵ Г. Г. Леммлейн, Zs. Krist., 71, 237 (1929). ⁶ Г. Г. Леммлейн, ДАН, 78, 685 (1951).



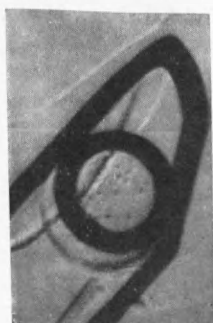
А



А

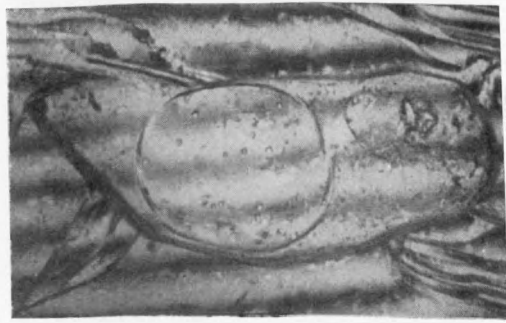


Б



Б

Рис. 1. А — жидкое включение в топазе с несколькими твердыми фазами, снято при комнатной температуре; $\times 120$. Б — деталь включения А при комнатной температуре. В — то же при 420° .



Б

Рис. 3. Микроинтерферометрическая картина поверхности базальной грани полости включения № 1. А — первая половина полости, Б — вторая половина. Снято в зеленой линии ртути ($\lambda = 546 \text{ м}\mu$). $\times 100$

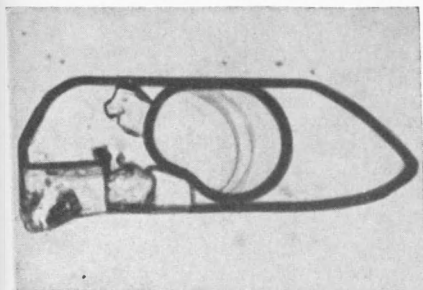


Рис. 2. Включение в топазе с несколькими лунками под сдвинутым в сторону газовым пузырьком. Снято при комнатной температуре. $\times 300$

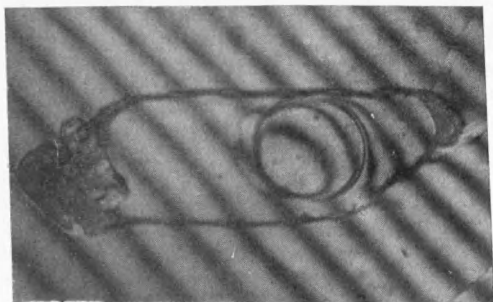


Рис. 4. Микроинтерферометрическая картина, обнаруживающая следы нескольких последовательных положений газового пузырька. $\times 170$