

МИНЕРАЛОГИЯ

Г. Г. ЛЕММЛЕЙН

**О СООТНОШЕНИИ СОВРЕМЕННОГО И ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО
ОБЪЕМОВ ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МИНЕРАЛАХ**

(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 5 IV 1950)

Исходя из соотношений между объемами жидкой и газовой фаз во включениях в минералах, в последнее время делаются попытки рассматривать их как своеобразные геологические термометры (¹, ²). Температура, при которой в опытах нагревания происходит гомогенизация содержимого включения (исчезновение пузырька и растворение выпавших из раствора кристалликов), отождествляется, в первом приближении, с температурой образования включения и с температурой образования всего кристалла или, точнее, данного участка его. Делаются также попытки определения этой температуры путем расчета, исходя из относительных объемов жидкой и газовой фаз при комнатной температуре. Впрочем, сейчас, учитывая влияние давления, принимается, что наблюдаемая температура гомогенизации включения во всяком случае ниже температуры образования.

В настоящей и последующих работах мы постараемся осветить некоторые особенности морфологии и образования включений в минералах, которые необходимо учитывать в опытах определения температуры гомогенизации содержимого включения.

В свое время мы рассмотрели механизм образования и морфологию первичных и вторичных жидких включений в кристаллах (³). Первичные включения образуются во время роста кристалла, а вторичные — в результате залечивания трещин в нем. При этом образование и залечивание трещин, т. е. образования вторичных жидких включений в кристалле может происходить еще во время роста кристалла из того же раствора и при той же температуре. Но трещины могли возникнуть и залечиваться и позже растворами последующих генераций, уже при иных условиях образования. Таким образом, надо подчеркнуть еще раз, что включения, по своему происхождению и морфологии являющиеся вторичными, часто могут иметь содержимое, отвечающее растворам первичной генерации минерала. Во всяком случае, современное исследование включений немыслимо без четкого определения их первичного или вторичного происхождения. К сожалению, это не всегда отчетливо проводится, в особенности в последних американских работах.

Сейчас мы хотим показать, что объем полости включения, заполненного маточным раствором, наблюдаемый при комнатной температуре, не отвечает и не может отвечать объему полости в момент и при температуре образования. Современная форма включения также большей частью не соответствует форме полости в момент ее изоляции.

Неизбежность сокращения первоначального объема полости следует из простых, но, странным образом, почти не учитывавшихся до сих пор соображений о том, что с падением температуры из включенного ма-

точного раствора должно происходить отложение вещества включающего кристалла на стенки полости, а тем самым должно происходить и сокращение объема полости. При высоких температурах образования и значительной минерализации раствора растворимость вещества включающего кристалла (в исследованиях чаще всего применяется кварц) может быть весьма значительна, а следовательно, и разница между первоначальным объемом при комнатной температуре вполне ощутимой.

Заклучение о высокой концентрации растворов косвенно можно было сделать и из факта залечивания трещины проникшими в нее растворами. В большинстве случаев обновление раствора извне было затруднено из-за капиллярной толщины трещины, и весь материал, отлагавшийся при залечивании, должен был черпаться из объема раствора, изначально проникшего в трещину. Объем вторичных включений, т. е. объем оставшегося растворителя, часто менее половины объема всей залеченной трещины. Это, с нашей точки зрения, свидетельствует о необычайно высокой концентрации залечивающего раствора. Вопрос о соотношении между объемом трещины и объемом оставшегося во вторичных включениях растворителя нуждается в специальном исследовании.

Целью настоящей работы было обнаружить следы первоначальных границ полости включения, по которым можно было бы судить об изменении ее объема и формы в результате отложения и переотложения вещества на стенках полости после ее изоляции. Конечно, обнаружить эти бывшие границы можно далеко не всегда и только применяя специальные методы наблюдения.

Можно было думать, что включения, образовавшиеся при высоких температурах, т. е. с очень крупным пузырьком газа, дают больше надежд обнаружить бывшие границы включения. Действительно, нам удалось обнаружить два примера, где такие границы достаточно отчетливо видны вокруг высокотемпературных включений в кварце и в топазе из пегматитов. В обоих случаях это вторичные включения, расположенные в залеченных трещинах.

Включения в кварце расположены в залеченной трещине, почти параллельной грани призмы (10 $\bar{1}$ 0). Хорошо развитая изометричная форма «отрицательного кристалла» — полости говорит о существенном метаморфизме первоначальной формы вторичного включения. Пузырек, хорошо видимый только при боковом освещении на темном поле, занимает свыше 50% объема полости.

Следы бывших границ включения особенно отчетливо обнаруживаются также при темнопольном освещении. Они заметны обычно только над обеими вершинами «отрицательного кристалла» в виде голубоватой сгущенной группы весьма дисперсных неопределимых включений, повторяющей современные очертания включения на некотором от него расстоянии (см. рис. 1, а). Однако эти следы не всегда концентричны относительно современных очертаний включения, а чаще смещены в сторону или к одной из вершин «отрицательного кристалла» современной полости. В проходящем свете (рис. 1, б) эти «колпачки» над вершинами «отрицательных кристаллов» вследствие дисперсионного эффекта кажутся бурыми. При больших увеличениях видны отдельные частицы, образующие сгущение.

Описанные следы бывших границ включения свидетельствуют, что объем включения в результате отложения кварца на стенках уменьшился почти на 25%. Однако форма включений, которую сохранили эти следы, была также изометричной и правильной, т. е. отложению вещества кварца на стенках и уменьшению объема полости включения с падением температуры предшествовал процесс переотложения вещества без существенного изменения объема при высокой, возможно длительно

неизменной, температуре, что и привело к изометричным формам включений, сохранным описанными следами.

Другой пример былых границ жидкого включения удалось обнаружить в кристалле топаза. В выбитом по спайности куске наблюдается множество включений, приуроченных к нескольким системам залеченных трещин. Включения разных трещин иногда существенно отличаются друг от друга. В одних наблюдаются, как обычно, жидкость и газ, в других, кроме них, имеются выпавшие кристаллики нескольких твердых фаз. Причем соотношения объемов жидкости и газа также сильно варьируют во включениях разных трещин, что свидетельствует об их одновременном образовании, при различных температурах.

Для наблюдений были выбраны крупные (около 0,5 мм) включения с максимальным объемом газовой фазы (до 70%). Форма этих включений очень своеобразна (см. рис. 2). При довольно неправильных, продолговатых очертаниях они имеют одну общую черту — зубчатые контуры.

В проходящем свете, при одностороннем освещении поля (при сдвинутой диафрагме) удастся обнаружить окружающую все включение кайму. Граница этой каймки видна в особенности при некоторой дефокусировке, благодаря наличию незначительной разницы в показателях преломления кристалла и слоя топаза, отложившегося из содержимого включения при охлаждении. В некоторых случаях вокруг включения удастся увидеть две такие последовательные былые границы. Далеко не всегда удастся увидеть границы со всех сторон, в особенности около коротких сторон, где границы, повидимому, идут наклонно, а не перпендикулярно к плоскости препарата, и поэтому не могут быть обнаружены. В отличие от современной формы полости, былые границы не имеют зубчатых контуров. Очевидно, зубчатые контуры, своеобразная скелетность появились как результат отложения вещества при быстром падении температуры. Позднейшие процессы уже не могли переотложить вещества и придать правильные очертания включению. Неравновесная скелетная форма полости включения оказалась «замороженной».

Современный объем полости включения процентов на 20 менее объема, отмеченного второй, внешней границей. Наблюдение этих былых контуров включения в описанных условиях удается только при весьма тщательной установке освещения. Фотографирование их представляет исключительные трудности, вследствие необходимости создать большую неравномерность в освещенности поля зрения.

Какие же следствия из этих наблюдений должны вытекать для геологической термометрии? Надо заметить прежде всего, что, очевидно, уменьшение в той или иной мере объема полости включения с падением температуры вследствие отложения вещества на стенках полости должно происходить во всех включениях маточной среды.

Во-первых, при определении температуры образования путем расчетов, исходящих из относительных объемов жидкой и газовой фаз, необходимо учитывать растворимость стенок полости. Эта поправка будет тем больше, чем выше была температура образования и чем больше растворимость вещества, содержащего включение. Надо думать, что эта поправка будет существенно зависеть и от состава включенного раствора.

Во-вторых, в более достоверном методе определения геологических температур, при котором путем нагревания достигается гомогенизация содержимого включения, следует учитывать принципиальное отсутствие инертности стенок по отношению к включенному раствору. С нагреванием стенки полости должны растворяться. Однако достижение равновесия между содержимым в полости раствором и стенками полости не может происходить мгновенно. Далее должно происходить выравнивание состава содержимого включения путем диффузии растворяемого

вещества от стенок полости к ее середине. Таким образом, время, необходимое для наступления равновесия при каждой данной температуре, в системе включенный раствор — стенки полости будет зависеть от размеров включения и коэффициента диффузии, зависящего, как известно, от температуры, природы растворителя и, для концентрированных растворов, от концентрации.

Учитывая все это, нагревание включений должно вестись с такой, пока неизвестной скоростью, чтобы состав раствора успевал выравниваться во все время опыта. Иначе гомогенизация включения может наступить ранее установления равновесия между раствором и стенками полости, т. е. гомогенизация произойдет в объеме меньшем, чем он был в действительности в момент образования. Температура же гомогенизации раствора при этом еще не равновесном объеме будет принята ошибочно за температуру образования, в действительности более высокую. Величину этой ошибки мы сейчас учитывать не будем, во всяком случае для высокотемпературных включений она будет весьма значительна.

Особые опасения вызывают попытки определения геологических температур по методу растрескивания ⁽⁴⁾. В этом методе учитывается по ходу нагревания число взрывов, получающихся в результате давления расширяющейся жидкости во включениях. Учет температуры, времени и числа взрывов может быть автоматизирован до конца. Однако в этих опытах, при которых нагревание от комнатной температуры до нескольких сот градусов достигается обычно в несколько минут, конечно, не может наступить действительного равновесия между включенным раствором и включающим кристаллом. Следовательно, заполнение полости и взрыв наступят раньше, т. е. при более низких температурах.

Наблюдениями под микроскопом образцов, выдерживаемых при температуре, близкой к температуре гомогенизации, должно быть найдено время, необходимое для установления равновесия между раствором и стенками, а отсюда и темпы нагрева, которые можно задавать в автоматизированном приборе для определения геологических температур по методу растрескивания.

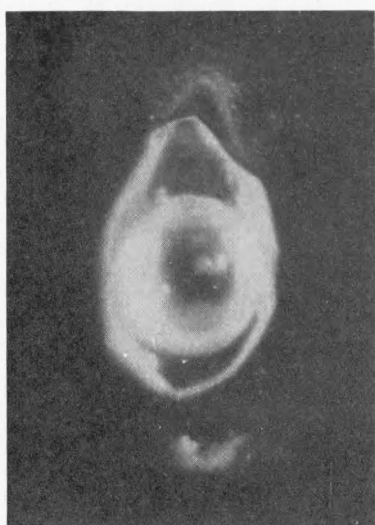
Кроме выводов, имеющих частное значение для геологической термометрии, описанное наблюдение может оказаться весьма существенным и при решении вопросов о генезисе месторождений таких минералов, как кварц, топаз, берилл и др. Наглядное доказательство высокой концентрации питающей среды, которое мы имеем в факте залечивания капиллярных трещин и в особенности в появлении обнаруженных нами каемок отложившегося вещества на стенках полости включения, еще раз подтверждает возможность кристаллизации друзовых минералов в пегматитовых жилах, а также, повидимому, и в жилах альпийского типа из несменяемой порции весьма концентрированных растворов за счет падения температуры.

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

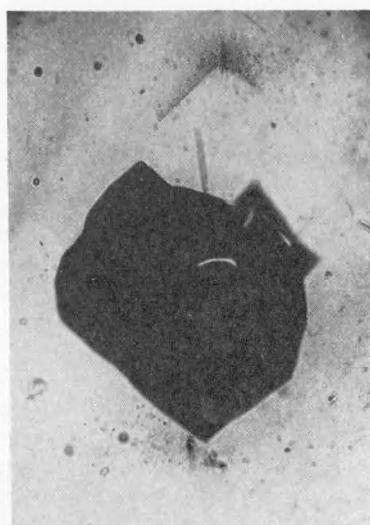
Поступило
3 IV 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. П. Ермаков, Минерал. сборник Львов. геол. об-ва, № 3 (1949).
² E. Ingerson, Am. Mineral., 32, 375 (1947). ³ Г. Г. Леммлейн, Zs. Krist., 71, 237 (1929). ⁴ P. A. Peach, Am. Mineral., 34, 413 (1949).



a



б

Рис. 1. *a* — вторичное включение в кварце из пегматитов. Снято при боковом освещении. Следы бывших границ включения видны в виде „колпачков“ около вершин отрицательного кристалла. *б* — такое же включение. Снято в проходящем свете. $\times 100$

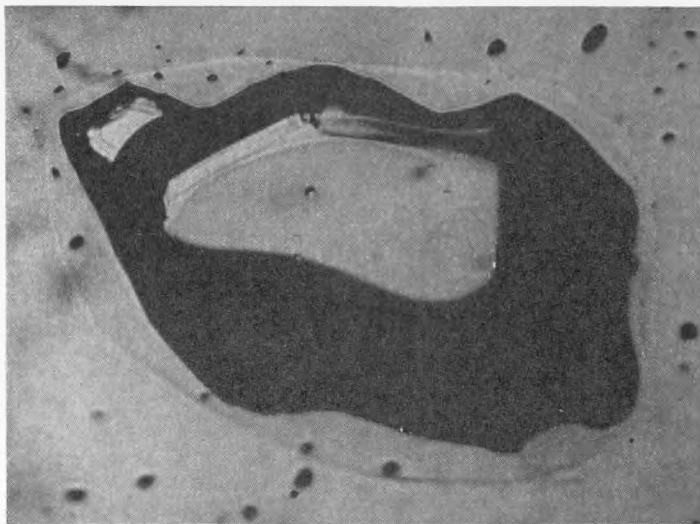


Рис. 2. Вторичное включение в топазе из пегматитов. Снято в проходящем свете со сдвинутой диафрагмой. $\times 100$. Вокруг современных очертаний включения видна бывшая его граница, заметная благодаря некоторому отличию показателя преломления выросшего слоя