

Д. К. ВОЗНЯК, Вл. А. КАЛЮЖНЫЙ

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФОРМЫ ВКЛЮЧЕНИЙ В МИНЕРАЛАХ  
ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СОСТАВ  
ИЗОЛИРОВАННОГО В ВАКУОЛЯХ МАТОЧНОГО РАСТВОРА  
(НА ПРИМЕРЕ ТОПАЗА ИЗ ВОЛЫНИ)**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 12 VI 1972)

Возникающие в процессе кристаллизации очень тонкие трещины в минералах, заполненные маточным раствором, являются неравновесными системами, обладающими избытком поверхностной энергии. Изолированные при залечивании их участки самопроизвольно преобразуются в полости-включения более устойчивой, равновесной формы. Идеальной, обладающей минимумом энергии, является для них форма отрицательного кристалла, т. е. ограниченной полости, элементы морфологии которой соответствуют (с учетом симметрии) <sup>(1)</sup> кристаллографическим формам минерала-хозяина, образовавшегося в условиях равновесия с тем же маточным раствором. Изоляция раствора в залечивающихся трещинах происходит вследствие отшнуровывания его балками дендритов, развивающихся одновременно во многих местах полости трещины.

Эти положения кратко резюмируют важные обобщения Г. Г. Леммлейна по экспериментальным и теоретическим исследованиям преобразования трещин в легко растворимых солях <sup>(2-4)</sup>. Автор иллюстрирует свои выводы примерами преобразования полостей в трещинах различных минералов. Однако для вторичных включений в топазе, окруженных своеобразными каймами, отделенными от основной части минерала едва заметными световыми полосками (рис. 1), он предполагает несколько иные причины преобразования. Световые полоски, по мнению Г. Г. Леммлейна, — бывшие контуры включения, а вещество сравнительно широких каемок отложено из раствора включения после консервации в результате быстрого падения температуры. Зубчатые контуры полости объясняются скелетной кристаллизацией топаза внутри включения. Такие изменения в изолированном пространстве полости возможны только при очень больших концентрациях вещества топаза в растворе включений. Последнее более вероятно в условиях высоких температур и давлений, возможно достигающих, как сообщалось <sup>(5)</sup>, 700° и 2600 атм.

Нами детально изучены вторичные (расположенные в плоскости спайности минерала) и первичные включения в нескольких десятках кристаллов топаза из волыньских пегматитов. Наблюдения под микроскопом производились в проходящем свете при сдвинутой диафрагме. Отдельные включения просматривались и документировались в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (препараты изготовлялись по спайности и перпендикулярно ей). В связи с тем что на фотографиях не всегда четко выделялась световая полоска, ее контуры на некоторых прилагаемых рисунках наведены тушью. Результаты, полученные нами, следующие.

1. Современная полость включения ограничена ровными или зубчатыми поверхностями, измерение двухгранных углов между которыми и по отношению к плоскости оптических осей (010) на столике Федорова в ориентированных препаратах позволило произвести их диагностику. Наиболее часто «зубчатые» поверхности отвечают граням  $b(010)$ ,  $M(110)$ ,

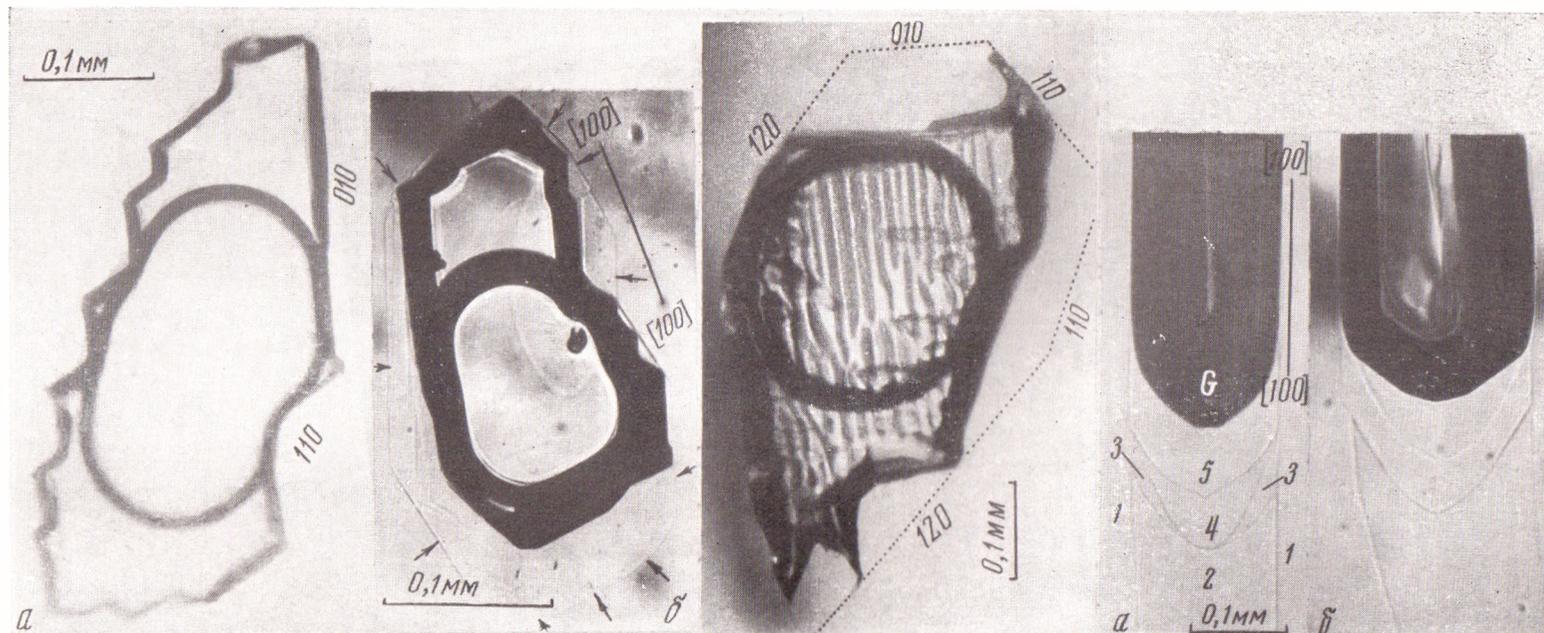


Рис. 1

Рис. 1. «Зубчатые» контуры современной полости рапшевторичных жидко-газовых включений, вокруг которых наблюдаются световые полоски (показано стрелками). Плоскость рисунков  $\parallel$  (001) топаза

Рис. 2

Рис. 2. Фигуры растворения на плоскости (001) полости жидко-газового рапшевторичного включения

Рис. 3

Рис. 3. Соотношение между световыми полосками вокруг первичного жидко-газового включения, находящегося в былой плоскости (011) топаза. Показана лишь часть включения, его газовая фаза. *a* — вид в плоскости (001); *b* — вид со стороны (010). Показатели преломления связаны между собой следующим образом:  $n_4 \geq n_1 \geq n_3 > n_2$ ;  $n_1 > n_5$

реже —  $l(120)$  и очень редко —  $g(130)$ . В некоторых включениях, наиболее приближающихся к отрицательным кристаллам, фиксируются грани  $f(011)$ ,  $u(112)$ ,  $p(102)$ ,  $o(111)$ . Плоскость  $c(001)$  наиболее широко представлена во вторичных включениях. Она иногда покрыта своеобразными неровностями, представляющими собой, по-видимому, следы растворения; удлинение их совпадает с  $[010]$  (рис. 2). Сходный вид и такое же удлинение имеют формы природных фигур травления на спайной плоскости топаза. Измеренные на двукружном гониометре такие углубления имеют хорошо выраженные грани, близкие к  $w(104)$  и  $D(015)$ . Пределы измеренных значений  $\rho$  этих граней соответственно равны  $23^{\circ}30'$  и  $10^{\circ}00' - 11^{\circ}30'$ ; достаточно четкие отражения дают и другие грани ( $\varphi=0^{\circ}$ ,  $\rho=7-8^{\circ}$ ;  $\varphi=90^{\circ}$ ,  $\rho=28-29^{\circ}$ ).

2. Световые полосы вокруг включений, расположенных в плоскости спайности, совпадают с гранями  $b(010)$ ,  $M(110)$ ,  $l(120)$ ,  $g(130)$ . Иногда в ограниченных ими каймах наблюдаются световые полосы волнообразного или зубчатого вида, отвечающие, по-видимому, промежуточному расположению полости включения.

3. Каймы более низкопреломляющего топаза (разница  $\Delta n < 0,001$ ) наблюдаются вокруг включений (от более ранних к поздним)\*: а) первичных многофазовых, твердая фаза которых представлена ксеногенными минералами, составляющими 0—90% объема вакуоли; б) ранневторичных жидко-газовых, наполнение раствором которых 40—45%; в) ранневторичных (?) многофазовых, содержащих растворимые минералы-узники<sup>(8)</sup>. Наибольшие масштабы развития и частота встречаемости каемок характерны для первичных включений, меньшие — для ранневторичных и незначительные — для наиболее поздних многофазовых включений с минералами-узниками. Объем топаза, обособленного световой полоской вокруг включений одного типа (находящихся в одной и той же зоне или залеченной трещине), может колебаться в очень широких пределах и составлять 0—200% (реже до 500%) объема современной полости включения. Встречаются случаи обособления двух или нескольких первичных включений одной общей световой полоской. Иногда вокруг одного включения есть несколько световых полосок.

4. В препаратах, изготовленных по спайности топаза, современная полость включения может не соприкасаться с основным веществом минерала, и тогда световая полоска непрерывно опоясывает полость. Это отмечалось раньше<sup>(9)</sup>. Перерывы в окаймлении (послужившие поводом для иного объяснения кристаллизации низкопреломляющего топаза, а именно — застойными условиями не полностью изолированной вакуоли<sup>(10)</sup>) нередко расположены в нескольких, часто взаимно противоположных местах полости включения.

5. В препаратах, изготовленных нормально к спайности, современная полость всегда выходит за пределы топаза, обособленного световыми полосками. Грань  $c(001)$  полости как бы «упирается» в основное вещество топаза, а если включение близко к равновесной форме отрицательного кристалла — также и грань  $u(112)$ ,  $o(111)$ ,  $f(011)$  (рис. 4).

6. Установлено, что кристаллизация топаза и образование описываемых включений происходили при температурах  $370-415^{\circ}$  в условиях вскипания минералообразующего раствора<sup>(8, 11)</sup>; давление не было выше критического для раствора данной концентрации.

Перечисленные факты указывают на то, что кристаллизация более низкопреломляющегося топаза, окаймляющего жидкие включения, происходила в изолированном пространстве полости (п. 4) за счет переотложения минерала, переходящего в раствор в основном с плоскости  $c(001)$  (пп. 1, 5) на грани дендритовидных выступов  $b(010)$ ,  $M(110)$ ,  $l(120)$ .

\* Относительный возраст включений определялся методом перенаполнения<sup>(6, 7)</sup>.

Концентрация топаза в растворе включения была не очень высокой, так как минералообразование происходило при умеренных значениях  $T$  и  $P$  (п. 6), а резкий разбой в соотношениях объемов новообразованного топаза и современной полости вакуоли (п. 3) не говорит в пользу обязательного выпадения эквивалентного изолированному объему раствора количества вещества твердой фазы. Кроме физико-химических параметров, особое значение имела длительность процесса, что и отразилось на разной степени преобразованности одновременных включений (п. 3).

Таким образом, залечивание трещин и преобразование возникающих в них включений — процесс сложный и многообразный. Совершенно оче-

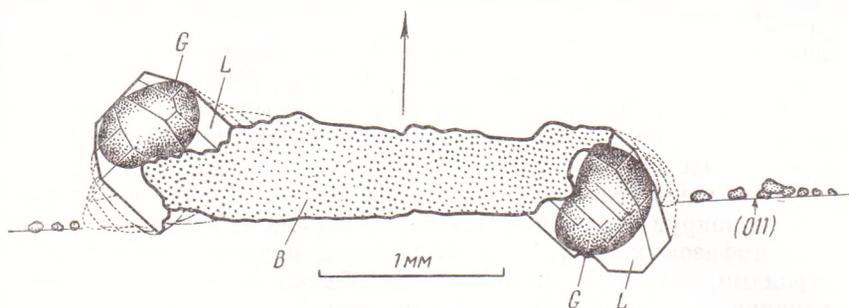


Рис. 4. Схематическая зарисовка первичного многофазового включения с ксеногенными твердыми фазами (B), находящегося в слоях нарастания (011) топаза. Вид со стороны (100). Световые полосы отображают эволюцию формы вакуоли

видно, что установленные Г. Г. Леммлейном закономерности преобразования включений в легкорастворимых солях полностью применимы и для топаза, и не обязательно предполагать особые условия быстрого скелетного роста и «замораживания» кристаллов зубчатой формы в результате резкого пересыщения очень концентрированного по отношению к топазу раствора при быстром спаде температуры. Процесс этот продолжался последовательно в несколько этапов. Дендритное зарастание капиллярной трещины в первый этап происходило сравнительно быстро, подобно тому, как очень быстро развиваются дендриты в выклинивающейся части трещины в легкорастворимой соли<sup>(2)</sup>. Ему соответствовало разделение полости тонкой трещины на изолированные включения, ограниченные прямыми участками смыкающихся дендритов. Последние и создали правильное ограничение контуров полости, отмеченных теперь внешними световыми полосками. Далее происходило перетолжение вещества в замкнутом пространстве (2-й этап). Но и опять центры роста возникали в нескольких местах неравновесной уплощенной полости включения, вследствие чего происходило зарождение и рост дендритоподобных индивидов, создающих картину «зубчатых» ограничений. Об этом свидетельствуют промежуточные зубчатые световые полоски внутри топаза окаймления. Второй этап, однако, происходил в условиях падающей температуры и увеличения толщины полости включения, резко снижающих скорость роста дендритоподобных выступов<sup>(2)</sup>. Кристаллизация их практически совершенно прекратилась позже, не позволив прийти полости включения к равновесной форме отрицательного кристалла. На общем фоне преобразований на пути достижения такой совершенной формы полости могут проявиться временные изменения физико-химических параметров минералообразующей системы, такие как повышение температуры и пр. О них сообщалось нами раньше<sup>(12)</sup>. Они же, по-видимому, отразились на нарушении последовательности изменения показателя преломления топаза, как показано на рис. 3.

Разница в составе топаза, обособленного световыми полосками и на-

ходящегося вне такого обособления, является результатом переотложения его в неодинаковых термодинамических условиях. Так как вещество топазовой каймы не точно соответствует составу основного кристалла, а преобразование формы включения происходит в полностью изолированном объеме, химический состав первично захваченного кристаллом раствора должен измениться. Происходящая при снижении температуры кристаллизации более обогащенного фтором топаза (<sup>13</sup>), по-видимому, сопровождается переходом определенного количества ионов (ОН)<sup>-</sup> в раствор включения. Подобное изменение раствора включения может происходить и в других минералах переменного состава.

Институт геологических наук  
Академии наук УССР  
Киев

Поступило  
6 VI 1972

Институт геологии и геохимии горючих ископаемых  
Академии наук УССР  
Львов

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Н. Войцеховский, В. А. Мокриевский, Зап. Всесоюзн. мин. общ. 94, 1, 71 (1965). <sup>2</sup> Г. Г. Леммлейн, ДАН, 78, № 4, 685 (1951). <sup>3</sup> Г. Г. Леммлейн, ДАН, 89, № 2, 283 (1953). <sup>4</sup> Г. Г. Леммлейн, Геохимия, в. 6 (1956). <sup>5</sup> Г. Г. Леммлейн, М. О. Клиа, И. А. Островский, ДАН, 142, № 1, 81 (1962). <sup>6</sup> Г. Г. Леммлейн, В кн.: Вопр. геохимии и минералогии, Изд. АН СССР, 1956. <sup>7</sup> В. А. Калюжный, Минерал. сб. Львовск. унив., 25, 2, 124 (1971). <sup>8</sup> В. А. Калюжный, Д. К. Возняк и др. Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів занорищевого типу України, Київ, 1971. <sup>9</sup> Г. Г. Леммлейн, ДАН, 72, № 4, 775 (1950). <sup>10</sup> Н. П. Ермаков, Исследования минералообразующих растворов, Харьков, 1950. <sup>11</sup> Д. К. Возняк, В сборн. Тез. докл. III Всесоюзн. совещ. по минералогической термобарометрии и геохимии глубинных минералообразующих растворов, М., 1968. <sup>12</sup> В. А. Калюжный, Д. К. Возняк, Минералогич. сборн. Львовск. унив., 21, 49 (1967). <sup>13</sup> В. Е. Трегер, Таблицы для оптического определения породообразующих минералов, 1958