

А. Г. МАЛЫШЕВ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ ПО ГАЗОВО-ЖИДКИМ ВКЛЮЧЕНИЯМ В МИНЕРАЛАХ С ГАЗОВОЙ ФАЗОЙ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 12 VI 1973)

К настоящему времени разработан ряд методов определения существовавших при образовании минералов давлений по газОВО-жИдким включениям (<sup>1-3</sup>). Менее всего считались пригодными для этой цели включения с общей плотной системой (<sup>2</sup>), поскольку в них получается при нагревании большое приращение давлений на единицу температуры и требуется установление истинных температур минералообразования с высокой точностью. Между тем, даже при определении давлений, возникающих во включениях в момент гомогенизации системы, могут быть получены важные сведения об условиях роста кристаллов. Об этом свидетельствуют проведенные Ю. А. Долговым и др. (<sup>4</sup>) исследования включений с водным раствором и жидкой углекислотой в дистене.

Нами при изучении кристаллов кварца Урала были обнаружены включения, содержащие водный раствор и газовую фазу, плотность которой близка таковой жидкой фазы. В процессе нагревания подобного рода включений осуществляется погружение пузырьков (см. рис. 1). Впервые это явление наблюдал в 1877 г. В. Н. Хартли (<sup>5</sup>), который предположил, что газовая фаза во включениях представляет собой не водяной пар, а другие газы, в частности — CO<sub>2</sub>. Этот вопрос в дальнейшем больше не освещался.

Наиболее строгое теоретическое объяснение явления погружения CO<sub>2</sub> в воде было дано на основании экспериментальных исследований Тодхейде, а также С. Такеноучи и Дж. К. Кеннеди (<sup>6</sup>). При 50°, по данным Тодхейде, инверсия плотностей фаз может быть при давлении 800 бар. С. Такеноучи и Дж. К. Кеннеди установлено, что параметры точек равных плотностей двух фаз изменяются от 1300 бар при 110° до 2200 бар при 260°. В некоторых исследованных нами включениях в пузырьках также находилась углекислота. Вместе с тем, в горном хрустале из кварцевых жил, развитых в древней сланцевой толще Приполярного Урала, газовая фаза включений не содержала значительных относительных количеств кислых газов.

Объем пузырьков обычно не превышает 15–20% объема включений, а чаще всего составляет 4–5%. Только во включениях в горном хрустале из одной кварцевой жилы были обнаружены кристаллы галита (рис. 1Б). В остальных водный раствор обладает малой концентрацией солей (до 5–6 вес. %), что установлено криометрическими наблюдениями.

В изученных включениях, в которых газовая фаза представлена преимущественно азотом и редкими газами, погружение пузырьков происходило при температурах от 60 до 180°. Для мнимовторичных включений эти температуры обычно не превышали 140°. Наблюдения показали следующее:

1. Относительно крупные включения, размером 0,5–0,4 мм, вскрывались во время погружения пузырьков или при небольшом перегреве после этого, задолго до достижения температур гомогенизации, если инверсия плотностей фаз происходила при низких температурах, до 120°.

2. Гомогенизация осуществлялась только во включениях размерами менее 0,02 мм, температура при этом варьировала в пределах 180–240°.

Поскольку для других систем, кроме  $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ , отсутствуют экспериментальные данные о параметрах инверсии плотностей фаз, для определения давлений во включениях с другими газами при температурах гомогенизации были привлечены иные сведения. Известно, что в момент взрыва

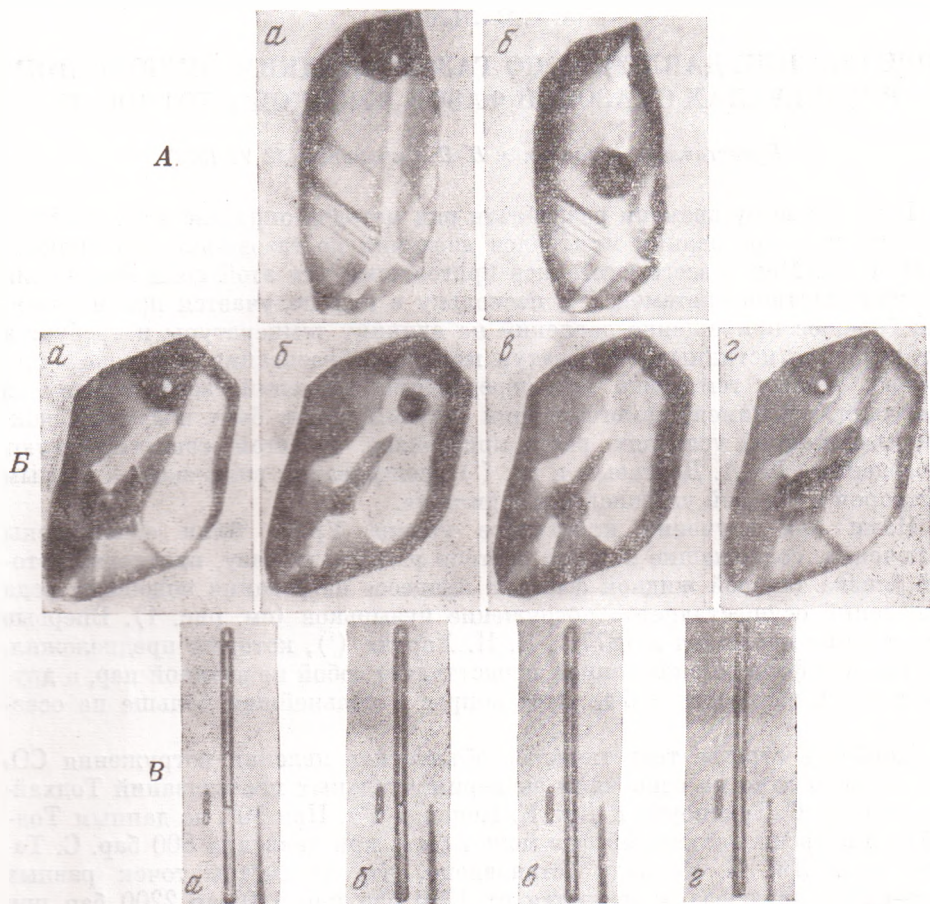


Рис. 1. Положение пузырька с плотной газовой фазой в вертикально ориентированных включениях при различных температурах. А – обр. № 124–2–1, 380×: а – при 17°, б – при 85°; Б – обр. № 547, многофазовое включение, твердая фаза – галит, 190×: а – при 18°, б – при 134°, в – при 144°, г – при 115° (в процессе охлаждения); В – обр. № ЮУ-1, включение с углекислотой, 150×: а – при 18°, б – при 27° (частичная гомогенизация), в – при 178° (начало погружения пузырька), г – при 200° (полное погружение)

относительно крупных включений в кварце развивается давление порядка 800 атм. (7). Разница в температурах взрывающих крупных (0,3 мм) и мелких (0,005 мм) включений может превышать 150° (8). Поэтому естественно, что большие по размерам вакуоли вскрывались при низких температурах, а мельчайшие выдерживали нагрев до температур гомогенизации.

Принимая 800 атм. за исходные для расчетов и привлекая сведения о значениях приращений давлений с повышением температуры системы на 1°, мы смогли вычислить приблизительные давления, возникающие во включениях в момент гомогенизации. Например, погружение пузырька произошло при температуре 120°, средняя температура взрывающих крупных включений – при 140°, а гомогенизация в более мелких из них осу-

ществилась при 210°. Приращение давления при повышении температуры воды на 1° в интервале 100–250° в изохорических условиях составляет 17 атм. (наличием небольшого количества солей в растворе можно пренебречь, а плотность «газовой» фазы уже при 120° оказалась равной плотности жидкой фазы). Разность между температурой гомогенизации и средней температурой взрыва равна 70°. Тогда давление при температуре гомогенизации во включении составит  $800 + 17 \cdot 70 = 1990$ , или около 2000 атм.

Полученные значения минимальных давлений минералообразования приближительны и не претендуют на высокую точность. Однако важно то, что другим способом установить давление в такого рода включениях невозможно. Кстати, отличие наших данных от ранее известных довольно велико: по А. В. Пизньюру<sup>(9)</sup>, наибольшие давления во время роста кристаллов кварца варьировали в пределах 100–350 атм., а по нашим расчетам — в основном в интервале 1500–2000 атм.

Повышение точности определения давлений возможно лишь после проведения технически трудно выполнимых экспериментов по фиксированию инверсии плотностей фаз водных растворов и газов в искусственных системах при различных температурах и давлениях. Этого же можно достигнуть и при изучении включений с плотной газовой фазой в искусственных кристаллах кварца, синтезированных при высоких известных давлениях в водных растворах с различным содержанием солей в присутствии определенных газовых компонентов. Только в этом случае можно использовать явление инверсии плотностей фаз с количественной, а не с качественной стороны. При наших наблюдениях фиксация погружения пузырьков помогала определять примерную общую плотность системы. При этом оказалось, что чем меньше плотность газов в пузырьке, тем при более высоких температурах и меньших давлениях происходит инверсия плотностей фаз. Так, например, во включениях с водным раствором, состояющим из 43 об. % (рис. 1В), и углекислотой с плотностью 0,5 г/см<sup>3</sup> инверсия осуществилась при 178° и около 350 атм., а в вакуоли, в которой плотность СО<sub>2</sub> составила 0,81 г/см<sup>3</sup> при 64 об. % водного раствора, это явление наблюдалось при температуре 130° и около 600 атм. В первом случае включения не взрывались до температуры гомогенизации (307°), поскольку давление в этот момент составляло 530 атм. Во втором случае происходило их вскрытие уже при 197°, а при гомогенизации (311°) давление во включении равнялось примерно 1300–1400 атм.

Всесоюзный научно-исследовательский институт синтеза минерального сырья  
г. Александров

Поступило  
6 VI 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. П. Ермаков, Сборн. Минералогическая термометрия и барометрия, «Наука», 1965. <sup>2</sup> Вл. Н. Калюжный, Сборн. Минералогическая термометрия и барометрия, «Наука», 1965. <sup>3</sup> Ю. А. Долгов, Л. Ш. Базаров, И. Т. Бакуменко, Сборн. Минералогическая термометрия и барометрия, «Наука», 1968. <sup>4</sup> Ю. А. Долгов, В. М. Макагон, В. С. Соболев, ДАН, т. 175, № 2 (1967). <sup>5</sup> Ф. Г. Смит, Геологическая термометрия по включениям в минералах, ИЛ, 1956. <sup>6</sup> С. Такеноучи, Дж. К. Кеннеди, Сборн. Термодинамика постмагматических процессов, М., 1968. <sup>7</sup> Л. Н. Хегчиков, Б. А. Дороговин, Л. А. Самойлович, Геол. рудн. месторожд., № 3 (1968). <sup>8</sup> Л. Н. Хегчиков, Б. А. Дороговин и др., Тр. Всесоюз. н.-и. инст. синтеза мин. сырья, т. 12 (1970). <sup>9</sup> А. В. Пизньюр, Зап. Всесоюз. мин. общ., т. 88, 4 (1959).