

В. К. ПУРТОВ

ОБ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ КВАРЦА
НА ОДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ЮЖНОГО УРАЛА

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 22 IX 1969)

Изученное месторождение горного хрусталя расположено в южном экзоконтакте Джабык-Карагайского гранитного массива и представлено кварцевыми жилами, залегающими в коре выветривания слюдисто-кварцевых сланцев. Краткая геологическая характеристика района дана Н. Ф. Мазневым (1). Предварительные результаты изучения газовой-жидких включений в кристаллах кварца показали (2), что формирование хрусталеносных полостей происходило из углекислых, низкоконцентрированных водных растворов, состоящих из углекисло-водной и водно-углекислой фаз.

Таблица 1
Условия гомогенизации для включений 1-го и 2-го типов

Углекисло-водные включения						Водно-углекислые включения					
№№ п.п.	Число определ.	$T_{ГСО_2}$, °C	$T_{Г}$, °C	NCO_2 , мол. %	P , бар	№№ п.п.	Число определ.	$T_{ГСО_2}$, °C	$T_{Г}$, °C	NCO_2 , мол. %	P , бар
1-й тип											
1	1	29,5	300	14,0	515	8	1	30,8	305	38,6	465
2	6	29,8	302	13,9	505	9	3	30,8	307	39,9	475
3	4	30,0	305	13,7	490	10	3	30,7	307	40,0	475
4	1	30,0	305	13,7	490	11	1	30,8	310	38,6	470
5	1	30,5	307	13,3	475	12	1	30,0	305	37,9	490
6	2	30,8	305	13,1	480	13	1	30,5	310	37,2	480
7	2	31,0	305	12,4	470	14	1	31,0	315	39,6	455
2-й тип											
1	4	27,0	310	8,4	380—400	6	2	31,0	315	38,7	380—400
2	1	27,0	310	8,6		7	1	31,0	315	40,0	
3	2	27,0	310	8,9		8	3	31,0	315	40,1	
4	2	27,1	310	9,1		9	3	31,0	315	40,4	
5	1	27,0	310	9,2							

Примечание. $T_{ГСО_2}$ — температура частичной гомогенизации, $T_{Г}$ — температура полной гомогенизации, NCO_2 — концентрация CO_2 во включениях, P — давление во включениях при температуре гомогенизации. Включения 2-го типа обозначены на рис. 1 под номером 15.

Дальнейшие исследования позволили установить значения PT -кристаллизации и их эволюцию в течение процесса кварцеобразования. Исследования включали в себя термометрические и криометрические определения, измерения соотношений фаз и определения расчетным способом содержания CO_2 в индивидуальных включениях. Общее содержание CO_2 во включениях определялось суммированием весовых количеств двуокиси углерода во всех фазах в условиях, приведенных к значениям PT -трехфазового или двухфазового равновесия (3). Содержание CO_2 в водной фазе включений рассчитывалось с учетом влияния объемного эффекта растворения газов в воде по способу, предложенному нами и основанному на физико-химических зависимостях в системе вода — газ (4).

Основные определения проводились по углекисло-водным и водно-углекислым включениям, содержащим в момент консервации соответственно чистую углекисло-водную или чистую водно-углекислую фазу. Согласно (5), в момент гомогенизации данных включений температура, давление и удельный объем будут отвечать действительным значениям.

По характеру частичной гомогенизации выделено два типа включений: 1) с гомогенизацией в жидкую фазу; 2) с гомогенизацией в газовую фазу. Углекисло-водные и водно-углекислые включения 1-го типа при температура

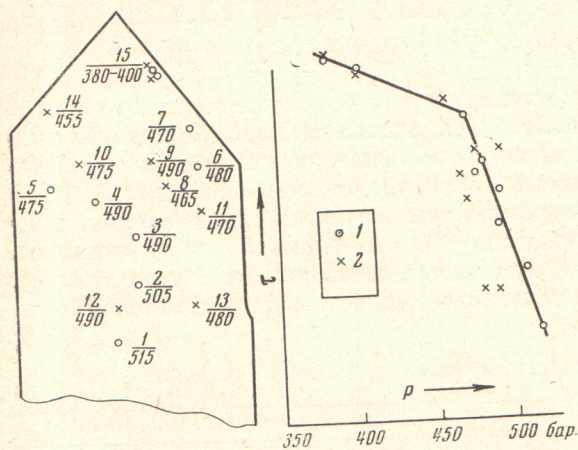


Рис. 1. Схема расположения включений в кристаллах кварца и возможный характер изменения давления в процессе кристаллизации. 1 — определения по углекисло-водным включениям; 2 — определения по водно-углекислым включениям. Цифровые обозначения: над чертой — порядковый номер определений, под чертой — давление в барах

температуры частичной гомогенизации в жидкую фазу от оснований к верхним частям кристаллов от 29,5 до 31,1°, с переходом через критическую точку CO_2 , и последующее понижение, при гомогенизации в газовую фазу, до 31,0—27,0°. Полная гомогенизация углекисловодных включений обоих типов происходит при температуре 300—310°, а водно-углекислых — при более высокой, на 2—7°, температуре.

Температура гомогенизации включений, содержавших в момент консервации обе фазы раствора, зависит от соотношений захваченных фаз и составляет 315—350°. Криометрическим способом нами установлено, что концентрация солей в углекисло-водных включениях, применительно к составу, известному для месторождения по литературным данным (6, 7), для всех участков кристаллов примерно одинакова и не превышает 3 вес.%. Следует ожидать, что вследствие низкой растворимости солей в докритических условиях в газовой фазе концентрация их в водно-углекислых включениях будет незначительной. Это позволяет считать определения давления в данных включениях по диаграммам системы $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ достаточно точными. Вероятная погрешность определений по углекисловодным включениям может быть выявлена при сравнении результатов. По включениям 1-го типа давление определялось: 1) по углекисло-водным — по данным измерений температуры гомогенизации и расчета содержания CO_2 (3); 2) по водно-углекислым — на основании расчета удельного объема CO_2 в условиях минералообразования (8). Для определений давления были использованы *PTX*-диаграмма системы $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ (9) и *PTV*-диаграмма CO_2 (10).

Определение температуры и давления кристаллизации кварца по включениям 2-го типа производилось путем выявления условий взаиморастворимости компонентов рассчитанной концентрации на совмещенной диаграмме равновесной концентрации CO_2 в жидкой и газовой фазах системы $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ (11), построенной по данным (9). В пределах разброса значений N_{CO_2} выявляемая по диаграмме температура составляет 307—312°, давление 380—400 бар. Контрольные определения давления по водно-углекислым включениям методом (8) показали хорошую сходимость результатов.

Анализ полученных данных (табл. 1) показывает, что кристаллизация кварца осуществлялась в две стадии, в изотермических условиях и в режиме снижающегося давления. Характер изменения давления в процессе кристаллизации, при условии постоянства скорости роста, мог быть следующим (см. рис. 1): в 1-ю стадию происходил медленный спад давления от 515 до 470 бар, во II стадию — быстрое падение давления от 470 до 400—380 бар. Однако возможным является и замедление скорости кристаллизации во 2-ю стадию, вследствие чего изменение давления могло быть равномерным в течение всего процесса. Снижение давления вызвало уменьшение растворимости CO_2 в углекисло-водной фазе от 14,0 до 9,2—8,4 мол. % и уменьшение плотности CO_2 в водно-углекислой, газовой, фазе от 0,430 до 0,340 г/см³, что наглядно отражается на характере изменений температуры частичной гомогенизации (рис. 2). Одновременно с этим происходило увеличение в системе доли газовой фазы. Максимальное ее увеличение отмечается в конце 2-й стадии, и процесс минералообразования в данных условиях приобретает пневматолито-гидротермальный характер. Однако вследствие низкой растворимости силикатов в газовой фазе при невысоких давлениях (¹²) можно полагать, что газовая фаза была инертной и существенно не участвовала в кварцеобразовании.

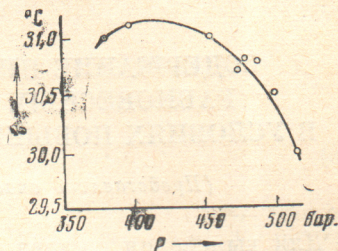


Рис. 2. Зависимость изменения температуры частичной гомогенизации водно-углекислых включений от давления в минералообразующей системе

Снижение давления при кристаллизации в изотермических условиях свидетельствует, скорее всего, об адиабатическом расширении полостных систем в результате трещинообразования. Раскрытие системы способствовало выравниванию давления в системе с гидростатическим, и можно полагать, что в конце 2-й стадии давление определялось лишь глубиной формирования жил. Согласно нашим определениям, в конце кристаллизации параметры минералообразующего раствора составляли: температура 310°, давление 380—400 бар., плотность углекисло-водной фазы 0,71—0,74 г/см³. По данным (¹³), на глубине 4000 м гидротермальные растворы могут характеризоваться следующими параметрами: температура по палеотемпературе 305°, гидростатическое давление 400 атм., плотность H_2O по палеотемпературе 0,76 г/см³. Таким образом, все три параметра почти однозначно указывают на глубину формирования месторождения около 4 км.

Проведенные исследования показали, что изученные хрусталеносные жилы Южного Урала образовались не вследствие понижения температуры, а в результате падения давления, что хорошо подтверждает новые соображения о происхождении гидротермальных жильных месторождений (¹⁴).

Институт геологии и геохимии
Уральского филиала Академии наук СССР
Свердловск

Поступило
9 IX 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Ф. Мамаев, Тр. Инст. геол. УФАН СССР, в 73, 1965. ² В. К. Пуртов, Сборн. Геология и полезные ископаемые Урала, 1, Свердловск, 1969, стр. 288. ³ Ю. А. Долгов, Л. Ш. Базаров, И. Т. Бакуменко, Сборн. Минерал. термометрия и барометрия, 2, «Наука», 1968. ⁴ А. Ю. Намиот, М. М. Бондарева, Растворимость газов в воде под давлением, 1963. ⁵ Н. П. Ермаков, Сборн. Минерал. термометрия и барометрия, «Наука», 1965. ⁶ А. Е. Лисицын, С. В. Малинко, Тр. ВНИИП, 1, в. 2, 1957. ⁷ А. Е. Лисицын, С. В. Малинко, Геохимия, № 9 (1961). ⁸ Вл. А. Калужный, Методы изучения многофазовых включений в минералах, Изд. АН УССР, 1960. ⁹ S. Takenouchi, G. C. Kennedy, Am. J. Sci., 262, № 4 (1964). ¹⁰ М. П. Вукалович, В. В. Алтугин, Теплофизические свойства двуокиси углерода, М., 1965. ¹¹ В. К. Пуртов, Сборн. Геология и полезные ископаемые Урала, 1, Свердловск, 1969, стр. 257. ¹² В. А. Николаев, В. В. Доливо-Добровольский, Основы теории процессов магматизма и метаморфизма, 1961. ¹³ Ю. А. Долгов, Сборн. Минералог. термометрия и барометрия, «Наука», 2, 1968. ¹⁴ С. Н. Иванов, ДАН, 186, № 1 (1969).