

УДК 549.01

КВАРЦ И ЕГО ПОЛИМОРФНЫЕ МОДИФИКАЦИИ

Пищун С.В., студентка гр. ПГС-161, I курс

Научный руководитель: Шестакова О.Е., к.г.-м.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово

Кварц является широко распространенным минералом в Земной коре. Его химический состав соответствует формуле SiO_2 . Название имеет немецкое происхождение. Слово «Querklüfter» означает «руда секущих жил». На рисунке 1 представлены морфологические разновидности кварца.



Рис. 1. Морфологические разновидности кварца:

а) монокристалл с игольчатыми включениями, б) друза, в) выделения в граните.

У кварца стеклянный блеск на гранях, в изломе жирный. Излом раковистый или неровный. Спайность несовершенная, твердость 7 по шкале Мооса. Плотность $2,6 \text{ г/см}^3$. Температура плавления 1728°C .

В зависимости от условий образования, параметров среды (давления и температуры) кристаллический кварц образует несколько полиморфных модификаций, показанных на Р-Т диаграммах (рис.2). Полиморфизм – это явление образования минералов с одинаковым химическим составом, но разной кристаллической структурой. А полиморфные минералы называются полиморфными модификациями. Как видно из диаграмм, SiO_2 образует три главные модификации: кварц, тридимит и кристобалит, каждая из которых в свою очередь имеет несколько модификаций второго порядка; α - и β -кварц, α - и β и γ -тридимит, α - и β -кристобалит [1, 2].

Все кристаллические разновидности SiO_2 , представленные на диаграммах, могут быть распределены на два типа: стабильные и метастабильные. К стабильным относятся разновидности, которые при нормальном давлении имеют температурные области равновесного существования с окружающей средой (на диаграмме они отмечены сплошными линиями). К ним относятся β -кварц (устойчив до 575°C), α -кварц (575 - 870°C), α -тридимит (870 - 1470°C) и α -кристобалит (1470 - 1728°C). К метастабильным относятся разновидности, которые при нормальном давлении существуют в неравновесном состоянии

(пунктирные линии на диаграмме): Это: γ -тридимит (ниже 120°), β -тридимит (120 - 163°C) и β -кристобалит (ниже 230°C).

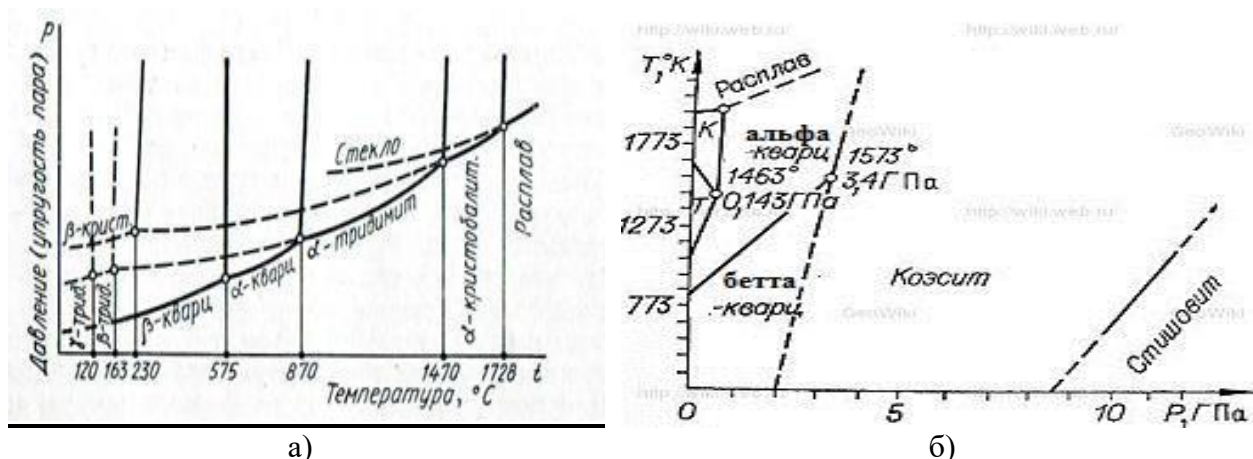


Рис. 2. Полиморфные модификации оксида кремния:

- а) экзогенные и эндогенные (переход модификаций по температуре),
- б) эндогенные (переход модификаций по температуре и давлению).

Важное свойство - изменение плотности и объема при полиморфных превращениях SiO_2 . При переходе от низкотемпературных разновидностей SiO_2 к высокотемпературным плотность уменьшается, а удельный объем увеличивается. Объемные изменения кварца (расширение при нагревании, сжатие при охлаждении) могут достигать значительных величин (до 15%) и служить причиной разрушения горных пород при температурном выветривании.

Переходы полиморфных модификаций кварца и их морфология хорошо отражены круговой диаграммой на рисунке 4.

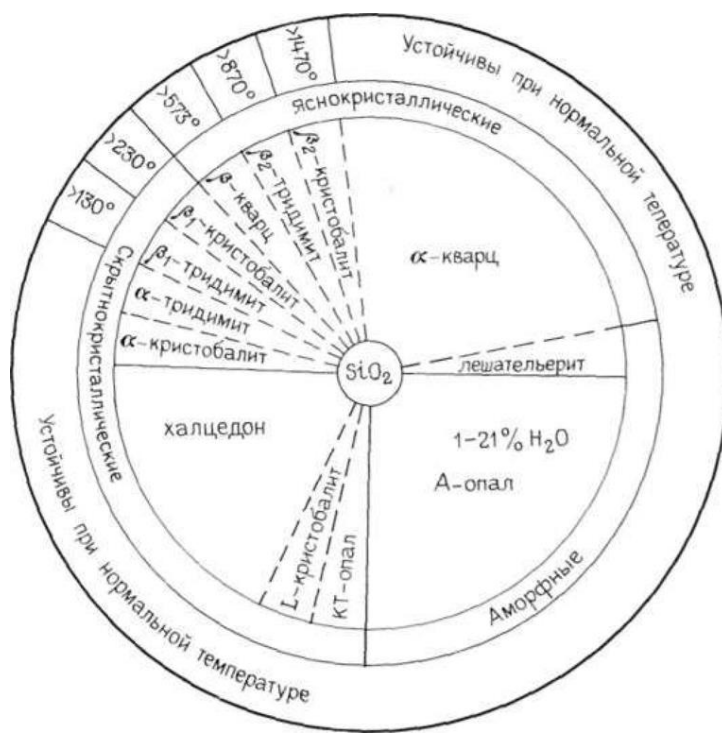


Рис 4. Полиморфные переходы модификаций кварца и их морфология

Опишем основные модификации кварца [1, 2].

β -кварц тригональный (рис. 5). Его кристаллы характеризуются осью 3-его порядка (L_3), которую можно перевести в инверсионную ось 6-ого порядка (L_6^i). В основе кристаллической структуры β -кварца лежат SiO_4 тетраэдры. Группы тетраэдров образуют в кристаллической структуре три слоя, которые располагаются относительно друг друга на трех высотах. Таким образом образуются спирали, закручивающиеся в одну и ту же сторону. Образуются правые и (или) левые кварцы в зависимости от того, в какую сторону происходит заворот спиралей в правую или в левую. Поворот вокруг оси L_6 на 60° и последующий перенос на $1/3$ высоты элементарной ячейки вдоль оси L_6 приводят к совмещению с исходной позицией тетраэдров.



а)



б)

Рис.5. Кристаллы β -кварца: а) тригональная псевдодипирамида (вид сбоку), б) псевдогексагональная дипирамида (вид сверху)



а)



б)

Рис. 6. α -кварц: а) кристаллы – гексагональные дипирамиды, б) кристаллы α -кварца (серые) в риолите

Для β -кварца очень характерно двойникование [1, 2]. Возникновению двойников способствуют разные факторы, в первую очередь особое взаимное расположение зародышей кристаллов в процессе кристаллизации из раствора или расплава. Если кристаллографические направления зарождающихся кристаллов совпадают, образуется обычный параллельный агрегат (щетка или друза рис.1), если же они ориентированы по одному из законов двойникования - вырастает двойник. Кроме того, двойники в минерале могут появиться при переходе одной полиморфной модификации в другую. Например, высокотемпературный гексагональный α - кварц превращается в низкотемпературный тригональный β -кварц с образованием дофинейских двойников, образуются также бразильские и японские двойники. Схемы двойникования кварца представлены на рисунке 7.

Дофинейские двойники являются двойниками секториального прорастания. От гексагональных кристаллов они отличаются тем, что количество граней трапецоэдра удваивается и они выводятся друг из друга путем поворота вокруг L_6 . Грани призмы обоих индивидов сливаются, а грани двух ромбоэдров совмещаются и прорастают друг в друга. Двойниковые швы извилистые (сутурные).

Бразильские двойники отличаются от дофинейских тем, что в них грани трапецоэдров, наблюдающиеся в двойном количестве, выводятся не поворотной осью, а отражением в вертикальной плоскости. В отличие от строения

дофинеи́ских двойников, здесь мы наблюдаем более прямолинейные двойниковые швы.

Японские двойники срastaются по тригональной дипирамиде $\{11\bar{2}2\}$; индивиды наклонены друг к другу под углом $84^\circ 34'$.



Рис. 7. Схемы двойников β -кварца

α -кварц гексагональный (рис.6). Его кристаллы характеризуются осью 6-ого порядка (L_6). α -кварц хорошо устойчив при низком давлении в интервале температур от 573 до 870°C . При полиморфном превращении низкотемпературной модификации β -кварца в высокотемпературную модификацию α -кварца происходят небольшие смещения центров кремнекислородных тетраэдров, в результате чего кристаллическая решетка становится более разряженной и происходит повышение ее симметрии. Тройная ось превращается в шестерную. При этом тип связи между тетраэдрическими группами не меняется. В процессе превращения не происходит изменений в направлениях заворота спиралей (в правую или левую сторону).

Коэсит (рис.8а) кристаллизуется в моноклинной сингонии. Цвет желтоватый, белый, бесцветный, плотность 3 г/см^3 , твёрдость $7,5\text{—}8$ по шкале Мооса. Важной особенностью, коэсита является его яркая голубовато-зелёная катодоллюминесцентной (КЛ). А в электронных лучах микрозонда коэсит люминесцирует до ярко голубого свечения, чем отличается от оранжевого свечения кварца. Коэсит очень редкий минерал. Он образуется при высоких давлениях, порядка $2\text{—}3 \text{ ГПа}$, где породы с высоким содержанием SiO_2 относительно редки. При уменьшении давления коэсит превращается в кварц, а при увеличении – в стишовит. В нормальных условиях коэсит сохраняется только при быстром подъёме глубинных пород к поверхности. Коэсит может встречаться в метаморфических породах высокого давления, в мантийных ксенолитах эклогитов, в кимберлитах, а также образуется при падении метеоритов.

Тридимит (греч. *trídymos* – тройной), назван из-за двойникования кристаллов и образования тройников (рис. 8б). Тридимит образуется при высокой температуре в магматических или метаморфических породах, встречается в метеоритах, в трещинах изверженных пород, был также обнаружен на Марсе.

Кристобалит – высокотемпературная кубическая полиморфная модификация кварца или низкотемпературная тетрагональная (псевдокубическая) модификация кремнезема координационного строения - SiO_2 . Кристаллы октаэдрические, реже имеют кубическую или скелетную форму (рис. 8в). Плотность $2,27 \text{ г/см}^3$. Твердость 7,25. Цвет белый. Блеск стеклянный. Полисинтетическое двойникование устанавливается под микроскопом. Низкотемпературный кристобалит устойчив вплоть до $200\text{—}270^\circ\text{C}$. Выше этой температуры переходит в кубическую (высокотемпературную) модификацию. Низкотемпературный кристобалит встречается в виде псевдоморфоз по высокотемпературному кристобалиту. Встречается в пустотах вулканических пород (андезитах). Часто ассоциируется с тридимитом, кварцем и санидином.

Стишовит - тетрагональный. Устойчив при высоких давлениях (более $8,5 \text{ ГПа}$) и высоких температурах (рис. 2б).

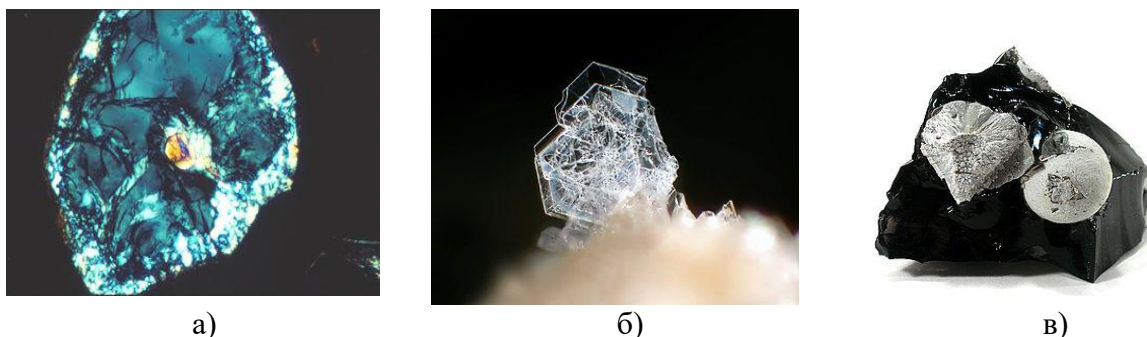


Рис 8. Полиморфные разновидности кварца: а) коэсит в халцедоне (люссарите).
б) тридимит на α -кварце, в) кристобалит в обсидиане.

Таким образом, изучение кварца показало, что он образуется в различных полиморфных модификациях первого и второго порядка, вследствие чего может служить геотермометром и геобарометром условий формирования руд и горных пород, в которых он встречается.

Литература

1. Булах А. Г., Кривовичев В. Г., Золоторев А. А. Минералогия. М: Издательский центр «Академия». – 2008. – 410 с.
2. Миловский А. В., Кононов О. В. Минералогия. М: Из-во МГУ. – 1982. – 309 с.