

**ВЛИЯНИЕ МЕТАМОРФИЗМА НА
КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ КВАРЦА****Раков Л.Т.¹ (rakovlt@mail.ru), Данилевская Л.А.² (danilevs@krc.karelia.ru)**¹*Московское отделение. ФГУП “ВИМС”*²*Карельское отделение. Институт геологии КарНЦ РАН*

METAMORPHISM INFLUENCE ON QUARTZ CRYSTALLINE STRUCTURE

Rakov L.T.¹, Danilevskaya L.A.²¹*Moscow branch. Federal State Unitary Enterprise “All-Russian Scientific-Research Institute”*²*Karelia branch. Institute of Geology KarRC RAS*

Результаты исследований кварца методом ЭПР показывают, что концентрации изоморфных примесей в нем распределяются не случайным образом, а связаны определенными закономерностями. Эти закономерности отражают структурно-динамическое состояние кристаллической решетки минерала, являющееся его своеобразным типоморфным образом. Первоначальный вид структурно-динамического состояния кварца определяется условиями минералообразования. Однако с течением геологического времени типоморфный образ кварца меняется, знаменуя собой этапы “жизни” минерала. Движущей силой этих изменений является стремление кристаллической решетки кварца освободиться от неравновесного характера распределения изоморфных примесей, унаследованного от стадии кристаллизации, и достичь состояния равновесия. В качестве факторов, способствующих достижению изоморфными примесями этого состояния, выступают температура, тектоническое воздействие, время. В состоянии равновесия стирается информация об условиях кристаллизации кварца, заложенная в распределении изоморфных примесей.

Установлено, что образцы кварца, принадлежащие одной генетической группе, имеют близкое структурно-динамическое состояние (Раков, 2008). Это состояние, вообще говоря, может быть описано соотношением концентраций различных структурных дефектов. На графиках зависимостей между их концентрациями образцы кварца близкого генезиса образуют единые кривые, названные “изогенами”. Теоретически показано, что для случая изоморфных примесей изогены имеют вид прямых. Изменению структурно-динамического состояния кварца во времени отвечает перемещение изоген в графическом пространстве. При достижении кристаллической решеткой состояния равновесия изогены пересекают его начало координат.

Представления о структурно-динамическом состоянии кварца были заложены в основу нового метода генетического анализа, получившего название “метода изоген” (Раков, 2008). Он был использован для исследования процессов формирования целого ряда редкометалльных и золоторудных месторождений, где обнаружил свою высокую эффективность в изучении условий кристаллизации кварца и его преобразования, связанного с эволюцией рудных систем.

В настоящей работе метод изоген применяется для выяснения влияния метаморфизма на кристаллическую структуру кварца – прежде всего, на распределение в нем изоморфных примесей. Необходимость решения подобной задачи обусловлена разработкой поисковых критериев на особо чистый кварц, имеющий для высоких технологий стратегическое значение.

Изучались образцы кварца различного генезиса из кварцевых образований в пределах Карельской части Фенноскандинавского щита. На формирование последних на данной территории большое влияние оказали процессы полиметаморфизма и сопряженного с ним метасоматоза, а также тектонические процессы, имеющие различный характер и локально проявленные в пределах Карельского кратона. В результате кварцевые образования, сформированные в различных геологических условиях, при разной степени метаморфизма вмещающих пород, характеризуются определенными макро- и микроструктурными особенностями, а также специфическими набором и концентрацией изоморфных примесей.

Приведенные в таблице содержания изоморфных примесей даны в условных единицах: 1 у.е.=5 ppm для алюминия и 1 у.е.=1 ppm для титана. Их значения оценивались методом ЭПР по стандартной методике (Раков, 1991). В качестве первичных данных для измерения содержаний структурного алюминия были выбраны концентрации Al-O⁻-центров в образцах кварца, а для определения содержаний

Содержание изоморфных примесей алюминия (N_{Al}) и титана (N_{Ti}) в исследованных образцах кварца

Тип кварца	Название	Номер образца	N_{Al} , у.е.	N_{Ti} , у.е.	C_{Ti-Li} , у.е.	C_{Ti-H} , у.е.
Пегматитовый	Пиртима	Пр-50	3,6	1,06	0,88	0,18
Жильный гранулированный	Рухнаволок	PX6-97/1	6,6	2,7	2,7	~0
		PX-92	5,6	2,2	2,2	~0
Жильный крупнозернистый стекловидный		PX-100	3,6	1,65	1,5	0,15
Жильный гранулированный	Хизоваара	XB-129	5,6	3,41	3,2	0,21
Жильный крупнозернистый		Q-1	1,7	1,25	0,6	0,65
Жильный крупнозернистый стекловидный	Шуерецкое	Шу-6/98	1,7	0,71	0,41	0,30
Жильный молочно-белый, вторично рекристаллизованный	Фенькина Лампи	Ф-9	1,3	~0	~0	~0
		Ф-32/98	1,1	~0	~0	~0
Жильный катаклазированный минерализованный, вторично рекристаллизованный	Меломайс	Пр-981	1,3	~0	~0	~0
		982	1,3	~0	~0	~0
Сливные кварциты	Степаново-озеро	Щ-7/98	1,2	0,12	~0	0,12
Кварц-мусковитовые метасоматиты	Восточная Хизоваара	XB-1/2004	1,5	0,15	~0	0,15

изоморфного титана – суммарные концентрации Ti-Li- и Ti-H-центров (C_{Ti-Li} и C_{Ti-H}).

Пегматитовый кварц месторождения Пиртима и жильный кварц участков Рухнаволок, Хизоваара и Шуерецкое образовался в условиях эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма повышенных давлений кианит-силлиманитового типа (Парандово-Тикшеозерский зеленокаменный пояс) и претерпел довольно интенсивные пластические деформации и перекристаллизацию деформированного кварца с формированием в конечном итоге участков с гранулированным кварцем с равновесной гранобластовой структурой (см. рис. 1а). Подобные рекристаллизационные структуры образуются в интенсивно деформированных кварцах, испытавших высокое всестороннее сжатие при температурах не ниже 400-500°C (Кораго, Козлов, 1988). Для данного кварца, в целом, характерны повышенные концентрации изоморфных примесей. Однако микроструктурные особенности жильного

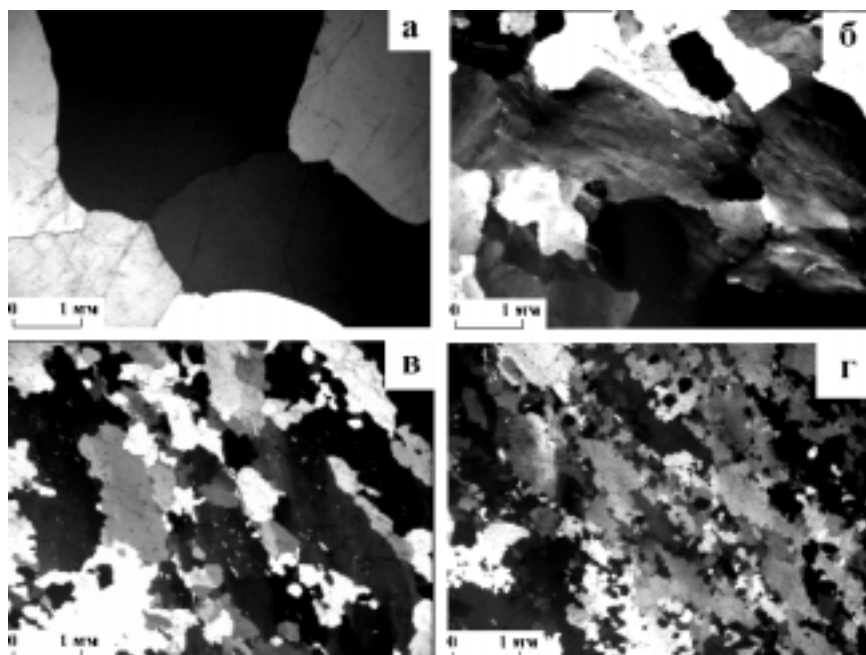


Рис. 1. Микроструктуры кварца: а – гранобластовая равновесная в гранулированном кварце (Рухнаволок), б – фрагментация с переходом в мозаичность (Фенькина Лампи), в – вторичная рекристаллизация (Меломайс), г – катаклаз и вторичная рекристаллизация (Степаново озеро).

кварца несколько варьируют в пределах данных проявлений, что связано с разной степенью диафторических изменений кварцевых жил и степенью рекристаллизации кварца.

Для рекристаллизованного стекловидного кварца характерны значительные концентрации Al-O- и Ti-Li- и Ti-H-центров. В гранулированном кварце с равновесной гранобластовой структурой (PX-97/1, PX-92, XB-129) отмечаются еще более высокие концентрации структурного алюминия и титана. Однако для них характерны существенно меньшие соотношения концентраций C_{Ti-H}/C_{Ti-Li} , т.е. с проявлением процессов грануляции в кварце наблюдается уменьшение ионов H^+ .

Наименьшие концентрации структурных примесей характерны для жильного молочно-белого кварца, образованного в условиях метаморфизма зеленосланцевой или низких ступеней эпидот-амфиболитовой фации (Фенькина-Лампи, Меломайс). Формирование данного кварца обусловлено интенсивной тектонической активностью в пределах кварцобразующих зон, что привело к появлению трещин растяжения и формированию крупных кварцевых тел. Первоначально сформированный крупнозернистый кварц подвергался в дальнейшем интенсивной хрупкой и пластической деформацией. При этом характерно одностороннее сжатие, о чем говорят вытянутые, ленточные структуры кварца. В результате реликтовые первичные зерна кварца имеют интенсивно пластически деформированные микроструктуры – волнисто-блоковое погасание, фрагментация, переходящая в мозаичность (см. рис. 1б). В наиболее деформированных участках, а также вдоль зон хрупкой деформации наблюдается рекристаллизация с формированием вновь образованных недеформированных зерен кварца (см. рис. 1в).

Аналогичные ленточные структуры катаклаза и рекристаллизации наблюдаются в сливных кварцитах (Степаново озеро), для которых также характерны низкие концентрации структурных примесей (см. рис. 1г).

Кварц-мусковитовые метасоматиты (Восточная Хизоваара) формировались в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма за счет метасоматоза пород андезитового и кварц-кианитового состава. Характерно проявление рекристаллизации кварца с образованием гранобластовых равновесных структур. Пластические деформации в зернах кварца проявлены слабо. Наблюдаются довольно низкие концентрации изоморфных примесей.

Генетический анализ исследованных образцов проводился на основе изучения зависимости концентрации изоморфного Ti от содержания структурного Al. Для этого исследовалось расположение точек, отвечающих различным образцам кварца, в двумерном графическом пространстве, координатами которого служили содержания изоморфного алюминия и титана в условных единицах (см. рис. 2).

Видно, что положение точек на графике зависимости $N_{Al}(N_{Ti})$ позволяет выделить три изогены, характеризующие различные условия метаморфизма. Изогена 1 отвечает образцам кварца, которые испытали воздействие метаморфизма зеленосланцевой или низких ступеней эпидот-амфиболитовой фации. Кварцы, подверженные воздействию метаморфизму повышенных давлений кианит-силлиманитового типа эпидот-амфиболитовой фации, образуют две изогены (2 и 3). Одна из них, изогена 2, отвечает кварцам, образованным в близких по составу породах – амфиболитах. Другая же, изогена 3, объединила образцы кварцы из жил, сформированных в сланцах, которые являются метасоматитами: Q-1 – в кварц-кианитовых сланцах, а XB-129 – в кварц-серицитовых сланцах.

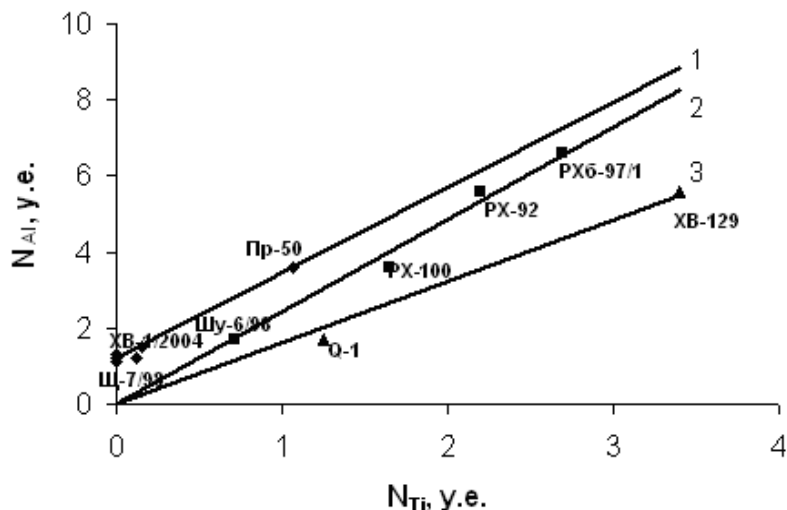


Рис. 2. Изогены кварца, подверженного воздействию метаморфизма зеленосланцевой или низких ступеней эпидот-амфиболитовой фации (1) и метаморфизму повышенных давлений кианит-силлиманитового типа эпидот-амфиболитовой фации (2 и 3).

Обращает на себя внимание различное положение изоген в графическом пространстве. Изогена 1 пересекает ось N_{Al} в области значений содержания изоморфного алюминия в кварце 1,1-1,3 у.е. Изогены 2 и 3 пересекают начало координат графического пространства. Отмеченные факты указывают на различный характер влияния метаморфизма на кристаллическую решетку кварца.

Относительно низкотемпературные условия реализации метаморфизма зеленосланцевой фации, видимо, не могут оказывать на кристаллическую структуру кварца столь значительное влияние как метаморфизм эпидот-амфиболитовой фации. Положение изогены 1 свидетельствует, что метаморфизм зеленосланцевой формации не приводит к установлению состояния равновесия в распределении изоморфных примесей в кварце. Кроме того, возможно, что метаморфические изменения в данных разновидностях кварца не привели к полной перекристаллизации кварца (сохранились первичные зерна кварца наряду с вновь образованными).

Другая картина наблюдается для кварцев, претерпевших метаморфизм повышенных давлений кианит-силлиманитового типа эпидот-амфиболитовой фации. Пересечение изогенами 2 и 3 начала координат графического пространства показывает, что в них изоморфные примеси находятся в состоянии равновесия. Разный наклон этих изоген связан с различным составом пород, который не может обеспечивать одинаковое соотношение ионов Li^+ и Na^+ в кварце, а также одинаковый обмен ими с окружающей минеральной средой. Как известно, состав щелочных ионов в структурных каналах кварца играет важную роль в характере распределения изоморфного алюминия и титана (Раков, 2008).

Метаморфизм зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций по-разному влияет и на содержание изоморфных примесей в кварце. Практически предельно низкие их концентрации в образцах, образованных в условиях зеленосланцевой фации, дает основание предполагать, что метаморфизм этой фации приводит к обеднению кварца изоморфными примесями.

Наоборот, метаморфизм эпидот-амфиболитовой фации способствует обогащению структурными примесями кварца. Наибольший рост отмечается для содержания изоморфного титана, вхождению которого благоприятствуют более высокотемпературные условия этой фации. Прослеживается связь концентрации изоморфных примесей со степенью воздействия метаморфизма.

Весьма необычным для кварца высокой чистоты является наличие заметных содержаний ионов H^+ . Их присутствие обуславливает появление в значительной части исследованных образцов кварца титановых центров с компенсаторами заряда H^+ , т.е. $Ti-H$ -центров (см. табл.). Ранее было установлено, кварцы с повышенным содержанием ионов H^+ образуются в относительно закрытых системах (Раков, 2008). Данное обстоятельство можно считать характерной особенностью кварца высокой чистоты Карелии, которое не повторяется для других аналогичных образцов, например, для кварцев Приполярного Урала.

Однако, как показывают экспериментальные исследования, ионы H^+ не могут сохраняться в кварце при длительном термическом прогреве (Раков, 1989). Под действием температуры они диффундируют из минерала и отношение концентрации $Ti-H$ -центров к общей концентрации титановых центров в кварце резко падает. Как следует из анализа таблицы, такие процессы протекают в жильном гранулированном кварце в условиях эпидот-амфиболитовой фации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 07-05-00821 и № 08-05-01089).

Список литературы

Раков Л.Т. Научные основы применения структурных дефектов в кварце в качестве индикатора минералообразования. Дис... докт. геол.-мин. наук. М., 2008. 329 с.

Кораго А.А., Козлов А.В. Текстуры и структуры жильного кварца хрусталеносных областей. Л.: Недра, 1988. 159 с.

Раков Л.Т., Миловидова Н.Д., Моисеев Б.М. Экспрессное определение методом ЭПР содержаний изоморфных примесей в образцах кварцевого сырья. ВИМС. 1991. 16 с.

Раков Л.Т. Поведение парамагнитных дефектов при термическом отжиге кварца // Кристаллография. 1989. Т. 34. № 1. С. 260-262.