Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т./XXIУ, вып. 2, 1977 г.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГНЕЗД С КРИСТАЛЛАМИ КВАРЦА

В.Ю.ЭШКИН

При рассмотрении условий формирования хрустальных гнезд постоянно возникает вопрос о динамике минералообразующих растворов. Неоднократно высказывалось предположение о застойном состоянии растворов внутри гнезд, что привело некоторых исследователей к выводу о развитии при регрессивной стадии метаморфизма [I] процессов хрусталеобразования в условиях закрытой физико-химической системы. С этими взглядами согласуется представление об отсутствии сколько-нибудь заметных проявлений внутриминерализационной тектоники, которая совместно с пострудными деформациями может привести к уничтожению гнезда и кристаллов кварца в нем [3]. Геолого-структурные исследования, проведенные в различных хрусталеносных провинциях, однозначно показали решающую роль разрывной тектоники в размещении гнезд [6]. Обширный фактический материал, накопленный в процессе разведки и отработки хрусталеносных месторождений, при изучении качества кристаллов кварца в зависимости от геологических условий их образования, позволяет объективно оценить роль тектонических движений, а в связи с этим и динамику минералообразующих растворов в течение всего этапа хрусталеобразования.

В образовании хрустальных гнезд принимают участие восходящие глубинные гидротермальные растворы, в пользу чего свидетельствует приуроченность гнезд к тектонически активным зонам, обнаруживающим связь с глубинными разломами. В то же время в крупных тектонических нарушениях гнезда, как правило, отсутствуют, что обусловлено повышенной скоростью перемещения растворов. При формировании хрустальных гнезд минералообразующие компоненты извлекаются из боковых горных пород и частично привносятся с более глубоких горизонтов [6, I5]. При высокой подвижности растворов либо оказывается недостаточно времени для осуществления реакций между раствором и породой, либо извлеченное из пород вещество тут же удаляется с соответствующей порцией раствора. В связи с этим наиболее благоприятные условия для формирования хрустальных гнезд создаются там, где растворы приостанавливают свое движение. Это наблюдается при перемещении растворов из тонких подводящих трещин (рис.I) в открытые полости, в которых по законам гидродинамики течение замедляется пропорционально увеличению площади сечения проводника, а

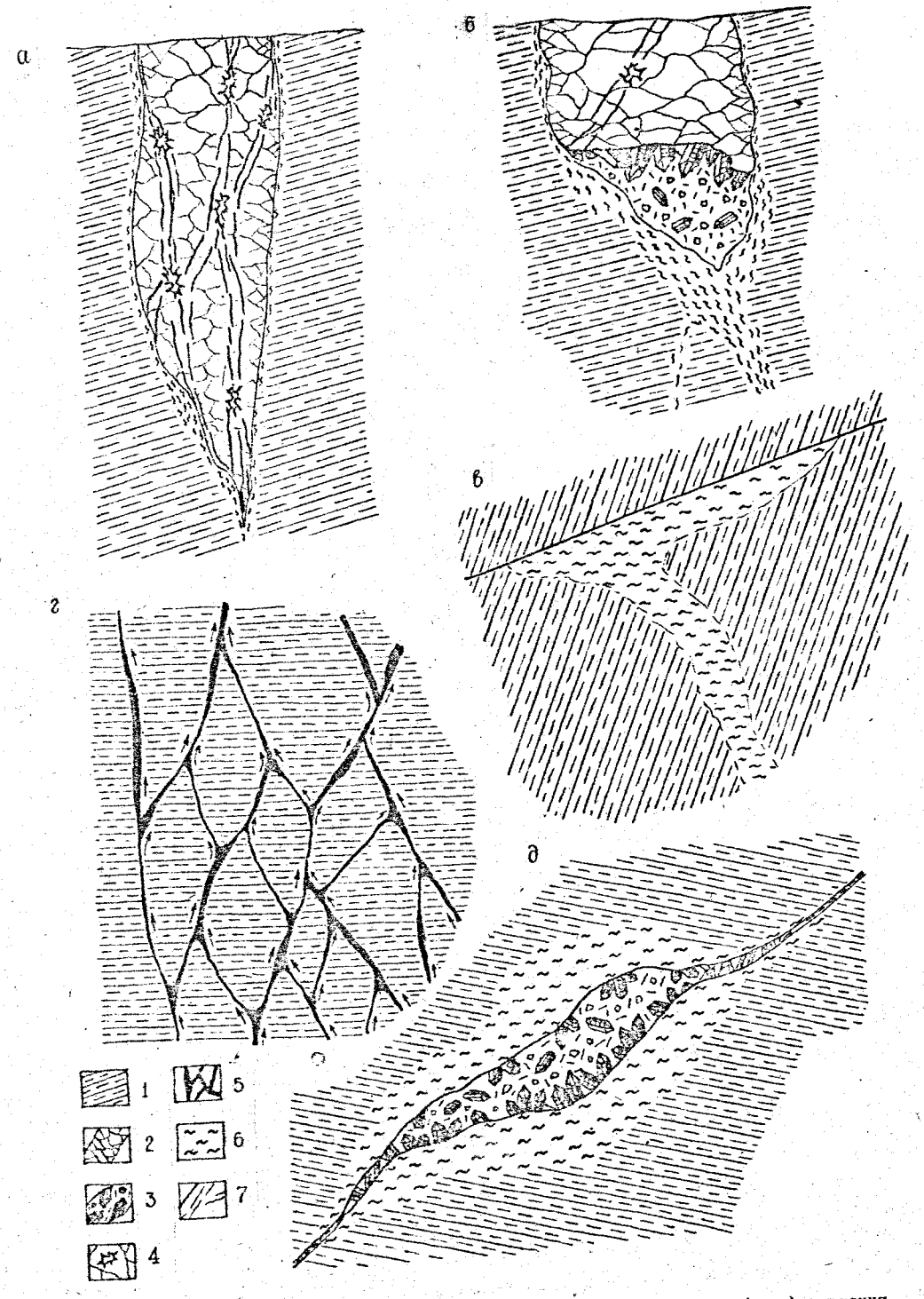


Рис.1. Признаки просачивания (а), экранирования (б, в) и замедления (г, д) движения хрусталеобразующих растворов

1 – кристаллические сланцы; 2 – кварцевые жилы; 3 – хрустальные гнезда; 4 – полости выщелачивания в жильном кварце; 5 – штокверковая хрусталеносная зона; 6 – зоны измененных горных пород; 7 – трещины

также при смене преимущественно ламинарного течения турбулентным (по крайней мере в начальные периоды заполнения полости раствором). Аналогичные явления наблюдаются в зонах сложноветвящихся трещин (тип штокверков), где они усиливаются взаимным подпруживанием разноориентированных потоков раствора (рис.I, г). Меняющаяся скорость перемещения растворов в узких подводящих каналах и в полостях явилась причиной различной степени переработки боковых горных пород: она максимальна около раздувов и практически незаметна около пережимов трещин (рис.I, д).

Внимание исследователей [5] уже давно привлекали явления экранирования восходящих хрусталеобразующих растворов сложными по форме или пологозалегающими кварцевыми жилами, дайками магматических горных пород и даже отдельными трещинами (рис.I, в). С этих позиций неблагоприятны для образования наложенных хрустальных гнезд крутопадающие линзовидные или плитообразные жильные тела. Растворы свободно обтекают такие тела, просачиваются по трещинам в жильном кварце, вызывая образование в нем мелких полостей растворения с кристалликами кварца на стенках, отложение мусковита, рутила и других минералов хрусталеносного этапа. Породы, вмещающие жилы, несут следы отчетливых, но ограниченных по масштабу изменений (рис.I, а). Подобные жильные тела, несмотря на многочисленные признаки проявления процессов хрусталеобразования, гнезд с кристаллами кварца, представляющими промышленный интерес, не содержат. Вблизи таких тел были встречены жилы более сложной формы с хрустальными гнездами.

Экранирование восходящих растворов не исключает их дальнейшего перемещения, следы которого фиксируются узкими зонами измененных пород вдоль зальбандов жил, развитием полостей растворения (объемом до 3–5 $см^3$) в одиночных трещинах среди жильного кварца над хрустальным гнездом. В пользу существования открытой системы под экранами свидетельствует вынос компонентов при формировании полости гнезда за счет растворения горных пород. Так, в гнездах, расположенных среди мраморов, содержание кальцита не превышает 5% их объема, весь остальной карбонатный материал удален восходящими растворами (диффузия в данных условиях маловероятна). Экранирование растворов является причиной образования хрустальных гнезд под кварцевыми ядрами в пегматитовых жилах [IO].

Относительно застойные условия не только благоприятствуют общему развитию хрустального гнезда (увеличению размеров полости, более интенсивной переработке боковых пород), но также обеспечивают наглядность участия гравитационных сил в процессах минералообразования [4, I2]. Так, с ними связан ускоренный рост верхних граней кристаллов кварца, оседание на них осколков и мелких кристалликов различных минералов, изгиб вниз длиннопризматических кристаллов рутила и турмалина, на которых порой повисают гельминты хлорита, чешуйки мусковита, нарастают мелкие кристаллики карбонатов [4, 9]. Кристаллы кварца в гнездах под жилами преимущественно разрастаются на нижней поверхности жильного кварца, ориентированы головками вниз и достигают здесь наиболее крупных размеров [8, IO]. Развиваясь на блоках жильного кварца, кристаллы наследуют их дефекты, однако при последующих благоприятных условиях роста представляют собою высококачественное

пьезооптическое сырье, так как унаследованные из затравки дефекты проявляются лишь в основании кристаллов [7].

Обращает на себя внимание тот факт, что кристаллы в раздувах трещин разрастаются на зернах породообразующего кварца за счет пирамид нарастания не только основных ромбоэдров $\{10\bar{1}1\}$ и $\{01\bar{1}1\}$, но также острейших ромбоэдров $\{h0\bar{h}l\}$, $\{0h\bar{h}l\}$ и призмы $\{10\bar{1}0\}$. Таким образом, кристаллы могут достигать значительных размеров, во много превосходящих поперечные размеры зерен-зароцышей. В противоположность этому в тонких трещинах кристаллы настолько малы, что очень часто различимы только с помощью бинокулярной лупы. В поперечнике они соизмеримы с зернами породообразующего кварца (0,1-0,5 мм), хотя вдоль оси L_3 достигают 1-2 мм и более. Это объясняется преимущественным развитием в данном случае пирамид нарастания основных ромбоэдров.

Своеобразие формирования кристаллов в тонких трещинах и их раздувах связано, по-видимому, с разной степенью пересыщения растворов, возрастающей при переходе раствора из трещины в полость за счет падения давления в ней.

Установив относительную „застойность" минералообразующих растворов внутри гнезда, целесообразно выяснить продолжительность периодов стабильного их состояния, причины и формы проявления изменений или смены этих состояний. Главной причиной всех этих явлений следует признать внутриминерализационную тектонику, которая вызывает приоткрывание трещин и полостей (или, наоборот, их сжатие), а также появление новых трещин. Следствием этого является изменение давления (увеличение или уменьшение) минералообразующих растворов, а в случае поступления новых порций раствора – изменение их температуры и состава.

Неоднократные тектонические подвижки на протяжении всего этапа хрусталеобразования проявляются в образовании разновозрастных минерализованных трещин, сопровождающихся постепенно затухающими процессами изменения боковых пород. Так, в мраморах наиболее ранние трещины сопровождаются (по мере удаления от трещины) зонами мусковитизации, доломитизации и перекристаллизации горных пород. Около более молодых трещин мусковитизации не наблюдается, а около наиболее поздних происходит лишь перекристаллизация пород.

В трещинах, возникших в разные стадии хрусталеобразования, появляются определенные генерации кварца или их сочетания. При наличии на месторождении всего эволюционного ряда кристаллов кварца (дымчатого, цитрина и аметиста [14]) он может быть обнаружен лишь в наиболее ранних трещинах. В соответствии с этим в хрустальных гнездах можно встретить кристаллы, зародившиеся на разных стадиях хрусталеобразования и сложенные всеми тремя, только двумя и даже одной генерацией кварца. Замена дымчатого кварца цитрином, а последнего аметистом часто наблюдается после скалывания и дробления ранее образовавшихся кристаллов и отражает существенные изменения физико-химических условий минералообразования, в частности возрастание кислотных свойств раствора [11, 14].

Резкое падение давления в гнезде за счет увеличения его объема при тектонических подвижках вызывает не только дробление кристаллов, но также

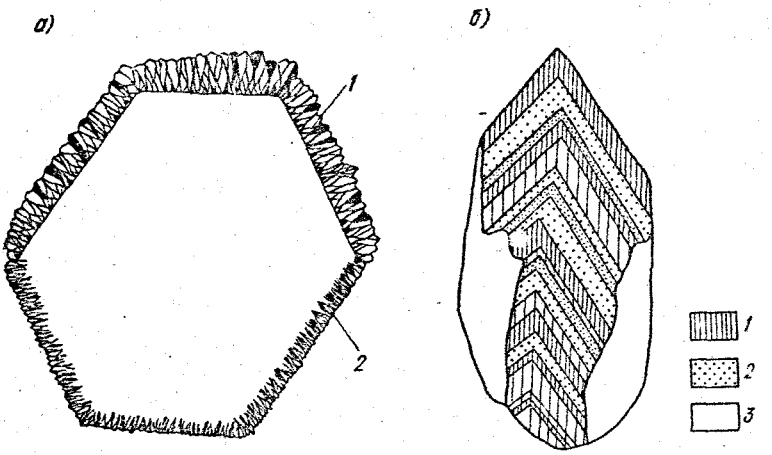


Рис. 2. Типы зональности в кристаллах кварца:
а – текстурная (продольный разрез кристалла)
1 – друзовая корочка; 2 – зона расщепления;
б – структурная (поперечный разрез кристалла)
1 и 2 – дымчатый кварц и цитрин в пирамидах роста основных ромбоэдров; 3 – пирамиды нарастания острейших ромбоэдров. Частота штриховки и точек соответствует густоте окраски

повышение степени пересыщения растворов настолько, что в растворе появляется множество центров кристаллизации, которые, опускаясь на верхние грани кристаллов, являются причиной развития на них кварцевых корочек друзового строения. При этом пирамиды нарастания нижних граней подвергаются расщеплению (рис.2, а).

Трещиноватость кристаллов проявляется не только при смене стадий минералообразования, она сопутствует разным периодам роста кристаллов, причем отдельные трещины трассируются цепочками вторичных газово-жидких включений. В той или иной степени гнезда подвергаются воздействию пострудной тектоники, вызывающей появление в кристаллах "сухих" трещин, а порой их дробление до состояния щебенки.

История формирования кристаллов, записанная в виде особенностей их зонального и секториального строения, показывает постоянные изменения условий их роста, заключающиеся в колебаниях соотношений скоростей роста граней основных $\{10\bar{1}1\}$ и $\{01\bar{1}1\}$ и острейших $\{h0\bar{h}l\}$ и $\{0h\bar{h}l\}$ ромбоэдров и призмы $\{10\bar{1}0\}$. Соседние зоны роста отличаются густотой и типом окраски, наличием сингенетических и захваченных при росте твердых минеральных и газово-жидких включений. Ширина зоны роста, по существу, показывает длительность сохранения стабильных условий кристаллизации, а зональное строение кристалла в целом является своеобразной сейсмограммой всего периода минералообразования [2], чувствительной к малейшим изменениям термодинамических параметров системы (рис.2, б). Среди этих изменений предпочтение следует отдать давлению как более чувствительному к процессам сжатия и растяжения. Колебания температуры в этих условиях менее существенны, хотя некоторые исследователи [7, 13] в них видят причину зональности кристаллов.

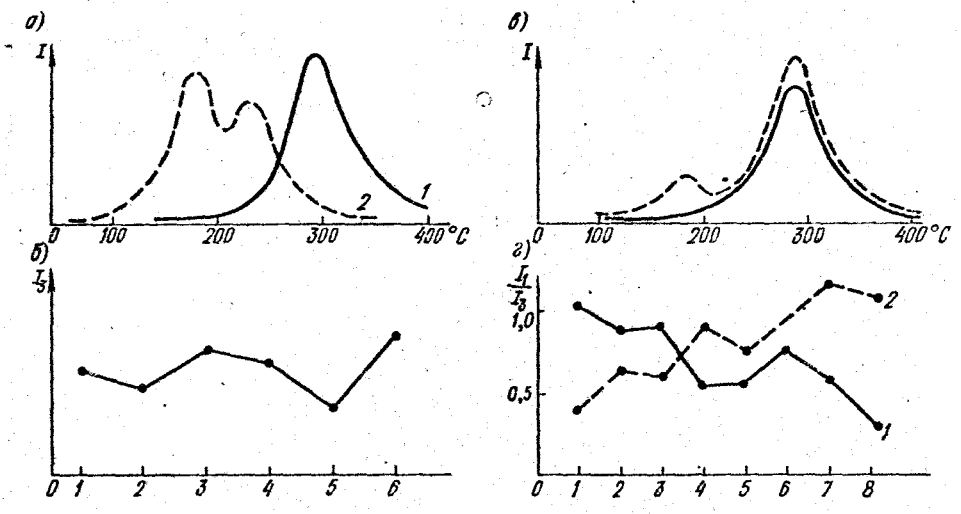


Рис.3. Особенности термолюминесценции кварца: а - кривые ИТЛ дымчатого кварца (1) и цитрина (2); б - изменение интенсивности свечения различных зон роста кристаллов кварца; в - типы кривых ИТЛ дымчатого кварца из зон роста кристалла; г - изменение отношения интенсивностей свечения низкотемпературного (150-200°С) I_1 и высокотемпературного (250-300°С) I_3 максимумов дымчатой (1) и цитриновой (2) стадий

Амплитуда изменений параметров системы непостоянная, в связи с чем в одних случаях в соседних зонах меняется лишь густота окраски, в других меняется цвет кварца (дымчатый кварц сменяется цитрином или наоборот). Смена окраски свидетельствует об изменении pH растворов, которое может достигать такой степени, что в отдельные периоды вместо роста происходит растворение ранее образовавшегося кристалла, обнаруженное В.В.Буканови м в виде «колпачков растворения" [2].

Как уже отмечалось [14], данные индуцированной термолюминесценции (ИТЛ) позволяют более объективно оценить описанную выше зональность (рис.3). Главные генерации кварца отличаются характером свечения: дымчатый кварц обнаруживает один максимум свечения, цитрин - два максимума (рис.3, а). Соседние зоны роста с одинаковой окраской отличаются по интенсивности свечения (рис.3, б), а в дымчатом кварце, кроме того, появляется низкотемпературный (150-200°С) максимум с широко варьирующей интенсивностью (рис.3,в). При смене окраски в зонах роста одной генерации форма кривой ИТЛ становится более сложной, характеризующейся появлением помимо основного для данной генерации максимума свечения дополнительных: для цитрина (2-я стадия) - высокотемпературного, для дымчатого кварца (1-я стадия) - двух низкотемпературных (150-200°С и 200-250°С). При этом внутриминерализационные колебания состава кварца не меняют общей тенденции к увеличению доли дымчатых или цитриновых центров окраски и свечения (рис.3, г).

Таким образом, приведенные факты свидетельствуют о том, что относительно спокойные условия роста кристаллов кварца в хрустальных гнездах, создаваемые в полостях-раздувах трещин или при экранировании восходящих растворов, постоянно нарушаются в результате проявления внутриминерализационной тектоники. Это находит отражение в зональном строении кристаллов вплоть до появления у них внутренних областей растворения, зон расщепленного роста и

захвата включений, а также в развитии трещиноватости кристаллов. Наиболее грубозональное строение имеют кристаллы из гнезд в зонах активных тектонических движений. В противоположность этому кристаллы кварца из гнезд, связанных с обособленными кварцевыми жилами, отличаются большей однородностью окрасок в соседних зонах роста, большей шириной отдельных зон. В таких кристаллах смена генераций более отчетливая и резкая.

Смена условий кристаллизации в определенной мере благоприятна для повышения скорости общего разрастания кристаллов, но понижает их качество за счет нарушений однородности монокристального сырья, появления в определенные периоды и стадии хрусталеобразования кристаллизационных дефектов (двойников, мозаичности).

Рассмотренные условия локализации хрустальных гнезд и особенности формирования кристаллов кварца в них должны использоваться как поисковые признаки и оценочные критерии отдельных хрусталеносных жил и зон наравне со всеми прочими геологическими факторами.

Литература

1. Ануфриев Ю.Н. Особенности происхождения метаморфогенных хрусталеносных гнезд на Урале. В кн.: Проблема метаморфогенного рудообразования (тезисы докладов). Киев, „Наукова думка", 1969.

2. Буканов В.В. Горный хрусталь Приполярного Урала. Л., „Наука", 1974.

3. Вертушков Г.Н. Метаморфизм жильного кварца. Тр. Свердл. горн. ин-та, 1955, вып. 22.

4. Григорьев Д.П. Онтогения минералов. Изд-во Львовского университета, 1961.

5. Карякин А.Е. Пути движения растворов и механизм образования хрустальных гнезд Приполярного Урала. Зап. ЛГИ, 1959, т. 35, вып. 2.

6. Карякин А.Е., Смирнова В.А. Структуры хрусталеносных полей. М., „Недра", 1967.

7. Карякина Т.А. Анатомия и дефекты кварца. Зап. ВМО, 1975, ч. 104, вып. 2.

8. Кораго А.А. Об особенностях распределения кристаллов кварца различной величины в хрустальных гнездах Приполярного Урала. Зап. ВМО, 1974, ч. 103, вып. 4.

9. Мокиевский В.А. К вопросу об искажении облика природных кристаллов. Зап. ВМО, 1953, ч. 82, вып. 3.

10. Никитин В.Д., Руденко С.А., Эшкин В.Ю. Типы хрусталеносных пегматитов Урала и условия их образования. В кн.: Пегматиты. Минералогия, генезис и промышленная оценка (материалы конференции). Изд. ЛГИ, 1972.

11. Типоморфное значение примесей в кристаллах кварца для оценки условий образования и качества сырья (на примере Украины и Урала). В кн.: Типоморфизм кварца Украины. Киев, „Наукова думка", 1974. Авт.: Б.А.Колбин, А.Г.Малышев, М.И.Самойлович, Л.И.Цинобер.

12. Шафрановский И.И. Кристаллы минералов. Ч. 1. Плоскогранные формы. Изд-во ЛГУ, 1957.

13. Шефталь Н.Н. Ритмичность в процессах роста кристаллов. Вестник МГУ, 1966, серия 4 (геология), № 6.

14. Эшкин В.Ю., Карякина Т.А., Богданова Г.Н. Эволюция и типоморфизм кристаллов кварца на одном из хрусталеносных полей Южного Урала. Зап. ВМО, 1975, ч. 104, вып. 4.

15. Эшкин В.Ю. Некоторые особенности генезиса и минералогии месторождения горного хрусталя в мраморах на Приполярном Урале. Тр. ВНИИП, 1960, т. 3, вып. 2.