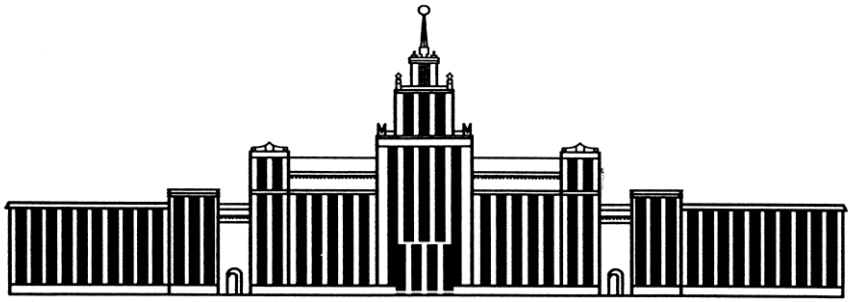
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

549(07)
К12

Л.Я. Кабанова

ИЗУЧЕНИЕ КВАРЦЕВЫХ АГРЕГАТОВ

Практикум

Челябинск
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Филиал в г. Миассе
Кафедра минералогии и геохимии

Л.Я. Кабанова

ИЗУЧЕНИЕ КВАРЦЕВЫХ АГРЕГАТОВ

Практикум

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2016

УДК 549.514.51(075.8)
К12

Одобрено
учебно-методической комиссией
геологического факультета
филиала ЮУрГУ в г. Миассе.

Рецензенты:
П.М. Вализер, В.Г. Кориневский

Кабанова, Л.Я.
К12 Изучение кварцевых агрегатов. Практикум / Л.Я. Кабанова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 0 с.

Практикум предназначен для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Петрография» и рекомендуются для работы со студентами технических вузов, осуществляющих подготовку бакалавров по направлению «Геология». В практикуме подробно охарактеризованы морфология индивидов кварца в вулканических, плутонических породах, а также в жильных агрегатах, рассмотрены последствия хрупкой и пластической деформации зерен, приведены иллюстрации.

УДК 549.514.51(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение……..…… 3
Глава 1. Морфология кварцевых индивидов и агрегатов
1.1. Форма зерен в кварцевых жилах……. 4
1.2. Форма зерен кварца в вулканогенных породах……. 11
1.3. Форма зерен кварца в плутонических породах……. 15
Глава 2. Изменения кварцевых зерен…….. 18
2.1. Хрупкая деформация……. 18
2.2. Пластическая деформация…… 20
2.3. Структуры кварцевых агрегатов…….. 22
Заключение……..……..… 27
Библиографический список…….……... 28

ВВЕДЕНИЕ

Кварц, один из наиболее распространенных минералов земной коры, входит в состав многих горных пород и имеет широкое практическое применение. Он является минералом, который несет информацию не только о его происхождении, зарождении и росте, но и о дальнейшем изменении, вплоть до полного перерождения. Морфология кристаллов кварца позволяет выяснить характер его взаимоотношения с минералообразующей средой, выявить природу его зональности, особенности внутреннего строения, деформацию зерен, т.е. все признаки, свидетельствующие о периодическом изменении условий кристаллизации.

Не менее важными процессами, влияющими не только на изменение типоморфных особенностей кварца, но и на технологические качества, являются процессы перекристаллизации (рекристаллизации). Они меняют облик кварца, вызывая в процессе перекристаллизации укрупнение или уменьшение величины зерен. Исследуя морфологию кварцевых зерен, удается установить связь хрупких и пластических деформаций с механохимическими и метаморфическими процессами и проследить явления миграции различных примесей в кварце.

Кварц встречается в магматических породах – вулканических (риолиты, дациты) и плутонических (граниты и гранодиориты), в метаморфических породах и осадочных образованиях. Кроме того он может кристаллизоваться при низких температурах и иметь органическое происхождение. В небольшом количестве он также найден в некоторых каменных метеоритах и в лунном материале.

Известны горные породы, состоящие почти полностью из минералов кремнезема. Среди них наиболее часто встречается жильный кварц, сложенный агрегатом зерен, ограниченных индукционными гранями. При метаморфизме он превращается в гранобластический агрегат, который часто называют гранулированным кварцем. Вторичные кварциты – метаморфические или метасоматические породы, состоящие преимущественно из зерен кварца, но содержащие примесь силикатов и алюмосиликатов. Кварцевые пески и песчаники, имеющие близкий к мономинеральному состав, практически состоят из одного кварца и образуются в результате накопления кварцевых обломочных зерен в процессе осадкоотложения и транспортировки водными потоками. Широко распространенные на Урале яшмы имеют кварц-халцедоновый состав и могут иметь осадочное, вулканогенное или биохимическое происхождение. Остатки фауны и флоры обычно выполнены кремнистым веществом – халцедоном, опалом, кристобалитом, или крипто-микрозернистым кварцем. В яшмах, ассоциирующих с вулканитами, присутствуют силикаты и алюмосиликаты, такие, как актинолит, хлорит, эпидот, гранат, гидрослюды, пренит, оксиды и гидрооксиды железа и марганца.

Морфология кварца зависит от условий образования, поэтому часто кварц из разных пород и разных по генезису жил характеризуется индивидуальными

особенностями. По структурно-текстурным особенностям кварца можно определить его технологические качества.

Данное пособие по проведению лабораторной работы преследует цель научить студентов определять в шлифах морфологические особенности кварцевых зерен, выяснять историю минерального индивида по дефектам его кристаллического строения и огранки, которые всегда отражены на минералах в процессе их кристаллизации и последующих преобразований.

Прозрачный шлиф представляет собой сколок, срез горной породы или жильного тела, поэтому зерна в шлифе под микроскопом имеют разные сечения. По ним можно определить форму зерен, их границы, расположение в них трещин, включений, полос деформации, наличие или отсутствие блоков, погасание зерен, наличие или отсутствие двойников.

На рисунках приняты обозначения минералов:

Bt – биотит, Mic – микроклин, Ort – ортоклаз, Pl – плагиоклаз, Q – кварц.

Глава 1. МОРФОЛОГИЯ КВАРЦЕВЫХ ИНДИВИДОВ И АГРЕГАТОВ

1.1. Форма зерен в кварцевых жилах

Жильный кварц характеризуется агрегатами зерен, с одинаковой кристаллической структурой и составом, но различающихся характером границ, количеством и расположением трещин, включений и элементов деформационных структур. Кварц в кварцевых жилах позволяет определить форму, проследить характер роста кварцевых кристаллов, выяснить последовательность их образования, выявить связь данных жил с вмещающими породами.

Изучая кварцевые жилы, можно выявить определенную закономерность в формировании агрегатов при совместном росте индивидов в одну сторону. Эту закономерность выявил Д.П. Григорьев [1], который выделил три различные, но непрерывно переходящие одна в другую стадии.

Первая стадия – это стадия множества зародышей, не соприкасающихся друг с другом и растущих в виде отдельных кристаллов (рис. 1а). Их размер определяется скоростью роста, расстоянием между центрами кристаллизации и ориентировкой вектора максимальной скорости роста. По мере того как кристаллы, дорастая, заполнят все свободное пространство, определятся те из них, которые расположены направлением наибольшей скорости роста под крутым углом к общей поверхности нарастания.

Вторая стадия – это стадия друзового роста, когда различно ориентированные кристаллы при росте соприкасаются. При этом происходит геометрический отбор, т.е. преимущественное развитие кристаллов, ориентированных вектором максимальной скорости роста нормально к субстрату.

Третья стадия параллельно-шестоватого роста возможна только для кристаллов, расположенных строго перпендикулярно к поверхности роста. В отличие от предыдущей стадии все индивиды, составляющие агрегат, растут примерно с одинаковой скоростью. Поэтому идиоморфные кристаллы

образуют идиоморфные зоны, иногда с первичными газово-жидкими включениями или имеющими разную окраску. В этом случае видно полное соответствие внутренней морфологии всех индивидов, слагающих параллельно-шестоватый агрегат. Поэтому описание зональности индивида позволяет восстановить существенные черты развития всего агрегата.

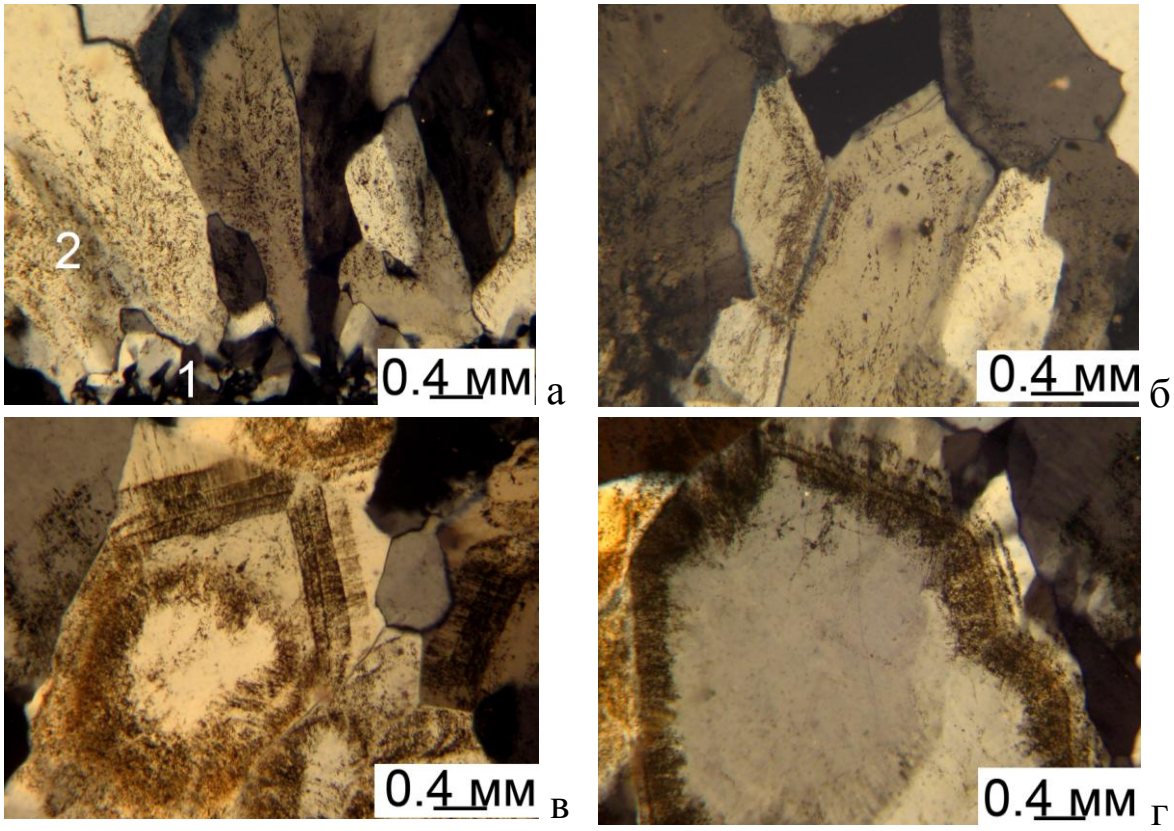


Рис. 1. Строение жильного кварцевого агрегата в результате геометрического отбора: а – 1 зона – рост отдельных кристаллов, 2 – друзовый рост; б, в, г – зональные кристаллы кварца с включениями по зонам роста. Фото шлифов

В гидротермальных жилах в крупных кристаллах часто встречаются залеченные трещины с включениями, идущими как по плоскостям призмы, так и по каким-либо случайным иррациональным плоскостям, не являющимися близкими к формам роста кварца. В этом случае в трещинке образуются многоглавые микрощетки, которые при смыкании дают характерные «мохнатые» слои включений (рис. 2б–г).

Геометрический отбор кристаллов начинается при их смыкании, соприкосновении. Это происходит, когда поперечный размер кристаллов становится близок к среднему расстоянию между центами кристаллизации. Чем больше расстояние между центами кристаллов, тем большую мощность будут иметь зоны друзовых и шестоватых агрегатов. Возможны случаи формирования жил без геометрического отбора, когда образуются слои с агрегатами первой стадии формирования, или только первой и второй. Встречаются сложно построенные жилы, с зонами, соответствующими всем трем стадиям формирования, без остаточных друзовых пустот.

Встречаются маломощные жилки, в которых краевые части сложены халцедоном или кристобалитом и эта зона является первой стадией формирования жилы. Следующая зона представлена друзовым агрегатом (см. рис. 2а). Зона параллельно-шестоватых агрегатов в таких жилках не всегда проявлена. Однако отмечаются жилки небольшой мощности, в которых отчетливо выражены все три зоны (см. рис. 2б).

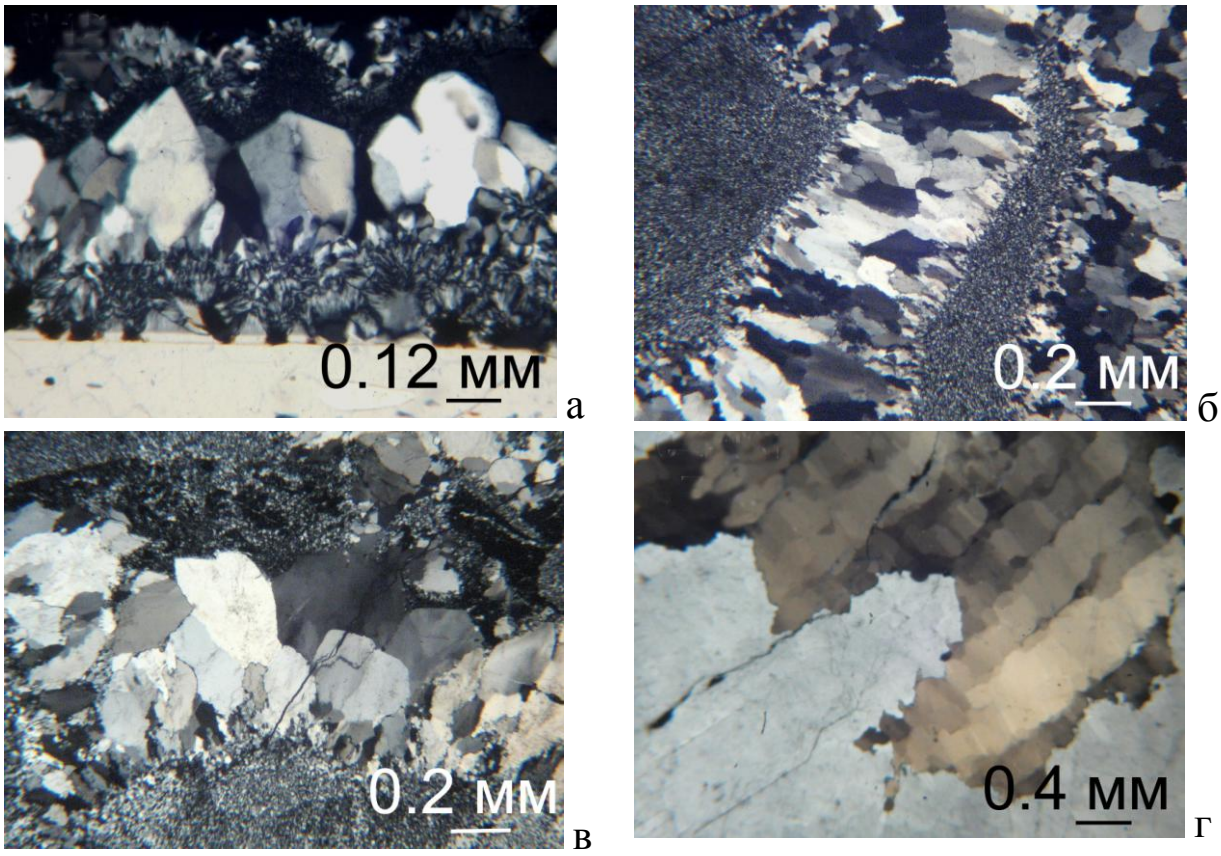


Рис. 2. Строение жильного кварцевого агрегата: а - с кристобалитом и халцедоном в краевых частях; б – с геометрическим отбором; в – без геометрического отбора; г – встречный рост шестоватых агрегатов. Фото шлифов с анализатором

Если анизотропия скорости роста не выражена, формирование параллельно-шестоватого агрегата не сопровождается геометрическим отбором (см. рис. 2в). Некоторые жилки бывают выполнены только шестоватыми кристаллами (см. рис. 2г).

По мнению В.А. Попова [9] совершенным геометрическим отбором считается тот, результатом которого является параллельно-шестоватый агрегат минеральных индивидов субизометричного облика, образующий минеральные щетки. Несовершенный геометрический отбор приводит к образованию неравнозернистого агрегата – друзы.

Агрегаты без геометрического отбора могут образоваться, если расстояние между центами кристаллизации больше расстояния между стенками полости. При этом индивиды могут быть крупными, но ориентировка их различна, а размер соизмерим с мощностью жилы. Такие жилы часто выполнены единичным индивидом. Подобные жилы встречаются в гранитах и бывают

выполнены стекловидным кварцем. Мощность таких жилок невелика, колеблется в широких пределах от 1–2 мм до 2–3 см. такие жилки часто имеют ответвления (апофизы), бывают ветвящимися и расщепленными (рис. 3).

Кристаллизация минералов может при подходящих условиях продолжаться достаточно долго, но может и закончится на каждой стадии. Это зависит от ряда условий, в том числе и от мощности жилы.

Минеральные зерна часто рассматривают как кристалл, но в шлифах мы имеем дело с сечениями кристаллов, находящихся в парагенезисе с другими зернами. Если бы пространство было выполнено индивидами, не соприкасающимися при росте, то все они имели бы совершенную огранку. Именно таким образом формируются в жиле параллельно-шестоватые агрегаты. Внутреннее строение индивидов, лишенных огранки в результате стесненного роста в общем аналогично идиоморфным кристаллам.

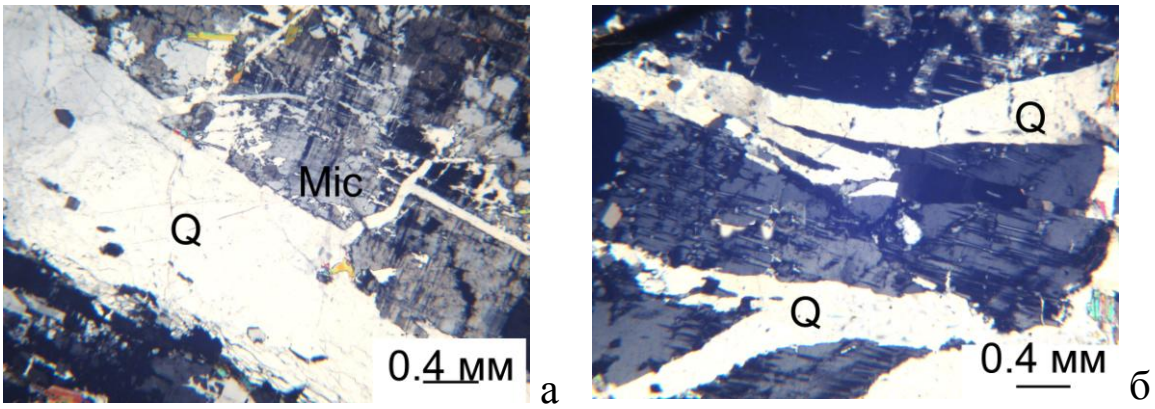


Рис. 3. Жилки однородного кварцевого агрегата: а – с апофизами; б – ветвящиеся, с расщеплением

Кристаллы формируются путем последовательного нарастания слоев, их грани при росте перемещаются параллельно самим себе, обусловливая зональное и секториальное строение реальных кристаллов [5]. Признаком такого послойного роста зерен кварца служат индукционные грани и зоны роста, часто сопровождаемые включениями минералов или газово-жидкими включениями.

По мнению Д.П. Григорьева [2] существует другой распространенный механизм образования минеральных индивидов, связанный с процессом рекристаллизации – замещением деформированного напряженного индивида агрегатом мелких зерен с ненарушенной кристаллической решеткой. Новые идиоморфные зерна растут за счет деформированных участков его кристаллической решетки. Эти зерна занимают иное по сравнению с матрицей положение, отклоняясь от исходной ориентировки на значительные углы.

Деформированный участок кристалла можно представить в виде слабо разоориентированных мелких блоков, разделенных малоугловыми границами.

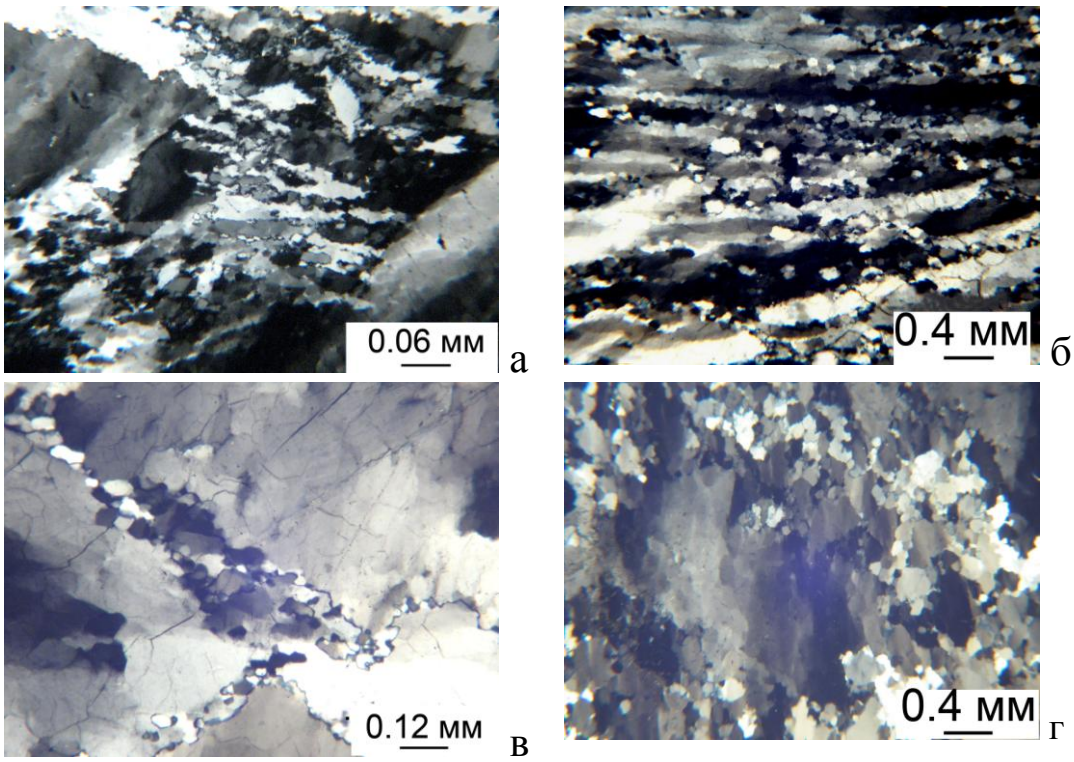


Рис. 4. Рекристаллизация по системам полос деформации: а – незакономерное положение полос новообразованного кварца относительно матрицы; б – субпараллельное расположение прожилков новообразованного кварца; в – расчленение исходного кварца на фрагменты; г – реликты исходного кварца среди микрогранобластового агрегата новообразованного кварца. Фото шлифов с анализатором

Процесс рекристаллизации, сопровождаемый образованием агрегата мелких зерен, обычно связан с динамометаморфизмом, в результате которого зерна минералов подвергаются деформации. Рекристаллизация наиболее часто происходит по полосам деформации, в участках локализации пластической деформации. В пределах участка переориентировки возникают зерна, вытянутые по удлинению полосы. Зерна бывают одного размера, но часто в полосах деформации различаются по размерам. Мелкие зерна сравнимы с шириной полос деформации и находятся в незакономерном положении относительно деформированной матрицы. Крупные зерна находятся в двойниковом положении и, разрастаясь, захватывают промежутки между полосами (см. рис. 4а). Незакономерное положение полосок и жилок новообразованного кварца проявляется особенно отчетливо, если исходный кварц интенсивно блокован. Если зерна подвергнуты только пластической деформации и полосы деформации субпараллельны, то и прожилки новообразованного кварца унаследуют эту ориентировку (см. рис. 4б).

Если в исходном кварце полосы пластической деформации пересекаются, то слойки новообразованного кварца расчленяют индивиды исходного кварца на фрагменты (см. рис. 4б), и, разрастаясь, создают «псевдопорфиробластовую» структуру кварцевого агрегата с микрогранобластовой структурой основной

ткани (см. рис. 4г). Новообразованные зерна оптически однородны, обычно имеют прямое погасание и не содержат никаких следов деформации.

Зерна новообразованного кварца обычно характеризуются простыми прямолинейными границами (рис. 5а), а фрагменты исходных зерен отличаются зубчатыми (см. рис. 5б), ступенчатыми (см. рис. 5в), и зубчато-ступенчатыми границами (см. рис. 5г).

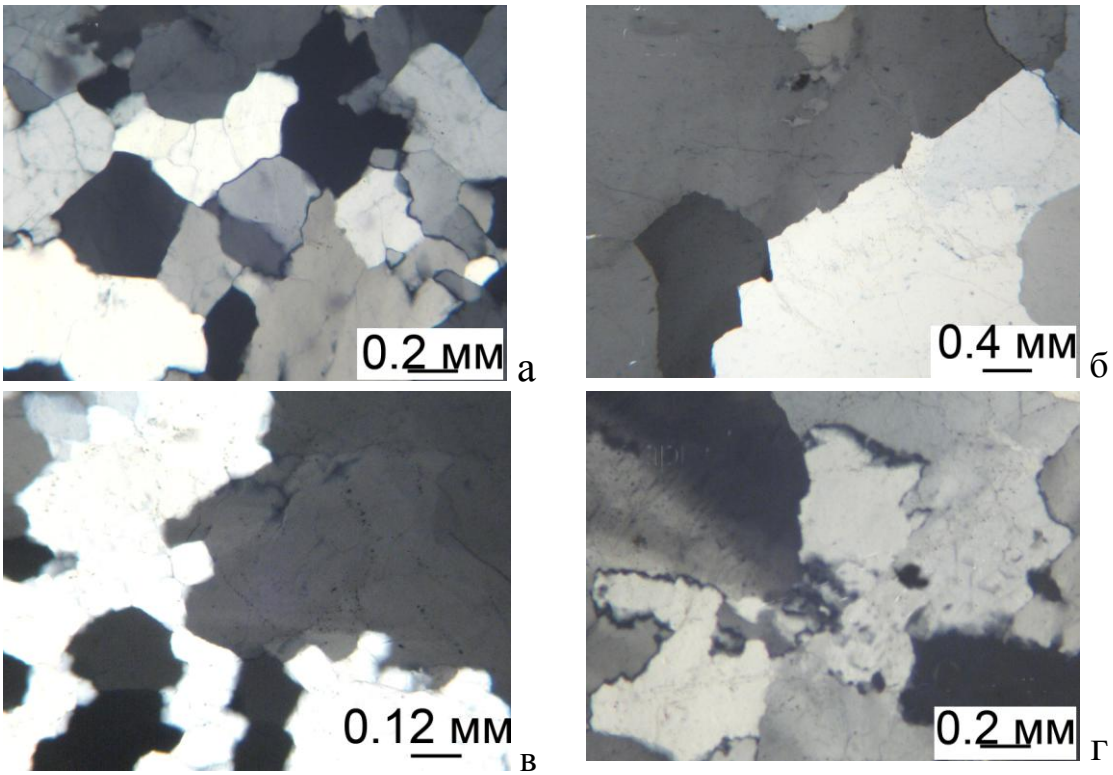


Рис. 5. Границы кварцевых зерен: а – простые границы новообразованного кварца; б – зубчатые границы зерен; в – ступенчаты; г – сложные ступенчато-зубчатые границы. Фото шлифов с анализатором

Границы бывают настолько сложными, что смежные зерна как бы прорастают друг в друга и в сечении шлифа такое образование производит впечатление мелкозернистого агрегата (см. рис. 5в, г). Характер границы зависит от ориентировки смежных зерен и это отчетливо проявляется в полизернистом агрегате. Наиболее протяженные, сложные границы с входящими углами наблюдаются у зерен, которые находятся в двойниковом положении. При незакономерном расположении зерен границы между ними простые.

Часто в зернах кварца отмечается блокование, которое также обусловлено пластической деформацией. Блоки в кварце обычно имеют пластинчатую форму, границы субпараллельны, ориентировка симметрична относительно их границ. Размер блоков от сотых долей мм до 5 мм по ширине. Каждый блок оптически однороден. По границам не наблюдается никаких напряжений. Блоки видны только с анализаторм, в скрещенных николях они четкие прямолинейные. Местами блоки проявлены отчетливо, характеризуются

прямоугольной формой, субпараллелными границами, но иногда границы нарушены локальными трещинами (рис. 6а). Встречаются вытянутые блоки с сутурными извилистыми границами (см. рис. 6б).

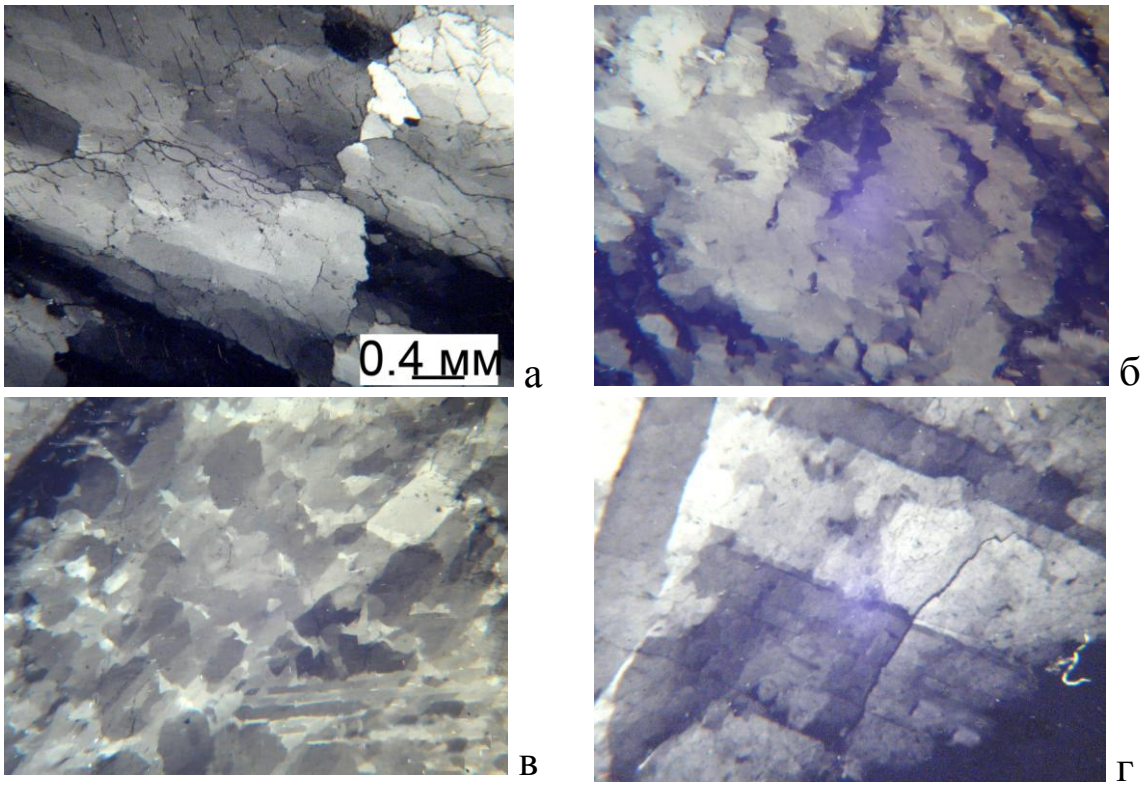


Рис. 6. Блокованный кварц: а – блоки прямоугольной формы, местами нарушены локальными трещинами; б – блоки с сутурными границами; в – блоки ромбической формы в комбинации с изгибами; г – прямоугольные блоки в разлистованном кварце. Фото шлифов с анализатором. Увеличение одинаковое – 0.4 мм

В разлистованном кварце, где положение плоскостей разлистования совпадает с гранями ромбоэдра, встречаются мелкие блоки ромбоэдрической формы. Форма их местами проявлена отчетливо, но в комбинации с системами изгибов блочное строение проявлено слабо (см. рис. 6в). В полосах разлистования встречаются крупные прямоугольные блоки, расположенные в пределах полос разлистования (см. рис. 6г). В случае интенсивной деформации форма блоков искажается.

В осадочных породах, особенно часто в яшмах, встречаются маломощные кварцевые жилки, выполненные сферолитами кварца. Радиально лучистые сферолиты сложены игольчатыми зернами кварца, часто подкрашенные оксидами железа в красновто-бурые или красные тона, либо оксидами марганца в темно-серый, почти черный цвет.

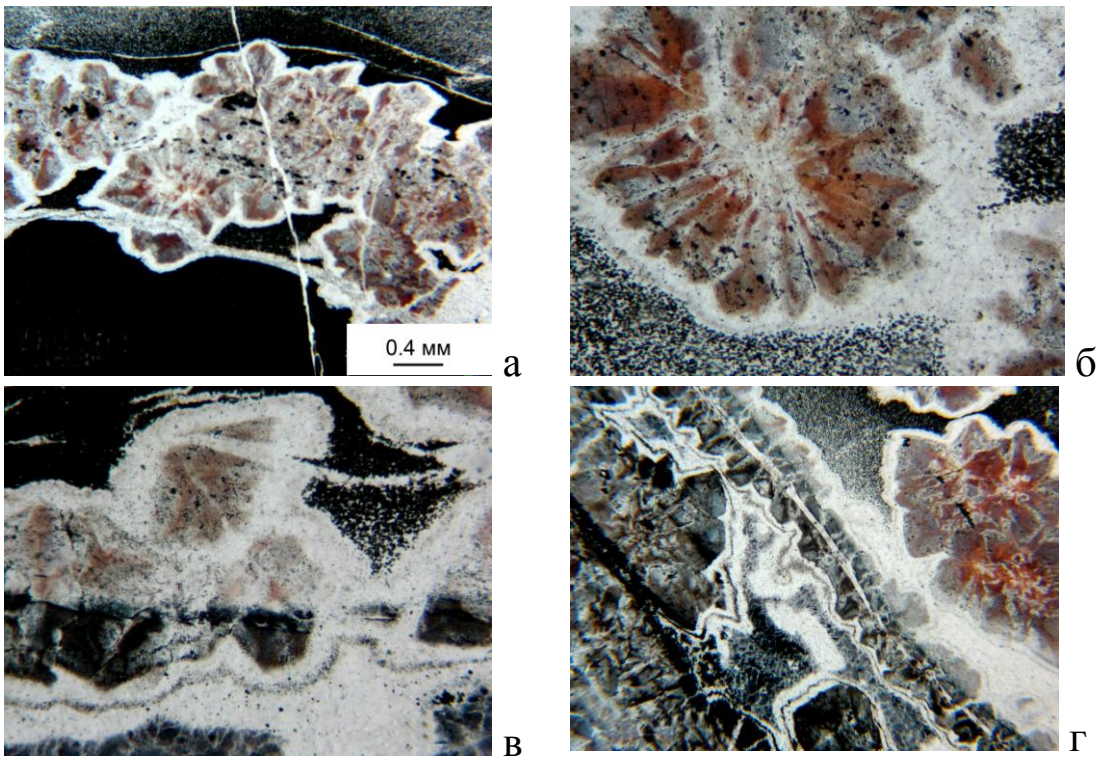


Рис. 7. Яшма: а – микросферолиты кварц-гематитового состава в опаловой матрице; б – кварц-гематитовые сферолиты в халцедоновой основной массе; в, г – комбинация сферолитов с тонкими слойками халцедона и кристобалита. Фото шлифов с анализатором. Увеличение одинаковое – 0.4 мм

Встречаются жилки, в которых промежутки между сферолитами выполнены опалом (см. рис. 7а), а в сферолитах между игольчатыми зернами кварца находятся включения точечных зерен гематита (см. рис. 7б). Такие сферолиты обычно подкрашены гематитом в красный цвет и бывают весьма декоративными. Иногда встречаются жилки сложного выполнения, в которых наблюдается комбинация слойков халцедона, кристобалита и сферолитовых выполнений (см. рис. 7в, г).

1.2. Форма зерен кварца в вулканогенных породах

В вулканических и субвулканических породах кристаллизуется высокотемпературный и низкотемпературный кварц. Формы развития кварца разные: низкотемпературный кварц имеет удлиненную призматическую форму кристаллов, высокотемпературный – дипирамидальный габитус, грани призмы редуцируются. Вкрапленники кварца в кислых излившихся породах и часто в гранит-порфирах имеют хорошо выраженный дипирамидальный габитус, свидетельствующий о том, что вкрапленники кристаллизовались при температуре выше 573 ^{o}C. В дальнейшем, при охлаждении, происходит переход высокотемпературного кварца в низкотемпературный.

Дайки кварцевых и кварц-плагиоклазовых риолитов характеризуются порфировой структурой. Фенокристаллы кварца имеют идиоморфную форму зерен дипирамидального облика (рис. 8а). Часто встречаются округлые зерна (см. рис. 8б–г). Погасание зерен разное и зависит от степени деформации:

встречаются зерна с волнистым или мозаичным погасанием, наблюдаются блокованные зерна.

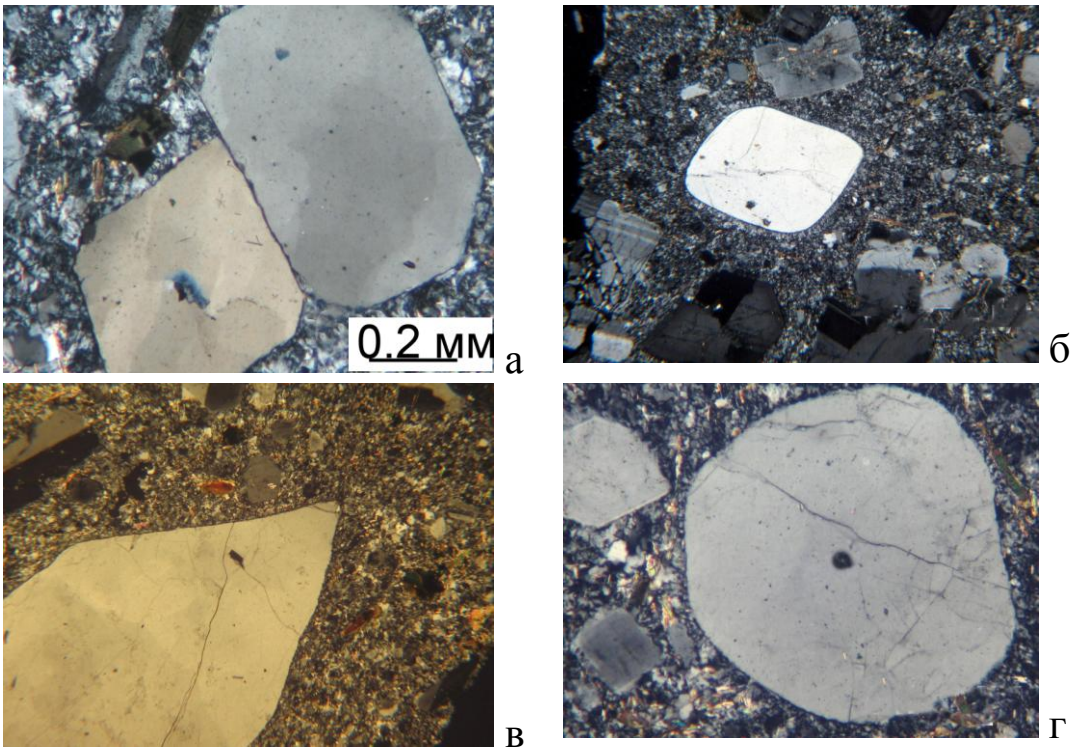


Рис. 8. Форма фенокристаллов кварца в гранит-порфире: а – зерна гексагонально-призматического габитуса, нижнее зерно блоковано; б – зерна близкой к ромбоидальной формы; в – сечение зерна пирамидальной формы; г – зерно округлой формы. Фото шлифов с анализатором. Увеличение одинаковое – 0.2 мм

Границы зерен преимущественно прямолинейные, но часто встречаются вкрапленники с волнисто-извилистыми границами (рис. 9а), с бухтообразными втёками (см. рис. 9б). Отмечаются зерна с глубокими трубчатыми втёками (см. рис. 9в), замкнутыми, не соединенными с основной массой. Это вкрапленники кварца первой генерации. Включения стекла в них соответствуют по составу исходному расплаву.

Фенокристаллы с включениями основной массы, обычно округлой формы, соединенными с ней тончайшими канальцами, содержат остаточный расплав, и кварц этот является кварцем второй генерации. Обычно в таких зернах содержимое включения раскристаллизовано, как и основная масса породы (см. рис. 9г), либо выполнено волокнистым халцедоном или кристобалитом. Эти минералы, имея одинаковый химический состав, различаются формой выделений и разными показателями преломления [8]. Большая часть вкрапленников представляет срастания двух и более кристаллов, формирующих гломеропорфировую структуру. Нередко к большому кристаллу прирастает меньший и в дальнейшем весь сросток обрастает более крупным кристаллом. В разрезе получается округлая граница между индивидами, иногда заполненная основной массой (см. рис. 9д).

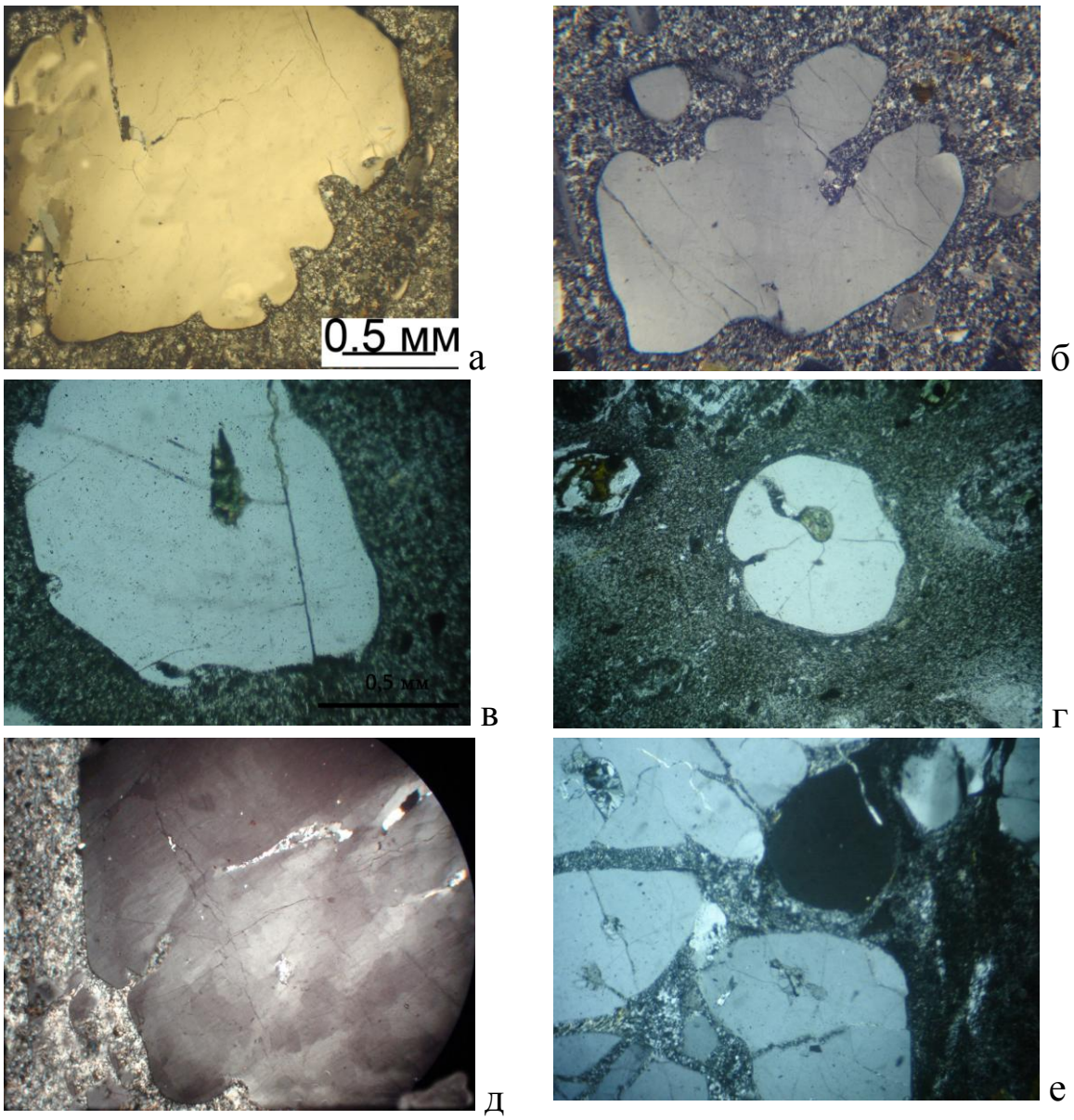


Рис. 9. Форма фенокристаллов кварца в гранит-порфире и кварцевом риолите: а – зерно округлой формы с волнисто-извилистой границей; б – с бухтообразным втёком основной массы; в – с включением стекла; г – с включением раскристаллизованной основной массы; д – с трещинами, выполненными раскристаллизованной основной массой; е – расчленение кварцевого фенокристалла на фрагменты основной массой. Фото шлифов с анализатором. Увеличение одинаковое – 0.5 мм

Такие сростки могут разъединяться в расплаве, приобретая облик «обломочных» зерен с глубокими заливами основной массы (см. рис. 9е). В некоторых зернах кварца отчетливо проявлена зональность, подчеркнутая включениями вулканического стекла или газово-жидкими включениями.

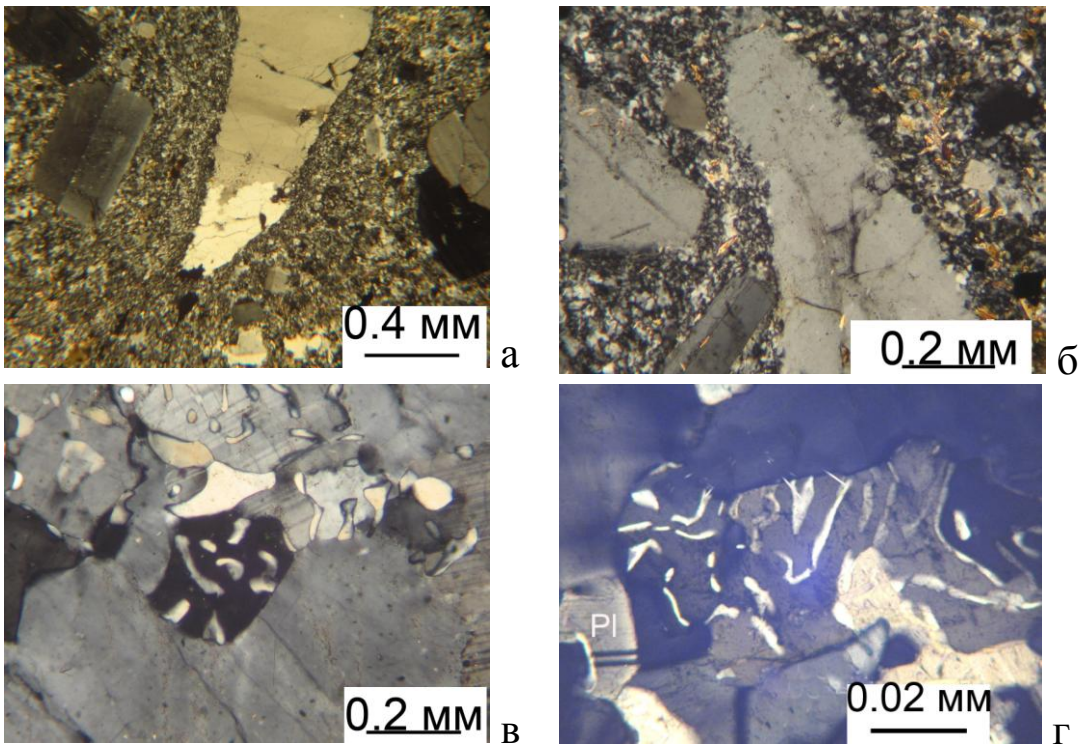


Рис. 10. Форма кварцевых зерен: а, б – корродированные зерна пирамидального кварца с газово-жидкими включениям и чешуйками мусковита; в, г – червеобразные зерна кварца в мирмекитовых сростках. Фото шлифов с анализатором

Включения стекла обычно приурочены к зонам роста кристаллов кварца. Наряду с включениями вулканического стекла наблюдаются вторичные газово-жидкие включения. Они располагаются в плоскостях, секущих зоны роста с первичными включениями стекла. Форма их отличается бухтообразным обликом и присутствием газового пузырька. Размеры включений колеблются в довольно широких пределах от 0.1–0.5 мкм до 10–20 мкм. Они образуют скопления в виде пунктирно-точечных цепочек с редкими или сгущенными включениями газа и жидкости, либо полей овальной формы. Обычно они приурочены к трещинам деформации, залечивая их. Образование трещинок в магматическом кварце А.Е. Ферсман связывал [7] с инверсией высокотемпературного гексагонального кварца в низкотемпературный тригональный. Этот процесс сопровождается скольжением и образованием разломов в кварце.

Направлениями таких разломов оказываются плоскости параллельные призме или ромбоэдру. Постмагматические гидротермальные растворы, циркулируя по трещинкам в кварце, залечивают их [7], при этом возникают микрожилки сложенные, наряду с кварцем, чешуйками слюды и эпидота (см. рис. 10а, б). В случае метасоматического преобразования породы, при замещении калиевого полевого шпата плагиоклазом часто возникают срастания альбита с кварцем – мирмекиты, в которых кварц имеет червеобразную форму (см. рис 10в, г).

1.3. Форма зерен кварца в плутонических породах

Кварц в плутонических породах является главным породообразующим минералом в гранодиоритах и гранитах, где он составляет от 20 до 35 % объема породы и только в некоторых лейкогранатах может достигать 40 %.

Обычно в гранитах и гранодиоритах кварц отмечается двух генерациях, различающихся как по размерам, так и по форме.

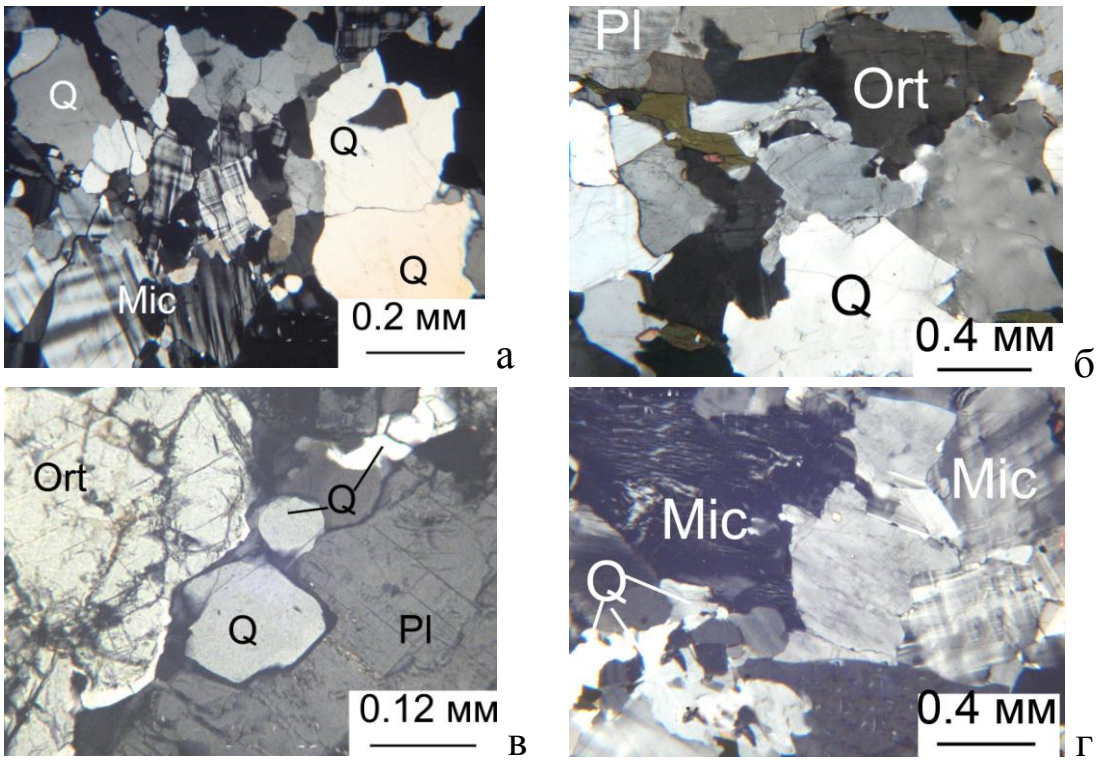


Рис. 11. Лейкократовый гранит: а–в – кварц первой генерации с зернами близкой к изометричной формы; г – сложная форма мелких зерен кварца второй генерации. Фото шлифов с анализатором

Кварц первой генерации образует зерна неправильной формы размером до 1.0–1.5 см. Кварц второй генерации наблюдается в виде мелких, близкой к идиоморфной формы зерен размером 0.5–5 мм. Часто участвует в графических срастаниях с калиево-натриевым полевым шпатом. Зерна кварца первой генерации характеризуются ступенчато-зубчатыми границами (см. рис. 11а, б), волнистым или мозаичным погасанием, разной степенью деформации. Мелкие идиоморфные зерна бывают включены в плагиоклаз (см. рис. 11в) или ортоклаз. Кварц второй генерации наблюдается в виде мелких зерен с однородным погасанием, без следов деформации (см. рис. 11г).

В местах образования агрегатов зерна кварца имеют размеры от 1–2 мм до 1.0 см и форму зерен нередко с гексагональными очертаниями. Границы зерен в агрегатах прямолинейные, местами волнистые или зубчатые (рис. 12а, б).

В случае одновременной кристаллизации кварца и плагиоклаза возможен разный характер их взаимоотношения: зерна кварца находятся в зернах плагиоклаза (см. рис. 12в, г), или плагиоклаз – в кварце, либо имеют общую сингенетичную границу роста (рис. 13а).

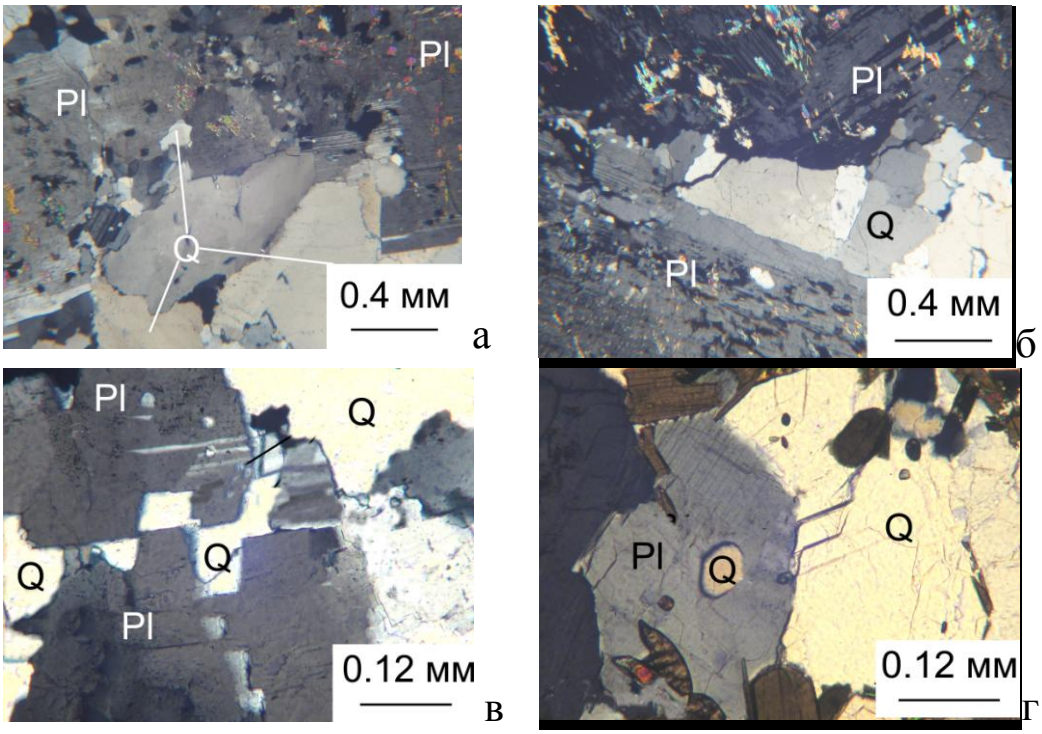


Рис. 12. Лейкократовый гранит: а, б – кварцевый агрегат с прямолинейными и зубчатыми границами зерен; в – срастания кварца и плагиоклаза; г – включения в кварце (газово-жидкие и минеральные). Фото шлифов с анализатором

В первом случае включенный в плагиоклаз кварц может иметь прямолинейные границы или округлые, приближающиеся к гексагональной форме очертания зерен. Во втором случае граница между зернами плагиоклаза и кварца прямолинейная, иногда (при наличии трещин в межзерновом пространстве) может возникать более поздний кварц второй генерации. Если кварц кристаллизуется последним, то он занимает промежутки между другими ранее образовавшимися зернами и форма его зерен зависит от оставшегося пространства (см. рис. 13 б).

Часто в зернах кварца наблюдаются газово-жидкие включения и твердые включениями газа и жидкости (см. рис. 13 в). Иногда включения приурочены к залеченным трещинам хрупкой деформации и (или) к зонам роста кварцевых индивидов. Включения минералов часто расположены беспорядочно, могут быть представлены акцессорными минералами, чешуйками слюды или точечными зернами рудных минералов (см. рис. 13 г). Включения, представленные обычно мелкими зернами различных минералов. Газово-жидкие включения располагаются часто в краевых частях зерен, образуя цепочки и поля разной формы с разной степенью насыщенности

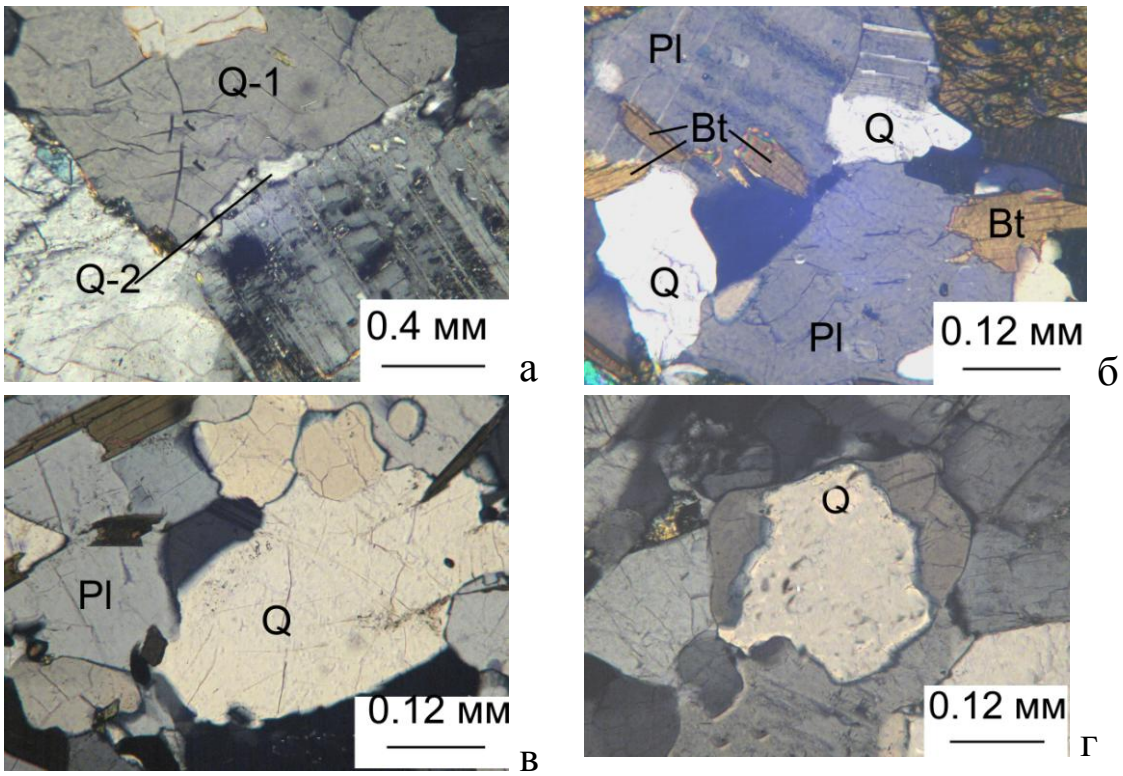


Рис. 13. Биотит-амфиболовый гранит: а – сингенетичный рост кварца и плагиоклаза; б – зерна кварца в промежутках между зернами плагиоклаза; в – кварц с газово-жидкими включениями в краевой части зерна; г – включения газово-жидкие и рутила (игольчатые зерна).Фото шлифов с анализатором

Наиболее разнообразная форма зерен кварца описана А.Н. Заварицким [6] в гранитах рапакиви из Бердяушского плутона на Южном Урале. «1 – идиоморфный кварц округлой или угловато-округлой формы размером от 2–3 мм до 1.0 см, выделяющийся наподобие порфировидных вкрапленников. Выделения нередко состоят из нескольких неделимых, соприкасающихся между собой зерен по неправильным, сравнительно слабо извилистым линиям. 2 – идиоморфные округлые зерна кварца, включенные преимущественно в краевые части зерен калиевого полевого шпата. При вращении столика микроскопа они гаснут одновременно. 3 – зерна кварца неправильной формы, находящиеся в основной массе рапакиви. 4 – ксеноморфный «вогнутый снаружи» кварц, образующий включения в крупных выделениях калиевого полевого шпата, а также принимающий участие в строении олигоклазовой каймы. Этот кварц выполняет пустоты в калиевом полевом шпате, ограниченные кристаллографическими плоскостями последнего. Иногда эти ограничивающие плоскости довольно совершенны, но чаще они, особенно образованные ими входящие внутрь пустоты углы, оплавлены, и очертания выполняющих пустоты кварцевых зерен принимают изогнутый вид. В олигоклазовых оболочках такой кварц заполняет промежутки между зернами олигоклаза. 5 – кварц червеобразной формы в мирмекитовых сростках с плагиоклазом».

Глава 2. ИЗМЕНЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ЗЕРЕН

Зерна жильного кварца, как и любые другие минералы в геологических телах, после своего образования подвергаются различным изменениям, которые отражаются в дефектах его кристаллического строения. Все особенности строения минералов и огранки содержат информацию об его истории. Особенно отчетливо проявляются следы деформации в зернах при воздействии динамометаморфизма, отраженные в зернах трещинами хрупкой деформации и пластической деформации.

2.1. Хрупкая деформация

Хрупкая деформация в зернах кварца отражена трещинами, которые подразделяются на три группы по их соотношению с кристаллографическими направлениями и границами зерен: внутризерновые – ингранулярные, пересекающие несколько зерен – трансгранулярные и межзерновые, следующие по границам зерен и двойников.

При хрупком разрушении индивид изменяет свою структуру. Возникающие трещины в течение времени могут залечиваться, регенерироваться, в них могут осаждаться другие минеральные фазы.

Характеризуя внутризерновые трещины, определяют следующие их особенности: открытая или залеченная трещина, затухает она внутри зерна или останавливается на границе; рациональная она, т.е. соответствует кристаллографически определенной поверхности или иррациональная, т.е. не соответствует. Трещины могут быть простыми и плоскими и криволинейными короткими (рис. 14а) и длинными, изгибающимися (см. рис. 14б), или сложными ступенчатыми и разветвляющимися, пересекающимися. Они могут образовывать сетку, типа сотовой или решетчатой, могут быть параллельными и субпараллельными, радиальными, концентрическими и пр.

При хрупком разрушении индивид изменяет свою структуру. Возникающие трещины в течение времени могут залечиваться, регенерироваться, в них могут осаждаться другие минеральные фазы.

Залеченные трещины представляют собой микрожилу, часто они бывают выполнены стекловатым кварцем, реже опалом (см. рис. 14г) или халцедоном. Обычно к ним приурочены газово-жидкие включения.

Трансгранулярные трещины всегда иррациональны (см. рис. 14в), хотя в параллельно-шестоватых агрегатах возможна система продольных трещин. В пределах кварцевой жилы системы открытых трансгранулярных трещин приводят к разделению кварцевого тела на правильные параллелепипедальные блоки. При этом часто изменяется форма жилы за счет смещения блоков относительно друг друга.

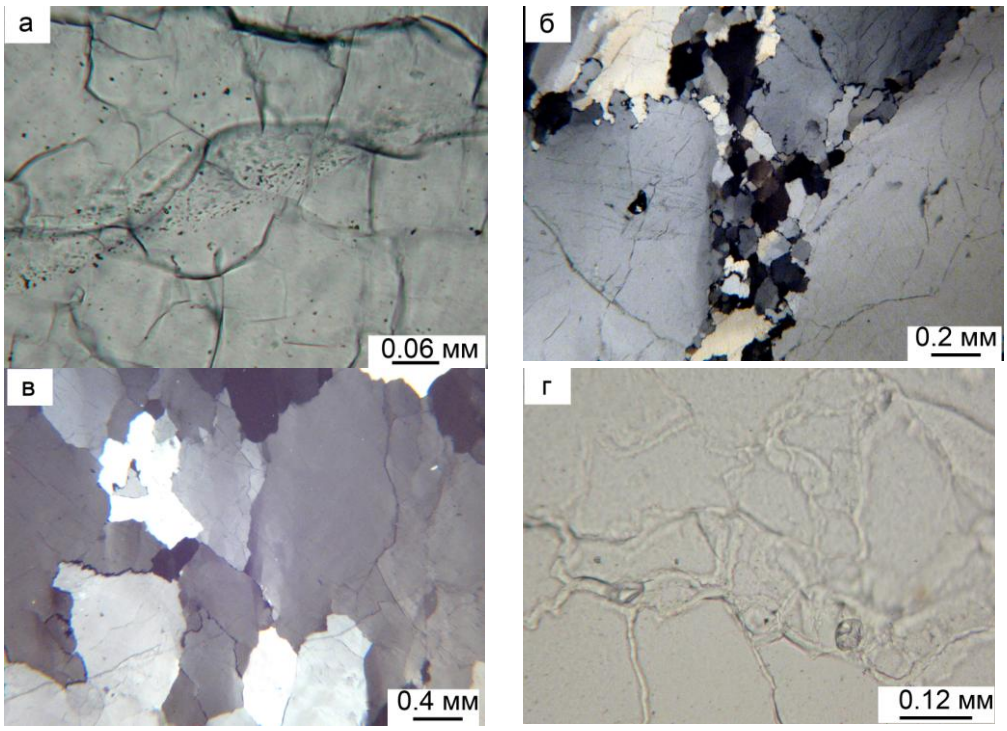


Рис. 14. Деформация кварцевых зерен: а – внутризерновые трещины, иррациональные, залеченные стекловатым кварцем; короткие, местами пересекающиеся трещины; б – внутризерновые длинные, слегка изгибающиеся трещины; в – трансгранулярные трещины; г – трещины, залеченные опалом.
Фото шлифов с анализатором

Межзерновые трещины различаются по типу границ. Они могут вскрывать границы зерен роста или границы гранул. Они могут быть открытыми и закрытыми.

Закрытые трещины могут быть выполнены разными минералами. Чаще всего трещины выполняются рудными минералами, обычно гематитом (рис. 15а) или гидробиотитом и кварцем поздней генерации (см. рис. 15б), биотитом и хлоритом (см. рис. 15в), реже карбонатом (см. рис. 15г).

Трещины в кварцевых телах классифицируются также по воздействию на них различных напряжений [4], вызывающих хрупкую деформацию. Чаще всего это связано с напряжением, возникшим в результате тектонических подвижек. Хрупкое кварцевое тело, находящееся во вмещающих породах, подвергнутых давлению, разрушается с образованием системы трещин скола и разрыва. Если такое разрушение сопровождается деформацией, смещением блоков, то образуются зоны катаклаза, брекчирования или милонитизации.

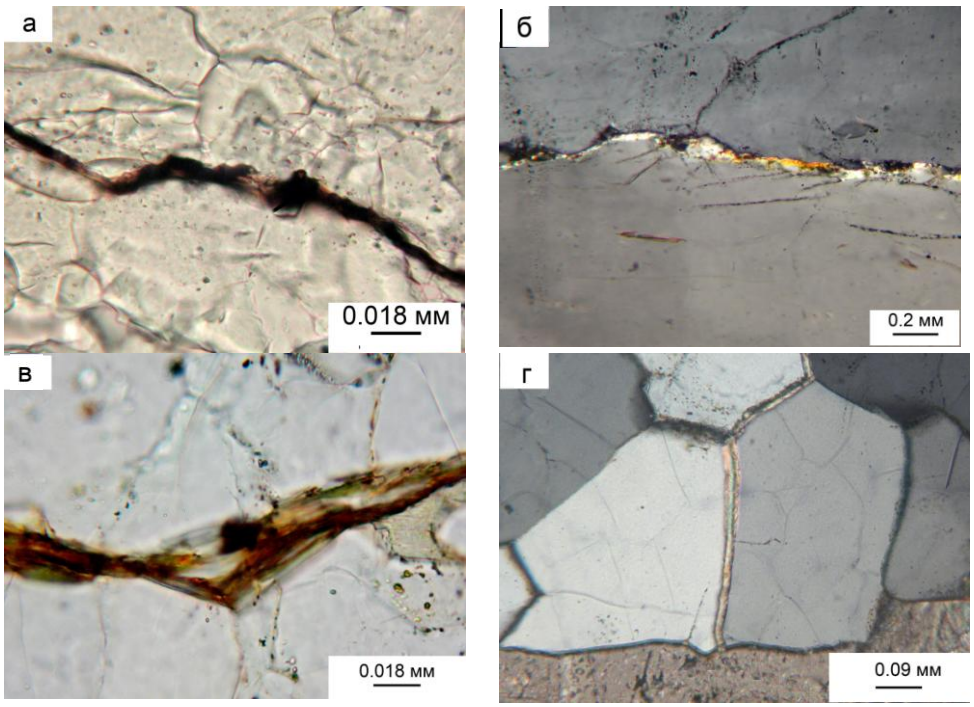


Рис. 15. Межзерновые трещины в кварцевых зернах: а – залеченные гематитом; б – залеченные гидробиотитом и кварцем; в – залеченные биотитом и хлоритом; г – залеченные кальцитом. Фото шлифов с анализатором

В приповерхностных условиях появляются простые открытые трещины, в эндогенных – залеченные. Межзерновые трещины возникают в процессе снятия нагрузки, вызванной анизотропией коэффициентов термического расширения. Самые поздние трещины по времени образования – техногенные (трещины – результат взрывных работ и дробления). В шлифах также могут быть техногенные трещины, которые могут возникнуть в результате нарушения технологии при изготовлении прозрачных шлифов. Такие трещины легко определяются по форме (обычно они прямолинейные, часто пересекающиеся). В большинстве случаев они располагаются в краевых частях шлифов и всегда открытые.

2.2. Пластическая деформация

Наиболее распространенными типами пластической деформации жильного кварца являются скольжение и изгиб. Они обеспечивают основное изменение формы индивидов жильного кварца под действием напряжений.

Полосы скольжения представляют собой следы пачек сближенных плоскостей скольжения. Они чаще всего встречаются в зернах молочно-белого кварца с ровным сколом и стеклянным блеском. Степень деформации за счет этих пластинок незначительна. Первичная ориентировка индивидов в жиле не нарушена.

В шлифах пластинки наблюдаются в виде узких (0.001–0.003 мм) субпараллельных линий одинаковой ширины (рис. 16а), иногда линзовидных. Если с пластинками связаны цепочки мелких буроватых в проходящем свете включений, то их называют полосками Бёма (см. рис. 16б). Они не имеют четкой кристаллографической ориентировки.

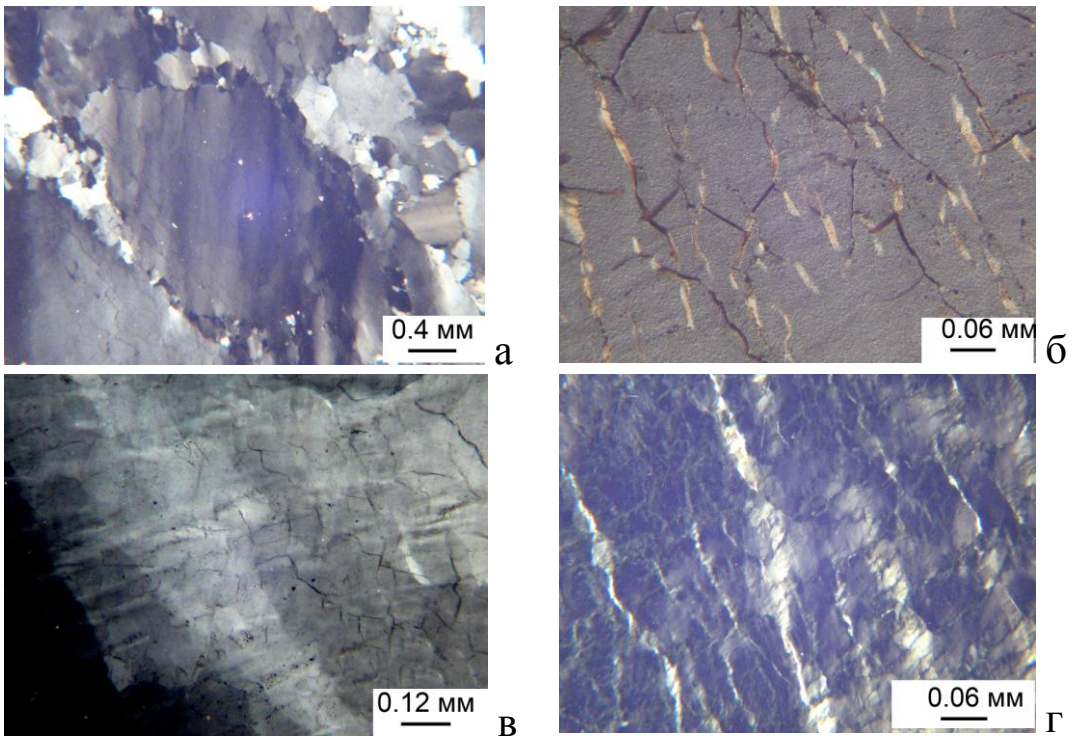


Рис. 16. Пластическая деформация в кварцевых зернах: а – пластинки деформации в кварцевом агрегате; б – полоски Бёма; в – единичный широкий изгиб среди полос скольжения; г – система субпараллельных изгибов. Фото шлифов с анализатором

Пластинки имеют одинаковое расположение в зернах одной ориентировки. В агрегате зерен различной ориентировки пластинки проявлены не во всех зернах. Встречаются в одном агрегате зерна с одной системой пластинок деформации или с двумя и более, либо совсем без пластинок. Обычно в сечении пластинки деформации прямолинейны, но встречаются и изогнутые. В этом случае в зерне наблюдается единичный изгиб (см. рис. 16в) или система сопряженных изгибов (см. рис. 16г). Пластинки деформации отмечены как в породообразующем, так и в жильном кварце.

Геометрия изгиба определяется величиной радиусом, положением оси и осевой плоскости. Если радиус изгиба больше половины ширины переориентированной зоны появляется в зерне волнистое погасание, если меньше – единичный изгиб. Увеличение степени деформации в кварце происходит за счет уменьшения радиуса изгиба и увеличения количества единичных изгибов. Несколько единичных изгибов с субпараллельными осевыми плоскостями образуют систему изгибов

Ориентировка осевых плоскостей изгибов обычно параллельна оси [0001] вмещающего зерна. В агрегате различно ориентированных зерен наблюдаются изгибы с различным радиусом. Ориентировка осевых плоскостей выдержана, и по ним можно определять положение проекции оси [0001] в зернах кварца. Чем меньше размер зерна в агрегате, тем меньше радиус изгиба или больше число единичных изгибов (рис. 17а). Для системы изгибов характерно постоянство не только ориентировки осевых плоскостей, но и величины радиуса. При

идеальном развитии системы изгибов базальная плоскость индивида представляет собой гофрированную поверхность. Зерно в скрещенных николях наблюдается в виде параллельных темных и светлых полос с неясными границами.

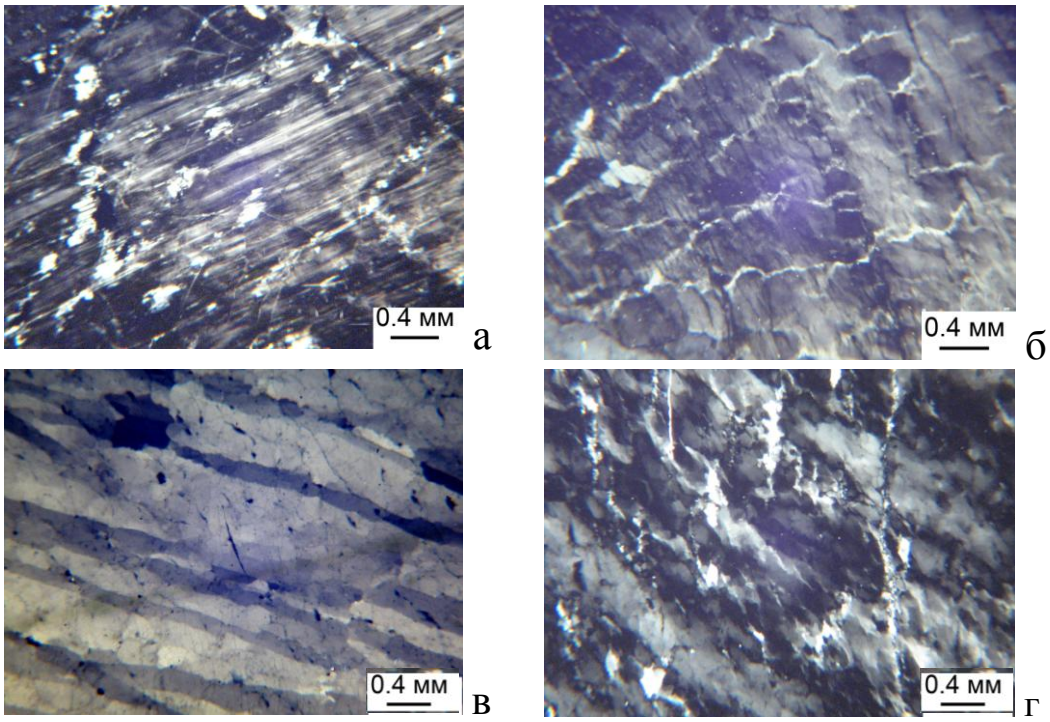


Рис. 17. Пластическая деформация в кварцевых зернах: а – система изгибов в комбинации с пластинками деформации; б – полосы скольжения и система изгибов; в – полосы деформации; г – полосы деформации с локальными трещинами, по которым развивается новообразованный кварц. Фото шлифов с анализатором

В пределах изгибов часто наблюдаются пластинки деформации – полосы скольжения. Следы их в сечении шлифа перпендикулярны осевым плоскостям изгибов, при малых радиусах последних отчетливо видно искривление пластинок (см. рис. 17б).

Полосы деформации являются участками локализации пластической деформации в индивиде. В объеме эти участки имеют форму прослоев, часто с неправильными границами. От пластинок деформации они отличаются по морфологии и ориентировке. Полосы деформации шире (0.02 мм), они располагаются симметрично относительно оси [0001] исходного кристалла (см. рис. 17в), нередко находятся в комбинации с локальными трещинами, по которым часто развивается рекристаллизованный кварц (см. рис. 17г).

2.3. Структуры кварцевых агрегатов

Кварцевые агрегаты в зависимости от размера зерен имеют мелкозернистую, среднезернистую, крупнозернистую и грубозернистую структуру. Они могут быть равномерно зернистыми и неравномерно зернистыми. В результате деформации и рекристаллизации структуры могут

быть катакластические и фрагментарные, гранобластовые и псевдопорфиробластовые.

Система единичных изгибов или полос деформации обуславливает фрагментарную структуру жильного кварца. В этом случае первично единый индивид рассекается узкими участками переориентировки – изгибами и полосами деформации. Между этими участками остаются фрагменты недеформированного кристалла (рис. 18а). Часто встречаются агрегаты кварцевых зерен, в которых фрагментарная структура обусловлена сочетанием систем изгибов и полос деформации. Такая структура широко представлена в кварце, испытавшем метаморфизм в условиях фации зеленых сланцев.

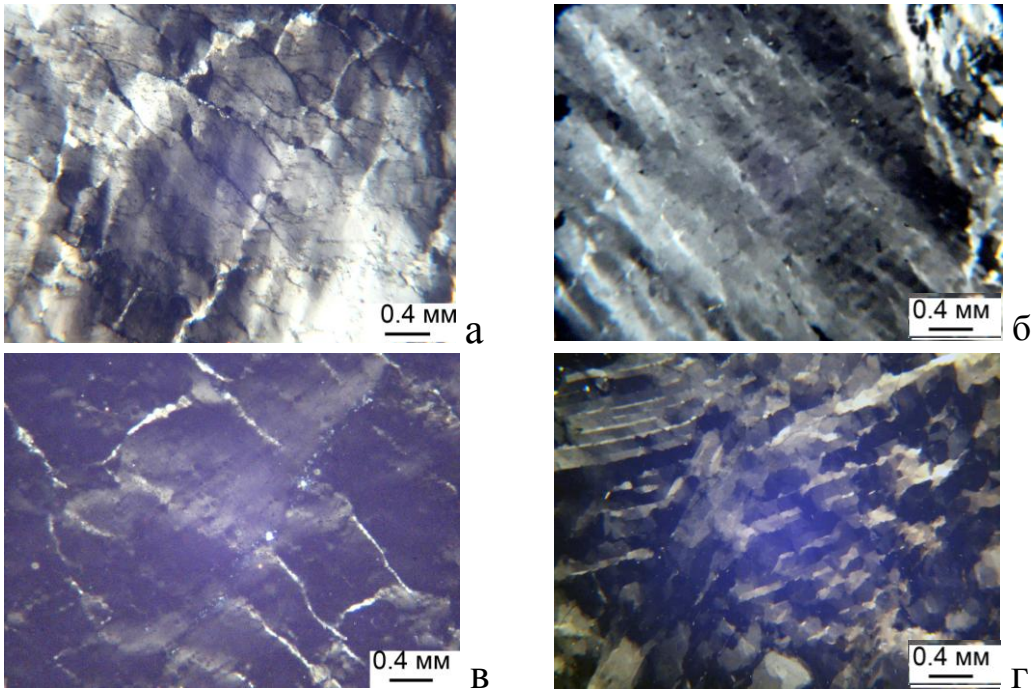


Рис. 18. Фрагментарная структура кварцевых агрегатов: а – система изгибов и полосы деформации, в центре фрагмент недеформированного зерна; б – пластины деформациии и одиночные изгибы; в –полосы сжатия, по которым развивается новообразованный кварц; г – полосы деформации в разно ориентированных зернах. Фото шлифов с анализатором

Деформация агрегата происходит за счет деформации индивидов и их смещения по границам. Зерна кварца в агрегате имеют сложные контуры, и смещение по ним всегда сопровождается деформацией внутри зерен. Реакция на деформацию неодинакова у разных зерен и зависит от их ориентировки. В пределах одного образца, а порой даже шлифа, можно наблюдать разные по характеру проявления пластической деформации индивида. Встречаются участки в шлифе, где отдельные зерна не несут следов пластической деформации, а в других отчетливо проявлена деформация в виде пластинок деформации и изгибов – одиночных или системных (см. рис.18б). Местами наблюдаются зерна, в которых проявлены системы полос деформации и

системы сопряженных изгибов (см. рис. 18в). В разно ориентированных зернах системы полос деформации имеет разное направление (см. рис. 18г).

Если фрагменты разделяются узкими зонами локализации хрупкой деформации, то структура такого типа называется катакластической (рис. 19а). Фрагментарная структура является аналогом катакластической. При формировании фрагментарной структуры ведущую роль играет пластическая деформация, а при катакластической – хрупкая. В некоторых зернах при деформации проявляются следы как хрупкой, так и пластической деформации (см. рис. 19б).

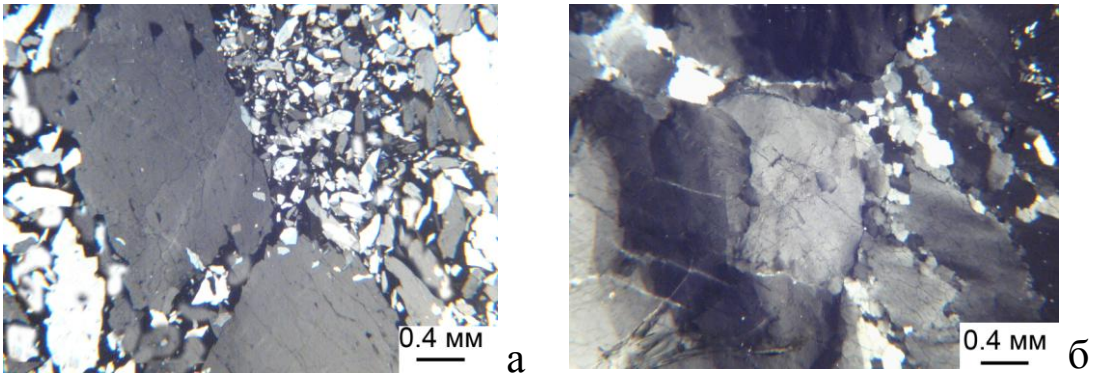


Рис. 19. Катакластическая структура кварцевых агрегатов: а – разная зернистость обломочных зерен кварцевого агрегата; б – комбинация трещин хрупкой деформации и пластической деформации (волнистое погасание). Фото шлифов с анализатором

Часто в кварцевых жилах, претерпевших метаморфизм, крупные индивиды перерождаются в агрегат мелких зерен. Новообразованные зерна возникают в участках локализации пластической деформации – в полосах пластической деформации. В пределах участка переориентировки возникают зерна, вытянутые по длине полосы (рис. 20а).

Эти зерна обычно более однородны, чем материал полосы. Зерна наблюдаются обычно в участках, испытавших наибольшую деформацию. Чаще всего зерна наблюдаются в полосах сжатия. Обычно размер зерен обусловлен шириной полосы деформации, но часто зерна выходят за пределы полосы и тогда единый первоначально индивид разбивается на фрагменты мелкозернистого агрегата (см. рис. 20б). Если полосы деформации в исходном индивиде расположены достаточно близко друг к другу, то при увеличении размера и числа зерен в полосах деформации первично единый индивид превращается в агрегат мелких зерен (см. рис. 20в). В некоторых случаях новообразованные зерна в полосах деформации неоднородны по размерам (см. рис. 20г). Мелкие зерна сравнимы с шириной полос деформации и находятся в незакономерном положении относительно деформированной матрицы. Крупные зерна находятся относительно матрицы в двойниковом положении и, разрастаясь, захватывают промежутки между полосами. В этих случаях образуется микрогранобластовая структура.

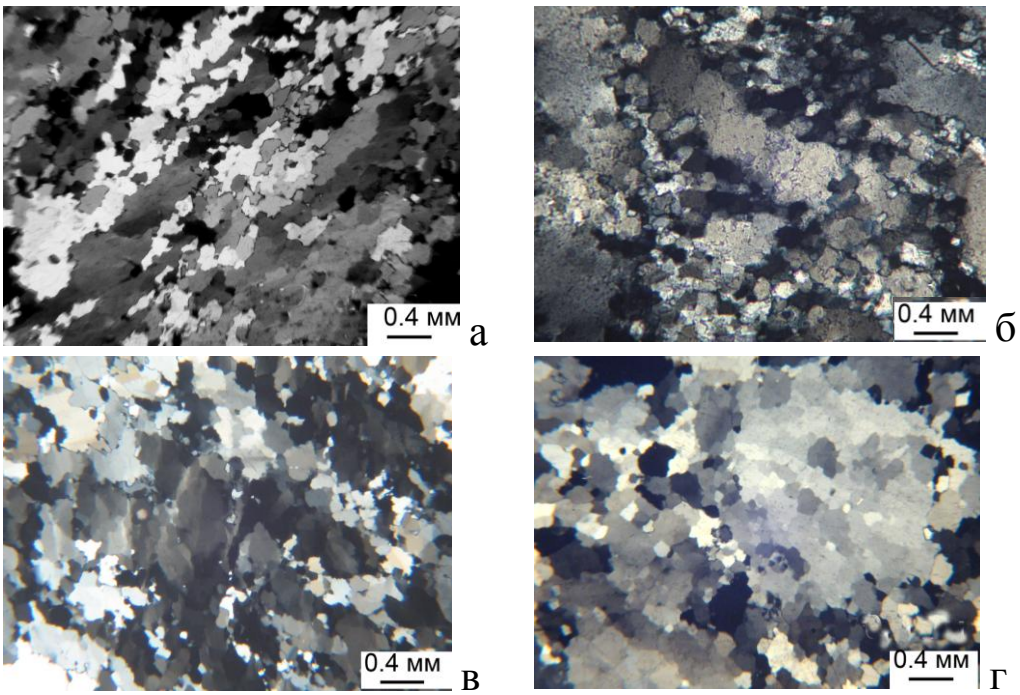


Рис. 20. Микрогранобластовая структура кварцевых агрегатов: а – новообразованный кварц по полосам деформации; б, в – мелкозернистый агрегат с фрагментами исходного индивида; г – разнозернистый агрегат новообразованного кварца. Фото шлифов с анализатором

Если полосы деформации пересекаются, то новообразованные зерна образуют цепочки и прослои, разделяя деформированный индивид на фрагменты. Положение прослоев определяется положением полос деформации.

В случае, когда полосы деформации достаточно широкие и находятся в комбинации с пластинами деформации, могут возникать разно направленные цепочки и прослои новообразованного кварца, среди которых местами сохраняются фрагменты исходного индивида (рис. 21а). В некоторых случаях полосы рекристаллизации могут разделять индивид на ромбовидные фрагменты (см. рис. 21б).

Во фрагментах исходного индивида наблюдаются следы пластической деформации, а новообразованные зерна оптически однородны и не несут никаких следов деформации.

Формирование псевдопорфиробластовой структуры происходит в результате деформации кварцевых индивидов и разделения их на фрагменты полосами деформации, по которым формируется новообразованный кварц. При этом возможны разные варианты формирования этой структуры. Если полосы деформации обнаружены в разно ориентированном разнозернистом агрегате, то на начальном этапе образования такой структуры возникают редкие тонкие цепочки мелкозернистого кварца, имеющие разное направление (рис. 22а). Если полосы деформации пересекаются, то новообразованный агрегат может выходить за пределы полосы и тогда фрагменты окончательно разделяются и структура в этом случае является фрагментарной (см. рис. 22б).

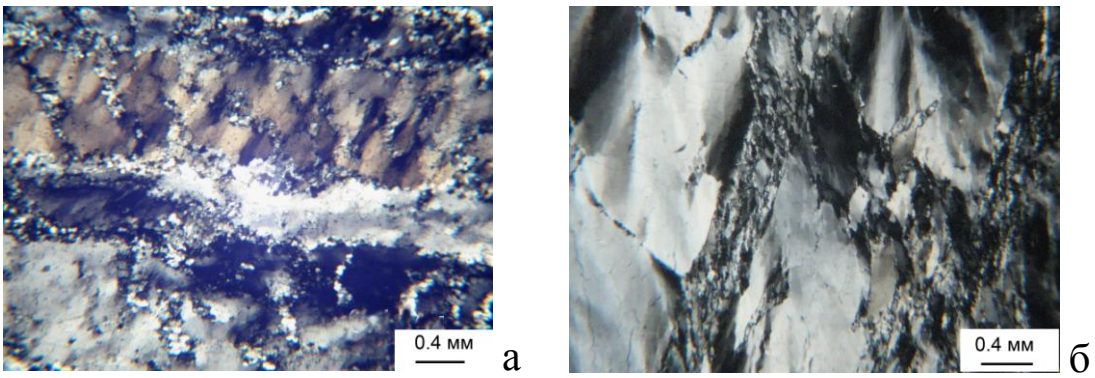


Рис. 21. Катакластическая структура кварцевых агрегатов: а – формирование новообразованного кварца по полосам деформации и плоскостям деформации; б – полосы рекристаллизации разделяю индивид на ромбовидные фрагменты. Фото шлифов с анализатором

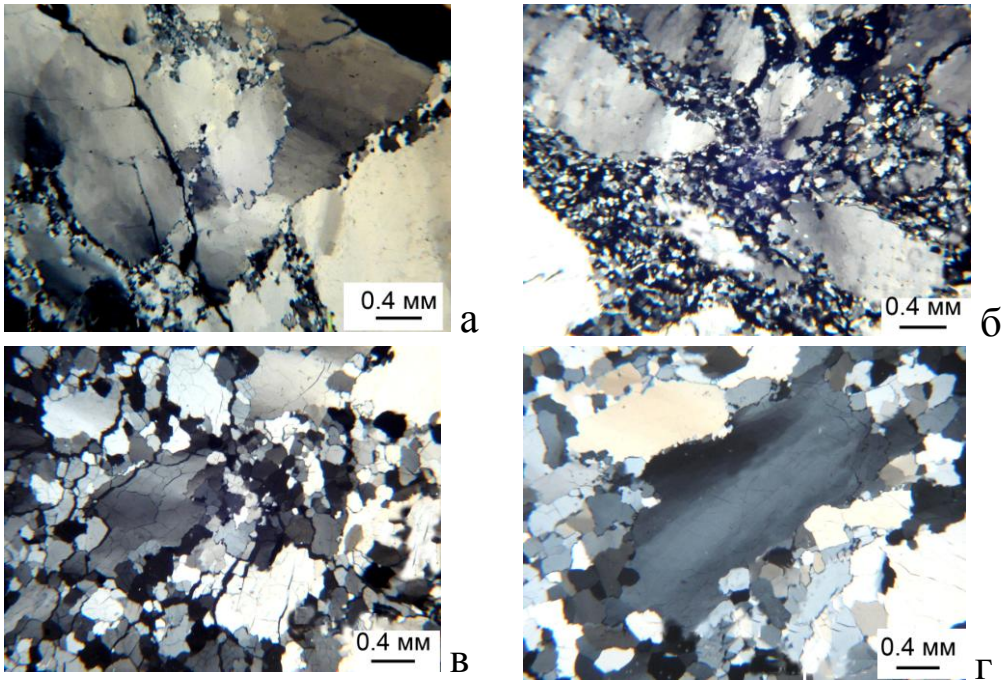


Рис. 22. Псевдопорфиробластовая структура кварцевых агрегатов: а – начальная стадия образования структуры; б – микрозернистый агрегат с фрагментами исходного индивида, в которых отчетливо проявлены следы пластической деформации; в – укрупнение зерен новообразованного кварца и уменьшение фрагментов исходного кварца; г – крупный реликт деформированного индивида (псевдопорфиробласт) среди мелко-среднезеристого агрегата со сложными зубчатыми границами. Фото шлифов с анализатором

При увеличении размера зерен рекристаллизованного кварца структура основной ткани изменяется от микрозернистой до мелкозернистой, иногда до среднезернистой.

Если реликты зерен исходного кварца крупнее зерен основной ткани, тогда возникает псевдопорфиробластовая структура (см. рис. 22в, г). Зерна основной ткани могут иметь как однородное, так и волнистое погасание, поскольку они состоят из зерен новообразованного кварца и мелких фрагментов исходного.

Чем выше степень деформации, тем более мелкозернистой становится новообразованный агрегат. Это связано с увеличением количества полос деформации, а, следовательно, и числа новых зерен на единицу площади деформированного индивида [4].

Изменение микроструктуры кварцевых агрегатов приводит к изменению свойств жильного кварца. Кварц, испытавший малые степени деформации, имеет ровный скол, стеклянный блеск и замутнен по сети прямолинейных залеченных трещин. Если в кварце отмечаются пересекающиеся системы полос деформации, то обычно формируется фрагментарная структура и кварц приобретает неровный, занозистый скол, жирный блеск и он замутнен мелкими включениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное пособие позволит студенту понять и усвоить основные сведения по особенностям морфологии кварцевых зерен, слагающих жильные кварцевые тела и являющиеся породообразующими минералами многих плутонических, интрузивных, метаморфических и осадочных пород. Кварцевые зерна несут информацию, записанную историей формирования горных пород и отраженную в зернах, прежде всего в кварцевых, следами изменений, вызванных наложенными деформациями. Наблюдения над зернами, детальное изучение их морфологии, выявление в них признаков деформации, изучение различных примесей, степени рекристаллизации или перекристаллизации гарантирует студентам возможность определения условий образования кварца. Исследование формы минералов даст возможность выяснить характер взаимоотношения кварца и других минералов в магматических или метаморфических породах, определить структуру и текстуру породы и в большинстве случаев установить их генезис. Восстановить условия кристаллизации.

Кварц широко используется не только как минералогическое сырье, но и как источник геологической информации, позволяющей восстановить последовательность геологических процессов. Таким образом, исследование кварца имеет не только практическое значение, но и вклад в развитие геологических наук.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев, Д.П. Онтогения минералов: монография / Д.П. Григорьев. – Львов: Изд-во Львов. Ун-та, 1961. – 284 с.

2. Григорьев, Д.П. Перекристаллизация минералов / Д.П. Григорьев // Зап. ВМО. –1956. –Ч. 85, № 2. – С. 43–52.

3. Григорьев, Д.П. Онтогения минералов (индивиды): монография / Д.П. Григорьев, А.Г. Жабин. – М.: Наука, 1975. – 339 с.

4. Емлин, Э.Ф. Жильный кварц Урала в науке и технике: монография / Э.Ф. Емлин, Г.А. Синкевич, В.И. Якшин. – Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1988. – 272 с.

5. Жабин, А.Г. Онтогения минералов. Агрегаты: монография / А.Г. Жабин. – М.:Недра, 1979. – 160 с.

6. Заварицкий, А.Н. Избранные труды. Том II / А.Н. Заварицкий. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1958. – 736 с.

7. Леммлейн, Г.Г. Морфология кристаллов: монография / Г.Г. Леммлейн. – М.: Наука, 1973. – 327 с.

8. Лодочников, В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. Монография / В.Н. Лодочников. – М.: Недра, 1974. – 247 с.

9. Попов, В.А. Практическая генетическая минералогия: монография / В.А. Попов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 167 с.