

КАТАКЛАЗ И ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ГРЕБЕНЧАТОГО КВАРЦА НА ЭПИТЕРМАЛЬНОМ СЕРЕБРЯНОМ РУДОПРОЯВЛЕНИИ АИД (ТАРЫНСКИЙ СУБВУЛКАНИЧЕСКИЙ МАССИВ, ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

© 2015 г. О. А. Суставов

Уральский государственный горный университет
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
E-mail: olsustavov@mail.ru

Поступила в редакцию 19.12.2014 г.

Принята к печати 28.01.2015 г.

На серебряном рудопроявлении Аид в Тарынском субвулканическом массиве гребенчатый жильный кварц местами подвержен катаклазу и пластической деформации. Наблюдается катакластическое течение и фрагментация индивидов кварца с образованием микротрещин скалывания и зон катаклаза, в которых обломки кварца размером в доли миллиметра сцементированы криптозернистым кварцевым матриксом. Внутри и вокруг некоторых зон катаклаза гребенчатый кварц пластически деформирован с образованием субпризматических и субромбоэдрических полос деформации, деформационных ламелей, а также “пятнистого” волнистого угасания, подобного возникающему при экспериментальной деформации кварца в условиях низких температур, высоких напряжений и больших скоростей деформации. К местам развития в стенках зон катаклаза систем подчиненных микросдвигов приурочен “линзовидный” кварц (описан впервые), образованный пластически деформированными линзовидными фрагментами исходного кварца, ось *c* в которых переориентирована относительно матрицы на угол до 90°. Катаклаз и пластическая деформация кварца протекали совместно, что может быть обусловлено сочетанием при разломообразовании в эпитеpмальной обстановке благоприятствующего катаклазу низкого всестороннего давления и необходимой для пластической деформации кварца достаточно высокой температуры.

Ключевые слова: *Восточная Якутия, катаклаз, пластическая деформация, жильный кварц, эпитеpмальные месторождения, серебряные месторождения.*

ВВЕДЕНИЕ

В юго-восточной части Верхояно-Колымской орогенной области, в пределах позднемезозойского Тарынского субвулканического массива гипертеновых дацитов, находится рудопроявление Аид, на котором развито эпитеpмальное серебряное оруденение серебро-сурьмяного типа (Гамянин и др., 2003). Рудопроявление приурочено к брекчиевым и прожилково-жильным зонам, залегающим среди аргиллизированных, адуляризированных и окварцованных пород. В рудных телах выделяются зонально-полосчатая кварц-адуляровая с пиритом, халькопирит-сфалерит-галенитовая, фрейбергит-пираргиритовая, кварц-карбонатная и кварц-диккитовая минеральные ассоциации (Гамянин и др., 2003).

Известно, что формирование эпитеpмального оруденения тесно связано с дизъюнктивной тектоникой и нередко сопровождается механическими деформациями руд и вмещающих пород (Micklethwaite, 2009). Тем не менее в литературе практически нет микроскопических описаний этих деформаций

на эпитеpмальных месторождениях. Данная статья посвящена рассмотрению таких деформаций на примере кварца – одного из наиболее распространенных минералов подобных месторождений.

Из присутствующих на рудопроявлении Аид разновидностей кварца (Суставов, 1990) наиболее удобен для изучения процессов деформации гребенчатый жильный кварц – в силу его широкой распространенности и достаточно крупных (до 4 см в длину) размеров индивидов. Гребенчатый кварц – продукт свободной кристаллизации кварца в полостях. Он представляет собой нарастающие на стенки полостей параллельно-шестоватые агрегаты первого типа (по Д.П. Григорьеву), которые характеризуются наличием зоны геометрического отбора в основании и одинаковой (в направлении оси *c*) ориентировкой шестоватых индивидов, вытянутых субперпендикулярно обрастаемым поверхностям; головки индивидов образованы равномерно развитыми гранями ромбоэдров. Следует особо подчеркнуть вытянутость всех шестоватых индивидов вдоль оси *c*.

Механизмы деформации (Blenkinsop, 2002; Fossen, 2010) гребенчатого кварца на данном рудопро-

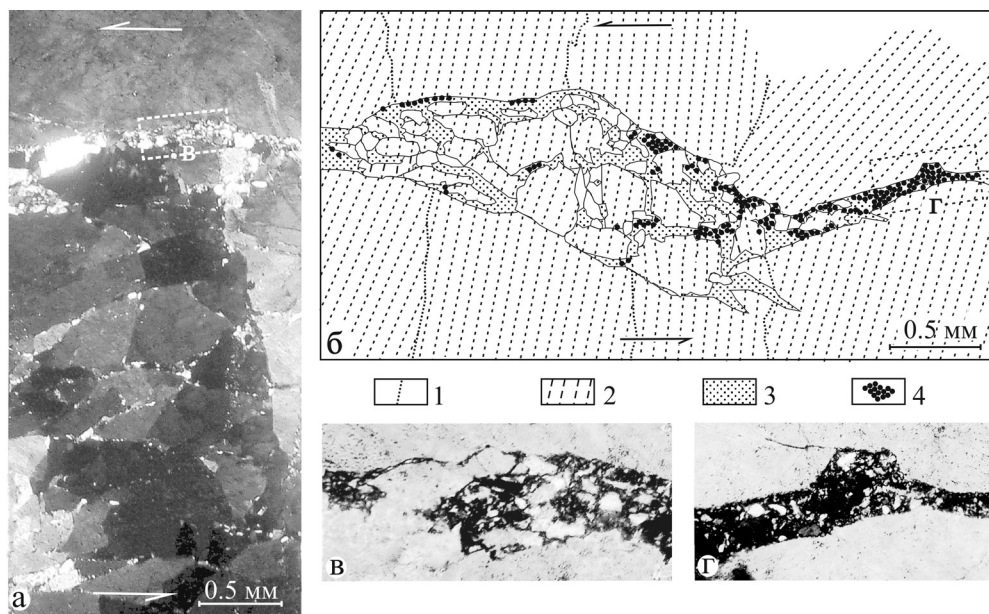


Рис. 1. Зона катаклаза А.

а – фрагментация индивида исходного кварца по одну сторону (ниже) зоны катаклаза (в), николи скрещены; б – продолжение зоны катаклаза, изображенной на рис. “а” (1 – границы индивидов исходного кварца, 2 – направление оси *c* кварца, 3 – кварцевый катаклазит с преобладанием обломков размерами 1–0.05 мм, 4 – криптозернистый кварцевый матрикс с размером обломков менее 0.005 мм); в, г – участки рис. “а” и “б” (черное – криптозернистый кварцевый матрикс и находящиеся на угасании более крупные обломки кварца, николи скрещены). Стрелки – направления сдвига.

Fig. 1. Cataclasis zone A.

а – the fragmentation of original quartz crystal on one side (below) cataclasis zone (в), crossed nicols; б – continued cataclasis zone shown in fig. “а” (1 – boundaries of original quartz crystals, 2 – direction of the *c* axis of quartz, 3 – quartz cataclasite (grain size 1–0.05 mm), 4 – cryptograined quartz matrix (grain size less 0.005 mm); в, г – plots of fig. “а” and “б” (black – cryptograined quartz matrix and extinguishin larger fragments of quartz, crossed nicols). Arrows – shear directions.

явлении – катаклаз и пластическая деформация (внутрикристаллическая пластичность (Blenkinsop, 2002), кристаллопластичность (Fossen, 2010)). Согласно отмеченным выше авторам, катаклаз включает в себя образование микротрещин, а также дробление, сопровождающееся скольжением по границам обломков и вращением обломков. Катаклаз может быть относительно равномерно распределенным на обширных участках деформируемых индивидов или же локализоваться в отдельных зонах (ниже – “зонах катаклаза”). Пластическая деформация протекает без возникновения трещин, с образованием в той или иной степени выраженных плавных изгибов кристаллической решетки.

Ведущее значение при деформации гребенчатого кварца в данном случае имеют процессы катаклаза: пластическая деформация отмечается внутри и в стенках зон катаклаза. Ниже рассматриваются деформации кварца в трех зонах катаклаза мощностью до первых миллиметров – А, Б и В. Описываемые деформации гребенчатого кварца тесно связаны во времени с процессом формирования серебряного оруденения: рудные минералы отлагались как до

отложения гребенчатого кварца, так и после его катаклаза, при образовании более позднего халцедонового кварца (Суставов, 1990), прожилки которого пересекают зоны катаклаза гребенчатого кварца.

ЗОНА КАТАКЛАЗА А

Зона катаклаза А мощностью в десятки доли миллиметра (рис. 1) пересекает поперек шестоватости гребенчатый кварц, ширина индивидов которого измеряется первыми миллиметрами. Судя по положению границ пересекаемых шестоватых индивидов, амплитуда сдвига по данной зоне катаклаза в рассматриваемом сечении не превышает долей миллиметра.

В той части зоны катаклаза, которая показана на рис. 1а, мощность этой зоны около 0.2 мм. Кварцевый катаклазит в этой части зоны (см. рис. 1в) сложен обломками кварца размером 0.005–0.1 мм, между которыми располагается криптозернистый матрикс (образован обломками кварца размером менее 0.005 мм и, по-видимому, некоторым количеством кварца, отложившегося из растворов).

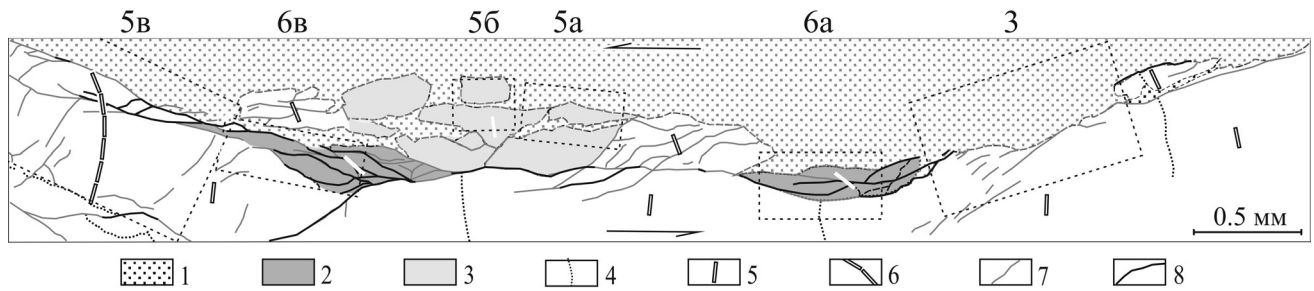


Рис. 2. Стенка зоны катаклаза Б (стрелки – направления сдвига).

1 – кварцевый катаклазит; 2–4 – деформированный исходный кварц: 2 – “линзовидный”, 3 – с субпризматическими полосами деформации, 4 – прочий; точечный пунктир – границы индивидов; 5 – преимущественное направление оси *c* кварца; 6 – изменение ориентировки оси *c* в индивиде с волнистым угасанием; 7, 8 – трещины: 7 – без субмикроскопических включений, 8 – с субмикроскопическими включениями. Пунктир – положение рисунков, номера которых указаны над верхней рамкой.

Fig. 2. The wall of cataclasis zone Б (arrows – shear directions).

1 – quartz cataclasite; 2–4 – deformed original quartz: 2 – “lenticular”, 3 – with subprismatic deformation bands, 4 – other, dotted lines – the boundaries of crystals; 5 – preferred direction of the *c* axis of quartz; 6 – change the orientation of the *c* axis in the crystal with undulatory extinction; 7, 8 – fractures: 7 – without submicroscopic inclusions, 8 – with submicroscopic inclusions. Dotted lines – position of figures numbers listed on the upper frame.

На рис. 1а пересекаемый индивид исходного гребенчатого кварца выше зоны катаклаза не деформирован, а ниже зоны катаклаза в нем отмечается фрагментация многочисленными разнонаправленными микротрещинами скалывания (микросдвигами (Суставов, 1995)), разделяющими индивид на фрагменты длиной от десятых долей миллиметра до 1–1.5 мм. Наиболее крупные фрагменты вытянуты субпараллельно зоне катаклаза и имеют неправильно-линзовидную форму, соответствующую волнистым границам зоны катаклаза. К разделяющим фрагменты микротрещинам скалывания приурочены мелкие (менее 0.05 мм) слабо переориентированные обломки, образовавшиеся в результате смещений вдоль этих микротрещин.

На рис. 1б показано продолжение той же зоны катаклаза в месте изменения ее направления. Здесь находится линзовидное скопление фрагментов размером до 0.5 мм, более мелких и более изометричных, чем фрагменты, показанные на рис. 1а. Между фрагментами располагаются обломки кварца размером менее 1–0.05 мм – их значительно больше, чем по границам фрагментов на рис. 1а; кроме того, между фрагментами здесь нередко присутствует криптозернистый кварцевый матрикс с размером обломков менее 0.005 мм. Характерно тяготение криптозернистого матрикса к верхней границе данного скопления фрагментов и возрастание количества криптозернистого матрикса на рис. 1б слева направо.

В крайней правой части рис. 1б зона катаклаза представляет собой полосу криптозернистого кварцевого матрикса, в котором разбросаны отдельные остроугольные или округлые обломки кварца размером до 0.02–0.03 мм (рис. 1г). Содержание крип-

тозернистого матрикса в этой части зоны катаклаза наиболее высокое, а размер относительно крупных обломков меньше, чем в левой части зоны катаклаза (см. рис. 1в). Следует отметить, что, в отличие от одинаковой кристаллографической ориентировки индивидов гребенчатого кварца выше и ниже левой части зоны катаклаза (см. рис. 1а, б), на данном участке индивиды гребенчатого кварца выше и ниже зоны катаклаза имеют неодинаковую кристаллографическую ориентировку (см. рис. 1б).

ЗОНА КАТАКЛАЗА Б

Зона катаклаза Б мощностью 0.5–1 мм (рис. 2) также пересекает агрегат шестоватых индивидов гребенчатого кварца поперек их вытянутости. Судя по расположению границ индивидов кварца по обе стороны зоны катаклаза, касательное смещение по этой зоне в рассматриваемом сечении измеряется по крайней мере первыми миллиметрами. Данная зона катаклаза сложена обломками кварца размером менее 0.05 мм (около 70%), среди которых разбросаны отдельные более крупные (размерами до десятых долей миллиметра) обломки кварца (около 30%). В целом размер обломков в зоне катаклаза уменьшается с приближением к границе зоны. Криптозернистый кварцевый матрикс, состоящий из наиболее мелких обломков кварца, местами тяготеет к локальным углублениям на границе зоны катаклаза (рис. 3).

Известно, что сдвиговым зонам (в данном случае – зонам катаклаза) свойственно наличие ряда определенных структурных элементов с характерной ориентировкой; к ним среди прочих относятся трещины скалывания R, R', P, Y, трещины отрыва

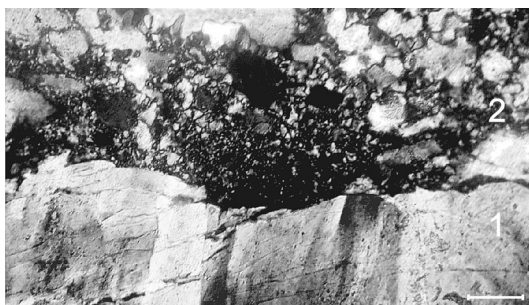


Рис. 3. Криптозернистый кварцевый матрикс (темное) в углублении на границе зоны катаклаза.

1 – исходный кварц, 2 – кварцевый катаклазит. Николь скрещены, длина масштабного отрезка 0.1 мм; положение в зоне катаклаза – см. рис. 2.

Fig. 3. Cryptograined quartz matrix (dark) in the depression at the border of cataclasis zone.

1 – original quartz, 2 – quartz cataclasite. Crossed nicols; the length of the scale 0.1 mm; place in cataclasis zone – see Fig. 2.

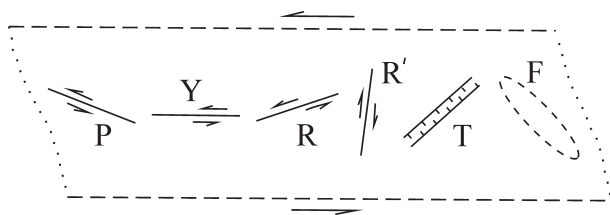


Рис. 4. Положение некоторых структурных элементов сдвиговых зон (по (Разломообразование..., 1991) с изменениями).

Объяснения в тексте.

Fig. 4. The position of some of the structural elements of the shear zones (according to (Разломообразование..., 1991) with amended).

The explanation in the text.

Т и складки F (рис. 4) (Разломообразование..., 1991; Blenkinsop, 2002; Fossen, 2010). Наиболее широко в сдвиговых зонах обычно развиты R-трещины, отклоняющиеся от направления главной поверхности смещения на острый угол против часовой стрелки. Эти трещины (условное обозначение 7 на рис. 2) преобладают и в гребенчатом кварце вблизи зоны катаклаза, к ним иногда приурочены полосы вторичных флюидных включений. По расположению R-трещин может быть определен знак смещения по зоне катаклаза (Blenkinsop, 2002; Fossen, 2010); в данном случае расположение этих трещин соответствует левому знаку сдвига по зоне катаклаза (см. рис. 2).

Направление отмеченных выше структурных элементов сдвиговых зон в кварце может несколько отличаться от показанного на рис. 4, так как на

направление этих элементов оказывает дополнительное влияние кристаллографическая ориентировка пересекаемых индивидов кварца. Так, трещины отрыва Т в сдвиговых зонах (в момент их заложения) при левом знаке смещения должны быть ориентированы к простиранию зоны под углом около 45° против часовой стрелки (см. рис. 4). В данном же случае, из-за ориентирующего влияния направления плоскости базиса пересекаемых индивидов кварца, угол между трещинами отрыва и границей зоны катаклаза не достигает 45° (рис. 5а). При образовании отмеченных трещин отрыва возникают уплощенные по базису тонкопластинчатые обломки кварца; они несколько повернуты (на первые градусы) против часовой стрелки относительно матрицы (см. рис. 5а), в соответствии с левым знаком смещения по зоне катаклаза.

Исходный кварц на границе и внутри зоны катаклаза подвержен пластической деформации. Так, в отдельных частях зоны катаклаза (см. усл. обозначение 3 на рис. 2) в кварце образуются субпризматические полосы деформации (полосы сброса (Суставов, 1995), kinkbands (Blenkinsop, 2002), деформационные полосы (Fossen, 2010, Trepman et al., 2007)) – полосовидные участки переориентировки кристаллической решетки, вытянутые субпараллельно оси с кварца (см. рис. 5б).

Кроме того, в индивиде кварца, прилегающем к зоне катаклаза в левой части рис. 2, наблюдается резко выраженное волнистое угасание (рис. 5в). В отличие от упомянутых выше полос деформации, вытянутых субпараллельно оси с, волна угасания ориентирована поперек оси с кварца, параллельно границе зоны катаклаза. При этом угасание в данной волне неровное, “пятнистое” (Hirth, Tullis, 1992), состоящее из отдельных разориентированных между собой блоков, нередко имеющих клиновидную форму и ограниченных микротрещинами; внутри этих блоков имеются участки с разным направлением волны угасания. Общее изменение направления оси с в волне угасания отвечает отмеченному выше левому знаку сдвига по зоне катаклаза (см. рис. 2, 5в).

Местами в кварце, прилегающем к зоне катаклаза, наблюдаются трещины плавно изогнутой криволинейной формы (условное обозначение 8 на рис. 2), имеющие в проходящем свете под микроскопом буроватую окраску, обусловленную светорассеянием на присутствующих вдоль этих трещин скоплениях минеральных частиц или флюидных включений субмикроскопических размеров. Эти трещины могут переходить в полосы (толщиной в сотые доли миллиметра) криптозернистого кварцевого катаклазита с размером обломков не более 0.001 мм или в тонкие полосы локализации пластической деформации кварца (см. ниже). Их направление соответствует R, P (отклоняются от главной поверхности смещения на острый угол по ча-

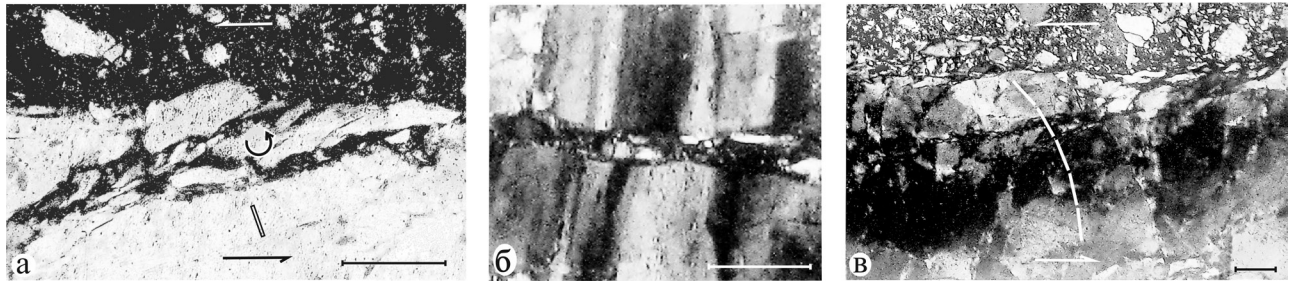


Рис. 5. Деформации индивидов кварца.

а – суббазисные трещины отрыва (штрих – направление оси *c* кварца) и поворот против часовой стрелки обломков кварца (темное – кварцевый катаклазит, стрелки – направления сдвига); б – субпризматические полосы деформации (вертикальные); в – волна угасания (горизонтальная) в индивиде кварца (белый пунктир – изменение ориентировки оси *c* кварца, вверху – кварцевый катаклазит). Николы скрещены; длина масштабного отрезка 0.1 мм; положение в зоне катаклаза – см. рис. 2.

Fig. 5. Quartz crystals deformations.

а – subbasal cracks (bar – direction of *c* axis of quartz) and the counterclockwise rotation of quartz grains (dark – quartz cataclasite, arrows – shear directions); б – subprismatic deformation bands (vertical); в – wave of extinction (horizontal) in quartz crystal (white dotted line – change the orientation of the *c* axis of quartz, top – quartz cataclasite). Crossed nicols; the length of the scale interval of 0.1 mm; place in cataclasis zone – see fig. 2.

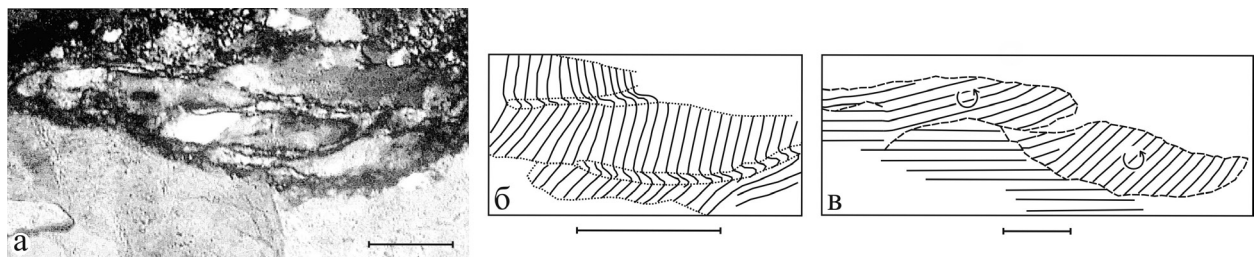


Рис. 6. “Линзовидный” кварц.

а – в углублении на границе зоны катаклаза, николы скрещены; б, в – ориентировка плоскости базиса кварца в линзовидном кварце центральной части рис. “а” (б) и в левой части рис. 2 (в), стрелки – направления поворота плоскости базиса фрагментов относительно матрицы). Длина масштабного отрезка 0.1 мм; положение в зоне катаклаза – см. рис. 2.

Fig. 6. “Lenticular” quartz.

а – in depression at the edge of cataclasis zone, crossed nicols; б, в – orientation of basal plane in lenticular quartz of central part of the fig. “а” (б), and in left side of fig. 2 (в), arrows – directions of fragments basal plane rotation relative to the matrix). The length of the scale interval of 0.1 mm; place in cataclasis zone – see fig. 2.

совой стрелке) и Υ (совпадают по направлению с главной поверхностью смещения) трещинам зон сдвига (см. рис. 4).

К местам развития отмеченных выше буроватых в проходящем свете искривленных трещин приурочен “линзовидный” кварц – совокупность располагающихся между этими трещинами пластически деформированных (с сильным волнистым угасанием) линзовидных фрагментов исходного кварца (рис. 6). Переориентировка оси *c* кварца в линзовидных фрагментах относительно той же оси матрицы может достигать 90° (см. рис. 6б, в); эта переориентировка соответствует общему левому знаку сдвига вдоль зоны катаклаза (см. рис. 2 и 6в). Вместо трещин между линзовидными фрагментами могут располагаться полосы

пластически деформированного кварца толщиной до 0.01 мм. Эти полосы связаны с линзовидными фрагментами резкими изгибами кристаллической решетки – ось *c* кварца в полосках переориентирована относительно осей *c* смежных фрагментов на угол до 70° (см. рис. 6б). Волнистое угасание в полосовидных фрагментах неровное, пятнистое, проявлено неоднородно, волна угасания в разных местах фрагментов может иметь различное направление (с преобладанием волнистого угасания, параллельного стенке зоны катаклаза).

ЗОНА КАТАКЛАЗА В

Зона катаклаза В мощностью до 3 мм сложена кварцевым катаклазитом, размеры обломков кото-

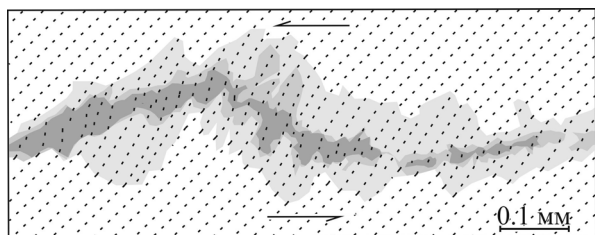


Рис 7. Субромбоэдрическая полоса деформации (заливка) в индивиде кварца.

Густота заливки пропорциональна углу поворота плоскости базиса кварца (пунктир) относительно матрицы; стрелки – направления сдвига.

Fig. 7. Subrhombohedral deformation band (filling) in quartz crystal.

The density of the fill is proportional to the angle of quartz basal plane rotation (dotted line) with respect to the matrix; arrows – shear directions.

рого изменяются от <0.005 мм до 0.5 мм. В некоторых обломках кварца наблюдается “пятнистое” волнистое угасание, подобное отмеченному выше: в одном и том же монокристалльном обломке кварца имеются отдельные участки с несколько отличающимся направлением волны угасания.

В одном из индивидов гребенчатого кварца у границы этой зоны катаклаза наблюдается единичная неровная субромбоэдрическая полоса деформации (Суставов, 1995) (полоса сдвига (Tepmann et al., 2007)) **переменной ширины (рис. 7), образовавшаяся совместно с зоной катаклаза.** В осевой части полосы деформации располагаются наиболее сильно переориентированные относительно матрицы участки деформированного кварца (ось c этих участков переориентирована относительно оси c матрицы на угол до 30°). Судя по смещениям границ индивидов пересекаемого гребенчатого кварца, данная полоса деформации фиксирует собой левый сдвиг (см. рис. 7).

Следует отметить, что пластическая деформация при образовании данной полосы сопровождалась образованием пересекающих ее трещин скалывания суббазисной ориентировки, близких по направлению к R' -трещинам (см. рис. 4). Кроме того, к отмеченной полосе деформации приурочена густая система сближенных суббазисных деформационных ламелей (Blenkinsop, 2002), **искривленных** в соответствии с переориентировкой кристаллической решетки кварца в этой полосе.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Таким образом, выше показано, что на рассматриваемом эпитепмальном серебряном рудопоявлении гребенчатый жильный кварц подвержен катаклазу и пластической деформации.

При относительно слабом проявлении катаклаза приводит к катакластическому течению с фрагментацией кварца микротрещинами скалывания, сопровождающейся небольшим вращением фрагментов и их некоторым скольжением относительно друг друга (см. рис. 1а, б). В местах усиления катакластического течения (см. рис. 1б) образовавшиеся фрагменты становятся мельче, приобретают более изометричную форму, становятся более разориентированными, между фрагментами появляется больше мелких обломков, в том числе криптозернистой размерности (см. рис. 1б).

По мере усиления катаклаза количество криптозернистого матрикса увеличивается. При этом, чем больший процент в зоне катаклаза приходится на матрикс, тем мельче относительно крупные обломки и меньше их количество (см. рис. 1в, г) – обломки кварца криптозернистой размерности образуются за счет более крупных обломков (Blenkinsop, 2002). Степень измельчения обломков обычно не пропорциональна амплитуде касательных смещений по зоне катаклаза; количество криптозернистого матрикса может резко изменяться на небольших расстояниях по простиранию одной и той же зоны катаклаза (см. рис. 1, 3). Наиболее интенсивный катаклаз с наиболее резким уменьшением размера образующихся при дроблении обломков может быть локализован в отдельных тонких зонах (например, вдоль верхней границы зоны катакластического течения – см. рис. 1а, б), в местах сочленения разноориентированных индивидов матрицы (см. рис. 1г), в углублениях границы зоны катаклаза (см. рис. 3).

Пластическая деформация в первую очередь проявляется в образовании в кварце волнистого угасания (Blenkinsop, 2002). В данном случае волнистое угасание неровное (“пятнистое”), подобное возникающему при наиболее низкотемпературной экспериментальной пластической деформации кварца, происходящей в условиях высоких напряжений и больших скоростей деформации” (Hirth, Tullis, 1992). Такое волнистое угасание отмечается в стенке зоны катаклаза Б (см. рис. 5в), в полосоидных фрагментах “линзовидного” кварца (см. рис. 6) и отдельных обломках кварца внутри зон катаклаза.

Проявлением пластической деформации является также образование в кварце субпризматических полос деформации (см. рис. 5б); как и “пятнистое” волнистое угасание, они могут возникать в условиях высоких напряжений и больших скоростей деформации (Tepmann et al., 2007). Данные полосы деформации представляют собой совокупность изгибов, которые можно сопоставить с возникающими на начальной стадии развития зон сдвига складками F (Разломообразование..., 1991; Fossen, 2010). В изотропной среде эти складки обычно ориентированы под углом около 45° к простиранию зоны сдвига (см. рис. 4). В кварце же данные полосы де-

формации отклоняются от этого направления из-за их образования при базальном скольжении (Fossen, 2010; Trepmann et al., 2007) **они могут быть ориентированы** лишь субпараллельно оси c . Их направление близко к ориентировке R' -сдвигов (см. рис. 4) – как у полос сброса (kinkbands), наблюдавшихся при экспериментальной сдвиговой деформации на моделях из глины (Tchalenko, 1968).

Наиболее сильная пластическая деформация отмечается при образовании “линзовидного” кварца (описан впервые) и субромбоэдрических полос деформации (см. рис. 6, 7); следует отметить, что одновременное нахождение в кварце достаточно интенсивно проявленной пластической деформации и катаклаза ранее в литературе, по-видимому, не упоминалось.

В данном случае пластическая деформация кварца и катаклиз тесно пространственно связаны между собой (пластическая деформация отмечается внутри или в непосредственной близости от зон катаклаза) и происходили, по-видимому, совместно, на что указывает следующее:

- изменение направления оси c в параллельной границе зоны катаклаза волне угасания, показанной на рис. 5в, соответствует знаку сдвига по зоне катаклаза; то же свойственно волнистому угасанию и в других случаях;

- волнистое угасание наблюдается в обломках кварца внутри зон катаклаза и в образующихся при катаклизическом течении фрагментах исходного кварца между микротрещинами скалывания (см. рис. 1а);

- сильно пластически деформированный “линзовидный” кварц (см. рис. 6б, в) часто образуется в местах развития тонких полосок кварцевого катаклаза; повороты кристаллической решетки при пластической деформации в линзовидных фрагментах (см. рис. 6а) соответствуют знаку сдвига вдоль зоны катаклаза;

- пластическая деформация при образовании субромбоэдрической полосы деформации (см. рис. 7) сопровождалась катаклизом – возникновением трещин скалывания, имеющих направление R' -сдвигов (см. рис. 4).

К этому можно добавить экспериментальные данные (Trepmann et al., 2007) **о возможности** одновременного протекания хрупкой и пластической деформации кварца при образования субпризматических полос деформации, аналогичных изображенным на рис. 5б.

Известно (Fossen, 2010), что катаклиз – процесс относительно малочувствительный к изменению температуры, но все более затрудняющийся при увеличении всестороннего давления. Пластическая деформация, наоборот, мало зависит от давления, но начинается при достаточном повышении температуры (300–350°C для кварца – принимается за температуру хрупко-пластического перехода).

В условиях обычного континентального геотермического градиента катаклиз кварца разобщен с пластической деформацией: температура, при которой начинается пластическая деформация кварца, достигается на коровых глубинах 10–12 км (Fossen, 2010), где катаклиз, в первом приближении, подавлен давлением. При образовании же эпитегрмальных месторождений указанная выше температура хрупко-пластического перехода может быть достигнута и на благоприятных для катаклаза малых глубинах – эпитегрмальные месторождения формируются на глубине до 1–2 км при температурах до 300°C (Бортников, 2006) (в зонах катаклаза возможно также связанное с трением дополнительное повышение температуры (Niemeijer et al., 2012)).

Таким образом, при деформации в эпитегрмальной обстановке относительно низкое всестороннее давление благоприятствует широкому развитию катаклаза, а достаточно высокие температуры делают возможной пластическую деформацию кварца. Этим, по-видимому, и обусловлена возможность совмещения в условиях формирования эпитегрмального оруденения достаточно интенсивных катаклаза и пластической деформации кварца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бортников Н.С. (2006) Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах. *Геология руд. месторождений*. (1), 3–28.
- Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бортников Н.С., Аникина Е.Ю. (2003) Типы серебряного оруденения Верхояно-Колымских мезозой. *Тихоокеан. геология*. (6), 113–126.
- Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига. (С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков и др.) (1991) Новосибирск: Наука, 262 с.
- Суставов О.А. (1990) Серебряная минерализация и некоторые особенности жильного кварца (Тарынский субвулканический массив, Восточная Якутия). *Изв. вузов. Геол. и разведка*. (1), 66–71.
- Суставов О.А. (1995) Деформации жильного кварца при формировании золотого оруденения в черносланцевых толщах (Куларский район, Восточная Якутия). *Геология и геофизика*. (4), 81–87.
- Blenkinsop T. (2002) Deformation microstructures and mechanisms in minerals and rocks. Kluwer Academic Publishers, 150 p.
- Fossen H. (2010) Structural geology. Cambridge University Press, 463 p.
- Hirth G., Tullis J. (1992) Dislocation creep regimes in quartz aggregates. *J. Struct. Geol.* **14**(2), 145–159.
- Micklethwaite S. (2009) Mechanisms of faulting and permeability enhancement during epithermal mineralization: Cracow goldfield, Australia. *J. Struct. Geol.* **31**, 288–300.
- Niemeijer A., Di Toro G., Griffith W.A. et al. (2012) Inferring earthquake physics and chemistry using an integrated field and laboratory approach. *J. Struct. Geol.* **39**, 2–36.

Tchalenko J.S. (1968) The evolution of kink-bands and the development of compression textures in sheared clays. *Tectonophys.* **6**(9), 159-174.
Trepmann C.A., Stöckhert B., Dörner D. et al. (2007) Si-

mulating coseismic deformation of quartz in the middle crust and fabric evolution during postseismic stress relaxation – An experimental study. *Tectonophys.*, **442**, 83-104.

Рецензент А.И. Белковский

Cataclasis and plastic deformation of quartz at the epithermal silver occurrence Aid (Taryn subvolcanic massif, Eastern Yakutia)

O. A. Sustavov

Ural States Mining University

On the silver occurrence Aid in Taryn subvolcanic massif a comb vein quartz is in some places exposed to cataclasis and plastic deformation. There are the cataclastic flow of quartz with the fragmentation of crystals, by shear microfractures and the formation of cataclasis zones in which the fragments of quartz with size of parts of a millimeter cemented by cryptograined quartz matrix. Inside and around some cataclasis zones a comb quartz plastically deformed to form the subprismatic and subrhombohedral deformation bands, deformation lamellae and “spotted” undulatory extinction, like a kind of arising in the experimental deformation of quartz at low temperatures, high stress and high strain rates. To the places of occurrence in the cataclasis zones walls of the systems of subordinated microshears timed the **“lenticular” quartz (first described) consisting of the plastically deformed lenticular fragments of the original quartz**, in which the *c* axis with respect to the matrix reoriented to an angle of 90°. Cataclasis and plastic deformation of quartz placed together, which may be due to a combination during faulting in epithermal environment the favoring cataclasis low confining pressure and the enough high temperature for plastic deformation of quartz.

Key words: *Eastern Yakutia, cataclasis, plastic deformation, vein quartz, epithermal deposits, silver deposits.*