

Г. П. БАРСАНОВ, К. И. ЧЕПИЖНЫЙ

О ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПАХ ВИЦИНАЛЕЙ
НА ГРЯНЯХ КРИСТАЛЛОВ КВАРЦА

При изучении типоморфных особенностей минералов одним из элементов, определяющих их облик, являются грани кристаллов. В свою очередь «лицо» граней обусловлено особенностями строения вициналей роста или растворения, отражающими историю их формирования. Таким образом, если научиться классифицировать вицинали и понимать их генезис, то будет нетрудно (путем набора соответствующих трафаретных типов вициналей) описать историю роста кристалла в целом.

Как известно, вицинали представляют собой геометризованные бугорки и ямки, развивающиеся на гранях кристаллов. Особенность вициналей — ступенчатое строение. Среди вицинальных образований на кристаллах кварца особенно широко известны обычно крупные и четко выраженные вицинали на гранях ромбоэдров. Установлено, что возникновение вициналей на гранях кристаллов кварца связано с процессами роста или растворения. Вместе с тем выделение вициналей роста и вициналей растворения до последнего времени представлялось весьма трудным. В литературе часто встречаются указания на то, что вицинали растворения являются отрицательными формами и имеют обратную ориентировку по отношению к вициналям роста. Это справедливо, однако на практике вопрос осложняется тем, что среди вициналей роста также имеются отрицательные вицинали с «обратной» ориентировкой. В то же время среди отрицательных форм растворения имеются формы с ориентировкой, аналогичной ориентировке положительных форм роста.

Сказанное отчетливо видно при сопоставлении форм роста (рис. 1, а) и форм растворения (рис. 1, б) на грани *R* кварца. Еще большие трудности при определении форм роста или растворения связаны с тем, что в природных условиях в «чистом» виде они встречаются весьма редко. Как показывают наблюдения, в большинстве случаев кристаллы кварца формируются в условиях многократного чередования процессов роста и растворения.

В общем мы будем наблюдать доросшие вицинали растворения или подтравленные вицинали роста, а иногда и более сложные формы. В связи с этим классификация вициналей чрезвычайно затруднена. Для систематизации вициналей мы использовали представления А. В. Шубникова о черных, белых и серых формах (Шубников и др., 1940; Шубников, 1951). В соответствии с этими представлениями в кристаллографии различают белые и черные формы. Кроме того, при наложении (рис. 2) белой формы 1 на черную 2 можно вывести серую форму б. Серые формы не однозначны, так как могут быть получены двумя путями: наложением черной формы на белую (форма б) и наложением белой формы на черную (форма б). Условимся форму б называть серой формой I типа, а форму б — II типа.

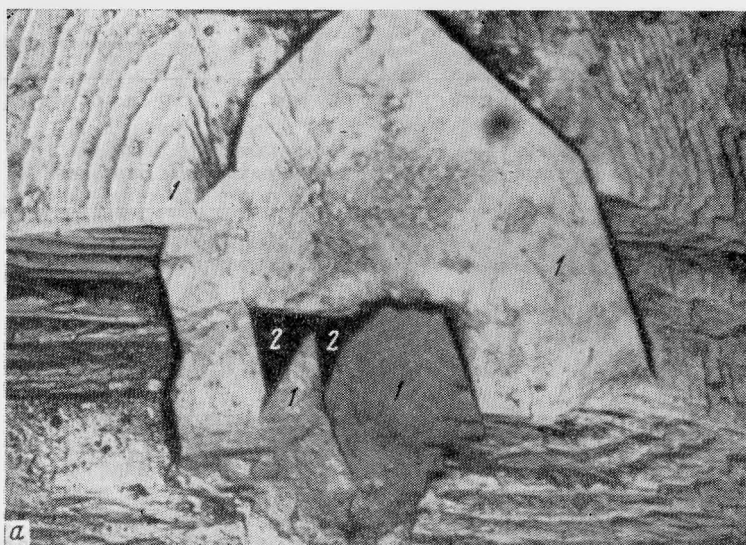


Рис. 1. Морфология вициналей роста (а) и растворения (б) на грани *R* кварца, увел. 5
 1 — вицинали роста положительные; 2 — то же, отрицательные; 3 — вицинали растворения положительные; 4 — то же, отрицательные

Совмещая формы 1 и 5, преобразуем их в светлеющую серую форму 8, а в пределе — в белую форму 12. Наложением формы 2 на форму 5 получаем темнеющую серую форму 7 I типа, которая в пределе переходит в черную форму 11. Аналогично при наложении форм 1 и 2 на форму 6 получаем светлеющую серую форму 10, белую форму 14, темнеющую серую форму 9 и черную 13. Наряду с темнеющими и светлеющими серыми формами I и II типов путем кратковременного наложения на форму 1 формы 2 (и наоборот) получаем сереющие вицинали 3 и 4 I и II типов. Таким образом, мы получаем полный набор вициналей, имеющих разную степень черноты. Чтобы придать выведенным формам генетический смысл, будем считать черными формами вицинали растворения, а белыми — вицинали роста. Приняв такое обозначение, в соответствии с рис. 2 белую форму 1 следует считать вициналью роста, а черную форму 2 — вициналью растворения. В случаях, когда процесс роста сменяется процессом растворения (на-

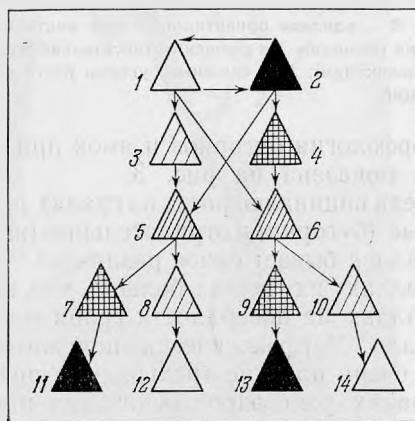
ложение формы 2 на форму 1), образуется подтравленная вициналь 3 (сереющая форма I типа). Наоборот, если процесс растворения сменяется процессом роста (не длительное наложение формы 1 на форму 2), образуется регенерированная (доросшая) вициналь 4 (сереющая форма II типа).

При более длительных наложениях сереющие формы переходят в серые. Среди серых вициналей следует различать (соответственно) растворенные вициналы роста (серая вициналь I типа) и доросшие вициналы растворения (серые формы II типа).

Серые вициналы, как и сереющие, являются реальными формами, которые можно наблюдать на кристаллах. Естественно, что такие вициналы (в зависимости от условий) в дальнейшем могут дорастать или растворяться. Если серая вициналь 5 травится, то она чернеет, переходя в формы 7 и 11. Как видно из рис. 2, при таком преобразовании серые вициналы в пределе переходят в формы растворения. Если серая вициналь 5 дорастает, то она светлеет, переходя в формы 8 и 12. Аналогично серая вициналь 6 при травлении чернеет, переходя в формы 9 и 13, а при дорастании светлеет, переходя в формы 10 и 14.

Рассматривая полученную классификационную пирамиду (см. рис. 2), легко заметить, что от форм 5 и 6 к ее основанию все вициналы переходят в белые и черные. При этом, чем ближе к основанию пирамиды, тем ближе промежуточные формы к формам 1 или 2. Таким образом, мы получаем большой набор «портретов» вициналей, нарисованных их прошлым. Одновременно это дает важную информацию о механизме, обуславливающем типоморфные особенности граней минералов. Мы рассмотрели принципиальные основы классификации вициналей.

Рис. 2. Получение серых и других промежуточных форм наложением черных и белых фигур по принципу А. В. Шубникова 1 — исходная форма, белая; 2 — то же, черная; 3 — сереющая форма, белая; 4 — то же, черная; 5 — серая форма I типа; 6 — то же, II типа; 7 — серая форма I типа, темнеющая; 8 — то же, светлеющая; 9 — серая форма II типа, темнеющая; 10 — то же, светлеющая; 11, 13 — предельные формы, черные; 12, 14 — то же, белые



Разбирая в качестве исходных формы 1 и 2 на грани R , необходимо уточнять, с какой формой роста и растворения мы имеем дело — с положительной (бугорком) или с отрицательной (ямкой). Кроме того, необходимо четко представлять себе природу и особенности механизма роста и растворения вициналей.

Объяснение природы вицинальных образований стало возможным лишь в последние годы в связи с развитием исследований по детализации тонкого строения кристаллов. В настоящее время можно считать установленным, что вициналы имеют дислокационную природу (Костов, 1965; Дена и др., 1966). Еще в 1945 г. Г. Г. Леммлейн установил наличие в кристаллах спирального роста. Изучение тонкого строения вициналей на поверхности базиса природного кварца также показало, что они имеют дислокационную природу (Чепижный, 1966; 1968_{1,2}), причем образование крупных вицинальных бугорков следует рассматривать как эффект суммирования серии элементарных бугорков, возникающих в областях скопления винтовых дислокаций.

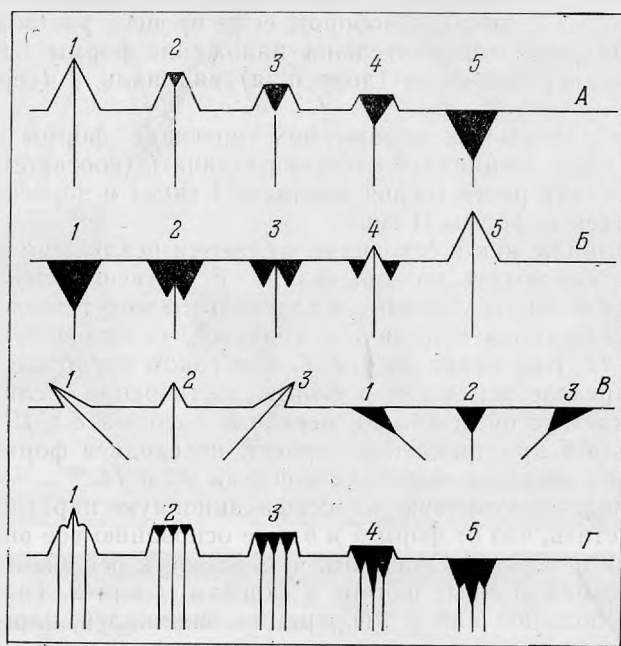


Рис. 3. Соотношение бугорков роста и ямок травления

A — стадии травления бугорка (1), образованного винтовой дислокацией; *B* — стадии дорастания ямки травления винтовой дислокации (1), вплоть до образования на ее месте бугорка (белой формы); *B* — влияние ориентировки осей винтовых дислокаций на форму бугорков роста и ямок травления (вершины их смещены относительно плоскости грани при наклонном положении оси винтовой дислокации); *Г* — сложные бугорки роста и ямки травления от серии сближенных винтовых дислокаций

Морфология бугорков и ямок при росте и растворении винтовых дислокаций показана на рис. 3.

Среди вициналей роста на гранях ромбоэдров кварца различают положительные (бугорки) и отрицательные (ямки). Количество вициналей на гранях кристаллов бывает самое различное. Замечено, что на низкокачественных кристаллах их всегда больше, чем на высококачественных. В некоторых кристаллах на поверхности грани может располагаться всего одна большая вициналь. Морфологически положительные вицинали роста представляют собой очень плоские трехгранные пирамиды с межгранными углами $\sim 1^\circ$. На гранях ромбоэдров основания пирамид всегда располагаются острым углом вверх (по направлению к выходу L^3 *). Вершина вицинальной пирамид расположена либо вблизи центра вицинали (I тип вициналей), либо вблизи нижнего основания вицинали (II тип вициналей). В зависимости от положения изменяется и угол между двумя нижними ребрами. В I типе вициналей он составляет $\sim 90^\circ$, во II типе $\sim 160^\circ$. В учебной литературе принято, что на гранях ромбоэдров смещение вершины вицинали вправо или влево имеет важное значение для определения кварца как правого или левого. Считается, что в правом кристалле кварца вершина вицинали, располагающейся на грани основного ромбоэдра R , смещена вправо, а в левом кристалле — влево. На вициналах грани r наблюдается обратная зависимость. Однако это правило соблюдается не всегда. Такая ундуляция вершин вициналей, как показано на рис. 3, может быть связана с особенностями ориентировки осей винтовых дислокаций на гранях ромбоэдра правого и левого кварцев. Особенно четкую зависимость смещения вершин бугорков

* Верх всех приведенных рисунков совпадает с выходом оси L^3 кристаллов.

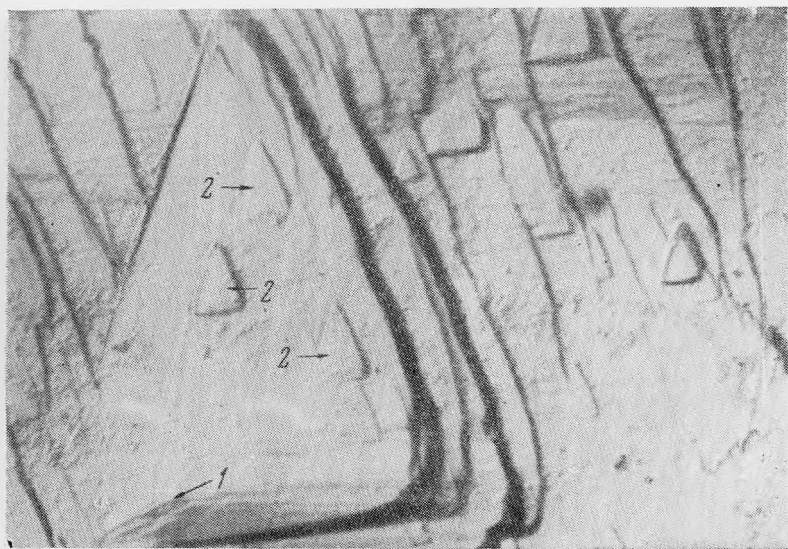


Рис. 4. Вицираль на грани R кварца с вершиной, смещенной к основанию и влево. Увел. 10
 1 — вершина вицинали; 2 — вицинали II типа

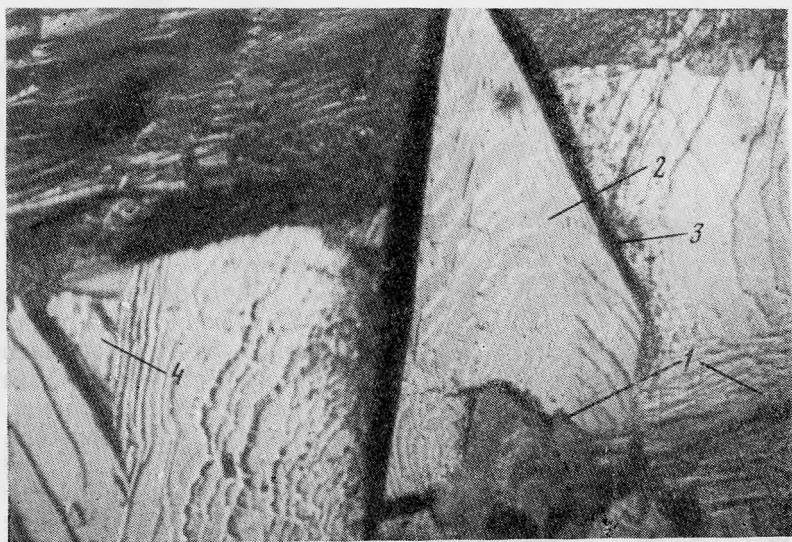


Рис. 5. Вицираль на грани R кварца с вершиной, смещенной к основанию и вправо. Увел. 10
 1 — вершина вицинали; 2 — ступеньки роста; 3 — отрицательная форма роста

и ямок от положения дислокаций можно наблюдать на грани трапецоэдра, где винтовые дислокации обычно выходят под очень острым углом. В качестве примеров на рис. 4—7 приведен ряд вициналей с различным положением вершин. Как видно из этих рисунков, на одних вициналях вершина резко сдвинута влево, на других сдвиг небольшой, а на третьих занимает симметричное положение относительно основания. Грани вициналей покрыты ступеньками роста разного порядка. Из этих рисунков хорошо видно также, что крутизна граней вициналей определяется характером развития ступенек роста. Если вицинали достигают значительной величины, на них



Рис. 6. Вициналъ на грани R кварца с вершиной, смещенной влево. Увел. 10
1 — вершина; 2 — ступеньки роста; 3 — отрицательная форма роста



Рис. 7. Вициналъ на грани R кварца, имеющая симметричное строение. Увел. 10
1 — вершина; 2 — 4 ребра вицинали

наряду с псевдогранями могут появиться и обычные грани, характерные для кристалла. В этих случаях положительные вицинали роста образуют головки кристаллических индивидов субпараллельных основному кристаллу.

Морфология отрицательных форм роста показана на рис. 5—7. Как видно из этих рисунков, замкнутая форма отрицательной вицинали роста может быть образована минимум тремя положительными вициналами. В отличие от положительных вициналей основания отрицательных вициналей роста всегда располагаются острым углом вниз (в сторону ребра, образуемого ромбом и призмой). Как и у положительных форм, псевдограницы отрицательных вициналей покрыты ступеньками роста.

Антиподом белых фигур являются черные — вицинали

растворения. Морфология вицинальных форм растворения показана на рис. 1, б, из которого видно, что среди вициналей растворения также следует различать положительные и отрицательные формы.

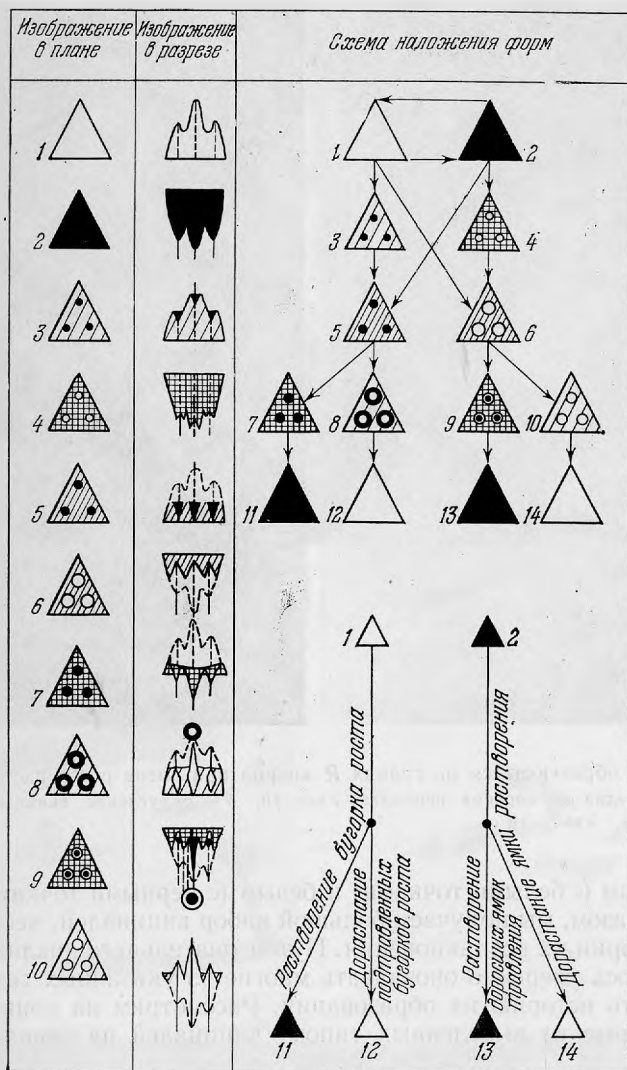


Рис. 8. Морфологические типы вициналей, образующихся на кристаллах при чередовании роста и растворения

Теперь рассмотрим рис. 8. Принимая форму 1 за положительную вициналь роста, а форму 2 за отрицательную вициналь растворения, отметим главные морфологические особенности, без которых невозможно отличить формы роста от форм растворения. Так, особенностью положительной формы роста является наличие бугорков роста, образующихся в точках выхода элементарных дислокаций (или их групп). Следовательно, вициналь 1 представляет собой бугорок с подчиненными бугорками, вициналь 2 — крупную ямку с подчиненными ямками, вициналь 3 — бугорок с мелкими ямками, что обозначается черным крапом (ямки травления), а вициналь 4 — ямку с бугорками дорастания, что обозначается белым крапом на черно-сером фоне. Серые вициналы 5 и 6 покрыты черными и белыми точками. На вициналях 7, 11, 10, 14 размеры черных или белых точек увеличиваются вплоть до перехода в черные и белые формы. Вициналы 8 и 9 (в отличие от похожих вициналей 3 и 4) имеют серое и темное поле и покрыты соответ-

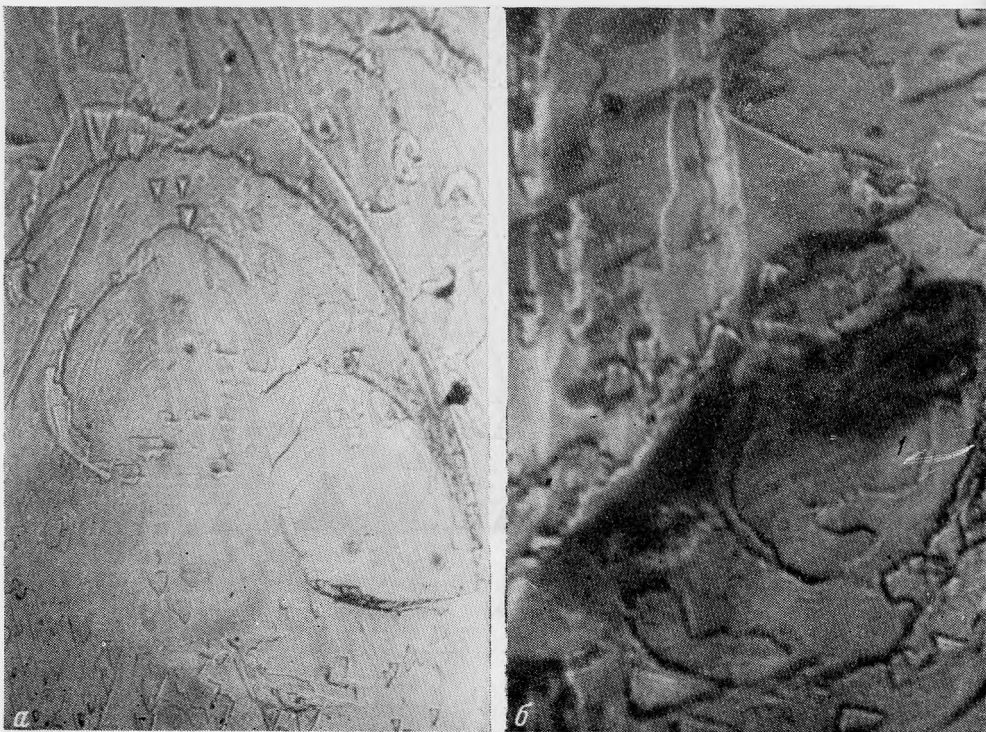


Рис. 9. Формы, образующиеся на гранях R кварца при смене роста растворением
a — начальная стадия растворения вицинали. Увел. 10; *б* — округление вицинали при средней стадии травления. Увел. 10

ственно черным (с белыми точками) и белым (с черными точками) крапом¹.

Таким образом, мы получаем большой набор вициналей, несущих информацию об истории их возникновения. Путем тщательного анализа скульптур авторам удалось уверенно опознавать многие из указанных типов вициналей и прочесть историю их образования. Рассмотрим на конкретных примерах некоторые из выделенных типов вициналей на гранях ромбоэдра R кварца.

На рис. 9, *a* показана сереющая положительная вициналь (бугорок) роста кварца. Особенностью этой вицинали (3 на рис. 8) является то, что вследствие слабого травления она округляется. На рис. 9, *б* изображена еще более протравленная вициналь, которую можно отнести к промежуточной между формами 3 и 5 (см. рис. 8). На рис. 10, *a* показаны серые дорастающие вицинали, соответствующие вицинали 8 на рис. 8². Как видно из рис. 10, *a*, вицинали, близкие к серым, обычно имеют форму конусов с бугорками. На рис. 10, *б* приведена вициналь наложения, соответствующая промежуточной форме между формами 8 и 12 (см. рис. 8). Особенностью этих вициналей является преобразование в нормальные белые формы (в вицинали роста).

На рис. 11 показаны чернеющие серые вицинали, соответствующие промежуточной форме между формами 5 и 11. В пределе такие вицинали переходят в ямки травления (в черные формы). Приведенные примеры доста-

¹ Черный крап с белыми точками в центре отражает ямки травления с бугорками дораствания. Белый крап с черными точками — бугорки роста с ямками травления (подтравленные бугорки роста).

² К серым формам, вероятно, относятся и конусовидные вицинали на гранях ромбоэдров искусственных кристаллов кварца, выращенного в щелочной среде.

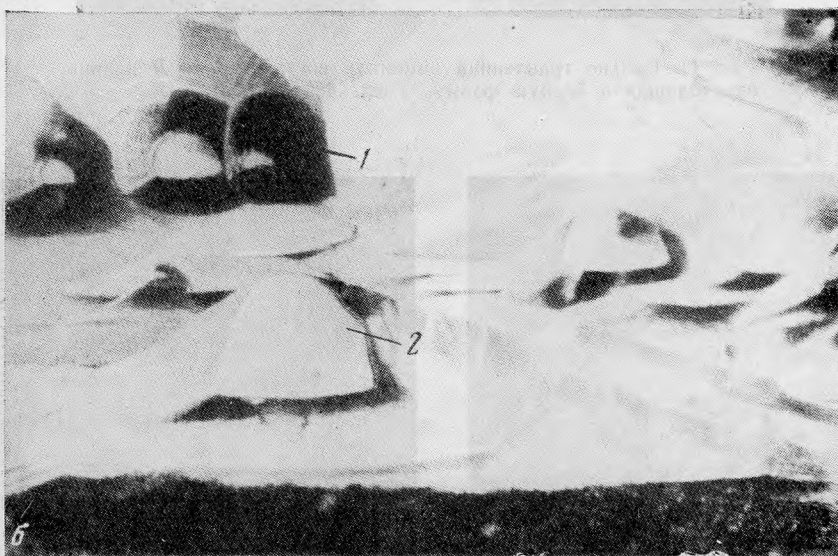


Рис. 10. Формы, образующиеся на гранях R при смене растворения ростом кварца
 а — дорастающие серые видинали конусовидной формы. Увел. 10; б — завершающая стадия преобразования конусовидных (серых) видиналей (1) в белые видинали 1 типа (2) при повторном дорастании. Увел. 10

точно убедительно свидетельствуют о практическом значении предложенной классификации видиналей.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что все сказанное справедливо не только для видиналей, но и для всех граней кристаллов. В случаях, когда устанавливаются новые типы форм граней или видиналей, они легко могут быть выведены соответствующим наложением. Как видно из схемы наложения форм (см. рис. 8), имеются различные варианты дальнейшего наложения. Наши наблюдения показали, что на кристаллах кварца одновременно могут присутствовать белые, серые и черные грани. Интересно, что черными гранями на кварце часто оказываются быстрорастущие грани (дипирамида и трапецоэдр). Таким образом, в природных условиях на кри-



Рис. 11. Сильно травленная вицираль роста на грани R кварца, переходящая в черную форму. Увел. 400

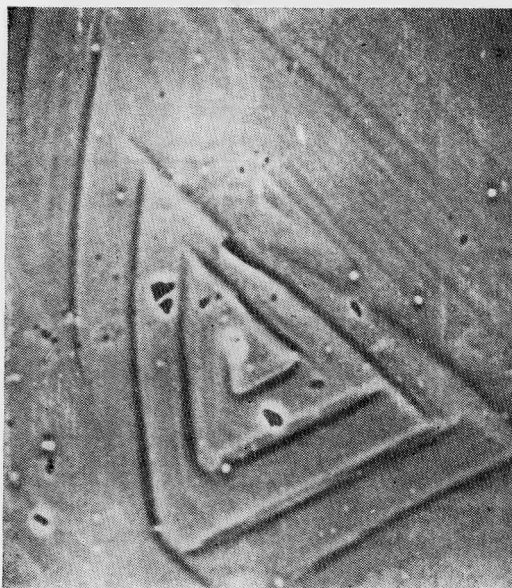


Рис. 12. Спирально построенная вицираль роста на грани R кварца. Увел. 600



Рис. 13. Концентрация примеси R в осевой части спирали, показанной на рис. 12. Увел. 600

сталлах при росте одних граней другие могут растворяться. Например, при длительном росте грани трапецеэдра как быстрорастущие исчезают.

Даже тогда, когда на гранях кристаллов кварца имеются белые грани трапецеэдра, легко догадаться, что они присутствуют благодаря тому, что доращению недавно предшествовало интенсивное растворение. Последнее,

возможно, имеет значение и для выяснения природы кристаллов алмаза необычных форм.

Изучением вициналей на гранях R кристаллов кварца с помощью микроанализатора УХА-5А выявлено, что на начало спиралей роста приходятся повышенные содержания примесей Al_2O_3 (рис. 12, 13), MgO , K_2O и железа. Указанное обстоятельство позволяет считать, что в кристаллах кварца некоторые примеси распределяются по объему дискретно.

Литература

- Дена Дж. Д., Дена Э. С., Фрондель К. Система минералогии. Изд-во «Мир», 1966.
Костов И. Кристаллография. Изд-во «Мир», 1965.
Тарасов Б. В., Чепижный К. И., Козлова Л. Н. К методике микроскопического изучения свилей в кварцевом стекле и кристаллическом кварце. — Стекло, 1967, № 2.
Фекличев В. Г. Микросталломорфологический анализ. Изд-во «Наука», 1966.
Чепижный К. И. Дислокации в кристаллах кварца. — Докл. АН СССР, 1966, 166, № 1.
Чепижный К. И. О строении дислокационных центров на поверхности (0001) природных кристаллов кварца. — Докл. АН СССР, 1968, 182, № 3.
Шубников А. В., Флинт Е. Е., Бокий Г. Б. Основы кристаллографии. Изд-во АН СССР, 1940.
Шубников А. В. Симметрия и антисимметрия конечных фигур. Изд-во АН СССР, 1951.