

Т. КУУСПАЛУ

## ЗОНАЛЬНЫЙ КВАРЦ ИЗ ГРАНИТОВ РАПАКИВИ ЭСТОНИИ

Зональное строение кварца в изверженных горных породах — явление редкое; в гранитах, насколько известно автору, оно не описывалось. В сводках по зональности кварца (Леммлейн, 1951; Костылева, 1965) в качестве примера приводится зонально-дымчатый кварц из порфира горы Самшвилде в Грузинской ССР. Зональность эта выявлена искусственно — облучением бесцветного дипирамидального кварца рентгеновскими лучами. Обнаружение природной зональности кварца в некоторых гранитах рапакиви Эстонии поэтому представляет определенный интерес.

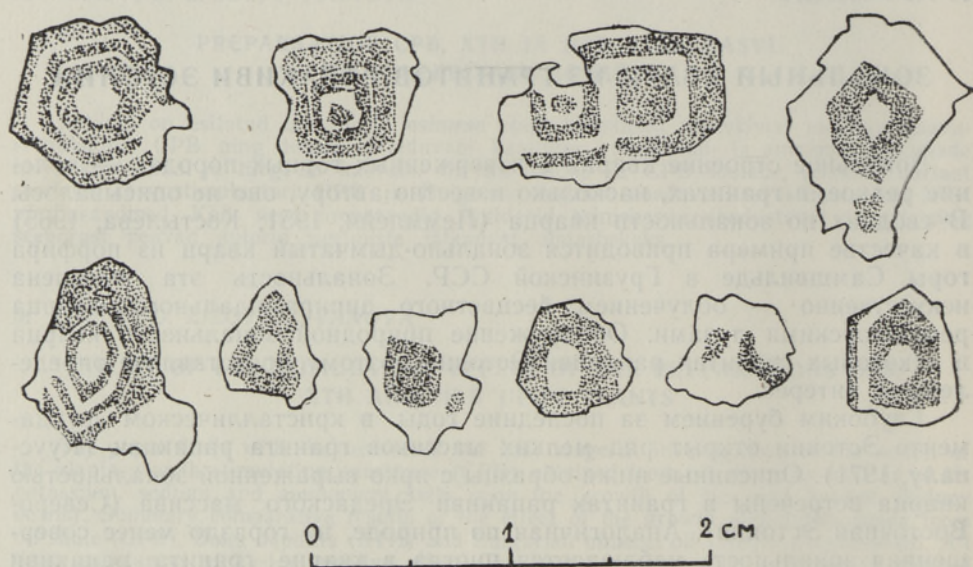
Глубоким бурением за последние годы в кристаллическом фундаменте Эстонии открыт ряд мелких массивов гранита рапакиви (Кууспалу, 1971). Описанные ниже образцы с ярко выраженной зональностью кварца встречаются в гранитах рапакиви Эредаского массива (Северо-Восточная Эстония). Аналогичная по природе, но гораздо менее совершенная зональность наблюдается иногда в кварце гранита рапакиви Мярьямааского массива (Северо-Западная Эстония).

Эредаский гранит рапакиви — крупнозернистый порфировидный гранит массивного сложения, обладающий всеми главными признаками рапакиви, за исключением калишпатовых овоидов с олигоклазовыми оболочками. Эредаский массив вскрыт двумя глубокими скважинами: Сомпа 3Н и Эреда 319. Зональный кварц встречается в граните обеих скважин, однако лучше всего выражена зональность в образцах из скв. 319, в которой гранит пройден на протяжении около 80 м (на глубине от 270,4 до 350,6 м). Гранит скв. 319 в общем характеризуется постоянством структуры и текстуры. Исключением является интервал 319,0—319,6 м, в котором гранит представлен пегматоидной разностью, богатой калиевым полевым шпатом. На небольшом расстоянии выше и ниже указанного интервала гранит несколько обогащен кварцем по сравнению с нормальным, преобладающим типом породы. Все указанные разновидности пород связаны между собой постепенными переходами, настолько плавными, что разграничение разновидностей в керне затруднительно.

Характерно, что зональный кварц приурочен преимущественно к нормальному типу породы; в пегматоидном и обогащенном кварцем гранитах зональность либо отсутствует, либо развита спорадически и менее полно. Зональность более свойственна выделениям ранней кристаллизации, обладающим более или менее идиоморфным дипирамидальным обликом. Реже она наблюдается в зернах с неправильными очертаниями.



Макроскопически зональность выражается в чередовании тонких оболочек обычной серой (прозрачной) и голубовато-молочной окрасок. В разрезе зоны имеют округлую, но довольно часто и кристаллографически-правильную квадратную, ромбовидную и шестиугольную форму (рисунок). Границы между зонами четкие, но нерезкие. Количество одинаково окрашенных зон в одном зерне не превышает четырех. В кристаллах с наиболее развитой зональностью центр сложен из обычного серого кварца; к периферии идет чередование трех, мощностью 0,2—1,5 мм, зон голубовато-молочного и трех зон серого кварца. В кристаллах с меньшим числом зон центр также может быть окрашен в голубовато-молочный цвет.

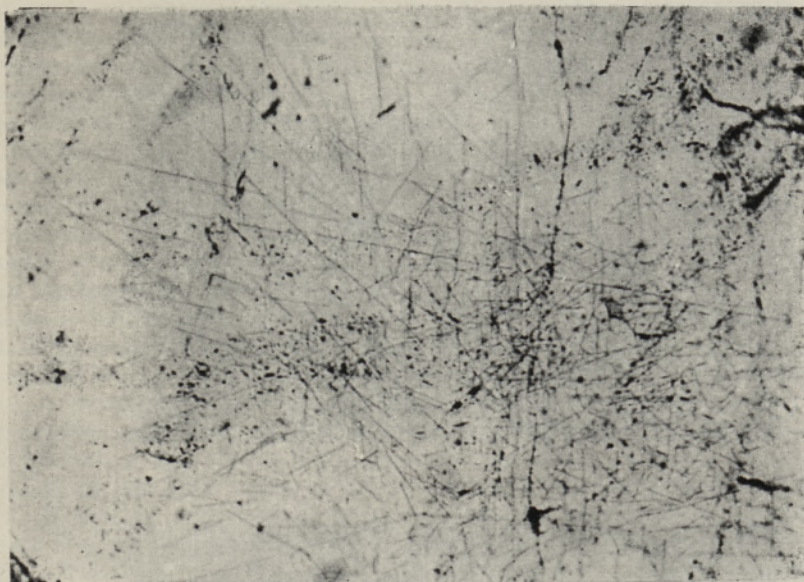


Зональные зерна кварца; случайные сечения. Гранит рапакиви скв. Эреда 319. Точками обозначены зоны голубовато-молочной окраски.

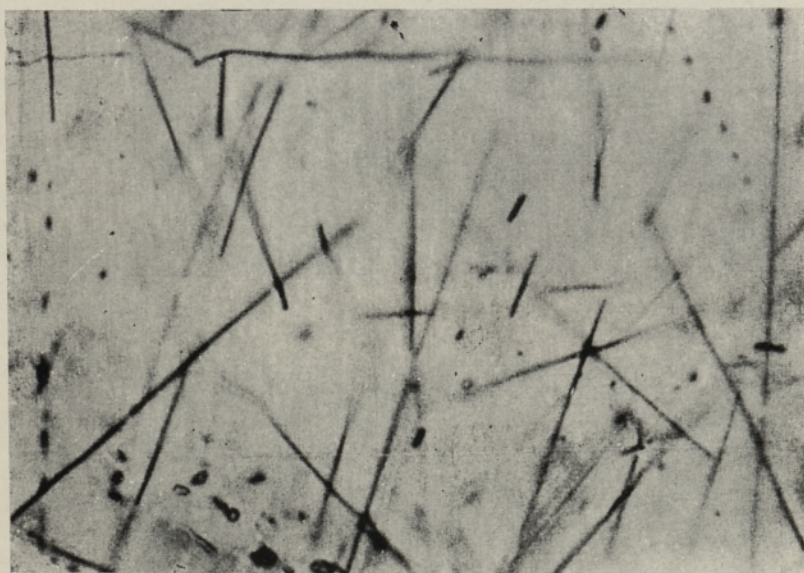
Микроскопическое исследование показывает, что зональное окрашивание кварца обусловлено зональным распределением мельчайших иголок рутила. Рутил отождествлен оптически по характерным для него игольчатой форме и высокому двупреломлению, дающему отчетливые цвета интерференции даже при толщине игл в несколько тысячных долей миллиметра\*. В том, что голубовато-молочная окраска обусловлена включениями рутила, можно убедиться, рассматривая шлиф (толщина которого несколько превышает нормальную) в отраженном свете: участки кварца, переполненные вростками рутила, светятся под определенными углами зрения в голубоватых тонах, подобно иризации лабрадора. Вместе с тем наблюдаемый эффект показывает, что в возникновении окраски решающую роль играет свет, отраженный (селективное отражение?) от закономерно расположенных включений рутила. Следует отметить, что в штуфе окраска превращается в голубовато-

\* Оптическое определение подтверждается полуколичественным спектральным анализом кварца, проведенным К. Орловой в лаборатории Тематической геологической партии Управления геологии СМ ЭССР. Содержание Ti в кварце составляет около 0,045%.

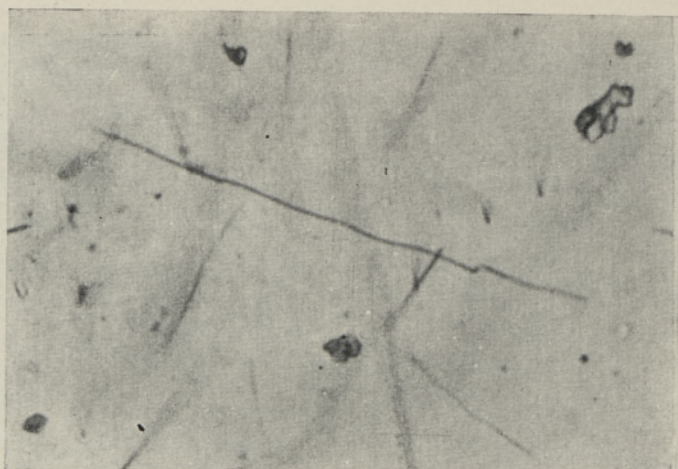




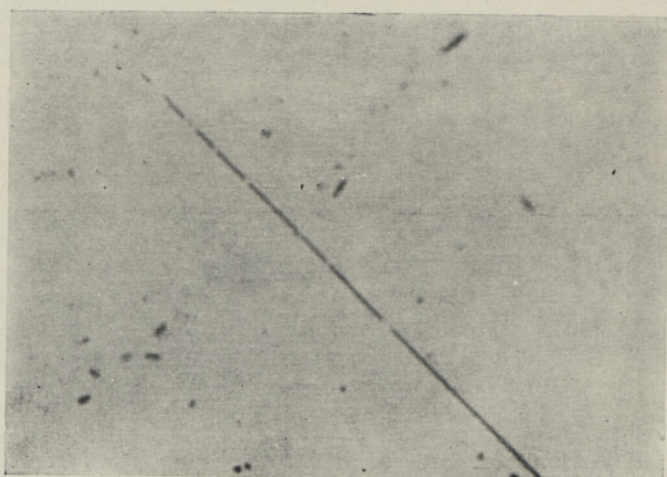
Фиг. 1. Характер расположения вростков рутила в кварце. Шлиф 319—35<sup>а</sup>. Сква. Эреда 319; гл. 306,1 м;  $\times 80$ , без анализатора.



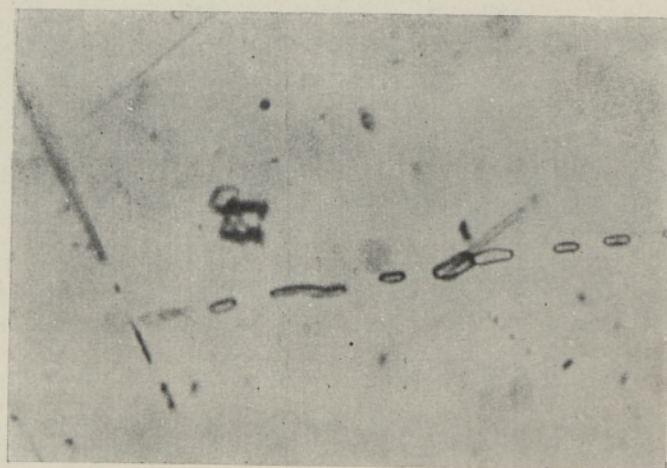
Фиг. 2. Рутиловые иголки при большом увеличении. Шлиф 319—35<sup>а</sup>. Сква. Эреда 319; гл. 306,1 м;  $\times 720$ , без анализатора.



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



молочную, напоминающую опаловую, а появление и интенсивность ее не зависят от угла наблюдения. Это противоречие, по-видимому, можно объяснить наблюдаемым в кварце множеством систем параллельно ориентированных включений рутила. Правда, ориентация рутиловых иголок далека от идеальной. При беглом просмотре шлифа создается даже впечатление о полностью беспорядочном расположении вростков рутила (табл. I, фиг. 1). Элементы преимущественной ориентировки рутиловых иголок, а также их закономерные сростки лучше выявляются при сильных увеличениях (табл. I, фиг. 2). На федоровском столике выяснено, что иголки образуют группировки с весьма изменчивыми углами наклона к направлению оптической оси и к круговому сечению оптической индикатрисы кварца. Более точное определение ориентировки затруднено из-за очень малых размеров вростков рутила.

Голубое и синее окрашивание кварца, обусловленное включениями рутила, в литературе описано для различных типов пород, в том числе для финляндских рапакиви (Postelmann, 1937; Vultée, Lietz, 1956; Глебова-Кульбах и др., 1963). При этом указывается (Vultée, Lietz, 1956), что характер окраски зависит от величины и концентрации кристаллов рутила. В кварце изученной нами породы и размеры и содержание вростков варьируются в широких пределах. Так, в одном и том же зерне кварца встречаются кристаллы рутила, толщина которых граничит с пределом разрешающей способности микроскопа, а длина составляет несколько сотых миллиметра, и кристаллы длиной до 1—2 мм и толщиной 0,001—0,002 мм. Кроме того, весьма вероятны выделения рутила субмикроскопических размеров.

Зональное строение кварца под микроскопом прослеживается с трудом. В основном это вызвано малыми размерами рутила и тем, что изучались случайные сечения зональных кристаллов. Микроскопически различимый рутил образует скопления в виде кольцевых или овальных зон. Чаще всего попадаются разрезы с чередованием двух-трех зон, содержащих и не содержащих рутил. Зоны имеют нечеткие границы и распознаваемы только при тщательном исследовании шлифа. Не встречалось случая, чтобы рутиловые иголки, размещающиеся на краю зерна, продолжались в соседнее зерно кварца.

Из описанной выше морфологии зональности следуют некоторые выводы. Во-первых, морфологические особенности служат убедительным подтверждением предположения о том, что идиоморфный кварц гранита рапакиви представляет собой параморфозу по высокотемпературному  $\beta$ -кварцу с дипирамидальным габитусом. Во-вторых, изучаемая зональность является зональностью роста высокотемпературного кварца.

При этом нерешенным остается вопрос о времени обособления рутила: происходило ли обособление рутила одновременно с ростом  $\beta$ -кварца или позднее (например, в момент инверсии) в результате распада возможной изоморфной смеси? Некоторую информацию для ответа на этот вопрос дает изучение особенностей строения кристаллов рутила.

Рутиловые иглы обнаруживают признаки двоякого рода деформаций. Во-первых, часть кристаллов рутила искривлена в ходе позднего ката-

Фиг. 1. Искривленная иголка рутила. Шлиф 319—35а. Скв. Эреда 319; гл. 306,1 м;  $\times 720$ , без анализатора.

Фиг. 2. Прерывистая (пунктирообразная) игла рутила. Шлиф 302—25. Скв. Ваймыза 302, Мярьямааский массив; гл. 352,0 м;  $\times 720$ , без анализатора.

Фиг. 3. Прерывистая игла рутила с округленными и изогнутыми фрагментами. Шлиф 302—25. Скв. Ваймыза 302; гл. 352,0 м;  $\times 720$ , без анализатора.



клаза. Изгибы имеют обычно плавную, реже зигзагообразную форму (табл. I, фиг. 2 и табл. II, фиг. 1). Искривленные иглы встречаются в кварце с сильным волнистым погасанием, а зигзаги приурочены непосредственно к стыкам микроблоков в кварце. Нужно отметить, что волнистое погасание является характерной чертой кварца в граните массива Эреда и связано с явлениями катаклаза в поздне- и послекристаллизационную стадии (Кууспалу, 1971). В слабокатаклазированных зернах кварца и в кварце гранита рапакиви Мярьямаа, обладающих нормальным или слегка волнистым погасанием, морщинистые иглы не наблюдаются.

Во-вторых, довольно часто рутиловые иглы являются прерывистыми, разобщенными на части (табл. II, фиг. 2 и 3). Расстояние между отдельными частями иглы составляет обычно 0,001—0,002 мм и не превышает 0,005 мм. Промежутки заполнены кварцем. Прерывистый рутил встречается в кварце как с нормальным, так и с волнистым погасанием. В его расположении относительно элементов оптической индикатрисы кварца преимущественной ориентировки не наблюдается.

Образование прерывистого рутила можно в принципе объяснить двояко: или особым видом роста, близким к скелетному, или разрывным воздействием деформаций на уже сформировавшиеся иглы. Однако при больших увеличениях видны смещения соседних частей игл, некоторая изогнутость, утолщение или утончение фрагментов на их концах (табл. II, фиг. 3), что указывает в пользу второго способа образования прерывистого рутила. Источником деформирующих напряжений могла служить сама термическая история кристаллизации кварца, в частности перестройка его структуры при инверсии. Немаловажный эффект при этом могли оказать инверсионное уменьшение объема кварца, резкое увеличение коэффициента линейного расширения кварца в области температуры инверсии, различие термических и упругих свойств рутила и кварца и другие факторы. Если количественно это явление невозможно обосновать из-за его сложности и недостатка данных, то качественно оно вполне правдоподобно, тем более, что имеется некоторая аналогия с описанным Д. Григорьевым (1961) разрывом турмалина в хлоритовом сланце.

В свете сказанного возможно, что, по крайней мере, часть рутиловых вростков существовала до инверсии кварца. Однако не исключается и более поздний рост части кристаллов рутила, как не исключается и возможность изоморфного вхождения титана в решетку кварца при высокой температуре с последующим распадом (доинверсионным и инверсионным) изоморфной смеси. Механизм зонального захвата рутила кварцем и физико-химические причины его, очевидно, требуют дальнейшего изучения.

Наше исследование позволяет сделать следующие петрологические выводы:

1. Наличие параморфоз по высокотемпературному кварцу означает, что температура главной стадии кристаллизации магмы гранита рапакиви превышала 573°С.

2. Сам факт зональности кварца, наряду с другими структурными особенностями породы, непосредственно свидетельствует о периодическом изменении условий кристаллизации, а косвенно — о большой скорости кристаллизации, которая способствует фиксированию зонального строения. Такие условия соответствуют остыванию магмы вблизи земной поверхности, что, по-видимому, является одной из наиболее специфических черт формирования рапакиви вообще (Кууспалу, 1971).



## ЛИТЕРАТУРА

- Глебова-Кульбах Г. О., Лобач-Жученко С. Б., Пинаева Н. И., Борисова К. Д. 1963. Граниты Южной Карелии. В сб.: Граниты Кольского полуострова и Карелии. Тр. Лаборатории геологии докембрия, вып. 15. Л.
- Григорьев Д. П. 1961. Онтогенез минералов. Изд. Львовск. гос. ун-та.
- Костылева Е. Е. 1965. Минералы. Справочник, II, вып. 2, Простые окислы. М.
- Кууспалу Т. И. 1971. О гранитах рапакиви в кристаллическом фундаменте Эстонии. Уч. зап. Тартуск. гос. ун-та (в печати).
- Леммлейн Г. Г. 1951. Распределение окраски в кристаллах кварца. Тр. Ин-та кристаллографии, вып. 6.
- Postelmann A. 1937. Die Ursache der Blaufärbung gesteinsbildender Quarze. Neues Jahrb. Mineral. A., Beil., 72.
- Vultee J. V., Lietz J. W. 1956. Über die Rolle des Titans als Färbungsache von Blau- und Rosenquarzen. Neues Jahrb. Mineral., Monatsh., Nr. 3.

Тартуский государственный университет

Поступила в редакцию  
16/VI 1970

T. KUUSPALU

## TSONAALNE KVARTS EESTI RABAKIVIGRANIITIDES

Artiklis kirjeldatakse Ereda ja Märjamaa massiivi rabakivides esinevat tsonaalset kvartsi. Tsonaalsus on tingitud nõeljate rutiili suletiste tsonaalsest esinemisest kvartsis, väljendudes makroskoopiliselt halli ja sinakas-piimja värvusega kihtide vaheldumises. Käsitletakse tsonaalse kvartsi tekke võimalusi ja petrooloogilist tähendust.

T. KUUSPALU

## ZONAL QUARTZ IN RAPAKIVI GRANITES OF ESTONIA

A number of Rapakivi massifs have been discovered in the crystalline basement of Estonia in the course of deep-borings of a few recent years. In two of them --- in the Ereda (North-East Estonia) and Märjamaa (North-West Estonia) massifs --- Rapakivi granite contains zonal quartz grains. Megascopically the zonal structure appears in the way of alternating shells of grey (transparent) and blue-milky coloured quartz, often showing regular crystallographic forms in cross-section (Fig. 1). Microscopical and spectral analysis showed that the zoning is due to the presence of zonally located needle-like inclusions of rutile (Figs 1 and 2, Table I). The morphology of zoning indicates that it was formed during the growing of high-temperature quartz, thus giving convincing proof of the supposition that the idiomorphic Rapakivi quartz represents a paramorph of high-temperature quartz of bipyramidal habit.

Rutile needles have undergone two kinds of deformation. Part of them have been crooked due to the cataclasm of the quartz during the stages of late- and post-crystallization (Fig. 2, Table I; Fig. 1, Table II). In other cases rutile needles are fragmentary (Fig. 2 and 3, Table II), being probably stretched and broken off during the polymorphic inversion process of the quartz.

The occurrence of zonal quartz in Rapakivi granites permits to draw the following petrological conclusions: 1) at the main stage of crystallization of Rapakivi magma the temperature exceeded 573°C; 2) crystallization was rhythmical and relatively rapid, indicating that the cooling proceeded near the surface of the earth.