М.Я. КАЦ, И.М. СИМАНОВИЧ

КВАРЦ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

M. Ya. KATZ, I. M. SIMANOVICH

QUARTZ OF CRYSTALLINE ROCKS

(Mineralogical Characteristics and Density Properties)

Transactions, vol. 259



PUBLISHING HOUSE «NAUKA»

MOSCOW 1974

М. Я. КАЦ, И. М. СИМАНОВИЧ

КВАРЦ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

(Минералогические особенности и плотностные свойства)

Труды, вып. 259



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

MOCKBA 1974

Кварц кристаллических горных пород (минералогические особенности и плотностные свойства). Кац М. Я., Симанович И. М.

Труды Геологического института, вып. 259. М., «Наука», 1974.

Монография посвящена исследованию основных типоморфных свойств кварца различных типов кварцсодержащих кристаллических горных пород как первичных поставщиков обломочного кварца для всего осадочного чехла в целом. В работе приведены сведения о кристаллографии, составе и физических свойствах кварца, а также закономерности изменения физических свойств кварца при разрушении. Библ. 117 назв., илл. 57, табл. 46.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

академик А. В. Пейве (главный редактор), академик В. В. Меннер, В. Г. Гербова, П. П. Тимофеез

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

В. Д. Шутов

EDITORIAL BOARD:

Academician A. V. Peive (Editor-in-chief), Academician V. V. Menner, V. G. Gerbova, P. P. Timofeev

RESPONSIBLE EDITOR

V. D. Shutov

K 20805-0182 574-74

© Издательство «Наука», 1974 г.

ВВЕДЕНИЕ

В предлагаемой книге излагаются результаты изучения типоморфных особенностей одного из важнейших минералов осадочных горных пород кварца.

Типоморфные особенности минералов в последнее время занимают все более важное место в минералого-петрографических исследованиях, в том числе и при анализе условий формирования минерального состава осадочных горных пород. Детально изучаются не только акцессорные минералы тяжелой фракции, но и породообразующие, легкие минералы осадочных горных пород. В частности, в петростратиграфических построениях успешно применяется количественное изучение различных типов обломочного кварца по методике, созданной Г. Г. Леммлейном и В. С. Князевым (1951). Однако методика Леммлейна — Князева, как, впрочем, и различные методические приемы ряда других исследователей, в основном зарубежных, не приносит ощутимых результатов при решении одной из главных задач современной литологии — выявления источников сноса обломочного материала. В ряде случаев эта задача практически неразрешима, если применяется лишь старый испытанный метод изучения минералов тяжелой фракции (Михайлова, 1964). Особенно это относится к кварцевым и олигомиктовым песчаным породам, в которых, как правило, содержится весьма бедный видовой набор лишь устойчивых к выветриванию тяжелых минералов. Хочется также обратить внимание на следующее важное обстоятельство. Изучая тяжелые минералы, мы анализируем возможные источники сноса самых тяжелых минералов, составляющих обычно ничтожную акцессорную примесь в породах. Между тем кварц, который слагает в подавляющем большинстве случаев значительную часть объема песчаных пород, как более легкий минерал уносится от своих акцессориев, с которыми он ассоциировал в питающей провинции, на десятки, сотни, а может быть, и тысячи километров; при этом в образующийся осадок, вероятно, попадают и акцессории из других источников сноса, парагенетически не связанные со слагающими толщу песчаных пород обломочными зернами кварца. Все эти обстоятельства делают проблему изучения источников сноса по обломочному кварцу в высшей степени актуальной и важной.

Что же тормозит решение этой задачи? Кварц хорошо изучен минералогами и петрографами, этому минералу посвящены сотни статей и монографий, но, как ни странно, для петрографов он остался самым «нелюбимым» минералом. О породообразующем кварце написано сравнительно мало работ. Совсем слабо изучен обломочный кварц; почти нет сведений о закономерностях его истирания при седиментации.

С целью восполнения этих пробелов нами проводилось изучение типоморфных особенностей кварца эталонной коллекции кварцсодержащих кристаллических пород с использованием методов микроскопии и гравитационной градиентной трубки, а также статистических методов анализа результатов наблюдений. Результатом этого исследования явилась генетическая классификация типоморфных признаков обломочного кварца. Получены новые данные, которые можно использовать для разработки методики определения питающих провинций по обломочному кварцу с учетом, в частности, и различной разрушаемости разных типов зерен кварца в период седиментации.

Все эксперименты по детальному анализу плотности кварца эталонной коллекции проводились с помощью несерийной аппаратуры, которая разрабатывалась и изготовлялась в лаборатории минералогии осадочных пород Геологического института АН СССР. Судя по литературным данным, серийная аппаратура для такого типа исследований пока еще не выпускается ни в нашей стране, ни за рубежом. Видимо, поэтому такие исследования с необходимой точностью экспериментов в других лабораториях пока еще не проводятся.

Авторы пришли к выводу, что именно микроскопические методы в сочетании с методами изучения минералов в гравитационном градиентном поле (в том числе с методами выделения разных типов зерен из мономинеральных образцов) позволяют получать наиболее важные и полные сведения о типоморфных особенностях породообразующего кварца.

Настоящее исследование является плодом содружества специалистов разного профиля: физика М. Я. Каца и минералога И. М. Симановича. Разные специальности авторов предопределили и разделение труда при написании книги. М. Я. Кацем написаны главы, посвященные методике изучения плотностных свойств кварца, эволюции его плотностных свойств в процессе минералогического вызревания пород, результатам изучения плотностных свойств кварца эталонной коллекции и распределениям по шкале плотности включений в зернах кварца (гл. IV, V, VI, разд. Б и В). И. М. Симановичем написаны литературный обзор и главы, посвященные подбору коллекции эталонных образцов кварца и микроскопическому изучению типоморфных особенностей обломочного кварца (гл. I—III). «л. VI, разд. А с исходными экспериментальными данными и гл. VII ГГенетические типы кварца», а также «Введение» написаны совместно.

Авторы благодарят А. Г. Коссовскую, В. Д. Шутова и В. И. Муравьева за ценные советы при постановке работы, В. В. Баранова и А. А. Рассказова за поддержание в рабочем состоянии техники эксперимента при определении плотностных свойств кварца, Е. Ф. Михайлову за выполнение всей лаборантской работы при разделении эталонных образцов кварца на градиентной трубке, М. М. Каца за помощь при расчете статистических характеристик плотности кварца на ЭВМ и Т. Г. Фалькенгоф за большую помощь при оформлении монографии. Авторы благодарны также всем лицам, предоставившим различные образцы кварцсодержащих кристаллических горных пород, вошедших в исследованную эталонную коллекцию

•...

Глава І

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О КРИСТАЛЛОГРАФИИ, СОСТАВЕ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ КВАРЦА

Кристаллография кварца, его состав и физические свойства хорошо изучены, и этому минералу посвящена обширная литература. В соответствии с основной задачей исследования в настоящей главе приводятся краткие литературные сведения об основных типоморфных свойствах кварца, которые необходимы для дальнейшего изложения материала. Ряд типоморфных свойств кварца (структурные дефекты, минеральные включения, включения минералообразующей среды) освещен в гл. III. Ряд плотностных свойств кварца и физические основы некоторых закономерностей их изменения при разрушении (истирании) по наблюдениям в природных условиях и по результатам лабораторных экспериментов детально описаны в гл. V.

морфология кристаллов кварца

Сингония кварца тригональная, симметрия тригонально-трапецоэдрическая. Присутствуют одна ось третьего порядка и три оси второго порядка. Центра и плоскостей симметрии не имеется. Кристаллы кварца образуют следующие формы (Дэна и др., 1966): пинакоид {0001}; призма гексагональная {1010}; призмы тригональные: { $2\overline{110}$ } (левая) и {1120} (правая); призмы дитригональные: { $i\overline{k}ho$ } (левая) и { $h\overline{k}io$ } (правая); ромбоэдры: {hohl} (положительный) и { $oh\overline{hl}$ } (отрицательный); дипирамиды тригональные: { $i\overline{k}ho$ } (левая) и { $h\cdot h\cdot i$ } (левая) и { $h\cdot h\cdot i$ } (правый положительный), { $hk\overline{i}l$ } (правый положительный), { $kh\overline{i}l$ } (правый отрицательный).

Кварц энантиоморфен. Различаются правые и левые кристаллы кварца, причем морфологически правый кристалл соответствует левой кристаллической структуре кварца и, наоборот, правая кристаллическая структура проявляется в левых морфологических формах. В кристаллической структуре кварца энантиоморфизм выражается в различном спиральном расположении тетраэдров SiO₄ относительно оси третьего порядка.

Кристаллографические формы кварца в той или иной степени отражают условия его формирования, но лишь в отдельных случаях по форме кристаллов можно уверенно установить их генезис. Так, для высокотемпературного эффузивного кварца характерны кристаллы дипирамидального габитуса.

При исследовании осядочных горных пород практически не приходится сталкиваться с ограненными кристаллами кварца, поскольку обломочные зерна его в терригенных породах всегда в той или иной мере окатаны или имеют остроугловатую оскольчатую форму. Поэтому такой важный типоморфный признак, как морфология кристаллов, не находит применения при исследовании породообразующего кварца осадочных, а также в большинстве случаев и кристаллических горных пород.

Энантиоморфизм также едва ли может служить надежным типоморфным признаком при изучении породообразующего кварца. Г. Г. Леммлейн (1944) считал, что при случайной выборке кристаллов кварца какого-либо месторождения число правых и левых форм оказывается равным в пределах случайной ошибки. Гипотеза об одинаковом распространении правых и левых кристаллов кварца была математически проверена А. Б. Вистелиусом (1950). Он показал недостаточную строгость приведенных Г. Г. Леммлейном доказательств. По мнению А. Б. Вистелиуса, левые формы кристаллов кварца все же несколько более распространены, чем правые. Изучение энантиоморфизма зерен породообразующего кварца, к сожалению, нельзя проводить в обычных петрографических шлифах.

СТРУКТУРНАЯ КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Основой кристаллической структуры кварца является гексагональная решетка. Элементарная ячейка Si₃O₆, по Дж. Дэна и др. (1966), имеет номинальные размеры $a_0 = 4,913$ Å, $c_0 = 5,405$ Å. Структура кварца сло-



Фиг. 1. Средние значения параметров а и с для кварцев из горных пород (тип I), гидротермальных жил (тип II) и синтетических (тип III). Величина отрезка показывает точность определения среднего значения параметра (по Франк-Каменецкому и Каменцеву, 1967)

жена тетраэдрами SiO₄: каждый атом кислорода связан с двумя атомами Si, т. е. атомы в вершинах одного тетраэдра одновременно принадлежат и другим тетраэдрам.

Размер элементарной ячейки — важный типоморфный признак кварца. По Дж. Дэна и др. (1966), изменение величины параметров элементарной ячейки составляет 0,0006 по оси a_0 и 0,0005 по оси c_0 при точности определения 0,00003. Изменение размеров элементарной ячейки обусловлено замещением Si⁺⁴ на Al⁺³ и вхождением малых катионов H⁺, Li⁺ и Na⁺ в интерстициальные положения. Замещение Si на Al приводит к увеличению и a_0 , и c_0 ; с вхождением же катионов растет главным образом a_0 .

Размеры элементарной ячейки зависят от условий образования кварца. И. Е. Каменцев и А. А. Прияткин (1963) показали, что у образцов из магматических горных пород различных интрузивных фаций (Большой Хинган), температура кристаллизации которых уменьшалась от более ранней к более поздней фации, наблю-

дается закономерное увеличение параметра с кварца.

Сопоставление средних значений параметра с кварца магматических пород, гидротермального и искусственного кварца позволило сделать вывод, что при снижении температуры кристаллизации возрастает значение параметра с (фиг. 1). Рост параметра с в свою очередь связан с увеличением захвата изоморфной примеси алюминия, что сопровождается внедрением щелочей в полые каналы (Каменцев, 1963, 1965а, б; Франк-Каменецкий, Каменцев, 1967).

Эти данные подтверждены Н. Ф. Карпенко и др. (1967). Ими изучено 136 образцов кварца пяти генетических групп; кварц из: 1) эффузивов, 2) пегматитов, 3) пневматолито-гидротермальных, 4) гидротермальных, 5) осадочных месторождений (гипергенный кварц). Последовательность групп отвечает снижению температуры кристаллизации кварца. Максимальные параметры элементарной ячейки характерны для пневматолитогидротермального и гидротермального кварца. Выявлена закономерность: параметры элементарной ячейки увеличиваются с ростом содержания примесей. Максимальное количество примесей обнаружено в пневматолито-гидротермальных кварцах. Наиболее высокая стабильность параметров элементарной ячейки характерна для эффузивного и пегматитового кварца. Для кварца гидротермального и пневматолито-гидротермального свойственны значительные колебания этих параметров.

Можно ожидать, что кварц пород различного генезиса имеет свои определенные пределы параметров элементарной ячейки. Однако такой подход неприменим при изучении малых обломочных зерен песчаной размерности, изучение же усредненных параметров элементарной ячейки естественной смеси кварцевых зерен любой кварцевой песчаной породы для определения их источников сноса лишено всякого смысла. Несомненно, метод прецизионного определения параметров элементарной ячейки кварца мог бы принести пользу при генетической идентификации кварцевых галек.

Необходимо также отметить существование в кварце структурных каналов. Эти каналы имеют диаметр d = 2 Å на каждые 20 Å сечения и расположены параллельно оси c (Цинзерлинг, 1964). Наличием структурных каналов и объясняется наибольшая электропроводность кварца в направлении оси c.

ИНВЕРСИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ — ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ КВАРЦ

Все вышеизложенные сведения относятся к кварцу, существующему в нормальных условиях земной поверхности. При температуре около 573° С (давление 1 *атм*) происходит переход кварца в высокотемпературную модификацию, характеризующуюся гексагональной сингонией и гексагонально-трапецоэдрическим видом симметрии. Переход низкотемпературного кварца в высокотемпературный сопровождается небольшим отклонением атомов Si от их позиций, что приводит к превращению оси третьего порядка в ось шестого порядка. Связи Si—O—Si при этом не разрушаются.

По последним данным (Быстриков, 1966), при нагревании кварца до точки инверсии атомы непрерывно смещаются до тех пор, пока не займут геометрически правильную конфигурацию гексагональной симметрии. Это доказано различным характером изменения межплоскостных расстояний кварца при нагревании до 573° С и выше. Отношение $(\Delta d/\Delta t)\Delta t \rightarrow 0$, где dмежплоскостное расстояние в Å, непрерывно изменяется от нуля при низких температурах до достаточно большого значения при 573° С и вслед за этим скачкообразно становится равным нулю. Эти закономерности находят выражение в однотипности графика изменения отношения $(\Delta d/\Delta t)\Delta t \rightarrow 0$ по температуре и кривой термограммы кварца, а также в их асимметричности (Быстриков, 1966). Постепенное увеличение межплоскостных расстояний объясняет непрерывное изменение ряда свойств кварца при нагревании до 573° С: увеличение объема (до 0,86% при 573° С) уменьшение плотности, светопреломления и др.

Температура $\alpha - \beta$ перехода кварца колеблется в довольно широких пределах. По Дж. Дэна и др. (1966), при возрастании гидростатического давления на 40 *атм* температура инверсии увеличивается на 1° С. Точка $\alpha - \beta$ перехода зависит от концентрации в кварце Al и других элементов, а также от температуры первоначальной кристаллизации кварца. По данным М. Л. Кейта и О. Ф. Таттла (1954), температура $\alpha - \beta$ превращения кварца, содержащего Ge, увеличивается при понижении температуры кристаллизации. Температура $\alpha - \beta$ перехода кварца, содержащего Al и Li, понижается с повышением температуры кристаллизации. По данным экспериментальных исследований большого количества образцов кварца разного происхождения М. Л. Кейт и О. Ф. Таттл построили диаграмму (фиг. 2), имеющую генетический смысл. Из рассмотрения графика следует, что точки кварца из риолитов, гранитов, жил и пустот в известняке локализованы в довольно четкие поля. Следовательно, температура α — β перехода кварца является важным критерием при определении его генезиса.

Подобное исследование вариаций температуры превращений кварца провели Е. Н. Папов и др. (1967) для расчленения гранитоидов Северо-Восточного Забайкалья. Температура $\alpha - \beta$ превращения каждого образца кварца измерялась при нагревании и охлаждении. Наиболее важным критерием для расчленения гранитов авторы считают разницу в температурах $\alpha - \beta$ превращения при нагревании и охлаждении (Δt). Вариации Δt в различных образцах они связывают с присутствием минеральных и газово-жидких включений в кварце. Эти включения вызывают неоднородность кристаллической решетки кварца и способствуют задержке $\alpha - \beta$ перехода при нагревании и охлаждении образцов кварца.



Фиг. 2. Температура α—β превращения (в °С) кварца разного генезиса (по Кейту и Таттлу, 1952). Ордината — при нагревании, абсцисса — при охлаждении

из риолита; 2 — из гранита;
 жильный; 4 — из пустот в известняке

М. Л. Кейт и О. Ф. Таттл предполагали, что задержка $\alpha - \beta$ перехода при нагревании и охлаждении связана с дефектностью кристаллической структуры образцов, причем увеличение дефектности кварца ведет к уменьшению величины Δt . Эта гипотеза находится в некотором противоречии с данными Е. Н. Папова и др., поскольку сами включения в кварце порождают дефекты в его кристаллической решетке. Более определенных сведений о влиянии степени дефектности кварца на температуру его $\alpha - \beta$ перехода и величину задержки Δt при нагревании — охлаждении у нас нет. Можно все же предположить, что, поскольку дефекты, в частности дислокации, вызывают значительные напряжения в решетке, изменение конфигурации атомов скорее тормозится, чем облегчается этими напряжениями, и, следовательно, чем выше дефектность у кварца, тем больше отклонение температуры $\alpha - \beta$ перехода от теоретической.

Таким образом, экспериментальное измерение температуры $\alpha - \beta$ перехода дает важные сведения для познания генезиса кварца. К сожалению, этот метод неприменим для генетической идентификации обломочных зерен кварца песчаных пород из-за их малого объема, но может быть полезным при анализе происхождения обломков кварца псефитовой размерности.

В природе кварц кристаллизовался в двух модификациях — α и β в зависимости от температуры. Установление первичного высокотемпературного (α) или низкотемпературного (β) генезиса кварца является важной задачей, поскольку температура α — β перехода является достаточно надежным геологическим термометром. Однако в поверхностных условиях α -кварц преобразован в β -кварц и выяснение его первичного генезиса часто очень затруднительно. Обычно для установления первичного α-кварца используются косвенные данные. Так, присутствие «сетчатого» кварца в пегматитах Ю. А. Долгов (1955) связывает с образованием трещин в кварце в процессе изменения его объема при α — β переходе.

Уменьшение объема приводит к формированию мелкой сотовой трещиноватости (в головках кристаллов), а также дофинейских двойников характерных очертаний. На установлении следов инверсий высоко-низкотемпературный кварц основан метод распознавания первичного высокоили низкотемпературного генезиса кварца (Барсанов, Гурьева, 1963).

Для установления первичного высоко-низкотемпературного генезиса кварца в магматических породах использовались структурные взаимоотношения кварца с другими минералами. Например, обнаружение призматических кристаллов кварца в кальците, калиевом полевом шпате и биотите позволили Б. К. Брешенкову (1960) предположить, что весь кварц абиссальных гранитов, имеющий аллотриоморфнозернистую структуру, кристаллизовался как β-кварц, т. е. при температуре ниже 573° С. В некоторых индивидах кварца письменных гранитов А. Е. Ферсман (1940) установил трещинки и разломы в направлении плоскостей граней ромбоэдра, свидетельствующие о превращении α-кварца в β-кварц.

ДВОЙНИКОВАНИЕ

Двойникование — одно из наиболее интересных свойств кварца. Для природного кварца различается несколько законов двойникования: дофинейский, бразильский, японский, третий Лейдольта и др. Наиболсе часто встречаются двойники по дофинейскому и бразильскому законам. Отдельные части дофинейского двойника геометрически совмещаются при повороте вокруг оси с на 180° и относятся к одной энантиоморфной группе. Кристаллографические оси параллельны, но полярные электрические заряды осей имеют противоположный знак. Дофинейские двойники являются двойниками прорастания, причем эти прорастания обычно имеют очень сложную форму, а поверхности их вытянуты вдоль оси с.

Бразильские двойники срастаются по плоскости {1120} и обладают разным типом энантиоморфизма. Оси кристаллов параллельны, полярность электрических зарядов осей обратная. Бразильские двойники имеют более правильные очертания по сравнению с дофинейскими. Обычно они представлены тонкими пластинами или небольшими телами правильной геометрической формы. Оптическое наблюдение дофинейских двойников невозможно, поскольку двойниковые индивиды вращают плоскость поляризации в одном направлении. Бразильские двойники исследуются в поляризованном свете, но они неразличимы в обычных петрографических шлифах из-за малого поворота плоскости поляризации.

Наибольший интерес для петрографов представляют дофинейские двойники. Они относительно легко меняют свои границы под действием механических напряжений. Двойники этого типа воспроизведены искусственно (Шубников, Цинзерлинг, 1933). Было показано, что дофинейское двойникование является специфической формой пластичности кварца, которая, по мнению Е. В. Цинзерлинг (1961), должна осуществляться не только экспериментально, но и в природе: «Образование двойников кварца в лабораторных условиях (при механическом воздействии) позволяет сделать предположение, что в природных условиях двойникование кварца по дофинейскому закону происходило иногда в результате тектонических процессов» (стр. 4).

По Е. В. Цинзерлинг, дофинейские двойники в природе возникают: 1) при росте низкотемпературного кварца; 2) при превращении магматического высокотемпературного кварца в низкотемпературный; 3) в результате воздействия тектонических процессов. Двойники роста принято считать первичными, а двойники, возникающие при α — β превращениях кварца и в результате тектонических напряжений, вторичными. Бразильские двойники, как правило, первичны, характерны для низкотемпературного кварца. Напомним, что бразильские двойники обычно имеют прямолинейные очертания и часто — пластинчатую форму.

Считают, что границы дофинейских двойников в низкотемпературном кварце отчетливы и относительно правильны. У кристаллов, выросших при температуре выше 573° С, двойниковые поля очень неправильных очертаний, а двойники мелкие. Уже указывалось, что высокотемпературный кварц легко растрескивается при α — β превращениях. Так как образование трещин и двойников связано с одной причиной — внутренними напряжениями, то двойники локализуются у трещин. Эти свойства дофинейских двойников позволяют различать первично-низкотемпературный и первично-высокотемпературный кварц (Барсанов, Гурьева, 1963).

Основным методом выявления и наблюдения двойников в кварце является травление различными растворами, в состав которых входит фтористоводородная кислота, а также щелочами под высоким давлением с использованием шлифованных и полированных срезов а также естественных граней кристаллов.

Изучение двойников, особенно дофинейских, в кварце горных пород должно представлять большой интерес. С помощью вышеприведенных критериев, по-видимому, можно различать обломочный кварц высоко- и низкотемпературного происхождения в терригенных горных породах. Еще более интересно проследить реакцию дофинейских двойников кварца на различные тектонические воздействия.

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Спайность у кварца выражена слабо и проявляется чаще всего по ромбоэдрам, реже по другим направлениям. Иногда спайность встречается в крупных кристаллах, подвергшихся воздействию стресса. По данным Д. П. Григорьева (1958), в природных условиях спайность кварца чаще всего реализуется в трех направлениях его несовершенной спайности: r {1011}, c {0001} и m {1010}. Хорошая спайность проявляется при так называемом термическом ударе. Отчетливую спайность кварца иногда можно наблюдать в обычных петрографических шлифах, т. е. в очень тонких пластинках кварца, где она возникает в результате неаккуратного шлифования. Излом кварца раковистый, в массивных тонкозернистых разностях плоскораковистый или шероховатый.

Т в е р д о с т ь кварца по шкале Мооса равна 7. Наблюдается отчетливая анизотропия твердости: на грани {1010} она заметно выше, чем на {0001}. Твердость кварца заметно варьирует в зависимости от состава и генезиса. Известно, что с уменьшением содержания изоморфных элементов-примесей твердость кварца также уменьшается.

У дельный вес кварца измерялся различными методами. По Дж. Дэна и др. (1966), наиболее вероятная величина удельного веса бесцветного свободного от примесей кварца на воздухе при 760 мм ртутного столба и при 0° С по отношению к воде при 4° составляет 2,6528. В применении к обломочному кварцу вместо понятия «удельный вес», используемого в минералогии, мы будем употреблять понятие «плотность» (Кац, 1966). Воспроизводимость измерений плотности твердых кристаллических тел по сравнению с жидкостями почти на порядок хуже, что обусловлено кроме колебания химического состава дефектами структуры кристаллов и инородными твердыми, жидкими и газообразными включениями (Кац, 1966). Поэтому, по крайней мере для природных кристаллов, говорить о плотности можно лишь с точностью до третьего знака после запятой. Более точные определения плотности данного минерала имеют смысл лишь при подробном описании состояния исследуемого образца или при последующей статистической обработке результатов многих измерений. При этом анализ дефектов и инородных включений, влияющих на плотность кристаллов (в данном случае кварца), при использовании значительной выборки, учитывающей разброс плотностей, открывает новые и неожиданные возможности для генетических выводов. Наилучшим образом требованиям статистического изучения плотности природных минералов отвечает метод гравитационной градиентной трубки (Кац, 1966; см. гл. IV).

Пожалуй, наиболее важным для литологии механическим свойством кварца является его с п о с о б н о с т ь к и с т и р а н и ю, однако в справочных руководствах мы не находим соответствующих сведений. Интересны в этом отношении эксперименты П. Кюнэна (Kuenen, 1959, 1960). В замкнутом по окружности желобе им моделировалась абразия зерен кварца в водном потоке. Абразия уменьшается с уменьшением скорости потока и увеличением округлости зерен. Первичное округление зерен (1-2%) достигается на первых сотнях километров; в дальнейшем, особенно для зерен средне- и мелкопесчаной размерности, абразия кварца в потоке становится незначительной (0,1% на 10 000 км для средних полуокатанных зерен).

Эоловая абразия, смоделированная в воздуходувных системах, приводит к потере веса песчинок в 100—1000 раз большей, чем при потоковом транспорте.

В работах американских авторов (Blatt, Christie, 1963; Blatt, 1967) проводится мысль об избирательном истирании и уничтожении кварца в процессе многократного переотложения материала, что связывается с механической неустойчивостью дефектных зерен кварца.

Интересные экспериментальные исследования поведения обломочного кварца при механическом и химическом разрушении были проведены одним из авторов с сотрудниками (Кац и др., 1971). Ими установлено, что при разрушении кварца в лабораторных условиях изменяются его плотностные свойства, причем происходит «вызревание» обломочного кварца, т. е., по мнению авторов и в соответствии с экспериментами, зрелые пески должны состоять в основном из зерен, плотностные свойства которых близки к свойствам оптически чистого кварца. Поскольку плотностные свойства кварца в основном зависят от насыщенности его зерен включениями минералов и минералообразующей среды, можно предположить, что при разрушении обломочного кварца в процессе его переноса в первую очередь уничтожаются зерна с включениями. Вероятно, включения сильно влияют на механические свойства обломочных зерен и их можно рассматривать как одно из проявлений дефектности кварца (см. гл. V).

Необходимо упомянуть также о пьезоэлектрических свойствах кварца, делающих этот минерал ценным промышленным сырьем. В случае приложения к кристаллу кварца механического давления на его поверхности возникают электрические заряды, и, наоборот, приложение электрического поля к кристаллу вызывает в нем механические напряжения.

Диэлектрическая проницаемость кварца составляет ~ 4,6 в направлении, параллельном [0001], и ~ 4,5 в перпендикулярном направлении (Дэна и др., 1966).

А. Н. Петровская (1966) изучала диэлектрическую проницаемость обломочного кварца с целью использования этого типоморфного признака для корреляции разрезов по терригенным компонентам. По ее данным, диэлектрическая проницаемость обломочного кварца колеблется в широких пределах — от 4,17 до 7,0. Достаточно сильно отличаются и средние величины диэлектрической проницаемости кварца различных стратиграфических уровней. Диэлектрическая проницаемость кварца, выделенного из пород кристаллического фундамента (возможного источника сноса), колеблется в более узких пределах: для гранитов от 4,17 до 4,86, для гнейсов — от 4,17 до 5,20. Увеличение диэлектрической проницаемости обломочного кварца по сравнению с кварцем кристаллических пород А. Н. Петровская объясняет образованием тонких выщерблин и трещин на поверхности кварца при выветривании материнских пород и переносе обломочных зерен.

Удельное сопротивление при 20°С в направлении, параллельном [0001], составляет~0,1·10¹⁵, а перпендикулярно [0001] ~ ~ 20·10¹⁵ ом/см²/см. Аномально высокая электропроводность в направлении оси с, как уже указывалось, обусловлена наличием в кварце структурных каналов. Удельное сопротивление и соответственно электропроводность существенно меняются в зависимости от содержания примесей посторонних ионов.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Различаются несколько цветовых разновидностей кварца (кроме бесцветного), имеющих свои названия: аметист (голубовато-фиолетовый до пурпурно-фиолетового), дымчатый кварц и морион (от бледно-дымчатой окраски до почти черной), цитрин (желтый), голубой и розовый кварц. Все перечисленные разновидности, за исключением дымчатого кварца, в горных породах встречаются редко и поэтому их свойства для нас не представляют интереса.

Дымчатый кварц, наоборот, часто встречается в гранитоидах. Хорошо известно свойство кварца приобретать дымчатую окраску под действием жесткого рентгеновского облучения. При нагревании выше 180° С кварц теряет приобретенную окраску. Нагреванием можно обесцветить также природный дымчатый кварц и даже морион. Способность кварца к потемнению под действием облучения обусловлена нахождением в его составе изоморфных примесей Al, Li, Na и H. Ион Al⁺³ входит в решетку кварца. замещая Si⁺⁴ в кремнекислородном тетраэдре. Образовавшиеся дефекты заряда компенсируются ионами водорода или щелочных металлов (O'Brien, 1965). Предполагают, что избыточный электрон, присутствую-щий в результате замещения Si⁺⁴ на Al⁺³, перемещается под действием облучения к моновалентному иону (Li+, Na+ или H+). Изменение электронной структуры изоморфных примесей вызывает образование красящих центров. Интенсивность дымчатой окраски пропорциональна концентрации Al+3, замешающего Si⁺⁴, и щелочных элементов-компенсаторов. Если компенсация избыточного отрицательного заряда осуществляется ионами водорода, то такие дефекты не переводятся в красящие центры действием ионизирующего облучения (Самойлович и др., 1970). При всех прочих условиях максимальное потемнение кварца предопределяет вхождение в его структуру иона Li+.

Ч. Риттером и В. Денненом (Ritter, Dennen, 1964) проводилось экспериментальное изучение потемнения кварца из образцов различных горных пород. Были установлены следующие закономерности: жильный кварц и кварц из гнейсов темнеют очень слабо, а кварц из гранитов, пегматитов и риолитов — сильно; авторы предполагают, что высокотемпературные условия образования кварца обусловливают значительное вхождение изоморфных примесей в его решетку, что в свою очередь является причиной потемнения кварца при облучении. Однако этот вывод находится в противоречии с данными И. Е. Каменцева (1963, 1965а) о том, что размеры элементарной ячейки и, следовательно, содержание изоморфной примеси Al в кварце увеличиваются по мере падения температуры кристаллизации.

Светопреломление кварца изменяется в относительно узких пределах. Согласно справочным руководствам, Ne = 1,553; No = 1,544; Ne - No = 0,009. Светопреломление кварца определялось с точностью до 0,00001. При определениях с такой точностью выявляются значительные колебания величин показателей преломления, достигающие 0,0002 (для бесцветного кварца). Скорее всего колебания светопреломления кварца связаны с различными вариациями в содержании Al в его решетке.

Оптические аномалии кварца описаны в разделе, посвященном его структурным дефектам. Следует упомянуть аномальную двуосность, также обусловленную дефектностью структуры кварца. Пользуясь методом определения аномального 2V кварца на столике Федорова, разработанным JI. А. Варданянцем (1941), Е. Н. Папов (1963) изучил двуосность кварца гранитоидов Забайкалья. Только 1,7% измерений 2V оказалось меньше 9°, т. е. ниже предела чувствительности метода, 50% определений дали значения 15—21°. Результаты исследований Е. Н. Папова не подтверждают зависимости между волнистым угасанием и аномальной двуосностью (коэффициент корреляции равен 0,17).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Самым важным химическим свойством кварца, обычно более чем на 99% состоящего из SiO₂, является изоморфное вхождение в его решетку ряда элементов. Чаще всего происходит замещение Si⁺⁴ в четвертичной координации на Al⁺³, а валентность компенсируется вхождением в структурные каналы кварца одно- и двухвалентных катионов сравнительно небольшого радиуса: Li⁺, Na⁺, H⁺, Mg⁺², Fe⁺², Mn⁺², Ca⁺².

Одновременно изменение параметров элементарной ячейки *а* и *с* свидетельствует о том, что микроизоморфное замещение идет по схеме компенсационного изоморфизма (Франк-Каменецкий, Каменцев, 1967):

Si⁺⁴
$$\rightarrow$$
 Al⁺³ + Na⁺ (Li⁺, H⁺)
Si⁺⁴ \rightarrow 2Al⁺³ + R⁺², rge R⁺² = Fe, Mg, Mn, Ca.

В. Деннен (Dennen, 1966) показал, что в породообразующем кварце (из изверженных и метаморфических пород) природа интерстициальных ионов значительно варьирует от образца к образцу, а замещается Si^{+4} в тетраэдрических позициях главным образом алюминием. В породообразующем кварце преобладают изоморфные примеси тех же элементов, которые наиболее обычны во вмещающих кварц породах, причем структурные условия вхождения элементов-примесей в решетку кварца играют второстепенную роль. В. Деннен установил довольно четкие стехиометрические соотношения между элементами, входящими в тетраэдрические позиции вместо Si^{+4} , и элементами, компенсирующими отрицательную валентность (фиг. 3).

Существует достаточно тесная связь между количеством изоморфных элементов-примесей в решетке кварца и размерами его элементарной ячейки. По И. Е. Каменцеву (1965а), коэффициент корреляции между количеством Al и параметром c r = 0,520, а между параметром a и содержанием одновалентных и двухвалентных катионов r = 0,497. Следовательно, примесь, замещающая кремний в кремнекислородных тетраэдрах, приводит к увеличению параметра c, а одно- и двухвалентные катионы, входящие в полые каналы по [0001], вызывают рост параметра a. И. Е. Каменцевым установлено соотношение: 0,0035% структурной примеси вызывает увеличение параметра c на 0,0001 Å.

Параметры *а* и *с* изменяются не всегда строго эквивалентно, что позволяет предположить возможность частичной компенсации валентности не за счет вхождения ионов щелочных и двухвалентных металлов, а за счет дефектов (вхождения водорода, гидроксильных ионов, вакансий кислорода и т. д.).

Считают, что количество изоморфных примесей обусловлено температурой кристаллизации кварца. По этому поводу в литературе высказываются



Фиг. 3. Стехиометрические соотношения в природном кварце (по Dennen, 1967). Ордината — дефицит зарядов при замещении Si⁺⁴ на Al⁺³ или Al⁺³ + Fe⁺³ на 10⁶ атомов Si; абсцисса — избыток зарядов ионов в иптерстициальных положениях (Na + Li + K) + 2 (Mg + Fe⁺³ + Mn + Ca) на 10⁶ атомов Si

1 - Li; 2 - Na + K; 3 - Fe⁺², Mg⁺², Mn⁺², Ca⁺³

прямо противоположные точки зрения. В. А. Франк-Каменецкий и И. Е. Каменцев совершенно определенно утверждают что «...при снижении температуры кристаллизации кристаллы кварца в большем количестве захватывают изоморфную примесь алюминия, что сопровождается внедрением щелочей в полые каналы структуры» (1967, стр. 73). В книге Дж. Дэна и др. (1966) содержится обратное утверждение о возрастании количества Al, присутствующего в твердом растворе кварца, по мере увеличения температуры его кристаллизации. Эксперименты Ч. Риттера и В. Деннена (Ritter, Dennen, 1964) по рентгеновскому облучению кварца из различных горных пород также подтверждают более высокое содержание изоморфных примесей в высокотемпературном кварце. О значительном содержании изоморфных примесей в высокотемпературном кварце свидетельствует тот факт, что дымчатый кварц наиболее широко распространен в различных дериватах гранитной магмы.

Нам кажется, что существующие противоречия лишь показывают, что температура кристаллизации не основной фактор вхождения изоморфных примесей в решетку кварца. Таким фактором, вероятно, является химизм среды, в которой происходит кристаллизация кварца. Выше уже приводился вывод В. Деннена о связи изоморфных примесей в кварце с составом вмещающих кварц пород. Высокое содержание Аl в морионе из пегматитов, по М. И. Самойловичу и др., — «... следствие специфических условий формирования кристаллов мориона в природных условиях при повышенных пересыщениях по сравнению с другими разновидностями кварца» (1970, стр. 522).

Приведенные сведения относятся к «основному» ряду изоморфизма, который, судя по данным А. В. Деннена (Dennen, 1966), наиболее характерен для породообразующего кварца изверженных и метаморфических горных пород.

В отдельных случаях место Si⁺⁴ в кремнекислородных тетраэдрах могут занимать Ti⁺⁴, Ge⁺⁴, B⁺⁵. Ион Ti⁺ имеет бо́льший радиус, чем Si⁺⁴, что ограничивает его изоморфное вхождение в решетку кварца. В частности, в высокотемпературном розовом кварце из пегматитов содержание TiO₂ ~ 0,00n%. С вхождением Ti⁺⁴ в высокотемпературный кварц, вероятно, связана чрезвычайно широкая распространенность включений микроскопических и субмикроскопических иголочек рутила в кварце горных пород. Образование рутила, по-видимому, следует связать с распадом твердого раствора при остывании кварца ¹.

Ион Ge⁺⁴ наиболее близок к Si⁺⁴ по размеру, но в природном кварце обычно не обнаруживается или присутствует в виде следов. В искусственном кварце содержание GeO₂ достигает 0,3%. Почти полное отсутствие Ge в природном кварце объясняется очень малым кларком его в земной коре и высокой растворимостью соединений.

Б. А. Мальков и И. Л. Комов (1970) приводят следующие средние содержания бора в кварце (в %). Мелкозернистый сахаровидный кварц $3 \cdot 10^{-3}$, кварц из кварц-полевошпатовых жил $1 \cdot 10^{-3}$, кварцевые жилы с турмалином $2 \cdot 10^{-2}$, кварц из пегматитов $1 \cdot 10^{-3}$, кварц из грейзенов $1 \cdot 10^{-2}$.

Окраска природных аметиста и цитрина обусловлена наличием трехвалентного железа. Содержание его в аметисте достигает 0.0n - 0.n%, но, вероятно, Fe обычно не входит в решетку кварца, а присутствует в виде коллоидально диспергированных частичек окислов железа.

Галлий в максимальном количестве присутствует в аметистах (до 25 *г/m*). Отношение Ga/Al, достигающее для молочно-белого кварца из аметистосодержащих жил 3,6, выше, чем для кварцев из различных горных пород и гидротермальных жил в 2000 раз. Обогащение аметистов галлием связано с оптимальными условиями (pH) для осаждения Ga в период кристаллизации аметиста (Walencrak, 1966).

В количествах порядка 0,000n% в кварце присутствуют также Mg и Mn.

Мельчайшие включения посторонних минералов (например, циркона), особенно в кварце горных пород, сильно искажают результаты химических и спектральных анализов. Присутствие таких компонентов, как CO₂, N, H₂O (до 0,0*n* %), NH₃, SO₂, H₂S, F, Cl и др., очевидно, связано с включениями минералообразующей среды — жидкими и газовыми.

Методом инфракрасной спектроскопии в кварце обнаружен ион (OH)⁻. В относительно небольших количествах установлены также Rb, Cs, Ba, Pb, Ag, Sn, Cu, Zn, V, Cr, Zr и U (Дэна и др., 1966).

Количественное соотношение элементов-примесей в обломочном кварце можно рассматривать в качестве важного типоморфного признака при определении источников сноса. Сравнивая данные количественного спектрального анализа кварца гранитов и терригенных пород на Al, Ti, Fe, Li и Ca, Деннен показал, что для изученной им мощной осадочной песчаниково-конгломератовой серии источник сноса менялся во времени: сначала размывались граниты роговообманковой фации, а затем биотитовой (Dennen, 1967).

¹ Часто иголочки рутила в кварце являются механическими включениями.

8

Кварц хорошо растворяется в HF, а также в теплых растворах NH_4HF_2 . Под действием щелочных растворов при комнатной температуре растворение кварца идет медленно, но при повышенных температурах и давлениях его интенсивно разлагают NaOH, Na₂CO₃, K₂CO₃, Na₂SiO₃, Na₂BaO₇.

Растворимость кварца в воде при комнатной температуре незначительна и составляет 7 *мг/л* (Дж. Дэна и др., 1966). Важно отметить, что раствори-



Фиг. 4. Зависимость растворимости SiO₂ при различных температурах от pH раствора (по Окамото и др., 1957)

мость кварца практически не меняется в морской воде в пределах колебаний ее нормальной солености.

Растворимость аморфного кремнезема значительно выше и при 25°С составляет 100—140 мг/л (Дэна и др., 1966).

По Краускопфу (Krauskoph, 1956), растворимость аморфной кремнекислоты возрастает с повышением температуры: при 0° С ~ 60—80 мг/л, при 25° С~ 100—140 мг/л, при 85— 90° С ~ 300—330 мг/л.

Зависимость растворимости крем' некислоты от температуры и щелочно-кислотных свойств раствора установили Окамото и др. (Okamoto e. a., 1957). Растворимость кремнекислоты возрастает с увеличением щелочности раствора, причем при повышенных температурах рост растворимости SiO₂ с увеличением рН ускоряется (фиг. 4). Таким образом, при темпети постиграт от 1400 из/а

ратуре 200° С и рН 10 растворимость достигает ~ 1400 мг/л.

Прямые определения растворимости кварца при низких температурах крайне затруднительны из-за очень продолжительного установления равновесия кварц—раствор. Такие измерения были проведены Ван Лиером (Van Lier, 1959) и Р. Сивером (Siever, 1962). По данным последнего, растворимость кварца в дистиллированной воде при 125° С ~ 94—104 мг/л, а при 140° С ~ 125—132 мг/л. Используя данные Ван Лиера по растворимости кварца до 100° С и данные Кеннеди — от 200° С и выше (Kennedy, 1950), Сивер вывел эмпирическое уравнение зависимости растворимости кварца от температуры

$$\log C = 4,829 - 1,132 \cdot \frac{1}{T} \cdot 10^3,$$

где C — концентрация в частях на миллион; T — абсолютная температура в градусах Кельвина. В работе Сивера приведено графическое изображение этой зависимости (фиг. 5). Интересно, что экстраполяция этой кривой к 5° С, т. е. температуре океана, дает растворимость кварца 5,7 *мг/л*.

Растворимость кварца в нормальных условиях остается практически постоянной при рН 0—7 и резко возрастает в щелочной среде. Зависимость растворимости кварца и других форм кремнезема от рН теоретически рассчитана (фиг. 6) В. А. Копейкиным и А. С. Михайловым (1970).

По-видимому, давление также существенно влияет на растворимость кварца и аморфного кремнезема. Хорошо известно растворение обломочных зерен кварца под статическим давлением вышележащих пород (Heald, 1955; Копелиович, 1965). Экспериментально растворение кварца под направленным давлением было подтверждено Р. Сивером (Siever, 1962). Обломочные зерна песчаника были подвергнуты значительному направленному давлению, причем давление воды в испытательном сосуде и, следовательно, в поровых пространствах оставалось равным 1 атм. Растворимость обломочных зерен кварца при этих условиях и при температуре 95° С оказалась равной 380—430 мг/л, что соответствует растворимости аморфного кремнезема при той же температуре. Микроскопическое изучение зерен после эксперимента показало отсутствие следов дробления зерен. Эксперимент проводился в дистиллированной воде, отсутствовали какиелибо добавки (например, пленки глинистых минералов на зернах), которые могли бы действовать как катализаторы растворения под давлением. Аномально высокие значения растворения кварца под направленным давлением Сивер трактует так. На контактах зерен происходит грануляция и образуются микротрещины, что приводит к переходу кварца в этих участках в аморфный кремнезем, растворимость которого, выше, чем у кварца.



Фиг. 5. Растворимость кварца как функция температуры (по Сиверу, 1962) Данные: 1 — Кеннеди; 2 — Ван Лиера; 3 — Сивера

Фиг. 6. Зависимость растворимости различных форм кремнезема от pH при нормальных условиях (по Копейкину, Михайлову, 1970)

1 — аморфный кремнезем; 2 — кварцевое стекло; 3 — тридимит; 4 — кристобалит; 5 — кварц

В связи с этим интересна интерпретация А. В. Копелиовичем (1965) опытов Ферберна (1954). Ферберн подвергал кварцевый песок с размером зерен 0,12—0,25 мм всестороннему давлению 340—2070 атм и сжимающей нагрузке 2200—7100 атм при 230—430° С в слабом растворе Na₂CO₃. В результате этого эксперимента получены сланцеватые кварциты. Рассматривая микрофотографии шлифов этих «кварцитов», А. В. Копелиович пришел к выводу, что возникновение их сопровождалось развитием конформных и регенерационных структур, т. е. растворением кварца на участках повышенных давлений и переотложением его в поровых пространствах.

Таким образом, кварц обладает чрезвычайно широким спектром типоморфных свойств. Некоторые из них, например, морфология кристаллов и пироэлектрические свойства, по-видимому, нельзя использовать для генетической интерпретации обломочного кварца.

Нашей задачей являлось изучение закономерностей вариации основных типоморфных признаков породообразующего кварца, чтобы возможно полнее определить генетический состав обломочного кварца в кварцевых песчаных породах. Для этого потребовалось составление эталонной коллекции генетических типов породообразующего кварца и изучение ее микроскопическими методами и в гравитационной градиентной трубке с обработкой результатов методами математической статистики.

Глава II

ПРИНЦИПЫ СОСТАВЛЕНИЯ ЭТАЛОННОЙ КОЛЛЕКЦИИ

подготовка образцов

В настоящее время мы не в состоянии количественно оценить роль различных типов кварцсодержащих кристаллических горных пород как первичных поставщиков обломочного кварца для всего осадочного чехла. Как известно, существенно кварцевые песчаные породы наиболее широко развиты на древних платформах. Очевидно, гнейсы, гранитизированные метаморфические породы и гранитоиды фундамента древних платформ, выступавшие на поверхность в различные геологические эпохи, являлись основными источниками сноса для формирования платформенных кварцевых песчаных отложений. Поэтому при составлении эталонной коллекции мы уделили основное внимание сбору образцов древних (преимущественно архейских) кварцсодержащих пород.

В областях более молодого (каледонского, герцинского, мезозойского и альпийского) магматизма интрузивные гранитоиды, вероятно, являлись основными поставщиками обломочного кварца. В районах развития вулканической деятельности в осадочные породы, очевидно, попадал кварц из кислых эффузивных пород.

Роль гидротермальных кварцевых жил и пегматитов как источников сноса обломочного кварца, по-видимому, невелика в целом для осадочного чехла, но может заметно возрастать в определенных структурных зонах. В этом случае идентификация обломочного кварца гидротермального или пегматитового генезиса должна иметь большое практическое значение.

Задача изучения типоморфных особенностей породообразующего кварца различного генезиса и идентификации его генетических типов в песчаных породах достаточно строго может быть решена лишь на примере ряда регионов с четкой локализацией источников сноса. Однако, поскольку на первых порах мы ставили своей целью изучение лишь основных закономерностей вариаций типоморфных признаков обломочного кварца в зависимости от их генезиса, в коллекцию были включены образцы кварцсодержащих кристаллических пород различных районов и возрастов. В нее вошли образцы, представляющие в основном следующие четыре группы пород.

1. Метаморфические породы, в основном гнейсы высоких ступеней метаморфизма. Образцы собраны на Алданском щите и из валунов Подмосковной четвертичной морены.

2. Гранитоиды древние, в основном архейские, ассоциирующие с породами высоких ступеней метаморфизма. Анализировались образцы архейских гранитов Алданского щита, а также из валунов Подмосковной морены.

3. Гранитоиды молодые, явно интрузивного генезиса, постпротерозойские. Изучались граниты Тянь-Шаня, Памира, Центрального Казахстана, Приохотья, южной части Колымского массива.

4. Жильный кварц (Садон, Прибалхашье, Центральный Казахстан, Полярный Урал, Карелия и др.).

Грубая типизация пород, являющихся потенциальными поставщиками обломочного кварца, в эталонной коллекции отвечает задаче предваритель-

Таблица 1

Изученные образцы эталонной коллекции

-			Изученные типоморфные свойства				
№ образца	Название породы	Привязка образца	включения и струк- турные дефекты	плот- ност- ные			
-	Метам	юрфические породы					
1	Гнейс	Морена, карьер Рублево	+	+			
6	Слюдяной сланец	Тоже	+	+			
9	Гнейс	» »	+	+			
17	»	» »	+	+			
23	Гнейс биотитовый	» »	+	+			
27	Слюдяной сланец	» »	+	+			
28	То же	» »	+	+			
43	» »	» »	+	+			
72	Гнейс биотитовый	» »		+			
73	То же	* *	+	+			
82	Слюдяной сланец	» »	-+				
88	Гнейс биотитовый гранитизи- рованный	» »		+			
8 9	Гнейс	» »					
91	»	» »		+			
93	»	» »					
96	»	» »	-				
107	*	* *					
109	Слюдяной сланец	» »					
	Гнеис	» »	. +				
114		. » »	+				
240	Гнеис очковыи	»» Архой Алгопоний шит	+				
243 257	Гненс опотитовым гранатовым	Архен, Алданский ЦИТ	+	+			
260	I HEMC		+				
262		* *	+	+			
277			- 1	+			
279	Гнейс биотит-гранатовый	» »	+	+			
281	Гнейс биотитовый	» »	+	+			
282	Гранулит	» »	-	+			
284	Крупнозернистая гранат-поле- вошпатовая порода	» »		+			
286	Гнейс роговообманковый гра- нитизированный	» »	-	+			
287	То же	* *	+	+			
288	Гнейс биотитовый	» »	+	+			
293	Гнейс роговообманковый	» »	+	+			
294	Гнейс роговообманковый гра- нитизированный	» »	+	+			
295	Диафторит	» *	-	+			
314	*	» »	-	+			
Древние гранитоиды							
3	Гранит красный	Морена, карьер Рублево		1 +			
5	Гранит серый	То же		+			
13	Гранит красный	» »	+	1 +			

таолица і (продолжение	Т	a	б	л	И	ц	a	1	(продолжение
------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------

			Изученные типоморфные свойства	
№ образца	Название породы	Привязка образца	включения и струк- турные дефекты	плот- ност- ные
6 0			+	
61	Гранит крупнозернистый	То же		- -
62	Гранит Крупнозерински			, +
02 76	Гранит	Морена карьер Рублево	-	+
80	»	То же	+	+
-00 -02	**************************************	N N	+	+
94	*	<i>" "</i>		· +
05	" *	" " "	- -	+
90 07	Гранит гнейсовилный	" " * *	-	+
00	Тоже	<i>" "</i>	_	+
401	Гранит	* *	+	+
408	* pullit		+	
442		<i>"</i> "	+	+
123	Гранит пегматоилный	<i>"""</i>		+
424	Гранит рапакиви			
124 934	Гранит	Архей Алланский плит		, . +-
236	*			+
200	Гранодиорит		+	+
201	Гранит		+	+
200	Гранит красный	<i>" "</i>	+	+
210	Тоже	· · ·	_	+
979	* *		-t-	, +
212	Гранит серый		, +	- -
210	Гранит с голубым кваршам		-	
276	Гранит рапакиви		, +	+
210	The part of roty the resonance		_	, +
203	Гранит С Голуошы Кварцем	<i>" "</i>		+
000	, banut	<i>"</i>		I
	Мол	юдые гранитоиды		
121	Гранит	Палеозой, Тянь-Шань	+ 1	+
134	Гранит-микропегматит	Мезозой, Колыма	+	+
136	Гранит порфировидный	То же	+	+
143	Гранит	Палеозой, Тянь-Шань	+	+
145	*	Палеозой, Памир	+	+
146	*	Палеозой, район Самарканда	+	÷
147	»	Палеозой, район Душанбе	+	
158	*	Палеозой, Центральный Казах-	+	+
167	*	Тоже	+ 1	+
338	···	Мезозой Прискотье	_	+
341	»	То же		+
344	»	N N		+
346	Гранит аплитовилный	· · · ·	_	+
010	- F	" ″		

Жильный кварц

149 Кварц жильный Садон, Кавказ + +

Вазвание породы Привязка образца включения и струк- утрные нефекты плот- и струк- утрные нефекты плот- и струк- утрные нефекты плот- и струк- иструк- утрные нефекты плот- и струк- утрные нефекты 150 Кварц жильный 151 Го же – +				Изученные типоморфные свойства					
150 Кварц жильный гранулиро- канный Прибалхашье - + 151 Кварц жильный гранулиро- канный Прибалхашье - + 152 Кварц жильный Прибалхашье - + 152 Кварц жильный Прибалхашье - + 153 То же - + + 154 * * - + 155 Го же - + + 156 Го же - + + 376 Го же - + + 371 Го же * * * * 374 Кварц с касситеритом - + + + 374 Кварц с с золотом 30 Валадное Верхоянье - + 3556 Кварц с золотом 30 8 * - + 3556 Кварц с карбонатом * * * + + 357 Кварц с колибденом * * * + + 358 Квар	Ni oбpaзца	Название породы	Привязка образца	включения и струк- турные дефекты	плот- ност- ные				
150 Кварц жильный гранулированный казахстан, Кыш-тым - + 151 Кварц жильный гранулированный Казахстан, Кыш-тым - + 152 Кварц жильный Центральный Казахстан, Кыш-тым - + 153 Кварц жильный Центральный Казахстан, Актас + + 154 * * Приполярный Урал - + 154 * * Приполярный Урал - + 154 * * - + + 350 Кварц кильный		T	The Common State of S						
151 Кварц жильный гранулиро- виный Центральный казахстан, Актас - + 152 Кварц жильный Центральный Казахстан, Актас + + 153 То же - + + + 154 ">" " - + + + 309 Кварц кильный Дентральный Урал - + + 309 Кварц кильный " - + + + 309 Кварц кильный " - +	150	Кварц жильный	Приоалхашье	_	+				
152 Кварц жильный Центральный Казахстан, Актас + + 153 То же - + 154 * * - + 154 * * - + 154 * * * - + 309 Кварц из жилы в днафторитах Ладанский цит - + 309 Кварц из жилы в днафторитах Ладанский цит - + 316 Го же - + + - 326 Кварц с занлыный * * * - + 337 То же - + * * * - + 337 То же * * * * - + + 3437 Кварц с сасситеритом Прихотье, Некский массив - + + - + - + - + - + - - + - - + - + - - + - + -	151	Кварц жильный гранулиро- ванный	центральный Казахстан, Кыш- тым		+				
153 То же Приполярный Урал - + 154 * * То же - + 309 Кварц из жиль в диафторитах Алданский щит - + 316 То же - + + 317 Го же - + + 337 То же - + + 337 То же - + + 337 То же - + + 337 Кварц с касситеритом Прихотье, Некский массив - + 348 Кварц с салотом Валадное Верхоянье - + 3536 Кварц с салотом Валадное Верхоянье - + 3536 Кварц с карбонатом * * - + 354 Кварц с колобденом Охото-Кухту	152	Кварц жильный	Центральный Казахстан, Актас	+	+				
454 * * To же - + 309 Кварц из жилы в диафторитах Алданский цит - + 316 То же - + + 337 То же - + + 337 То же - + + * * * * 337 То же - + * * * * * +	153	То же	Приполярный Урал	-	+				
309 Кварц из жилы в длафторитах Алданский щит - + 316 То же - + 335 Кварц жильный * * - + 337 То же - + + * <td>154</td> <td>» »</td> <td>То же</td> <td></td> <td>+</td>	154	» »	То же		+				
316 То же - + 335 Кварц жильный * * - + 337 То же * * * - + 337 То же - + * * * - + 337 То же - + * * * - + 337 То же - + * * - + 346 Кварц с асолотом Валадное Верхоянье - + + - + 353 Кварц с волотом Вожное Верхоянье - + <	309	Кварц из жилы в диафторитах	Алданский щит	-	+				
335 Кварц жильный * * - + 337 То же * * * - + 337 То же * * * * - + 337 То же * * * * * * * - + 337 То же * * * * * * - + 337 То же * * * * * * - + 347 Кварц с касситеритом Приохотье, Некский массив - + + 350 Кварц с алтимонитом Западное Верхоянье - + + 351 Кварц с золотом Южное Верхоянье - + + + 353 Кварц с колибденом Ожное Верхоянье - + <	316	То же	То же	-	+				
337 То же * * * * + 347 Кварц с касситеритом Приохотье, Некский массив + 348 Кварц с золотом Лриохотье + 350 Кварц с антимонитом Западное Верхоянье + 351 Кварц с антимонитом Западное Верхоянье + 352 Кварц с золотом Южное Верхоянье + 354 Кварц с золотом Южное Верхоянье + 355 То же + + 356 Кварц с золотом Южное Верхоянье + 357 Кварц с золотом N N + 356 Кварц с карбонатом > N + 357 Кварц с карбонатом > N + 358 Кварц с карбонатом N N + 358 Кварц кильный Кварц кильный + * 4010 То же - + * +<	335	Кварц жильный	» »	-	+				
347 Кварц с касситеритом Приохотье, Некский массив - + 348 Кварц с золотом Приохотье - + 350 Кварц с антимонитом Западное Верхоянье - + 351 Кварц с турмалином и касси- теритом Северное Верхоянье - + 352 Кварц с золотом Южное Верхоянье - + 353 Кварц с золотом Южное Верхоянье - + 354 Кварц с золотом Южное Верхоянье - + 355 Кварц с золотом > > - + 354 Кварц с золотом > - + 355 То же - + > - + 355 То же - + > - + 356 Кварц с вольфрамитом - - + - + 358 Кварц жильный - Карелля + + + + + + 610 То же - + </td <td>.337</td> <td>Тоже</td> <td>» »</td> <td></td> <td>+</td>	.337	Тоже	» »		+				
348 Кварц с золотом Приохотье	.347	Кварц с касситеритом	Приохотье, Некский массив		+				
350 Кварц с антимонитом Западное Верхоянье - + 351 Кварц с турмалином и касси- теритом Северное Верхоянье - + 352 Кварц с золотом Южное Верхоянье - + 353a Кварц с золотом Южное Верхоянье - + 353b Кварц с с золотом Южное Верхоянье - + 353c Кварц с с золотом > > - + 3536 Кварц с с золотом > > - + 354 Кварц с золотом > > > - + 355 То же - + - + <td>348</td> <td>Кварц с золотом</td> <td>Приохотье</td> <td>-</td> <td>+</td>	348	Кварц с золотом	Приохотье	-	+				
351 Кварц с турмалином и касси- теритом Северное Верхоянье - + 352 Кварц с золотом Южное Верхоянье - + 353a Кварц с волотом Го же - + 353b Кварц с волотом У > - + 354 Кварц с волотом У > - + 355 Го же - + + + 356 Кварц с карбонатом > > - + 357 Кварц с вольфрамитом - + + + 358 Кварц с вольфрамитом - + + + 4 Кварц с вольфрамитом То же - + + 4 Кварц кильный - - + + + 610 То же - + * * + + + 559 У - - + - + + + 361 У - - - + +	.350	Кварц с антимонитом	Западное Верхоянье	-	+				
352 Кварц с золотом Южное Верхоянье - + 353a Кварц с вотлый с золотом То же - + 3536 Кварц с с золотом "> " + 354 Кварц с золотом "> " + 355 То же - + 356 Кварц с золотом "> " + 355 То же - + 356 Кварц с карбонатом "> " + 357 Кварц с вольфрамитом "> - + 358 Кварц жильный То же - + 70 же " + + + 358 Кварц кильный То же - + 70 же " + + + 610 То же " + + 8 " " + + 8 " " + + 8 " " + + + 70 же " " + + +	351	Кварц с турмалином и касси- теритом	Северное Верхоянье	-	+				
353а Кварц светлый с золотом То же + 3536 Кварц светлый с золотом "> - + 3536 Кварц темный с золотом "> - + 3536 Кварц темный с золотом "> - + 354 Кварц с золотом "> "> + 355 То же - + + 355 Кварц с карбонатом "> - + 357 Кварц с вольфрамитом "> Noro-Kyxtyйcкий массив - + 358 Кварц жильный То же - + + + 610 То же - + + + + 610 То же - + + + + 8 > - - + + + + 610 Кварц жильный - - + + + + + 359 > - - - + + - + 361	352	Кварц с золотом	Южное Верхоянье	-	+				
3536 Кварц темный с золотом » " + 354 Кварц с золотом " " + 355 То же " " + 355 То же " " + 355 Кварц с карбонатом " " + 357 Кварц с молибденом " " + 358 Кварц с вольфрамитом " " + K-23 Кварц жильный " To же - + 610 То же " * * + + 610 То же " + + + + 8 " " * * + + + 8 " " " * * + * + + <	353a	Кварц светлый с золотом	То же		+				
354 Кварц с золотом Индигирка - + 355 То же * - + 356 Кварц с карбонатом * * - + 357 Кварц с молибденом Охото-Кухтуйский массив - + 358 Кварц с вольфрамитом Охото-Кухтуйский массив - + 358 Кварц с вольфрамитом Кото-Кухтуйский массив - + 70 же * * + + 610 То же * * + + + 8 * * * * + + + 610 То же * * * + + + + 8 * * * * + </td <td>3536</td> <td>Кварц темный с золотом</td> <td>»</td> <td>-</td> <td>+</td>	3536	Кварц темный с золотом	»	-	+				
355 То же – + 356 Кварц с карбонатом » – + 357 Кварц с молибденом Охото-Кухтуйский массив – + 358 Кварц с вольфрамитом Карелия – + + 358 Кварц с вольфрамитом Карелия – + + + 358 Кварц жильный То же – +	354	Кварц с золотом	Индигирка	-	+				
356 Кварц с карбонатом * - + 357 Кварц с молибденом Oxoto-Кухтуйский массив - + 358 Кварц с вольфрамитом Карелия - + + 358 Кварц с вольфрамитом Карелия - + + + 410 Коже - + + + + + + 610 То же * * * + - + +	355	То же	*	-	+				
357 Кварц с молибденом Охото-Кухтуйский массив - + 358 Кварц с вольфрамитом Го же - + K-23 Кварц жильный То же - + 610 Коже - + + 8 У У - + 610 Коже - + + 70 же - + + + 8 У - + + 8 - - + + 70 же - - + + 8 - - + + 7 Варцит - - + 361 > - - + 361 > - - + 361 > - - + 361 > - - + 217 Кварцит - - + 218 > - - +	356	Кварц с карбонатом	*	- 1	+				
358 Кварц с вольфрамитом То же - + К-23 Кварц жильный То же + + 610 То же * + + 70 же * + + 810 Карц жильный * + + 70 же * + + 810 * * + + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * * * + 810 * *	357	Кварц с молибленом	Охото-Кухтуйский массив	-	+				
К-23 Кварц жильный Карелия + 1 1 1 5 <td>358</td> <td>Квари с вольфрамитом</td> <td>То же</td> <td>_</td> <td>+</td>	358	Квари с вольфрамитом	То же	_	+				
610 То же * + + + 8 * * * + + 155 Пегматит Палеозой, Центральный Ка- захстан - + 359 * Мезозой, Охото-Кухтуйский - + .361 * То же - + 217 Кварцит Архей, Алданский цит - + 218 * То же - +	К-23	Квари жильный	Карелия	+	+				
К-45 » » * + + <i>Прочие породы</i> 155 Пегматит Палеозой, Центральный Ка- захстан - + .359 » Мезозой, Охото-Кухтуйский - + .361 » То же - + .217 Кварцит Архей, Алданский цит - + .38 » То же - +	610	Тоже	»	+	+				
Прочие породы 155 Пегматит 359 " .361 " 217 Кварцит 218 "	ъ-45	» »	*	+	+				
Прочие породы 155 Пегматит Палеозой, Центральный Ка- захстан - + .359 » Мезозой, Охото-Кухтуйский - + .361 » То же - + .217 Кварцит Архей, Алданский щит - + .318 » То же - +	11 10	<i>" "</i>	"						
155 Пегматит Палеозой, Центральный Ка- захстан - + .359 » Мезозой, Охото-Кухтуйский - + .361 » То же - + .161 » То же - + .217 Кварцит Архей, Алданский щит - + .18 » То же - +	Прочие породы								
.359 » Мезозой, Охото-Кухтуйский - + .361 » То же - + 217 Кварцит Архей, Алданский щит - + 218 » То же - +	455	Пегматит	Палеозой, Центральный Ка- захстан	-	+				
Зб1 » То же - + 217 Кварцит Архей, Алданский щит - + 218 » То же - +	.359	»	Мезозой, Охото-Кухтуйский массив	-	+				
217 Кварцит Архей, Алданский щит - + 218 » То же - +	.361	»	То же		+				
218 » То же – +	217	Кварцит	Архей, Алданский щит	_	+				
	218	* *	Тоже	_	+				
	.319	*	» »	_	+				
	329	*	» »	-	+				
148 Грейзен Палеозой. Казахстан.'Кара-Оба – +	148	Грейзен	Палеозой, Казахстан.'Кара-Оба	-	+				
215 Шлир кварца в граните Архей, Алданский щит – +	215	Шлир кварца в граните	Архей, Алданский щит	-	+				

Таблица 1 (окончание)

ной оценки объективной информации, получаемой при изучении главнейших типоморфных признаков кварца.

В табл. 1 приведен список изученных эталонных образцов. Большая часть образцов изучалась под микроскопом и методом гравитационной градиентной трубки; некоторые же из них удалось исследовать лишь одним из этих методов.

Кварц из эталонных образцов выделялся дроблением (или растиранием сильно выветрелых валунов Подмосковной морены), ситованием и флотацией до получения мономинеральной фракции 0,2—0,25 мм. Узкий интервал размеров обломочных зерен избран в связи с необходимостью получения сравнимой информации при изучении выделенных из эталонных образдов зерен кварда. Часть квардевых зерен дементировалась фосфатцементом и расшлифовывалась обычным способом. Остальная часть фракции изучалась методом градиентной трубки. Таким образом, нами исследовались модели кварцевых песков, «источником сноса» для которых являлись строго определенные эталонные образцы.

В каждом шлифе, изготовленном из сцементированных кварцевых зерен фракции 0,2-0.25, изучалось от 50 до 100 зерен кварца. При этом фиксировалось присутствие или отсутствие минеральных включений, различных типов включений минералообразующей среды и структурных дефектов.

Возможность генетической интерпретации обломочного кварца по типам и частотам встречаемости минеральных включений, различных признаков включений минералообразующей среды и структурных дефектов проиллюстрирована на примере изучения следующих образцов песчаных пород:

П-1 — стекольный песок, верхняя юра, Волкуша (Подмосковье)

- П-2, П-3 олигомиктовые пески, четвертичная морена, Лихвин (Днепр)
 - 109 кварцитовидный песчаник давангрской свиты, нижний протерозой (Давангро-Хугдинский грабен, Алданский щит)
 - 163 кварцитовидный песчаник конкулинской свиты, средний протерозой (Давангро-Хугдинский грабен, Алданский щит)
 - 135 кварцитовидный песчаник, нижний протерозой (Давангро-Хугдинский грабен, Алданский щит)

 - 132 то же, фракция 0,5—1 мм 14/144 аркозовый песчаник, верхний мел (Алданский щит)

102 — сегозерский кварцито-песчаник, протерозой (Карелия)

Подсчет частот встречаемости минеральных включений и других типоморфных признаков в зернах обломочного кварца проводился по той же метолике, что и для эталонных образпов. Подсчитывалось не менее 100 зерен.

Глава III

ОСНОВНЫЕ ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОДООБРАЗУЮЩЕГО КВАРЦА

Приведенные в предыдущей главе типоморфные особенности строения кристаллов, физических свойств и состава кварца достаточно хорошо описываются, исходя из классических представлений об идеальных кристаллах. Между тем природные кристаллы всегда дефектны. Дефектами природного кварца являются различного рода структурные несовершенства, а также включения минералов и минералообразующей среды. Эти признаки обнаруживают значительные вариации в зависимости от его генезиса и наиболее доступны для непосредственного наблюдения под микроскопом. Именно поэтому для петрографов они являются основными типоморфными особенностями породообразующего кварца.

СТРУКТУРНЫЕ ДЕФЕКТЫ КВАРЦА

«Теория совершенных кристаллов... не в состоянии дать удовлетворительное объяснение так называемым структурно-чувствительным свойствам кристаллических тел. К таким свойствам относятся, например, поведение металлов и многих других кристаллических веществ под нагрузкой, явления роста кристаллов и рекристаллизации, диффузионные свойства».

(Ван Бюрен, 1962)

Структурные несовершенства кристаллов кварца и его зерен в различных горных породах давно известны. Ниже приводится обзор приложений для геологических интерпретаций таких структурных дефектов кварца, как волнистое угасание и мозаичное строение. Теория дефектов в кристаллах позволяет увязать в единую систему несовершенства кварца различных порядков — от макродефектов до дефектов на атомарных уровнях — и датьим удовлетворительное генетическое объяснение.

На основании теории дефектов в кристаллах, опыта предыдущих исследователей и личных наблюдений одного из авторов разработана классификация оптически определяемых структурных дефектов породообразующегокварца.

В соответствии с этой классификацией проведено статистическое изучение породообразующего кварца эталонной коллекции.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ

Существует следующая классификация дефектов в кристаллах (Ван Бюрен, 1962).

1. Нуль-мерные, или точечные дефекты: вакансии, межузельные атомы, центры окраски и сочетания этих дефектов, например двойные вакансии.

2. Одномерные, или линейные дефекты: дислокации.

3. Двумерные, или поверхностные дефекты: границы зерен и двойников, межфазные границы, слои с неправильным расположением атомов (дефекты упаковки), поверхность кристалла. 4. Трехмерные, или объемные дефекты: пустоты, включения второй фазы и т. д.

Наиболее распространенным типом дефектов в кристаллах является узел решетки, в котором отсутствует атом или ион. Такой дефект называется вакансией. Противоположный дефект — межузельный атом (внедренный атом).

Для описания дислокаций вводится представление о контуре Бюргерса (фиг. 7), который строится в кристалле путем последовательного обхода от атома к атому на равное число параметров решетки. Если внутри контура существует дислокация, то контур будет разомкнут. В идеальном кристалле такой контур был бы замкнут. Вектор, замыкающий контур, называется вектором Бюргерса (b). Вектор Бюргерса характеризует направ-



Фиг. 7. Контур Бюргерса (по М. В. Классен-Неклюдовой и А. А. Урусовской). Вектор Бюргерса (b) отмечен жирной стрелкой

ление скольжения (сдвига решетки) и лежит в плоскости скольжения. Дислокация повсюду имеет постоянный вектор Бюргерса и, следовательно, не может оборваться нигде внутри кристалла, а только на границе кристалла, на другой дислокации или любом другом дефекте более общего типа.

Различают два основных типа дислокаций: краевая и винтовая (фиг. 8). В краевой дислокации смещение, соответствующее вектору Бюргерса, перпендикулярно оси дислокации. Винтовая дислокация характеризуется вектором смещения, параллельным оси дислокации.

В общем случае дислокации не являются чисто краевыми или чисто винтовыми: вектор Бюргерса составляет произвольный угол с осью дислокации (смешанная дислокация). При этом ось дислокации может иметь произвольную форму (фиг. 9). Дислокации в кристалле образуют замкнутые петли, или взаимосвязанную сетку. Плотность дислокаций служит мерой совершенства реальных кристаллов. Кристалл считается хорошим, если на 1 см² поверхности выходят 10³—10⁴ дислокаций. В сильно деформированных кристаллах плотность дислокаций может повышаться до



Фиг. 8. Дислокации (по Ван Бюрену, 1962)

а — краевая дислокация с вектором Бюргерса b, перпендикулярным к линии дислокации d. Дислокация может перемещаться в плоскости скольжения g; б — винтовая дислокация с вектором Бюргерса b, параллельным оси дислокации. Дислокация может перемещаться в любой плоскости, т. е. плоскостью скольжения g может быть любая другая плоскость, проходящая через линию дислокации d 10¹¹—10¹² см⁻². Искусственно были получены нитевидные бездислокационные кристаллы (так называемые усы).

Различные комбинации дислокаций, возникающие при росте кристаллов, а также в результате их перемещения под воздействием приложенных напряжений, определяют все многообразие структурных дефектов кристаллов, фиксируемых микроскопически и макроскопически.

Важнейшим свойством кристаллических тел является пластическая деформация под воздействием приложенных напряжений. Сдвиг или скольжение — наиболее важный тип пластической деформации. Под скольжением понимают перемещение двух частей кристалла по определенной кристаллографической плоскости. В результате скольжения на поверхности кристалла (или на его срезе) появляются системы полос скольжения,

> Фиг. 9. Линия дислокации произвольной формы (по Ван Бюрену, 1962). Вектор Бюргерса *b* везде одинаков. Тип дислокации изменяется вдоль линии. Участки чисто вивтовой и чисто краевой дислокаций обозначены соответственно буквами *B* и *K*



которые можно наблюдать при небольших увеличениях. Эти полосы и представляют собой выходы плоскостей скольжения отдельных кристаллических пластин (ламелей) друг относительно друга. Скольжение может осуществляться лишь в строго определенных кристаллографических направлениях.

Сдвиг не происходит одновременно по всей плоскости скольжения. Он зарождается в каком-либо месте, а затем постепенно под действием напряжения распространяется по всей плоскости скольжения. Скольжение распространяется таким образом, что в каждый момент только относительно небольшое количество атомов вблизи границы сдвинутой и несдвинутой зон расположены неправильно. Все другие атомы сохраняют правильное периодическое расположение. Граница зоны сдвига представляет линейный дефект решетки (краевая и винтовая дислокации или их промежуточная форма). Дислокация может перемещаться вдоль плоскости скольжения под действием напряжений. Скольжению препятствуют так называемые силы Пайерлса, вызываемые периодическим расположением атомов по обе стороны плоскости скольжения, силы трения, возникающие в результате упругого взаимодействия между дислокациями, а также эффект взаимодействия с примесными атомами.

В металлах имеет место явление упрочнения, т. е. повышение напряжения течения деформируемого металла по мере увеличения деформации. Упрочнение зависит от плотности дислокаций. С увеличением деформации последняя повышается от 10⁶—10⁸ см⁻² в недеформированных металлах до 10¹¹—10¹² см⁻² в сильно деформированных (упрочненных) металлах.

Важным признаком упрочнения является взаимодействие почти параллельных дислокаций, движущихся по разным пересекающимся плоскостям скольжения. В результате возникает комбинированная неподвижная дислокация (сидячая дислокация). Образуется барьер, около которого и скапливаются дислокации, и вследствие этого возникает кривизна решетки, достигающая заметной величины. Когда 100 параллельных дислокаций одного знака распределены на участке в 5000 межатомных расстояний, плоскости решетки изгибаются на несколько градусов (Ван Бюрен, 1962). Интерпретируя это явление в приложении к кварцу, можно предположить, что оно служит одной из основных причин возникновения волнистого угасания в кварце. Иногда в результате пластической деформации в кристаллах возникают сильные искажения кристаллической структуры, называемые полосами сброса. Линии скольжения внутри полос сброса искривляются подобно вытянутой букве S. Полосы сброса обусловливаются остановкой друг против друга в соседних плоскостях большого числа дислокаций с противоположными знаками (фиг. 10). Наиболее вероятной причиной остановки дислокаций являются дислокации, лежащие в другой плоскости скольжения, пересекающей данную. Следовательно, полосы сброса возникают при наличии скольжения в нескольких системах. Полосам сброса соответствуют деформационные пояса в кварце, речь о которых пойдет далее.

Двумерными дефектами кристаллов чаще всего являются границы зерен. Граница зерен представляет собой переходную область между двумя





соседними зернами, имеющими различную ориентацию в пространстве. Следует различать малоугольные границы (субграницы) с разориентацией зерен от минут до первых градусов и большеугольные границы (разориентация зерен от первых градусов до 90°).

Наиболее корректно диолокационная модель применима к малоугольным границам. Простейший случай малоугольной наклонной границы (фиг. 11) описан В. Ридом (1957). Плотность дислокаций в субгранице равна 10⁸—10¹⁰ см⁻². Намного сложнее дислокационное строение большеугольных границ. Согласно модели Мотта (Ван Бюрен, 1962), переходная область между двумя кристаллами состоит из островков материала с хорошим сопряжением решеток, разделенных областями с плохим сопряжением (фиг. 12). Область хорошего сопряжения не может быть безграничной, так как напряжения становятся слишком большими. Поэтому в зоне гра-



Фиг. 11. Модель малоугольной границы (по Риду, 1957). Симметричная наклонная граница в кубическом кристалле, состоящая из одного ряда красвых дислокаций

Фиг. 12. Модель границы по Мотту (по Ван Бюрену, 1962). Хорошее сопряжение между кристаллографическими плоскостями наблюдается не по всей границе; области с хорошим сопряжением разделены островками материала с плохим сопряжением. Эти островки рассматриваются как протяженные цилиндрические области, перпендикулярные к плоскости фигуры ницы существуют узкие области, в которых вообще нет кристаллографической симметрии. Островки с плохим сопряжением решеток (вытянутые в плоскости границ) сменяются областями с хорошим сопряжением. Островки встречаются тем чаще, чем больше разориентация. При разориентации более 50° всю границу можно рассматривать как неупорядоченную зону, сравнимую с жидкостью.

Дислокационная модель границ зерен, предложенная Дж. Бюргерсом, В. Бюргерсом и Брэггом (Ван Бюрен, 1962), представляет собой случай модели островков, в которой роль областей с плохим сопряжением выполняют группы дислокаций в плоскости границы. Практически любая область материала с плохим сопряжением может быть представлена с помощью определенного распределения дислокаций.





Приведенные модели границ зерен свойственны поликристаллическим телам, возникшим из безводных расплавов. В природных агрегатах минералов, образовавшихся в водной среде (или в присутствии воды), строение границ зерен, по-видимому, более сложное. А. Г. Жабин предложил модель границы, консервирующей вдоль поверхностей зерен газовые, газово-жидкие и жидкие включения (фиг. 13).

ДИСЛОКАЦИИ В КВАРЦЕ

Имеются многочисленные экспериментальные подтверждения существования дислокаций в кварце, которые изучались в основном методами травления, декорирования различными металлами и рентгеновской топографии. Исследование выходов дислокаций на естественную грань или искусственную поверхность кристаллов кварца проводилось Е. В. Цинзерлинг и З. А. Мироновой (1963, 1964). Травление осуществлялось в нормальных условиях чистой плавиковой кислотой или ее смесью с H_3BO_3 или HNO₃, а также в гидротермальных условиях ($p \sim 40-140$ amm, $T 200-350^{\circ}$ С) водными растворами солей и щелочей. В результате были выявлены многочисленные резко ограниченные ямки травления, соответствующие выходам дислокаций на грань кристалла или на поверхность его среза.

Наиболее наглядная картина распределения дислокаций получается при декорировании их различными металлами, например медью или серебром. Декорирование производится в электрическом поле или в высокотемпературных условиях (самодиффузия). Проникающие в кристаллы кварца частицы металла осаждаются на дислокациях и других дефектах, делая их доступными наблюдению оптическими методами. А. А. Штернбергом и др. (1969) показано, что при декорировании кварца металлической медью выявляются многочисленные V-образные линейные дефекты (называемые ростовыми дислокациями), приблизительно нормальные к растущим граням кристаллов кварца. В кварце, обработанном при температуре 700° С и давлении 2700 атм, обнаружены своеобразные дислокационные петли и полупетли, выходящие на поверхность образца. Плоскости

скольжения этих дислокаций соответствуют направлениям многих сеток в решетке кварца (плоскость базиса 0001), основных ромбоэдров 1011 и 0111, «тупого» ромбоздра 1012, гексагональной призмы 1010. Методом рентгеновской топографии (Ланг, Миусков, 1967) обнаружены дислокации, исходящие из точек в пределах образца. Дислокации единичны или образуют небольшие пучки, приблизительно параллельные к поверхности растущей грани кристалла. Эти дислокации возникают на лефектных частях решетки, охватывающих включения, захваченные в процессе роста, а также на различных дефектных поверхностях. Авторы различают «чистые» и «грязные» ростовые дислокации. «Грязные» дислокации явно декорированы различными выделениями. В природном кварце некоторые дислокации прямые, другие спиральные, а иногда причудливо закручены. Последние обычно бывают «грязными». На основании изучения чистых прямолинейных дислокаций показано, что некоторые из них имеют векторы Бюргерса в направлении одного из векторов трансляции в базисной плоскости. Вероятно, величина вектора Бюргерса равна элементарной трансляции a = 4,91 А. Установлена также непосредственная связь ямок травления с дислокациями, выходящими на соответствующую поверхность. Большие ямки характерной формы на топограмме локализованы на выходе дислокаций. Ряд специфических особенностей дислокаций роста установлен при изучении микроакцессорий роста на базисной грани кристаллов кварца (Чепижный, 1966, 1968). Выявлена тонкая структура дитригональ-, но-симметричных центров, названных дислокационными центрами. При травлении вдоль осей дислокационных центров образуются вертикальные каналы травления, закономерно связанные с каналами травления, отходящими от дислокационных центров на гранях призмы и ромбоэдров кварца. Возникает объемная сетка дислокационных каналов травления. По заключению К. И. Чепижного (1968), каналы травления образуются на месте групп (скоплений) дислокаций.

Итак, в недеформированных кристаллах кварца существует сложная закономерная связь ростовых дислокаций. Эти дислокации могут быть единичными, прямыми, спиральными или сложно закрученными. Часто они образуют пучки, а также жгуты спирально закрученных дислокаций (Чепижный, 1966). Различные комбинации дислокаций порождают большое разнообразие структурных несовершенств в кристаллах кварца, обусловливающих его ультра- и микропористость (Шур и др., 1966).

Разнообразные дефекты выявлены Е. В. Цинзерлинг и О. Б. Вольской (1968) при декорировании кварца серебром в электрическом поле. По мнению этих авторов, существуют следующие пути диффузии серебра в кварце: 1) структурные каналы d = 2 Å, параллельные оси c; 2) дефект-каналы размером 200-500 Å до травления HF и 20-26 мк после травления (см. также Цинзерлинг, 1964); 3) разрыхленные стенки дефект-каналов; 4) межплоскостные полости от 3,34 до 5,39 Å в структуре кварца; 5) промежутки между блоками в мозаичных кристаллах; 6) случайные трещинки; 7) двойниковые границы и другие дефекты. Ими наблюдались также отдекорированные линии скольжения в кварце, а также гексагональная сетка на плоскости (0001).

Непосредственное изучение дислокаций в породообразующем кварце с помощью перечисленных методов не проводилось. Одним из авторов настоящей работы (Симанович, 1966а) доказана возможность изучения выходов дислокаций на поверхность кварца в травленых полированных петрографических шлифах и получены изображения ямок травления (табл. I, 1).

Пластическая деформация увеличивает плотность дислокаций кварца, причем новообразованные дислокации выстраиваются в определенные ряды, например вдоль линий скольжения. При этом возникают различные оптические эффекты.

проявление пластической деформации кварца

Различным проявлениям пластической деформации квариа посвящено. большое количество работ¹. Петрографам давно известны такие проявления пластической деформации, как волнистое угасание и бемовская штриховка (Böhm, 1883). Многие исследователи изучали деформационное пластинкование кварца с точки зрения петроструктурного анализа (Sander, 1930; Fairbairn, 1941; Ingerson, Tuttle, 1945; Riley, 1947; Christie. Raleigh. 1959, и др.). Однако долгое время кварц считался хрупким минералом. и даже такое явление, как волнистое угасание, связывалось с существованием бесчисленных разломов в кристалле кварца (Sederholm, 1895). Принципиальная возможность пластической деформации кварца доказана Е. В. Цинзерлинг, которой удалось в лабораторных условиях воспроизвести дофинейское двойникование (Шубников, Цинзерлинг, 1933), а затем в многочисленных экспериментах решить ряд других задач: раздвойникования кристаллов кварца, управления дофинейским двойникованием и т. д. (Цинзерлинг, 1961). Попытки же получить в лаборатории другие проявления пластической деформации кварца терпели неудачу. Американским исследователям (Carter e. a., 1964) удалось доказать существование пластической деформации кварца. Ими же созданы геометрическая и дислокационная теории пластической деформации кварца (Christie e. a., 1964). Наиболее существенные результаты исследований американских авторов. заключаются в следующем.

Основными проявлениями пластической деформации кварца служат деформационное пластинкование, деформационные пояса и волнистое угасание. Деформационные пояса и зоны волнистого угасания в большинстве случаев субпараллельны оси с. Деформационные пластинки обычнообразуют небольшие углы с базисом, реже отклоняются от него на 20—60° и еще реже субпараллельны оси с.

Деформационное пластинкование, субпараллельное базису, и деформационные пояса, субпараллельные оси с, формируются в результате скольжения по (0001); происхождение же этих структур другой ориентации связано с более сложными механизмами скольжения. Полюса пластинкования в поликристаллических кварцевых агрегатах с беспорядочной ориентацией зерен образуют на ориентированных диаграммах узоры, представляющие собой круги малого радиуса около оси основного сжатия, что указывает на формирование деформационных пластинок в плоскостях наивысшего сдвигового напряжения.

Границы пластинок деформации при наблюдении без анализатора имеют заметный рельеф. Отличие показателя преломления границ пластинок от показателя преломления всего кристалла достигает 0,003—0,005. Исследованиями в фазово-контрастном освещении установлено, что с одной стороны плоскостной структуры, которая отделяет пластинки друг от друга, светопреломление повышается, а с другой ее стороны понижается. Дж. М. Кристи и др. (Christie e. a., 1964) рассматривают эти плоскостные структуры как двумерные ряды дислокаций одного знака. С разных сторон такого ряда возникают сжатие и растяжение кристаллической решетки, вызывающие соответственно повышение или понижение светопреломления. Эти ряды дислокаций наблюдаются при электронномикроскопическом изучении реплик травленой поверхности кристаллов, и подсчитанная по количеству ямок травления на 1 *см* плотность дислокаций соответствует плотности, рассчитанной по оптическим данным.

Границы поясов деформации также имеют дислокационную природу. Однако в отличие от деформационного пластинкования дислокации этих границ распределяются таким образом, что растяжение и сжатие кристаллической решетки, сопровождающиеся указанным выше оптическим эф

¹ Е. В. Цинзерлинг (1969) сделан интересный обзор развития представлений о скольжении в кварце. фектом, возникают лишь при заметной асимметрии поясов деформации

Отличие волнистого угасания от деформационных поясов, по мнению американских авторов, состоит лишь в большем радиусе кривизны изгиба кристаллической решетки.

Полоски Бема — разновидность деформационного пластинкования и являются мельчайшими жидкостными включениями, приуроченными к плоскостям, отделяющим одну пластинку от другой. По Н. Л. Картеру и др. (Carter e. a., 1964), они формируются следующим образом. При движении и взаимодействии дислокаций в плоскостях скольжения возникают атомные вакансии, которые путем диффузии укрупняются и превращаются в пустотки. В эти пустотки через кварц диффундирует вода.

Н. Л. Картер и др. показали, что полученные экспериментально структуры аналогичны проявлениям пластической деформации, встречаемым в природе. Однако они отмечают, что между экспериментально воспроизведенными и природными пластическими деформациями существует заметное различие, особенно в ориентации относительно стресса. Судя по электронномикроскопическим данным, ряды дислокаций в природном деформационном пластинковании менее совершенны, чем в экспериментальном.

Существование пластической деформации кварца в природных условиях было подтверждено рядом работ (Симанович, 1966б, 1968; Цинзерлинг, Вольская, 1968; Цинзерлинг, 1969). В шокшинских кварцито-песчаниках (Карелия) были обнаружены и описаны все основные проявления пластической деформации кварца, воспроизведенные американскими исследователями: деформационное пластинкование, пояса деформации и волнистое угасание. Кроме того, нами описаны два новых вида пластической деформации кварца: иррациональное двойникование и «смятие». Иррациональное двойникование—разновидность деформационного пластинкования и отличается от последнего тем, что деформационные пластинки имеют через одну несколько иную оптическую ориентировку, в результате чего кварц приобретает полисинтетическое двойниковое строение.

«Смятие», по-видимому, представляет собой сложное сочетание ноясов деформации, блочности и волнистого угасания. Тем не менее мы сочли возможным выделить этот структурный дефект кварца в самостоятельный тип, поскольку «смятия» очень характерны и связаны с вполне определенными геологическими условиями формирования. «Смятие» кварца — это сложное пересекающееся и «интерферирующее» чередование зон деформации и волнистого угасания. Нередко «смятие» развивается как бы пучком из определенной точки кварцевого образования, являющейся, видимо, точкой приложения напряжения.

Г. Н. Вертушковым и др. (1970) описан еще один вид пластической деформации кварца — полосы деформации. При возникновении полос первичный кристалл кварца разбивается на систему фрагментов, незначительно разориентированных друг относительно друга. Угол же разориентировки материала полосы составляет 10—12° относительно исходного кристалла. Ширина полос деформации достигает 0,02 мм, среднее расстояние между ними 0,25 мм. Иногда они образуют две пересекающиеся системы, расположенные симметрично к (0001), причем угол между системами приближается к 90°.

ОПТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ДЕФЕКТЫ КВАРЦА

Структурные несовершенства кварца, которые можно наблюдать с помощью поляризационного микроскопа, изучены наиболее хорошо. Обычно различают два основных типа дефектов кварца — поликристалличность и волнистое угасание. Исследование этих дефектов в породообразующем кварце проводилось главным образом для установления источников сноса по обломочному кварцу и выяснения его коррелятивных признаков. Первые описания структурных дефектов кварца содержатся в работах Сорби (Sorby, 1877), Ван Хайза (Van Hise, 1890) и Розенбуша (Rosenbusch, 1893). В работе Жилигина (Gilligan, 1919) делается первая попытка применения волнистого угасания кварца для определения источников сноса.

В своей классификации П. Крынин (Krynine, 1946) выделил следующие типы обломочного кварца по его внутренней структуре и форме.

1. Кварц изверженных пород: а) нормальный интрузивный кварц бег волнистого угасания; б) кварц заключительных фаз интрузий со слабыми проявлениями напряжений; в) преобразованный интрузивный кварц проявления напряжений выражены очень сильно, но границы зерен остаются ровными.

2. Гидротермальный кварц с характерной гребенчатой структурой.

3. Вулканический кварц, характеризующийся идиоморфными формами и отсутствием внутренних дефектов.

4. Кварц метаморфических пород: a) удлиненные, поликристаллические агрегаты с зубчатыми контурами и сильным волнистым угасанием — «давленый кварц», б) удлиненные зерна обычно без волнистого угасания — «инъекционный кварц».

В. С. Дмитриевский (1955) выделил четыре типа волнистого угасания кварца: 1) дисперсионное, 2) блоковое, 3) облачное, 4) линейно-полосчагое. На основании этой классификации автор сделал попытку связать происхождение обломочного кварца с теми или иными типами кварцсодержащих пород возможных питающих провинций.

Некоторые авторы классифицировали типы обломочного кварца по углу максимального различия угасания в волнисто-гаснущих обломочных зернах. Так, Р. Л. Фолк (Folk, 1961) выделил по степени волнистого угасания и поликристалличности шесть типов кварца, которым был склонен придавать генетический смысл.

Отметим, что существующие классификации типов обломочного кварца по его внутреннему строению явно упрощены и не учитывают сложности и противоречивости проявления дефектов структуры кварца. По-видимому, основной причиной этих недостатков является слабая изученность специфики кварца изверженных и метаморфических пород, очевидно, поставляющих при своем разрушении основной объем обломочного кварца. Работы по сравнительному анализу обломочного кварца и кварца изверженных и метаморфических пород на основании изучения многочисленных эталонных образцов и обработки результатов методами математической статистики появились лишь в последние годы.

Начало этим исследованиям положено интересной работой Х. Блатта и Дж. Кристи (Blatt, Christie, 1963). Они изучили 119 шлифов кварцсодержащих кристаллических пород и установили, что волнистое угасание проявляется в большей части (до 90%) зерен кварца интрузивных и метаморфических пород. Следовательно, сам факт присутствия волнистого угасания в зернах обломочного кварца не дает оснований для определения их генезиса. Однако кварц эффузивных пород, как правило, лишен волнистого угасания. Результаты статистического изучения зерен обломочного кварца в кварцевых песках и песчаниках показали, что эти породы в среднем на 40% сложены кварцем, лишенным волнистого угасания и мозаичности. Эти авторы пришли к выводу, что в процессе «созревания» пород, т. е. глубокого химического и физического выветривания пород — источников сноса и последующего многократного переотложения обломочного материала, происходит преимущественное разрушение волнистогаснущих и поликристаллических зерен кварца как обладающих большими концентрациями дефектов структуры. В менее зрелых песчаных породах — аркозах и граувакках — содержание кварца без волнистого угасания понижается в среднем соответственно до 23 и 13%.

X. Блатт (Blatt, 1967) исследовал кварц из измельченного детрита:

19 образдов массивных плутонических пород, 16 образцов гнейсов и 6 образпов сланцев пустынных зон Южной Аризоны и Калифорнии. Им установлены следующие закономерности: 1) монокристаллические зерна кварца с волнистым угасанием имеют (в среднем) более крупные размеры, чем зерна без волнистого угасания; 2) в среднеразмерных волнистогаснущих зернах кварца угловое различие осей с составляет в среднем 4-5° и не зависит от типа пород, из которых эти зерна произошли; 3) частота встречаемости поликристаллического кварца возрастает с размером зерен; 4) для определенных размеров зерен, но не самых мелких, в гнейсах поликристаллический кварц содержит большее количество индивидов, чем в массивных плутонических породах; 5) кварцевые индивиды в поликристаллических зернах из гнейсов и сланцев обычно обнаруживают преобладающую оптическую ориентировку; 6) размерное распределение индивидов из поликристаллических зерен гнейсов и сланцев обычно бимодально; 7) подтверждена ранее установленная закономерность: зрелые кварцевые породы содержат значительно меньшие количества дефектного кварца.

Близкое по характеру исследование выполнил Дж. Конноли (Connoly, 1965). Он изучал частоту встречаемости волнистого угасания и поликристалличности в обломочном кварце различных осадочных серий. При нанесении на карту данных по поликристалличности зерен получилась картина отчетливого минерального тренда по ряду: 10—9—8...—2% поликристаллического кварца при среднем размере зерен 0,3 мм. Наиболее высокое содержание поликристаллических зерен в непосредственной близости от источников сноса, а затем падает по мере удаления от источника сноса (всего на расстоянии 150 миль).

Структурные дефекты жильного кварца исследованы более детально (Вертушков, 1965, Петровская, 1966, Вертушков и др., 1970). В жильном кварце наблюдались все оптически определимые структурные дефекты, свойственные кварцу горных пород. Приведенная нами классификация типов структурных дефектов зерен обломочного кварца (табл. 2) в некоторых чертах сходна с классификацией типов структур жильного кварца А. Н. Петровской (1966).

Все типы и разновидности оптически определимых структурных несовершенств кварца обусловлены следующими структурными дефектами его кристаллической решетки: 1) границами и субграницами индивидов в поликристаллических агрегатах; 2) изгибами решетки (волнистое угасание); 3) деформационным пластинкованием и другими проявлениями пластической деформации кварца.

Выделенные одним из авторов (Симанович, 1968) типы структурных дефектов обломочного кварца перечислены в первой графе табл. 2. Ниже приводится обоснование типов структурных дефектов обломочного кварца, а также их краткое описание.

Мозаичными считаются зерна обломочного кварца, а также выделения кварца в магматических и метаморфических породах, представляющие собой поликристаллический агрегат, состоящий из двух и более монокристаллов кварца, имеющих общие границы. Разориентация же различных частей монокристаллов кварца на небольшие углы с возникновением четких границ индивидов рассматривается как блочность. Мозаичность нередко отождествляется с блочностью кварца, а блочность — с волнистым угасанием (Дмитриевский, 1955; Петровская, 1956). Поэтому необходимо подчеркнуть основные черты различия этих структурных дефектов.

Мозаичность отличается от блочности произвольной в первом приближении разориентацией монокристаллических индивидов в агрегате. Строго говоря, индивиды мозаичных агрегатов кварца в породе имеют преобладающую ориентировку, выявляемую статистическими методами. Блочность, развитая в монокристаллах кварца, разориентирована на первые градусы. Мозаичность и блочность различаются и по характеру гра-

Классификация типов и разновидностей структурных дефектов обломочного кварца

Типы структурных дефектов	Морфологические разно- видности структурных дефектов	Вероятный генезис
I. Мозаичность	1. Изометрично-полиго- нальная мозаичность	Первичнокристаллизационная, вторичная в гранитах и гнейсах, посткинематическая в катаклазитах всех типов
	2. Грануляционная мо- заичность	Катаклаз гранитов, гнейсов, жильного кварца и других типов пород. Начальный метаморфизм кварцито-песчаников
	3. Мозаичность с изре- занными, лапчатыми контурами индивидов	Динамометаморфизм различных типов по- род
	4. Шестоватая мозаич- ность	Первичнокристаллизационная в жильном кварце
II. Блочность	1. Неправильная блоч- ность	Первичнокристаллизационная в различ- ных типах пород, вторичная — динамоме- таморфизм
	2. Линейная блочность	Вероятно, первичнокристаллизационная (синкинематическая) в гранитах, динамо- метаморфизм различных типов пород
	 Брусковидная блоч- ность 	Интенсивный динамометаморфизм различ- ных типов пород
III. Волнистое угасание	1. Облачное волнистое угасание	Первичнокристаллизационное и динамо метаморфизм всех типов кварцсодержащих пород
	2. Фронтальное волнис- тое угасание	Динамометаморфизм гранитов и гнейсов
	3. Прерывистое волнис- тое угасание	Динамометаморфизм кварца различного генезиса
IV. Деформационное пластинкование и ир- рациональное двой- никование	_	Пластическая деформация в результате динамометаморфизма кварца различных горных пород, в том числе и жильного кварца
V. Пояса деформации	_	-
VI. «Смятие» кварца	_	
VII. Полосы деформации	-	

ниц индивидов. Границы мозаичных индивидов четкие, двумерные (имеют заметную ширину при косом положении к ограничивающим шлиф плоскостям). Границы блоков обычно также четкие, но тонкие и визуально одномерные. Такое различие в оптическом эффекте границ сопряжения мозаичных индивидов и блоков в монокристалле кварца связано, по-видимому, с их дислокационным строением. Известно, что границы индивидов при их разориентации на первые градусы имеют простую дислокационную природу (ряд дислокаций), тогда как при увеличении углов разориентации картина резко усложняется (см. стр. 28).

В кварце различных типов горных пород обычно удается четко различать блочность и мозаичность. Однако в некоторых сильно катаклазированных выделениях кварца блочность разориентируется на сравнительно большие углы и обнаруживает постепенные переходы к мозаичности.

Блочность нередко также отождествляется с волнистым угасанием. Действительно, при повороте столика микроскопа угасание обычно последовательно переходит с одного блока на другой, создавая впечатление волнистого угасания. По кристаллографической природе блочность отличается от волнистого угасания характером распределения дислокаций. Если дислокации в волнистогаснущих кристаллах распределены сравнительно беспорядочно, лишь сгущаясь в участках наиболее интенсивного перегиба решетки, то в блочных кристаллах границы блоков представляют собой «стенки» выстроенных в ряд дислокаций. При нечетком построении таких «стенок» образуется промежуточная между блочностью и волнистым угасанием разновидность структурных дефектов, названная нами прерывистым волнистым угасанием. Последняя отличается от блочности отсутствием четко выраженных границ блоков, а от нормального волнистого угасания — дискретным движением фронта угасания. Волнистое угасание кварца хорошо известно геологам, и обоснование этого типа структурной дефектности не требует специального обсуждения. Проявление пластической деформации кварца описано выше.

Констатации присутствия или отсутствия; тех или иных структурных дефектов недостаточно для суждения о генезисе кварца, поскольку почти все они характерны для самых различных кварцевых образований. Проведенная нами детализация структурных дефектов кварца и выделение внутри типов ряда морфологических разновидностей позволили с большей вероятностью интерпретировать процессы формирования кварца того или иного генезиса.

Пока мы обладаем далеко не полными сведениями о генезисе типов и разновидностей структурных дефектов кварца. Поэтому генетическая интерпретация морфологических разновидностей структурных дефектов кварца дается с известной степенью приближения.

Мозаичность

Изометрично-полигональная мозаичность. Для изометрично-полигональной мозаичности типичны изометричные формы кварцевых индивидов с полигональными или округло-полигональными ограничениями (табл. І, 2). Кварцевые образования по сути дела представляют собой поликристаллический агрегат. Размеры отдельных индивидов изменяются от сотых долей миллиметра до 1-5 мм. Различают равно- и неравномозаичные агрегаты. Как уже указывалось, границы индивидов в мозаике четкие. Взаимная разориентация непосредственно контактирующих кварцевых индивидов колеблется в широких пределах — от первых до 90°. Изометрично-полигональная мозаичность очень характерна для гранитов (обычно крупномозаичная), а также кварцсодержащих метаморфических пород различных ступеней метаморфизма. Мозаичность обломочных зерен, возникших при разрушении метаморфических пород, представляет по существу фрагменты гранобластовой структуры. В некоторых случаях изометрично-полигональная мозаичность отмечается в кварцевых жилах.

Таким образом, изометрично-полигональная мозаичность, по-видимому, формируется в процессе первичной кристаллизации пород. Однако в катаклазитах полигональная мозаичность нередко развивается за счет тонко раздробленного давленого кварца, являясь вторичной.

Г рануляционный мозаичные кварцевых индивидов, часто с полигональными контурами. Под грануляцией мы понимаем развитие мелкозернистых мозаичных кварцевых агрегатов за счет крупных кварцевых индивидов в результате вторичных по отношению к кристаллизации кварца стрессовых напряжений. Грануляция типична для катаклазитов, развитых по породам любого генезиса (гранитам, гнейсам, жильному кварцу и т. д.). Обычно мозаичные грануляционные образования тяготеют к внешним частям контактирующих кварцевых индивидов (табл. I, 3), однако нередко, вытягиваясь в цепочки и зонки, мелкие индивиды кварцевой мозаики замещают внутренние части крупных кварцевых зерен. Иногда грануляционный мозаичный агрегат полностью замещает первичные кварцевые индивиды¹. Такой тип грануляции характерен для метаморфизованных кварцевых жил (Петровская, 1966; Вертушков и др., 1970). Гра-

¹ Минералоги, изучающие метаморфизм жильного кварца, под грануляцией понимают замещение гиганто- и крупнозернистых образований кварца агрегатом относительно мелких (5-10 мм) зерен (Вертушков и др., 1970). В применении к обломочному кварцу грануляция выделяется нами лишь при явном замещении относительно крупных кварцевых индивидов агрегатом более мелких зерен. Таким образом, мозаичность обломочного кварца, который возник за счет гранулированных жил, может определяться нами как изометрично-полигональная.
нуляция периферических частей кварцевых индивидов типично представлена в структурах рекристаллизационно-грануляционного бластеза (Копелиович, Симанович, 1966).

Таким образом, отличительной чертой грануляционной мозаичности является развитие мелкозернистых кварцевых агрегатов с изометричнополигональными формами индивидов за счет более крупных зерен кварца. Неизмененные реликты последних обычно легко устанавливаются даже в случае интенсивной грануляции.

Мозаичность с изрезанными, лапчатыми контурами индивидов. Для этой разновидности мозаичности характерны крайне неправильные, часто удлиненные формы индивидов. Очертания их обычно сильно изрезаны, иногда имеют сутуровидный облик (табл. I, 4). Кроме того, рассматриваемая разновидность мозаичных агрегатов нередко характеризуется резкой неравнозернистостью (ассоциирует с грануляционной мозаичностью). Некоторые мелкие индивиды имеют островной облик, развиваясь в более крупных индивидах. Изрезанная, неправильная мозаичность отмечается в кварце различного генезиса и является следствием наложения стрессовых напряжений на уже сформированный кварц горных пород и жильных образований. Гамма перехода форм кварцевых индивидов, по-видимому, отражает степень деформации горных пород. В слабо деформированных кварцевых образованиях мозаичные индивиды относительно изометричны. В очень интенсивно деформированных участках квард приобретает «лоскутно-мозаичный» облик (Петровская, 1956; фиг. 6, в).

Шестоватая мозаичность — очень характерный первичнокристаллизационный структурный дефект кварца. Она формируется при кристаллизации кварца из гидротермальных растворов и представлена удлиненными субпараллельно-ориентированными кварцевыми индивидами с полигональными ограничениями. Обычно шестоватая мозаичность отличается постепенными переходами к изометрично-полигональной мозаичности, часто наблюдаемыми на расстоянии 1—5 мм.

Таким образом в зернах обломочного кварца, особенно мелких, не всегда удается однозначно определить разновидность мозаичности. Крупнозернистая изометрично-полигональная мозаичность нередко фиксируется по двум или трем разориентированным кварцевым индивидам, мелкозернистая может быть неотличима от грануляционной. Диагностическим признаком последней служат реликты крупных кварцевых индивидов, отличающиеся прерывистым волнистым угасанием или брусковидной блочностью. Шестоватая мозаичность также часто неотличима от изометричнополигональной и трудно устанавливается в мелких обломочных зернах. Сравнительно легко диагностируется благодаря характерности ограничений мозаичность с изрезанными, лапчатыми контурами индивидов.

Блочность

Блочность — неотъемлемое свойство всех природных кристаллов. Самые идеальные монокристаллы кварца в той или иной степени поражены блочностью. Размеры индивидов (отдельных блоков) варьируют в весьма широких пределах — от долей микрона до миллиметров и даже сантиметров.

Неправильная блочность. Эта разновидность блочности — самая распространенная и полигенетичная. Контуры блоков в кварцевых образованиях неправильные, иногда полигональные, чаще извилистые; размеры изменяются в широких пределах; разориентировка блоков, как уже указывалось, — лишь в первых градусах. Обнаруживает переходы к линейной и брусковидной блочностям. Генезис неправильной блочности может быть, по-видимому, первичнокристаллизационным и вторичным следствием наложения стрессовых напряжений. Линейная блочность имеет весьма характерный облик. Границы блоков обычно пересекают все зерно кварца и ориентированы субпараллельно (табл. I, 5). Иногда в пределах одного зерна наблюдается серия субпараллельных блоков. При повороте столика микроскопа угасание фронтально скользит с одного блока на другой.

Линейная блочность характерна для кварца гранитов и, возможно, является следствием напряжений во время их кристаллизации. Отмечается также в гнейсах и других типах кварцсодержащих пород вместе с другими разновидностями блочности. В этом случае линейная блочность кварца, по-видимому, является результатом динамометаморфизма.

Термин «брусковидная блочность» заимствован у А. Н. Петровской (1966). Границы блоков этой разновидности образуют две субпараллельные серии, пересекающиеся под углом, близким к прямому. Отделяемые этими границами блоки имеют брусковидное, прямоугольное очертание (табл. I, 6). Угасание в них чередуется в шахматном порядке. Брусковидная блочность характерна для различных типов кварцсодержащих пород и жильного кварца, подвергшихся интенсивному динамометаморфизму.

Волнистое угасание

Этот структурный дефект кварца хорошо известен. В чистом виде волнистое угасание проявляется в непрерывном «скольжении» фронта угасания из одной части кварцевого индивида в другую при повороте столика поляризационного микроскопа. В зависимости от типа перемещения фронта волнистого угасания различают три разновидности этого структурного дефекта.

Облачное волнистое угасание отличается иятнистым, неправильным движением фронта угасания кварца при повороте столика микроскопа. Разориентация различно гаснущих участков кварцевого индивида в этом случае слабая (табл. I, 7).

Фронтальное волнистое угасание, как следует из названия, характеризуется постепенным переходом фронта волнистого угасания при повороте столика микроскопа из одного конца кварцевого индивида в другой.

П рерывистое волнистое угасание — промежуточная разновидность, обладающая чертами блочности и волнистого угасания. Обоснование выделения этой разновидности приведено выше. Как уже отмечалось, такого рода волнистое угасание отличается прерывистым движением фронта угасания при повороте столика микроскопа. Однако участки прерывистого угасания очень нечетко обособлены друг от друга и не могут классифицироваться как блочность (табл. I, 8). Прерывистое угасание обусловлено значительной разориентацией различно гаснущих участков кварцевых индивидов.

Волнистое угасание кварца обычно связывают с динамометаморфизмом. Тем не менее доказано, что в некоторых случаях волнистое угасание имеет первичнокристаллизационное происхождение (Соловьев, 1945; Кузьмин, 1969). Вероятно, частично такого происхождения кварц с облачным угасанием. В то же время прерывисто-волнистое угасание кварца, безусловно, связано с интенсивным воздействием динамометаморфизма на соответствующие типы пород. То же, по-видимому, относится к фронтальному волнистому угасанию.

Структурные дефекты, связанные с пластической деформацией кварца

К этой группе структурных дефектов относятся деформационное пла» стинкование, иррациональное двойникование, пояса деформации, «смятие кварца и полосы деформации. Мы не выделяем разновидности этих типов структурных дефектов, так как все они имеют очень сходное происхождение и связаны с наложенной пластической деформацией кварца пород самого различного генезиса, а следовательно, несут ограниченную информацию.

Деформационное пластинкование, иррациональное двойникование и пояса деформации наиболее ярко представлены в кварцитах и кварцитопесчаниках (Симанович, 1965), но отмечались также в гранитах и жильных кварцевых образованиях. «Смятие» кварца связано со специфическими условиями динамометаморфизма и развито в кварце различного генезиса в участках мелких подвижек и срывов. Проявления полос деформации известны в жильном кварце (Вертушков и др., 1970).

В зернах обломочного кварца проявления пластической деформации определяются легко, но встречаются довольно редко.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ КВАРЦА

В соответствии с разработанной классификацией нами была предпринята попытка оценить распространенность тех или иных оптически определимых структурных дефектов кварца различного генезиса. Методика изучения заключалась в фиксации присутствия (или отсутствия) данного структурного дефекта в 50—100 зернах кварца каждого эталонного образца.

Для удобства вводятся следующие буквенные обозначения структурных дефектов:

МИП — мозаичность изометрично-полигональная

- МГ мозаичность грануляционная
- МИЛК мозаичность с изрезанными, лапчатыми контурами индивидов
 - БН блочность неправильная
 - БЛ блочность линейная
 - ББ блочность брусковидная
 - ВУО волнистое угасание облачное
 - ВУФ волнистое угасание фронтальное
 - ВУП волнистое угасание прерывистое
 - ПД пластическая деформация
 - БД зерна без дефектов

Результаты статистического изучения кварца различных типов горных пород — частоты встречаемости различных структурных дефектов на 100 зерен, а также среднее арифметическое (*M*) частоты встречаемости и коэффициенты вариации (*W*) для каждого типа пород приведены в табл. 3.

На основании данных табл. З построены графики, где по оси ординат отложены значения M (фиг. 14) и W (фиг. 15) для эталонных образцов кварца четырех групп пород.

Анализ этих графиков позволил сделать следующие выводы.

1. Частоты встречаемости различных структурных дефектов кварца метаморфических пород и древних гранитоидов очень близки. Встречаемость МИП, БЛ и ББ несколько выше в кварце метаморфических пород, остальные структурные дефекты чаще присутствуют в кварце древних гранитоидов.

2. В целом дефектность кварца метаморфических горных пород и древних гранитоидов выше, чем кварца молодых гранитоидов; для последних особенно резко снижаются частоты встречаемости МИП, БЛ, МИЛК, ББ и ВУП.

3. В то же время наблюдается отчетливый максимум встречаемости ВУО в кварце молодых гранитоидов. Таким образом, при общем низком уровне дефектности кварца этих пород ВУО для него весьма обычно. Другой же, более «дефектный» вид волнистого угасания — ВУП встречается реже, чем в кварце древних гранитоидов и метаморфических пород.

Таблица З

Частота встречаемости структурных дефектов кварца эталонных образцов (в %)

№ образца	мип	мг	милк	БН	БЛ	ББ	вуо	ВУФ	вуп	пд	БД
			M	[етамо	рфичес	sue nop	роды				
1		1 0	1 0	1 18	25	1 1	i 16	13	23	[1	14
6	ň	0	48	42	24	Ō	2	2	92	l ō	
9	20	Ň	0	8	30	ŏ	10		6	Ŏ	36
17	32	ň	ŏ	12	22	ŏ	30	Ĩ	26	Ŏ	16
23		Ŏ	Ŏ	8	8	ŏ	46	Ň		6	32
27	92	Ŏ	Ŏ	4	10	Ŏ	18	Ö	10	Ň	4
28	10	Ŏ	Ő	8	36	Ö	14	Ŏ	8	Ő	30
43	4	ŏ	ŏ	Å Å	12	ů	48	2	22	ů	22
72	21	Ö	Ŏ	5	17		22	1	16	ů	24
73	12	Ň	Ŏ	2	44		36	l ô	38	Ŏ	8
82	6	46	14	38	32	Å		Ň	86	ŏ	2
88	18			12	34	2	26	l õ	24	Ŏ	20
89	15	l õ	2	16	94	3	20	Ö	61	Ö	3
91	4	48	1 20	20	35	22	1	Ŏ	01	lõ	ŏ
03	10			10	42		20		6	Ň	28
96	16		0	6	1 24	Å	20		20	44	24
407	10	lő		e la	46		59		6	9	26
109	2	Ň	Ň	2	10	Ň	52		2		42
105	38	l õ		12	26		60	9	20		8
414	2		0	16	18		52	30			4
114	6			92	10		44		9		42
240	16			22		20	44		02		14
240	10				42		10		36		16
260	72			4	12		40			60	
200	24			10				20		80	
202				02	4	90	50				
215	16			20 60	12	20	72		97		4
201							20		49		79
207				24			20	20	22		1 12
200				49	24		40	20	34		12
255	4			12			- 30		24		40
	0								24	4	40
М	15,2	_	3,4	16,9	18,2	3	28,7	4	27,8	5,4	18,9
W	132		320	83	71	245	70	240	100	324	79
		l	1	1	ļ				j .		
				Д ре вни	ие гран	umoudi	64				
3	2	0	0	9	7	2	49	1 5	19	1 1	24
5	2	0	0	8	20	0	16	22	26	0	28
13	0	0	0	2	10	0	12	0	8	0	66
. 60	20	0	30	18	32	0	40	0	36	0	6
61	4	0	0	12	4	0	8	0	10	0	64
62	8	0	0	2	40	0	52	0	14	0	16
76	Ō	0	0	14	2	0	30	Ō	6	0	60
80	9	0	0	11	21	0	24	4	42	Ō	17
92	2	0	0	6	30	Ó	38	4	20	Ó	22
94	8	Ó	0	10	10	Ó	36	6	2	Ó	28
95	10	0	0	4	10	0	16	0	14	0	50
101	4	0	0	16	22	0	38	2	44	0	8
				I I	!			F - 1			, U

Таблица	3	(окончание)
---------	---	-------------

№ образца	мип	мг	милк	БН	БЛ	ББ	вуо	вуФ	вуп	пд	бД
108	4	0	0	16	20	0	56	0	16	2	16
112	2	0	58	24	20	0	12	42	38	ō	2
123	2	0	2	26	22	4	54	0	14	0	18
124	0	0	0	2	4	0	50	0	6	0	42
234	2	0	0	18	6	12	52	0	48	0	0
235	2	0	18	46	0	10	24	0	58	0	4
236	68	0	0	28	24	4	40	0	44	0	0
237	44	4	8	60	0	4	36	0	64	0	0
238	42	0	0	28	10	0	48	0	34	0	2
270	0	0	0	16	4	8	24	0	76	0	0
272	8	0	0	8	0	4	60	0	20	0	20
273	4	0	0	0	12	0	36	0	40	16	16
274	0	0	0	12	0	0	56	0	28	0	16
276	0	0	68	76	4	0	4	4	92	0	0
M	9,5	_	7,1	18,2	12,8	1,8	35	3,4	31,5	0,7	20
W	170	-	246	97	86	183	47	262	71	444	100
		•		142			•			•	
				IN OADO	ые григ	<i>iu mou</i> 0	ы				
121	2	0	0	8	2	0	18	0	8	0	64
134	2	0	0	0	8	0	14	0	14	0	60
136	0	0	0	2	0	0	60	0	12	0	36
143	6	0	0	8	14	0	24	0	42	0	20
145	4	0	.0	-8	0	0	36	0	8	0	48
146	4	0	0	20	2	0	98	0	2	0	0
147	0	0	2	8	4	0	62	0	16	0	20
158	0	0	0	6	4	0	44	0	0	0	52
167	0	Q	0	6	0	0	32	0	0	0	66
М	2	-	_	7,3	3,8	_	45	_	11,3	_	, 40,7
W	95		—	77	142	-	46	-	108	-	5 3
	-	•	•	Жил	15н ый л	гварц		•	•		
470	1 0	1 16	1 0	1 0	1 40	1 0	1 /6	1 0	9%	1 40 1	49
149 150		10	4.9	26	9	۸ I	40		59		1/
454					1		944			n n	9/
151				22			26		26		34
452				12	9.	l ñ	1 1		1 0	ň	82
154				14	1 1		34		ĥ	9	54
154					1			l õ		ก็ไ	96
К-23				24		ได้	60	l õ	36		0
К-45		20	ถ้	48	8	Ň	40	۱ŏ	56	ด้	ŏ
61 0	4	4	0	32	0	0	40	0	48	0	48
	<u> </u>	 _ ,	<u> </u>			<u> </u>		<u> </u>			20
W	1,4 186	5,4 148	_	19,6	3,4 94	_	67	_	26 85	1,2 250	39 100
	I	l	l	1	I	Ł	1	I	1	l	1

4. Наибольшая частота встречаемости зерен кварца без структурных дефектов (при наименьшем коэффициенте вариации *W*) характерна для молодых гранитоидов.

5. Типичными структурными дефектами жильного кварца являются БН и ВУП.

6. Величина коэффициента вариации *W* характеризуется устойчивостью встречаемости данного признака от образца к образцу. В этом смысле обращают на себя внимание высокие значения *W* для МИЛК и ББ, причем для кварца метаморфических пород они заметно выше, чем для кварца древних гранитоидов. Высокое значение *W*, очевидно, отражает «экзотичность» этих признаков для породообразующего кварца. МИЛК и ББ обычно присутствуют в кварце из пород, подвергшихся интенсивному динамометаморфизму, и, следовательно, вторичны по отношению к кристаллизационным структурным дефектам.

7. Наоборот, коэффициент вариации относительно низок для ВУО (во всех генетических типах кварца), что отражает обычность, устойчивость данного признака. По-видимому, возникновение ВУО в большинстве случаев контролировалось условиями генезиса кварцсодержащих пород.

В целом, исходя из анализа дефектов кварца эталонных образцов, можно заключить, что они дают относительно меньше возможностей для генетической интерпретации обломочного кварца по сравнению с изучением включений минералов и минералообразующей среды в кварце. Различать по структурным дефектам кварц метаморфических пород и кварц древних гранитоидов практически невозможно.

Нами подсчитаны частоты встречаемости различных структурных дефектов в нескольких образцах кварцсодержащих песчаных пород (табл. 4).



Таблица 4

Частота встречаемости структурных дефектов кварца песчаных пород (в %)

№ образца	мип	мг	милк	БН	БЛ	ББ	вуо	ВУФ	вуп	пд	БД
Π_1	Б	2		40	26		22		25	40	94
П-1	5	2	4	28	15		25	8	16	6	27
П-3	10	4	4	28	4	ŏ	56	12	22	8	16
109	0	0	0	19	13	1	53	6	17	1	24
163	1	0	0	17	15	0	39	0	15	0	40
135	2	0	0	8	6	0	44	4	12	0	34
14/144	12	0	0	42	12	0	52	2	34	0	10
102	4	0	0	4	4	0	24	0	16	0	56

Данные табл. 4 проиллюстрированы столбиковой диаграммой (фиг. 16). Анализ табл. 4 и фиг. 16, как и следовало ожидать, не позволяет сделать определенных выводов о генезисе обломочного кварца. Тем не менее из этих результатов можно сделать ряд интересных заключений.

1. Значительное различие диаграмм для образцов с Русской платформы (II-1, П-2, П-3) и из Алданского щита (109, 163, 135). Оно проявляется в наличии различных видов мозаичности и пластической деформации кварца обр. П-1, П-2 и П-3 при почти полном отсутствии этих структурных дефектов кварца обр. 109, 163 и 135. В последних отмечается значительно большее количество зерен без структурных дефектов. В то же время обращает на себя внимание значительное сходство диаграмм для каждой из двух групп образцов. Повидимому, наблюдаемая закономерность отражает унаследованность обломочного материала двух очень крупных и совершенно разобщенных регионов, а также, вероятно, и различный характер дифференциации кварца в процессах седиментогенеза.

2. Явно повышенная встречаемость ВУО в кварце образцов песчаных пород (33— 56%) по сравнению со средними частотами встречаемости его в кварце эталонных образцов (28,7—45%). Причина такого несоответствия неясна.

3. Кварц в образце незрелого аркозового песчаника (14/144) заметно более дефектен по сравнению с кварцем чисто кварцевых песчаных пород, что находится в соответствии с закономерностью, выведенной Х. Блаттом и Дж. Кристи (Blatt, Christie, 1963). Как уже отмечалось, эти исследователи установили, что в процессе созревания песчаных пород сильно дефектные зерна уничтожаются, и зрелые квар-



Фиг. 16. Диаграмма частот встречаемости структурных дефектов в кварце песчаных пород

цевые породы обогащены соответственно слабодефектными и бездефектными зернами кварца.

4. Дефектность метаморфизованного обломочного кварца из сегозерских кварцитов (обр. 102) значительно ниже, чем кварца образцов пород, постседиментационное преобразование которых доходило лишь до стадии глубинного эпигенеза (Симанович, 1969).

Возможности генетической интерпретации обломочного кварца по встречаемости структурных дефектов крайне ограничены. По всей вероятности, степень развития и видовой состав оптически определимых структурных дефектов кварца зависят от последующего преобразования в результате воздействия повышенных температур в различных тектонических процессах. Именно следствием этого является принципиальная однотипность (статистическая) структурных дефектов кварца метаморфических пород и древних гранитоидов, так как после своего возникновения эти породы слагали единые кристаллические массивы и пережили за время своего существования воздействие одних и тех же геологических процессов.

Структурные дефекты могут оказаться полезными при анализе обломочного кварца конкретного региона, где заведомо предполагаются определенные источники сноса, породы которых претерпели активные тектонические воздействия. Наиболее интересны с этой точки зрения структурные дефекты явно вторичного (стрессового) происхождения — МИЛК, МБ, ББ и частично ВУП, которые могут развиваться в кварце любого генезиса.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В КВАРЦЕ

Макроскопические включения минералов в кварце известны очень давно. Включения рутила, имеющие вид длинных тонких игл внутри кристаллов кварца, получили название «волосы Венеры». Часто встречаются также игловидные включения турмалина, особенно в кварце пегматитов. В жильном кварце иногда присутствуют игольчатые или волокнистые кристаллы амфиболов. В аметисте обычно отмечаются игольчатые включения гетита. В гидротермальном кварце включения особенно разнообразны. По Дж. Дэна и др. (1966), в жильном кварце отмечались включения антимонита, арсенопирита, пирротина, брукита, пирохлора, циркона, ангидрита, самородной меди, эпидота, гидденита, ильменита, магнетита, сидерита, доломита, топаза, сфена и слюды. Нередки также включения глинистых частиц и дисперсных окислов железа.

По-видимому, в кварце могут быть включены любые породообразующие, акцессорные или рудные минералы, если только парагенезис кварца с ними не «запрещен».

История исследования микроскопических минеральных включений в кварце горных пород связана с использованием обломочного кварца как источника информации о происхождении его за счет тех или иных кристаллических пород. Изучением включений минералов в кварце занимались В. Мэкки (Mackie, 1896), Л. Кайе (Cayeux, 1929), П. Крынин (Krynine, 1940), Келлер и Литтфилд (Keller, Littlefield, 1950). Остановимся на классификации минеральных включений Келлера и Литтфилда, наиболее полно отражающей успехи исследований в этом направлении и являющейся развитием положений, высказанных В. Мэкки еще в 1896 г. Келлер и Литтфилд различают следующие типы включений в кварце горных пород.

1. Правильные включения: плагиоклаз, биотит, мусковит, апатит, циркон, роговая обманка, эпидот, пирит, рибекит, эгирин, топаз, монацит, рутил, гранат и гематит. Наиболее характерны для кварца гнейсов и метаморфических сланцев.

2. Апикулярные включения. В кварце метаморфических пород — силлиманит и кианит, изверженных — рутил, гораздо реже — турмалин, иногда иголочки рибекита. Наиболее характерны для кварца интрузивных пород. 3. Глобулярные (газово-жидкие) включения типичны для кварца интрузивных пород.

4. Неправильные включения (рудная пыль и скопления рудных минерадов) также встречаются чаще всего в кварце изверженных пород.

При исследовании эталонной коллекции кварца горных пород различного генезиса нами диагностировались следующие минеральные включения: полевой шпат, биотит, мусковит, роговая обманка, апатит, циркон, рутил, сфен, турмалин, силлиманит, дистен, эпидот, гранат, графит, рудные минералы и кальцит. Вследствие очень малых размеров минеральных включений в кварце их диагностика иногда сопряжена со значительными трудностями. Поэтому сомнительные определения не учитывались.



В табл. 5 приведены результаты подсчетов частот встречаемости минеральных включений в кварце разного генезиса. Кварц кислых эффузивов и пегматитов, а также жильный кварц не рассматриваются, поскольку они практически не содержат включений. По частотам встречаемости включений для каждого типа пород подсчитаны средняя арифметическая (M) и коэффициент вариации (W). Среднее арифметическое частот встречаемости включений в кварце данного типа пород отражает их важность для диагностики генетического типа кварца, а коэффициент вариации — устойчивость встречаемости минеральных включений в кварце данного типа пород (устойчивость обратно пропорциональна коэффициенту вариации). Для минеральных включений в кварце трех исследованных типов пород посстроен график зависимости M от W (фиг. 17).

Из табл. 5 и графика видно, что:

1. Большинство включений характеризуется малой устойчивостью встречаемости (W от 100 до 300%).

2. Четко выделены три поля:

а) поле с относительно высокими значениями *М* при сравнительно повышенной устойчивости встречаемости — рутил игольчатый и биотит в кварце метаморфических пород и древних гранитоидов, а также графит в кварце метаморфических пород. Можно ожидать наиболее высокую встречаемость этих минералов в зернах обломочного кварца;

б) поле с низкими значениями M (от 1 до 8) и высокими W (от 100 до 300%). В это поле попадает много точек полевых шпатов, циркона, апа-

Таблица 5

Частота встречаемости минеральных включений в кварце различных типов горных пород (в %)

							_			-							
№ образца	Полевой шиат	Биотит	Мусковит	Амфибол	Апатит	Циркон	Рутал	Сфен	Турмалин	Силлиманит	Дистен	Эпидот	Гранат	Графит	Рудный	Кальциг	Без включе- ний
						1	Mema	мо Dd	Surec	sue n	го род	ы					
4	1 9	IE	٨		1 99	[2	1 22	1 3	1.0	1 0	1 0	1.0	. 4	۱ <u>۵</u>	1 1	1 0	1 38
6	14	18			2	16	0	l õ	l õ	l ŏ	8	lő		ŏ	52	2	34
9	6	0	6	l õ	2	8	Ŏ		١ŏ	l õ	6	Ŏ	Ŏ	Ŏ	10	ō	66
17	6	ŏ	72	l õ	2	56	10	2	12	0	0	0	0	Ō	0	0	6
23	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	36	4	0	0	12	0	48
27	12	28	0	40	2	16	0	0	0	0	0	6	0	100	0	0	0
28	6	10	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	0	100	0	0	0
43	0	44	2	0	0	0	0	0	0	0	22	8	12	0	4	0	38
72	9	40	29	0	1	0	2	23	0	0	0	0	0	74	0	0	
73	12		0	24	34	ļ Ņ											28-
82		82				4					24	4		98	0		
80 09	14	10			8	20		14		22		0			92 92		14
09 Q4	1	40 41		4	65	5	1	6		0			6		1		8
93	8	34	ŏ		3	0		Ŏ	lő	ŏ	ŏ	lŏ	0	ŏ	Ō	ŏ	46
96	8	34	ŏ	34	24	ŏ	ŏ	Ŏ	0	0	lŏ	ŏ	12	Ŏ	14	Ő	26
107	16	18	Ŏ	2	14	Ŏ	Ō	Ō	0	0	Ō	0	0	0	0	0	62
109	4	18	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	66	0	0	30
111	2	24	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72
114	8	22	0	0	0	0	100	0	0	0	0	6	2	8	0	0	0
116	12	54	0	0	0	0	52	0	0	0	0	4	0	0	0	0	20
249	4	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	72.
257	0	64	4	0	0	0	72		0		0						24
260	4	36	0		0	0											44
202		16	4		0	0	04										20
281	4	4	42	42	0	0										0	80
287	0	0	12	0	Ő	ŏ	Ö	Ŏ		ŏ	Ŏ	lŏ	Ŏ	0	ŏ	12	80
288	4	ŏ	Ő	Ő	Ő	Õ	0	Ŏ	0	l ŏ	Ŏ	ŏ	Ō	Ŏ	Ō	0	96
293	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
M	5,4	23	5	3,6	6	4,5	13	3,3	—		3,1	1,5	1,4	14,4	4,1	0,8	38,4
W	89	98	285	275	225	247	192	815		-	851	173	250	226	246	300	75
•		•				•	Д рев	ние г	рани	mouô	ы.	-					
<u> </u>	A 1	<i>,</i> .	بر		റ 1		 	0	- י ה		<u> </u>					1 0	1 00
ゴ			1	<i>v</i>	4	1	40	N I			0	0	0		3		58
13	°	2	6	4	4	4	42	ŏ I	ŏ		0	0	0	0	0	n n	56
60	4	10	ŏ	ő	8	ŏ	46	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ő	Ő	ŏ	32
61	4	Ĩ 6	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	48	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ō	2	Ō	66
62	6	4	2	0	0	8	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
76	6	2	0	2	6	0	16	0	0	0	0	0	0	0	2	0	66
80	0	18	0	14	0	0	76	0	0	0	0	22	0	0	1	0	13
92	0 [40	0	0	8	2	6	0	0	0	0	24	0	0	0	2	34.
l	- I	l	- I	1	l	I	I	1	1	1	1	1	1	1		I I	I

47

Таблица 5 (окончание)

М образца	Полевой шпат	Биотит	Мусковит	Амфибол	Апатит	Циркон	Рутил	Сфен	Турмалин	Силлиманит	Дистен	Эпидот	Гранат	Графит	Рудный	Кальцит	Без включе- ний
0/		37															
94 05		18										54					42
101	4	2	ŏ	4	2	2	76			lő					Ĭĭ		18
108	4	14	Ō	lo	ō	ō	2	Ŏ	l ő	Ŏ	Ŏ	34	ŏ	lŏ	Ô	ŏ	56
112	0	18	16	0	0	0	14	0	Ō	Ō	l	2	Ŏ	Ŏ	1	8	50
123	0	0	16	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	4	64
124	4	0	0	0	2	0	28	0	0	0	0	0	0	0	2	4	64
2 3 4	0	6	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68:
235	0	16	0	0	3 0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	4	1	42
236	4	44	0	0	0	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
237	12	32	0	0	8	0	84	0	0	0	0	0	0	0	4	0	8
238	2	34	0	0	8	8	42	0	0	0	0	0	0	0	2	0	32
270	4	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	4	92
272			4		0		24	0		0			0	0	0		
213		16	4		,	4	64							0	4	4	28
274 976		28			4	0	90										4
210	ľ		U		0	U		U					0			0	100
М	28	13,6	1,7	0,9	3,2	1,1	33,3	-	1	_		5,2	_	_	1,3	1,3	45
W	118	102	254	289	194	209	8 9	-	-	-	-	252	-	-	131	185	54
	•			•			Мол	одые	гран	umou	பிக பிக					1	•
121	0	2	0	0	Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98
134	22	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74
136	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94
143	10	6	0	0	8	6	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74
145	0	0	28	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
146	0	0	0	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
147	0	2	0	0	0	0	4		0	0	0	0	0	0	0	0	94
158	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0	0		4		96 06
107	4		<u> </u>			0	2	<u> </u>	-	0	0	<u> </u>	<u> </u>	0	0	0	90
М	4,4	2,4	_	_	1,8	_	3,1	_	_		_	_	_	_		_	87
W	143	112	-		183		129	_			-	_			-		127
		(- 1			

тита, мусковита, роговой обманки, эпидота, граната, кальцита и рудного минерала;

в) поле с низкими значениями M и очень высокими значениями W — «экзотические» минеральные включения (сфен и дистен). Силлиманит, а также мусковит, рудный минерал и эпидот молодых гранитоидов могут быть отнесены к этому «полю», хотя M и W для них не рассчитаны вследствие их встречаемости лишь в единичных образцах. Минералы этого «поля», по-видимому, должны встречаться в обломочном кварце очень редко.

3. Графит, гранат, силлиманит, дистен и сфен встречаются только в кварце метаморфических пород.

4. Игольчатый рутил — очень характерный минерал для древних гранитоидов. Изучение ряда эталонных образцов метаморфических пород, кварц которых содержит рутил, показало, что они в той или иной степени транитизированы. Таким образом, рутил — диагностический минерал для кварца древних гранитоидов и гранитизированных метаморфических пород.

5. Средняя частота встречаемости биотита повышена для кварца как метаморфических пород, так и древних гранитоидов. Однако в первых *М* включений биотита заметно выше и это, вероятно, должно свидетельствовать в пользу его преимущественно метаморфогенного генезиса.

6. Присутствие включений апатита, циркона, мусковита, роговой обманки, эпидота и рудного минерала не позволяет однозначно определять тип обломочного кварца. Однако суммарная частота их встречаемости, очевидно, должна соответствовать суммарной частоте встречаемости кварца гранитоидного и метаморфогенного генезиса. Это дает возможность отделять кварц данных генетических типов от кварца иного генезиса.

7. Наибольшее разнообразие и сравнительно высокая частота встречаемости включений характерны для кварца метаморфических пород. В кварце древних гранитоидов отмечаются высокие частоты встречаемости рутила, но содержание других минеральных включений несколько ниже. На третьем месте по частоте присутствия включений в кварце — молодые (постпротерозойские) гранитоиды.

По поводу анализа частот встречаемости включений в кварце различного генезиса необходимо сделать следующие пояснения.

1. Как уже указывалось, статистическое изучение включений в кварце кислых эффузивов, пегматитов и в гидротермальном кварце не проводилось, поскольку кварц имеющихся в нашем распоряжении образцов практически лишен включений. Между тем в литературе приводится большой список минеральных включений, встречающихся в кварце пегматитов и жильном кварце. Очевидно, это противоречие связано с относительно малой насыщенностью такого кварца включениями значительно более крупными, чем в кварце гранитоидов и метаморфических пород. Естественно, что вероятность встречаемости таких включений в изучаемой нами фракции (0,2—0,25 мм) кварца крайне невелика.

Тем не менее в песчаной породе возможно присутствие «гидротермальных» зерен обломочного кварца с минеральными включениями. В кварце эффузивного генезиса минеральные включения встречаются очень редко.

2. При диагенезе и эпигенезе терригенных пород состав включений в зернах обломочного кварца не изменяется. Таким образом, при многократном перемыве осадочных толщ минеральные включения в кварце содержат информацию лишь о кварце первичного происхождения за счет размыва тех или иных кварцсодержащих кристаллических пород. При более глубоком постседиментационном преобразовании терригенных пород происходит метаморфизм обломочного кварца, сопровождающийся полным (или почти полным) уничтожением первичных минеральных включений и возникновением парагенезиса включений, соответствующего условиям метаморфизма и химизму породы (Симанович, 1969).

В табл. 6 приведены частоты встречаемости (n) минеральных включений в обломочном кварце, которые мы сравниваем со средними арифметическими (M), вычисленными для эталонных образцов кварца различных групп пород, так как они характеризуют частоты встречаемости минеральных включений в кварце статистической модели кварцевого песка определенного генезиса.

На фиг. 18 приведены диаграммы частот встречаемости (*n*) наиболее интересных в генетическом отношении включений минералов в обломочном кварце различных песчаных пород.

Анализ диаграмм показывает:

1. Четкую циркон-силлиманитовую ассоциацию минеральных включений при низкой частоте встречаемости рутила в обломочном кварце обр. П-1 и П-2. Исходя из установленных нами закономерностей, можно считать, что эти образцы представляют в основном кварц метаморфогенного генезиса.

Частота встречаемости минеральных включений в обломочном кварце песков, песчаников и кварцито-песчаников (в %)

Ne of pasua	110левой шпат	Биотит	Мусковит	Амфибол	Апатит	Циркон	Рутил	Сфен	Турмалин	Силлиманит	Дистен	Эпидот	Гранат	Графит	Рудный минерал	Кальцит	Без включе- ния
П-1 П-2 П-3 169 163 132 135 14/144 102	3 1 2 0 1 0 2 4 0	7 6 4 5 8 8 18 0	i 3 10 0 5 1 2 4 0 32	0 0 0 0 0 0 0 0 0	1 2 0 2 0 6 8 6 4	11 6 2 2 2 2 2 2 0 4 0	2 4 12 28 19 56 6 56 24	1 0 0 0 0 0 2 0 0 0	0 0 1 1 0 4 2 0	6 10 0 1 6 0 0 0 0 0	0 0 0 1 .0 4 0 0	0 0 0 0 2 2 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	4 2 2 1 0 0 0 0 0	2 1 4 0 4 0 4 0 2 0	1 1 0 0 0 0 0 0 0	70 61 70 72 70 36 58 30 44

2. Значительно более высокое содержание рутила в кварце обр. 109 и 163. По-видимому, они представлены в основном гранитоидной ассоциацией обломочного кварца.

3. Близость ассоциаций минеральных включений в кварце в парах обр. П-1 — П-2 и 109—163, вероятно, свидетельствующая о неоднократном перемыве обломочного материала или об унаследованности источников сноса.

4. Явно более «гранитоидный» состав обломочного кварца обр. П-З, представляющего более высокий стратиграфический уровень моренных отложений по сравнению с обр. П-2, что свидетельствует о смене источников сноса.

5. Резко повышенную частоту встречаемости рутила в кварце аркозового песчаника (обр. 14/144), что свидетельствует о едином гранитоидном источнике сноса.

6. Четкую дифференциацию генетических типов кварца обр. 132 и 135. Они отобраны из соседних прослоев кварцитовидных песчаников и отличаются по размерности слагающих их обломочных зерен. В обр. 135, как и в других образцах, изучалась фракция 0,2 — 0,25 мм, а в обр. 132 — фракция 0,5—1 мм. Из диаграмм видно резкое различие ассоциаций обломочного кварца. Обр. 135 представлен в основном метаморфогенным кварцем, обр. 132, судя



Фиг. 18. Диаграмма частот встречаемости минеральных включений в обломочном кварце песчаных пород

по очень высокой встречаемости рутила, имеет гранитоидный генезис.

7. Лишь три типа минеральных включений при довольно высокой частоте включений мусковита и рутила в кварце обр. 102 (сегозерский кварцито-песчаник, Карелия). Выявление такой узкой и своеобразной ассоциации минеральных включений подтверждает ранее сделанный вывод о метаморфизме обломочного кварца сегозерских кварцито-песчаников (Симанович, 1969).

включения минералообразующей среды в кварце

Жидкие и газово-жидкие включения в кварце хорошо известны. Размеры их колеблются в широких пределах — от микроскопических и субмикроскопических до вакуолей, содержащих до 1 мл жидкости. Известны случаи обнаружения гигантских включений минералообразующей среды (до 400 см³) в кристаллах кварца (Приказчиков и др., 1964).

Включения минералообразующей среды — это более или менее насыщенные водные растворы, содержащие главным образом Na, K, Ca, Cl, SO₄ и CO₂. Последний компонент встречается не только в растворе, но и в виде самостоятельной жидкой фазы; в этом случае вакуоли обычно состоят из раствора и жидкой CO₂. Кроме того, в кварце обнаруживают NH₃, H₂S и N, безусловно, связанные с включениями минералообразующей среды. Иногда в жидкости, выполняющей включения, свободно плавают изотропные кристаллики кубической формы, по-видимому, NaCl.

В настоящее время включения минералообразующей среды в различных минералах, в том числе и в кварце, активно изучаются с целью познания их генезиса — определения химизма, температуры и давления растворов, из которых кристаллизовались эти минералы. По Н. Е. Ермакову (1950), наибольшее значение для выяснения генезиса минералов имеют формы, размеры и фазовый состав включений. Так, присутствие затвердевших включений свидетельствует о магматогенном происхождении минералов. Газовые включения характерны для пневматолитового, а существенно газовые и газово-жидкие — для пневматогидатогенного минерало-образования. Реликты кристаллизационной среды минералов, образовавшихся в гидротермальных условиях, отличаются жидким и газовожидким составом. Генетическая интерпретация по фазовому составу сильно затруднена из-за частого присутствия вторичных включений минералообразующей среды, формирующихся при залечивании трещин механического происхождения.

Форма включений минералообразующей среды также зависит от условий их формирования. А. В. Лоскутов (1959) показал, что совершенство формы включений зависит от температурных условий, в которых происходило залечивание трещин: чем выше температура, тем больше форма включений приближается к равновесному отрицательному многограннику.

Генетическую интерпретацию включений минералообразующей среды в обломочном кварце сильно затрудняет неодинаковая изученность кварца различных типов горных пород. Включениям в жильном кварце и кварце пегматитов посвящено большое количество работ. В то же время о включениях минералообразующей среды в кварце изверженных и метаморфических пород известно очень мало, а именно эти породы, несомненно, являются основными поставщиками обломочного кварца.

Первая попытка оценки генезиса обломочного кварца по включениям была сделана В. Мэкки (Mackie, 1896). Одним из типов обломочного кварца им был выделен кварц с глобулярными (жидкими и газово-жидкими) включениями, свидетельствующими, по мнению этого автора, о его интрузивном генезисе. Л. Кайе (Cayeux, 1929) считал, что газовые и жидкие включения редко встречаются в кварце метаморфических пород и характерны для кварца изверженных пород. Мутный кварц (с включениями

Таблица 7

Частота встречаемости признаков включений минералообразующей среды в кварце. различного генезиса (в %)

	Разм	1ep		Фо	рма]		Фазові	ый сос	тав]	ł	I асыщ	еннос	гь	
"№ образца	мелкие	крупные	огранен- ные	полуог- раненные	непра- вильные	уплощен- ные	жидкие	газово- жидкие	ra30Bble	много- фазные	затвер- девшие	слабая	средняя	высокая	очень высокая	Без вилю- чений
					М	етам	орфич	iècĸue	поро	ды						
1	76	15	1	3	5	16	17	3 (3	0	0	63	13	0	0	24
6	68	28	0	6	56	6	6	6	18	0	0	46	14	4	0	36
9	66	38	0	0	70	18	16	20	12	0	0	60	12	0	0	28
17	58	6	0	0	52	6	0	4	4	0	0	56	2	0	0	42
23	58	6	0	0	44	4	4	4	0	0	0	42	16	0	0	42
27	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	38
~28 73	30	4 50	6	22	38 64	4	14	16	0	0	0	40 37	30	49	0	24
40	37	30 4	1	32 1	94	0 6	14	40	ೆರಿ ೧			36	30	12	0	62
73	68	46	2	8	66	20	20	22	5 12	6	õ	52	20	õ	õ	28
82	14	0	0	0	0	0	0	0	0	ŏ	Õ	14	0	0	Ŏ	86
88	54	36	0	10	46	16	18	10	14	2	0	48	12	0	0	40
89	56	15	0	5	41	5	6	7	11	0	0	52	5	0	0	43
91	51	1	1	0	29	0	0	0	1	0	0	49	3	0	0	48
93	6 0	14	0	2	32	14	8	2	6	0	0	44	12	0	0	44
96	78	34	0	6	74	24	12	12	10	0	0	50	24	6	0	20
107	76	56 20	8	18	14 79	4	8	24	30	0	0	44 50	28	4	0	24
109	50	30 44	2	14	12	4	4	10	16	0	0	50	44			50
114	86	34		0	.76	14	8	10	4	10	0	60	26	0	0	14
114	42	2	0	4	38	4	0	2	0	10	Ő	44	0	ŏ	ŏ	66
249	72	48	0	4	48	8	36	32	4	0	0	48	24	0	0	28
257	84	6 0	0	• 0	60	0	4	56	12	Ō	0	36	48	0	0	16
26 0	92	48	0	0	48	4	12	32	0	24	0	40	56	0	0	4
262	72	28	0	0	24	8	8	8	0	0	0	40	32	0	0	28
279	84	68	0	8	68 (0	0	24	36	20	8	0	40	44	0	0	16
281	96	52	4	16 26	48 59	12	8	36	0	0	0	44	52	0	0	4
287	10	64 90		30 0	- 20 - 80	- 4 20	40	52 79	0			4	32 60			44
200 203	68	00 20	ο Ω	4	28	20		40	12	8		36	32			32
294	76	5 2	0	20	48	0	12	32	12	0	0	52	20	Ő	Ŏ	28
M W	65 31,7	30,7 75,2	0,93 208,7	6,5 143	48,1 43,7	7,4 81	9,45 104,2	18,1 93,9	7,7 18,1	2,2 231,8		44,3 29,1	20,7 84	0,8 362		34,4 61,9
	1	r	1	I	•	Л	і ревние	і і гран	umou	ды		1	•		•	1
3	92	1 93	86	83	91	1 29	91	1.88	81	1 0	1.0	1 15	1 36	1 40	13	16
5	94	40	6	10	80	20	8	30	8	Ő	ŏ	36	48	8	0	8
13	98	92	18	48	56	6	76	92	84	40	6	2	34	50	12	2
60	58	48	0	6	60	8	34	33	22	0	0	56	10		0	34
61	78	40	0	12	66	26	12	18	12	32	0	40	34	6	0	20
62	76	38	4	10	76	26	13	24	16	6	0	44	26	6	0	24
76	80	50		10	78	8	32	12	32	10	0	22	46	20		12
80	17	33		14	47	24	22	21	10	3	0	44	19	5	1	31

Таблица 7 (продолжение)

_	Pasi	wep		Фор	ма	Ī		Фазон	вый со	став	1	I	Іасыщ	еннос	гь	
№ образц а	мелкие	крупные	огранен- ные	полуог- раненные	непра- вильные	уплощен- ные	жидние	газово- жидкие	ra30BMe	много- фазные	затвер- девшие	слабая	средняя	высокая	очень высокая	Без вклю- чений
92 94 95 101 108 112 123 124 234	62 80 66 90 64 60 94 80 98	30 66 52 64 34 34 84 70 86	6 14 0 10 0 0 0 12 0	18 26 16 14 8 0 18 28 4	56 80 64 90 60 56 84 74 76	8 10 22 6 16 0 20 4 10	24 54 22 16 20 4 8 18 26	16 50 44 28 18 12 42 28 58	10 40 26 38 6 0 70 34 12	0 2 0 0 0 0 16 13 20	0 0 0 0 0 0 12 2 0	40 26 48 44 36 32 34 36 6	24 44 20 42 26 26 44 52 76	2 10 6 4 4 8 18 5 16	0 0 0 0 0 0 0 0 0	36 20 26 10 34 40 4 3 2
235 236 237	90 96 92	50 31 44	000000000000000000000000000000000000000	0 0 4	48 32 44	10 4 4	36 8 8	22 20 24	4 0 0	10 16 16	0	30 4 36	54 88 56	6 4 0	0 0 0	10 4 8
238 272 273 274 276	86 88 96 64 76	76 64 56 64 48	0 0 0 0 0	20 0 0 0 12	76 64 56 64 48	6 0 4 4 4	26 16 16 16 18	44 28 16 12 36	12 0 0 64 0	34 40 36 0 12	0 0 0 0 0	22 12 20 40 36	66 68 44 44 32	8 36 4 8	0 0 0 0	4 12 0 12 24
M W	81 15	55,5 34,5	4,32 200	14,4 119	66,6 24	11,4 79	24,8 83	32,8 63	28,2 108	12,8 105	0,8 320	30,4 46	42,4 53	11 113	0,64 375	15,6 77

Молодые гранитоиды

404	1 0/	. 7/ 1		21		1.97					0	1 90	1 10 1	96 1		
121	94	14		34	90	24	0	44	4	00	U	20	48	20	U	0
134	92	96	52	82	98	10	0	94	94	62	0	6	42	50	0	2
136	96	82	0	8	90	26	16	18	6	8 2	8	20	32	46	0	2
14 3	90	78	0	24	90	6	14	70	46	22	4	16	44	80	0	10
1 45	100	96	4	16	100	12	1 2	6 0	64	36	0	4	44	48	4	0
146	100	72	0	2	64	40	54	48	8	16	0	2	48	46	4	0
147	96	86	2	36	94	18	4	62	30	52	4	0	32	52	12	4
158	40	38	4	10	44	6	4	25	8	6	0	32	18	0	0	50
167	84	72	0	14	88	10	16	12	30	48	0	28	44	18	0	10
M	88	77,1	6,9	25,1	83,1	16,9	13,3	48,2	32,2	42,4	1,8	14,2	39,1	35,1	2,2	9,3
W	20	21,3	23,2	91,6	20,7	62,1	118	52,1	90,7	55,4	150	77,4	24	48,4	100	158

						Жиль	ный	кварц								
l49 152 154 155	100 94 76 50	90 96 92 46	2 38 12 8	22 78 26 22	98 94 94 54	14 26 22 12	17 6 32 20	60 84 26 30	4 62 16 4	26 44 0 8	0 22 0 24	0 2 16 30	0 48 64 34	28 42 14 0	72 6 0	0 2 6 36

Таблица 7 (окончание)

	Рази	wep		Ф	орма			Фазон	вый со	став	_	ł	Іасып	еннос	гь	
М образц а	мелкие	крупные	огранен- ные	полуог- раненные	непра- вильные	уплощен- ные	жидкие	газово- жидкие	газовые	много- фазные	затвер- девшие	слабая	средняя	высокая	очень высокая	Без вклю- чений
23	100	100	0	24	100	12	88	80	0	16	0	0	12	84	4	0
K-45	100	100	0	12	100	24	76	80	0	4	0	8	28	64	0	0
610	100	100	0	32	100	24	100	92	0	0	0	0	4	68	28	0
M	88,6	8 9, 1	8,6	31	91,4	19,1	55,4	64,6	12,3	14,0	6,6	8	27,1	42,9	15,7	6, 6
W	19,7	20,4	148,8	61,3	17 , 1	30,9	56,2	38,2	169,9	107,1	156	122	80,8	66,2	158	183,3

минералообразующей среды) в качестве одного из типов фигурирует в классификации обломочного кварца Г. Г. Леммлейна и В. С. Князева (1951).

Включения минералообразующей среды в кварце используют для геологической термометрии и барометрии. Метод гомогенизации основан на исчезновении газового пузырька в вакуоли при нагревании включения. Температура, при которой вакуоль заполняется однородным флюидом, принимается за температуру образования включения. Более грубым, но позволяющим вести массовые определения является метод декрепитации, основанный на фиксации температуры растрескивания (взрывания) включений минералообразующей среды при постепенном нагревании образца. Взрывы фиксируются при помощи микрофона (термозвуковой метод) или по скачкам давления в вакуумной камере (термовакуумный метод). Применяя термозвуковой метод, Ю. А. Долгов (1954) стратиграфически расчленил по кварду терригенные осадочные толщи неогена Закарпатья. Термозвукограммы обломочного кварца различных стратиграфических уровней получились достаточно контрастными: на одних фиксируется очень малое количество взрывов (или совсем нет), на других отмечается максимум в области 500° С.

Метод определения pH суспензии тонкоизмельченного кварца (Костылева, Сухушина, 1957) по существу основан на щелочно-кислотных свойствах включений минералообразующей среды в кварце; pH суспензии колеблется в пределах 5,6—7,8. Метод применяется для расчленения генераций рудного кварца.

В эталонных образцах нами изучена частота встречаемости различных признаков включений минералообразующей среды. Рассмотрены следуюцие признаки включений.

1. Размер — мелкие и крупные. Крупными мы считаем включения, в которых уверенно распознаются форма и фазовый состав при объективе × 40.

2. Форма — ограненные, полуограненные, неправильные и уплощенные. -

3. Фазовый состав — жидкие, газово-жидкие, газовые, многофазные и затвердевшие.

4. Насыщенность зерен включениями определяется визуально по следующим относительным градациям:

а) низкая насыщенность — единичные крупные включения, единичные цепочки мелких включений;

б) средняя насыщенность — несколько крупных, несколько цепочек (лент) мелких включений;

в) высокая насыщенность — скопления крупных, большое количество цепочек (лент) мелких включений;

52

Габлица 7 (продолжение)

.

	Pasi	wep		Фор	ма			Фазон	вый со	став		F	Іасыщ	еннос	гь	
№ образц а	мелкие	крупные	огранен- ные	полуог- раненные	непра- вильные	уплощен- ные	жидкие	газово- жидкие	ragoble	много- фазные	затвер- девшие	слабая	средняя	высокая	очень высокая	Без вклю- чений
92	62	30	6	18	56	8	24	16	10	0	0	40	24	2	0	36
94	80	66	14	26	80	10	54	50	40	2	0	26	44	10	0	20
95	66	52	0	16	64	22	22	44	26	0 `	0	48	20	6	0	26
101	90	64	10	14	90	6	16	28	38	0	0	44	42	4	0	10
108	64	34	0	8	60	16	20	18	6	0	0	36	26	4	0	34
1 12	60	34	0	0	56	0	4	12	0	0	0	32	26	8	0	40
12 3	94	84	0	18	84	2 0	8	42	70	16	12	34	44	18	0	4
12 4	80	70	12	28	74	4	18	28	34	13	2	36	52	5	0	3
234	98	86	0	4	76	10	26	58	12	20	0	6	76	16	0	2
2 35	90	·50	0	0	48	10	36	22	4	10	0	30	54	6	0	10
236	96	31	0	0	32	4	8	20	0	16	0	4	88	4	0	4
237	92	44	0	4	44	4	8	24	0	16	0	36	56	0	0	8
238	86	76	0	20	76	6	26	44	12	34	0	22	66	8	0	4
272	88	64	0	0	64	0	16	28	0	40	0	12	68	8	0	12
273	96	56	0	0	56	4	16	16	0	36	0	20	44	36	0	0
274	64	64	0	0	64	4	16	12	64	0	0	40	44	4	0	12
276	76	48	0	12	48	4	18	36	0	12	0	36	32	8	0	24
M	1 Q1	55 5	1	44.4		11 4	94 0	222 0	1 	10 0		20 4	<u> </u> 49 4			15 B
w	45	37 E	4,04	14,4	00,0	11,4	44,0 02	34,0 62	40,4	14,8	220	00,4	42,4	11	375	13,0
.,	13	54,5	200	119	24	19	00	υõ	100	105	520	40		113	515	

Молодые гранитоиды

121	94	74	0	34	90	24	0	44	4	68	0	20	48	26	0	6
134	92	96	52	82	98	10	0	94	94	62	0	6	42	50	0	2
136	96	82	0	8	90	26	16	18	6	82	8	20	32	46	0	2
143	90	78	0	24	90	6	14	70	46	22	4	16	44	80	0	10
145	100	96	4	16	100	12	1 2	6 0	64	36	0	4	44	48	4	0
146	100	72	0	2	64	40	54	48	8	16	0	2	48	46	4	0
147	96	86	2	36	94	18	4	62	30	52	4	0	32	52	12	4
158	40	38	4	10	44	6	4	25	8	6	0	32	18	0	0	50
167	84	72	0	14	88	10	16	12	30	48	0	28	44	18	0	10
M W	88 20	77,1 21,3	6,9 23,2	25,1 91,6	83,1 20,7	16,9 62,1	13,3 118	48,2 52,1	32,2 90,7	42,4 55,4	1,8 150	14,2 77,4	39,1 24	35,1 48,4	2,2 100	9,3 158

								• •								
1 49	100	90	2	22	98	14	17	60	4	26	0	0	0	28	72	0
152	94	96	38	78	94	26	6	84	62	44	$2\overline{2}$	2	48	42	6	2
154	76	92	12	26	94	22	32	26	16	0	0	16	64	14	0	6
155	50	46	8	22	54	12	20	30	4	8	24	30	34	0		36
		l							1	l		1,				

Жильный кварц

Таблица 7 (окончание)

	Разм	aep		Φα	рма			Фазон	вый со	став		ł	Іасып	еннос	гь	
№ образц е	мелкие	крупные	огранен- ные	полуог- раненные	непра- вильные	уплощен- ные	жидкие	газово- жидкие	газовые	много- фазные	затвер- девшие	слабая	средняя	высокая	очень высокая	Без вклю- чений
23	100	100	0	24	100	12	88	80	0	16	0	0	12	84	4	0
к-45	100	100	0	12	100	24	76	80	0	4	0	8	28	64	0	0
610	100	100	0	32	100	24	100	92	0	0	0	0	4	68	28	0
M W	88,6 19,7	89,1 20,4	8,6 148,8	31 61,3	91,4 17,1	19,1 30,9	55,4 56,2	64,6 38,2	12,3 169,9	14,0 107,1	6,6 156	8 122	27,1 80,8	42,9 66,2	15,7 158	6, 6 183,3

минералообразующей среды) в качестве одного из типов фигурирует в классификации обломочного кварца Г. Г. Леммлейна и В. С. Князева (1951).

Включения минералообразующей среды в кварпе используют для геологической термометрии и барометрии. Метод гомогенизации основан на исчезновении газового пузырька в вакуоли при нагревании включения. Температура, при которой вакуоль заполняется однородным флюидом, принимается за температуру образования включения. Более грубым, но позволяющим вести массовые определения является метод декрепитации, основанный на фиксации температуры растрескивания (взрывания) включений минералообразующей среды при постепенном нагревании образца. Взрывы фиксируются при помощи микрофона (термозвуковой метод) или по скачкам давления в вакуумной камере (термовакуумный метод). Применяя термозвуковой метод, Ю. А. Долгов (1954) стратиграфически расчленил по кварду терригенные осадочные толщи неогена Закарпатья. Термозвукограммы обломочного кварца различных стратиграфических уровней получились достаточно контрастными: на одних фиксируется очень малое количество взрывов (или совсем нет), на других отмечается максимум в области 500° С.

Метод определения pH суспензии тонкоизмельченного кварца (Костылева, Сухушина, 1957) по существу основан на щелочно-кислотных свойствах включений минералообразующей среды в кварце; pH суспензии колеблется в пределах 5,6—7,8. Метод применяется для расчленения генераций рудного кварца.

В эталонных образцах нами изучена частота встречаемости различных признаков включений минералообразующей среды. Рассмотрены следующие признаки включений.

1. Размер — мелкие и крупные. Крупными мы считаем включения, в которых уверенно распознаются форма и фазовый состав при объективе × 40.

2. Форма — ограненные, полуограненные, неправильные и уплощенные. -

3. Фазовый состав — жидкие, газово-жидкие, газовые, многофазные и затвердевшие.

4. Насыщенность зерен включениями определяется визуально по следующим относительным градациям:

а) низкая насыщенность — единичные крупные включения, единичные депочки мелких включений;

б) средняя насыщенность — несколько крупных, несколько цепочек (лент) мелких включений;

в) высокая насыщенность — скопления крупных, большое количество цепочек (лент) мелких включений;



Фиг. 19. Средние частоты и устойчивость встречаемости включений различных размеров в кварце

Мелкие включения: 1 — древних гранитондов, 2 — молодых гранитондов, 3 — метаморфических пород, 4 — жильном; крупные включения: 5 — древних гранитондов, 6 — молодых гранитондов, 7 — метаморфических пород, 8 — жильном

Фиг. 20. Средние частоты и устойчивость встречаемости включений различных форм в кварце

Ограненные включения: *1* — древних гранитондов, *2* — молодых гранитондов, *3* — метаморфических пород, *4* — жильном; полуограненные включения: *5* — древних гранитондов, *6* — молодых гранитондов. *7* — метаморфических пород, *8* — жильном; не правильные включения: *9* — древних гранитондов, *10* — молодых гранитондов, *11* — метаморфических пород, *12* — жильном; уплощенные включения: *13* — древних гранитондов, *14* — молодых гранитондов, *15* — метаморфических пород, *16* — жильном



Фиг. 21. Средние частоты и устойчивость встречаемости включений различного фазового состава в кварце разного генезиса

Жидкие включения: 1—превних гранитоидов, 2— молодых гранитоидов, 3— метаморфических пород, 4— жильном; газово-жидкие включения: 5—древних гранитоидов, 6—молодых гранитоидов, 7— метаморфических пород, 8— жильном; газовые включения: 9 древних гранитоидов, 10— молодых гранитоидов, 11— метаморфических пород, 12— жильном; многофазныевключения: 13— древних гранитоидов, 14— молодых гранитоидов, 15 метаморфических пород, 16— жильном; затвердевшие включения: 17— древних гранитоидов, 18— молодых гранитоидов, 19— жильном г) очень высокая насыщенность — зерно переполнено включениями минералообразующей среды.

В табл. 7 приведены частоты встречаемости различных признаков включений для кварца проанализированных образцов.

Для признаков включений в кварце каждой группы пород эталонной коллекции рассчитаны среднее арифметическое (*M*) и коэффициент вариации (*W*).

Для четырех групп признаков включений (размеров, формы, фазового состава и насыщенности) во всех исследованных эталонных образцах пород построены графики (фиг. 19—22).

Из графика для средней частоты и устойчивости встречаемости включений различных размеров (см. фиг. 19) следует.

1. Мелкие включения встречаются чаще, чем крупные, во всех типах пород, но в жильном кварце соотношение их примерно равно.

2. Средняя частота и устойчивость встречаемости и мелких, и крупных включений в кварце возрастает по ряду: метаморфические породы — древ-



Фиг. 22. Средние частоты и устойчивость встречаемости зерен кварца с различной степенью насыщенности включениями

Слабая насыщенность кварца: 1 — древних гранитоидов, 2 — молодых гранитоидов, 3 — метаморфических пород, 4 — жильного; средняя насыщенность кварца: 5 древних гранитоидов, 6 — молодых гранитоидов, 7 — метаморфических пород, 8 — жильного; высокая насыщенность кварца: 9 — древних гранитоидов, 10 — молодых гранитоидов, 11 — метаморфических пород, 12 — жильного; очень высокая насыщенность кварца: 13 — древних гранитоидов, 14 — молодых гранитоидов, 15 — жильного; включения отсутствуют в кварце: 16 — древних гранитоидов, 17 — молодых гранитоидов, 18 — метаморфических пород, 19 — жильном

ние гранитоиды — молодые гранитоиды — жильный кварц. Это возрастание весьма контрастно выражено для крупных включений и менее ярко для мелких.

Анализ данных по форме включений в кварце различных типов пород (см. рис. 20) позволяет сделать следующие выводы.

1. Средняя частота и устойчивость встречаемости включений всех форм возрастает по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды — жильный кварц. Эта закономерность является производной и связана с резким возрастанием по этому же ряду содержания крупных включений, в которых возможно определение формы.

2. Наименее распространены ограненные включения: чаще всего наблюдаются включения неправильной формы.

3. Средняя частота и устойчивость встречаемости полуограненных и особенно ограненных включений в кварце метаморфических пород чрезвычайно низки; заметно чаще ограненные и полуограненные включения отмечаются в жильном кварце и в кварце из гранитоидов.

Некоторые закономерности намечаются и в распределении *M* и *W* для включений различного фазового состава (фиг. 23).

1. Средняя частота и устойчивость встречаемости газовых включений

возрастает по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды молодые гранитоиды. Для газовых включений в жильном кварце M несколько больше, чем в кварце метаморфических пород, но возрастает значение W.

2. Рост *М* и уменьшение *W* наблюдаются для многофазных включений по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — жильный кварц — молодые гранитоиды, причем многофазные включения в кварце молодых гранитоидов отмечаются значительно чаще, чем в кварце другого генезиса.

3. Затвердевшие включения не встречаются в кварце метаморфических пород.

Анализ данных о степени насыщенности зерен включениями (см. фиг. 22) приводит к следующим выводам.

1. Средняя частота и устойчивость встречаемости зерен, слабо насыщенных включениями, возрастает по ряду: жильный кварц — молодые гранитоиды — древние гранитоиды — метаморфические породы.

2. Средняя частота и устойчивость встречаемости зерен с высокой насыщенностью контрастно возрастает по ряду: гнейсы (практически не имеют зерен с высокой насыщенностью включениями) — древние гранитоиды — молодые гранитоиды. Жильный кварц, отличающийся наибольшими значениями M, характеризуется также несколько более высоким по сравнению с молодыми гранитоидами значением W (меньшая устойчивость признака).



Фиг. 23. Средние частоты встречаемости некоторых признаков включений минералообразующей среды в кварце различных типов горных пород

 1—зерен со слабой насыщенностью включениями; 2—с высокой насыщенностью; 3—круппых;
4—ограненных; 5—газовых; 6—многофазных включений; 7— зерен без включений 3. Среднее количество зерен без включений достаточно контрастно возрастает по ряду: молодые гранитоиды— древние гранитоиды—метаморфические породы.

По поводу анализа признаков включений минералообразующей среды в кварце различного генезиса необходимо сделать следующие разъяснения.

1. По группе жильного кварца статистической обработке подверглись лишь результаты подсчета образпов. значительно насышенных лействительности включениями. В среди жильных кварцев довольно четко выделяются две разновидности: кварц, сильно насыщенный включениями, и кварц, слабо насыщенный включениями, иногда практически лишенный их. Жильный кварп второго типа не рассматривается, так как отсутствие включений не дает информации для сравнения с зернами кварца других генетических типов, также не содержащих включений. Однако при изучении кварцсодержащих терригенных пород следует учитывать возможность встречаемости зерен жильного кварца, не содержащих включений.

2. Кварц пегматитов статистически не изучался. Просмотр шлифов пегматитового кварца из различных месторождений показал, что (насыщенность его включениями резко колеблется — от слабой до очень высокой; характерны крупные газовые, многофазные и затвердевшие включения.

3. Кварц из кислых эффузивов практически не содержит включений минералообразующей среды за исключением затвердевших, которые весьма характерны для него и представлены обычно стеклом, часто раскристаллизованным.

4. Кварц терригенных пород нередко претерпевает многократное переотложение. Если терригенные породы, служившие источником сноса, за счет которого формировались кварцсодержащие породы нового цикла, не изменены или изменены в стадии диагенеза или эпигенеза, то изучение включений минералообразующей среды дает информацию лишь о первичном источнике сноса — кристаллических породах ¹. В самом деле, сейчас нет данных об изменении качественного и количественного состава включений в обломочном кварце при преобразовании его до стадии эпигенеза.

Гораздо сложнее обстоит дело с кварцем терригенных пород, претерпевших метаморфизм. Обломочный кварц таких пород либо метаморфизован с сохранением первичных кластических контуров (Симанович, 1969) либо к тому же частично или полностью пластически перекристаллизован., При глубоком метаморфизме такой кварц приобретает все признаки кварца метаморфических пород; обломочный кварц, метаморфизм которого выразился в изменении состава включений и внутренней структуры, обладает рядом специфических черт, которые ниже будут проиллюстрированы на примере кварца из сегозерских кварцито-песчаников (Карелия).

Для обобщения данных по признакам включений изученных пород эталонной коллекции построен график, где по оси ординат отложены значения M, а на оси абсцисс обозначены точки, соответствующие четырем группам кварцсодержащих пород (см. фиг. 23). На график нанесены значения признаков включений, контрастно различающихся и, следовательно, представляющих наибольшую информативную ценность. Эти значения для каждого признака соединены условными ломаными линиями.

Из графика четко видны закономерные изменения средних частот встречаемости различных признаков по ряду: метаморфические породы древние гранитоиды — молодые гранитоиды — жильный кварц. Как правило, по этому ряду наблюдается либо рост значений средних частот встречаемости (для крупных включений, зерен с высокой насыщенностью включениями), либо уменьшение этих значений (для зерен без включений).

Т	a	б	Л	И	ц	a	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Частота встречаемости признаков включений минералообразующей среды в обломочном кварце (в %)

	Раз	мер		Φο	рма			Фазо	вый со	остав			Насыг	ценнос	ть	
M 06 pa 3 បុ	мелкие	крупные	огранен- ные	полуог- раненные	непра- вильные	уплощен- ные	жидкие	газово- жидкие	racobbe	много- фазные	затвер- девшие	слабая	средняя	высокая	очень высокая	Без вклю- чений
		1			<u> </u>	[
П-1	75	35	1	10	36	3	10	11	7	5	0	45	22	8	2	23
П-2	72	34	1	6	34	7	13	10	12	2	0	41	25	7	1	26
П-3	74	54	10	18	50	18	14	42	16	10	2	20	30	22	2	26
109	92	44	0	10	44	7	13	17	5	2	1	33	57	4	0	6
163	94	43	0	2	42	9	. 13	12	4	7	0	49	42	2	1	6
14/144	98	84	8	38	80	34	74	22	26	22	2	10	48	34	6	2
102	48	76	20	60	44	0	0	72	0	28	0	64	12	0	0	24

¹ Многократно переотложенный кварц нередко распознается по реликтам регенерационных обрастаний. Однако средние частоты встречаемости газовых и многофазных включений, закономерно возрастая от кварца метаморфических пород к кварцу молодых гранитоидов, резко падают к жильному кварцу, что и следовало ожидать, исходя из преимущественного гидротермального генезиса последнего.

Среднее арифметическое (*M*) частот встречаемости по различным признакам включений мы можем рассматривать как частоты встречаемости данных признаков в неких моделях кварцевых песков, в которых равными долями для каждой из четырех групп пород участвовали исследованные эталонные образцы. Поэтому мы вправе сравнивать встречаемости различных признаков включений (*n*) в кварце естественных образцов терригенных пород (табл. 8) со средними арифметическими идентичных признаков по группам пород эталонной коллекции.

По частотам встречаемости (*n*) различных признаков включений в кварце образцов песчаных пород построен график (фиг. 24). Сравнение его с графиком, изображенным на фиг. 23, показывает:



Фиг. 24. Частоты встречаемости некоторых признаков включений минералообразующей среды в обломочном кварце песчаных пород / Условные обозначения те же, что на фиг. 23

1. Пески обр. П-1 и П-2, вероятно, наиболее бедны кварцем из гранитоидов и состоят преимущественно из кварца метаморфических пород, о чем свидетельствуют низкие значения n для ограненных, крупных и газовых включений и, наоборот, высокое содержание зерен без включений. Сравнительно повышенное значение n для высокой насыщенности включениями можно объяснить присутствием зерен кварца гидротермального или пегматитового комплексов. 2. Для обломочного кварца (обр. 109 и 163) несколько более высокие значения *n* для крупных и газовых включений и более низкие для кварца без включений, что, вероятно, обусловлено повышенной по сравнению с предыдущими образцами ролью гранитов в питающих провинциях, за счет которых сформировались соответствующие породы.

3. Близкие значения n для различных признаков каждой пары рассмотренных образцов (П-1 — П-2 и 109—163), что, возможно, свидетельствует об унаследованности источников сноса или многократном перемыве.

4. Для обр. П-З заметно повышена по сравнению с рассмотренными образцами частота встречаемости крупных, ограненных, полуограненных и газовых включений, что, вероятно, связано со значительным участием гранитов в формировании состава обломочного кварца соответствующих песков.

5. Резко повышенные значения n для крупных, ограненных, полуограненных, многофазных и газовых включений в кварце аркозового песчаника (обр. 14/144), что говорит о несомненном происхождении кварца за счет гранитов. Это вполне согласуется с минеральным составом рассматриваемых аркозовых песчаников.

6. Необычно высокие значения *n* для ограненных, полуограненных и многофазных включений при нулевом *n* для газовых включений в метаморфизованном кварце из кварцито-песчаников (обр. 102). Такие соотношения, несомненно, подтверждают ранее доказанную (Симанович, 1969) генетическую однородность состава включений в кварце, связанную с метаморфизмом обломочного кварца.

Наиболее привлекательным было бы научиться по тем или иным признакам включений «узнавать» в песчаной породе зерна кварца различного генезиса, как, например, мы различаем обломки пород в граувакках. К сожалению, возможности такого непосредственного «узнавания» ограничены.

Однозначно устанавливается генезис кварца по затвердевшим включениям, крайне редко встречающимся в обломочных зернах (например, включения стекла в кварце эффузивного генезиса).

В ряде случаев по тем или иным признакам возможны альтернативные решения. Например, очень высокая насыщенность зерна включениями скорее всего свидетельствует о его происхождении за счет гидротермального кварца, но не исключен и его первичный интрузивный генезис. Высокая насыщенность зерен включениями, присутствие ограненных и многофазных включений минералообразующей среды исключают возможность происхождения обломочного кварца за счет размыва метаморфизованных пород.

Глава IV

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛОТНОСТНЫХ СВОЙСТВ КВАРЦА В ЗЕРНАХ

введение

При выборе методики детального исследования плотностных и минералогических свойств природного кварца в зернах учитывались их известные специфические особенности и развитие техники эксперимента.

Установлено, что практически любой природный «мономинеральный» образец состоит из зерен, физические свойства которых неодинаковы. Это целиком относится и к изучаемым природным образцам кварца в зернах из пород разного генезиса и разных месторождений. Как уже указывалось, в любом образце кварца имеются различные типы зерен, которые отличаются как по включениям других минералов и минералообразующей среды, так и по рассеянным элементам, дефектам структуры, микротрещинам и т. п. При этом часто процент данного типа зерен очень мал (<1%), что сильно затрудняет, а во многих случаях делает невозможным их микроскопическое исследование в исходном образде. Кроме того, в «мономинеральных» природных образцах кварца, мономинеральность которых устанавливалась обычными микроскопическими методами, при детальном исследовании, как правило, фиксировались небольшие примеси других минералов. Что касается плотностных свойств природного кварца, то, согласно минералогической справочной литературе (Трегер, 1958, Кларк, 1969), он относится к той небольшой группе минералов, средняя плотность которых для образцов разного генезиса изменяется, как правило, в очень небольших пределах ($\pm 0.01 \ c/cm^3$). Поэтому, естественно, для выявления плотностных свойств кварца, характерных для образцов, выделенных из пород разного генезиса, невозможно было использовать старые, даже наиболее точные широко описанные методы, погрешности которых при массовой работе > 0,01 г/см³ и которыми можно определять только среднее значение плотности зернистого образда. Для исследования эталонной коллекции кварца необходим был метод анализа с погрешностью по крайней мере на порядок меньше. Кроме того, поскольку из литературы было известно, что в природных мономинеральных образцах кварца часто фиксировались разные типы зерен, было желательно, чтобы метод анализа позволял определять гистограмму распределения зерен по плотности и соответствующие статистические характеристики, а не только среднюю плотность образца. И, наконец, метод должен был обеспечивать возможность более точного микроскопического анализа разных типов зерен кварца, чем при анализе исходных образцов, в которых часто было невозможно должным образом проанализировать типы зерен, концентрация которых 🖉 1%. Для этого метод должен был обеспечивать выделение разных типов зерен из мономинеральных образдов. Отметим, кстати, что это — новая задача в технике разделения минералов: до сих пор основной задачей этой области техники считалось лишь выделение из породы мономинеральных образцов. К настоящему времени всем трем требованиям, предъявленным к методике исследования коллекции эталонных образцов кварца, удовлетворяет лишь метод гравитационной градиентной трубки, причем в варианте «деления», а не «подсчета» (Кац, 1966).

Плотностные и минералогические свойства одного из образцов песчаника нижнемеловых отложений Южной Прибалтики

Исследов на градие трубн	ания нтной се	Микроскопические исследования		Содержани ном обр	е в исход- азце, %	Колинест
Плотность, г/см ^э и фракции	Содержание зерен с дан- ной плот- ностью, вес.%	Ассоциация типов зерен	Содержание зерен во фракции, %	данного типа зерен	данного типа зерен кварца	во кварца в данном интервале плотности, %
<2,587 I	0,2	Полевой шпат Кварц с каемкой регенерации Глауконит Сростки кварца с полевым ; шпатом и	95 2 2 ≪1	$\sim 0,19$ $\sim 0,004$ $\sim 0,004$ $\sim 0,002$	~0,004	~0,004
2,587-	0,1	Кварц непрозрачный	60	~0,06	~0,06	
2,597 11		Кварц полупрозрачный с углистыми и газово-жилкими включениями	30	~0,03	~0,03	~0,009
		Полевой шпат Кварц полупрозрачный с углистыми	10 80	$\sim 0.01 \\ \sim 0.4$	0.4	
2,597 - 2,607	0,5	включениями Кварц полупрозрачный с углистыми и газово-жидкими включениями, а так- же с включениями кристалликов цир-	19	~0,1	~0,1	~0,505
111		кона и турмалина Кварц мозаичной структуры и с каем- кой регенерации	≈ 1	~0,005	~0,005	
2,607 - 2,617	2,0	Полевои шлат Кварц полупрозрачный с углистыми и газово-жидкими включениями Кварц мозаичной структуры	90 ≈1	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1,8	1,82
IV		Полевой шпат	10	$\sim 0,2$	5.5	55
2,617- 2,627 V	5,5	углистыми включениями, реже с вклю- чениями газово-жидких пузырьков и кристаллов турмалина		0,0	0,0	5,5
2,627— 2,637 VI	21,8	Кварц прозрачный с редкими точеч- ными углистыми включениями, а так- же с включениями кристалликов пи- рита, турмалина, циркона и рутила, редко с мелкими газово-жидкими пузырьками	-	21,8	21,9	21,9
2,537— 2,647 VII	69,8	Кварц прозрачный с редкими вклю- чениями кристалликов пирита, тур- малина, рутила, циркона, а также га- зово-жидких пузырьков	-	69,8	70,1	70,1
$>^{2,647}_{\rm VIII}$	0,1	Квард прозрачный с включениями более крупных кристаллов пирита,	95	~0,1	~0,1	~0,1
¥ 111		рутила, турмалина, циркона Пирит	5	 ~ 3,005	-	

Возможности метода деления на гравитационной градиентной трубке при микроскопическом анализе каждой выделенной плотностной фракции проиллюстрированы в табл. 9 на примере анализа одного из образцов кварца песчаников нижнемеловых отложений Южной Прибалтики (Кац, Каждан, 1967; Katz, 1970). Все образцы кварца эталонной коллекции делились несколько более точным методом и с шириной интервала примерно вдвое меньшей.

Здесь уместно сделать несколько критических замечаний о литературных данных, посвященных исследованию минералов (в том числе и кварца) в гравитационных градиентных трубках.

В статье D. Smale M. Sc (1970) утверждается, что «для минералогических целей требуются жидкости с большими удельными весами, а большие точности не так важны. Редко необходимо иметь чувствительность больше, чем 0,005 или 0,01; гораздо более важно иметь градиент, перекрывающий большую область удельных весов». И далее: «Температурные градиенты использовали Пелсмекерс и Амелинкс (1961) для получения градиента плотности. Они приготовляются очень просто, но область градиента плотности ограничена, и необходимо, чтобы колонка была в стационарном состоянии, в противном случае градиент нарушается. Для минералогических целей это непригодно». Неправильность этой информации обусловлена тем, что автору неизвестны работы на эту тему советских исследователей, опубликованных за последние 10 лет.

В статье И. Л. Геращенко и Н. С. Окновой (1971) приводятся гистограммы распределения зерен породы, а не кварца.

Последовательность экспериментов, принятая в настоящей работе: 1) «мономинеральный» образец кварца в зернах детально делился

по плотности на 8—15 фракций в гравитационной градиентной трубке; 2) все плотностные фракции каждого образца подвергались микроско-

2) все плотностные фракции каждого образца подвергались микроскопическому анализу. При этом определялись процент зерен кварца в данной плотностной фракции и индексы по шестибалльной системе для полуколичественной оценки процента от объема зерен кварца, занятого данным включением (других минералов и минералообразующей среды);

3) по результатам исследований на градиентной трубке и под микроскопом определялись гистограмма распределения зерен кварца по плотности и соответствующие статистические характеристики (на ЭВМ) для каждого образца. Кроме того, из полуколичественных оценок определялись распределения включений в зернах кварца разной плотности других минералов и минералообразующей среды.

Отметим еще некоторые важные детали методики экспериментов с эталонными образцами кварца.

1. Образцы кварца исследовались по мере их подготовки из пород разного генезиса.

2. Все образцы анализировались на несерийной аппаратуре идентичным методом примерно при одних условиях, что позволило получить сопоставимые результаты для большого количества эталонных образцов кварца. Забегая вперед, подчеркнем, что такие измерения следует проводить на гравитационных градиентных трубках, в которых возможно при анализе различных образцов поддерживать одинаковую шкалу плотности, т. е. поддерживать постоянными температуры верхнего и нижнего блоков (см. «Конструкция прибора»).

3. Во всех измерениях использовался один и тот же опорный репер плотности из оптически чистого кварца (2,6477 г/см³).

4. Из каждого образца исследовалась одна и та же фракция (0,20— 0,25 мм). Это обусловливалось несколькими соображениями: а) в подавляющем большинстве образцов кварца из пород разного генезиса она является достаточно представительной; б) при точном выделении фракций как с большими, так и с меньшими размерами зерен в гравитационной градиентной трубке возникают дополнительные экспериментальные трудности; в) при выделении зерен кварца из породы методом флотации также наиболее оптимальным оказался размер 0,20—0,25 мм; г) для сопоставимости результатов исследования образцов кварца из разных пород необходимо было исследовать одну и ту же размерную фракцию.

К сожалению, у нас не было возможности сопоставить приводимые количественные результаты измерений с соответствующими данными, полученными в других лабораториях. Описания результатов такого типа экспериментов в литературе отсутствуют. Видимо, это обусловлено тем, что необходимые для таких исследований гравитационные градиентные трубки пока серийно не выпускаются.

Ниже мы рассмотрим принцип работы, конструкцию и градуировку гравитационной градиентной трубки, на которой делились исследованные образцы кварца; конструкцию и калибровку использованных реперов плотности; некоторые детали методики деления образцов и расчета статистических характеристик плотности кварца; воспроизводимость делений и т. п. Точные методы исследования плотности твердых тел получили широкое признание в различных областях: физике твердого тела, минералогии, седиментологии и т. п. Для измерения плотности и детального разделения по плотности минералов в зернах неправильной формы в нашей лаборатории применяются новые приборы — гравитационные градиентные трубки разных конструкций лаборатории минералогии осадочных пород Геологического института АН СССР (Кац, 1966). В отличие от обычного флотационного метода, когда тело находится в безразличном равновесии во всем объеме рабочей жидкости, в гравитационной градиентной трубке тело находится в устойчивом равновесии на данном уровне жидкости с градиентом плотности.

В основе конструкции современных приборов, используемых при точных и массовых исследованиях в области физики твердого тела (в том числе минералов и пород), лежит то обстоятельство, что термические коэффициенты объемного расширения жидкостей β на один-два порядка больше, чем твердых тел β', т. е. β ≫ β'. Поэтому, например, если верхний конец медной трубки поддерживать при температуре T_0 , нижний конец — при некоторой меньшей температуре T₁, боковую поверхность теплоизолировать, а внутрь поместить стеклянную трубку с тяжелой жидкостью, то после достижения термического равновесия вдоль трубки установятся градиенты температуры и плотности жидкости, которая от значения ро при Т₀ изменяется до ρ_1 при T₁. Введенное в жидкость зерно с плотностью ρ' , значение которой лежит в пределах $\rho_0 < p' < p_1$, будет двигаться вверх или вниз до тех пор, пока не достигнет равновесного уровня, где плотность жидкости равна плотности зерна. Если в жидкость ввести не одно, а много зерен, то каждое зерно остановится на своем равновесном уровне.

конструкция прибора

Большинство исследований плотностных свойств минералов и пород в нашей лаборатории проведено на трех типах приборов (Кац, 1966), в которых температуры наверху и внизу трубки: 1) поддерживаются ультратермостатами; 2) поддерживаются контактными термометрами, а измеряются нормальными термометрами; 3) поддерживаются и измеряются полупроводниковыми элементами (Баранов, 1966). В настоящей работе все эталонные образцы кварца анализировались на этом приборе. На фиг. 25 приведен его схематический разрез. Прибор имеет круглое сечение. Щелевые пазы в кожухе и в медных трубках герметично закрыты оргстеклом. Через сквозной щелевой паз равновесные положения зерен и реперов плотности наблюдают в поляризованном свете, для чего по обе стороны измерительной кюветы установлены поляроидные пленки. Длина рабочей области прибора, т. е. длина сквозного щелевого паза ~ 200-250 мм. Ширина паза — 10 мм. Внутренний диаметр стеклянной кюветы под рабочую жидкость и исследуемые зерна ~ 30 мм. Трубка такого диаметра применяется для точного деления минералов (на фиг. 25 стеклянная трубка с рабочей жидкостью не показана). В конструкции прибора предусмотрена изоляция объема внутри кожуха в пределах рабочей области прибора, чтобы там не было потоков воздуха.

В использованном нами приборе после наступления термического равновесия потоков жидкости не наблюдается, градиент температуры в рабочей жидкости с точностью до 1—2% остается постоянным, изменение температуры в рабочей области достаточно линейное, особенно в ее средней части.



Для контроля шкалы плотности в приборе и определения плотности исследуемых образцов необходимо иметь реперы плотности. В данной работе в качестве реперов плотности использовались цилиндры из стекла пирекс (объемом ~ 1 см³. диаметром ~7-8 мм) со впаянной внутрь платиновой проволочкой такого объема, чтобы плотность цилиндров либо была близка к плотности оптически чистого кварца (2, 6477 г/см³), либо находилась в пределах ~ 2,62 — ~ 2,66 г/см³. С помощью этих реперов контролировалась шкала плотности в приборе (точнее, градиент плотности), а также калибровался опорный репер из оптически чистого кварца (осколок размером ~4 мм). Один и тот же опорный репер использовался при разделении по плотности всех исследованных эталонных образцов кварца. Репер вводится в жидкость внутрь стеклянной труб- 🕚 ки прибора вместе с исследуемыми зернами кварца. Опорный репер должен быть во много раз меньше внутреннего диаметра стеклянной трубки. Поэтому вышеуказанные реперы нельзя применять в качестве опорных реперов плотности.

Абсолютное значение плотности каждого цилиндрического репера определялось в лаборатории масс Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии им. Д. И. Менделеева с точностью до $\pm 4 \cdot 10^{-4} \ c/cm^3$. Масса и объем измерялись независимо методом гидростатического взвешивания параллельно двумя операторами (Смирнова, Торопин, 1967). Так как погрешность определения плотности репера этим методом обратно пропорциональна его объему, то аналогичным методом с требуемой точностью измерять

Фиг. 25. Схематический разрез гравитационной градиентной трубки

1 — верхний медный блок; 2 — нижний медный блок; 3 неподвижная медная трубка, припаянная к блокам; 4 внутренняя медная трубка, которая может перекрывать щель; 5 — кожух; 6 — нагревательные элементы; 7 теплоизоляция (пенопласт); 8, 9 - термосопротивления типа КМТ-17 (для терморегулятора и для измерения температуры верхнего блока); 10, 11 — то же, для нижнего блока; 12 — упорное текстолитовое кольцо для сборки прибора; 13 — резьбовое кольцо; 14 — впаянная в нижний блок медная трубка для водяного охлаждения; 15 защитный колпак из оргстекла; 16 — верхняя крышка прибора (с кольцом 13 сжимает и фиксирует прибор в ко. жухе); 17 — щелевой паз в приборе; 18 — основание с треногой: 19 - место для электромагнитного вентиля охлаждающей воды (сечение вентиля не показано); 20 текстолитовые упоры для сборки прибора

плотность опорного репера затруднительно. Это выполнялось в гравитационной градиентной трубке путем сопоставления с несколькими откалиброванными цилиндрическими реперами с плотностью, близкой к ее значению для оптически чистого кварца (в пределах нескольких единиц в третьем знаке после запятой). Поскольку погрешность определения разности плотности между двумя реперами в градиентной трубке в несколько раз меньше погрешности определения плотности цилиндрического репера, то опорный репер этим методом калибровался практически с той же точностью, что и цилиндрические.

РАБОЧАЯ ЖИДКОСТЬ

Для исследования плотности кварца в градиентной трубке нам не удалось найти однокомпонентную тяжелую жидкость, поэтому использовалась смесь бромоформа и диметилформамида. Эта смесь удобна в работе, так как компоненты имеют близкие давления паров. Кроме того, для исследования кварца смесь на основе бромоформа предпочтительнее смесей на основе других тяжелых жидкостей (иодистый метилен, жидкости Туле или Клеричи и т. п.), ибо она сравнительно мало токсична, не темнеет, имеет малую вязкость и достаточно большой термический коэффициент объемного расширения.

ШКАЛА ПЛОТНОСТИ

Обычно вместе с исследуемыми зернами в рабочую жидкость вводят и репер (или реперы) плотности. Зная градиент температуры в приборе. термический коэффициент объемного расширения жидкости (Кап. 1966). плотность репера и его равновесное положение, можно установить шкалу плотности прибора. При использовании двух реперов в рабочей области для определения шкалы плотности достаточно измерить разность их равновесных уровней. Мы пользовались вторым методом и предполагали. что шкала в рабочей области прибора линейная. При исследовании эталонных образдов кварца мы использовали в каждом опыте лишь один репер, который определял опорную точку шкалы плотности в данном эксперименте. Наличие в рабочей жидкости второго репера в принципе ухудшает условия разделения. Шкала плотности в приборе определялась вышеуказанными методами не в каждом опыте, а лишь периодически. В каждом опыте измеряли равновесное положение одного опорного репера и разность температур в двух точках медной трубки в рабочей области прибора. В эти места были вмонтированы спаи батареи термопар. Термоэдс термопар регистрировалась с помощью 5-милливольтовой шкалы прибора М-95 точнее, чем до 1%. Зная из предварительных измерений зависимость градиента плотности в приборе от показаний милливольтметра, т. е. термо-эдс, мы имели возможность фиксировать небольшие изменения градиента плотности от опыта к опыту практически с той же точностью. Шкала плотности в приборе и ширина интервала плотностных фракций в каждом эксперименте определялись по градиенту плотности в приборе, равновесному положению опорного репера и высоте столба жидкости, выливаемой из прибора в каждую фракцию (см. «Приспособление для разделения зерен кварца по плотности»). При прочих равных условиях ширина интервала зависит от градиента температуры в приборе, который в описываемых экспериментах поддерживался около 1 град/см.

Более ранние исследования многих образцов природного кварца в зернах показали, что подавляющее большинство их имеют гистограмму распределения зерен по плотности в пределах интервала плотности ~ 0,05 г/см³. Использованная градиентная трубка позволяла надежно поддерживать в рабочей области разность температур в жидкости ~20° С, если нижний и верхний блоки в приборе поддерживались при температурах ~ 25 и 65° С. Такая разность температур обусловливала в рабочей жидкости — смеси бромоформа и диметияформамида (с плотностью $\sim 2,65 \ e/cm^3$) требуемую разность плотности $\sim 0,05 \ e/cm^3$, так как термический коэффициент объемного расширения смеси $\sim 0,001 \ epad^{-1}$. Поэтому для всех образцов кварца удавалось наблюдать в приборе равновесное распределение зерен по плотности в одном эксперименте. Однако, как мы увидим далее, в действительности гистограмма распределения зерен по плотности для каждого образца определялась по двум экспериментам в идентичных условиях.

При исследовании разных образцов кварца приходилось использовать разные по плотности жидкости (на несколько сотых). Например, при исследовании образцов кварца из метаморфических пород, как правило, применялась более тяжелая жидкость, при которой опорный репер из оптически-чистого кварца находился выше середины рабочей области прибора, так как в таких образцах было много зерен кварца с плотностью большей, чем плотность репера. При исследовании образцов кварца из молодых гранитоидов, а также большинства образцов жильного кварца, как правило, применялась более легкая жидкость, при которой опорный репер находился ниже середины рабочей области прибора, ибо в таких образцах было много зерен кварца с плотностью меньшей, чем плотность репера. Так что при исследовании разных образцов кварца использовалась область шкалы плотности в пределах ~2,60 — ~2,68 г/см³. Подготовить необходимую рабочую жидкость требуемой плотности с точностью до ~ 0,01 г/см³ можно либо при помощи реперов плотности через 0,01— 0,02 г/см³ методом тонет — всплывает, либо непосредственно в градиентной трубке по положению соответствующего репера плотности. Оба приема просты и широко применялись нами.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРЕН КВАРЦА ПО ПЛОТНОСТИ

Наиболее полную информацию о плотностных свойствах кварца в зернах дает гистограмма распределения зерен по плотности. Гистограмму можно определить двумя путями: а) подсчета количества зерен в каждом заданном интервале по шкале плотности, что выполняется на гравитационной трубке при малом количестве зерен (~70-100); б) разделения зерен по плотности и последующего взвешивания их в каждой плотностной фракции, что наиболее точно осуществляется на гравитационной градиентной трубке с внутренним диаметром измерительной кюветы ~30 мм при использовании ~500 мг фракции 0,20-0,25 мм (~10 000 зерен).

Метод подсчета при анализе эталонных образцов кварца был отвергнут, так как он дает информацию о плотности по менее представительному образцу, а главное при этом невозможно проводить микроскопический анализ разных типов зерен в образце, обычно концентрирующихся в разных интервалах по шкале плотности.

Основная погрешность разделения минералов по плотности на гравитационной градиентной трубке при указанной навеске обусловлена процессом выливания жидкости вместе с зернами, находящимися в приборе между заданными уровнями в равновесном положении. В более ранних работах эта операция осуществлялась с помощью сифона (Кац, Каждан, 1967). В дальнейшем оказалось, что более точные результаты дает отсос с поверхности жидкости вместе с зернами (Кац, Баранов, 1969).

Учитывая важность техники разделения кварца по плотности для настоящей работы, опишем кратко некоторые ее детали (фиг. 26). Водоструйный насос через балластный объем (7) обеспечивает пониженное давление в эксикаторе (5). В крышке эксикатора вмонтированы трехходовой вакуумный кран (8) для соединения эксикатора либо с водоструйным насосом, либо с атмосферой и вакуумный шлиф (6) с капиллярным вводом (~2 мм) такой формы, чтобы его конец находился над необходимым стаканчиком (4). Другой конец капилляра вакуумным резиновым шлангом соединен с толстостенным стеклянным капилляром (3), вводимым в градиентную трубку. Нижний конец этого капилляра запаян: три отверстия в нем сделаны у самого дна капилляра под острым углом к его оси. На толстостенном капилляре через определенные интервалы сделаны углубления для фиксирования (2) уровня отверстий в капилляре (уровня,

Фиг. 26. Схема выделения минералов в заданных интервалах плотности

1 — гравитационная градиентная трубка; 2 — фиксатор; 3 — толстостенный стеклянный капилляр с равномерной шкалой (низ капилляра с отверстиями находится внутри градиентной трубки); 4 — стаканчики для сбора выделенных фракций; 5 — эксикатор; 6 — вак уумный шлиф с капиллярным вводом; 7 — балластный объем; 8 — трехходовые вакуумные краны; 9 — вакуумныё резиновые трубки; 10 — стеклянный капилляр; 11 — резиновая пробка



до которого выливается жидкость вместе с зернами). Конструкция фиксатора обеспечивает возможность установления отверстий в капилляре на необходимый начальный уровень внутри жидкости в стеклянной кювете в соответствии с уровнем равновесного положения опорного репера, шкалой плотности в градиентной трубке и визуально установленным распределением зерен в данном эксперименте.

ВРЕМЯ УСТАНОВЛЕНИЯ РАВНОВЕСНЫХ УРОВНЕЙ ЗЕРЕН

Все измерения на гравитационной градиентной трубке (в том числе и разделение по плотности) проводятся после достижения зернами равновесных уровней. Анализ уравнения движения зерна в жидкости с градиентом плотности показывает, что в зависимости от условий эксперимента зерно будет достигать своего равновесного уровня с течением времени по одному из двух законов: по закону затухающего колебания около положения равновесия или по экспоненте (Пелсмекерс, Амелинкс, 1961; Кац, 1966). В условиях, при которых мы исследовали эталонные образцы кварца (кинематическая вязкость жидкости ~ 0,005 стокса, градиент температуры $\sim 1 \ epad/cm$, концентрация зерен $\sim 30 \ m/cm^3$, фракция 0.200,25 мм), время, в течение которого зерна достигают своих равновесных уровней, равно ~1 ч. С увеличением концентрации зерен, уменьшением их размера, увеличением кинематической вязкости жидкости и уменьшением градиента температуры процесс достижения зернами равновесных уровней вначале замедляется, а затем практически прекращается: начинает преобладать процесс коагуляции зерен. Однако в действительности образец в приборе следует выдерживать >1 ч, так как нужно учитывать время, в течение котрого в жидкости устанавливается равновесие с устойчивым градиентом температуры. Согласно контрольным опытам, при наших

условнях экспериментов с большой надежностью достаточно было выдерживать образец в приборе ~130—150 *мин* с момента установки в прибор стеклянной кюветы с рабочей жидкостью, исследуемыми зернами и рецером. Поскольку рецер имел значительно больший размер, чем зерна, то он достигал своего равновесного уровня быстрее, чем зерна.

ДЕЛЕНИЕ КВАРЦА

Под разделением минералов обычно понимают выделение одного или нескольких мономинеральных образцов из их смеси. В наших опытах стояла другая задача: деление «мономинеральных» образцов кварца в зернах на ~ 8-15 фракций по шкале плотности. Остановимся кратко на некоторых деталях методики разделения кварца.

Гистограммы распределения зерен по плотности у природного кварца часто бывают с острым пиком. В каждом эксперименте делилась навеска в ~500 мг (на трубке с внутренним диаметром ~ 30 мм). Это обусловлено тем, что после установления равновесных уровней всех зерен образца в приборе их концентрация в пике распределения не должна превышать ~30 мг/см³, в противном случае возникают осложнения в процессе достижения зернами своих равновесных уровней. При большой концентрации зерен в некоторой области плотности в процессе их движения к равновесным уровням происходит захват ими зерен других плотностей. Кроме того, при больших концентрациях зерен возникают затруднения при выливании жидкости вместе с зернами в «пиковой» фракции: зерна закупоривают капилляр. А значительное увеличение диаметра капилляра приводит к новым экспериментальным трудностям, на которых мы не останавливаемся.

Вначале исследуемый образец вместе с репером (или реперами) плотности 5—10 мин кипятят в этиловом спирте. Затем спирт заменяют рабочей жидкостью необходимого объема, все вливают в измерительную стеклянную кювету и устанавливают ее в приборе. По прошествии времени, необходимого для установления равновесных уровней репера и зерен, их распределение по плотности наблюдают визуально. На концах распределения должны быть видны области без зерен во взвешенном состоянии. В противном случае либо в исследуемом образце имеются примеси зерен других минералов с близкой плотностью, либо неправильно выбрана рабочая область шкалы плотности. По виду распределения определяют уровень жидкости, до когорого следуег выливать ее вместе с зернами в начальную фракцию. Как правило, в этой фракции либо нет зерен, либо сосредоточены примеси более легких минералов, которые лежат на поверхности жидкости.

Приступая к делению (см. фиг. 26), укрепляют стеклянный капилляр (3) в фиксаторе и вводят его внутрь градиентной трубки настолько, чтобы отверстия в нем заняли необходимый уровень для выливания начальной фракции. Соединив эксикатор с водоструйным насосом, выливают начальную фракцию. В дальнейшем для выливания очередной фракции стеклянный капилляр опускают каждый раз до попадания рычага фиксатора в очередное углубление на стеклянном капилляре. Последнюю фракцию выливают со дна трубки. В ней, как правило, сосредоточены примеси более тяжелых минералов. По окончании деления жидкость с зернами из стаканчиков фильтруют, а зерна сушат и взвеливают на аналитических весах. Зная шкалу плотности, шаг по плотности и равновесное положение опорного репера, после ввода поправок на инородные примеси во фракциях определяют гистограмму распределения зерен кварца по плотности. Исследуя кварцы таким методом пря ширине интервала ~0,005 г/см³. мы, как правило, получали 7-13 интервалов, что достаточно для расчета статистических характеристик плотности.

Учитывая, что высота столбика жидкости, с которой сливается данная плотностная фракция, контролируется стандартными расстояниями между углублениями на толстостенном капилляре и что в рабочей области шкала плотности линейная, ширина интервала по шкале плотности всех фракций данного образда одинакова в пределах погрешностей экспериментов.

Описанным методом деления кварца в зернах по плотности был выполнен ряд более ранних работ, показавших, что, если в данном образце имеется резкий пик распределения зерен, то при сливании «пиковой» фракции вследствие большой концентрации в ней зерен небольшая часть их может не слиться с рабочей жидкостью в соответствующую фракцию, а остаться в трубке и «засорить» выделяемые более тяжелые фракции. Тем более, что со стороны большей плотности очень часто пик имеет резкий спад. В целом гистограмма может получиться недостаточно точной. При исследовании эталонных образцов кварца это осложнение было устранено следующим образом. Поскольку наибольшая вероятность неполного сливания всех зерен будет у «пиковой» фракции, то после сливания этой фракции деление образца прекращается. Из прибора выкимается капилляр; стеклянная трубка с оставшимися более тяжелыми фракциями дополняется той же рабочей жидкостью до нормального уровня и заново ставится в прибор как новый опыт. По прошествии времени, достаточного для установления равновесных уровней зерен и репера, жидкость с зернами сливается на фракции в соответствующие стаканчики, как и в первый раз (по опорному реперу в равновесном положении устанавливают такие же границы между плотностными фракциями, как и в первом делении). При этом, как правило, оказывается, что во втором



Фиг. 27. Гистограммы распределения зерен кварцевого песка по плотности

делении во фракциях над «пиковой» зерен нет; в «пиковой» фракции есть небольшой процент зерен, а далее идут более тяжелые, нетронутые в первом делении фракции. Это можно наблюдать визуально. Следует подчеркнуть, что при повторном делении одного и того же образца необходимо устанавливать точно такие же границы между фракциями по шкале плотности и выливать одни и те же фракции точно в одни и те же стаканчики, в противном случае могут быть грубые ошибки в делении.

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ЭВМ

Веса выделенных из образда фракций по шкале плотности не могут быть использованы непосредственно в качестве входных данных для ЭВМ с целью определения статистических характеристик плотности исходного «мономинерального» образца кварца: в каждом таком образце, как/правило, имеются примеси других минералов или сростки с ними, правда, часто в виде долей процента к исходному образцу. Как уже указывалось, после разделения по плотности все выделенные фракции данного образца подвергались микроскопическому анализу, при котором определялся, в частности, процент кварца в данной фракции. В подавляющем количестве образцов примеси других минералов или сростки с ними оказались лишь в начальных и конечных фракциях, хотя иногда они фиксировались во всех фракциях или не фиксировались ни в одной из фракций (см. табл. 9). Зная вес каждой фракции и процент кварца в ней, определяют вес кварца в каждой фракции образца. Входными данными в ЭВМ для расчета статистических характеристик плотности кварца были вес кварца в каждой фракции, а также ширина интервала по шкале плотности и плотность в опорной точке, определяемой по равновесному положению опорного репера при делении образца. При этом программой предусматривалось, что машина рассчитывает гистограмму распределения, среднюю плотность, моду распределения, стандартное отклонение, коэффициенты асимметрии и эксцесса. На программе расчета мы не останавливаемся, так как для разных машин она имеет свою специфику, а соответствующие исходные соотношения достаточно общеизвостны и просты.

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЛЕНИЯ

Проведен контроль эффективности деления кварца. Один и тот же кварцевый песок (фр. 0,20—0,25 мм) делился идентично 10 раз при ширине интервала 0,005 г/см³ (фиг. 27). Анализ полученных гистограмм показал, что использование описанного метода деления позволяет с надежностью 90% определять статистические характеристики плотности кварца со следующими случайными ошибками: средняя плотность $\Delta \rho_{cp} \approx 0,0005 \, r/cm^3$, мода распределения $\Delta M_0 \approx 0,0005 \, r/cm^3$, стандартное отклонение $\Delta \sigma/\sigma$ $\approx 5\%$, коэффициент асимметрии $\Delta A/A \sim 20\%$, коэффициент эксцесса $\Delta k/k \sim 30\%$. Отметим, что эти оценки учитывают случайные погрешности деления, но не учитывают погрешности, допущенные при микроскопическом определении процента кварца в каждой фракции. Однако последние, по-видимому, играют значительно меньшую роль.
Глава V

ЭВОЛЮЦИЯ ПЛОТНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОДООБРАЗУЮЩЕГО КВАРЦА В ПРОЦЕССЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ВЫЗРЕВАНИЯ ПОРОД

Хорошо известно, что плотность является структурно-чувствительным параметром породы. За последние годы надежно установлено, что плотность — структурно-чувствительный параметр также и с точки зрения кристаллической структуры минералов.

Особо важное значение плотности для изучения закономерностей связи между тем или иным физическим свойством и кристаллической структурой минерала обусловлено развитием техники эксперимента: из всех параметров, характеризующих поведение отдельных зерен минералов в магнитном, электрическом и гравитационном полях, в настоящее время наиболее детально можно проанализировать плотность, если пользоваться методом гравитационного градиентного поля (Кац, 1966). Соответственно наиболее точно и детально делить «мономинеральные» образцы на разные типы зерен возможно именно этим методом.

Кристаллические структуры природных минералов, как правило, далеки от идеальных. Поэтому физико-химические процессы, обусловливающие минералогическое вызревание обломочного материала в зоне седиментации, могут изменить физические свойства минералов, слагающих терригенные породы. Это явление изучено при детальном исследовании плотности зерен обломочного кварца в песчаных породах.

За последние годы новыми методами исследовалась плотность кварца разного генезиса: из песчаных пород разного возраста и разных регионов, аутигенный кварц карбонатных пород, а также различных жеод, трещин, жил альпийского типа, кварц различных кристаллических пород — гранитов, гнейсов и др. (Кац, Шутов, 1963; Кац, Муравьев, 1966; Кац, 1966; Кац, Каждан, 1967; Кац, Коссовская, неопубликованные данные).

Минералогический анализ зерен кварца различной плотности из разных типов пород показал, что плотность оптически чистых кристаллов 2,6477 г/см³. Плотность зерен кварца с преимущественно газово-жидкими включениями, а также включениями органического вещества и более легких минералов (калиевых полевых шпатов, альбита, и др.) меньше на несколько сотых, а с дефектами структуры (мозаичность, каемки регенерации, микропоры и т. п.) — лишь до $\approx 0,001 \ r/cm^3$. Аналогично плотность зерен кварца с включениями более тяжелых минералов (роговой обманки, биотита, циркона и др.) больше на несколько сотых по сравнению с оптически чистым кварцем. Указанные отличия плотности будут тем больше, чем больше концентрация дефектов структуры или включений (легких либо тяжелых), больше размер этих включений относительно размера зерна и больше отличие плотности включений от плотности кварца.

Практически в каждом образце кварца из пород разного генезиса имеются разные типы зерен (и ортически чистые, и с дефектами структуры, и преимущественно с одним типом включений, и с комбинациями включений, и т. п.), обладающих различными плотностями, что обусловливает необходимость характеризовать плотностные свойства его гистог раммой распределения зерен по плотности. С точки зрения плотности отличие кварца из пород разного генезиса в основном состоит в том, что он содержит

неодинаковый процент данного типа зерен, определяющий специфику гистограммы и соответствующих статистических характеристик плотности.

Указанные различия плотностных свойств природного кварца удалось установить лишь при использовании методики измерения плотности зернистых образцов с погрешностью $\approx 0,001 \ e/cm^3$. Если же использовать старые методы измерения с погрешностью $\gg 0,01 \ e/cm^3$, то практически большинство зерен данного образца будут иметь одинаковые плотности, а большинство природных образцов — одинаковые средние плотности.

Изложенное находится в полном соответствии с результатами исследования зерен обломочного кварца осадочных пород Г. Г. Леммлейном и В. С. Князевым (1951), которые, в частности, подчеркивали, что «внутреннее строение кристаллических зерен обломочного кварца и прежде всего характер содержащихся в них включений показали необычайное разнообразие».

В настоящей главе описаны методика анализа динамики изменения статистических характеристик плотности кварца при разрушении в период седиментации и результаты математического и экспериментального моделирования в первом приближении процесса вызревания кварца.

Анализ процесса в природных условиях осуществлен путем детального исследования плотностных свойств кварца песчаников нижнемеловых отложений Южной Прибалтики, а также люберецкого кварцевого песка. Лабораторное моделирование процесса проводилось на кварце песчаников района Актюбинска.

ЭВОЛЮЦИЯ ПЛОТНОСТНЫХ СВОЙСТВ КВАРЦА ПРИ РАЗРУШЕНИИ В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ В ПРОЦЕССЕ СЕДИМЕНТАЦИИ

Анализ литературных данных

Хорошо известно, что процесс седиментации и вызревания песчаных пород характеризуется изменением ряда их структурно-минералогических признаков: удаляется глинистое вещество; изменяется гранулометрия зерен, улучшаются их сортировка и окатанность; преимущественно разрушаются менее стойкие минералы, что приводит к увеличению процента кварца (Folk, 1954; Шутов, 1965, 1967). Эти параметры, отражающие динамику седиментации, широко используют для решения различных задач. Однако при этом считалось, что в процессе седиментации физические свойства самого минерала, в частности кварца, не меняются. Это о к а з а л о с ь н е в е р н ы м. Имеются прямые доказательства, что в процессе седиментации изменяется его плотность. Рассмотрим два примера.

Анализ вышеуказанных опубликованных результатов измерений статистических характеристик плотности природного кварца различного генезиса из разных регионов (около 80 образцов) показал, что разброс значений средней плотности $\rho_{\rm cp}$, моды распределения Mo, стандартного отклонения о и коэффициента асимметрии A для кристаллических пород больше, чем для осадочных. Это значит, что в процессе седиментации эти статистические характеристики плотности кварца изменяются (либо уменьшаются, либо увеличиваются), переходя в более узкую область. Область изменения коэффициента эксцесса K при переходе от неосадочных к осадочным породам увеличивается в сторону бо́льших значений (М. Я. Кац, М. М. Кац, 1969).

Анализ статистических характеристик плотности кварца нижнемеловых отложений Южной Прибалтики показывает, что в процессе седиментации в этом регионе они действительно изменяются: к центру бассейна ρ_{cp} , Mo, A (по абсолютной величине) и K увеличиваются, а σ уменьшается (Кац, Каждан, 1967). Отметим, что знак этого процесса противоположен знаку общеизвестного явления дифференциации минералов по плотности в седиментационном потоке: за счет только дифференциации в потоке плотность кварца к центру бассейна должна уменьшаться. Следовательно, в явлении изменения плотности кварца к центру бассейна эффект дифференциации по плотности в потоке играет подчиненную роль.

Модель процесса

На основе вышеизложенного выдвигается гипотеза, что изменение статистических характеристик плотности кварцевого песка в процессе седиментации обусловлено различной механической и химической разрутаемостью зерен с разной плотностью: наименьшей для зерен с плотностью, близкой к плотности оптически чистого кварца, и увеличивающейся с уменьшением и увеличением плотности; при этом увеличивающейся с уменьшением и увеличением плотности; при этом увеличивается концентрация либо дефектов структуры, микротрещин, газово-жидких включений и включений органического вещества, а также более легких минералов, либо включений более тяжелых минералов.

Мы предполагаем, что можно говорить отдельно о вызревании кварца песчаных пород на фоне вызревания общего состава песчаного материала, причем степень вызревания кварца в процессе седиментации можно определять путем анализа статистических характеристик его плотности. Они могут дать дополнительную информацию о динамике седиментации и о физических свойствах исходного кварца разрушаемой породы.

Проведен расчет динамики изменения статистических характеристик плотности кварца в процессе седиментации с помощью вычислительной машины (М. Я. Кац, М. М. Кац, 1969). В качестве первого приближения была рассмотрена модель со следующими ограничениями:

a) анализируется изменение статистических характеристик плотности кварца только самой крупной фракции, чтобы не учитывать влияние на процессы в рассматриваемой фракции разрушения более крупных зерен;

б) предполагается, что разрушение зерен кварца в процессе седиментации выводит их из исследуемой фракции в более мелкие, не рассматриваемые в данной модели. Разрушения, которые не переводят зерна в более мелкие фракции, не изменяют плотность зерен настолько, чтобы переводить их в другие плотностные фракции;

в) не учивывается влияние поступления новых порций обломочного кварца, добавляющегося к рассматриваемой фракции в процессе седиментации;

г) предполагается, что в течение процесса седиментации условия, а следовательно, и закономерность разрушаемости зерен не меняются и что за любые одинаковые отрезки времени седиментации масса кварца в заданном интервале плотности уменьшается в одинаковое число раз.

При этих предположениях промоделирована динамика изменения ho_{cp} , *Мо* и о для кварца при разрушении его в природных и в лабораторных условиях¹.

Плотностные свойства кварца нижнемеловых отложений Южной Прибалтики и люберецкого кварцевого песка

Вызревание кварца при разрушении в природных условиях седиментации анализировалось на кварце песчаников нижемеловых отложений Южной Прибалтики. Выбор был обусловлен тем, что это бассейн с хорошо известной палеогеографией и установленными направлениями привноса терригенного материала. Все исследованные образцы отбирались из определенного стратиграфического горизонта, характеризующего оп-

¹ Моделирование по параметрам А и К требует использования более сложной моделие-

ределенный момент седиментации. Поступление терригенного материала в бассейн осуществлялось с трех направлений: северо-запада, севера и юго-востока (Кац, Каждан, 1967; Каждан, 1968). Для моделирования исследованные ранее образцы кварца были вновь проанализированы описанным методом деления на гравитационной градиентной трубке, но с несколько большей точностью (использовалась примерно вдвое меньшая ширина интервала плотности, более точно устанавливались границы между фракциями и не учитывались строго не ограниченные по плотности малые крайние фракции, в которых часто бывает много зерен-сростков и относительная погрешность определения веса которых по условиям эксперимента больше, чем во всех остальных фракциях). Результаты этих измерений (табл. 10, 11) подтвердили установленные ранее общий характер изменения статистических характеристик плотности кварца рсп. Мо и о для этого региона и общий контур бассейна (Кац, Каждан, 1967). Однако абсолютные значения этих характеристик несколько изменились в связи с использованием более точного метода анализа. В табл. 10 и 11 приведены также данные для люберецкого кварцевого песка, который может рассматриваться как эталон многократно переотложенного песка. Этот кварц исследовался таким же методом. Случайные ошибки экспериментальных данных с надежностью 90%: $\Delta \rho_{cn} \approx 0,0005 \ c/cm^3$; $\Delta Mo \approx$ *₹* 0,0005 г/см³; Δσ/σ *₹* 5%. Из табл. 10 и 11 следует:

Таблица 10

	Кварц из нижнемеловых отложений Южной Прибалтики									
Плотность, г/см ³	46	7-2	121	219	76	31	88	50 <u>3</u>	164	кий кварцевый песок
9 6090 9 600r										
2,6020-2,6065	1,91	—	-		—	-	-	\rightarrow	_	
2,6065-2,6110	2,18	-	—	—	—	-				
2,6110-2,6155	3,32	0,71	0,41	0,45	0,24	0,17	0,70	0,52	0,79	0,40
2,6155-2,6200	5,52	0,87	0,63	0,88	0,23	0,69	0,18	0,50	0,96	0,43
2,6200-2,6245	7,46	1,94	1,21	1,45	0,71	0,87	0,52	1,17	1,71	1,07
2,6245-2,6290	10,71	2,74	2,36	3,18	1,63	1,21	1,93	2,37	3,05	1,66
2,6290-2,6335	16,17	6,33	5,99	7,45	4,40	4,17	5,25	5,20	6,02	2,82
2,6335-2,6380	23,97	13,05	14,80	16,47	11,25	9,55	10,51	11,74	12,21	6,36
2,6380-2,6425	18,79	30,94	37,49	37,59	30,25	36,28	32,75	34,43	26,67	18,82
2,6425-2,6470	9,19	39,97	35,98	31,82	48,89	44,62	43,08	42,79	45,63	61,70
2,6470-2,6515	0,78	2,26	0,82	0,49	1,12	1,04	4,56	0,88	2,41	4,09
2,6515-2,6560		0,83	0,23	<u> </u>	0,26	1,39	0,35	0,25	0,40	2,11
2,6560-2,6605		0,36	0,06	—	_	, —	0,18	0,14	0,13	0,53

Распределения кварца (%; измерены методом деления)

а) для кварца песчаников периферии бассейна значения ρ_{ср} и *Мо* меньше, а σ больше, чем для кварца из центральной части бассейна;

б) по сравнению со всеми другими исследованными образцами кварца в люберецком кварцевом песке больше всего зерен (в процентном отношении) с плотностью, близкой к плотности оптически чистого кварца (в пределах двух-трех тысячных);

в) для кварца из песчаников центральной части бассейна нижнемеловых отложений Южной Прибалтики ρ_{ср} на две-три тысячные, а *Мо* на одну-две тысячные меньше, чем для люберецкого песка. Соответствующие значения σ практически совпадают в пределах погрешности измерений.

Поэтому в первом приближении можно считать, что кварц песков центральной части бассейна нижнемеловых отложений Южной Прибалтики несколько менее зрелый, чем люберецкий, и что зрелые многократно перемытые кварцевые пески в других регионах должны обладать стати-

Место взятия образца	Средняя плотность Р _{СР} , г/см ³	Мода распре- деления, Мо, г/см ³	Стандартное отклонение, о, г/см ³
Пер	 риферия бассейна	· · · · ·	
Скв. Янтарное (46)	2,6319	2,6362	0,0096
» Нида (219)	2,6393	2,6415	0,0059
» Жальгирей (121)	2,6400	2,6422	0,0056
Обн. р. Меркис (7-2)	2,6401	2,6434	0,0064
Промежу	іточная часть б	ассе й на	
Скв. Переяславское (31)	2,6412	2,6432	0,0052
» Поддубное (88)	2,6405	2,6427	0,0055
» Каунас (503)	2,6405	2,6432	0,0059
» Илгай (164)	2,6404	2,6439	0,0062
Центра	льная часть бас	сейна	
Скв. Апрелевка (76)	2,6413	2,6438	0,0050
» Гарлява (135) *	2,6414	2,6449	0,0055
» Калвария (122) *	2,6411	2,6434	0.0061

Статистические характеристики плотности кварца нижнемеловых отложений Южной Прибалтики и люберецкого кварцевого песка

* Эги образцы из-за недостаточности материала измерялись методом подсчета (Кац, Каждан, 1967).

2.6437

Люберецкий кварцевый песок

2.6455

0.0056

стическими характеристиками плотности рсо, Мо и о, близкими к значениям их для люберецкого песка. Иными словами, эти статистические характеристики плотности в первом приближении можно рассматривать как количественные параметры зрелости и чистоты месторождений квариевых песков 1.

Метод анализа динамики вызревания кварца

Любые высокой зрелости многократно перемытые кварцевые пески получаются, очевидно, за счет исходного кварца разрушаемых пород разного генезиса, привносимых в бассейны из разных источников сноса. Мы рассмотрим процесс вызревания при седиментации данного исходного, или «начального» кварца. Рассматривая это вызревание с помощью определенной модели, можно восстановить динамику процесса.

В принятой модели динамика вызревания кварца при седиментации зависит от относительного положения гистограмм «начального» и «зрелого» кварцев² (фиг. 28): а) начальный кварц с гистограммой типа 2 или 3, перекрывающей гистограмму зрелого кварца 1, может стать зрелым в процессе седиментации; б) начальный кварц с гистограммой типа 4 или 5, практически не перекрывающей гистограмму зрелого кварца, не может стать зрелым в процессе седиментации³; в) начальный кварц с гисто-

³ В действительности часть этого кварца будет вызревать, так как в процессе разрушения плотность зерен может изменяться, но в принятой модели это не учитывается.

¹ Здесь и далее под зрелым кварцевым песком мы понимаем песок, претерпевший многократные циклы переотложения. В качестве примера можно принять многократно переотложенный люберецкий кварцевый песок. Термин «зрелый» используются в условном смысле. В природе нег зрелых песков, подобно тому, как нет идеальных кристаллов: любой известный к настоящему времени кварцевый песок может испытывать дальнейшее вызревание.

² Мы имеем в виду кварцевые зерна и песчаных, и кристаллических пород, используемых в качестве «начального» кварца.



Фиг. 28. Некоторые из возможных типов гистограмм распределения зерен кварца по плотности

Фиг. 29. Расчет динамики изменения статистических характеристик плотности кварца Измеренные гистограммы: 1 — начальный кварц; 2 — конечный кварц. Рассчитанные гистограммы для конечного кварца в единицах массы: 3 — при х = ab/ac, 4 — при х < ab/ac

граммой типа 6, лежашей в области гистограммы зрелого кварца, является зрелым с самого начала до разрушения в процессе седиментации. Большой опыт работы с кварцем показал, что природный кварц в зернах неосадочного происхождения действительно может иметь такие типы гистограмм (и промежуточного характера) в зависимости от своего генезиса (см. гл. VI).

Рассмотрим метод анализа в принятой модели динамики изменения статистических характеристик плотности кварца в процессе седиментации. Он применим в случаях, когда известны гистограммы для начального и конечного кварцев и задача заключается в том, чтобы определить динамику изменения статистических характеристик плотности кварца в процессе седиментации от их значений для гистограммы начального кварца до их значений для гистограммы конечного кварца, образующегося к концу седиментации. Примем весь интервал времени (или пути) седиментации за единицу. Обозначим массу всего кварца в данном *i*-ом интервале шкалы плотности у начального кварца через m_{i0} , а у кварца в конце седиментации через m_{ik} . Легко показать (М. Я. Кац, М. М. Кац, 1969), что за любую долю *t* от всего интервала седиментации масса кварца в *i*-ом интервале плотности уменьшается за счет разрушения в β_{it} раз, где

$$\beta_{it} = \left(\frac{m_{ik}}{m_{i0}}\right)^t \tilde{\bullet}$$

Зная значения коэффициентов β_{il} для данного этапа седиментации и значения m_{i0} для гистограммы начального кварца, можно определить гистограмму для кварца рассматриваемого этапа седиментации.

Предполагается, что гистограммы для начального кварца и кварца, получившегося в конце седиментации, измерены при одних и тех же условиях эксперимента. Составленная программа расчета предусматривает, что в машину вводят значения m_{i0} и m_{ik} для начальной и конечной гистограмм, число интервалов, ширину интервала и значение плотности в опорной точке. Для различных этапов седиментации машина рассчитывает и выдает в печать: а) набор значений коэффициентов β_{it} ; б) гистограмму распределения; в) статистические характеристики ρ_{cp} , Mo, σ , A и Kгистограммы; г) долю кварца (в %), которая осталась к данному этапу седиментации. Очевидно, что при t = 0 указанные величины будут относиться к кварцу с начальной гистограммой, при t = 1 — с конечной гистограммой, а при 0 < t < 1 — с гистограммами на промежуточных этапах седиментации.

В действительности при определении гистограмм для начального и конечного кварцев мы измеряем значения m_{i0} и m_{ik} не в единицах массы, а в процентах. Чтобы использовать для расчетов эти экспериментальные данные, достаточно вводить в машину значения m_{i0} в процентах, а измеренные значения *m*_{ik} умножить предварительно на постоянный множитель, который определяется из начальной и конечной гистограмм и физический смысл которого заключается в следующем. Пусть мы измерили гистограммы для начального кварца 1 и для кварца 2, образующегося из него в результате некоторого процесса седиментации (фиг. 29). В одинаковом масштабе их площади одинаковы. Однако если бы мы измеряли *m*_{ло} и *т*_{ik} не в процентах, а в единицах массы, то, поскольку в процессе седиментации разрушение испытывают зерна любой плотности, все значения *т_{ік} (для гистограммы конечного кварца) должны были бы быть меньше* соответствующих значений $m_{
m io}$ (для гистограммы начального кварца). Это значит, что в принятой модели в единицах массы гистограмма для конечного кварца должна вписываться в гистограмму для начального кварца. Для этого необходимо все значения m_{1k} умножить на постоянную величину и <1, численное значение которой должно быть менее или равно максимальному значению отношения величины mis к величине min (измеренных в процентах) для какого-то *i*-го интервала среди всех интервалов на гистограммах, т.е.

$$\varkappa \leqslant \left(\frac{m_{ik}}{m_{i0}}\right) \max \dots \tag{1}$$

по всем значениям *i*. Если из максимума гистограммы 2 опустить перпендикуляр на ось абсцисс, то условию (1) будет удовлетворять отношение отрезков *ab* и *ac*, т. е.

Гистограмма 3 получена путем умножения на значение $\varkappa = \frac{ab}{ac}$ всех ординат на гистограмме 2. В этом предельном случае конечная гистограмма 3 будет касаться начальной 1 изнутри. Поскольку в процессе седиментации разрушаются зерна любой плотности, то в действительности в формулах (1) и (2) должен выполняться знак неравенства: в единицах массы гистограмма конечного кварца 4 не будет касаться гистограммы исходного кварца 1.

Таким образом, в машину вводят экспериментально полученные значения m_{i0} для гистограммы начального кварца и значения $\varkappa \cdot m_{ik}$ для гистограммы конечного кварца, имея в виду, что статистические характеристики распределения не изменяются, если все ординаты умножить на постоянную величину.

Легко видеть также, что из соотношения площадей под гистограммами 1 и 3 (см. фиг. 29) можно оценить максимальную долю кварца, которая должна остаться, если исходный кварц с гистограммой 1 в процессе разрушения при седиментации превратился в кварц с гистограммой 2; доля оставшегося кварца будет менее отношения площадей под гистограммами 3 и 1.

Динамика вызревания кварця песчаников нижнемелового бассейна Южной Прябалтики

Описанным методом была рассчитана динамика изменения статистических характеристик плотности кварца нижнемеловых отложений Южной Прибалтики: на основе принятой модели определены изменения статистических характеристик плотности от их значений для кварца песчаников определенного стратиграфического уровня, взятых из четырех скважин на периферии исследованной части бассейна, до их значений для кварца песчаников того же горизонта из скважины в его центральной части (фиг. 30). Эти расчеты выполнены для предельного случая равенства в формуле (2). В качестве отрезков *ав* и *ас* использовались значения процентов зерен в интервале 2,6425—2,6470 *г/см³* на измеренных гистограммах соответственно начального и конечного кварцев, так как именно в этом интервале сосредоточены оптически наиболее чистые зерна и именно этот интервал соответствует соотношению (1).

Из анализа приведенных результатов измерений и расчетов можно сделать ряд выводов о динамике изменения по принятой модели статистических характеристик плотности кварца в процессе седиментации:

a) средняя плотность ρ_{cp} монотонно растет;

б) мода распределения *Мо* также монотонно растет, но у нее возможны скачки и ее значение обычно несколько выше, чем р_{ср}. Возможные скачки значения *Мо* связаны с относительным расположением гистограмм начального и конечного кварцев и условиями седиментации;

 в) стандартное отклонение о монотонно уменьшается, однако в начале процесса может иметь место небольшой максимум в случаях, когда максимумы на гистограммах начального и конечного кварцев расположены в разных интервалах;

г) коэффициенты асимметрии A и эксцесса K изменяются монотонно и соответствующие кривые могут иметь экстремальные точки. Однако, по-видимому, изменения этих параметров, зависящих от третьего и четвертого моментов распределения, следует анализировать при помощи более сложной модели с учетом еще ряда процессов, имеющих место в природе (привнос нового кварца, разрушение более крупных зерен, изменение плотности зерен и т. п.).

д) кривые Σ показывают, что вследствие разрушения общее количество кварца в процессе седиментации от исходного значения монотонно уменьшается до предельного значения Σ-конечное, которое определяется начальной и конечной гистограммами и значением коэффициента ж. Мы приняли знак равенства в формуле (2) и поэтому Σ-конечное получили максимальным.

Изложенный метод обработки результатов измерений позволяет получить в пределах рассматриваемой модели экспериментальное обоснование высказанной выше гипотезы о зависимости разрушаемости зерен кварца в процессе седиментации от их плотности. Для каждого из четырех рассмотренных случаев перехода от периферии к центральной части бассейна на машине были рассчитаны значения коэффициентов β_{it} для такого момента седиментации, когда исходный кварц с периферии бассейна разрушился примерно на 1%, т. е. когда во всех случаях произошло малое, но одинаковое в процентном отношении, разрушение, При этом оказалось (см. фиг. 30), что коэффициенты β_{it} имеют наибольшие значения для интервала, где сосредоточены оптически наиболее чистые зерна. Это является косвенным экспериментальным доказательством, что вероятность разрушения в процессе седиментации оптически чистых зерен меньше, чем зерен с меньшей или большей плотностью.

скв. Янтарное (46) — скв. Апрелевка (76); скв. Нида (219) — скв. Апрелевка (76); скв. Жальгирей (121) — скв. Апрелевка (76); обнажение Р. Меркис (7-2) — скв. Апрелевка (76)

(при t = 0 и t = 1, заштрихованы) и рассчитанные гистограммы для разных моментов седиментации (при 0 < t < 1); B — зависимость коэффициентов β_{it} при малых разрушениях (~1%) от плотности кварца (чем меньше значение коэффициента, тем больше разрушаемость кварца); B — динамика изменения доли кварца Σ , остающегося к данному моменту седиментации, и статистических характеристик плотности ρ_{cp} , Mo, σ , Λ , K от их начального (при t = 0) до конечного (при t = 1) значения в процессе седиментации

Фиг. 30. Динамика изменения статистических характеристик плотности кварца в песчаниках нижнемеловых отложений Южной Прибалтики в процессе седиментации при переходе от четырех пунктов на периферии бассейна до одного в его центральной части



· 79

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТНЫХ СВОЙСТВ КВАРЦА ПРИ РАЗРУШЕНИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Перейдем к изложению результатов моделирования в лабораторных условиях процесса изменения плотностных свойств кварца при седиментации путем механического и химического разрушения кварцевого песка и анализа изменения при этом его плотностных свойств (Кац и др., 1971; Katz a. o., 1970). Все эксперименты проводились параллельно на двух образцах кварцевого песка меловых отложений района Актюбинска (1224 и 1213). Этот выбор был обусловлен тем, что их гистограммы распределения зерен по плотности были типа 2 на фиг. 28, т. е. существенно отличались от гистограммы зрелого кварца, но перекрывали ее. На таком исходном начальном кварце можно наиболее наглядно показать процесс вызревания при разрушении. Механическое разрушение осуществлялось путем встряхивания исследуемого песка вместе с кусочками нержавеющей стали, а химическое — путем растворения в плавиковой кислоте.

Таблица 12

	D		Доля от исходного веса образца после разрушения, %							
Образец	бразец (фракция 0,2-0,31 мм) <i>P</i> , <i>г</i>		>0,20 мм	0,16— 0,20 мм	0,1— 0,16 мм	0,01— 0,1 мм	<0,01 мм и растворенный (рассчитано)			
1224	3.076	I	18.22	10.83	5.31	27.08	38.54			
1213	3,080	I	26,46	12,06	5,95	24,65	30,87			
1 2 2 4	3,003	II	59,52	18,06	3,95	4,88	13,57			
1213	3,033	II	53,59	15,25	4,88	9,31	16,95			
1224	3,094	Ш	70,07	8,20	0,60	0,89	20,23			
1213	3,124	Ш	71,73	7,71	0,69	0,55	19,32			
1224	3,023	ľV	75,11	6,65	0,55	0,55	17,14			
1213	3,051	IV	77,07	6,58	0,53	0,46	15,34			

Разрушение кварцевого песка

Примечания. Типы разрушения: І — механический; исследуемый кварц помещался в стеклянную колбочку объемом 100 см³ вместе с 25 см³ воды и 40 кусочками (кубики) нержавеющей стали, каждый объемом ~120 мм³. Колбочка встряхивалась в течение 28,5 ч. II — механический; условия те же, но с 60 кусочками стали объемом ~60 мм³. III — химический; исследуемый кварц помещался в полиэтиленовую колбочку вместе с 40 см³ 3%-ного раствора плавиковой кислоты. Колбочка встряхивалась в спокойном состоянии 134 ч. IV — химический; условия те же, но колбочка встряхивалась в спокойном состоянии 34 ч. и находилась в спокойном состоянии 34 ч. IV — химический; условия те же, но колбочка встряхивалась 8 ч и находилась в спокойном состоянии 39 ч.

В исследуемом кварцевом песке определялись гранулометрия (табл. 12) и плотностные свойства (табл. 13, фиг. 31, 32) до и после разрушения. Мы отдаем себе отчет, что такие энергичные методы разрушения далеки от реальных природных процессов. Однако, по-видимому, они должны дать правильное представление о направлении изменения плотностных свойств кварца при разрушении в период седиментации.

Плотностные свойства определялись в исходном кварце (фр. 0,2— 0,31 мм) и во фр. > 0,2 мм после разрушения. Все детали измерения гистограмм распределения кварца по плотности и последующего анализа динамики изменения статистических характеристик плотности в процессе разрушения, а также расчета коэффициентов β_{ii} (для моментов $\sim 1\%$ разрушения), характеризующих относительную разрушаемость кварца разной плотности, выполнялись, как и при вышеописанных исследованиях природного кварца нижнемеловых отложений Южной Прибалтики. Более того, совершенно очевидно, что пункты а и б, ограничивающие модель природного процесса, для лабораторного моделирования не обязательны. В этом случае достаточно модель процесса ограничить лишь пунктами в и г, требующими неизменности плотности отдельных зерен кварца в

Плотность, 17	Исходный кварц		Πο	осле мел разру	аническ шения ¹	oro	После химического разрушения ¹			
∴ Др, г/см³	1224	1213	1224 I	1224 II	1213 I	1213 II	1224 III	1224 IV	1213 111	1213 IV
<u>~</u> 2 6200	5 25	6 17	2 57	0 / 2	9.07	2.05	0.06	0.49	0.09	0.45
2,0200	2 58	2 45	2,57	2,45	2,07	3,00	0,00	0,10	0,00	0,12
2,0200-2,0240	4 39	4 51	3 00	3 56	2,13	1,00	0,13	0,00	0,04	0,12
2,0240 - 2,0230 2 6290 - 2 6335	7 57	7 43	6 43	6 79	7 10	6 45	0,24	1 17	0,20	0,20
2,6335 - 2,6380	15 82	17 20	14 43	15 01	15 19	13 10	4 07	4 96	4 11	6.08
2,6380 - 2.6425	25.66	26,90	28,86	30.60	31.45	30.62	23 40	29 96	28.97	27.49
2.6425 - 2.6470	24.64	25.83	37.10	36.78	36.25	37.33	68.50	60.83	63.38	62.06
2.6470 - 2.6515	11.20	4.78	1.68	1.17	1.57	3.29	2.38	1.93	1.32	1.7
>2,6515	2.78	3.87	1.34	1.15	0.74	1.65	0.46	0.57	0.26	1.24

Распределение кварца (измерено методом давления), в %

¹ Условия экспериментов см. в табл. 12.

процессе разрушения и постоянства закономерности разрушения со временем. Иными словами, принятая модель процесса и основанные на ней расчетные формулы для лабораторного моделирования более приемлемы, чем для природного процесса седиментации.

Из результатов лабораторного моделирования изменения плотностных свойств кварца при седиментации следует (см. фиг. 31, 32):

а) и при механическом, и при химическом разрушении наименьшей разрушаемостью обладают зерна кварца с плотностью вблизи плотности оптически чистого кварца (2,647 г/см³). С увеличением и уменьшением плотности разрушаемость кварца увеличивается (ибо коэффициент β_{it} уменьшается). Это является экспериментальным подтверждением высказанной ранее гипотезы о зависимости разрушаемости кварцевых зерен от их плотности и приведенного физического обоснования этого явления;

б) и при механическом, и при химическом разрушении плотностные свойства кварца изменяются: средняя плотность, мода распределения, коэффициенты асимметрии (по абсолютной величине) и эксцесса увеличиваются, а стандартное отклонение уменьшается. Таким образом, при разрушении кварца в процессе седиментации нижнемеловых отложений Южной Прибалтики, а также при механическом и химическом разрушении кварца песчаников района Актюбинска в лабораторных условиях статистические характеристики плотности кварца изменяются в одном и том же направлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что при седиментации в природных условиях, а также при механическом и химическом разрушении в лабораторных условиях плотностные свойства кварца изменяются. Сам процесс обусловлен тем, что разрушаемость различных типов зерен кварца разная. Закономерности изменения при этом статистических характеристик плотности определяются гистограммой распределения по плотности зерен исходного кварца и зависимостью разрушаемости зерен кварца от их плотности (или отличием разрушаемости разных типов зерен кварца). Результаты экспериментального моделирования подтверждают высказанную ранее идею о том, что кварцевые пески в процессе разрушения при седиментации «вызревают». С точки зрения плотности зерелые пески после разрушения при многократном переотложении должны состоять в основном из зерен, физические свойства которых близки к свойствам оптически чистого кварца.

6 М. Я. Кац, И. М. Симанович



Фиг. 31. Динамика изменения статистических характеристик плотности кварца при механическом разрушении в лабораторных условиях. Промоделированы изменения плотностных свойств двух образцов кварца (см. табл. 12). Условные обовначения и пояснения те же, что на фиг. 30



Фиг. 32. Динамика изменения статистических характеристик плотности кварца при хомическом разрушении в лабораторных условиях. Промоделированы изменения плотностных свойств двух образцов кварца (см. табл. 12)

Условные обозначения и пояснения те же, что на фиг. 30]

Глава VI

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПЛОТНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОДООБРАЗУЮЩЕГО КВАРЦА ЭТАЛОННОЙ КОЛЛЕКЦИИ

Эта глава содержит основной оригинальный материал монографии. В разделе А приведены исходные количественные результаты, полученные при анализе каждого образда в гравитационной градиентной трубке при микроскопическом анализе зерен каждой выделенной фракции. Эти результаты легли в основу статистического анализа плотностных свойств кварца кристаллических пород данного генезиса (разд. Б) и статистического анализа распределения включений в зернах кварца разной плотности этих же пород (разд. В).

А. ИСХОДНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ, Полученные при изучении кварца в гравитационной градиентной трубке и под микроскопом

В настоящем разделе приведены экспериментальные данные, полученные при исследовании изученных образцов эталонной коллекции кварца в гравитационной градиентной трубке (деление каждого образца на фракции по шкале плотности) и в иммерсии под микроскопом (минералогический анализ всех фракций каждого образца). Характерные параметры каждой фракции указаны в следующем порядке: номер фракции, пределы плотности, вес фракции, % зерен разных фаз и характеристики включений в кварце, оценка по шестибальной системе индекса, пропорционального проценту объема включений от объема кварца; если эта оценка стоит после ряда включений, то она относится к каждому из них (см. разд. В). В тех тяжелых фракциях, где не указан индекс для *BMC*, он равен 0,03.

Для минералов и минеральных включений приняты следующие сокращения:

Акт — актинолит	Кпш — калиевый полевой	Сил — силлиманит
Ап — апатит	шпат	<i>Сф</i> — сфен
Би — биотит	Мт — магнетит	Цир — циркон
Гем — гематит	Мус — мусковит	Эп — эпидот
Гр — гранат	<i>П́л</i> — плагиоклаз	ВМС - включения мине-
Граф — графит	<i>Пщ</i> — полевой шпат	ралообразующей
Дист — дистен	Рог — роговая обманка	среды
Кв — кварц	Рут — рутил	УВ — углистые включения

В большинстве образцов для первой фракции указан лишь больший предел плотности, а для последней — лишь меньший, так как в первую фракцию попали зерна и с поверхности жидкости, и находившиеся в равновесии внутри жидкости вблизи поверхности, а в последнюю — и со дна трубки, и находившиеся в равновесии внутри жидкости вблизи дна трубки. Но в ряде случаев указаны пределы плотности и для крайних фракций. Это значит, что экспериментально установлено отсутствие зерен на поверхности или на дне трубки, т. е. в еще более легких или более тяжелых плотностных фракциях.

Пределы плотности каждой фракции округлены до 0,001 г/см³. При исследовании подавляющего числа образцов ширина интервала была около 0,005 г/см³, причем вариации иногда достигали 8% от этой цифры.

Поэтому при округлении в одной-двух фракциях некоторых образцов ширина интервала плотности указана 0,004 или 0,006 г/см³. Более точные значения пределов плотности для каждой выделенной фракции приведены в разд. Б.

В двух образцах (150 и 151) визуально установлено, что пик распределения в несколько раз уже, чем принятая ширина интервала. В этих случаях указаны действительные интервалы плотности для пиковой фракции согласно результатам экспериментов. Примерно аналогичное положение имело место и с обр. 351.

Для ряда исследованных образцов приведены микрофотографии зерен кварца некоторых выделенных плотностных фракций (табл. II—XXIX). Описания по каждой из них отдельно не приводятся, так как текст для ссответствующего образца в настоящей главе содержит и необходимое минералогическое описание зерен микрофотографии для каждой фракции, и количественные характеристики ее — пределы плотности и их процентный состав в исходном образце¹. Нам кажутся очень важными эти количественные характеристики микрофотографий, хотя в работах минералогов, как правило, их нет.

Результаты измерений плотности кварца округлены до третьего знака после запятой, аналогично было округлено и калибровочное значение использованного опорного репера плотности из оптически чистого кварца 2,647 г/см³. В действительности по последним наиболее точным калибровкам его значение 2,6477 г/см³ (см. гл. IV). Поэтому ко всем приводимым ниже значениям плотности кварца и моды распределения следует прибавлять постоянную поправку в четвертом знаке после запятой +0,0007 г/см³.

КВАРЦ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Образец 1

1. <2,625; 1,4 *мг*; продукты выветривания Πw , единичные зерна *Кв*. 2. 2,625 — 2,630; 1,3 жг; Ке с обильными $BMC = 0.3 \sim 50\%$, выветрелый $\varPi u \sim 50\%$. 3. 2,630—2,635; 2 мг; $Ke \sim 75\%$, выветрелый $\varPi u \sim$ 25%, отмечаются зерна с обильными ВМС, а также слабо насыщенные ими — 0,1, иногда с включениями An, Рут и Би — 0,03 (табл. II, 1). 4. 2,635—2,640; 3,1 *мг*; Кв 100%, насыщенность ВМС слабая — 0,03, отмечаются зерна без включений, а также с включениями Би, Рит и Ап — 0,03 (табл. II, 2). 5. 2,640-2,645; 38,3 мг; Кв 100%, такой же, как во фр. 4 (табл. II, 3). 6. 2,645—2,650; 314,4 мг; Кв 100%, насышенность BMC слабая -0.03, появляются крупные включения Eu и An = 0.1 (табл. II. 4). 7. 2,650—2,655; 67,4 *мг*; Кв ~ 95%, Пл (свежий) ~ 5%, в Кв крупные включения *Би*, *An* и *Mm* - 0,3, *BMC* мало - 0,03 (табл. II, 5). 8. 2,655-2,660; 16,2 *mz*; $Ke \sim 80\%$, $\Pi \Lambda \sim 20\%$, в Ke крупные включения Eu, Mm и An = 0.3, отмечается Pym = 0.01, BMC мало = 0.03 (табл. II, 6). 9. 2,660-2,665; 10,4 мг; Ke = 65%, $\Pi A = 35\%$, характерны крупные включения $Bu,\ Mm$ и An=0,3 при слабом развитии $BM\tilde{C}=0,03.$ 10. 2,665—2,670; 6,7 *мг*; Кв ~ 60%, Пл ~ 40%, Кв такой же, как во фр. 9. 11. 2,670-2,674; 2,8 *me*; *Ke* ~ 55%, *Пл* ~ 45%, *В Ke* крупные включения Би и Mm = 0,3. 12. 2,674—2,679; 2,2 мг; $Ke \sim 50\%$, $\Pi \Lambda \sim 50\%$ Кв такой же. 13. > 2,679; 5,8 мг; $Ke \sim 50\%$, $\Pi \Lambda \sim 45\%$, $Mm \sim 5\%$, *Кв* переполнен крупными включениями Mm, Eu, An и $C\phi - 1$ (табл. II, 7).

Образец 6

1. < 2,610; 1,3 мг; Кв $\sim 20\%$, выветрелый Кпш $\sim 80\%$, насыщенность Кв ВМС слабая — 0,03, отмечаются включения Цир и Би = 0,01 (табл.

¹ В действительности приводятся лишь веса для каждой выделенной фракции, из которых следует соответствующий процентный состав.

III, 1). 2. 2,610—2,615; 1 мг; Пш, единичное зерно Кв. 3. 2,615—2,620; 0,9 мг; Пш. 4. 2,620—2,625; 1,4 мг; Пш, единичные зерна Кв. 5. 2,625— $2.630; 2.9 \,$ мг; Кв $\sim 5\%$, остальное Πw , отмечаются зерна Кв с крупными включениями УВ и Mm - 0,1. 6. 2,630-2.635; 10 мг; Кв ~ 20%, Пш ~ 80%, в Кв крупные черные непрозрачные включения УВ и Mm = 0.3, насыщенность BMC слабая — 0,03 (табл. III, 2). 7. 2,635—2,640; 34,8 мг; Кв 25%, Пш 75%, Кв такой же, как во фр. 6. 8. 2,640—2,645; 92,2 мг; Кв ~ 80%, $\Pi u \sim 20\%$, в Ke крупные включения УВ и Mm (?) — 0,1 и умеренное количество *BMC* — 0,03 (табл. III, 3). 9. 2,645—2,650; 251 *мг*; Кв 100%, содержит УВ и включения Mm (?), Би, Сил и Цир — 0,3, насышенность BMC низкая — 0,03. 10. 2,650 — 2,655; 35,2 мг; Кв 100%, содержание и размеры Мт (?) Сил, Цир и Би несколько увеличиваются -0,3, ВМС мало - 0,03 (табл. III, 4). 11. 2,655-2,660; 12,6 мг; Кв 100%, насыщенность Кв минеральными включениями продолжает постепенно увеличиваться — 0,3 (табл. III, 5). 12. 2,660—2,665; 3 мг; Кв 100%, такой же, как во фр. 11 (табл. III, 6). 13. 2,665; 3,7 мг; Кв ~ 80%, измененный $\Pi_{\Lambda} \sim 20\%$. Кв такой же, как во фр. 10—12 (табл. III, 7).

Образец 9

1. < 2,610; 0,6 мг; выветрелый Πw , единичное зерно Кв. 2. 2,610— 2,615; 0,2 me; IIm. 3. 2,615-2,620; 0,4 me; Ke ~ 80%, IIn ~ 20%, B Ke $y_B = 0.03.$ 4. 2,620 - 2,625; 0,7 me; Π_A . 5. 2,625 - 2,630; 0,3 me; Π_A , equничное зерно Кв. 6. 2, 630-2,635; 0,2 мг; Кв 100%, отмечаются крупные YB = 0,03. 7. 2,635 -2,640; 2,1 мг; Кв $\sim 50\%$, выветрелый $\Pi A \sim 50\%$, в Ке крупные УВ — 0,1 (табл. IV, 1). 8. 2,640—2,645; 10,7 мг; Ке ~ 80%, $\Pi_{\Lambda} \sim 10\%$, сростки *Ке* с $\Pi_{\Lambda} \sim 10\%$, насыщенность *Ке ВМС* средняя — 0,1, отмечаются УВ, Сил, Ап, Цир и Би — 0,1 (табл. IV, 2). 9. 2,645-2,650; 342 мг; Кв 100%, те же минеральные включения — 0,1, насыщенность ВМС уменьшается — 0,03 (табл. IV, 3). 10. 2,650 — 2,655; 52,9 мг; Ке 100%, заметно увеличивается содержание Би. Цир и Ап — 0.3, ВМС мало — 0,03, УВ очень редки — 0,01 (табл. IV, 4). 11. 2,655 — 2,660; 14,1 мг; Кв 100%, такой же, как во фр. 10, отмечаются включения УВ-0,01 (табл. IV, 5). 12. 2,660—2,665; 2,8 мг; Кв 100%, насыщенность зерен минеральными включениями, в основном Цир, продолжает несколько увеличиваться — 0,3, УВ мало — 0,01 (табл. IV, 6). 13. > 2,665; 2,4 мг; $K_{\theta} \sim 95\%$, зерна Mm и $\Pi_{A} \sim 5\%$, в K_{θ} крупные включения Hup и $C\phi = 1$ (табл. IV, 7).

Образец 17

1. < 2,628; 1,4 мг; Кв ~ 80 %, выветрелый $II_{A} \sim 20$ %, Кв сильно насыщен BMC = 0.3, отмечаются включения Mm, An, Bu и 3n = 0.03. 2. 2,628-2,633; 0,7 мг; Ке~35%, Пл~50%, Ке такой же, как во фр. 1. 3. 2,633-2,638; 2,6 мг; Ке ~50%, выветрелый Пл ~50%, в Ке обильный BMC - 0,3, отмечаются Би, Рог, Цир, Эп и Рут - 0,03. 4. 2,638-2,643; 3,3 мг; Ке \sim 35%, Пл и сростки Ке с Пл \sim 65%, ВМС обильны — 0.3. насыщенность минеральными включениями Би, Рог, Цир, Эп, Рут слабая — 0,03 (табл. V, 1). 5. 2,643—2,648, 35,3 мг; Кв ~80%, Пл и сростки Кв с Пл ~20%, насыщенность ВМС слабая — 0,03, включения Би, An, Pym, Por и Mm обильные — 0,1, но мелкие (табл. V, 2). 6. 2,648—2,653; 192,3 мг; Ке ~70%, сростки Ке с Пл ~30%, насыщенность Кв ВМС низкая — 0,03, отмечаются те же минеральные включения, но насыщенность ими *Кв* несколько выше — 0,1. (табл. V, 3). 7. 2,653-2,658; 132,6 *мг*; Кв ~ 40%, сростки Кв с Пл ~ 60%, Кв такой же, как во фр. 6 (табл. V, 4). 8. 2,658—2,663; 34 *мг*; Кв ~ 35%, сростки *Кв* с Пл ~ 65%, *ВМС* мало — 0,03, включения Рог, Эп, БИ, Цир и Мт становятся крупнее — 0,3 (табл. V, 5). 9. 2,663—2,668; 15,2 мг; Кв ~ 20%, сростки Кв с Пл ~ 80%, Кв такой же, как во фр. 8 (табл. V, 6). 10. 2,668—2,673; 6,5 мг; сростки Кв с Пл 100%. 11. 2,673—2,678; 3,6 мг; то же. 12. > 2,678; 11,6 мг; сростки Кв с Пл.

Образец 23

1. < 2,611; 1,4 мг; Кв ~ 30%, сростки Кв с Би 60%, Би ~ 10%, в Кв нет обильных ВМС — 0,03, легкость его обусловлена включениями разложенного Eu = 0,1, в Ke есть включения Дucm = 0,01. 2. 2,611-2,616; 1.9 мг; Кв 100% с включениями Би, скоплениями Дист и УВ — 0,03, *BMC* нет. 3. 2,616-2,621; 0,3 *мг*; *Кв* 100%, имеются включения *Би* — 0,03. 4. 2,621-2,626; 2,6 мг; Кв 100% с включениями Би, Дист и УВ -0,03, в некоторых зернах BMC = 0,03. 5. 2,626 - 2,630; 2,5 *me*; Ke 100% с включениями Би, Дист и УВ — 0,03, ВМС мало — 0,03, встречаются включений. 6. 2,630-2,635; 3,3 мг; Кв 100%, наряду зерна без с описанными появляются зерна с обильными ВМС — 0.03. 7. 2.635 — 2.640: 9.7 мг: Ке 100%. ВМС обильны — 0.3. включения Би и Мт (?) становятся меньше — 0,03, есть зерна с включениями Дucm = 0,01, а также без включений. 8. 2,640-2,645; 92,4 мг; Кв 100%, ВМС уменьшаются — 0,1, мелкие включения Eu, единичные включения Aucm = 0,03, отдельные зерна без включений. 9. 2,645-2,650; 291,8 мг; Кв 100%, *BMC* почти нет — 0,01, много зерен без включений, мелкие включения; Би и Дист (иногда в скоплениях) — 0,03. 10. 2,650—2,655; 55,5 мг; Кв 100%, ВМС почти нет — 0,01, включения Би и Дист становятся крупнее — 0,1, наблюдается скопление Дист в зернах — 0,03. 11. 2,655— 2,660; 5,5 мг: Ке 100%, укрупняются включения Би, включения Мт, скопления крупных кристаллов Дист — 0,3, ВМС почти нет — 0,01. 12. 2,660-2,665; 2,4 мг; Кв 100%, включения Би становятся еще крупнее — 1, в остальном то же, что и во фр. 11. 13. > 2,665; 6,5 мг; Кв ~35%, Би и Мт ~ 65%, Ке содержит очень крупные включения Би и Мт или сильно насыщен Дист — 1.

Образец 27

1. < 2,625; 1,3 *мг*; *Кв* переполнен *УВ* — 1. 2. 2,625—2,630; 1,7 *мг*; насыщенность *Кв УВ* несколько ниже — 1. 3. 2,630—2,635; 4,8 *мг*; то же. 4. 2,635—2,640; 17,1 *мг*; насыщенность *Кв УВ* продолжает падать — 0,3. 5. 2,640—2,645; 142,1 *мг*; насыщенность *УВ* еще меньше — 0,1, отмечаются включения *An* и *Би* — 0,01. 6. 2,645—2,650; 137,5 *мг*; то же, появляются включения *Por*. — 0,01. 7. 2,650—2,655; 63,8 *мг*; то же. 8. 2,655—2,660; 24,8 *мг*, насыщенность *УВ* на прежнем уровне — 0,1, есть включения *An* и *Por* — 0,03. 9. 2,660—2,665; 11,1 *мг*; то же. 10. 2,665—2,670; 8,4 *мг*; то же, включения *Por* становятся крупнее — 0,1. 11. 2,670—2,675; 5,9 *мг*; то же. 12 > 2,675; 10,6 *мг*; *Кв* 60%, *Mm* и сростки с ним *Кв* ~ 40%, в *Кв* обильны *УВ* — 0,1, крупные включения *Por* и *Mm* — 0,1. Дифференциация зерен *Кв* в этом образце обусловлена разным соотношением *УВ* (скорее всего *Граф*) и включений *Mm*. Вследствие непрозрачности они в зернах трудно различимы.

Образец 28

1. > 2,623; 0,4 *мг*; *Кв* переполнен $\Gamma pa\phi$. — 1. 2. 2,623—2,628; 0,1 *мг*; *Кв* переполнен $\Gamma pa\phi$ — 1, отмечаются зерна без включений (табл. VI, 1). 3. 2,628—2,633; 1,7 *мг*; то же, $\Gamma pa\phi$ несколько меньше — 0,3. 4. 2,633— 2,638; 7,1 *мг*; *Кв* сильно насыщен $\Gamma pa\phi$ — 0,3, единичные включения *Дист* и *Цир* — 0,01 (табл. VI, 2). 5. 2,638—2,643; 77.6 *мг*, то же, несколько уменьшается насыщенность $\Gamma pa\phi$ — 0,3. 6. 2,643—2,648; 89,1 *мг*; количество $\Gamma pa\phi$ в *Кв* на прежнем уровне — 0,3, увеличивается частота встречаемости *Дист* и *Би* — 0,03. 7. 2,648—2,653; 40 *мг*; содержание *Граф* в *Кв* несколько уменьшается — 0,1, отмечаются *Дист* и *Би* — 0,03 (табл. VI, 3). 8. 2,653—2,658; 10,9 *мг*; содержание *Граф* в *Кв* на прежнем уровне — 0,1, отмечаются крупные включения *Би* и *Цир* — 0,1 (табл. VI, 4). 9. 2,658—2,663; 4,4 *мг*; в зернах *Кв* кроме *Граф* — 0,1 появляются мелкие черные выделения рудного минерала, отмечаются крупные включения *Цир* и *Би* — 0,1 (табл. VI, 5). 10. 2,663—2,668; 2 мг; Кв, заметно уменьшается содержание $\Gamma pag = 0.03$, отмечаются крупные включения Eu = 0.1. 11. 2.668—2.673; 1.4 мг; Кв с крупными включениями *Por*, Eu, Cg и Mm = 0.3, в некоторых зернах Γpag почти отсутствует — 0.03 (табл. VI, 6). 12. > 2.673; 9.7 мг; содержание Γpag в Кв невелико — 0.03, почти во всех зернах крупные включения *Por* и Eu = 0.3, отмечаются включения Mm = 0.03 (табл. VI, 7).

Образец 43

1. < 2,625; 0,5 мг; Пл и сростки Кв с Пл. 2. 2,625-2,630; 0,2 мг; то же. 3. 2,630-2,635; 1 мг; Кв – единичные зерна, Пл, сростки Кв с Пл. 4. 2,635—2,640; 3,5 мг; Кв \sim 10%, сростки Кв с Пл \sim 90%, Кв почти не содержит минеральных включений — 0,01, ВМС мало — 0,03. 5. 2,640–2,645; 37,5 *me*; $Ke \sim 25\%$, сростки Ke с $\Pi A \sim 75\%$, Ke слабо насыщен BMC = 0.03 (табл. VII, 1). 6. 2,645–2,650; 304,1 *мг*; *Ке* ~ 80%, сростки Кв с Пл ~ 20%, отмечаются мелкие включения Би, Гр и Дист — 0,03. ВМС мало — 0,03 (табл. VII, 2). 7. 2,650—2,655; 91,4 мг; Кв ~ 90%, сростки Кв с Пл ~ 10%, в Кв мелкие включения Дист, Би и Гр, появляются включения Mm — 0,03, BMC почти нет — 0,01 (табл. VII, 3). 8. 2,655—2,660; 25,2 мг; Кв ~ 60%, сростки Кв с Пл ~ 40%, в Кв крупные включения Bu, Mm и $\Gamma p = 0.1$, BMC почти нет = 0.01 (табл. VII, 4). 9. 2,660–2,665; 9,9 *mz*; Ke ~ 40%, сростки Ke с $\Pi A \sim 60\%$, в Ke крупные включения Eu и Mm = 0.3, отмечается $\Gamma p = 0.01$ (табл. VII, 5). 10. 2,665-2,670; 7,7 мг; Кв ~ 20%, сростки Кв с Пл ~ 80%, в Кв крупные включения Eu, Mm и Aucm = 0.3 (табл. VII, 6). 11. 2,670–2,675; 3,1 мг; Кв ~ 15%, сростки Кв с Пл ~ 85%, Кв такой же, как во фр. 10. 12. > 2,675; 11,4 мг; Кв \sim 40%, сростки Кв с Пл \sim 60%, в Кв очень крупные включения Mm и C - 1, отмечаются включения Дист и Г -0.01 (табл. VII, 7).

Образец 72

1. < 2,625; 2,3 мг; сростки Кв с Пш. 2. 2,625-2,630; 2,2 мг; Кв $\sim 5\%$, остальное — сростки Кв с Пш, Кв почти лишен включений, иногда содержит Граф — 0,01. 3. 2,630—2,635; 3,6 мг; Кв почти без включений $\sim 5\%$, сростки Кв с Пш $\sim 95\%$. 4. 2,635—2,640; 15,7 мг; Кв $\sim 20\%$, остальное — сростки Кв с Пш, в Кв обильные мелкие включения Граф — 0,3. 5. 2,640—2,645; 119 мг; Кв ~ 50%, сростки Кв с Пш ~ 50%, в Кв мелкие включения $\Gamma_{pa\phi}$ (менее обильные, чем во фр. 4) — 0,1, а также Би и Дист — 0,03, BMC очень мало — 0,01. 6. 2,645—2,650; 262,5 мг; Кв 100%, сростки Кв с Пш единичны, более 50% зерен с мелкими включениями Граф — 0,1, отмечаются включения Би, Дист и Мус — 0,03. 7. 2,650—2,655; 66 мг; Кв 100%, содержание Граф в Кв такое же, как во фр. 6, включения Bu становятся крупнее, отмечаются $C\phi$, Myc и $\mathcal{A}ucm = 0,1.$ 8. 2,655=2,660; 12,5 мг; Кв 100%, содержание Γpap в Кв уменьшается — 0,03, увеличиваются размеры включений Би, Сф и Дист — 0,3, ВМС почти нет — 0,01. 9. 2,660—2,665; 6,6 ме; Ке 100%, зерна его насыщены крупными включениями Би, Сф и Дист — 0,3. 10. 2,665—2,670; З *мг*; Кв 100%, увеличиваются размеры включений Би, Сф и Дист — 0,3, во фр. 9—10 насыщенность Кв Граф такая же, как во фр. 8. 11. 2,670-2,675; 1,7 мг; Кв 100%, очень крупные включе-Би, Сф и Дист – 1, отмечаются включения $\Gamma pa\phi = 0.03.$ ния 12. >2,675; 5,3 мг; Кв 100%, очень крупные включения Би, Сф, Дист и Myc = 1.

Образец[73

1. $< 2,625; 5,9 \text{ мг}; \Pi u$ и сростки Ke с Πu . 2. 2,625-2,630; 2,9 мг; то же. 3. 2,630-2,635; 4,1 мг, сростки Ke с Πu . 4. 2,635-2,640; 10,2 мг; $Ke \sim$ 35%, сростки Ke с Πu 65%, Ke насыщен BMC = 0,3, в некоторых зернах BMC мало, отмечаются мелкие включения Πup и An = 0,01 (табл. VIII, 1). 5. 2,640-2,645; 53,6 мг; $Ke \sim 95\%$, сростки Ke с $\Pi u \sim 5\%$, содержание ВМС в Кв низкое — 0,03, во многих зернах отмечаются мелкие включения An, Цир и Рог — 0,03 (табл. VIII, 2). 6. 2,645—2,650; 321,5 мг; Кв 100%, сростки Кв с Пл единичны, насыщенность ВМС низкая — 0,03, насыщенность Кв включениями An, Цир и Рог увеличивается — 0,1; они становятся крупнее (табл. VIII, 3). 7. 2,650—2,655; 51,8 мг; Кв 100%, появляются крупные включения Рог и Би — 0,3 (табл. VIII, 4). 8. 2,655— 2,660; 11 мг; то же. 9. 2,660—2,665; 5,1 мг; Кв ~ 95%, Пл с включениями ~ 5%, крупные включения Рог, Би и An в Кв встречаются чаще — 0,3, чем в предыдущих фракциях, ВМС почти нет — 0,01 (табл. VIII, 5). 10. 2,665—2,670; 2,5 мг; Кв 100%, почти во всех зернах крупные включения Би, Рог, An и Сф — 0,3, насыщенность ВМС низкая — 0,03, но отмечаются зерна со средней насыщенностью. 11. 2,670—2,675; 2,6 мг; то же. 12.2,675—2,680; 1,7 мг, то же. 13.>2,680; 21,7 мг; Кв с крупными включениим Рог и Сф — 1 ~ 40%, остальное — зерна Рог и сростки Рог СКв и Пл.

Образец 82

1. < 2,623; 0,4 мг; Кв $\sim 95\%$, выветрелый Пл (?) $\sim 5\%$, в Кв обильные включения Граф — 1 (табл. IX, 1). 2. 2,623—2,628; 0,4 мг; то же, в единичных зернах Кв заметно меньшее содержание Граф. 3. 2,628—2,633; 0,9 мг; Кв 100 %, очень сильно насыщен Граф — 1. 4. 2,633—2,638; 4,1 мг; Кв 100%, количество Граф почти не уменьшается — 1 (табл. IX, 2). 5. 2,638-2,643; 139,6 мг; Кв 100%, Граф намного меньше — 0,1, отмечаются редкие включения Bu и Aucm = 0.03, BMC очень мало = 0.01 (табл. IX, 3). 6. 2,643—2,648; 213,8 *мг*; Кв 100%, включений Граф мало — 0,03, много крупных включений *Би*, отмечается *Дист* — 0,1 (табл. IX, 4). 7. 2,648—2,653; 55,1 мг; Кв 100%, содержание Граф на прежнем уровне — 0,03, увеличиваются содержание и размеры включений Eu = 0,1 (табл. IX, 5). 8. 2,653-2,658; 19,4 *m*₂; to He. 9. 2,658-2,663; 9,3 *m*₂; Ke 100%, B Кв крупные включения Би — 0,3, появляются зерна с черными непрозрачными включениями рудного (?) минерала — 0,03 (табл. IX, 6). 10. 2,663— 2,668; 6,5 мг; Кв 100%, содержание непрозрачных включений увеличивается, крупные включения Би и Дист — 0,3 (табл. IX, 7). 11. 2,668— 2,673; 3,4 мг; Кв 100%, содержание непрозрачных включений продолжает возрастать, отмечаются крупные включения Би – 1. 12>2,673; 46,3 мг; *Ке* 100%, в *Ке* очень крупные включения рудного (?) минерала и Eu = 1.

Образец 88

1. < 2,625; 0,6 мг; продукты выветривания Πw , единичные чешуйки *Bu.* 2. 2,625—2,630; 0,4 мг; выветрелый Пш, единичные сростки Кв с Пш. $3.\ 2,630{-}2,635;\ 0,2$ мг; Кв с обильными BMC — $1\sim5\%$, сростки Кв с Пл $\sim 95\%$. 4. 2,635—2,640; 1,9 мг; Кв $\sim 25\%$, сростки Кв с Пл $\sim 75\%$, в Кв обильные BMC = 1, отмечаются включения Eu, Mm и $Cu_{II} = 0.03$. 5. 2,640-2,645; 36,7 мг; Ке ~ 20%, сростки Ке с Пл ~ 80%, в Ке обильные BMC — 0,3. 6. 2,645—2,650; 208,2 мг; Кв ~ 80%, сростки Кв с Пл ~ 20%, содержание ВМС в Кв низкое — 0,03, часто отмечаются мелкие включения Би, Мт, Цир и Сил — 0,03. 7. 2,650—2,655; 120,3 мг; Кв ~ 80%, сростки Кв с Пл $\sim 20\,\%$, в Кв те же минеральные включения, размеры их увеличиваются — 0,1, ВМС мало — 0,03. 8. 2,655—2,660; 45,9 мг; Ке~70%. Сростки *Ке* с $\Pi_{\Lambda} \sim 30\%$, включения *Би*, *Мт* и *Цир* становятся еще крупнее -0,1,BMC мало -0,03. 9. 2,660 -2,665;21,1 мг; Кв $\sim 75\%$, сростки Ke с $\Pi_{II} \sim 25\%$, в Ke крупные включения $Eu,\ Mm$ и $Hup=0.3,\ BMC$ мало -0.03. 10. 2.665-2.670; 10.9 мг; Ке \sim 70%, сростки Ке с Пл \sim 30%, в Кв крупные включения *Би*, *Мт* и Цир — 0,3. 11. 2,670—2,675; 0,2 мг; $Ke \sim 90\%$, сростки Ke с $\Pi_{\Lambda} \sim 10\%$, размеры включений Eu и Mm = 0.3в Кв продолжают увеличиваться. 12. 2,675 — 2,680; 8,9 мг; Кв ~ 95%, сростки Кв с $\Pi_{\Lambda} \sim 5\%$, в Кв очень крупные включения Би и Mm - 1. 13. > 2,680; 11,7 мг; Ке ~ 95%, Мт и $\Gamma p \sim 5\%$, в Ке очень крупные включения Би и Mm — 1, отмечаются включения Цир — 0,03.

Образец 89

1. < 2,625; 0,1 мг; выветрелый Пш. 2. 2,625-2,631; 3,5 мг; то же. 3. 2,631-2,636; 0,7 мг; Ке $\sim 50\%$, $\Pi w \sim 50\%$, Ке насыщен включениями $\Gamma pa \phi = 0,3$, иногда очень крупными. 4. 2,636—2,641; 1,3 мг; Кв ~ 75%, \varPi ш и сростки Ke с \varPi ш $\sim 25\,\%$, $\sim 50\,\%$ зерен Ke насыщены BMC=0.3, в $\sim 50\%$ зерен крупные включения Граф — 0,3. 5. 2,641—2,646; 32,8 мг; *Кв* 100%, *ВМС* мало — 0,03, в некоторых зернах крупные включения Граф = 0.03, отмечается Сил = 0.01. 6. 2.646 = 2.651; 284,1 мг, Кв 100 %, *BMC* мало -0.03, в некоторых зернах крупные включения $\Gamma pa\phi = 0.03$, многие зерна насыщены Cu_{Λ} , отмечается Bu = 0,1. 7. 2,651 -2,656; 83,1 *мг*; Ке 100%, крупные включения Eu = 0,3, отмечаются Сф, Сил и Граф — 0,03, ВМС мало — 0,03. 8. 2,656—2,661; 23,7 мг; Кв 100%, ВМС очень мало — 0,01, в Кв крупные включения Би, многие зерна сильно насыщены $Cu_{\Lambda} = 0,3$, отмечается $\Gamma pa \phi = 0,01$. 9. 2,661 = 2,666; 11,7 *мг*; то же. 10. 2,666-2,671; 5,6 мг; то же. 11. 2,671-2,676; 3,9 мг; Кв 100%, очень крупные включения Би, Сил переполняют зерна Кв — 1, включения Граф редки — 0,01, ВМС очень мало — 0,01. 12. > 2,676;10,2 мг; не отличается от фр. 11.

Образец 91

1. $< 2,625; 0,9 \text{ мг}; \Pi u$ и сростки K_e с Πu . 2. 2,625-2,630; 0,3 мг; то же. 3. 2,630-2,635; 0,6 мг; то же. 4. $2,635-2,640; 1,9 \text{ мг}; K_e \sim 60\%$, сростки K_e и $\Pi u \sim 40\%$, K_e разнороден, отмечаются зерна, насыщенные BMC = 0,03, зерна с YB = 0,03, дефектные зерна без видимых включений, возможно, неопределимыми включениями Πu . 5. 2,640-2,645; $23,4 \text{ мг}; K_e 100\%$, BMC мало = 0,03, более 50\% зерен содержат мелкие включения An и Eu = 0,03. 6. 2,645-2,650; 275,8 m_i ; $K_e 100\%$, отличается от Ke фр. 5 насыщенностью включений An, увеличением размеров включений Eu и появлением $C\phi = 0,1.$ 7. 2,650-2,655; 112,6 $m_i; Ke$ 100%, включения $C\phi$, Eu и An становятся крупнее, растет насыщенность ими зерен = 0,3, BMC мало = 0,03. 8. 2,655-2,660; 30,7 m_i ; то же. 9. 2,660-2,665;3,9 мг; Ke 100%, в K_e крупные включения Eu, $C\phi$, Γp и An = 0,3, BMCмало = 0,03. 10. 2,665-2,670; 2,1 $m_i; Ke$ 100%, включения те же, растут их размеры и насыщенность = 1. 11. > 2,670; 25,8 $m_i; Ke \sim 15\%$, Poe, $C\phi$ и $\Pi_A \sim 85\%$, в Ke крупные включения Eu, $C\phi$, Γp , Poe и An = 1.

Образец 93

1. < 2,636; 0,4 ме; Пш. 2. 2,631-2,636; 0,1 ме; Ке ~ 30%, Пш ~ 70%.3. 2,636-2,641; 0,3 ме; Ке ~ 80%, Пш и сростки Ке с Пш ~ 20%, в Ке отмечаются YB = 0,03, BMC мало = 0,03, присутствуют мелкие включения Би и An = 0,03. 4. 2,641-2,646; 28,3 ме; Ке 100%, BMC мало = 0,03, отмечаются YB = 0,02, в некоторых зернах мелкие включения Би и An = 0,03. 5. 2,646-2,651; 293,1 ме; Ке 100%, BMC мало = 0,03, более 50% зерен с мелкими включениями Би и An = 0,1. 6. 2,651-2,656; 92,3 ме; Ке 100%, почти во всех зернах включения Би и An, включения Би становятся крупнее = 0,3. 7. 2,656-2,661; 22,1 ме; Ке 100%, размер включений Би продолжает увеличиваться = 0,3. 8. 2,661-2,666; 8,3 ме; то же. 9. 2,666-2,671; 4,2 ме; то же. 10. 2,671-2,676; 2,6 ме; то же. 11. 2,676-2,681; 1,7 ме; то же. 12. 2,681-2,686; 1,6 ме; то же (во фр. 7-12 прогрессивно увеличиваются размеры включений Би и насыщенность им зерен Ке = 1). 13. > 2,686; 4,5 ме; Ке $\sim 65\%$, Би $\sim 35\%$, в большей части зерен крупные включения Eu = 1.

Образец 96

1. 2,636—2,641; 0,1 *мг*; *Кв* 100%, в *Кв* мелкие включения —*Би* 0,03, *ВМС* почти нет — 0,01. 2. 2,641—2,646; 114,5 *мг*; *Кв* 100%, часть зерен содержит мелкие включения *Би* и *Дист* — 0,03, *ВМС* почти нет — 0,01. 3. 2,646—2,651; 269,3 *мг*; *Кв* 100%, в ~ 50% зерен включения *Би*, *Дист*, Цир и $\Gamma p = 0,1, BMC$ очень мало = 0,01. 4. 2,651 = 2,656; 76,2 мг; Кв 100%, почти во всех зернах включения Eu, Цир и Дист = 0,1, отмечаются; *Мт* и $\Gamma p = 0,03$, включения Eu становятся заметно крупнее = 0,3. 5. 2,656 = 2,661; 11,4 мг; Кв 100%, во всех зернах включения перечисленных минералов = 0,1, увеличиваются размеры включений Eu = 0,3, BMC почти нет = 0,01. 6. 2,661 = 2,666; 7,1 мг; то же. 7. 2,666 = 2,671; 2,1 мг, то же. 8. 2,671 = 2,676; 0,6 мг; Кв 100%, постепенно увеличиваются размеры включений, главным образом Eu, а также Цир, Мт и $\Gamma p = 1, BMC$ очень мало = 0,01. 9. 2,675 = 2,681; 0,4 мг; то же. 10. > 2,681; 3,1 мг, Кв $\sim 80\%$, $Eu \sim 20\%$, преобладает Кв с крупными включениями Eu, Цир, Mm, но отмечаются зерна с мелкими включениями = 1.

Образец 107

1. < 2,626; 1,2 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 2. 2,626—2,630; 1 мг; то же. **3.** 2,630-2,635; 0,3 мг; то же. **4.** 2,635-2,640; 3,4 мг; Кв ~ 10%, сростки Кв с Пш ~ 90%, в Кв включения Би, Рог и Ап (единичные) 0,01, ВМС довольно обильны — 0,3. 5. 2,640—2,645; 38,7 мг; Кв 100%, слабо и средне насыщен ВМС – 0,01, иногда отмечаются Би, Рог и An – 0,01. 6. 2,645- $2,650;\,265,8$ мг; Кв $100\,\%,\;BMC$ мало $=0,03,\;$ в $\sim 50\,\%$ зерен включения Ап и Би, реже Por=0.03, обычны зерна без включений. 7. 2,650—2,655; 78 *мг; Кв* 100 %, почти во всех зернах включения *Би, Ап* и *Рог* — 0,01, заметно увеличиваются их размеры. 8. 2,655—2,660; 19,6 мг; то же. 9. 2,660— 2,665; 11,4 мг; Кв 100%, размеры включений Би, Ап, Рог и насыщенность ими зерен Кв продолжают увеличиваться — 0,3, ВМС очень мало — 0,01. 10. 2,665-2,670; 7,1 мг; то же. 11. 2,670-2,675; 4,6 мг; то же. 12. 2,675-2,680; 3,6 мг, Кв 100%, размеры включений Би, Сф и Рог возрастают — 1, отмечаются An = 0.03, BMC мало = 0.01. 13. 2.680 = 2.685, 4.6 *мг*; то же. 14. > 2,685; 25,1 мг; Кв 70%, Рог и Би $\sim 30\%$, в Кв очень крупные включения *Рог. Би* и *Сф* — 1, отмечаются включения *An* — 0,03.

Образец 109

1. < 2,630; 1,1 мг; Ке $\sim 95\%$, выветрелый $\varPi u \sim 5\%$, в Ке очень крупные включения Граф — 1. 2. 2,630—2,635; 2,1 мг; Кв 100%, в Кв очень крупные включения Граф - 1. 3. 2,635-2,640; 10,9 мг; Кв 100%, во всех зернах крупные включения $\Gamma pa\phi - 1$, включения Eu в $\sim 5\%$ зерен -0,01, ВМС ~ 50% (слабая насыщенность) — 0,03. 4. 2,640 — 2,645; 14,5 мг; Кв 100, включения Граф в ~ 90% — 0,3, ВМС ~ 30% (слабая насыщенность) — 0,03, Би в ~ 10% зерен — 0,03, размер включений Граф и насыщенность ими зерен уменьшаются — 0,1. 5. 2,645—2,650; 247,2 мг; Кв 100%, включения Граф в $\sim 65\% - 0.1$, а Би в $\sim 20\%$ зерен, в единичных зернах An = 0,1, насыщенность зерен *BMC* слабая = 0,03. 6. 2,650-2,655; 50,6 мг; Кв 100%, включения Граф в ~ 80% - 0,1, Би в $\sim 45\% - 0.1, BMC$ (слабая насыщенность) в $\sim 40\%$ зерен — 0.03, размер включений Граф уменьшается, а Би увеличивается — 0,1, единичные включения Ап. 7. 2,655—2,660; 7,5 мг; Ке 100%, соотношения включений примерно такие же, как и во фр. 6, продолжается укрупнение включений *Би* -0.3. 8. 2,660-2,665; 3,3 *мг*; то же. 9. 2,665-2,670; 1,1 *мг*; то же, крупные включения Eu в Ke, появляются включения $C\phi = 0,3.$ 10. 2,670 -2,675; 0,8 мг; Кв 100%, в большинстве зерен включения Граф (мелкие и средние) — 0,03 и Би (крупные), отмечаются крупные включения $C\phi = 0,3$. **11.** 2,675–2,681; 0,5 мг; то же. **12.** > 2,681; 2,5 мг; лейкоксен и сростки с ним Кв ~ 10%, остальное — Кв с крупными включениями Би, Сф и непрозрачного минерала — 1 (вероятно, Граф и лейкоксен).

Образец 111

1. < 2,619; 0,1 мг; Кв, слабо насыщенный ВМС — 0,03. 2. 2,619—2,624; зерна отсутствуют. 3. 2,624—2,629; то же. 4. 2,629—2,635; 0,1 мг; измененный Пш, сростки Кв с Пш. 5. 2,635—2,640; зерна отсутствуют. 6. 2,6402,645; 5,9 *мг*; *Ке* 100%, средне и слабо насыщен мелкими *BMC* — 0,03, в ~ 10% зерен включения *Граф* — 0,03 (табл. X, 1). 7. 2,645—2,650; 316,3⁴мг; *Ке* 100%, *BMC* почти нет — 0,01, в 50% зерен мелкие включения *Би* — 0,1, отмечаются включения *Цир* — 0,01 (табл. X, 2). 8. 2,650—2,655; 137,4 *мг*; *Ке* 100%, *BMC* очень мало — 0,01, в 75% зерен мелкие, а иногда крупные включения *Би* — 0,1, в 15% включения *Цир* — 0,03, 20% не.содержат включения *Би*, которые становятся крупнее — 0,3, часть зерен (10%) содержат *Цир* — 0,03 (табл. X, 4). 10. 2,660—2,666; 6,6 *мг*; *Ке* 100%, размеры включений *Би* — 0,3⁴ и *Цир* — 0,1 постепенно увеличиваются. 11. 2,666—2,671; 3,9 *мг*; то же, включений больше ~ 1. 12. 2,671—2,676; 1,7 *мг*; то же (табл. X, 5). 13. 2,676—2,681; 1,6 *мг*; то же.

Образец 114

1. < 2,636; 0,1 мг; Ке ~ 50%, сростки Ке с Пш ~ 50%, в Ке мелкие включения *Би* = 0,01. 2. 2,636-2,641; 1,3 *мг*; *Кв* ~ 30%, сростки *Кв* с $\Pi u \sim 70\%$, в Кв мелкие включения Bu = 0.03, BMC мало -0.03. 3. 2,641—2,646; 31,8 мг; Кв 100%, содержит мелкие включения Би и Сф — 0,03, ВМС мало — 0,03. 4. 2,646—2,651; 337,4 мг; Кв 100%, слабо насыщен BMC = 0.03, более 50% зерен с включениями Би и $C\phi \sim 0.1$. 5. 2,651-2,656; 76,4 мг; Ке 100%, более 70% зерен с включениями Би и Сф — 0,1, возрастают насыщенность зерен минеральными включениями и их размеры, *ВМС* мало — 0,03. 6. 2,656—2,661; 16,3 *мг*; *Кв* 100 %, почти во всех зернах *Кв* крупные включения *Би* и *Сф*-0,3, *ВМС* очень мало - 0,01. 7. 2,661—2,666; 3,9 *мг*; Кв 100 %, во всех зернах крупные включения Би и Сф - 0,3. Растет насыщенность Кв минеральными включениями. 8. 2,666—2,671; 1,6 мг; то же. 9. 2,671—2,676; 1,2 мг; то же. 10. 2,676—2,682; 0,4 *мг*; то же. 11. > 2,682; 4,1 *мг*; $Ke \sim 80\%$, непрозрачные зерна ($C\phi$?) ~20%, Кв сильно насыщен крупными и мелкими включениями Би и $C\phi - 1.$

Образед 116

1. < 2,635; 0.5 мг; Кв 100%, в Кв крупные включения Граф — 0,3, единичные зерна насыщены BMC = 0.03. 2. 2.635 = 2.640; 0.8 мг; Кв 100%, включения Граф в ~ 60% — 0,3, ВМС в ~ 30%, зерен — 0,3 почти без включений $\sim 10\,\%$ зерен, в некоторых зернах включения Eu=0,01.3. 2,640-2,645, 18,1 мг; Кв 100%, преобладают зерна, средне и слабо насыщенные BMC = 0.1 (~ 75%), включения $\Gamma pa\phi = 0.03$ в ~ 25% зерен, многие зерна содержат мельчайшие включения Pym = 0,03. 4. $2,6\bar{4}5-$ 2,650; 337,3 мг; \ddot{K} в 100%, \sim 50% зерен слабо насыщены BMC = 0,03, зерен Pym = 0.03, мелкие включения Eu, иногда $\Im n = 0.03$, в ~ 35% в ~ 15% зерен Граф — 0,03. 5. 2,650 — 2,655; 94,8 мг; Кв 100%, ~ 30% зерен слабо насыщены BMC=0.03, часто с Pym=0.03, $\sim 5\%$ зерен содержат только $Pym = 0,1, \sim 65\% = Bu$ и $\Im n = 0,1,$ включения становятся крупнее, иногда отмечается $\Gamma pa \phi = 0,01.$ 6. 2,655 -2,660; 14,6 мг; $Ke\ 100\%$, в $\sim 90\%$ зерен крупные включения Eu и $\Im n = 0.3$, в $\sim 10\%$ зерен Рут — 0,03, с Би иногда ассоциирует Граф — 0,01. 7. 2,660-2,665; 3,5 мг; Кв 100%, почти во всех зернах крупные включения Би, Эп и Гр (?) -0.3, во многих зернах содержится Pum = 0.03, иногда $\Gamma pa\phi = 0.01$, BMC мало -0.03. 8. 2.665-2.670; $1.4\,$ мг; то же, несколько увеличиваются размеры минеральных включений и насыщенность ими — 1. 9. 2,670-2,675; 0,5 *мг*; то же. 10. 2,676—2,681; 0,4 *мг*; Кв 100%, размеры включений Би, Эп и Гр (?) и насыщенность ими зерен — 1 продолжают увеличиваться. 11. > 2,681; 1,7 мг; то же.'

Образец 249

1. < 2,613; 9,3 мг; Пш. 2. 2,613—2,618; 2,8 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 3. 2,618—2,623; 2,8 мг; то же. 4. 2,623—2,629; 4,6 мг; то же. 5. 2,629—2,634;

4.6 мг; то же. 6. 2,634—2,639; 7,7 мг; Кв с крупными включениями Пш~ 30% - 0.3, Πw и сростки Ke с $\Pi w \sim 70\%$. 7. 2.639-2.644; 28.8 мг; Кв ~ 90%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 10%, Кв слабо и средне насыщен $BMC = 0,1, B \sim 10\%$ зерен включения $\Pi u = 0,1.8, 2,644 = 2,649; 218,7 мг;$ Кв ~ 95%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 5%. Кв слабо насыщен ВМС --0,03, в ~ 10% зерен мелкие включения Би – 0,03, единично Рог – 0,01. 9. 2,649–2,654; 59,5 мг; Ке \sim 50%, Πw и сростки Ке с $\Pi w \sim$ 50%, *Кв* слабо насыщен *ВМС* — 0,03, содержит довольно крупные включения *Bu* = 0,1, реже *Por* = 0,03. 10. 2,654 = 2,659; 27,5 *мг*; *Кв* с крупными включениями Би, Рог и Mm ~ 30 % - 0,3, остальное - Пш и сростки Кв с Пш. 11. 2,659—2,665; 24 мг; Кв ~ 25%, Пш и сростки Кв с $I\!I\!u \sim 75\%$, в Кв — крупные включения Eu, Рог и Mm = 0.3. 12. 2,665 — 2.670; 15.6 мг; Кестеми же крупными включениями $\sim 35\% - 0.3$, остальное — Пш и сростки Кв с Пш. 13.> 2,670; 76,1 мг; Кв с очень крупными включениями $Eu = 1 \sim 20\%$, остальное — сростки *Кв* с Eu, Γp и Mm.

Образец 257

1. $< 2,622; 12 \text{ мг}; \Pi w$ и сростки $Ke c \Pi w. 2. 2,622-2,627; 2,8 \text{ мг};$ то же. 3. 2,627-2,633; 3,5 мг; то же. 4. 2,633-2,638; 7,5 мг, Πw и сростки $Ke c \Pi w \geq 100\%$, единичные зерна Ke. 5. 2,638-2,643; 30,8 мг; $Ke \sim 80\%$, сростки $Ke c \Pi w \sim 20\%$, Ke слабо насыщен BMC - 0,03, в некоторых зернах включения $Pym - 0,01, \sim 20\%$ зерен содержат включения $\Pi w - 0,03$. 6. 2,643-2,648; 394,8 мг; Ke 100%, насыщенность Ke BMC слабая – 0,03, в некоторых зернах отмечаются включения $\Pi w - 0,01, An, Pym, Bu u Mm$ (?) -0,03. 7. 2,648-2,653; 24,8 мг; Ke 100%, в $\sim 50\%$ зерен крупные включения Bu, Mm (?) и μup , отмечаются включения Pym - 0,1, BMC мало -0,03. 8. 2,653-2,658; 4,3 мг; то же, в 80% зерен кварца -0,3 крупные включения. 9. 2,658-2,664; 0,5 мг; Ke 100%, во всех зернах крупные минеральные включения -1. 10. > 2,664; 9,4 мг; Ke с крупными включения Bu u Mm (?) $-1, \sim 20\%$, Eu, Mm и сростки Ke с этими минералами 80%.

Образец 260

1. < 2,613; 12,2 мг; Кпш и сростки Кв с Кпш. 2. 2,613-2,618; 4,9 мг; то же. 3. 2,618—2,623; 4,5 мг; то же. 4. 2,623—2,628; 5,9 мг; то же. 5. 2.628-2.634; 8,4 мг; то же. 6. 2,634-2,639; 19,8 мг; Кескрупными включениями Кпш $\sim 50\% - 1$, сростки Ке с Кпш $\sim 50\%$. 7. 2,639-2,644; 85,2 мг; Кв с ВМС — 0,1 и Кпш — 0,3 ~ 70%, сростки Кв с Кпш ~ 30%. 8. 2,644-2,649; 323 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС низкая - 0,03, в единичных зернах включения An — 0,01. 9. 2,649—2,654; 9,8 мг; Ке 100%, зерна измененных Пш единичны, насыщенность ВМС низкая — 0.03, в ~ 50 % зерен мелкие включения Цир и Мт — 0.03. 10. 2.654 — 2,659; 3,3 мг; Кв 100%, включения Цир, иногда Мт в 70% зерен — 0,1, насыщенность ВМС низкая — 0,03. 11. 2,659—2,665; 1,8 мг; Кв 100%, почти во всех зернах Кв довольно крупные включения Цир, реже Мт — 0.3. 12. 2,665—2,670; 1 мг; Кв 100%, в Кв включения Цир и Мт — 0,3, содержание последнего увеличивается. 13. >2,670; 8,3 мг; Кв ~ 20%, Mm, Рог и измененные $\Pi w \sim 80\%$, в Кв крупные включения Цир и Mm — 0.3.

Образец 262

1. < 2,598; 47,4 мг; Пш. 2. 2,598—2,604; 5,1 мг; Пш. 3. 2,604—2,609; 3,8 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 4. 2,609—2,614; 1,5 мг; то же. 5. 2,614— 2,619; 9,2 мг; то же. 6. 2,619—2,624; 8,1 мг; то же. 7. 2,624—2,629; 11,0 мг; то же. 8. 2,629—2,635; 14,1 мг; то же. 9. 2,635—2,640; 25,4 мг; Кв, насыщенный ВМС $\sim 5\% - 0,3$, Пш и сростки Кв с Пш $\sim 95\%$. 10. 2,640— 2,645; 75,7 мг; Кв $\sim 60\%$, Пш и сростки Кв с Пш $\sim 40\%$, Кв слабо и средне насыщен BMC = 0,1, иногда содержит $\Pi u = 0,01$. 11. 2,645 2,650; 238 мг; $K_{\theta} \sim 95\%$, Πu и сростки $K_{\theta} c \Pi u \sim 5\%$, $K_{\theta} c$ слабо, иногда средне насыщен BMC = 0,03, в единичных зернах мелкие включения Anи Mm = 0,01. 12. 2,650=2,655; 9,2 мг; $K_{\theta} \sim 40\%$, Πu (средний Πn ?) и сростки $K_{\theta} c \Pi u \sim 60\%$, K_{θ} преимущественно без включений, иногда слабо насыщен BMC = 0,01 или с включениями Eu и Mm = 0,01. 13. 2,655= 2,660; 3,3 мг; $K_{\theta} \sim 20\%$, $\Pi u \sim 80\%$, K_{θ} чистый, реже с включениями $\Pi up = 0,03$. 14. 2,660=2,666; 3,3 мг; $K_{\theta} \sim 10\%$ (почти без включений), $\Pi u \sim 90\%$. 15. 2,666=2,671; 2,4 мг; Πu , $K_{\theta} =$ единичные зерна. 16. >2,671; 13,9 мг; Πu , Por, единичные зерна K_{θ} .

Образец 277

1. < 2,619; 2 ме; $\Pi w.$ 2. 2,619—2,624; 0,3 ме; $\Pi w.$ 3. 2,624—2,629; 1,4 ме; Πw , сростки Ke с $\Pi w.$ 4. 2,629—2,635; 1,4 ме; $Ke \sim 10\%$, Πw и сростки Ke с $\Pi w \sim 90\%$, в Ke включения $\Pi w = 0,1$. 5. 2,635—2,640; 2,9 ме; Ke 100%, сильно насыщен мелкими BMC = 0,3, иногда содержит $\Pi w = 0,01.$ 6. 2,640—2,645; 33,3 ме; Ke 100%, средне насыщен BMC =0,1, иногда отмечается Eu = 0,01. 7. 2,645—2,650; 171,8 ме; Ke 100%, насыщенность BMC низкая — 0,03, минеральных включений мало (Eu, An) — 0,03. 8. 2,650—2,655; 14,1 ме; Ke 100%, в большей части зерен включения Eu и рудного минерала — 0,1, BMC мало — 0,03. 9. 2,655—2,660; 8,3 ме; Ke 100%, во всех зернах крупные включения Eu и рудного минерала — 0,3, отмечаются единичные зерна рудного минерала и измененных $\Pi w.$ 10. 2,660—2,666; 5,1 ме; то же. 11. 2,666—2,671; 3,2 ме; Ke 100%, в Ke крупные включения Eu и рудного минерала — 0,3. 12. 2,671—2,676; 2,3 ме; то же. 13. > 2,676; 30,6 ме; Ke с крупными включениями $\sim 10\%$ — 1, остальное — рудный минерал и измененные Πw .

Образец 279

1. < 2,614; 0,8 me; $\Pi w.$ 2. 2,614–2,619; 0,1 me; $\Pi w.$ 3. 2,619–2,624; 0,03 m2; II w. 4. 2,624-2,629; 0,5 m2; II w. 5. 2,629-2,635; 0,6 m2; II w и сростки Кв с Пш. 6. 2,635-2,640; 2,1 мг; Кв ~80%, Пш и сростки Кв с Пш ~20%. Кв сильно насыщен ВМС - 0,3, в некоторых зернах включения $\Pi w = 0,01$. 7. 2,640-2,645; 51,5 *мг*; Кв 100%, слабо и средне насыщен ВМС — 0,1. 8. 2,645—2,650; 288, 5 мг; Ке 100% слабо, реже средне насыщен ВМС - 0,03, в ~20% зерен мелкие включения Цир и *Би* — 0,03. 9. 2,650—2,655; 27,9 *мг*; *Ке* ~100%, слабо насышен *ВМС* — 0.03, почти во всех зернах средние и крупные включения Би и Цир — 0,1. 10. 2,655-2,660; 11,7 мг; то же, включения Би и Цир становятся крупнее — 0,3. 11. 2,660—2,666; 6,9 *мг*; Ке 100%, ВМС мало — 0,03, в Ке крупные включения Би. Пир отмечается реже — 0.3. 12. 2,666 — 2,671; 4.2 *mz*; Ke 100%, содержит крупные включения Eu = 0.3, отмечаются единичные включения Цир — 0,03, ВМС очень мало — 0,01. 13.> 2,671; 91,5 *мг*; Кв с крупными включениями Би ~ 5%-0,3; остальное— зерна Гр.

Образец 281

1. < 2,613; 1,8 *ме*; *Пш*, сростки *Кв* с *Пш*. 2. 2,613–2,618; 1,5 *ме*; то же. 3. 2,618–2,623; 0,4 *ме*; то же. 4. 2,623–2,628; 0,9 *ме*; *Кв* ~ 10%, *Пш* и сростки *Кв* с *Пш* ~ 90%, насыщенность *Кв BMC* в основном средняя — 0,1. 5. 2,628–2,634; 0,6 *ме*; *Кв* ~ 5%, *Пш* и сростки *Кв* с *Пш* ~ 95%, насыщенность *Кв BMC* средняя — 0,1. 6. 2,634–2,639; 2,3 *ме*; *Кв* ~ 90%, сростки *Кв* с *Пш* ~ 10%, в *Кв* часто черные непрозрачные включения — 0,03, иногда включения *Би* — 0,01, насыщенность *BMC* средняя — 0,1. 7. 2,639–2,644; 15,0 *ме*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* средняя — 0,1, в некоторых зернах дисперсные включения черного минерала — 0,01. 8. 2,644–2,649; 89,7 *ме*; *Кв* 100%, слабо насыщен *BMC* — 0,03, отмечается *Цир* — 0,01. 9. 2,649–2,654; 8,6 *ме*; *Кв* ~ 80%, *Па*

и сростки Кв с $\Pi_{\Lambda} \sim 20\%$, Кв слабо насыщен BMC = 0.03, иногда содержит $\mu up = 0.01$. 10. 2.654—2.659; 19,3 жг; Кв ~ 70%, Π_{Λ} и сростки Кв с $\Pi_{\Lambda} \sim 30\%$, в Кв крупные включения Би, μup и рудного минерала — 0.1, BMC мало — 0.03. 11. 2.659 — 2.665; 40,4 жг; Кв ~ 50%, Π_{Λ} и сростки Кв с $\Pi_{\Lambda} \sim 50\%$, Кв такой же, как во фр. 10. 12. 2.665— 2.670; 12.8 жг; Кв ~ 50%, Π_{Λ} и сростки Кв с $\Pi_{\Lambda} \sim 50\%$, в Кв крупные включения минералов, в основном $\mu up = 0.3$. 13. 2.670—2.675; 4.3 жг; $Ks \sim 70\%$, Π_{Λ} и сростки Кв с $\Pi_{\Lambda} \sim 30\%$, в Кв крупные включения μup и пироксена — 0.3. 14. > 2.675; 73.7 жг; Кв ~ 30%, в Кв крупные включения μup ского пироксена, Би и рудного минерала ~ 70%, в Кв крупные включения ромбического пироксена и рудного минерала — 1.

Образец 282

1. < 2,609; 1.2 me; $\Pi w. 2. 2,609-2,614; 0.5$ me; $\Pi w. 3. 2,614-2,619;$ 0,7 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 4. 2,619—2,624; 1,3 мг; то же. 5. 2,624— 2,629; 1,3 мг; Кв $\sim 5\%$, Пш и сростки Кв с Пш $\sim 95\%$, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3. 6. 2,629—2,635; 2,5 мг; Кв ~ 80%, Пш ~ 20%, Кв сильно насыщен *BMC* — 0,3. 7. 2,635—2,640; 8,4 *мг*; Кв ~ 90%, *Пш* $\sim 10\%$, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3. 8. 2,640—2,645; 66,7 жг; Кв 100%, насыщенность ВМС средняя — 0,1, иногда включения рудного минерала — 0,01. 9. 2,645—2,650; 61,3 мг; Кв ~ 95%, Пш ~ 5%, Кв слабо насыщен BMC - 0,03. 10. 2,650-2,655; 2,3 мг; Кв 100%, слабо насыщен BMC - 0,03, отмечаются Cp, Цир, Би и рудный минерал -0,03. 11. 2,655—2,660; 9,3 мг; Кв ~ 65%, Шш ~ 35%, Кв такой же, как во фр. 10. 12. 2,660—2,666; 8,8 мг; Кв ~ 50%, Пш ~ 50%, Кв такой же, как во фр. 10—11. 13. 2,666—2,671; 7,6 *мг*; *Ке* ~ 40%, Пш ~ 60%, в Кв включения Сф, Цир, Би и рудного минерала, насыщенность ими несколько увеличивается — 0,1. 14. > 2,671; 275,4 мг; Гр и измененные Пш.

Образец 284

1. < 2,614; 24,4 me; $\Pi w. 2.2,614-2,619; 5,9$ me; $\Pi w. 3.2,619-2,624;$ 4,8 мг; Кв ~ 25%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 75%, Кв слабо и средно насыщен BMC = 0.03, иногда Pym отмечается = 0.01. 4. 2.624 = 2.629; 7,5 мг; Кв ~ 5%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 95%, Кв такой же, как во $φ_{\rm P}$. 3. 5. 2,629–2,635; 11,1 *m*₂; *K*₈ ~ 10%, *Πw* μ сростки *K*₈ с *Πw* ~ 90%, *Кв* такой же. 6. 2,635-2,640; 22,7 *мг*; *Кв* ~ 10%, *Пш* и сростки *Кв* с такой же. 7. 2,640—2,645; 104,5 мг; Кв ~ 80%, Пш ~ 90%, Кв *Пш* ~ 20%, *Кв* слабо насыщен *ВМС* — 0,03, иногда с включениями *Рут* и рудного минерала — 0,03. 8. 2,645—2,650; 143,7 *мг*; $Ke \sim 85\%$, измененный Пш ~ 15%, Кв слабо насыщен ВМС — 0,03, во многих зернах включения рудного минерала — 0,1. 9. 2,650—2,655; 9,9 *мг*; $Ke \sim 40\%$, Пш ~ 60%, Кв такой же, как во фр. 8. 10. 2,655—2,660; 5,4 мг; $Ke \sim 20\%$, $\Pi w \sim 80\%$, Ke takož ** . 11. 2,660 - 2,666; 3,2 m2, $Ke \sim 15\%$, $\Pi w \sim 85\%$, Кв такой же. 12. 2,666—2,671; 2,2 мг; то же. 13. > 2,671; 131,7 мг; Гр. Пш и рудный минерал.

Образец 286

1. 2,629—2,635; 0,1 *мг*; *Пш*, единичное зерно *Кв*. 2. 2,635—2,640; 0,4 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *ВМС* средняя — 0,1. 3. 2,640—2,645; 1,8 *мг*; *Кв* 100%, то же. 4. 2,645—2,650; 173,6 *мг*; *Кв* 100%, слабо насыщен *ВМС* — 0,03. 5. 2,650—2,655; 182,2 *мг*; *Кв* 100%, слабо насыщен *ВМС* — 0,03, отмечаются включения землистого минерала (∂n ?) — 0,01. 6. 2,655—2,660; 4,4 *мг*; материал не анализировался. 7. 2,660—2,665; 2,5 *мг*; в *Кв* крупные включения землистого минерала, *Цир* и *Сф* — 0,1, *ВМС* мало — 0,03. 8. 2,665—2,671; 2,5 *мг*; то же, во включениях отмечается также *Би* — 0,3. 9. 2,671—2,676; 1,0 *мг*; то же. 10. > 2,676; 15,9 *мг*; *Кв* ~ 20%, обломки землистого минерала (∂n ?), рудного минерала и *Би* ~ 80%, *Кв* такой же, как во фр. 7—9.

Образец 287

1. 2,634—2,639; 1,0 *мг*; Кв 100%, ~ 80% зерен средне и сильно насыщены BMC — 0,1, ~ 20% почти без включений (табл. XI, 1). 2. 2,639— 2,644; 41,3 мг; Кв 100%, слабо и средне насыщен ВМС — 0,1, в ~ 10% зерен мелкие включения кальцита — 0,03 (табл. XI, 2). 3. 2,644—2,649; 238,0 мг; Кв 100%, в основном слабо, реже средне насыщен ВМС — 0,03, в ~ 10% зерен кальцит, в ~15% мелкие включения рудного минерала — 0,1 (табл. XI, 3). 4. 2,649—2,654; 9,2 мг; Кв 100%, слабо насыщен ВМС — 0,03, почти во всех зернах включения кальцита и рудного минерала = 0.1, отмечается $\mu \mu = 0.03$ (табл. XI, 4). 5. 2,654= 2,659; 3,6 мг; Кв 100%, почти во всех зернах включения кальцита и рудного минерала, которые становятся заметно крупнее — 0,3, отмечаются Цир и Гр — 0,03, ВМС мало — 0,03 (табл. XI, 5). 6. 2,659—2,665; 2,3 мг; то же. 7. 2,665—2,670; 1,0 мг; то же, размеры включений постепенно увеличиваются — 0,03. 8. 2,670—2,675; 1,2 мг; Кв 100%, крупные включения рудного минерала и кальцита — 0,3, единичные граната — 0,01, *BMC* мало — 0,03. 9. > 2,675; 9,7 *мг*; *Кв* ~ 20%, рудный минерал и измененный $\Pi u \sim 80\%$, в *Кв* крупные включения рудного минерала и кальцита — 1.

Образец 288

1. < 2,617; 0,9 мг; Пш, сростки Кв с Кпш. 2. 2,617-2,622; 0,1 мг; то же. 3. 2,622—2,627; 0,1 жг; материал не анализировался. 4. 2,627— 2,633; 0,1 мг; Кв ~ 70%, сростки Кв с Кпш ~ 30%, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3, иногда содержит Knu — 0,03. 5. 2,633—2,638; 0,6 мг; Кв 100%, насыщенность BMC средняя — 0,1, некоторые зерна ($\sim 10\%$) содержат Цир и Ап — 0.03 (табл. XII, 1). 6. 2.638—2.643; 20.6 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС низкая — 0,03, в 50% зерен мелкие включения Цир — 0,1, реже An — 0,03 (табл. XII, 2). 7. 2,643—2,648; 238,1 мг; *Кв* 100%, *Кв* такой же, как во фр. 6 (табл. XII, 3). 8. 2,648—2,653; 7,5 *мг*; Кв 100%, слабо насыщен $B\hat{MC} = 0.03$, несколько увеличиваются размеры включений Цир — 0,1 (табл. XII, 4). 9. 2,653—2,658; 2,6 мг; Кв 100%, слабо насыщен ВМС — 0,03, с довольно крупными включениями Цир и Би — 0,3 (табл. XII, 5). 10. 2,658—2,664; 1,5 мг; Кв 100%, во многих зернах крупные включения Цир и Би — 0,3, ВМС мало — 0,03 (табл. XII, 6). 11. 2,664—2,669; 0,3 мг; то же. 12. 2,669—2.674; 0.5 мг: то же, от фр. 10 к фр. 12 размеры минеральных включений постепенно увеличиваются — 1. 13. > 2,674; 4,3 мг; Кв $\sim 20\%$, рудный минерал и $\mu \mu p \sim 80\%$, в Ke очень крупные включения $\mu \mu p$, $E \mu$ и рудного минерала — 1.

Образец 293

1. < 2,618; 0,1 mz; IIm. 2. 2,618-2,623; 0,3 mz; IIm. 3. 2,623-2,628; 0,4 мг; единичное зерно Кв, слабо насыщенное ВМС — 0,03. 4. 2,628-2,634; 0,2 мг; материал не анализировался. 5. 2,634—2,639; 1,0 мг; Кв 100%, сильно насыщен BMC = 0.3 (табл. XIII, 1). 6. 2,639-2,644; 26,8 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС преимущественно средняя — 0,1, в некоторых зернах включения окислов железа — 0,01 (табл. XIII, 2). 7. 2,644—2,649; 262,8 *мг*; Ке 100%, насыщенность ВМС низкая — 0,03, в некоторых зернах включения *Цир* и окислов железа — 0,03 (табл. XIII, 3). 8. 2,649—2,654; 7,3 *мг*; Кв 100%, ВМС мало — 0,03, более 50% зерен содержат включения *Рог*, окислов железа, *Би* и *Цир* — 0,1 (табл. XIII, 4). 9. 2,654-2,659; 2,3 мг; Ке 100%, ВМС мало — 0,03, почти во всех зернах включения Рог, окислов железа, Би, Цир, а также высокодвупреломляющего дисперсного минерала $(\Im n?) = 0.3$ (табл. XIII, 5). 10. 2,659—2,665; 1,1 мг; Кв 100%, минеральные включения те же, возрастают их размеры и насыщенность ими кварца — 0,3 (табл. XIII, 6). 11. 2,665 — 2,670; 1,1 мг; то же, продолжается укрупнение минеральных включений — 1 (табл.

XIII, 7). 12. 2,670—2,675; 1,4 *мг*; то же. 13. > 2,675; 13,8 *мг*; *Кв* \sim 20%, рудный минерал и измененный $\Pi u \sim 80\%$, в *Кв* крупные включения рудного минерала и Por = 1.

Образец 294

1. $< 2,619; 0,5 \text{ мг}; \Pi u. 2. 2,619-2,624; 0,4 \text{ мг}; \Pi u. 3. 2,624-2,629; 0,1 \text{ мг}; Ke ~ 20\%, \Pi u ~ 80\%, Ke почти не содержит включений. 4. 2,629-2,635; материала нет. 5. 2,635-2,640; 1,8 \text{ мг}; Ke ~ 60\%, \Pi u ~ 40\%, Ke средне и слабо насыщен <math>BMC - 0,1.$ 6. 2,640-2,645; 48,1 мг; Ke 100%, насыщенность BMC средняя и слабая -0,1. 7. 2,645-2,650; 281,7 мг; Ke 100%, насыщенность BMC низкая -0,03, иногда отмечается Eu - 0,03. 8. 2,650-2,655; 12,2 $\text{ мг}; Ke \sim 90\%$, Πu и сростки Ke с $\Pi u ~ 10\%$, более 50% зерен Ke содержат крупные включения Eu и $\Pi up - 0,1$, BMC мало -0,03. 9. 2,655-2,660; 9,7 мг; то же. 10. 2,660-2,666; 7,7 мг; Ke ~ 90%, Πu и сростки Ke с $\Pi u ~ 10\%$, более 50%, Πu и сростки Ke с $\Pi u \sim 10\%$, почти во всех зернах Ke крупные включения Πup и Eu - 0,3, BMC мало -0,03. 11. 2,666-2,671; 3,2 мг; Ke ~ 75%, Πu и сростки Ke с $\Pi u \sim 25\%$, Ke такой же, как во фр. 10. 12. 2,671-2,676; 2,3 $\text{ мг}; Ke \sim 80\%$, Πu и сростки Ke с $\Pi u \sim 20\%$, B Ke заметно увеличиваются размеры включений Πup и Eu и насыщенность ими -1. 13. > 2,676; 19,6 мг; Ke ~ 35%, Por, Eu и рудный минерал -65%, B Ke очень крупные включения Πup , Eu, Por u рудного минерала -1.

Образец 295

1. < 2,617; 0,9 мг; Пш. 2. 2,617—2,622; 0,5 мг; Пш. 3. 2,622—2,627; 0,9*мг*; Пш 4. 2,627—2,633; 1,1 *мг*; Кв 20%, Пш 80%, Кв сильно насыщен мелкими BMC - 0,3. 5. 2,633-2,638; 2,3 мг; Ке ~ 80%, Пш и черный минерал (?) $\sim 20\%$, Ке сильно насыщен ВМС -0.3.6.2.638 - 2.643; 35.7 мг; Кв 100%, в Кв мелкие ВМС, насыщенность ими несколько уменьшается — 0,1. 7. 2,643-2,648; 90,7 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС средняя и слабая — $0.1. \sim 10\%$ зерен содержат мелкие включения Bu = 0.03.8. 2.648—2.653; 20.9 *мг*; Кв 100%, насыщенность ВМС средняя и слабая — 0,1, почти во всех зернах измененный Πu , Eu, реже Pym = 0,1. 9. 2,653—2,658; 16,3 мг; Кв ~ 70%, Пш ~ 30%, Кв слабо насыщен ВМС — 0,03, с крупными включениями черного непрозрачного минерала и измененных $\Pi u = 0,3.$ 10. 2,658—2,664; 12,2 мг; $Ke \sim 50\%$, Πu и сростки Keс $\Pi w \sim 50\%$, в *Кв* крупные включения Πw , рудного (?) минерала — 0,3, иногда $C\phi = 0.03$, BMC мало -0.03. 11. 2.664–2.669; 9.0 мг; Кв $\sim 30\%$, Πw , сростки Ke с $\Pi w \sim 70\%$, Ke такой же, как во фр. 10. 12. 2,669—2,674; 8,3 мг; Кв ~ 20%, Пш, сростки Кв с Пш, рудный минерал ~ 80%, в *Кв* очень крупные включения *Пш* и рудного минерала — 1. 13. 2,674— 2,679; 6,4 мг; Кв $\sim 10\%$, остальное — Пш, сростки Кв с Пш, рудный минерал, в K_{θ} очень крупные включения $\Pi w = 1.14. > 2,679; 200,4 \text{ мc};$ измененные Пш, рудный минерал, сростки Кв с Пш.

Образец 314

1. $< 2,614; 1,5 \text{ me}; \Pi u. 2. 2,614-2,619; 0,2 \text{ me}; \Pi u. 3. 2,619-2,624; 0,3 \text{ me}; \Pi u. equinarupo sepho Ke. 4. 2,624-2,629; 0,4 \text{ me}; \Pi u. 5. 2,629-2,635; 0,4 \text{ me}; \Pi u. 6. 2,635-2,640; 1,6 \text{ me}; Ke ~ 40\%, \Pi u ~ 60\%, Ke current hackingen kpythelmin BMC - 0,3. 7. 2,640-2,645; 8,9 \text{ me}; Ke ~ 80\%, \Pi u ~ 20\%, Ke crado hackingen BMC - 0,03. 8. 2,645-2,650; 43,1 \text{ me}; Ke ~ 90\%, \Pi u ~ 10\%, Ke crado hackingen BMC - 0,03. 9. 2,650-2,655; 142,5me; Ke ~ 90\%, \Pi u ~ 10\%, BMC ordered mato - 0,01, B Ke otherwater kpythele BRING representation of <math>3n - 0,03$. 10. 2,655-2,660; 9,5 me; Ke ~ 90\%, \Pi u ~ 10\%, B Ke kpythele BKING representation $2,666, 2,671; 6,2 \text{ me}; Ke \sim 50\%, \Pi u \sim 50\%, B Ke kpythele BKING representation <math>3n - 0,1$. 13. 2,671-2,676; 6,7 me; Ke ~ 50\%, $\Pi u \sim 50\%, BK = 50\%$, BK me kpythele BKING representation 3n - 0,1. 14. > 2,676; 387,3 me; pundotusupobanhile Πu in Eu.

7 М. Я. Кац, И. М. Симанович

Образец 3

1. < 2,609; 19,8 мг; выветрелые и свежие Кпш и Пл. 2. 2,609-2.614: 0,2 мг; Кпш и $\Pi_{\Lambda} \sim 90\%$, Кв $\sim 10\%$, Кв переполнен BMC = 1. 3. 2,614-2,619; 0,7 мг; Кв $\sim 10-15\%$, остальные — Π_{u} , Кв переполнен BMC - 1. 4. 2,619-2,623; 1,7 мг; Пш, единичное зерно Кв. 5. 2,623-Виге — 1. 4. 2,010 — 2,020, 1,1 ..., так, так, так, 2,628; 1,2 мг; Ке ~ 10-20%, остальное — Πw , Ке сильно насыщен ВМС — 0,3. 6. 2,628—2,633; 2,7 мг; Ке ~ 55%, $\Pi w \sim 45\%$, Ке сильно насыщен BMC = 0,3, единичные включения An = 0,01 (табл. XIV, 1). 7. 2,633-2,638; 16,7 мг; Кв~ 85%, Пш~ 15%, в Кв обильные ВМС -0,3 (табл. XIV, 2). 8. 2,638-2,643; 92,1 мг; Ке ~ 95%, Пл ~ 5%, насыщенность Кв ВМС средняя — 0,1, единичные включения Би и Рут — 0,01 (табл. XIV, 3). 9. 2,643-2,648; 142,5 мг; Кв ~ 95%, выветрелый Пл ~ 5%, насыщенность BMC слабая — 0,03, единичные включения An, Би и Рут — 0,03 (табл. XIV, 4). 10. 2,648—2,653; 31,4 мг; Кв ~ 30%, выветрелый $\Pi_{\Lambda} \sim 70\%$, насыщенность *BMC* слабая — 0,03, заметное количество Би и Рут — 0,1 (табл. XIV, 5). 11. 2,653—2,658; 40,6 мг; Кв ~ 5%, $\Pi_{\Lambda} \sim 95\%$, Ke почти не содержит BMC = 0.01. 12. 2,658—2,663; 49,0 мг; Пл, зерна Кв единичны. 13. > 2,663; 16,7 мг; Кв ~ 5%, характерна мелкая рудная сыпь в $Ke \sim 0.3$, остальное — Пл (табл. XIV, 6).

Образец 5

1. < 2,611; 8,2 мг; выветрелый Пш. 2. 2,611-2,616; 3,5 мг; Пш. 3. 2,616-2,620; 3,7 мг; Пш, Кв в сростках с Пш. 4. 2,620-2,625; 4,7 мг; Пш, Кв в сростках с Пш. 5. 2,625-2,630; 6,4 мг; Пш, Кв в сростках с Пш. 6. 2,630-2,635; 14,8 мг; Пш, Кв в сростках с Пш. 7. 2,635-2,640; 36,6 мг; Пш, Кв в сростках с Пш. 8. 2,640—2,645; 78,9 мг; Пш~ 95%, $K_{\theta} \sim 5\%$, Ke насыщен BMC — 0,3. 9. 2,645—2,650; 186,1 мг; Ke ~ 95%, $\Pi w \sim 5\%$, насыщенность *BMC* средняя — 0,1, минеральные включения довольно обильны — 0,1 (Рут, Ап, Би, Цир, Рог), отдельные зерна не содержат включений. 10. 2,650-2,655; 43,4 мг; Кв, зерна Пш единичны, насыщенность ВМС несколько уменьшается — 0,1, насыщенность включениями Рут значительная, размеры включений Цир, Рог, Би и Сф увеличиваются — 0,3. 11. 2,655—2,660; 19,7 *мг*; $Ke \sim 90\%$, $\Pi_{\Lambda} \sim 10\%$, в Кв те же минеральные включения, заметно увеличиваются размеры включений Por - 0,3. 12. 2,660-2,665; 7,4 мг; Кв ~ 75%, Пл ~ 25%, еще больше увеличивается роль крупных включений в Кв (особенно Рог)-1, BMC мало -0.03. 13. > 2.665; 50.5 *мг*; Рог $\sim 65\%$, Кв $\sim 25\%$, Пл ~ 10%, Кв такой же, как во фр. 12.

Образец 13

1. < 2,608; 4,0 *мг*; *Кпш* и выветрелый Π_A , *Кв* в сростках с Πu : 2. 2,608-2,613; 2,1 *мг*; Πu , *Кв* в сростках с Πu : 3. 2,613-2,618; 3,9 *мг*; Πu , *Кв* в сростках с Πu : 4. 2,618-2,623; 5,9 *мг*; Πu и сростки Πu с *Кв* ~ 90%, *Кв* ~ 10%, *Кв* насыщен *BMC* — 0,3. 5. 2,623-2,628; 3,4 *мг*; Πu и сростки Πu с *Кв* ~ 80%, *Кв* ~ 20%, *Кв* насыщен *BMC* — 0,3. 6. 2,628-2,633; 7,2 *мг*; *Кв* ~ 40%, Πu ~ 10%, сростки *Кв* с Πu ~ 50%, *Кв* сильно насыщен *BMC* — 0,3 (табл. XV, 1). 7. 2,633-2,638; 34,4 *мг*; *Кв* ~ 90%, Πu ~ 10%, *Кв* насыщен *BMC* — 0,3 (табл. XV, 2). 8. 2,638-2,643; 141,9 *мг*; *Кв* 100%, насыщен *BMC* — 0,3, в некоторых зернах включения игольчатого *Рут* — 0,01 (табл. XV, 3). 9. 2,643-2,648; 148,8 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* средняя — 0,1, включения *Рут* редки — 0,03 (табл. XV, 4). 10. 2,648-2,653; 20,4 *мг*; *Кв* ~ 90%, *Кпш* ~ 10%, насыщенность *BMC* низкая — 0,03, минеральных включений (*Рут*) мало — 0,03 (табл. XV, 5). 11. 2,653-2,658; 5,3 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* низкая — 0,03, появляются крупные включения *Би* и *Сф* — 0,03 (табл. XV, 6). 12. 2,658-2,663; 2,8 *мг*; *Кв* 100%, более 50% зерен содержат крупные включения Eu, $C\phi$ и Mm, отмечаются зерна, сильно насыщенные Pym - 0.3 (табл. XV, 7). 13. > 2,663; 6,0 мz;измененный $Knu \sim 95\%$, $Ke \sim 5\%$, в Ke крупные включения тех же минералов -0.3.

Образец 60

1. < 2,623; 5,4 мг; Кпш. 2. 2,623-2,628; 4,0 мг; Кпш, сростки Кв с Кпш. 3. 2,628-2,633; 3,8 мг; сростки Кв с Кпш. 4. 2,633-2,638 мг; сростки Кв с Кпш. 5. 2,638-2,643; 17,2 мг; Кв $\sim 85\%$, сростки Кв с Кпш $\sim 15\%$, Кв содержит в небольшом количестве *BMC* — 0,03, *Eu* и An — 0,03. 6. 2,643-2,648; 236,4 мг; Кв 100%, насыщенность *BMC* слабая — 0,03, Рут, *Eu* и An в $\sim 50\%$ зерен — 0,1, 7. 2,648-2,653;137,5 мг; Кв 100%, *BMC* мало — 0,03, заметно увеличивается насыщенность An, *Eu* и Рут — 0,1. 8. 2,653-2,658; 28,3 мг; Кв 100%, *BMC* почти нет — 0,01, Кв насыщен Рут и An, появляются крупные включения *Eu* — 0,1. 9. 2,658-2,663; 11,7 мг; Кв 100%, те же минеральные включения, размер включений *Eu* возрастает — 0,3. 10. 2,663-2,668;5,8 мг; Кв 100%, почти во всех зернах крупные включения *Eu*, много An — 0,3, Рут сравнительно редок — 0,03. 11. 2,668-2,673; 4,3 мг; то же, в Кв крупные включения *Eu* — 0,3. 13. > 2,678; 34,7 мг; *Кв* 100%, те же включения, появляется *Cф*. — 0,3. 13. > 2,678; 44,7 мг; *Кв* с крупными включения *Eu* и *Cф* ~ 40% — 0,3, зерна *Eu* и *Cф* ~ 60%.

Образец 61

1. < 2,608; 2,8 мг; Кпш. 2. 2,608—2,613; 1,7 мг; Кпш. 3. 2,613—2,618; 1,5 мг; Кпш, сростки Кв с Кпш. 4. 2,618—2,623; 2,8 мг; Кпш, кислый Пл, сростки Кв с Пш. 5. 2,623—2,628; 2,9 мг; сростки Кв с Пш. 6. 2,628—2,633; 2.9 мг; сростки Кв с Пш, единичное зерно Кв с ВМС. 7. 2.633-2.638; 6,3 мг; Ке — 25%, сростки Ке с Πw ~ 75%, Ке насыщен BMC = 0,3, минеральных включений нет (табл. XVI, 1). 8. 2,638-2,643; 24,7 мг; Ке~100%, единичные сростки, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3, содержит редкие включения Pym - 0,03 (табл. XVI, 2). 9. 2,643-2,648; 276,9 мг; Кв 100%, насыщенность *BMC* средняя -0,1; во многих зернах *Рут* и *Aкт* -0,1(табл. XVI, 3). 10. 2,648-2,653; 77,1 мг; Кв 100%, ~ 50% зерен насыщены Pym и $A\kappa m = 0,1$, появляются Eu и Por = 0,03 (табл. XVI, 4). 11. 2,653—2,658; 29,3 *мг*; Кв 100%, Кв не отличается от фр. 10, несколько бо́льтая насыщенность *Рут* — 0,1 (табл. XVI, 5). 12. 2,658—2,663; 7,1 *мг*; Ке 100%, во многих зернах крупные включения Рог и рудного (?) минерала, отмечаются Рут и Акт — 0,3, насыщенность ВМС низкая — 0,03 (табл. XVI, 6). 13. > 2,663; 35,1 мг; Кв с крупными включениями. Рог ~ 35 %. -0,3, остальное — зерна Рог и сростки Ге с Рог (табл. XVI, 7).

Образец 62 ј

1. < 2,625; 5,5 мг; в основном Knw, в меньшем количестве сростки Knwс Ke. 2. 2,625-2,630; 1,7 mr; сростки Knw с Ke. 3. 2,630-2,635; 3,1 mr; сростки Ke с Knw. 4. 2,635-2,640; 7,5 mr; $Ke \sim 20\%$, сростки Ke с Knw $\sim 80\%$, !Ke насыщен BMC - 0,3, часто с крупными включениями $\Pi w - 0,3$. 5. 2,640-2,645; 51,3 mr; Ke 100%, насыщенность BMC средняя - 0,1, включения Pym редки - 0,03. 6. 2,645-2,650; 326,9 mr; Ke 100%, BMC мало - 0,03, возрастает частота встречаемости Pym и насыщенность ими зерен Ke - 0,1. 7. 2,650-2,655; 60,7 mr; Ke 100%, в большей части зерен обильные включения Pym - 0,3, BMC мало - 0,03, отмечаются μup и Eu -0,01. 8. 2,655-2,660; 9,0 mr; Ke 100%, насыщенность его Pym та же, появляются крупные включения Eu и Por - 0,3. 9. 2,660-2,665; 2,3 mr; Ke100%, крупные включения Por, Eu и μup , отдельные зерна сильно насыщены Pym - 0,3. 10. 2,665-2,670; 1,4 mr; Ke 100%, преобладают зерна с крупными включения Por и лейкоксена, Pym несколько меньше - 0,3. 11. 2,670-2,675; 0,9 mr; Ke 100%, крупные включения Por, Cg, μup и лейкоксена (?) — 1. 12. > 2,675, 1,5 *мг*; Кв с очень крупными включениями Рог, Сф и лейкоксена ~ 75% — 1, зерна лейкоксена ~ 25%.

Образец 76

1. < 2,618; 2,3 мг; выветрелый Пш и сростки Кв с Пш. 2. 2,618-2,623; 0,7 мг; то же. 3. 2,623—2,628; 1,3 мг; сростки Кв с Пш. 4. 2,628—2,633; 2,2 мг; сростки Кв с $\Pi u \sim 95\%$, Кв $\sim 5\%$, Кв сильно насыщен ВМС = 0.3. 5.2,633-2,638; 8,2 *мг*; Кв, насыщенный *ВМС* - 0,3, а также с крупными включениями $\Pi u \sim 35\% - 0.3$, сростки Ke с $\Pi u \sim 65\%$. 6. 2.638 — 2,643; 101,5] мг; Кв 100%, сильно насыщен ВМС — 0,3 (табл. XVII, 1). 7, 2, 643—2, 648; 284, 5 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС средняя и малая — 0,1, минеральные включения (*Рут*, An, Би) редки — 0,01 (табл. XVII, 2). 8. 2,648—2,653; 39,1 *мг*; Кв 100%, насыщенность ВМС низкая — 0,03, во многих зернах An и Рут, появляются крупные включения Гем — 0,03 (табл. XVII,3). 9. 2,653–2,658; 2,1 мг; Кв 100%, обильные включения Гем-0,1, отмечаются крупные включения An = 0,1, а также зерна, не содержащие включений (табл. XVII, 4). 10. 2,658-2,663; 5,2 мг; Кв 100%, крупные включения Гем и An - 0,3. 11. 2,663-2,668; 8,0 мг; Кв 100%, содержание Гем и An несколько ниже, чем во фр. 10-0,3. 12. > 2,668; 26,5 мг; Кв с очень крупными включениями Гем и Рог ~ 60% - 1, зерна Гем и сростки Ке с Гем ~ 40%, в Ке отмечаются также крупные включения. An = 0.3 (табл. XVII, 5).

Образец 80

1.2

1. < 2,620; 0,2 me; Knw. 2. 2,620-2,625; 0,1 me; Knw. 3. 2,625-2,630; 0,8 мг; Кпш, единичные сростки Кв с Кпш. 4. 2,630-2,635; 1,7 мг; Кв ~ 20%, Кпш и сростки Кв с Кпш ~ 80%, в Кв обильные ВМС — 0,3. 5. 2,635—2,640; 6,1 мг; Кв ~ 35%, Пл, Кпш и сростки Кв с Пш ~ 65%, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3. 6. 2,640—2,645; 45,6 мг; Кв 100%, ВМС в Кв несколько менее обильные — 0,3, чем во фр. 5, в некоторых зернах — иголочки Рут, а также мелкие включения Би — 0,03 (табл. XVIII, 1). 7. 2,645-2,650; 271,7 мг; Кв 100%, насыщенность BMC слабая — 0,03, почти во всех зернах мелкие включения Eu, Poz, Рут и $\exists n = 0,1$ (табл. XVIII, 2). 8. 2,650—2,655; 81,2 мг; Кв 100%, фракция аналогична предыдущей, отличается еще меньшим содержанием BMC — 0,03. 9. 2,655—2,660; 20,5 мг; Кв ~ 95%, соссюритизированный Пл ~ 5%, в Кв значительное количество крупных включений Рог, присутствуют также Рут, Эп и Би – 0,3 (табл. XVIII, 3). 10. 2,660—2,665; 8,0 мг; Кв ~ 95%, соссюритизированный Пл ~ 5%, размеры включений *Рог* и Эп — 0,3 продолжают увеличиваться (табл. XVIII, 4). 11. 2,665–2,670; 4,1 Mz; $Ke \sim 80\%$, соссюритизированный Пл ~ 20%, Кв сильно насыщен крупными включениями Эп и Рог — 1, отмечаются также Би и Рут — 0,1, насыщенность Кв ВМС, начиная с фр. 7 на одном уровне — 0,03 (табл. XVIII, 5). 12. 2,670-2,675; 4,0 мг; Кв ~ 65%, Пл ~ 35%, еще большее увеличение размеров включений Эп и Рог в Ks = 1. 13. > 2,675; 34,8 мг; $Ks \sim 50\%$, зерна Пл и Рог $\sim 50\%$, в Кв очень крупные включения Эп и Рог — 1 (табл. XVIII, 6).

Образец 92

1. < 2,610; 0,5 мг; Кпш. 2. 2,610-2,615; 0,1 мг; Кпш. 3. 2,615-2,620; 0,1 мг; Кпш ~ 70%, Кв ~ 30%, в Кв мелкие включения Би – 0,03, он слабо насыщен ВМС – 0,03. 4. 2,620-2,625; 0,2 мг; Кпш 100%. 5. 2,625-2,630; 0,4 мг; Кпш, сростки Кв с Кпш. 6. 2,630-2,635; 0,2 мг; Кпш, кислый Пл, сростки Кв с Пш. 7. 2,635-2,640; 1,0 мг; Кв ~ 70%, Пш ~ 30%, около половины зерен Кв насыщены ВМС, часть их почти без включений – 0,1. 8. 2,640-2,645; 42,3 мг; Кв 100%, сильно насыщен ВМС – 0,3, в некоторых зернах мелкие включения Би, Ап и Эп –

0,03. 9. 2,645—2,650; 318,7 *мг*; *Кв* 100%, *ВМС* относительно мало — 0,03, ~ 50% зерен содержат мелкие включения *Би*, Эп и An — 0,03. 10. 2,650—2,655; 98,5 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *ВМС* низкая — 0,03, отмечаются *Би*, An и Эn, включения *Би* становятся заметно крупнее — 0,1. 11. 2,655—2,660; 6,9 *мг*, *Кв* 100%, почти во всех зернах крупные включения *Би*, An, Эn и *Рог* — 0,3. 12. > 2,660; 15,9 *мг*; *Кв* ~ 80%, эпидотизированный $\Pi_A \sim 20\%$, в *Кв* крупные включения *Би*, *Рог* и $\Im n = 0,3$.

Образец 94

1. < 2,629; 3,6 мг; Пш и сростки Ке с Пш. 2. 2,629—2,634; 0,3 мг; Ке, насыщенный $BMC \sim 20\%$, Πu и сростки Kec $\Pi u \sim 80\%$. 3. 2,634—2,639; 3,1 мг; Кв ~ 35%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 65%, Кв сильно насыщен BMC — 0,3, но отмечаются зерна почти без включений (табл. XIX, 1). 4. 2,639—2,644; 59,8 *мг*; Кв 100%, почти все зерна сильно насыщены ВМС — 0,3, отмечаются мелкие включения Эп и Би — 0,01 (табл. XIX, 2). 5. 2,644—2,649; 322,8 мг, Кв 100 %, насыщенность ВМС низкая — 0,03,около 50% зерен с включениями Би и Эп — 0,03 (табл. XIX, 3). 6. 2,649—2,654; 67,5 *мг*; Кв 100%, насыщенность ВМС низкая — 0,03, почти во всех зернах включения Eu, реже $\Im n$ увеличивается их размер — 0,1 (табл. XIX, 4). 7.2,654—2,659; 6,4 мг; Ке \sim 75%, измененный $\Pi_{\Lambda} \sim$ 25%, почти во всех зернах K_{θ} крупные включения $\Im n$, Bu и рудного (?) минерала — 0,1 (табл. XIX, 5). 8. 2,659—2,664; 4,0 мг; Кв $\sim 70\%$, измененный $\Pi_A \sim 30\%$, в Кв те же минеральные включения, еще более крупные — 0,3. 9. 2,664 — 2,669; 1,7 *m*; $K_{\theta} \sim 40\%$, $\Pi_{\Lambda} \sim 60\%$, K_{θ} такой же, как во фр. 8. 10. 2,669-2,674; 1,2 мг; Кв ~ 50%, Пл ~ 50%, в Кв очень крупные включения Би, Эп и рудного (?) минерала — 0,3, отдельные зерна почти без включений. 11. 2,674-2,679; 0,4 мг; Кв ~ 20%, остальное — Пл и сростки Кв с Пл, Кв такой же, как во фр. 10. 12. 2,679-2,684; 0,3 мг; Кв (такой же) $\sim 50\%$, $\Pi_{\Lambda} \sim 50\%$. 13. $\sim 2,684;5,0$ мг; Ке $\sim 50\%$, Π_{Λ} , рудный минерал и лейкоксен $\sim 50\%$, более половины зерен K_{6} не содержат видимых включений, в остальных зернах крупные включения Би, Эп и рудного (?) м.инерала — 0,3 í

Образец 95

1. < 2,630; 0,2 мг; сростки Ke с Πw . 2. 2,630-2,635; 0,6 мг; то же. 3. 2,635-2,640; 2,9 мг; $Ke \sim 50\%$, сростки Ke с $\Pi w \sim 50\%$, Ke сильно насыщен BMC - 0,3.4.2,640 - 2,645; 40,3 мг; Ke 100%, преимущественно сильно насыщен BMC - 0,3, отмечаются Eu и $\Im n - 0,01,5.2,645 - 2,650; 336,1$ мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03, $B \sim 30\%$ зерен включения Eu и $\Im n - 0,03.6.2,650 - 2,655; 70,4$ мг; Ke 100%, почти во всех зернах включения Eu и $\Im n - 0,1, BMC$ мало -0,03.7.2,655 - 2,660; 5,7 мг; Ke 100%, почти во всех зернах довольно крупные включения Eu, $\Im n$ и Poz - 0,3, BMC очень мало -0,01.8.2,660 - 2,665; 3,4 мг; то же. 9. 2,665 - 2,670; 1,6 мг; Ke 100%, во всех зернах крупные включения $\Im n$ и Poz, Eu встречается реже -0,3, BMC мало -0,03.10.2,670 - 2,675; 1,5 мг; то же. 11. 2,675 - 2,680; 2,5 мг; $Ke \sim 80\%$, Π_A эпидотизированный $\sim 20\%$, в Ke крупные включения $\Im n$ и Poz - 1.

Образец 97

1. < 2,630; 0,2 мг; сростки Кв с Пш. 2. 2,630—2,635; 0,1 мг; то же. 3. 2,635—2,640; 1,1 мг; Кв ~ 80%, сростки Кв с Пш ~ 20%, более половины зерен Кв сильно насыщены ВМС, часть зерен слабо насыщена ВМС — 0,1 и содержит мелкие включения Би — 0,03. 4. 2,640—2,645; 14,7 мг; Кв 100%, слабо насыщен ВМС — 0,03, отмечается Би — 0,03. 5. 2,645— 2,650; 376,2 мг; Кв 100%, ВМС очень мало — 0,01, в ~ 20% зерен включения Би и Рог — 0,03, остальные почти без включений. 6. 2,650—2,655; 75,2 *мг*; *Кв* 100%, увеличиваются содержание и размеры включений *Би* и *Рог* — 0,1. 7. 2,655—2,660; 7,9 *мг*; *Кв* 100%, почти во всех зернах крупные включения *Би*, *Рог* и *Сф* — 0,1. 8. 2,660—2,665; 4,2 *мг*; то же. 9. 2,665—2,670; 2,1 *мг*; *Кв* 100%, размеры включений *Би*, *Рог* и *Сф* и насыщенность ими зерен *Кв* возрастают — 0,3, *ВМС* почти нет — 0,01. 10. 2,670—2,675; 1,2 *мг*; *Кв* 100%, размеры минеральных включений продолжают увеличиваться, возрастает роль $C\phi - 1$. 11. 2,675—2,680; 1,1 *мг*; то же. 12. >2,680; 6,7 *мг*; *Кв* \sim 50%, *Рог* и *Сф* \sim 50%, *в Кв* очень крупные включения *Би*, *Рог* и *Сф* = 1.

Образец 99

1. < 2,630; 3,4 мг; Пш, сростки Кв с Пш. **2.** 2,630-2,635; 2.4 мг: $K_{\theta} \sim 5\%$, Пш и сростки K_{θ} с Пш $\sim 95\%$, в K_{θ} обильные BMC = 0,3.3. 2,635—2,640; 10,3 мг; то же. 4. 2,640—2,645; 85,3 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС средняя и слабая — 0,1, отмечаются Pym и Eu = 0,01. 5. 2,645-2,650; 293,6 мг; Кв 100%, ВМС мало - 0,03, в ~ 50% зерен включения Би и Рут — 0,03. 6. 2,650 — 2,655; 43,3 мг; Кв 100%, многочисленные включения Eu, An и Pym = 0,1. 7. 2,655–2,660; 17,2 *мг*; то же, единичные зерна Пл. 8. 2,660-2,665; 8,4 мг; Кв 100%, обильные включения Би и An = 0.3, BMC мало = 0.03. 9. 2.665= 2.670; 4.6 мг; Ke 100%. обильные крупные включения *Би*, *Ап*, *Мт* и *Рог* — 0,3. 10. 2,670—2,675; 2.3 мг; Кв ~ 95%, Рог и сростки Кв с Рог ~ 5%, Кв переполнен включениями Por, Би и An — 1. 11. 2,675—2,680; 2,4 мг; то же. 12. > 2,680; 12,7 мг, Кв ~ 20%, Рог и сростки Кв с Рог ~ 80%, в Кв обильные крупные включения Рог. Ап и Би – 1.

Образец 101

1. 2,634; 5,2 мг; Кв ~ 5%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 95%, Кв насыщен ВМС — 0,3. 2. 2,634—2,639; 11,4 мг; Кв ~ 70%, сростки Кв с Пш ~ 30%, Кв сильно насыщен ВМС _ 0,3. 3. 2,639—2,644; 115,6 мг; Кв 1000%, насыщенность ВМС средняя — 0,1, во многих зернах включения Рут _ 0,03. 4. 2,644-2,649; 251,3 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС слабая — 0,03, во многих зернах включения $Pym = 0,03,\,$ отмечаются Цир и An - 0,01. 5. 2,649-2,654; 29,3 мг; Кв 100%, слабо насыщен ВМС -0,03, почти во всех зернах включения Рут, Би, Ап и Би __0,1. 6. 2,654-2,659; 14,7 мг; Кв 100%, еще большая насыщенность Рут, Би, Ап, Цир и Рог — 0,3, ВМС мало — 0,03. 7. 2,659—2,664; 7,5 мг; Кв 100%, заметно укрупняются размеры включений, особенно Рог и Би — 0,3. 8. 2,664 — 2,669; 3,6 мг; Кв 100%, насыщенность минеральными включениями и их размеры продолжают постепенно увеличиваться, включений Рут относительно меньше — 0,1, *BMC* мало — 0,03. 9. 2,669 2,674; 1,6 *мг*; то же. **10.** 12,674-2,679; 1,2 *m*₂; to *m*₂. **11.** 2,679-2,684; 0,7 *m*₂; to *m*₂. **12.** 2,684–2,689; 0,9 мг; то же. 13. > 2,689; 7,6 мг; $Ke \sim 60\%$, Por, Пш и сростки их с $K_{\theta} \sim 40\%$, в K_{θ} крупные включения *Рог* и Eu = 1.

Образед 108

1. $< 2,630; 0,7 \text{ мг}; K_6 \sim 50\%, \Pi w$ и сростки $K_6 c \Pi w \sim 50\%, K_6 слабо на$ сыщен <math>BMC = 0,03, иногда включения $Bu u \exists n = 0,01$. 2.2,630 = 2,635; 0,2 мг; Πw и сростки $K_6 c \Pi w$. 3. 2,635 = 2,640; 0,9 мг; $K_6 100\%$, единичное зерно Πw , насыщенность BMC средняя и низкая = 0,1, отмечается Bu = 0,01. 4. 2,640 = 2,645; 43,5 мг; $K_6 100\%$, насыщенность BMC низкая и средняя = 0,03, минеральных включений почти нет = 0,01. 5. 2,645 = 2,650; 310,9 мг; $K_6 100\%$, насыщенность BMC слабая = 0,03, $\sim 35\%$ зерен содержат мелкие включения $Bu u \exists n = 0,03$. 6. 2,650 = 2,655; 69,6 мг; $K_6 100\%$, насыщенность BMC низкая = 0,03, $\sim 50\%$ зерен содержат $Bu u \exists n$, размеры включений увеличиваются = 0,1, отмечаются зерна K_6 без включений. 7. 2,655 = 2,660; 22,0 мг; $K_6 100\%$, насыщенность BMC низкая = 0,03, в $\sim 65\%$ зерен крупные включения $Eu u \exists n = 0,1$, в $\sim 25\%$ зерен нет включений. 8. 2,660—2,665; 6,1 *мг*; *Ке* 100%, *Ке* с крупными включениями *Би* и $\Im n \sim 85\% - 0,3$, насыщенность *ВМС* очень низкая — 0,01. 9. 2,665—2,670; 2,5 *мг*; *Ке* 100%, в ~ 90% зерен крупные включения *Би и* $\Im n = 0,3$, *ВМС* очень мало — 0,01. 10. 2,670—2,676; 1,0 *мг*; *Ке* 100%, в ~ 95% зерен крупные включения *Би* и $\Im n = 0,3$, *ВМС* мало — 0,03. 11. 2,676—2,681; 0,7 *мг*; то же. 12. > 2,684; 6,8 *мг*; *Ке* ~ 80%, рудный минерал, $\Im n$ и сростки их с *Ке* ~ 20%, в *Ке* очень крупные включения *Би*, $\Im n$ и рудного минерала — 1.

Образед 112

1. < 2,630; 0,3 мг; Кпш, сросткя Кв с Кпш. 2. 2,630-2,635; 0,1 мг; то же. 3. 2,635–2,640; 2,0 мг; Ке $\sim 50\%$, сростки Ке с Кпш $\sim 50\%$, Ке сильно насыщен ВМС — 0,3. 4. 2,640—2,645; 30,5 мг; Кв ~ 90 %, сростки Кв с Кпш $\sim 10\%$, Кв сильно и средне насыщен ВМС = 0,3.5.2,645 =2,650; 264,4 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС слабая — 0,03, в $\sim 50\%$ зерен мелкие включения Эп, Рут и хлорита — 0,03, отмечаются зерна без включений. 6. 2,650—2,655; 84,9 мг; Ке 100%, ВМС мало, более 50% зерен с довольно крупными включениями *Би*, *Эп*, хлорита и *Гем* — 0,1, отмечается Рут — 0,03. 7. 2,655—2,660; 19,5 ме; то же. 8. 2,660—2,665; 10,8 ме; Кв 100%, единичные зерна эпидотизированного Пш, в Кв крупные включения Эп, хлорита и Гем, размер включений и насыщенность ими в зерне возрастают — 0,1, ВМС мало — 0,03. 9. 2,665—2,670; 5,1 мг; то же. 10. 2,670-2,675; 3,0 мг; то же. 11. 2,675-2,681; 2,4 мг; Кв ~ 90%, эпидотизированные $\Pi u \sim 10\%$, в Ks очень крупные включения $\Im n$, хлорита и Гем — 0,3. 12. 2,681—2,686; 2,4 мг; Кв с очень крупными включениями указанных минералов — 75 % — 1, эпидотизированный $\Pi w \sim 25$ %. 13. > 2,686; 29,9 мг; Кв с очень крупными включениями указанных минералов $\sim 70\% = 1$, эпидотизированный $\Pi u \sim 30\%$.

Образец 123

1. < 2,613; 1,0 мг; Пш. 2. 2,613-2,618; 0,6 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 3. 2,618—2,623; 1,1 мг; сростки Кв с Пш, Пш. 4. 2,623—2,628; 1,1 мг; сростки Кв с Пш, Пш. 5. 2,628—2,633; 3,4 мг; Кв ~ 35%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 65%, Кв очень сильно насыщен ВМС — 1, часто довольно крупными. 6. 2,633—2,638; 18,0 *мг*; Кв 100 %, насыщенность ВМС несколько ниже, но все же очень высокая — 1. 7. 2,638—2,643; 130,1 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС высокая — 0,3, единичные затвердевшие включения (раскристаллизованный расплав). 8. 2,643—2,648; 284,3 *мг*; *Кв* 100 %, насыщенность ВМС средняя — 0,1, единичные неправильные непрозрачные включения — 0,01. 9. 2,648—2,653; 37,0 мг; Кв ~ 95%, Пш ~ 5%, ВМС мало — 0,03, в некоторых зернах Рут — 0,01. 10. 2,653—2,658; 12,6 мг; $Ke \sim 80\%$, $IIu \sim 20\%$, BMC мало — 0,03, некоторые зерна свободны от них, часть зерен с тонкими иголочками Рут и мелкими включениями Би — 0,03. 11. 2,658–2,663; 4,2 *me*; $Ke \sim 65\%$, измененный $\Pi u \sim 35\%$, *BMC* почти отсутствуют — 0,01, отмечаются мелкие включения Рут и Мус — 0,03, а также крупные Eu = 0,1. 12. 2,663 $-2,668; 2,9 \text{ мг}; Ke \sim 50\%, \Pi w$ ~ 50 %, Кв такой же, как во фр. 11. 13. > 2,668; 7,6 мг; Кв ~ 50 %, Пш измененные и непрозрачные зерна (рудный ?) ~ 50 %, в Кв крупные включения Би и рудного (?) минерала — 0.3.

Образец 124

1. $< 2,622; 0,5 \text{ ме}; \Pi w$, единичное зерно Ke. 2. 2,622 - 2,627; 0,1 мe;сростки Ke с Πw . 3. $2,627 - 2,632; 1,8 \text{ мe}; Ke \sim 40\%$, сростки Ke с $\Pi w \sim 60\%$, Ke насыщен крупными BMC - 0,3.4.2,632 - 2,638; 16,2 мe; Ke100%, насыщенность крупными BMC сильная и средняя -0,3 (табл. XX, 1). 5. 2,638 - 2,643; 161,4 мe; Ke 100%, крупные BMC, насыщенность средняя -0,1 (табл. XX, 2). 6. 2,643 - 2,648; 252,3 мe; Ke 100%, насыщенность BMC низкая -0,03, в некоторых зернах включения Eu - 0,03 (табл. XX, 3). 7. 2,648—2,653; 8,2 *мг*; *Ке* 100 %, насыщенность *BMC* низкая — 0,03, в ~ 40 % зерен включения рудного минерала и *Цир* — 0,1 (табл. XX, 4). 8. 2,653—2,659; 2,7 *мг*; *Ке* 100 %, зерна, слабо насыщенные *BMC* — 0,03, с включениями *Рут*, *Цир*, *Би*, *Рог* и рудного минерала ~ 80 % — 0,1, *Ке* без включений ~ 20 % (табл. XX, 5). 9. 2,659—2,664; 1,1 *мг*; *Ке* 100 %, почти во всем *Ке* крупные включения *Би*, *Рог* и рудного минерала — 0,3, *BMC* мало — 0,03. 10. 2,664—2,669; 0,4 *мг*; *Ке* 100 %, размер минеральных включений увеличивается — 1. 11. 2,669—2,674; 0,3 *мг*; то же. 12. 2,674—2,680; 0,6 *мг*; то же. 13. > 2,680; 5,7 *мг*; *Ке* ~ 50 %, *Рог* и рудный минерал ~ 50 %, в *Ке* крупные минеральные включения — 1.

Образец 234

1. < 2,613; 2,6 мг; Пш. **2.** 2,613–2,618; 0,9 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 3. 2,618-2,623; 0,8 мг; то же. 4. 2,623-2,629; 1,0 мг; то же, единичное зерно *Кв.* 5. 2,629—2,634; 1,9 *мг*; Πw , сростки *Кв* с $\Pi w \sim 90\%$, средне насыщенный ВМС Кв, ~ 10% - 0,1. 6. 2,634-2,639; 9,2 мг; Кв ~ 70%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 30%, Кв сильно и средне насыщен ВМС - 0,1. 7. 2,639-2,644; 130,7 *мг*; Кв 100%, в основном средне насыщен ВМС - 0,1. 8. 2,644—2,649; 261,6 *мг*; *Кв* 100%, средне и слабо насыщен BMC = 0,1, в некоторых зернах дисперсные окислы железа, окрашивающие их в бурый цвет, - 0,01. 9. 2,649-2,654; 21,5 *мг*; Кв 100%, насыщенность BMC слабая и средняя — 0.03. в ~ 50% зерен дисперсные окислы железа, отмечается Рут — 0,03. 10. 2,654—2,659; 8,1 мг; Кв 100%, размеры включений окислов железа увеличиваются, отмечается An = 0,1, BMC мало = 0,03. 11. 2,659-2,664; 6,6 *мг*; *Кв* ~ 95%, окислы железа ~ 5%, в *Кв* крупные включения окислов железа и хлорита — 0,3. 12. 2,664-2,670; 4,3 м.; Кв $\sim 90\%$, окислы железа $\sim 10\%$, те же минеральные включения, но крупнее — 1, *BMC* мало — 0,03. 13. > 2,670; 15,4 *мг*, *Кв* \sim 50%, окислы железа — 50%, в Кв очень крупные те же минеральные включения — 1.

Образед 236

1. < 2,612; 25,6 мг; Пш. 2. 2,612-2,617; 5,5 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 3. 2,617-2.622; 5.2 ме; Пш, сростки Кв с Пш. 4. 2,622-2,628; 6,3 мг; Кв $\sim 5\%$, Пw, сростки Кe с П $w \sim 95\%$, Кe сильно насыщен ВМС - 0,3. 5. 2,628-2,633; 9.3 M2; to He. 6. 2,633-2,638; 22,1 M2, Ke $\sim 15\%$; сростки Ке с $\Pi u \sim 85\%$, Ке сильно насыщен BMC = 0.3. 7. 2.638–2.643; 99.6 мг; $Ks \sim 70\%$, сростки Ks с $\Pi w \sim 30\%$, Ks сильно насыщен BMC = 0.3. 8. 2,643-2,648; 294,8 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС сильная и средняя -0,3, отмечается Pym = 0.01. 9. 2,648= 2.653; 11,7 *мг*; $Ke \sim 60\%$, измененные Πw , сростки K_{θ} с Πw и K_{θ} с лейкоксеном $\sim 40\%$, иногда K_{θ} содержит иголочки Рут и крупные включения Bu = 0.03, BMC мало = 0.03. 10. 2,653—2,658; 2,6 *мг*; *Ке* \sim 15%, сильно измененные $\Pi w \sim$ 85%, часть зерен *Кв* содержит *Рут* и *Би* — 0,03, *ВМС* мало — 0,03. 11. 2,658—2,663; 1,1 мг; Кв $\sim 10\%$, измененный $\Pi \Lambda \sim 90\%$, в Кв крупные включения Би и рудного минерала — 0,1. 12. 2,663—2,669; 0,4 мг; $K_{\theta} \sim 5\%$, измененный $II_{\Lambda} \sim 95\%$, в *Кв* крупные включения рудного минерала и Eu = 0.3. 13. > 2,669; 10,3 мг; рудный минерал, измененные Πw , единичные зерна Ke с крупными минеральными включениями — 0,3.

Образец 237.

1. < 2,614; 5,2 мг; Пш. 2. 2,614—2,619; 1,4 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 3. 2,619—2,624; 2,1 мг; то же. 4. 2,624—2,630; 3,8 мг; то же. 5. 2,630—2,635; 3,6 мг; то же. 6. 2,635—2,640; 9,8 мг; Кв $\sim 10\%$, Пш и сростки Кв с Пш $\sim 90\%$, Кв насыщен крупными ВМС — 0,3. 7. 2,640—2,645; 67,8 мг; Кв $\sim 80\%$, Пш и сростки Кв с Пш $\sim 20\%$, Кв слабо и средне насыщен крупными ВМС — 0,1. 8. 2,645—2,650; 312,6 мг; Кв $\sim 95\%$, Пш $\sim 5\%$, Кв слабо насыщен ВМС — 0,03, единичные включения рудного минерала и An = 0,01. 9. 2,650–2,655; 23,3 *мг*; $Ke \sim 70\%$, измененные $\Pi w \sim 30\%$, в Ke включения Eu, рудного минерала и измененных $\Pi w = 0,03$, BMC мало = 0,03. 10. 2,655–2,660; 11,6 *мг*; $Ke \sim 60\%$, $\Pi w \sim 40\%$, Ke такой же, как во фр. 9. 11. 2,660–2,665; 5,6 *мг*; $Ke \sim 50\%$, $\Pi w \sim 50\%$, включения Eu, Πw и рудного минерала в Ke становятся крупнее = 0,1, BMC мало = 0,03. 12. 2,665–2,671; 4,4 *мг*; то же, некоторое укрупнение минеральных включений в Ke = 0,3. 13. > 2,671; 39,1 *мг*; $Ke \sim 20\%$, Eu и рудного минерала = 1.

Образец 238

1. < 2,613; 7,4 мг; Пш. 2. 2,613-2,618; 1,7 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 3. 2,618—2,623; 1,3 мг; то же. 4. 2,623—2,629; 2,7 мг; Ке ~ 20%, Пш, сростки Кв с $\Pi u \sim 80\%$, в Кв включения $\Pi u = 0.03$. 5. 2,629–2,634; 3,5 мг; то же. 6. 2,634—2,639; 10,1 мг; Кв $\sim 60\%$, Пш и сростки Кв с Пш ~ 40%, Кв, насыщенный ВМС, - 0,3, с крупными включениями Пш -0.1. 7. 2.639-2.644; 112.1 мг; Кв ~ 95%, сростки Кв с Пш ~ 5%, в Кв *BMC*, насыщенность средняя — 0,1. 8. 2,644—2,649; 291,6 мг; Кв 100%, слабо насыщен ВМС — 0,03, в единичных зернах включения Би и Ап — 0,01. 9. 2,649—2,654; 18,1 мг, $Ke \sim 95\%$, измененные $\Pi w \sim 5\%$, почти во всех зернах K_{θ} мелкие включения μ_{μ} , E_{μ} и $A_{\mu} = 0.03$, BMC мало -0.03. 10. 2,654—2,659; 8.2 *мг*; *Кв* \sim 95%, $\Pi \omega \sim$ 5%, в *Кв* крупные включения Цир, Би и An - 0,1, ВМС мало - 0,03. 11. 2,659-2,664; 4,9 мг; то же, в Кв появляются включения рудного минерала — 0,1. 12. 2,664—2,670; 3,0 мг; Кв ~ 90%, Пш ~ 10%, минеральные включения в Кв становятся еще круппее — 0,3. 13. 2,670—2,675; 1,7 *ме*; $Ke \sim 85\%$, измененные Πu и рудный минерал ~ 15%, в Кв очень крупные включения рудного минерала, Цир и Би — 1. 14. > 2,675; 21,4 *мг*; Кв \sim 40%, Пш, рудный минерал и сростки Ke с ними ~ 60%, в Ke очень крупные минеральные включения — 1.

Образец 271

1. < 2,628; 11,6 мг; Кпш. 2. 2,628-2,633; 7,7 мг; Пш. сростки Кв с Пш. 3. 2,663-2,638; 14,2 мг; Кв ~ 50%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 50%, в 80% зерен Кв включения Пш, остальные сильно насыщены ВМС — 0,3. 4. 2,638-2,643; 111,9 *мг*; Кв 100%, ~ 70% — зерна, средне и сильно насыщенные ВМС - 0,1. 5. 2,643-2,648; 230,3 мг; Кв 100%, средне и слабо насыщен BMC = 0.1, в $\sim 10\%$ зерен мелкие включения рудного минерала — 0,03. 6. 2,648—2,653; 2,7 мг; Кв $\sim 60\%$, измененные Πw , сростки *Кв* с Пи ~ 40%, в большей части зерен *Кв* включения рудного минерала — 0,1. 7. 2,653–2,658; 0,8 Me; $Ke \sim 70\%$, Πw и сростки Ke с $\Pi w \sim 30\%$, в Кв включения рудного минерала — 0,1, ВМС мало — 0,03. 8. 2,658— 2,663; 0,4 мг; зерен нет. 9. 2,663-2,669; 0,3 мг; Кв ~ 60%, Пш, сростки Кв с $\Pi u \sim 40\%$, в Кв крупные включения рудного минерала — 0,3. 10. 2,669—2,674; 0,4 мг; Кв \sim 40%, Пш, сростки Кв с Пш \sim 60%, в Кв крупные включения рудного минерала — 0,3. 11. 2,674—2,679; 0,1 мг; $K_{\theta} \sim 50\%$, Πw , сростки K_{θ} с $\Pi w \sim 50\%$, K_{θ} такой же. 12. 2,679–2,684; зерен нет. 13. > 2,684; 10,6 ме; Ке $\sim 5\%$, рудный минерал и $\Pi u \sim 95\%$, в Кв очень крупные включения рудного минерала — 1.

Образец 272

1. < 2,603; 5,7 мг; Пш. 2. 2,603–2,608; 0,8 мг; то же. 3. 2,608–2,613; 1,0 мг; то же. 4. 2,613–2,618; 0,4 мг; то же. 5. 2,618–2,623; 0,8 мг; Пш в сростки Кв с Пш. 6. 2,623–2,629; 0,8 мг; то же. 7. 2,629–2,634; 0,9 мг; то же. 8. 2,634–2,639; 2,7 мг; Кв ~ 60%, сростки Кв с Пш ~ 40%, Кв средне насыщен ВМС – 0,1, в некоторых зернах включения Пш – 0,03. 9. 2,639–2,644; 69,4 мг; Кв 100%, средне и слабо насыщен ВМС – 0,1, в ~ 10% мелкие включения Пш – 0,03. 10. 2,644–2,649; 379,5 мг; Кв 100%, слабо насыщен BMC = 0.03, в некоторых зернах Pym = 0.01. 11. 2,649 2,654; 2,0 мг; $K_{\theta} \sim 80\%$, рудный (?) минерал $\sim 20\%$, в K_{θ} крупные включения An и рудного (?) минерала = 0.3, BMC почти нет = 0.01. 12. 2,654–2,659; материал отсутствует. 13. > 2,659; 9,7 мг, $K_{\theta} \sim 20\%$, рудный минерал $\sim 80\%$, в K_{θ} крупные включения рудного минерала = 0.3.

Образец 273

1. < 2,629; 1,0 мг; Кв $\sim 5\%$, П $u \sim 95\%$, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3. 2. 2,629-2,634; 0,5 мг; Ке ~ 40%, Пш ~ 60%, Ке сильно насыщен BMC = 0.3. 3. 2,634-2,639; 6,0 мг; Ке $\sim 95\%$, $\Pi u \sim 5\%$, Ке средне и сильно насыщен *BMC* — 0,1. 4. 2,639—2,644; 62,5 *мг*; *Кв* 100%, слабо и средне насыщен *BMC* — 0,03, в 10% включения *Рут* — 0,03. 5. 2,644— 2,649; 139,6 мг; Кв 100%, слабо насыщен BMC = 0,03, в $\sim 50\%$ включения Pym = 0.1, отмечаются Би и An = 0.01. 6. 2,649-2,654; 14,5 мг; *Кв* 100%, во многих зернах *Руп*, в \sim 40% зерен включения рудного (?) минерала — 0,1, ВМС мало — 0,03. 7. 2,654—2,659; 14,4 мг; Кв 100%, почти во всех зернах включения рудного (?) минерала — 0,1. 8. 2,659— 2,664; 10,4 *мг*; Кв 100%, размеры включений рудного (?) минерала возрастают - 0,3, ВМС мало - 0,03. 9. 2,664-2,670; 7,6 мг; то же. 10. $2,670-2,675; 5,6 \text{ mc}; \text{ Ke} \sim 90\%$, измененные $\Pi \omega \sim 10\%$, в Ke крупные включения рудного (?) минерала — 0,3. 11. 2,675—2,680; 4,6 мг; Кв \sim 85%, рудный (?) минерал ~ 15%, в Кв очень крупные включения рудного (?) минерала — 1. 12. 2,680—2,685; 4,3 *мг*; то же. 13. 2,685—2,690; 5.0 мг; Ке такой же $\sim 80\%$, измененные Πu и рудный минерал $\sim 20\%$. 14. > 2,690; 222,6 *мг*; *Пш*, рудный (?) минерал, *Рог*, иногда сростки *Кв* с этими минералами.

Образец 274

1. < 2,624; 0,7 *мг*; *Пш*, сростки Кв с *Пш*. **2.** 2,624—2,629; 0,5 *мг*; то же. 3. 2,629-2,635; 0,3 мг; Ке ~ 50%, Пш и сростки Ке с Пш ~ 50%, Ке сильно насыщен BMC = 0.3. 4. 2,635=2,640; 7,4 *мг*; $Ke \sim 90\%$, сростки Ke с $\Pi w \sim 10\%$, Ke сильно и средне насыщен BMC = 0.3.5.2.640 - 0.5.5.5.52.645; 142.9 *мг*; Кв 100%, средне насыщен довольно крупными ВМС — 0,1, во многих зернах Pym = 0.03. 6. 2.645 - 2.650; 284,7 *мг*; *Кв* 100%, слабо насыщен *BMC* — 0,03, почти во всех зернах включения *Pym* — 0,1, *Кв* дымчатый (как и в других фракциях). 7. 2,650-2,655; 8,6 мг; Кв 100%, *BMC* мало или нет — 0,03, почти во всех зернах Pym = 0,1, в $\sim 50\%$ зерен мелкие включения рудного минерала — 0,1. 8. 2,655—2,660; 5,6 мг; $K_{\theta} \sim 70\%$, сростки K_{θ} с $\Pi \omega \sim 30\%$, включения рудного минерала становятся крупнее — 0,3. 9. 2,660—2,666; 5,0 ме; $Ke \sim 20\%$, измененные Πu и сростки Кв с Пш ~ 80%, в Кв включения Рут и рудного минерала — 0.3, BMC очень мало -0.01. 10. 2,666-2.671; 5,9 mc; Ke $\sim 10\%$, Im и сростки K_{θ} с $\Pi \omega \sim 90\%$, в K_{θ} крупные включения рудного минерала — 0,3. 11. 2,671-2,676; 4,5 мг; Пш, иногда в сростках с Кв. 12. 2,676-2,681; 3,8 *мг*; то же. 13. > 2,681, 22,4 *мг*; *Пш*, рудный минерал и Гр.

Образец 276

1. $< 2,629; 5,3 \text{ мг}; \Pi u$. 2. $2,629-2,634; 2,9 \text{ мг}; \Pi u$, сростки Ke с Πu . 3. $2,634-2,639; 3,1 \text{ мг}; Ke \sim 60\%, \Pi u$ и сростки Ke с $\Pi u \sim 40\%, Ke$ слабо и средне насыщен BMC - 0,03. 4. 2,639-2,644; 65,8 мг; Ke 100%,насыщенность BMC слабая и средняя — 0,03, иногда включения $\Pi u = 0,01, \sim 50\%$ зерен сильно дефектны. 5. 2,644-2,649; 405,7 мг; Ke 100%,слабо насыщен BMC - 0,03, много дефектных зерен. 6. 2,649-2,654; 7,1мг; Ke 100%, более 50% зерен без включений, остальные слабо насыщены BMC - 0,03, иногда содержат Eu и рудный минерал — 0,01. 7. $2,654-2,659; 1,9 \text{ мг}; Ke 100\%, \sim 30\%$ зерен без включений, в $\sim 50\%$ пылеватые включения рудного минерала, в $\sim 20\%$ включения Eu - 0,1. 8. 2,659-2,664; 1,0 мг; Ke 100%, без включений - 10%, включения рудного ми-
нерала, реже Eu = 0,1, BMC очень мало = 0,01. 9. 2,664=2,670; 0,6 *мг*; зерна не анализировались. 10. 2,670=2,675; 0,1 *мг*; то же. 11. 2,675=2,680; зерен нет. 12. 2,680=2,685; 0,5 *мг*; *Кв* с включениями рудного минерала (одно зерно), рудный минерал (одно зерно). 13. > 2,685; 3,7 *мг*; рудный минерал, Γp .

Образец 289

1. < 2,618; 0,8 мг; Пш. 2. 2,618-2,623; 0,3 мг; Пш, черный непрозрачный минерал. 3. 2,623-2,628; 0,3 мг; Кв ~ 50%, Пш ~ 50%, Кв сильно насыщен ВМС - 0,3, отмечается Рут - 0,01. 4. 2,628-2,634; 0,9 мг; *Кв* 100%, единичные черные непрозрачные зерна, *Кв* сильно насыщен *ВМС*— 0,3 (табл. XXI, 1). 5. 2,634-2,639; 16,2 мг; Кв 100%, единичные зерна Пл, Кв сильно насыщен ВМС - 0,3 (табл. XXI, 2). 6. 2,639-2,644; 148,8 *мг*; *Кв* 100%, сильно насыщен BMC = 0,3, но заметно слабее, чем в предыдущей фракции (табл. XXI, 3). 7. 2,644-2,649; 172,7 мг; Кв 100%, насыщенность *BMC* средняя — 0,1, во многих зернах Pym = 0.03 (табл. XXI, 4). 8. 2.649—2.654; 7.2 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС низкая — 0,03, во многих зернах *Рут* — 0,03, отмечаются бурые включения окислов железа — 0,1 (табл. XXI, 5). 9. 2,654—2,659; 2,8 *мг; Кв* 100%, включения окислов железа в 50% зерен — 0,1 (табл. XXI, 6). 10. 2,659—2,665; 1,7 *ж*; Кв 100%, почти во всех зернах обильные включения окислов железа — 0,3. 11. 2,665—2,670; 1,0 *мг*; то же. 12. 2,670—2,675; 1,1 *мг*; то же. 13. > 2,675; 20,6 *мг*; *Кв* $\sim 10\%$, рудный минерал, окислы железа, землистый $\exists n$ (?) ~ 90%, в *Ке* обильные окислы железа — 1.

Образец 330

1. $< 2,618; 0,9 \text{ мг}; Ke \sim 30\%$, Πw и сростки $Ke \subset \Pi w \sim 70\%$, Ke слабо и средне насыщен BMC - 0,03. 2. 2,618 - 2,623; 0,4 мг; то же, $Ke \sim 60\%$. 3. 2,623 - 2,628; 0,2 мг; то же, $Ke \sim 70\%$, 4. $2,628 - 2,633; 0,6 \text{ мг}; Ke \sim 70\%$, Πw и сростки $Ke \subset \Pi w \sim 30\%$, Ke средне и сильно насыщен BMC - 0,1. 5. 2,633 - 2,638; 3,1 мг; Ke 100%, средне и слабо насыщен BMC - 0,1. 6. 2,638 - 2,643; 130,7 мг; Ke 100%, средне насыщен BMC - 0,1. 7. 2,643 - 2,648; 329,3 мг; Ke 100%, насыщенность BMC средняя и слабая - 0,1, отмечаются Pym и $\Pi up - 0,01.$ 8. 2,648 - 2,653; 7,9 мг; Ke 100%, средне и слабо насыщен BMC - 0,1. 7. 2,643 - 2,648; 329,3 мг; Ke 100%, насыщенность BMC средняя и слабая - 0,1, отмечаются Pym и $\Pi up - 0,01.$ 8. 2,648 - 2,653; 7,9 мг; Ke 100%, средне и слабо насыщен BMC - 0,1. 9. 2,653 - 2,658; 3,5 мг; Ke 100%, включений окислов железа становится заметно больше - 0,3. 10. 2,658 - 2,663; 1,2 мг; Ke 100%, значительно насыщен окислами железа - 0,3. 11. 2,663 - 2,668; 0,5 мг; то же. 12. 2,668 - 2,673; 0,4 мг; то же, единичные зерна без включений. 13. > $2,673; 2,0 \text{ мг}; Ke \sim 20\%$, Γp и рудный минерал $\sim 80\%$, Ke насыщен окислами железа, содержит включения рудного минерала 0,3.

кварц молодых гранитоидов

Образец 121

1. < 2,618; 0,4 ме; Кпш и сростки Кв с Кпш. 2. 2,618-2,623; 0,2 ме; Кв $\sim 30\%$, Кпш и сростки Кв с Кпш $\sim 70\%$, Кв сильно насыщен ВМС -0,3. 3. 2,623-2,628; 0,1 ме; Кв $\sim 50\%$, сростки Кв с Кпш $\sim 50\%$, Кв сильно насыщен ВМС - 0,3. 4. 2,628-2,633; 1,1 ме; Кв $\sim 60\%$, сростки Кв с Кпш $\sim 40\%$, Кв сильно насыщен ВМС - 0,3. 5. 2,633-2,638; 5,4 ме; Кв 100%, сильно насыщен ВМС - 0,3. 6. 2,638-2,643; 112,2 ме; Кв 100%, насыщенность ВМС средняя - 0,1. 7. 2,643-2,648; 260,4 ме; Кв 100%, насыщенность ВМС слабая и средняя - 0,03, отмечаются включения $\Piш - 0,01.$ 8. 2,648-2,653; 62,0 ме; Кв 100%, насыщенность ВМС слабая и средняя -0,03, отмечается An - 0,01. 9. 2,653-2,658; 10,4 ме; Кв 100%, слабо насыщен ВМС $-0,03; \epsilon \sim 5\%$ зерен включения Би и An - 0,03.10. 2,658-2,663; 3,0 ме; Кв 100%, насыщенность ВМС слабая -0,03, в $\sim 30\%$ зерен включения Би и An - 0,1. 11. > 2,663; 4,0 ме; Кв $\sim 90\%$, измененный $\Pi \omega \sim 10\%$, насыщенность *Кв ВМС* низкая — 0,03, в $\sim 50\%$ зерен *Кв* включения *Би* и рудного минерала — 0,1.

Образец 134

1. < 2,609; 3,6 мг; Кпш, сростки Кв с Кпш. 2. 2,609-2,614; 0,8 мг; то же. 3. 2,614-2,619; 1,4 мг, Кв ~ 10%, Кпш, сростки Кв с Кпш ~ 90%. Ke сильно насыщен крупными $BMC = 0.3.4.2.619 - 2.624; 1.6 мe; Ke \sim$ 15%, Клш и сростки Кв с Клш ~ 85%, Кв сильно насыщен круппыми BMC = 0.3.5.2,624 - 2,629; 6.2 мг; Кв $\sim 60\%$, сростки Кв с Кпш $\sim 40\%$, Кв насыщен крупными BMC = 0.3 (табл. XXII, 1). 6. 2,629 = 2,634; 34,5мг; Кв 100%, насыщен крупными ВМС — 0,3 (табл. XXII, 2). 7. 2,634— 2.639: 162.1 мг; Кв 100%, содержит крупные ВМС, насыщенность средняя — 0,1. 8. 2,639—2,644; 224,6 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС продолжает уменьшаться — 0,1 (табл. XXII, 3). 9. 2,644—2,649; 15,1 *мг*; Кв 100%, насыщенность *BMC* низкая и средняя — 0,03, в единичных зернах включения Би и рудного минерала — 0,01 (табл. XXII, 4). 10. 2,649— 2,654; 2,0 мг; то же. 11. 2,654—2,659; 0,5 мг; Кв 100%, насыщенность **ВМС** низкая — 0,03, отмечаются включения рудного минерала — 0,01. 12. 2,659—2,664; 0,3 мг; то же. 13. > 2,664; 2,2 мг; Кв ~ 20%, рудный минерал и измененные $\Pi \omega \sim 80\%$, в *Ке ВМС* (слабая насыщенность) — 0,03 и включения рудного минерала - 0,03.

Образец 136

1. 2,617—2,622; 26,3 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 2. 2,622—2,627; 24,4 мг; то же. 3. 2,627—2,633; 16,4 мг; Кв ~ 20%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 80%, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3. 4. 2,633—2,638; 15,4 мг; Кв ~ 30%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 70%, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3. 5. 2,638— 2,643; 40,3 мг; Кв ~ 90%, сростки Кв с Пш ~ 10%, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3. 6. 2,643—2,648; 53,1 мг; Кв ~ 95%, сростки Кв с Пш ~ 5%, Кв средне насыщен ВМС — 0,1, иногда содержит Рут (?) и Цир — 0,01. 7. 2,648—2,653; 2,8 мг; Кв ~ 15% слабо и средне насыщен ВМС — 0,03, остальное — сростки Кв с Пш, содержащими дисперсные окислы железа. 8. 2,653—2,658; 1,0 мг; то же, Кв ~ 10%. 9. 2,658—2,664; 1,3 мг; то же, Кв ~ 5%. 10. 2,664—2,669; 1,4 мг; то же, Кв ~ 5%. 11. 2,669— 2,674; 2,1 мг; то же, Кв ~ 5%. 12. > 2,674; 25,6 мг; сростки Кв с Пш в окислами железа.

Образец 143

1. < 2,628; 1,2 мг; Пш. 2. 2,628-2,633; 0,9 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 3. 2,633—2,638; 7,1 мг; Кв $\sim 95\%$, Πw и сростки Кв с $\Pi w \sim 5\%$, Кв сильно насыщен BMC — 0,3 (табл. XXIII, 1). 4. 2,638—2,643; 151,8 мг; Ке 100%, сильно и средне насыщен BMC = 0.3, в некоторых зернах мелкие включения An = 0.01 (табл. XXIII, 2). 5. 2,643–2,648; 241,8 *мг*; $Ke \sim$ 100%,~Ks слабо и средне насыщен BMC = 0,1, в $\sim 20\%$ зерен мелкие включения Цир и An — 0,03 (табл. XXIII, 3). 6. 2,648—2,653; 22,4 мг; Ke~100%, насыщенность BMC низкая — 0,03, в $\sim 70\%$ зерен включения Рог; в $\sim 10\%$ мелкие включения Цир и An = 0,1 (табл. XXIII, 4). 7. 2,653—2,658; 16,8 *мг*; Кв 100%, единичные зерна Пл, в ~ 60% зерен крупные включения Poz — 0.3, BMC мало — 0.03 (табл. XXIII, 5). 8. 2.658— 2.663; 8.9 мг; Кв 100%, единичные зерна Пл. то же. 9. 2.663—2.669; 5.3 мг; то же, несколько увеличиваются размеры включений Рог — 0,3. 10. 2,669— 2,674; 3,7 мг; то же. 11. 2,674—2,679; 3,0 мг; то же, продолжается укрупнение включений *Рог* — 0,3. 12. 2,679—2,684; 2,1 мг; Кв ~ 90%, измененный $\Pi_A \sim 10\%$. в Ke крупные включения Poz и рудного минерала — 0.3. ВМС мало — 0,03. 13. > 2,684, 24,8 мг; Кв ~ 50%, измененный Пл, Рог, рудный минерал ~ 50%, в Кв очень крупные включения Рог и рудного минерала — 1.

Образец 145

1. < 2,628; 1,5 мг; Кв ~ 5%, Кпш ~ 95%, Кв сильно насыщен ВМС — 0.3. 2. 2,628-2,633; 4,2 мг; Кв ~ 95%, Кпш 5%, Кв очень сильно насыщен ВМС — 1. 3. 2.633—2.638; 40,9 мг; Кв 100%, единичные зерна Кпш, *Кв* сильно насыщен *BMC* — 0,3. 4. 2,638—2,643; 257,6 *мг*; *Кв* 100%, единичные зерна Кпш, насыщенность зерен ВМС несколько меньше, но продолжает оставаться высокой — 0,3. 5. 2,643—2,648; 150,3 *мг*; Ке 100%. насыщенность *BMC* средняя -0.1, отмечается Eu = 0.01. 6. 2,648-2.653; 11.0 мг; Кв $\sim 95\%$, измененный $\Pi \omega \sim 5\%$, в Кв ВМС (средняя насыщенность) — 0,1, иногда Би — 0,01. 7. 2,653—2,658; 3,5 мг; Кв ~ 90%, измененный $\Pi \omega \sim 10\%$, насыщенность *Кв ВМС* средняя — 0,1, отмечаются Би, Гем, Рог, Мус и An = 0.03. 8. 2,658 - 2.663; 0,8 мг; Кв $\sim 85\%$, измененный Пш ~ 15%, Кв слабо насыщен ВМС - 0,03, содержит Би, Ап, Гем и Мус — 0,1. 9. 2,663—2,668; 0,5 мг; Кв \sim 80%, измененный Пu \sim 20%, в Кв включения An, Цир, Гем – 0,1, ВМС мало – 0,03. 10. 2,668-2,673; 0,4 *мг*; Кв ~ 70%, измененный Пш ~ 30%, Кв такой же, как во фр. 9. 11. 2,673—2,678; 0,5 *мг*; Кв \sim 50%, измененный $\Pi u \sim$ 50%, Кв такой же. 12. 2,678—2,683; 0,3 *мг*; Кв \sim 30%, измененный Πu , зерна Гем \sim 70%, Кв такой же. 13. > 2,683; 5,0 мг; Кв \sim 5%, измененные Пш и зерна рудных минералов ~ 95%, в Кв крупные включения Гем и Цир-0,3.

Образец 146

1. < 2,617; 7,2 мг; измененные $\Pi w. 2. 2,617 - 2,622; 2,1$ мг; Πw , сростки Кв и Пш, единичные зерна Кв. 3. 2,622—2,627; 1,1 мг; то же. 4. 2,627— 2,633; 2,4 мг; то же. 5. 2,633-2,638; 12,5 мг; Кв 100%, сильно насыщен *BMC* -- 0,3. 6. 2,638-2,643; 113,7 *мг*; *Кв* 100%, сильно и средне насыщен *BMC* — 0.3. 7. 2.643—2.648; 90.8 *мг*: Ке 100%, средне насыщен *BMC* — , 1, в некоторых зернах включения An и Bu = 0.01. 8. 2.648-2.653; 4.0 *мг*; Кв $\sim 60\%$, измененные Πuu и сростки Кв с $\Pi uu \sim 40\%$, Кв слабо насыщен ВМС — 0.03, содержит мелкие включения $An \rightarrow 0.03$, отмечаются зерна, сильно насыщенные ВМС, с крупными включениями рудного (?) минерала - 0,1. 9. 2,653-2,658; 1,9 мг; Кв ~ 50%, Пш и сростки Кв с $\Pi u \sim 50\%$, в Ke крупные включения рудного (?) минерала — 0,1, отмечается An = 0.01, BMC мало = 0.03. 10. 2.658 - 2.664; 1.3 мг; $Ke \sim 40\%$, Πu и сростки K₃ с $\Pi u \sim 60\%$, размеры минеральных включений в K₃ продолжают увеличиваться -0.1. 11. 2,664-2,669; 0,9 *мг*; *Ke* \sim 50%, $IIm \sim 50\%$, в Ke крупные включения рудного минерала — 0,3. 12. 2,669— 2,674; 0,9 мг; Кв ~ 15%, Пш ~ 85%, в Кв крупные включения рудного минерала — 0,3. 13. > 2,674; 6,2 мг; тяжелые минералы, измененные *Пш*, единичные зерна *Кв* с крупными включениями рудного минерала — 0.3.

Образец 158

1. $< 2,618; 11,6 mz; \Pi w. 2. 2,618-2,623; 4,0 mz; Ke ~ 20%, \Pi w, сростки$ $Ke с <math>\Pi w ~ 80\%$, Ke сильно насыщен BMC - 0,3. 3. 2,623-2,628; 4,9 mz; Ke ~ 10%, Πw , сростки Ke с $\Pi w ~ 90\%$, Ke сильно насыщен BMC - 0,3. 4. 2,628-2,634; 6,2 mz; то же, Ke ~ 35%. 5. 2,634-2,639; 14,0 mz; Ke ~ 90%, сростки Ke с $\Pi w ~ 10\%$, в ~ 70% зерен Ke крупные включения $\Pi w - 0,3$, остальные зерна сильно насыщены BMC - 0,3. 6. 2,639-2,644; 68,3 mz; Ke 100%, присутствуют зерна, сильно и средне насыщенные BMC - 0,1, а также слабо насыщенные ими, последние с включениями $\Pi w - 0,03.$ 7. 2,644-2,649; 255,5 mz. Ke 100%, насыщенность BMC низкая - 0,03, отмечаются мелкие включения $\Pi up - 0,01.$ 8. 2,649-2,654; 4,3 mz; Ke 100%, $\sim 50\%$ зерен без включений, остальные слабо и средне насыщены BMC - 0,03 и содержат включения рудного минерала, Eu и $\Pi up - 0,03.$ 9. 2,654-2,659; 1,6 mz; то же. 10. 2,659-2,665; 0,5 mz; Ke \sim 90%, бурые непрозрачные зерна $\sim 10\%$, в $\sim 70\%$ зерен Ke включения рудного минерала, Eu и $\Pi up - 0,1$, BMC очень мало - 0,01. 11. 2,6652,670; 1,6 *мг*; то же. 12. 2,670—2,675; 0,7 *мг*; то же, количество бурых зерен, возрастает до \sim 35%, 13 > 2,675; 13,4 *мг*; *Ке* \sim 10%, рудный минерал, бурые непрозрачные зерна, акцессорные минералы \sim 90%, *Ке* скрупными включениями рудного минерала — 0,3, *ВМС* очень мало — 0,01.

Образец 167

1. < 2,607; 16,6 мг; Пш. 2. 2,607—2,613; 3,3 мг; Пш. 3. 2,613—2,618; 1.8 мг; Пш. 4. 2,618-2,623; 1,5 мг; Кв ~ 20%, Пш ~ 80%, Кв сильно и средне насыщен *ВМС* — 0,3. 5. 2,623—2,628; 1,3 *мг*; *Кв* ~ 20%, *Пш* и сростки Кв с Пш ~ 80%, Кв сильно насыщен ВМС - 0,3. 6. 2,628-2,634; 1,8 мг; Кв ~ 70%, Пш и сростки Кь с Пш ~ 30%, Кв сильно насыщен BMC - 0,3, отмечаются зерна с крупными включениями Пш - 0,03. 7. 2,634-2,639; 8,4 me; Ke $\sim 80\%$, $\Pi u \sim 20\%$, Ke сильно насыщен BMC - 20%0,3, иногда с крупными включениями $\Pi u = 0,03$. 8. 2,639-2,644;69,7 же; Кв 100%, сильно и средне насыщен ВМС — 0,3. 9. 2,644-2,649; 199,4 мг; Кв 100%, слабо и средне насыщен ВМС - 0,1. 10. 2,649-2,654; 8,5 мг; *Кв* 100%, слабо насышен *BMC* — 0.03, отмечаются включения *Mm* и *Цир* — 0,03. 11. 2.654-2,659; 2,4 мг; Кв 100%, единичные зерна измененных Πw , насыщенность Ke BMC слабая — 0.03, более 50% зерен Ke с включениями Цир и Mm - 0,1. 12. 2,659-2,664; 0,8 мг, Кв 100%, почти во всех зернах включения Mm, μup и Eu = 0.3, BMC мало -0.03. 13. > 2.664: 12,0 мг, Кв $\sim 10\%$, Пш и Мт $\sim 90\%$, в Кв крупные включения Мт — 0,3.

Образец 338

1. < 2,611; 3,6 мг; Пш. 2. 2,611-2,616; 3,8 мг; Пш. 3. 2,616-2,621; 2,3 мг; Пш. 4. 2,621-2,627; 3,1 мг; Пш. 5. 2,627-2,632; 2,1 мг; Ке $\sim 5\%$, Пш и сростки Ке с Пш $\sim 95\%$, Ке сильно насыщен ВМС -0,3. 6. 2,632-2,638; 9,5 мг; Ке $\sim 90\%$, Пш, сростки Ке с Пш $\sim 10\%$, Ке сильно насыщен ВМС -0,3 (табл. XXIV, 1). 7. 2,638-2,643; 134,5 мг; Ке 100%, сильно и средне насыщен ВМС -0,3 (табл. XXIV, 2). 8. 2,643-2,648; 310,8 мг; Ке 100%, средне и слабо насыщен ВМС -0,1 (табл. XXIV, 3). 9. 2,648-2,653; 6,0 мг; Ке 100%, в $\sim 60\%$ зерен включения Би, Ап и окислов железа $-0,03, \sim 40\%$ без включений или слабо насыщены ВМС -0,03.10. 2,653-2,659; 2,3 мг; Ке 100%, единичные бурые непрозрачные зерна, почти во всех зернах Ке крупные включения Би, Ап и окислов железа -0,1 (табл. XXIV, 5) 11. 2,659-2,664; 1,5 мг; Ке $\sim 90\%$, непрозрачные зерна $\sim 10\%$, Ке такой же, как во фр. 10 (табл. XXIV, 6). 12. 2,664-2,670; 0,7 мг; то же. 13. > 2,670; 5,1 мг, Ке $\sim 30\%$, различные зерна темноцветных минералов $\sim 70\%$, в Ке очень крупные включения, в основном Би -0,3.

Образец 341

1. < 2,611; 0,9 мг; Пш. 2. 2,611-2,616; 1,9 мг; Пш, сростки Кв с Пш, единичные зерна Кв с крупными ВМС — 0,3. 3. 2,616-2,622; 1,2 мг; то же. 4. 2,622-2,627; 1,4 мг; Ке ~ 40%, Пш, сростки Кв с Пш ~ 60%, в большей части зерен Кв крупные включения Пш — 0,3, отмечаются зерна, сильно насыщенные ВМС — 0,1. 5. 2,627-2,632; 2,6 мг; то же. 6. 2,632-2,638; 9,4 мг; Кв ~ 90%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 10%, включения Пш в ~ 30% зерен Кв — 0,03, остальные сильно насыщены ВМС — 0,1 (табл. XXV, 1). 7. 2,638-2,643; 111,5 мг; Кв 100%, включения Пш в ~ 20% зерен — 0,03, ~ 80% средне насыщены ВМС — 0,1, отмечается Eu = 0,01(табл. XXV, 2). 8. 2,643-2,648; 303,5 мг; Кв 100%, преимущественно слабо насыщен ВМС — 0,03, иногда мелкие включения Eu = 0,03 (табл. XXV, 3). 9. 2,648-2,653; 0,4 мг; Кв 100%, в ~ 60% зерен включения Eu, Цир и измененного Пш — 0,1, ВМС мало — 0,03 (табл. XXV, 4). 10. 2,653-2,659; 5,2 мг; Кв 100%, те же включения практически во всех зернах — 0,1 (табл. XXV, 5). 11. 2,659–2,664; 3,9 *мг*; то же, включения минералов: становятся крупнее 0,3 (табл. XXV, 6). 12. 2,664–2,669; 2,4 *мг*; *Кв* ~ 80%, измененные $\Pi u \sim 20\%$, в *Кв* крупные включения *Би*, *Цир* и измененных $\Pi u - 0,3$. 13. > 2,669; 16,5 *мг*; *Кв* ~ 60%, бурые непрозрачные зерна и *Би* ~ 40%, в *Кв* очень крупные минеральные включения – 1.

Образец 344

1. < 2,610; 7,2 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 2. 2,610-2,616; 2,1 мг; то же. 3. 2,616-2,621; 2,5 мг; то же. 4. 2,621-2,627; 4,0 мг; то же. 5. 2,627-2,632; 7,4 *мг*; Кs \sim 20%, Пw и сростки Кs с Пw \sim 80%, Кs сильно насыщен BMC — 0,3, часть зерен с крупными включениями $\Pi u = 0.03$. 6. 2.632–2.638: 26,6 мг; Кв ~ 90%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 10%, Кв сильно насыщен *BMC* — 0,3. 7. 2,638—2,643; 171,0 *мг*; *Кв* 100%, единичные зерна *Пш* и сростков Кө с Πw , Кв средне и слабо насыщен BMC = 0,1. 8. 2,643-2,648; 233,8 *мг*; Кв 100%, слабо насыщен ВМС — 0,03, иногда с включениями Би и An = 0.01. 9. 2.648—2.653; 3.5 *мг*; Кв ~ 90%, измененные $\Pi w \sim 10\%, \sim 40\%$ зерен Ke содержат Цир, Би и рудный минерал — 0,03, остальные без включений или слабо насыщены ВМС — 0.03. 10. 2.653— 2,659; 3,3 *мг*; $Ke \sim 80\%$, $\Pi w \sim 20\%$, $B \sim 60\%$ зерен Ke крупные включения Πup , Eu и рудного минерала — 0,1, BMC мало — 0,03. 11. 2,659— 2,664; 1,4 мг; Кв ~ 50%, Пш ~ 50%, в Кв крупные включения Цир, Би. Ап и рудного миперала — 0,3, BMC мало — 0,03. 12. 2,664—2,670; 1,3 ж; $Ks \sim 30\%$, Πm и сростки Ks с $\Pi m \sim 70\%$, в Ks крупные включения, в основном Bu и рудного минерала — 0,3. 13. > 2,670; 23,3 жг; Por , карбонаты, рудный минерал, Пш, зерна Кв с крупными минеральными включениями единичны — 0,3.

Образец 346

1. $< 2,611; 27,3 \text{ мг}; \Pi u. 2. 2,611-2,616; 14,5 \text{ мг}. \Pi u. 3. 2,616-2,621; 26,0 \text{ мг}; \Pi u. 4. 2,621-2,627; 24,7 \text{ мг}; \Pi u. 5. 2,627-2,632; 8,5 \text{ мг}; Ke ~ 5%, сростки Ke с <math>\Pi u ~ 95\%$, Ke сильно насыщен BMC - 0,3. 6. 2,632-2,638; 15,7 мг; Ke ~ 50%, сростки Ke с $\Pi u ~ 50\%$, более 50% зерен Ke с крупными включениями $\Pi u - 0,1$, остальные сильно и средне насыщены BMC - 0,1. 7. 2,638-2,643; 100,0 мг; Ke 100%, средне и слабо насыщен BMC - 0,1. 8 ~ 20% зерен включения $\Pi u - 0,03.$ 8. 2,643-2,648; 228,6 мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен MC - 0,03. 8. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен BMC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен MC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен MC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, слабо насыщен MC - 0,03. 9. 2,648-2,653; 3,8 мг; Ke 100%, ко всех зернах включения рудного (?) минерала и Eu - 0,1; BMC мало - 0,03, 11. 2,659-2,664; 0,8 мг; то же. 12. 2,664-2,670; 1,6 мг; Ke ~ 30%, измененные $\Pi u \sim 70\%$, в Ke включения рудного (?) минерала и турмалина - 0,1. 13. > 2,670; 29,0 мг; Ke ~ 15\%, измененные Πu и рудный минерал ~ 85%, в Ke крупные включения рудного (?) минерала - 0,3.

КВАРЦ ИЗ ОБРАЗЦОВ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ

Образец 149

1. < 2,613; 0,5 мг; Ke 100% очень сильно насыщен мелкими BMC - 1. 2. 2,613-2,618; 0,1 мг; то же. 3. 2,618-2,623; 3,0 мг; то же. 4. 2,623-2,628; 28,6 мг; Ke 100%, высокая насыщенность BMC - 0,3, постепенное снижение насыщенности. 5. 2,628-2,633; 131,7 мг; то же. 6. 2,633-2,638; 171,5 мг; то же. 7. 2,638-2,643; 44,9 мг; Ke 100%, насыщенность BMC средняя - 0,1, появляется $\Gamma em - 0,01$. 8. 2,643-2,648; 14,5 мг; то же. 9. 2,648-2,653; 7,3 мг, Ke 100%, в ~ 50% зерен включения Γem и серицита -0,1, насыщенность BMC средняя и слабая - 0,1. 10. 2,653-2,658; 3,6 мг; Ke 100%, во всех зернах включения Γem и серицита - 0,1, насыщенность BMC средняя и слабая - 0,1. 11. 2,658-2,663; 2,1 мг; то же. 12. > 2,663; 58,6 мг; Myc, Γp , единичные зерна Ke с включения $\Gamma em - 0,3$.

Образец 150

1. < 2,6296; 0,1 мг; Кв 100%, средне и сильно насыщен BMC - 0,1.2. 2,6296-2,6347; 0,1 мг; Кв 100%, единичные зерна Клш, Кв средне и слабо насыщен BMC - 0,1.3. 2,6347-2,6398; 0,4 мг; Кв 100%, $\sim 50\%$ зерен средне и слабо насыщены BMC - 0,03, остальные без включений. 4. 2,6398-2,6449; 3,3 мг; Кв 100%, без включений. 5. 2,6449-2,6462; 442,6 мг; то же. 6. 2,6462-2,6513; 0,3' мг; то же. 7. 2,6513-2,6564; 0,1 мг; то же. 8. > 2,6564; 0,6 мг; Кв $\sim 75\%$, Мус, Би, $\Gamma p \sim 25\%$, Кв чистый, реже с включениями Би - 0,01.

Образец 151

1. < 2,6409; 0,3 *мг*; продукты выветривания (?) $\sim 20\%$, *Ке* чистый и слабо насыщенный *BMC* — 0,03 $\sim 80\%$. 2. 2,6409—2,6460; 10,4 *мг*; *Ке* 100%, $\sim 60\%$ зерен слабо насыщены *BMC* — 0,03, $\sim 40\%$ без включений. 3. 2,6460—2,6473; 463,5 *мг*; *Ке* 100%, преимущественно без включений, $\sim 10\%$ зерен очень слабо насыщены *BMC* — 0,01. 4. 2,6473—2,6524; 0,3 *мг*; *Ке* 100%, без включений. 5. 2,6524—2,6575; 1,4 *мг*; *Ке* 100%, *BMC* отсутствуют; в единичных зернах пылевидные включений. 6. 2,6575—2,6626; 0,9 *мг*; то же. 7. > 2,6626; 0,3 *мг*; *Ке* без включений, единичное зерно *Би*.

Образец 152

1. $< 2,610; 0,4 \text{ мг}; Ke \sim 80\%$, продукты выветривания (?) $\sim 80\%$, Ke сильно насыщен BMC - 0,3. 2. 2,610 - 2,615; 0,5 мг; то же. 3. 2,615 - 2,620; 0,3 мг; Ke 100%, насыщен крупными BMC - 0,3. 4. 2,620 - 2,625; 2,1 мг; то же. 5. 2,625 - 2,630; 13,4 мг; Ke 100%, сильно насыщен крупными BMC - 0,3. 4. 2,620 - 2,625; 2,1 мг; то же. 5. 2,625 - 2,630; 13,4 мг; Ke 100%, сильно насыщен крупными BMC - 0,3. 4. 2,620 - 2,625; 2,1 мг; то же. 5. 2,625 - 2,630; 13,4 мг; Ke 100%, сильно насыщен ности. 6. 2,630 - 2,635; 72,9 мг; то же. 7. 2,635 - 2,640; 196,0 мг; то же. 8. 2,640 - 2,645; 163,5; то же. 9. 2,645 - 2,650; 31,2 мг; Ke 100%, насыщенность BMC резко падает, часть зерен без включений, остальные слабо и средне насыщены BMC - 0,03. 10. 2,650 - 2,655; 2,2 мг, то же. 11. 2,655 - 2,660: 0,5 мг; то же. 12. 2,660 - 2,665; 0,1 мг; Ke 100%, без включений, реже с мелкими включениями окислов железа -0,01. 13. > 2,665; 0,7 мг; Ke без включений и с мелкими включениями окислов железа $\sim 50\% - 0,03$, $\Gammaem \sim 50\%$.

Образец 153

1. < 2,624; 0,8 *мг*; *Кв* ~ 50%, измененный $\Pi w \sim 50\%$, *Кв* почти без включений или с черными непрозрачными включениями — 0,03. 2. 2,624— 2,629; 0,9 *мг*; *Кв* 100%, сильно насыщен крупными *BMC* — 0,3 (табл. XXVI, 1). 3. 2,629—2,635; 2,4 *мг*; то же (табл. XXVI, 2). 4. 2,635—2,640; 11,7 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность крупными *BMC* средняя и высокая — 0,1 (табл. XXV, 3). 5. 2,640—2,645; 80,6 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность крупными *BMC* средняя и высокая — 0,1 (табл. XXV, 3). 5. 2,640—2,645; 80,6 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность крупными *BMC* средняя — 0,1 (табл. XXVI, 4). 6. 2,645—2,650; 139,3 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* низкая — 0,03, 40% зерен без включений (табл. XXVI, 5). 7. 2,650—2,655; 6,9 *мг*; то же. 8. 2,655—2,660; 0,2 *мг*; *Кв* 100%, содержит включения окислов железа — 0,03. 9. 2,660—2,666; 0,1 *мг*; материал не анализировался. 10. 2,666—2,671; 0,3 *мг*, единичное зерно *Кв*, обломки хлорита. 11. > 2,671; 6,4 *мг*; *Кв* \sim 20%, хлорит и рудный минерал \sim 80%, в *Кв* крупные червеобразные включения хлорита — 0,1.

Образец 154

1. < 2,622; 0,8 мг; $Ke \sim 80\%$, измененные $\Pi w \sim 20\%$, Ke сильно насыщен крупными BMC = 0.3 (табл. XXVII, 1). 2. 2,622—2,627; 6,0 мг; Ke 100%, сильно насыщен крупными BMC = 0.3 (табл. XXVII, 2). 3. 2,627—2,633; 23,5 мг; Ke 100%, насыщенность крупными BMC несколько иадает, но продолжает оставаться высокой — 0,3 (табл. XXVII, 3). 4. 2,633—2,638; 74,9 мг; Ke 100%, насыщенность крупными BMC высокая средняя — 0,3 (табл. XXVII, 4). 5. 2,638—2,643; 146,5 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность крупными *BMC* средняя — 0,1 (табл. XXVII, 5). 6. 2,643—2,648; 107,6 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* низкая — 0,03, отмечается хлорит — 0,01 (табл. XXVII, 6). 7. 2,648—2,653; 5,3 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* низкая — 0,03, ~ 80% зерен содержат включения хлорита, Эл (?) и рудного минерала — 0,1 (табл. XXVII, 7). 8. 2,653—2,658; 1,8 *мг*; *Кв* 100%, в *Кв* те же включения; постепенно возрастает насыщенность ими *Кв* и их размеры — 0,3, *BMC* мало — 0,01. 9. 2,658—2,664; 1,2 *мг*; то же. 10. 2,664—2,669; 1,0 *мг*; то же. 11. 2,669—2,674; 0,5 *мг*; то же. 12. 2,674—2,679; 0,9 *мг*; то же. 13. > 2,679; 9,2 *мг*; *Кв* ~ 50%, рудный минерал ~ 50%, в *Кв* очень крупные включения хлорита, *Эл* (?) и рудного минерала — 1.

Образец 309

1. < 2,614; 0,8 мг; Кв 100%, содержит темные дисперсные включения, вероятно, $\Gamma pa\phi = 0,1$, насыщенность *BMC* низкая и средняя — 0,03. 2. 2,614—2,619; 0,3 мг; то же. 3. 2,619—2,625; 0,7 мг; то же. 4. 2,625—2,630; 0,4 мг; то же. 5. 2,630-2,635; 3,5 мг; Кв 100%, характеризуется высоким содержанием дисперсных VB и BMC = 0.3, реальное соотношение которых определить затруднительно (табл. XXVIII, 1). 6. 2,635-2,641; 129,1 мг; то же. 7. 2,641-2,646; 316,1 мг; Кв 100%, насыщенность его УВ и ВМС падает до средней и слабой — 0,1, отмечаются мелкие включения хлорита — 0,01 (табл. XXVIII, 2). 8. 2,646 — 2,651; 11,5 мг; Кв 100%, ~ 50% зерен почти без включений; в ~ 50% включения хлорита и рудного минерала — 0,03 (табл. XXVIII, 3). 9. 2,651-2,656; 4,0 мг; Кв 100%, в ~ 80% зерен включения хлорита, рудного минерала и Цир (?) — 0,1, остальные практически без включений (табл. XXVIII, 4). 10. 2,656-2,662; 2,0 мг; то же, включения хлорита и рудного минерала становятся заметно крупнее — 0,3 (табл. XXVIII, 5). 11. 2,662-2,667; 1,2 мг; практически во всех зернах минеральные включения, резко увеличиваются их размеры — 1. 12. 2,667—2,672; 0,8 *мг*, то же. 13. > 2,672; 16,8 *мг*; хлорит, сростки хлорита с Кв.

Образец 316

1. $< 2,617; 7,1 мг; Пш. 2. 2,617-2,622; 16,7 мг; Пш. 3. 2,622-2,628; 10,1 мг; сростки Пш с Кв. 4. 2,628-2,633; 5,4 мг, то же. 5. 2,633-2,639; 13,7 мг; Кв <math>\sim 30\%$, Пш и сростки Кв с Пш $\sim 70\%$, Кв сильно насыщен ВМС -0,3. 6. 2,639-2,644; 115,4 мг; Кв 100%, сильно и средне насыщен ВМС $-0,3, \sim 50\%$ зерен содержат Рут -0,03. 7. 2,644-2,649; 288,0 мг, Кв 100, средне и слабо насыщен ВМС -0,1; в $\sim 80\%$ зерен включения Рут -0,03. 7. 2,644-2,649; 288,0 мг, Кв 100, средне и слабо насыщен ВМС $-0,3, \sim 50\%$ зерен содержат Рут -0,03. 7. 2,644-2,649; 288,0 мг, Кв 100, средне и слабо насыщен ВМС -0,1; в $\sim 80\%$ зерен включения Рут -0,3. 8. 2.649-2,654; 8,4 мг: Кв $\sim 80\%$, измененные Пш $\sim 20\%$, ВМС почти нет -0,01, во всех зернах Рут -0,3. 9. 2,654-2,660; 1,0 мг; Кв $\sim 10\%$, остальное Пш, сростки Кв с Пш, в Кв включения Рут -0,3. 10. 2,660-2,665; 1,6 мг; то же. 11. 2,665-2,671; 0,7 мг, Кв $\sim 5\%$, остальные Пш и сростки Кв с Пш, в Кв включения Рут -2,676; 0,9 мг, измененные Пш и сростки Кв с Пш, единичные зерна Кв. 13. > 2,676; 21,4 мг, то же, в Кв включения темноцветных минералов.

Образец 335

1. 2,606-2,612; 0,7 мг; Ke 100%, сильно насыщен крупными BMC - 1. 2. 2,612-2,617; 4,8 мг; то же (табл. XXIX, 1). 3. 2,617-2,622; 27,5 мг;Ke 100%, насыщенность крупными BMC остается высокой -0,3, но постепенно падает. 4. 2,622-2,628; 93,5 мг; то же (табл. XXIX, 2). 5. 2,628-2,633; 161,8 мг; Ke 100%, насыщенность BMC - 0,3, продолжает постепенно уменьшаться, но в целом остается высокой. 6. 2,633-2,639;116,5 мг; то же (табл. XXIX, 3). 7. 2,639-2,644; 46,4 мг; Ke 100%, насыщенность BMC от высокой до средней -0,3 (табл. XXIX, 4). 8. 2,644-2,649; 6,0 мг; Ke 100%, резкое падение насыщенности зерен BMC до средней и слабой $-0,1, \sim 10\%$ зерен содержат окислы железа, отмечается

8 М. Я. Кац, И. М. Симанович

Рут — 0,03 (табл. XXIX, 5). 9. 2,649—2,654; 1,0 жг; Кв 100%, \sim 50% зерен почти без включений, в \sim 50% обильные включения окислов железа — 0,1. 10. 2,654—2,660; материал отсутствует. 11. > 2,660; 0,5 жг; Кв 100%, крупные включения окислов железа и хлорита (?) — 0,3.

Образец 337

1. < 2,600; 0,1 мг; Пш. 2. 2,600-2,605; материала нет. 3. 2,605-2,610; то же. 4. 2,610-2,616; 0,6 мг; Кв 100%, единичное зерно Пш, Кв очень сильно насыщен BMC - 1.5.2,616-2,621; 1,9 мг; то же. 6. 2,621-2,627; 20,0 мг; Кв 100%, очень сильно насыщен BMC - 1.7.2,627-2,632; 88,0 мг; Кв 100%, насыщенность BMC еще очень высокая – 1, но постепенно падает. 8. 2,632-2,638; 203,4 мг; Кв 100%, то же. 9. 2,638-2,643; 160,6 мг; Кв 100%, сильно и средне насыщен BMC - 0,3. 10. 2,643-2,648; 9,3 мг; Кв 100%, сильно и средне насыщен BMC - 0,3, реже слабо насыщен BMC - 0,1. 11. 2,648-2,653; 1,7 мг; Кв 100%, насыщенность BMC слабая – 0,03, ~ 20% зерен переполнены мелкими черными непрозрачными включениями – 0,03. 12. 2,653-2,659; 0,2 мг; материал не анализировался. 13. 2,659; 1,0 мг; Би, рудный (?) минерал, Рог, единичные зерна Кв, насыщенные черными непрозрачными включениями – 0,1.

Образец 347

1. < 2,614; 0,3 мг; Кв ~ 30%, остальное — окислы железа, Кв сильно насыщен *BMC* — 0,3. 2. 2,614—2,619; 0,4 *мг*; материал не анализировался. 3. 2,619—2,624; 0,3 *мг*; Кв 100%, ~ 50% зерен сильно насыщены ВМС — 0,3, ~ 50% с включениями окислов железа — 0,03. 4.2,624—2,630; 3,7 мг; *Кв* 100%, сильно насыщен *BMC* — 0,3, в отдельных зернах включения окислов железа — 0,01. 5. 2,630—2,635; 80,3 *мг*; Кв 100%, насыщенность ВМС падает, но продолжает оставаться высокой — 0,3, отмечаются окислы железа — 0,01. 6. 2,635—2,641; 213,1 мг; Кв 100%, высокая ($\sim 40\%$) и средняя ($\sim 60\%$) насыщенность BMC - 0.1, некоторые зерна окрашены окислами железа в желтый цвет — 0,01. 7. 2,641-2,646; 135,4 *мг*; *Ке* 100%, насыщенность BMC преимущественно низкая -0.03.8.2.646 - 2.651; 2.3*мг*;Кв 100%, зерна с низкой насыщенностью ВМС или совсем без них — 0,03, в ~ 30% зерен включения рудного минерала и окислов железа — 0,03. 9. 2,651-2,656; 1,0 мг; то же. 10. 2,656-2,662; материала нет. 11. 2,662-2,667; материала нет. 12. > 2,667; 1,2 *мг*; *Кв* $\sim 40\%$, рудный минерал и $Su \sim 60\%$, в Ke очень крупные включения окислов железа и рудного минерала — 0,3.

Образец 348

1. < 2,620; 0,92 мг; Кв 100%, Кв очень сильно насыщен BMC - 1(табл. XXX, 1). 2. 2,620-2,625; 0,3 мг; то же. 3. 2,625-2,631; 1,7 мг; то же. 4. 2,631-2,636; 20,2 мг; Кв 100%, насыщенность BMC несколько падает, но продолжает оставаться очень высокой – 1 (табл. XXX, 2). 5. 2,636-2,642; 206,9 мг; Кв 100%, сильно насыщен BMC - 0,3 (табл. XXX, 3). 6. 2,642-2,647; 246,8 мг; Кв 100%, преимущественно средне насыщен BMC - 0,1 (табл. XXX, 4). 7. 2,647-2,652; 6,4 мг; Кв 100%, слабо насыщен BMC - 0,03, отмечаются неправильные включения окислов железа – 0,01 (табл. XXX, 5). 8. 2,652-2,657; 0,7 мг; Кв 100%, сильно насыщен окислами железа – 0,3 (табл. XXX, 6). 9. 2,657-2,663; 0,3 мг; то же. 10. 2,663-2,668; материала нет. 11. > 2,668; 0,1 мг; Кв с обильными включениями окислов железа – 1.

Образец 350

1. < 2,620; 0,2 мг; Кв 100%, сильно насыщен BMC - 1, в некоторых зернах довольно крупными. 2. 2,620–2,625; 0,4 мг; то же. 3. 2,625–2,631; 4,6 мг; то же (табл. XXXI, 1). 4. 2,631–2,636; 88,5 мг; Кв 100%; насыщен-

ность *BMC* несколько меньше, но остается очень высокой — 1 (табл. XXXI, 2). 5. 2,636—2,642; 287,4 *мг*; *Кв* 100%, сильно и средне насыщен *BMC* — 0,3 (табл. XXXI, 3). 6. 2,642—2,647; 106,3 *мг*; *Кв* 100%, средне и слабо насыщен *BMC* — 0,1, в ~ 5% зерен включения окислов железа — 0,03 (табл. XXXI, 4). 7. 2,647—2,652; 4,4 *мг*; *Кв* 100%, ~ 50% зерен слабо насыщены *BMC* или без включений — 0,03, ~ 50% с включениями окислов железа и рудного минерала — 0,1 (табл. XXXI, 5). 8. 2,652—2,657; 1,1 *мг*; *Кв* 100%, включения окислов железа и рудного минерала в ~ 90% зерен — 0,1, *BMC* мало — 0,03. 9. 2,657—2,663; 0,4 *мг*; *Кв* 100%, во всех зернах крупные включения окислов железа и рудного минерала — 0,3. 10. 2,663—2,668; 0,2 *мг*; то же. 11. 2,668—2,674; 0,1 *мг*; материал не анализировался. 12. > 2,674; 2,4 *мг*; *Кв* ~ 60%, рудный минерал ~ 40%, в *Кв* очень крупные включения рудного минерала и окислов железа — 1.

Образец 351

1. 2,622—2,627; 0,3 *мг*; *Кв* 100%, сильно насыщен BMC = 0,3. 2. 2,627—2,632: 0,4 *мг*; то же. 3. 2,632—2,638; 26,8 *мг*, *Кв* 100%, насыщенность *BMC* высокая — 0,3, но наблюдается постепенное ее уменьшение. 4. 2,638—2,643; 246,6 *мг*; *Кв* 100%, сильно и средне насыщен BMC = 0,3. 5. 2,643—2,648; 206,4 *мг*; *Кв* 100%, средне и слабо насыщен BMC = 0,1, мелкие включения рудного минерала — 0,01. 6. 2,648—2,653; 2,9 *мг*; *Кв* 100%, слабо насыщен BMC (~ 60%) — 0,03 и без включений (~ 40%). 7. 2,653—2,659; 0,7 *мг*; *Кв* 100%, практически без включений.

Образец 352

1. 2,618—2,623; 0,5 мг; Кв 100%, сильно насыщен BMC - 0,3. 2. 2,623—2,629; 17,4 мг; то же. 3. 2,629—2,634; 20,5 мг, то же. 4. 2,634— 2,640; 256,5 мг; Кв 100%, насыщенность BMC несколько ниже, но продолжает оставаться высокой — 0,3. 5. 2,640—2,645; 9,1 мг; Кв 100%, сильно и средне насыщен $BMC - 0,3, \sim 20\%$ зерен имеют дефектное строение. 6. 2,645—2,650; 2,0 мг; то же. 7. 2,650—2,655; 0,5 мг; Кв 100%, слабо и средне насыщен BMC - 0,03, часто дефектный, мелкие черные непрозрачные включения, а также хлорит — 0,03. 8. > 2,655; 1,0 мг; рудный минерал и хлорит.

Образец 353а

1. < 2,616; 0,5 мг; Кв ~ 50%, углистое вещество и сростки Кв с ним $\sim 50\%$, в Ke крупные VB - 0.3. 2. 2.616-2.622; 0.5 мг; материал не анализировался. 3. 2,622-2,627; 1,2 мг; Кв 100%, сильно и средне насыщен дисперсными УВ и ВМС - 0,3, отмечаются зерна с крупными УВ. 4. 2,627-2,632; 9,7 мг; Кв 100%, сильно насыщен дисперсными УВ и ВМС - 0,3, в $\sim 5\%$ зерен крупные УВ. 5. 2,632-2,638; 97,9 мг; Кв 100%, насыщенность дисперсными включениями высокая — 0,3, но несколько ниже, чем в предыдущих фракциях. 6. 2,638-2,643; 204,3 мг; Кв 100%, насыщенность УВ и ВМС высокая и средняя — 0,3. 7. 2,643—2,648; 82,5 мг; Кв 100%, насыщенность YB и BMC в основном средняя — 0,1. 8. 2,648—2,653; 1,5 *мг*; Кв 100%, почти без включений ~ 30%, с включениями хлорита и рудного минерала $\sim 70\% - 0.1$. 9. 2,653-2,659; 0,8 *мг*; *Кв* 100%, почти во всех зернах включения хлорита и рудного минерала — 0,1. 10. 2,659— 2,664; 0,2 *me*; то же. 11. 2,664-2,669, материала нет. 12. > 2,669; 1,9 *me*, $Ke \sim 50\%$, бурые непрозрачные зерна $\sim 50\%$, в Ke очень крупные включения хлорита и бурого минерала — 0,3.

Образец 3536

1. < 2,616; 3,1 мг; углистое вещество и сростки с ним Ke. 2. 2,616-2,621; то же. 3. 2,621-2,627; 0,9 мг; то же. 4. 2,627-2,632; 2,6 мг; Ke² ~ 50%, углистое вещество и сростки с ним ~ 50%, Ke сильно насыщен BMC = 0,3 и содержит мелкие YB, в $\sim 20\%$ зерен Ke крупные YB = 0,3(табл. XXXII, 1). 5. 2,632—2,638; 13,2 *мг; Кв* ~ 90%, сростки Кв с углистым веществом ~ 10%, Ке сильно насыщен дисперсными УВ и ВМС -0,3, которые практически неразличимы, в $\sim 10\%$ зерен Ke крупные YB(табл. XXXII, 2). 6. 2,638-2,643; 145,3 мг; Кв 100%, сильно и средне насыщен дисперсными УВ и ВМС — 0,3, в ~ 5% зерен крупные УВ (табл. XXXII, 3). 7. 2,643—2,648; 266,6 мг; Ке 100%, ~ 80% зерен без ВМС и УВ или очень слабо насыщены ими - 0,01. Эти зерна имеют дефектное строение. Кв, средне насыщенный УВ и BMC, $\sim 20\% - 0.03$ (табл. XXXII, 4). 8. 2,648—2,653; 5,4 мг; Кв 100%, зерен почти без включений \sim 30%, с обильными включениями бурого непрозрачного минерала ~ 70% - 0,1 (табл. XXXII, 5). 9. 2,653-2,659; 3,2 мг, Кв 100%, почти во всем Кв включения бурого минерала — 0,3 (табл. XXXII, 6). 10. 2,659—2,664; 0,6 мг; то же. 11. 2,664—2,670; 1,0 мг; то же. 12. 2,670—2,675; 0,9 мг; Ке ~ 40%, бурый минерал и сростки его с Ке~60%, в Кв крупные включения бурого минерала — 0,3. 13. $> 2,675; 6,9 \,$ мг; Кв $\sim 10\%$, бурый минерал и сростки его с $K_{\theta} \sim 90\%$, в K_{θ} крупные включения бурого минерала — 0,3.

Образец 354

1. < 2,618; 13,8 мг; Пш. 2. 2,618—2,624; 2,6 мг; Кв ~ 40%, Пш ~ 60%, Кв очень сильно насыщен BMC - 1. 3. 2,624—2,629; 15,7 мг; Кв ~ 80%, Пш ~ 20%, Кв очень сильно насыщен BMC - 1. 4. 2,629—2,634; . 90,2 мг; Кв 100%, единичное зерно Пш, Кв сильно насыщен BMC - 0,3.5. 2,634—2,640; 186,1 мг; Кв~90%, бурые зерна агрегатного строения~10%, Кв сильно насыщен BMC - 0,3.6. 2,640—2,645; 106,8 мг; Кв ~ 40%, бурые зерна ~ 60%, Кв средне и слабо насыщен BMC - 0,1.7. 2,645— 2,650; 15,1 мг; бурые агрегатные зерна. 8. 2,650—2,655; 7,6 мг; то же. 9. 2,655—2,661; 5,7 мг; то же. 10. 1,661—2,666; 4,0 мг; то же. 11. 2,666— 2,671;2,8 мг; то же. 12. 2,671—2,677; 2,8 мг; то же. 13. > 2,677; 22,9 мг; то же, во фр. 9—13 кроме бурых агрегатных зерен единичные зерна Кв с крупными включениями рудного минерала, а также минерала призматической формы (?).

Образец 355

1. < 2,619; 0,4 мг; Кв 100%, очень сильно насыщен BMC - 1.2 2,619-2,624; 2,9 мг; то же. 3. 2,624-2,630; 15,3 мг; то же. 4. 2,630-2,635; 90,1 мг; то же. 5. 2,635-2,641; 251,7 мг; Кв 100%, насыщенность BMC сильная и средняя — 0,3. 6. 2,641-2,646; 119,0 мг; Кв 100%, насыщенность BMC преимущественно средняя — 0,1, в некоторых зернах мелкие включения рудного минерала — 0,01. 7. 2,646-2,651; 1,5 мг; Кв 100%, \sim 50% зерен слабо насыщены BMC или без включений — 0,03, \sim 50% с включениями рудного минерала — 0,03. 8. 2,651-2,656; материала нет. 9. 2,656-2,662; то же. 10. > 2,662; 1,2 мг; Кв \sim 10%, рудный минерал \sim 90%, в Кв крупные включения рудного минерала — 0,3.

Образец 356

1. < 2,619; 0,1 *мг*; *Кв* 100%, очень сильно насыщен мельчайшими *BMC* – 1 (табл. XXXIII, 1). 2. 2,619–2,624; 1,1 *мг*; то же. 3. 2,624–2,630; 26,9 *мг*; то же. 4. 2,630–2,635; 151,9 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* несколько уменьшается, но продолжает оставаться очень высокой – 1 (табл. XXXIII, 2). 5. 2,635–2,641; 128,3 *мг*; *Кв* 100%, сильно насыщен *BMC* – 0,3 (табл. XXXIII, 3). 6. 2,641–2,646; 15,9 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* в основном средняя – 0,1, в ~ 30% зерен включения окислов железа и карбоната – 0,03 (табл. XXXIII, 4). 7. 2,646–2,651; 8,2 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* средняя – 0,1; ~ 55% зерен с включениями окислов железа, рудного минерала и карбоната – 0,1 (табл. XXXIII, 5). 8. 2,651–2,656; 5,9 *мг*; *Кв* 100%; включения окислов железа, рудного минерала и карбоната в ~ 70% зерен – 0,1, увеличивается размер включений (табл. XXXIII, 6). 9. 2,656–2,662; 4,8 *мг*; *Кв* 100%, почти во всех зернах включения рудного минерала и карбоната — 0,3, размеры включений постепенно увеличиваются. 10. 2,662—2,667; 3,2 *мг*; то же. 11. 2,667—2,673; 2,6 *мг*; то же. 12. 2,673—2,678; 3,0 *мг*; то же. 13. > 2,678; 86,7 *мг*; карбонаты.

Образец 357

1. 2,628—2,633; 1,0 *мг*; *Кв* 100%, сильно насыщен *BMC* — 0,3. 2. 2,633—2,639; 92,9 *мг*; то же. 3. 2,639—2,644; 292,0 *мг*; *Кв* 100%, сильно и средне насыщен *BMC* — 0,3. 4. 2,644—2,649; 46,8 *мг*; *Кв* 100%, слабо насыщен *BMC* — 0,03, ~ 40% зерен без включений, в ~ 10% зерен мелкие включения рудного минерала — 0,03. 5. 2,649—2,654; 9,7 *мг*; *Кв* 100%, включения рудного минерала в ~ 20% зерен — 0,03, *BMC* очень мало — 0,01. 6. 2,654—2,660; 2,6 *мг*; *Кв* 100%, ~ 60% зерен с включения ми рудного минерала = 0,1, остальные почти без включения. 7. 2,660—2,665; 1,5 *мг*; *Кв* 100% ~ 80% зерен с крупными включениями, в основном рудного минерала — 0,3, остальные без включений. 8. 2,665—2,671; 0,7 *мг*; то же. 9. > 2,671; 7,9 *мг*; *Кв* ~ 70%, рудный минерал и хлорит ~ 30%, в *Кв* очень крупные включения рудного минерала и хлорита — 1.

Образец 358

1. < 2,621; 0,1 мг; Ke 100%, сильно насыщен крупными неправильными BMC — 1 (табл. XXXIV, 1). 2. 2,621—2,627; 0,2 мг; то же. 3. 2,627—2,632; 0,9 мг; Ke 100%, насыщенность BMC высокая — 0,3, иногда отмечаются мелкие включения Eu — 0,01 (табл. XXXIV, 2). 4. 2,632—2,638; 25,7 мг; то же. 5. 2,638—2,643; 159,3 мг; Ke 100%, насыщенность BMC средняя и слабая — 0,1, отмечаются зерна без включений, иногда включения турмалина (?) — 0,01 (табл. XXXIV, 3). 6. 2,643—2,648; 266,0 мг; Ke 100%, ~ 50% зерен с включениями рудного минерала (вольфрамит,) отмечаются включения турмалина — 0,1, BMC мало — 0,03 (табл. XXXIV, 4). 7. 2,648—2,653; 4,6 мг; то же. 8. 2,653—2,659; 1,9 мг; Ke 100%, ~ 80% зерен с включениями вольфрамита — 0,1, BMC мало — 0,03. 9. 2,659—2,664; 1,2 мг; почти во всех зернах крупные включения вольфрамита — 0,3, включения турмалина редки — 0,01. 10. 2,664—2,670; 0,6 мг; то же. 11. 2,670— 2,675; 0,8 мг; то же (табл. XXXIV, 5). 12. 2,675—2,681; 0,2 мг; то же. 13. > 2,681; 14,3 мг, Ke ~ 30%, вольфрамит и сростки Ke с вольфрамитом ~ 70%, в Ke очень крупные включения вольфрамита — 1.

Образец К-23

1. < 2,607; 0,1 мг; Ke 100%, сильно насыщен BMC - 0,3 (табл. XXXV, 1). 2. 2,607-2,612; 0,1 мг; то же. 3. 2,612-2,617; 0,1 мг; материал не анализировался. 4. 2,617-2,623; 0,2 мг; Ke 100%, сильно насыщен BMC - 0,3. 5. 2,623-2,628; 0,2 мг; то же. 6. 2,628-2,633; 6,2 мг; то же (табл. XXXV, 2). 7. 2,633-2,638; 133,6 мг; то же. 8. 2,638-2,643; 263,9 мг; Ke 100%, насыщенность BMC высокая и средняя -0,3 (заметно падает по сравнению с предыдущими фракциями; табл. XXXV, 3). 9. 2,643-2,648; 87,7 мг; Ke 100%, насыщенность BMC слабая -0,03, некоторые зерна без включений (табл. XXXV, 4). 10. 2,648-2,653; 2,1 мг; Ke 100%, BMC очень мало -0,03, многие зерна без включений (табл. XXXV, 5). 11. 2,653-2,658; 0,1 мг; BMC нет, единичные зерна с включениями окислов железа и призматического минерала (?) -0,01. 12. 2,658-2,663; материала нет. 13. > 2,663; 0,6 мг; окислы железа, единичное зерно Ke без включений.

Образец К-45

1. < 2,612; 0,7 мг; Кв $\sim 100\%$, единичные серицитизированные обломки, Кв очень сильно насыщен BMC - 1, но отмечаются зерна средне и слабо насыщенные BMC. 2. 2,612-2,617; 0,4 мг; то же. 3. 2,617-2,622; 0,7 мг; то же. 4. 2,622-2,628; 1,9 мг; то же. 5. 2,628-2,633; 6,7 мг; Кв 100%, насыщенность *BMC* высокая — 0,3. 6. 2,633—2,638; 59,5 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* несколько падает, но продолжает оставаться высокой — 0,3. 7. 2,638—2,643; 251,4 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* от высокой до средней — 0,3. 8. 2,643—2,648; 160,6 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* преимущественно средняя — 0,1. 9. 2,648—2,653 1,3 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC*! от низкой до средней — 0,03. 10. 2,653—2,658; 0,3 *мг*; *Кв* 100%, слабо насыщен *BMC* — 0,03, отмечаются зерна без включений, включения рудного минерала — 0,01. 11. 2,658—2,663; материала нет. 12. 2,663—2,669; то же. 13. > 2,669; 0,2 *мг*; *Кв* ~ 20%, рудный минерал, часто в сростках с кварцем ~ 80%, *Кв* без включений.

Образец 610

1. < 2,601; 0,1 мг; Кв 100%, очень сильно насыщен ВМС – 1 (табл. XXXVI, 1). 2. 2,601—2,607; 0,1 мг; то же. 3. 2,607—2,612; 0,1 мг; то же. 4. 2.612—2.617: 1.7 мг; то же. 5. 2.617—2.622; 16.0 мг; Кв 100%, сильно насыщен ВМС — 0,3 (табл. XXXVI, 2). 6. 2,622—2,627; 73,1 мг; Кв 100%, насыщенность BMC убывает едва заметно -0.3. 7. 2.627-2.633; 138.9 *мг*; *Ке* 100%, насыщенность *ВМС* преимущественно высокая — 0,3, реже средняя (табл. XXXVI, 3). 8. 2,633—2,638; 117,4 мг; то же. 9. 2,638—2,643; 70,3 *мг*, Кв 100%, средне насыщен ВМС — 0,1 (табл. XXXVI, 4). 10. 2,643-2,648; 7,9 *m*; *Ke* 100%, средне и слабо насыщен *BMC* - 0,1, отмечаются включения рудного (?) минерала — 0,01 (табл. XXXVI, 5). 11. 2,648-2,653; 3,1 мг; Кв 100%, слабо насыщен ВМС $\sim 40\%$, сильно и средне насыщен $BMC \sim 60\% - 0.1$, но содержит рудный (?) минерал — 0,03 (табл. XXXVI, 6). 12. 2,653-2,658; 1,3 мг; Кв 100%, весь спектр насыщенности зерен ВМС — 0,1, рудные включения различных размеров — 0,1 (табл. XXXVI, 7). 13. > 2,658; 35,1 мг; Кв ~ 50%, рудный минерал ∼ 50%, *Кв* с крупными включениями рудного минерала — 0,3.

кварц из пегматитов

Образец 155

1. < 2,613; 0,1 ме; Πw , сростки Ke с Πw . 2. 2,613—2,618; 0,2 ме; $Ke \sim 50\%$, сростки Ke с $\Pi w \sim 50\%$, Ke сильно насыщен крупными BMC = 1.3.2,618-2,623; 0,6 ме; Ke 100%, сильно насыщен BMC = 0,3.4.2,623=2,628; 0,6 ме; то же. 5. 2,628—2,633; 2,3 ме; Ke 100%, сильно и средне насыщен BMC = 0,3.6.2,633=2,638; 14,5 ме; насыщенность BMC средняя, размеры их уменьшаются = 0,1.7.2,638=2,643; 93,5 ме; то же. 8. 2,643=2,648; 281,2 ме; Ke 100%, насыщенность BMC низкая $= 0,03, \sim 20\%$ зерен без включений. 9. 2,648=2,653; 18,4 ме; Ke 100%, насыщенность BMC низкая $= 0,03, \sim 40\%$ зерен без включений, $\sim 5\%$ с включениями $\Gamma em = 0,01.$ 10. 2,653—2,658; 10,6 ме; то же. 11. 2,658—2,663; 2,1 ме; Ke 100%, $\sim 10\%$ зерен с включениями $\Gamma em = 0,03$, BMC мало = 0,03.12. > 2,663; 15,5 ме; $\Gamma em \sim 60\%$, Ke с включениями $\Gamma em \sim 40\% = 0,1$.

Образец 359

1. < 2,599; 9,8 мг; Пш. 2. 2,599—2,605; 1,5 мг; Пш. 3. 2,605—2,610; 1,9 мг; Пш. 4. 2,610—2,616; 2,3 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 5. 2,616—2,621; 1,4 мг; Кв ~ 10%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 90%, Кв сильно и средне насыщен ВМС — 0,3. 6. 2,621—2,627; 2,4 мг; Кв ~ 30%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 70%, Кв сильно насыщен крупными ВМС — 0,3. 7. 2,627—2,632; 2,7 мг; Кв ~ 80%, сростки Кв с Пш ~ 20%, Кв сильно насыщен ВМС — 0,3. 8. 2,632—2,638; 41,4 мг; Кв 100%, сильно насыщен ВМС — 0,3. 9. 2,638—2,643; 166,4 мг; Кв 100%, сильно и средне насыщен ВМС — 0,3. 10. 2,643—2,648; 249,6 мг; Кв 100%, слабо насыщен ВМС — 0,03, отмечается Рут — 0,01. 11. 2,648—2,653; 8,4 мг; Кв без включений или слабо насыщен ВМС — 0,03, отмечаются включения рудного (?) минерала, а также тонкопризматического (?) минерала — 0,03. 12. > 2,653; 2,7 мг; то же, несколько возрастает количество включений рудного (?) минерала — 0,1.

Образец 361

1. < 2,617; 2,0 мг; Ke 100%, содержит очень крупные газовые включения, иногда хорошо ограненные — 1 (табл. XXXVII, 1). 2. 2,617—2,622; 0,7 мг; Ke 100%, размер включений газа несколько уменьшается — 0,3. 3. 2,622—2,628; 1,9 мг; Ke 100%, ~ 90% зерен с крупными BMC — 0,3, ~ 10% с мелкими, размеры газовых включений продолжают уменьшаться (табл. XXXVII, 2). 4. 2,628—2,633; 3,5 мг; то же. 5. 2,633—2,639; 7,7 мг; Ke 100%, размеры газовых включений продолжают уменьшаться (табл. XXXVII, 2). 4. 2,628—2,633; 3,5 мг; то же. 5. 2,633—2,639; 7,7 мг; Ke 100%, размеры газовых включений продолжают уменьшаться — 0,3, ~ 10% составляют зерна с мелкими BMC, отмечаются включения Πu — 0,01 (табл. XXXVII, 3). 6. 2,639—2,644; 26,3 мг; то же. 7. 2,644—2,649; 439,1 мг; Ke 100%, ~ 10% зерен с мелкими газовыми включениями, остальные почти не содержат BMC — 0,03, отмечаются включения Πu — 0,01 (табл. XXXVII, 4). 8. 2,649—2,654; 0,1 мг; то же.

кварц из кварцитов

Образец 217

1. < 2,617; 6,9 мг; Пш, единичные зерна Кв, переполненные ВМС — 1. 2. 2.617-2,622; 2,9 мг; Кв~10%, Пш~90%, Кв сильно насыщен ВМС-0.3. 3. 2.622-2.627; 4.2 мг; Кв ~ 60%, Пш ~ 40%, Кв сильно насыщен BMC - 0,3. 4. 2,627-2,633; 8,8 мг; Кв ~ 90%, Пш ~ 10%, Кв сильно насыщен ВМС - 0.3. 5. 2.633-2.638; 38,2 мг; Кв 100%, сильно насыщен *BMC* — 0,3. 6. 2,638—2,643; 201, 6 *мг*; *Кв* 100%, насыщенность *BMC* средняя — 0,1. 7. 2,643—2,648; 208,3 *мг*; Кв 100%, то же, ~ 10% с обильными включениями окислов железа 0,03. 8. 2,648-2,653; 10,6 *мг*; *Кв* ~ 90%, измененные Πw и окислы железа $\sim 10\%$, в *Кв* крупные включения окислов железа и рудного минерала — 0,1, насыщенность ВМС варьирует в широких пределах — 0,1. 9. 2,653—2,658; 5,2 *мг*; $K_{\theta} \sim 60\%$, Πu и окислы железа ~ 40%, *Кв* такой же, как во фр. 8. 10. 2,658—2,664; 3,6 *мг*; то же. 11. 2,664—2,669; 2,2 мг; $Ke \sim 50\%$, Πu и окислы железа $\sim 50\%$, заметно увеличиваются размеры включений рудного минерала в Кв — 0,3. 12. 2,669-2,674; 1,5 *мг*; то же, в *Кв* включения $\mu = 0,3.$ 13. > 2,674; 17,2 *мг*; Кв ~ 20%, рудный минерал и окислы железа ~ 80%, в Кв очень крупные включения рудного минерала и окислов железа — 1.

Образец 218

1. < 2,617; 1,0 мг; Пш. 2. 2,617-2,622; 0,6 мг; Кв ~ 80%, Пш и окислы железа (?) $\sim 20\%$, *Ке* насыщен дисперсным $\Gamma pa\phi \to 0.3$, иногда отмечаются обильные включения Pym = 0.03. 3. 2.622 = 2.627; 0.8 *мг*; Ke 100%, переполнен бурыми дисперсными включениями или крупными включениями $\Gamma pa\phi = 0.3$, во многих зернах Pym = 0.1 (табл. XXXVIII, 1). 4. 2,627 — 2,633; 3,5 мг; Кв 100%, сильно насыщен дисперсными УВ и ВМС — 0,3. 5. 2,633—2,638; 20,0 мг; то же (табл. XXXVIII, 2). 6. 2,638—2,643; 184,1 *мг*; Кв 100%, насыщенность УВ и ВМС несколько меньше, но продолжает высокой — 0,3, отмечается Рут — 0,03 (табл. оставаться XXXVIII, 3). 7. 2,643—2,648; 268,2 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС и УВ низкая и средняя — 0,03, почти во всех зернах *Рут* — 0,1 (табл. XXXVIII, 4). 8. 2,648—2,653; 4,0 *мг*; *Кв* 100%, слабо насыщен ВМС и УВ — 0,03, во многих зернах Пир, окислы железа и Рит — 0.1 (табл. XXXVIII. 5). 9. 2,653—2,658; 1,6 мг; Кв 100%, крупные включения Цир и окислов железа— 0,3; ВМС и УВ мало — 0,03. 10. 2,658—2,664; 0,7 мг; то же (табл. XXXVIII, 6). 11. 2,664—2,669; 0,5 мг; Кв ~ 70%, рудный минерал $\sim 30\%$, в Кв крупные включения рудного минерала и Цир -0.3(табл. XXXVIII, 7). 12. 2,669—2,674; 0,1 мг; Кв ~ 50%, рудный минерал ~ 50%, Кв такой же, как во фр. 11. 13. > 2,674; 5,4 мг; Кв~ 10%, руд-ный минерал и прочие акцессории ~ 90%, в Кв крупные включения рудного минерала — 0,3.

Образец 319

1. < 2,616: 0,9 мг; Кв 100%, УВ неправильной формы — 0,03, насыщенность *BMC* низкая и средняя -0.03, отмечаются *Рут* и An - 0.01. 2. 2.616-2.621; 0,4 мг; то же. 3. 2,621-2,627; 0,5 мг; то же. 4. 2,627-2,632; 1,7 *мг*; Кв 100%, обильные УВ — 0,3, насыщенность ВМС из-за обилия YB определить затруднительно — 0,3, отмечаются $Pym \, n \, An \, - \, 0.01$ (табл. XXXIX, 1). 5. 2,632-2,638; 21,1 мг; Кв 100%, насыщенность УВ и ВМС падает, но все же остается высокой -0.3 (табл. XXXIX, 2). 6. 2.638-2,643; 135,9 мг; то же. 7. 2,643–2,648; 313,8 мг; Кв 100%, насыщенность YB и BMC слабая и средняя =0.03, в части зерен они отсутствуют, в 50%зерен включения Pym — 0,03 (табл. XXXIX, 3). 8. 2,648—2,653; 6,8 мг; Кв 100%, УВ и ВМС почти нет - 0,01, в 80% зерен включения Рут -0,1, отмечаются An, Цир и рудный минерал — 0,01 (табл. XXXIX, 4). 9. 2,653-2,659; 2,8 мг; Кв 100%, постепенно увеличивается количество зерен *Кв* с крупными включениями рудного минерала и *Цир* — 0,3. **10.** 2,659— 2,664; 1,1 мг; то же. 11. 2,664—2,670; 0,4 мг; то же. 12. 2,670—2,675; 0.3 мг: Кв 100%, почти во всех зернах включения рудного минерала, часто присутствуют Рут, An и Цир -0,3 (табл. XXXIX, 5). 13. > 2,675; 6,2 мг; Кв ~ 30%, рудный минерал, сростки с ним Кв, Гр 70%, в Кв крупные включения рудного минерала — 0.3.

Образец 329

1. < 2,617; 1,4 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 2. 2,617-2,622; 0,8 мг; то же. 3. 2.622-2.628; 0.9 мг; Кв ~ 30%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 70%, Кв сильно насыщен крупными BMC - 1, в некоторых зернах включения Πw . 4. 2,628-2,633; 1,0 мг; $Ke \sim 70\%$, сростки Ke с $\Pi w \sim 30\%$, Ke сильно насыщен крупными ВМС — 1. 5. 2,633—2,639; 15,6 мг; Ке 100%, сильно насыщен ВМС — 0,3. 6. 2,639—2,644; 138,2 мг; Кв 100%, преимущественно средне насыщен ВМС - 0,1. 7. 2,644-2,649; 266,9 мг; Кв 100%, средне и слабо насыщен ВМС, иногда без включений — 0,03, отмечаются Би, Цир и Рут — 0,03. 8. 2,649—2,654; 100,3 мг; Кв 100%, ~ 70% зерен почти без включений, ~ 30% с включениями Цир, Рут и окислов железа --0,03. 9. 2,654-2,660; 1,7 мг; Кв 100%, ~ 40% зерен почти без включений, $\sim 60\%$ с включениями вышеуказанных минералов — 0,1. 10. 2,660 — 2,665; 1,2 мг; Кв 100%, практически во всех зернах крупные включения Цир, Рут, Би и окислов железа, заметно увеличиваются их размеры — 0,3. 11. 2,665-2,671; 0,5 мг; то же. 12. 2,671-2,676; 0,2 мг; Кв 100%, отмечаются бурые непрозрачные зерна, Кв переполнен включениями рудного минерала и окислов железа — 0,3. 13. > 2,676; 27,2 *мг*; $Ke \sim 15\%$, руд-ные, темноцветные минералы, а также бурые непрозрачные зерна $\sim 85\%$, Кв переполнен крупными включениями Цир и рудного минерала — 1.

КВАРЦ ИЗ ГРЕЙЗЕНА

Образец 148

1. $< 2,633; 0,8 \text{ мг}; Ke \sim 5\%, \Pi w \sim 95\%, Ke сильно насыщен BMC - 0,3. 2. 2,633-2,638; 3,0 \text{ мг}; Ke 100\%, единичные зерна Пw. 3. 2,638-2,643; 63,6 \text{ мг}; Ke 100\%, насыщенность BMC несколько падает, но остается высокой - 0,3. 4. 2,643-2,648; 328,0 \text{ мг}; Ke 100\%, насыщенность BMC низкая и средняя - 0,03, отмечаются Eu и <math>\Gamma p = 0,01.$ 5. 2,648-2,653; 35,5 мг; Ke 100%, насыщенность BMC низкая - 0,03, отмечаются $\Gamma p = 0,01.$ 6. 2,653-2,658; 6,2 мг, то же, увеличиваются размеры и частота встречаемости включений $\Gamma p = 0,03.$ 7. 2,658-2,663; 1,4 мг; Ke 100%, ~ 50% зерен с включения $\Pi w = 0,03.$ 8. 2,663-2,668; 0,7 мг; то же. 9. 2,668-2,673; 0,8 мг;то же. 10. 2,673-2,678; 1,0 мг; Ke 100%, во всех зернах включения рудного минерала и $\Gamma p = 0,1, BMC$ мало - 0,03. 11. 2,678-2,683; 0,8 мг; то же. 12. > 2,683; 33,6 мг; Γp , единичные зерна Ke.

-

КВАРЦ ИЗ ОБРАЗЦА КВАРЦЕВОГО ШЛИРА В ГРАНИТЕ

Образец 215

1. < 2,597; 0,9 мг; Пш, сростки Кв с Пш. 2. 2,597—2,602; 0,1 мг; то же. 3. 2,602-2,608; 0,1 мг; то же. 4. 2,608-2,613; 0,1 мг; то же. 5. 2,613-2,618; 0,7 мг; то же. 6. 2,618—2,623; 1,0 мг; то же. 7. 2,623—2,628; 1,4 мг; Кв ~ 15%, Пш и сростки Кв с Пш ~ 85%, Кв насыщен крупными ВМС — 1. 8. 2,628-2,634; 1,0 мг; то же. 9. 2,634-2,639; 11,9 мг; Кв ~ 80%, сростки Ke с $\Pi w \sim 20\%$, Ke сильно и средне насыщен BMC = 0.3. 10. 2.639— 2,644; 78,2 мг; Кв 100%, насыщенность ВМС средняя и слабая — 0,1, отмечаются единичные включения рудного минерала — 0,01. 11. 2,644— 2.649: 277.1 мг; Кв 100%, единичные зерна Пш, Кв слабо и средне насышен BMC = 0.03, во многих зернах включения Pym = 0.03. 12. 2.649 2,654; 8,7 *мг*; *Кв* ~ 95%, *Пш* ~ 5%, *Кв* слабо насыщен *ВМС* — 0,03, во многих зернах включения *Рут* — 0,03. 13. 2,654—2,659; 5,1 *мг*; Кв ~ 30%, эпидотизированные $\Pi \omega \sim 70\%$, Кв слабо насышен BMC = 0.03, отмечается Pym = 0.03. 14. 2.659-2.665; 2.3 *мг*; то же. $Ks \sim 15\%$, $\Pi m \sim$ 85%, 15. 2,665-2,670; 2.2 Mr. to we. $Ke \sim 5\%$. $\Pi m \sim 95\%$. 16. >2,670; 8,1 мг, измененные Пш.

Б. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛОТНОСТНЫХ СВОЙСТВ КВАРЦА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

ТАБЛИЦЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

По результатам экспериментов, описанных в разделе А, для каждого исследованного образца были рассчитаны частоты распределений зерен кварца в заданных интервалах плотности (табл. 14—21). Вначале определялся вес кварца в каждой фракции образца, затем по ее весу и проценту кварца в ней рассчитывались соответствующие частоты.

Бросается в глаза, что в этих таблицах число фракций данного образца всегда меньше, чем для того же образца, приводимых в разделе А. Это обусловлено двумя причинами: 1) некоторые начальные и конечные фракции ряда образцов состоят из других минералов или обломков породы, т. е. в них нет кварца; 2) у многих образцов определены лишь верхний предел плотности первой фракции и (или) нижний предел плотности последней (см. разд. А). В этих случаях самая легкая и самая тяжелая фракции не учитывались при расчете частот распределений кварца для данного образца, так как по условиям экспериментов погрешности определения веса кварца в этих фракциях наибольшие, а их ширина интервала по плотности неопределенная (см. гл. IV). Кроме того, процент кварца в этих фракциях (от общего количества его в данном образце) очень мал и им можно пренебречь (в 50% случаев $\approx 0,01$, в 40% случаев $\ll 0,1$; в 5% случаев 1-2; в 4% случаев 2-3 и в 2% случаев 3-4).

В табл. 14—21 в первой графе указаны пределы плотности фракций. Однако они приведены лишь в иллюстративных целях, так как имеют приближенное значение по двум причинам.

1. В таблицах для простоты указаны одинаковые значения 0,005 г/см³ для всех фракций исследованных образцов. В действительности, как видно из таблиц, ширина интервала оставалась постоянной для разных экспериментов лишь до нескольких процентов от ее величины. Это обусловлено тем, что пределы плотности для фракции данного образца устанавливались исходя из градиента плотности в приборе, равновесного положения опорного репера плотности 2,647 г/см³, характера распределения и высоты столба жидкости, выливаемой вместе с зернами из прибора в данную фракцию. Первые три параметра в принципе могли меняться от опыта к опыту (см. гл. IV).

<u> </u>			_	Номер	образца			
Плотность, г/см ³	1	6	9	17	23	27	28	43
$\begin{array}{c} 2,615-2,620\\ 2,620-2,625\\ 2,625-2,630\\ 2,630-2,635\\ 2,635-2,640\\ 2,640-2,645\\ 2,645-2,650\\ 2,650-2,655\\ 2,655-2,660\end{array}$	$\begin{array}{c} - \\ 0,13 \\ 0,33 \\ 0,69 \\ 8,54 \\ 70,15 \\ 14,28 \\ 2,90 \end{array}$		$\begin{array}{c} 0,07\\ 0,07\\ 0,00\\ 0,05\\ 0,26\\ 2,04\\ 81,04\\ 12,54\\ 3,34 \end{array}$		0,47 0,56 0,53 0,71 2,07 19,75 62,36 11,86 1,18		 0,73 3,03 33,13 38,04 17,08 4,65	 0,11 2,64 68,25 23,09 4,24
2,660-2,665 2,665-2,670	1,50	0,78	0,66	5,09 1,28	0,51	2,64 2.00	1,88 0.85	1,12 0.42
2,670-2,675 2,675-2,580 2,680-2,685	0,33 0,25 		-	- - -		1,40 — —	0,60 	0,14
Ширина интервала, <i>е/см³</i>	0,00488	0,00492	0,00493	0,00490	0,00487	0,00494	0,00501	0,00494
Поправка на положе- ние репера	-0,1	0,1	-0,1	-0,6	-0,1	-0,1	0,6	-0,1

Распределение по плотности зерен кварца (в вес. %) метаморфических пород

Таблица 14 (продолжение)

			ł	Іомер о б р	азца			
Плотность, г/см ³	72	73	82	88	89	91	93	96
2,615-2,620 2,620-2,625 2,625-2,630 2,630-2,635	 0,02 0,05	 		 	 0,09			
2,635-2,640 2,640-2,645 2,645-2,650 2,650-2,655 2,655-2,660 2,660-2,665 2,665-2,670 2,670-2,675 2,675-2,680 2,680-2,685	0,76 14,52 62,73 16,11 3,05 1,61 0,73 0,41	0,81 11,46 70,97 11,67 2,48 1,08 0,56 0,59 0,38	0,91 30,85 47,25 12,18 4,29 2,06 1,44 0,75 —	0,15 2,18 49,78 28,74 9,59 4,72 2,27 0,06 2,51	0,22 7,35 63,66 18,62 5,31 2,62 1,25 0,87 —	0,24 5,20 61,33 25,04 6,83 0,87 0,47 	0,04 6,23 64,50 20,31 4,86 1,83 0,92 0,57 0,37 0,35	23,77 55,92 15,82 2,37 1,47 0,44 0,12 0,08
Ширина интервала, г/см ³	0,00496	0,00496	0,00504	0,00501	0,00501	0,00498	0,00500	0,00504
Поправка на положе- ние репера	-0,1	-0,1	0,6	-0,1	+0,15	0,1	+0,15	+0,15

Таблица 14 (продолжение)

	Номер образца									
Плотность, г/см³	107	109	111	114	116	249	257			
•				1						
2,615-2,620	-	-	-			—	—			
2,620-2,625		-	_			—				
2,625-2,630		—	—	—	_		—			
2,630-2,635	_	0,62		—	—		-			
2,635-2,640	0,07	3,22	_	0,09	0,17	0,81	0,09			
2,640 - 2,645	8,92	4,28	1,20	6,77	3,84	8,14	4,84			
2,645 - 2,650	61,29	73,03	64,55	71,88	71,57	73,50	88,46			
2,650 - 2,655	17,98	14,95	28,04	16,28	20,11	10,54	5,56			
2,655 - 2,660	4,52	2,22	3,39	3,47	3,08	2,94	0,96			
2,660 - 2,665	2,63	0,97	1,35	0,83	0,74	2,12	0,09			
2,665-2,670	1,64	0,32	0,80	0,34	0,30	1,94	-			
2,670 - 2,675	1,06	0,24	0,35	0,26	0,11	—	—			
2,675-2,680	0,83	0,15	0,33	0,09	0,08	-	—			
2,680-2,685	1,06	—	—		-	—				
Ширина интервала, . <i>e/cм</i> ³	0,00506	0,00511	0,00520	0,00510	0,00512	0,00518	0,00518			
Поправка на положе- ние репера	-0,1	-0,1	-0,15	+0,05	0	-0,2	0,45			

Таблица 14 (продолжение)

		Номер образца								
Плотность, г/см ³	260	262	277	279	281	282	284			
2,615-2,620 2,620-2,625 2,625-2,630 2,630-2,635 2,635-2,640 2,640-2,645 2,645-2,650 2,655-2,660 2,665-2,670 2,670-2,675 3,675-2,680	 2,43 14,61 79,19 2,28 0,81 0,44 0,25 	 0,47 16,35 81,45 1,33 0,25 0,11 0,04 	 0,04 1,20 13,81 71,26 5,85 3,44 2,12 1,33 0,95 	 0,43 13,12 73,52 7,11 2,98 1,76 1,07 		 0,07 1,34 5,11 44,83 39,11 1,55 3,02 2,96 2,02 -				
2,080—2,085 Ширина интервала, -г/см ³	 0,00518	 0,00518	— 0,00518	— 0,00521	- 0,00522	 0,00523	— 0,00523			
Поправка на положе- ние репера	-0,35	-0,2	0,2	-0,15	-0,3	0,1	-0,1			

			Ho	мер образи	ца		
Плотность, г/см ³	286	287	288	293	294	295	314
2,615-2,620				-		_	
2,620-2,625	—	-	—		→	_	·
2,625-2,630	—	—	0,04		-	_	
2,630-2,635	·	_	0,00		_	0,12	_
2,635 - 2,640	0,11	0,34	0,22	0,33	0,30	1,05	0,76
2,640 - 2,645	0,49	13,88	7,58	8,76	13,30	20,78	9,02
2,645 - 2,650	47,12	79,97	87,60	86,56	77,88	52,79	49,30
2,650 - 2,655	49,46	3,09	2,76	2,40	3,04	12,17	12,07
2,655 - 2,660	1,19	1,21	0,96	0,76	2,41	6,64	10,93
2,660 - 2,665	0,68	0,77	0,55	0,36	1,91	3,55	9,66
2,665-2,670	0,68	0,34	0,11	0,36	0,66	1,57	3,94
2,670 - 2,675	0,27	0,40	0,18	0,46	0,50	0,99	4, 32
2,675 - 2,680	_	-	_		—	0,35	-
2,680 - 2,685			—	-	—	-	
Ширина интервала, г/см ³	0,00520	0,00524	0,00524	0,00525	0,00522	0,00522	0,00522
Поправка на положе- ние репера	-0,1	_0,3	-0,45	-0,3	-0,2	-0,6	-0,1

Таблица 15

Распределение по плотности зерен кварца (в вес. %) древних гранитоидов

	Номер образца								
	3	5	13	60	61	62	76	80	
-									
2,615-2,620	0,04			—	_	—	—		
2,620 - 2,625	0,04		0,17	-	-	—	-	_	
2,625 - 2,630	0,08	—	0,20	—	—	—		—	
2,630 - 2,635	0,60		0,82	-	—	-	0,02	0,07	
2,635-2,640	5,65	-	8,80		0,38	0,33	0,65	0,48	
2,640 - 2,645	34,81	1,58	40,27	3,30	5,93	11,30	22,89	10,32	
2,645 - 2,650	53,85	71,46	42,22	53,50	66,45	72,00	64,16	62,75	
2,650-2,655	3,74	17,54	5,22	31,12	18,50	13,37	8,82	18,75	
2,655 - 2,660	0,80	7,15	1,50	6,40	7,03	1,98	0,47	4,50	
2,660 - 2,665	0,40	2,26	0,79	2,65	1,70	0,51	1,17	1,76	
2,665 - 2,670	—	_	-	1,31		0,31	1,80	0,76	
2,670-2,675	_	-		0,97		0,20	—	0,60	
2,675 - 2,680	—	-	—	0,75	—	—	—	-	
2,680 - 2,685	—	_	-	—	-	-	—	—	
2,685 - 2,690	—	—	—		-	-		—	
Ширина итервала, г/см ³	0,00488	0,00490	0,00506	0,00505	0,00494	0,00492	0,00499	0,00506	
Поправка на поло- жение репера	-0,6	-0,1	-0,6	-0,6	0,15	-0,1	-0,6	-0,1	

	Номер образца								
	92	94	95	97	99	101	108		
2,615-2,620	-	_		_		_	_		
2,620-2,625	_	_	_		_	-			
2,625-2,630	_	_	_		_	-			
2,630-2,635	-	0,02	-		0,02	_	_		
2,635 - 2,640	0,15	0,30	0,32	0,19	0,11	1,84	0,18		
2,640-2,645	9,06	12,98	8,71	3,04	18,71	26,61	9,52		
2,645-2,650	68,23	70,05	72,67	77,81	64,39	57,85	68,02		
2,650-2,655	21,09	14,65	15,22	15,55	9,50	6,74	15,23		
2,655-2,660	1,48	1,04	1,23	1,63	3,57	3,38	4,81		
2,660 - 2,665		0,61	0,74	0,87	1,75	1,73	1,33		
2,665 - 2,670	_	0,15	0,35	0,43	0,96	0,83	0,55		
2,670-2,675	—	0,13	0,32	0,25	0,48	0,37	0,22		
2,675 - 2,680	-	0,02	0,43	0,23	0,50	0,28	0,15		
2,680 - 2,685	—	0,04	-	-	—	0,16	-		
2,685 - 2,690			—	-		0,21			
Ширинаинтервала, г/см ³	0,00497	0,00502	0,00502	0,00498	0,00503	0,00507	0,0050 9		
Поправка на поло- жение репера	0,1	-0,35	-0,1	-0,1	-0,1	-0,35	0,1		
							}		

Таблица 15 (продолжение)

Плотиоот а/ана	Номер образца									
TIJOTHOCIB, 2,CM	112	123	124	234	236	237	238			
2 615-2 620										
2,620-2,625	_	_	_	_		_	- -			
2,625-2,630	_	_	_	0,02	0,08		0,11			
2,630-2,635		0,25	0,16	0,05	0,13	-	0,16			
2,635-2,640	0,23	3,73	3,65	1,46	0,88	0,26	1,39			
2,640-2,645	6,56	26,93	36,36	29,76	18,53	14, 24	24, 25			
2,645 - 2,650	63,06	58,85	56,84	59,56	78,38	78,06	66,39			
2,650 - 2,655	20,25	7,29	1,85	4,90	1,86	4,28	3,92			
2,655 - 2,660	4,65	2,09	0,61	1,84	0,11	1,84	1,78			
2,660 - 2,665	2,46	0,56	0,25	1,43	0,03	0,74	1,07			
2,665-2,670	1,15	0,31	0,09	0,98		0,58	0,61			
2,670 - 2,675	0,69		0,07	-	-		0,32			
2,675 - 2,680	0,52	-	0,14		_	_	_			
2,680 - 2,685	0,43		-	-	_	—	—			
2,685-2,690			-		_	_	—			
Ширина интервала, г/см³	0,00510	0,00492	0,00530	0,00517	0,00516	0,00516	0,00516			
Поправка на поло- жение репера	0,1	-0,6	-0,45	0,4	-0,45	-0,1	-0,35			

THOTHOGTH A'CHA		Номер образца									
Плотноств, г/сж	271	272	273	274	276	289	330				
9 645 9 690					1						
2,013-2,020	_				-	-					
2,020-2,025		_	_	_	- 1		0,04				
2,625-2,630		—		_		0,06	0,02				
2,630-2,635	—	—	0,07	0,04		0,23	0,08				
2,635–2,64 0	2,02	0,36	2,10	1,49	0,35	4,51	0,65				
2,640 - 2,645	31,76	15,35	23,05	31,85	13,61	42,25	27,38				
2,645-2,650	65,37	83,94	51,40	63,46	83,91	49,03	68,99				
2,650 - 2,655	0,45	0,35	5,34	1,92	1,47	2,04	1,66				
2,655-2,660	0,20	—	5,30	0,87	0,39	0,80	0,73				
2,660-2,665	0,06	—	3,83	0,22	0,21	0,48	0,25				
2,665-2,670	0,06	—	2,80	0,13	0,00	0,28	0,10				
2,670-2,675	0,06	—	1,84	—	0,00	0,31	0,08				
2,675-2,680	0,03	—	1,44	—	0,00		_				
2,680 - 2,685	-	-	1,36	-	0,06	-	_				
2,685-2,690	—	-	1,47	-		—	-				
Ширина интервала, г/см ³	0,00516	0,00517	0,00513	0,00518	0,00513	0,00522	0,00522				
Поправка на поло- жение репера	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	-0,35	-0,35	-0,5				

Таблица 16

۰,

Распределение по плотности зерен кварца (в вес. %) молодых гранитоидов

ι.

_	Номер образца								
Плотность, г/см ³	121	13'i	135	143	145	146			
2,615-2,620		0,02	-	-		_			
2,620-2,625 2,625-2,630	0,02	0,05		_	-	-			
2,630-2,635 2,635-2,640	0,15 1,19	7,79 36,58	3,46 4,83	 1,45	0,86 8,58	0,05 5,64			
2,640-2,645 2,645-2,650	24,70 57,32	50,69 $3,41$	38,13 52,94	32,82 52,28	55,13 32,16	51,31 40,97			
2,650-2,655 2,655-2,660	13,65 2,29	0,45 0,11	0,42 0,11	4,84 3,63	2,25 0,68	1,08 0,45			
2,660-2,665 2,665-2,670	0,66 —	0,07	0,11	1,92 1,15	0,15 0,09	$\begin{array}{c}0,23\\0,23\end{array}$			
2,670-2,675 2,675-2,680	—	-	_	0,80 0,65	0,02 0,06	0,05			
2,680—2,685 Ширина интервала <i>г/см³</i>		-	-	0,45	0,02				
Поправка на положение репера	0,6	-0,35	-0,6	-0,4	-0,6	-0,6			

Таблица (16 (окончание)

_	Номер образца								
Плотность, г/см ³	158	167	338	341	344	346			
2,615-2,620	_	-	_	_		_			
2,620-2,625	0,11	0,10			- 1	-			
2,625-2,630	0,29	0,10		0,14		-			
2,630-2,635	0,63	0,45	0,02	0,23	0,34	0,12			
2,635-2,640	3,62	2,28	1,83	1,95	5,47	2,30			
2,640-2,645	19,61	24,09	28,98	25,54	39,12	29,16			
2,645-2,650	73,36	68,92	66,97	69,53	53,49	66,67			
2,650-2,655	1,23	2,94	1,29	0,09	0,73	1,11			
2,655-2,660	0,46	0,83	0,50	1,19	0,59	0,26			
2,660 - 2,665	0,14	0,28	0,28	0,89	0,16	0,23			
2,665-2,670	0,40	_	0,13	0,44	0,09	0,15			
2,670-2,675	0,14	—	—	-		_			
2,675-2,680	_	—		_		—			
2,680-2,685	. —	—	-		—	—			
Ширина интервала, г/см ³	0,00528	0,00526	0,00544	0,00542	0,00544	0,00544			
Поправка на положение репера	-0,35	-0,4	-0,45	-0,5	-0,45	0,5			

Таблица 17

Распределение по плотности зерен кварца (в вес. %) из образцов кварцевых жил

				Номер	образца			
Плотность, г/см ³	149	152	153	154	309	31 6	335	337
	1	1						
2,605-2,610	-		_		—	_		
2,610-2,615	_	0,08	—	_	_	_	0,15	—
2,615-2,620	0,02	0,06	—	—	0,06	—	1,05	0,12
2,620-2,625	0,74	0,44		—	0,15	—	6,00	0,39
2,625 - 2,630	7,02	2,78	0,37	1,63	0,09		20,41	4,12
2,630 - 2,635	32,33	15,11	0,99	6,37	0,75	—	35,31	18,13
2,635-2,640	42,11	40,62	4,83	20,29	27,49	0,99	25,43	41,89
2,640 - 2,645	11,02	33,89	33,31	39,68	67,31	27,83	10,13	33,08
2,645-2,650	3,56	6,47	57,56	29,14	2,45	69,46	1,31	1,92
2,650-2,655	1,79	0,46	2,85	1,44	0,85	1,62	0,22	0,35
2,655-2,660	0,88	0,10	0,08	0,49	0,43	0,02		
2,660 - 2,665	0,52	—	—	0,33	0,26	0,05	—	-
2,665 - 2,670	-	—	-	0,27	0,17	0,02	· —	
2,670 - 2,675	-		—	0,14		—	-	
2,675-2,680			—	0,24		.	. —	-
Ширина интервала, г/см ³	0,00507	0,00508	0,00520	0,00525	0,00538	0,00547	0,00542	0,00544
Поправка на поло- жение репера	-0,6	-0,45	-0,2	-0,6	+0,15	-0,35	-0,25	0,5

	Номер образда							
Плотность, г/см ³	347	348	350	351	352	353a	3536	354
	1						1	
2,605-2,610	-	_	_	-		_		
2,610-2,615	-	-	_	_		_		_
2,615-2,620	_		—	—	_	-		
2,620-2,625	0,07	0,06	0,08	—	0,10		-	0,32
2,625-2,630	0,85	0,35	0,93	0,06	3,58	0,30		4,01
2,630 - 2,635	18,41	4,18	17,94	0,08	41,21	2,44	0,30	28,73
2,635-2,640	48,86	42,81	58,26	5,54	52,72	24,59	2,73	53,34
2,640 - 2,645	31,05	51,07	21,55	50,94	1,87	51,32	33,35	13,60
2,645 - 2,650	0,53	1,32	0,89	42,64	0,41	20,72	61,19	_
2,650-2,655	0,23	0,14	0,22	0,60	0,10	0,38	1,24	→
2,655-2,660		0,06	0,08	0,14	—	0,20	0,73	-
2,660 - 2,665			0,04	—		0,05	0,14	-
2,665-2,670	-	—	_		—		0,23	—
2,670-2,675	-	—	—	-	_		0,09	_
2,675-2,680	—	-	—			_		—
Ширина интервала, г/см ³	0,00541	0,00548	0,00544	0,00540	0,00544	0,00538	0,00542	0,00537
Поправка на поло- жение репера	+0,15	+0,3	+0,25	0,45	+0,05	-0,6	-0,6	0,1

Таблица 17 (окончание)

	Номер образца							
Плотность, г/см ³	355	356	357	358	К-23	К-45	610	
2,605-2,610	—	-	-	-	—		0,02	
2,610 - 2,615		- 1	—	—	0,02	- 1		
2,615-2,620	—			-	0,02	0,08	0,40	
2,620 - 2,625	0,60	0,31	—	-	0,04	0,15	3,72	
2,625 - 2,630	3,18	7,65		—	0,04	0,04	17,01	
2,630-2,635	18,55	43,18	0,22	0,20	1,25	1,40	32, 32	
2,635 - 2,640	52,38	36,47	20,77	5,57	27,03	12,32	27,32	
2,640-2,645	24,77	4,52	65,30	34,53	53,40	52,07	16,36	
2,645 - 2,650	0,31	2,33	10,47	57,65	17,75	33,26	1,84	
2,650 - 2,655		1,68	2,17	1,00	0,42	0,27	0,72	
2,655-2,660	_ '	1,36	0,58	0,41	0,02	0,06	0,30	
2,660 - 2,665	-	0,91	0,13	0,26	_			
2,665-2,670	-	0,34	0,16	<u> </u>				
2,670-2,675	_	0,85		0,17	_	-		
2,675-2,680		_		0,04				
Ширина интервала, г/см ³	0,00544	0,00542	0,00541	0,00547	0,00512	0,00514	0,00519	
Поправка на поло- жение репера	+0,2	+0,15	0,3	-0,45	_0,6	-0,6	0,6	

Таблица 18

Распределение по плотности зерен кварца (в вес. %) из образцов кварцевых жил

Плотность, г/см ^в	Распределение	Плотность, г/см ³	Распределение		
Обране	ц 150	Образец 151			
2,6347-2,6398 2,6398-2,6449 2,6449-2,6462 2,6462-2,6513	0,09 0,72 99,02 0,18	2,6409-2,6460 2,6460-2,6473 2,6473-2,6524 2,6524-2,6575 2,6575-2,6626	2,18 97,23 0,08 0,34 0,17		

Таблица 19

ПЛОТНОТСЬ 2'CM3	Номер образца				Номер образца		
	155	359	361		155	359	361
2,615-2,620 $2,620-2,625$ $2,625-2,630$ $2,630-2,635$ $2,635-2,640$ $2,640-2,645$ $2,645-2,650$	0,02 0,14 0,14 0,54 3,42 22,06 66,34	0,02 0,15 0,47 8,78 35,28 52,95		2,650—2,655 2,655—2,660 2,660—2,665 Ширина интер- вала, г/см ³ Поправка на по- ложение репера	4,34 2,50 0,50 0,00505 0,5	$ \begin{array}{r} 1,78\\0,57\\-\\0,00545\\-0,45\end{array} $	0,02 0,00544 0,4

При детальном разделении обр. 361 было визуально установлено, что примерно половина всех зерен этой фракции сконцентрирована на нижней четверти ширины интервала, а на остальных трех четвертях зерна распределены равномерно. В табл. 26 и на фиг. 37 приведены уточненные значения статистических характеристик и гистограммы обр. 361 с учетом этого наблюдения.

Таблица 20

Распределение по плотности зерен кварца (в вес. %) из кварцитов

	Номер образца						
Плотность, г/см ⁸	217	218	319	329			
2 620-2 625	0.06	0.10	0.08				
2,625-2,630	0,50	0,10	0,00	0,06			
2,630-2,635	1,66	0,72	0,35	0,13			
2,635-2,640	8,05	4,13	4,35	2,96			
2,640-2,645	42,47	38,05	28,03	26,29			
2,645-2,650	43,88	55,42	64,73	50,78			
2,650-2,655	2,00	0,83	1,40	19,08			
2,655-2,660	0,65	0,33	0,58	0,32			
2,660-2,665	0,29	0,14	0,23	0,23			
2,665-2,670	0,23	0,08	0,08	0,10			
2,670-2,675	0,17	0,02	0,06	0,04			
Ширина интервала, <i>г/см</i> ³	0,00522	0,00522	0,00540	0,00548			
Поправка на положение репера	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4			

2. У подавляющего числа исследованных образцов кварца распределение имеет резкий максимум. Поэтому при разделении образца на фракции их границы выбирались таким образом, чтобы пик распределения попадал по возможности в одну фракцию. При этом положение репера 2,647 г/см³ оказывалось в какой-то точке внутри интервала 2,645---

9 М. Я. Кац, И. М. Симанович

Распределение по плотности зерен кварца (в вес. %), из грейзена (обр. 148) и образца кварцевого шлира в граните (обр. 215)

Плотность, г/см ⁹	Номер образца		_	Номер образца	
	148	215	Плотность, г/см ³	148	215
2,625-2,630		0,05	2,660-2,665	0,32	0,08
2,630-2,635		0,05	2,665-2,670	0,16	0,03
2,635-2,640	0,66	2,53	2,670-2,675	0,18	
2,640-2,645	14,41	20,83	2,675-2,680	0,23	_
2,645 - 2,650	74,41	73,81	2,680-2,685	0,18	
2,650-2,655	8,05	2,21	Ширина интервала, г/см ³	0,00507	0,0052
2,655-2,660	1,41	0,40	Поправка на положение репера	-0,6	0,35

2,650 г/см³, часто отличной от соответствующей реперу точки. Это отличие фиксируется приводимой поправкой на положение репера. Из вышеизложенного видно, что для каждого образца следовало бы привести свои пределы плотности фракций. Но это оказалось бы громоздко и менее наглядно, чем приведенная единая шкала для всех образцов с соответствующими значениями ширины интервала и поправки на положение репера.

Поправка на положение репера приводится в единицах ширины интервала для данного образца. Например, для обр. 17 поправка на положение репера равна — 0,6. В шкале плотности поправка — 0,6 × × 0,00490 \cong —0,003 e/cm^3 . Это значит, что для обр. 17 каждое значение плотности в графе «плотность» должно быть уменьшено на 0,003 e/cm^3 . Для обр. 89 поправка на положение репера равна +0,15. В шкале плотности поправка +0,15 × 0,00501 \cong +0,001 e/cm^3 , т. е. для обр. 89 каждое значение плотности в графе «плотность» должно быть увеличено на 0,001 e/cm^3 .

Действительное распределение по плотности зерен кварца в данном образце точно определяется приведенными значениями частот для каждой фракции, ширины интервала по плотности и истинного положения репера 2,647 г/см³ в интервале 2,645—2,650 г/см³, определяемого поправкой на положение репера.

ГИСТОГРАММЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОТНОСТИ

По табл. 14—21 для каждого исследованного образца построены гистограммы распределений зерен кварца по плотности (фиг. 33—37) и рассчитаны статистические характеристики плотности (табл. 22—26). По

Таблица 22

Статистические	характеристики	плотности	кварца	метаморфических
	пород (фр.	0,20-0,25	мм)	

№ образца	Средняя плотность _{Рср} , г/см ^а	Стандартное отклонение σ, г/см ³	Коэффициент асимметрии А	Коэффициент эксцесса К	Мода распре- деления Мо, г/см ³
1	2,6480	0,0045	1,9	9,7	2.6471
6	2,6466	0,0039	0,4	3,0	2,6468
9	2,6479	0,0029	0,8	13,9	2,6472
17	2,6505	0,0042	0,2	2,6	2,6498
23	2,6461	0,0048	-2,3	13,4	2,6468
27	2,6472	0,0069	1,0	1,9	2,6444

Образца	Средняя плотность Р _{СР} , г/см ^а	Стандартное отклонение σ, г/см ³	Коэффициент асимметрии А	Коэффициент эксцесса К	Мода распре- деленин Мо, г/см ³
28	2,6443	0,0058	1,1	2,6	2,6429
43	2,6487	0,0036	1,9	6,2	2,6475
72	2,6478	0,0045	1,7	6,1	2,6470
73	2,6478	0,0045	2,7	12,8	2 6471
82	2,6446	0,0057	1,6	4,1	2,6436
88	2,6512	0,0065	2,0	4,6	2,6480
89	2,6502	0,0050	1,9	5,3	2,6485
91	2,6489	0,0039	1,1	2,7	2 6476
93	2,6503	0,0052	2,7	11,1	2,6486
96	2,6485	0,0044	1,6	5,4	2 6480
107	2,6495	0,0067	2,6	8,0	2 6472
109	2,6477	0,0043	1,1	9,6	2,6472
111	2,6491	0,0043	2,8	11,5	2,6474
114	2,6489	0,0038	2,3	10,5	2,6480
116	2,6489	0,0035	2,2	10,2	2,6479
249	2,6476	0,0046	2,1	6,5	2,6465
257	2,6453	0,0020	1,5	11,2	2,6452
260	2,6450	0,0031	0,8	10,3	2,6455
262	2,6457	0,0023	_0,3	7,9	2,6462
277	2,6471	0,0053	2,3	7,5	2,6463
279	2,6472	0,0042	2,1	7,3	2,6466
281	2,6498	0,0079	1,0	0,2	2,6458
282	2,6452	0,0062	1,6	3,8	2,6437
284	2,6448	0,0039	_1,1	10,8	2,6457
286	2,6500	0,0035	1,8	8,3	2,6498
287	2,6458	0,0035	3,1	19,0	2,6458
288	2,6451	0,0027	3,1	28,3	3,6451
293	2,6459	0,0032	4,1	30,9	2,6458
294	2,6467	0,0043	2,8	11,7	2,6463
295	2,6458	0,0064	1,6	3,7	2,6441
314	2,6517	0,0082	1,1	0,3	2,6471

Таблица 22 (окончание)

Таблица 23

Статистические характеристики плотности кварца древних гранитондов (фр. 0,20—0,25 мм)

№ образца	Средняя плотность, Р _{ср} , г.см ^а	Стандартное отклонение σ, г/см ³	Коәффициент асимметрии А	Коэффициент эксцесса К	Мода распре- деления <i>Мо, г'см^в</i>
3	2,6425	0,0038	-0,3	3,7	2,6435
5	2,6488	0,0036	1,7	2,7	2,6473
13	2,6419	0,0046	0,2	2,7	2,6422
60	2,6477	0,0054	2,2	6,5	2,6455
61	2,6483	0,0038	1,2	2,0	2,6470
62	2,6474	0,0034	1,8	9,4	2,6470
76	2,6443	0,0043	2,1	8,0	2,6441
80	2,6484	0,0047	1,8	5,8	2,6472
92	2,6477	0,0029	0,4	1,0	2,6473
94	2,6461	0,0034	1,9	12,3	2,6458
95	2,6478	0,0040	3,1	18,1	2,6471

Таблица 23 (окончание)

		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· .		· · · · ·
№ образца	Средняя плотность _{Рср} , г/см ³	Стандартное отклонение σ, г/см ³	Коэффициент асимметрии А	Коэффициент эксцесса К	Мода рас- пределения Мо, г/см ³
97	2 6482	0.0035	37	21.0	2 6472
00	2,0402	0,0033	24	21,0	2,0472
99 404	2,0475	0,0047	2,1	1,2	2,0400
101	2,0400	0,0050	2,1	12,3	2,0451
108	2,6482	0,0043	2,1	7,9	2,6471
412	2,6492	0,0057	2,6	9,6	2,6474
123	2,6435	0,0040	0,7	3,7	2,6440
124	2,6431	0,0038	1,4	12,4	2,6439
234	2,6446	0,0045	1,8	6,4	2,6447
236	2,6442	0,0025	-1,5	6,4	2,6449
237	2,6469	0,0034	2,2	11,5	2,6468
238	2,6450	0,0043	1,8	9,6	2,6452
271	2,6427	0,0030	0,6	10,4	2,6436
272	2,6435	0,0020	-1,9	2,8	2,6440
273	2,6486	0,0039	2,1	4,2	2,6454
274	2,6449	0,0032	0,7	5,4	2,6457
276	2,6452	0,0023	1.9	43.6	2.6455
289	2.6434	0 0042	1.6	9.6	2 6437
330	2 6/36	0,0032	0.8	11 4	9 6443
000	µ ⁴ ,0400	1 0,0002	1 0,0	,4	L 2,0440

Таблица 24

Статистические характеристики плотности кварца молодых гранитондов (фр. 0,20—0,25 мл)

№ образца	Средняя плотность Р _{СР} , г/см ³	Стандартное отклонение σ, г/см ³	Коэффициент асимметрии А	Коэффициент эксцесса К	Мода рас- пределения Мо, г/см ³	
121	2,6441	0,0040	0,4	2,1	2,6441	
134	2,6382	0,0039	-0,3	2,0	2,6393	
136	2,6314	0,0040	-1,1	2,2	2,6429	
143	2,6453	0,0065	2,6	9,1	2,6435	
145	2,6409	0,0039	1,2	8,3	2,6403	
146	2,6413	0,0037	1,1	6,9	2,6408	
158	2,6443	0,0039	-0,1	12,2	2,6453	
167	2,6439	0,0035	-0,8	6,8	2,6447	
338	2,6435	0,0033	0,5	6,2	2,6444	
341	2,6435	0,0039	1,2	9,6	2,6442	
344	2,6425	0,0037	0,1	3,2	2,6435	
346	2,6431	0,0033	0,2	6,2	2,6441	

Таблица 25

Статистические характеристики плотности кварца из образцов кварцевых жил (фр. 0,20—0,25 мм)*

№ образца	Средняя плотность Р _{СР} , г/см ³	Стандартное отклонение с, г/см ^в	Коәффициент асимметрии А	Коэффициент экспесса К	Мода распре- деления Мо, з см ^в
149	2,6334	0,0058	1,2	3,2	2,6330
150	2,6456	0,0004	<i>.</i>	, 	2,6456
151	2,6466	0,0009		-	2,6466
152	2,6382	0,0049	0,4	1,3	2,6383

Таблица 25 (окончани

№ образца	Средняя плотность ^р ср, г/см ³	Стандартное отклонение σ, г/см ³	Коәффициент асимметрин А	Коэффициент эксцесса К	Мода распре- деления Мо, г см ^э
153	2 6442	0.0037	_1 2	28	2 6455
154	2 6392	0,0060	0.7	5.2	2,6399
309	2,6617	0,0037	1 2	12.9	2,6633
316	2 6441	0.0028	-0.5	2.0	2,6450
335	2,6307	0,0063	_0,1		2,6305
337	2,6345	0.0050	-0.5	0,5	2,6352
347	2,6382	0.0041	-0.2	0	2,6382
348	2,6409	0.0035	-0.4	1.4	2,6418
350	2,6383	0.0039	0.3	2.1	2,6381
351	2,6418	0.0033	-0.3	0.4	2,6416
352	2,6339	0.0034	0	1.3	2.6347
353a	2,6385	0.0042	-0.1	0.7	2,6387
3536	2.6415	0.0037	0,9	8.5	2.6425
354	2,6350	0.0040	-0.3	0.2	2,6357
355	2.6377	0.0043	0.6	0.7	2,6380
356	2,6362	0.0079	2.5	8.0	2,6339
357	2.6404	0.0040	1.6	7.1	2,6402
358	2,6428	0,0040	1.0	9.9	2,6439
К-23	2,6387	0,0037	0,2	1.3	2,6389
К-45	2,6401	0,0039	_1,1	3,5	2,6402
610	2,6311	0,0063	0.2	0,4	2,6301

• Коэффициенты ассиметрии А и экспесса К для обр. 150 и 151 не удалось определить с необходимой точностью из-за трудностей, обусловленных очень малыми значениями ширины интервалов в пиковых фракциях (см. табл. 18).

Таблица 26

Ni образца	Средняя плотность ^р ср, ^г /см ³	Стандартное отклонение с, г/см ³	Коэффицент асимметрии А	Коэффициент эксцесса К	Мода распреде- ления <i>Мо, в(см³</i>
		Иə'n	егматитов	· · · ·	
155	2.6439	0,0040	-0.4	5,7	2,6446
359	2,6423	0,0040	0,6	1.3	2,6438
361	2,6453	0,0032	-3,2	1,4	2,6473
		Из	кварцитов		
217	2,6413	0.0046	0.3	5,8	2,6419
218	2,6419	0,0037	-0,5	5,9	2,6430
319	2,6424	0,0038	-0,3	7,2	2,6436
329	2,6447	0,0044	0	1,6	2,6450
	•	і Из	ı грейгена	•	1
148	2,6445	0,0039	• 3,5	25,9	2,6443
	1 1 *	Изшлиран	Сварца в грани	ne	•
215 [°]	2,6445	0,0030	1 -0 , 7 - -0 , 7	4,7	2,6453

Статистические характеристики плотности кварца (фр. 0,20-0,25 мм)



Фиг. 33. Гистограммы распределения по плотности зерен кварца из метаморфических пород (см. табл. 14)

Номер у гастограммы означает номер образца, черточкой на осв абсцисс показано положение опорного репера 2,647 г/см^а, ориентиром шкалы плотности является его положение



Фиг. 34. Гистограммы распределения по плотности зерен кварца древних гранитоидов (см. табл. 15)

Условные обозначения и пояснения те же, что на фиг. 33





Условные обозначения пояснения те же, что на фиг. 33

табл. 14—21 построены также усредненные гистограммы для образцов кварца данного генезиса (фиг. 38).

По табл. 22—26 определен разброс каждой из статистических характеристик плотности кварца для четырех групп образцов пород данного генезиса (фиг. 39—43). Кроме того, для каждой из статистических характеристик были рассчитаны следующие параметры: 1) среднее значение; 2) доверительные границы с вероятностью 95%; 3) стандартное отклонение (табл. 27). В случаях, когда число изученных образцов кварца из пород одного генезиса было небольшим, рассчитаны лишь средние значения и пределы отклонений соответствующих статистических характеристик плотности. Полагая, что разброс каждой статистической характеристики плотности кварца из пород данного генезиса в первом приближении можно считать нормальным распределением, доверительные границы для нее с вероятностью 95% рассчитаны по формуле (Митропольский, 1971)

$$x \pm 1, 96 \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}},$$

где *X* — среднее значение статистической характеристики; о_х — стандартное отклонение для этой характеристики;

n — количество изученных образдов.

Совершенно очевидно, что доверительные границы статистической характеристики плотности для образцов данного генезиса — более надежное типоморфное свойство, чем ее среднее значение: среднее значение всегда лежит внутри доверительных границ, которые показывают, в какой области находится истинное значение параметра с учетом разброса, получаемого при измерении этого параметра на разных образцах кварца. Современные методы обработки результатов измерений и оценки измеряемого параметра требуют устанавливать не только средние значения с соответствующими погрешностями, но и вероятность, надежность указываемого результата измерений. Доверительные границы с вероятностью 95% — достаточно надежная оценка измеряемых величин.



Фиг. 36. Гистограммы распределения по плотности зерен кварца из образцов кварцевых жил (см. табл. 17, 18)

Условные обозначения и пояснения те же, что на фиг. 33

Проведенные эксперименты позволяют проанализировать статистические характеристики плотности образцов кварца из пород данного генезиса и образцов из пород разного генезиса.

1. Из фиг. 36 и табл. 17 и 18 видно, что имеются два типа жильного кварца: а) жильный кварц I (23 образда), в котором плотность зерен лежит в широких пределах (часто от ~ 2,61 до ~ 2,68 г/см³); это обусловлено в основном газово-жидкими включениями минералообразующей среды и углистыми включениями, а также (в меньшей степени) включениями других минералов (см. разд. А и В), в подавляющем большинстве случаев плотность зерен этих образдов меньше плотности оптически чистого кварца 2,647 г/см³; б) жильный кварц II (обр. 150 и 151), состоящий в ос-



Фиг. 37. Гистограммы распределения по плотности зерен кварца из кварцита (217, 218, 319, 329), пегматита (155, 359, 361), грейзена (148) и шлира кварца в граните (215) (см. табл. 19-21)

Условные обозначения и пояснения те же, что на фиг. 33



Фиг. 38. Усредненные гистограммы распределения по плотности зерен кварца

I — метаморфических пород (37 обр.); II — древних гранитоидов (29 собр.); III — молодых гранитоидов (12 обр.); IV — из кварцевых жил (23 обр.); V оптически чистого жильного (2 обр.); VI — из негматитов (3 обр.); VII — из кварцитов (4 обр.)



Mo , 2/cm³



I — из кварцевых жил; II — молодых гранитоидов; III — древних гранитоидов; IV — метаморфических пород



І — из кварцевых жил; ІІ — молодых гранитоидов; ІІІ — древних гранитоидов; ІV — метаморфических пород



Фиг. 41. Разброс значений стандартного отклонения распределений по плотности зерен кварца

I — из кварцевых жил; II — молодых гранитоидов; III — древних гранитондов; IV — метаморфических пород

Фиг. 42. Разброс значений коэффициента асимметрии распредслений по плотности зерен кварца

I — из кварцевых жил; II — молодых гранитоидов; III — древних гранитоидов; IV — метаморфических пород

новном из оптически чистых зерен, плотности которых лежат в узком интервале (~2,645-2,647 г/см³) вблизи плотности оптически чистого кварца.

2. Анализ исходных гистограмм (см. фиг. 33—36) показывает, что для большинства образцов кварца данного генезиса они сдвигаются в область меньших плотностей при переходе по ряду; метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды — жильный кварц¹. Это легко установить по положению опорного репера 2,647 *г/см*³. Как правило, у образцов кварца из метаморфических пород опорный репер находится примерно в середине гистограмм, а у образцов кварца из кварцевых жил заметно смещен вправо.

3. Средние значения плотности $\rho_{\rm CP}$ и моды распределения Mo (см. фиг. 39 и 40, табл. 22—25 и 27) образцов кварца данного генезиса при переходе по ряду метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды — кварцевые жилы уменьшаются соответственно от 2,6475 и 2,6466 до 2,6383 и 2,6385 г/см³. Это обусловлено в основном включениями в зернах кварца: при переходе по указанному ряду пород

¹ Здесь и далее, когда анализируются изменения того или иного параметра кварца при переходе по этому ряду пород, под жильным кварцем понимаются образцы из кварцевых жил I, содержащих широкий спектр типов зерен (тип «а» в пункте 1).

в среднем концентрация включений минералообразующей среды увеличивается, а включений более тяжелых минералов уменьшается (см. гл. III и разд. В, гл. VI).

Примечательно, что кварц с рср <2,641 г/см³ обнаружен в основном в образцах из кварцевых жил (в 17 из 25) и частично из молодых гранитоидов (в 2 из 12), а в образцах из метаморфических пород и древних гранитоидов (всего 66) кварц с такими малыми значениями средней плотности отсутствует. Более того, во всех исследованных 37 образцах из метаморфических пород не было ни одного образца кварца с $\rho_{cp} < 2,644$ $e/c M^3$. В то же время кварц с $\rho_{pc} > 2,647$ г/см³обнаружен в образцах в основном из метаморфических пород (в 23 из 37) и древних гранитоидов (в 12 из 29). В образцах из кварцевых жил и молодых гранитоидов (всего 35) кварц с такими большими значениями средней плотности отсутствует.

Однако во всех четырех группах пород имеется небольшое количество образцов кварца (23 из 103), для которых значения средних плотностей лежат в одной и той же узкой области плотности (2,644—2,646 г/см³).

Анализ моды распределения исследованных образцов кварца приводит к аналогичной, но в некоторых деталях еще более контрастной картине. Кварц с $Mo < 2,642 \ c/cm^3$ обнаружен в основном в образцах из кварцевых жил (в 18 из 25) и частично — из молодых гранитоидов



Фиг. 43. Разброс значений коэффициента эксцесса распределений по плотности зерен кварца

І — из кварцевых жил; ІІ — молодых гранитовдов; ІІІ — древних гранитовдов; ІV — метаморфических пород

(в. 3 из 12), а в образцах из метаморфических пород и древних гранитоидов (всего 66) кварц с такими малыми значениями моды распределения отсутствует. В то же время кварц с $Mo > 2,647 \ c/cm^3$ обнаружен только в образцах из метаморфических пород (в 17 из 37) и древних гранитоидов (в 7 из 29). Во всех образцах из кварцевых жил и молодых гранитоидов (всего 35) кварц с такими большими значениями моды распределения отсутствует. Бросается в глаза также, что мода распределения у подавляющего количества образцов кварца из метаморфических пород (у 28 из 37) лежит в очень узком интервале плотности (2,645—2,648 c/cm^3). Однако, как и в случае средней плотности, во всех четырех группах пород имеются образцы кварца (58 из 103), мода распределения которых лежит в одной и той же узкой области плотности (2,642—2,647 c/cm^3).

Из табл. 27 видно, что доверительные границы с вероятностью 95% для средних значений плотности образцов кварца данного генезиса при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды молодые гранитоиды — кварцевые жилы не перекрываются. Аналогичная картина наблюдается и для моды распределения. Это означает, что средняя плотность и мода распределения являются типоморфными особенностями кварца указанных четырех групп пород.

Статистические характеристики плотности кварца из разных типов кристаллических пород (по табл. 22—26)

		Статистики распределений					
Типы пород, из которых выде- лялся кварц	Параметры статистик	Средняя плотность, ^р ср ^{г/см³}	Стандарт» ное откло- нение, д, г/см ³	Коэффи- циент асиммет- рии, А	Коэффи- циент эксцесса, К	Мода рас- пределе- ния Мо, г/см ⁸	
Метаморфиче-	Среднее значение	2,6475	0,0046	1,6	8,7	2,6466	
ские породы (37 обр.)	Доверительные гра- ницы с вероятностью 95%	2,6468- 2,6482	0,0041- 0,0051	1,2-2,0	6,6-10,8	2,6461 - 2,6471	
	Стандартное отклоне- ние о	0,0020	0,0015	1,2	6,4	0,0016	
Древние грани-	Среднее значение	2,6458	0,0041	1,4	9,2	2,6455	
тоиды (29 обр.)	Доверительные гра- ницы с вероятностью 95%	2,6450 - 2,6466	0,00 36 — 0,0046	1,0-1,8	6,2-12,2	2,6449 - 2,6461	
	Стандартное откло- нение о	0,0022	0,0014	1,2	8	0,0015	
Молодые гра-	Среднее значение	2,6427	0,0040	0,4	6,2	2,6428	
нитоиды (12 обр.)	Доверительные гра- ницы с вероятностью 95%	2,6415- 2,6439	0,0035-0,0045	От—0,2 до 1,0	4,4-8,0	2,6416 - 2,6440	
	Стандартное откло- нение о	0,0019	0,0008	1	3	0,0020	
Кварцевые жи-	Среднее значение	2,6383	0,0045	0,2	3,2	2,6385	
лы I (23 обр.)	Доверительные гра- ницы с вероятностью 95%	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	0,0040-	От—0,2 до 0,6	2,7-3,7	2,6367 - 2,6403	
	Стандартное отклоне- ние о	0,0037	0,0112	0,9	1,1	0,0040	
Кварцевые жи-	Среднее значение	2,6461	0.0007	_		2,6461	
лы 11 (2 обр.)	Пределы отклонений	2	0,0004— 0,0009		-	2,6456 - 2,6466	
Порматиты	Среднее значение	2 6/38	0.0037	1.0	28	2 6452	
(3 обр.)	Пределы отклонений	2,6433 2,6423 2,6453	0,0032- 0,0040	—1,0 От—3,2 до 0,6	1,3-5,7	2,6438— 2,6473	
Кварпиты	Среднее ,значение	2 6426	0.0041	-0.1	5.1	2 6434	
(4 обр.)	Пределы отклонений	2,6413 - 2,6447	0,0041 0,0037 0,0046	От —0,5 до 0,3	1,6-7,2	2,6419 - 2.6450	

В заключение отметим, что разброс значений ρ_{cp} для разных образцов кварца, выделенных из пород данного генезиса, характеризуемый стандартным отклонением $\sigma_{\rho_{cp}}$, практически идентичен для метаморфических пород, древних гранитоидов и молодых гранитоидов, а для кварцевых жил примерно вдвое больше. То же отмечается и для моды распределения. Указанные детали видны на фиг. З9 и 40. Это значит, что влияние окружающей среды и сопутствующих процессов для жильного кварца значительно сильнее, чем для кварца остальных трех типов пород. Количественно это выразилось в ширине доверительных границ: для жильного кварца она примерно вдвое больше, чем для кварца остальных трех типов пород.

4. Среднее значение стандартного отклонения σ образцов кварца данного генезиса не изменяется в пределах случайных погрешностей измерений при переходе по ряду; метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды — жильный кварц (см. фиг. 41, табл. 22—25, 27). Отметим также, что более 60% исследованных образцов кварца всех четырех групп пород имеют стандартные отклонения, значе-
ния которых лежат в одной и той же узкой области (0,0030-0,0045 г/см³). По этому же ряду пород разброс значений с, т. е. их стандартные отклонения о, также практически не изменяются. Заниженное значение о, для кварца молодых гранитоидов скорее всего обусловлено случайностями малой выборки образпов (всего 12), чем объективной закономерностью. Более того, если по табл. 22-25 и фиг. 41 проанализировать разброс значений о для образцов одного и того же генезиса указанных четырех групп пород, то окажется, что он значительно больше, чем для средних значений о, пород разного генезиса, т. е. разброс значений стандартного отклонения в меньшей стецени зависит от условий образования кварца в породах разного генезиса, чем от окружающей среды и сопутствующих процессов в породах одного и того же генезиса. Видимо, это обусловлено кристаллохимией кварца. Такое положение особенно резко подчеркивается еще и тем, что для исследованных двух образцов жильного кварца (150 и 151), которые состоят из зерен с физическими свойствами, близкими к свойствам оптически чистого кварца, среднее стандартное отклонение (0,0007 г/см³) во много раз меньше, чем для всех других исследованных образцов жильного кварца.

Согласно табл. 27, доверительные границы средних значений стандартных отклонений для кварца при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды — кварцевые жилы почти целиком перекрываются. Таким образом, стандартное отклонение распределения по плотности зерен кварца не является типоморфной особенностью при анализе кварца указанных четырех типов пород.

5. Среднее значение коэффициента асимметрии А образдов кварца данного генезиса уменьшается при переходе по ряду: метаморфические гранитоиды — молодые породы — древние гранитоиды — кварцевые жилы (см. фиг. 42, табл. 22-25 и 27). Причем для первых двух типов пород средние коэффициенты асимметрии практически совпадают в пределах погрешности измерений, а для двух последних они очень близки. Но среднее значение коэффициента асимметрии для кварца метаморфических пород и древних гранитоидов значимо отлично от среднего значения для кварца молодых гранитоидов и жильного. Это различие подчеркивается еще и тем, что в разных типах пород содержится разный процент образцов с отрицательным коэффициентом асимметрии: у кварца метаморфических пород и древних гранитоидов всего 8-10%, а из молодых гранитоидов и кварцевых жил — соответственно 33 и 56%. При этом гистограммы с положительными асимметриями у образцов кварца из метаморфических пород и древних гранитоидов обусловлены в основном большим процентом в них зерен с включениями более тяжелых минералов: гистограммы с отрицательными асимметриями у образцов из кварцевых жил и у кварца молодых гранитоидов обусловлены, в основном, большими включениями минералообразующей среды (см. разд. А и В). Разброс значений коэффициентов асимметрии А, характеризуемый их стандартными отклонениями σ_A , мало меняется при переходе по этому же ряду пород. Большие значения σ_A для всех типов пород, по-видимому, в значительной мере обусловлены и тем, что использованный метод анализа плотностных свойств кварда в зернах позволяет определять коэффициент асимметрии гистограммы распределения лишь грубо $\Delta A/A \not \approx 20\%$ (см. гл. IV). Доверительные границы средних значений коэффициентов асимметрии для кварца метаморфических пород и древних гранитоидов перекрываются практически целиком, а для кварца молодых гранитоидов и жильного — лишь частично. Однако общие доверительные границы коэффициента асимметрии для кварца метаморфических пород и древних гранитоидов (1,0-2,0) не перекрываются с доверительными границами для кварца молодых гранитоидов (от -0.2 до 1.0) и жильного (от -0.2 до 0.6).

Таким образом, коэффициент асимметрии распределения по плотности зерен кварца может являться характерной особенностью для отличия

в основном кварца метаморфических пород и древних гранитоидов от кварца молодых гранитоидов и жильного.

6. Среднее значение коэффициента эксцесса К для кварца метаморфических пород и древних гранитоидов одинаково в пределах погрешности измерений, но уменьшается для кварца молодых гранитоидов и жильного (см. фиг. 43, табл. 22-25 и 27). Аналогично стандартное отклонение ок коэффициента эксцесса К для кварца метаморфических пород и древних гранитоидов достаточно близко, но существенно уменьшается для кварца молодых гранитоидов и особенно жильного. Доверительные границы коэффициентов эксцесса для кварца метаморфических пород и древних гранитоидов перекрываются полностью, но их общие доверительные границы (6,2—12,2) и доверительные границы для кварца молодых гранитоидов (4,4-8,0) верекрываются лишь частично. Доверительные границы для жильного кварца (2,7—3,7) и для кварца остальных трех типов пород не перекрываются. Таким образом, коэффициент эксцесса распределения по плотности зерен кварца может являться характерной особенностью для отличия жильного кварца от кварца остальных трех типов пород. Большие погрешности измерений коэффициента эксдесса К в использованной нами методике ($\Delta K/K \approx 30\%$) не позволяют получить более полную информацию о различии этого параметра плотности кварца разных типов пород. Это в значительной мере обусловило и большие значения стандартного отклонения ок для коэффициента К.

ЧАСТОТЫ И ГРАДИЕНТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Анализ результатов экспериментов показывает, что специфическими особенностями кварца из пород данного генезиса с точки зрения плотности помимо гистограмм распределений и соответствующих статистических характеристик является также ряд отдельных характерных деталей распределения: частоты в разных интервалах или в разных областях плотности, а также производные кривой распределения в отдельных интервалах плотности. Как уже указывалось и будет более подробно рассмотрено в разделе В настоящей главы, зерна кварца в данной фракции с узким интервалом плотности отличаются такой приуроченностью к шкале плотности в основном за счет либо определенной концентрации включений минералообразующей среды (более легких, чем оптически чистый кварц), либо определенной концентрации данного типа включений минералов (более тяжелых, чем оптически чистый кварц), либо оптически чистых зерен или небольших концентраций того и (или) другого типа включений (зерна с плотностью, близкой к плотности оптически чистого кварца). Поэтому характерные черты породы данного генезиса могут отражать не только физические свойства всех зерен образда кварда, но часто и разных типов зерен кварца из этого образца, как правило, приуроченных к определенным интервалам или областям плотности. Это относится к частотам и произволным кривой распределения в разных областях плотности (физическое обоснование этого положения см. в разд. В).

Из табл. 14—17 и фиг. 38 видно, что с увеличением плотности усредненные частоты в узких интервалах плотности для образцов кварца из пород данного генезиса изменяются различно при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды кварцевые жилы. Для этого ряда пород легко установить характерные особенности частот.

В области плотности 2,600—2,610 г/см³ имеется очень небольшой процент (<0,01) зерен кварца лишь в образцах из кварцевых жил; в кварце из пород другого генезиса таких легких зерен не обнаружено. В интервале плотности 2,610—2,615 г/см³ частоты во всех типах пород очень малы (<0,01%). В интервале плотности 2,615—2,620 г/см³ частоты для кварца первых трех типов пород также очень малы и практически одинаковы (~0.01%), а для жильного кварца существенно больше (~0.25%). Примерно аналогичная картина наблюдается и в интервале плотности 2.620-2,625 г/см³: для первых трех типов пород частоты малы (0,01-0,06%) и практически близки, а для жильного кварца гораздо больше (~1,4%). Иное положение уже в интервале плотности 2,625-2,630 г/см³: для кварпа метаморфических пород и древних гранитоидов частоты также малы и мало отличны (0,08 и 0,06%), но при переходе к кварцу молодых гранитоидов и жильному кварцу они резко увеличиваются (соответственно ~ 0,6 и ~ 5,9%). В области плотности 2,630-2,640 г/см³ частоты растут при переходе по указанным четырем типам пород: в интервале 2.630-2,635 г/см³ от ~ 0,4 до ~17%, а в интервале 2,635—2,640 г/см³ — от ~ 3 до ~ 32%. От интервала 2,640—2,645 г/см³ до интервала 2,645— 2.650 г/см³ вышеуказанная закономерность изменяется на прямо противоположную, так как именно в этой области концентрация включений минералообразующей среды существенно уменьшается, а включений более тяжелых минералов увеличивается (см. разд. В). В интервале плотности 2,640-2,645 г/см³ частота при переходе от метаморфических пород к древним И молодым гранитоидам увеличивается от ~23 до ~43%, а при переходе к жильному кварцу уменьшается до ~ 31%. В области плотности 2,645—2,670 г/см³ при переходе по указанным четырем типам пород частоты в каждом интервале уменьшаются: 2,645—2,650 г/см³ — от ~ 53 до ~ 12%, 2,650—2,655 e/cm^3 — or ~ 12,3 go ~ 0,7%, 2,655—2,660 e/cm^3 — or ~ 3,5 go ~ 0,2%, 2,660-2,665 г/см³ - от ~ 1,8 до ~ 0,1%, 2,665-2,670 г/см³ - от ~ 0,9 до ~ 0,05%. В области плотности >2,670 г/см³ частоты в каждом интервале становятся настолько малыми, что отличия между ними для разных типов пород оказываются сопоставимыми или даже меньше соответствующих доверительных границ.

Остановимся кратко на производной кривой распределения зерен кварца по плотности. Между смежными интервалами эту характеристику плотности в первом приближении можно оденить по разности частот. Как видно из табл. 14—17 и фиг. 38, при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды — кварцевые жилы наибольшие отличия между разностями частот в смежных интервадах имеют место в области плотности 2,640-2,655 г/см³, т. е. там, где в зернах кварца наиболее резко уменьшается концентрация включений минералообразующей среды и увеличивается концентрация включений более тяжелых минералов (см. разд. В). Разность частот между интервалами 2,645—2,650 и 2,640—2,645 *г/см*³ для кварца при переходе от метаморфических пород к древним гранитоидам остается положительной, но уменьшается от ~ 31 до $\sim 16\%$ на $0,005 \ e/cm^3$, в то время как при переходе к кварцу из молодых гранитоидов и кварцевых жил она становится отрицательной и также уменьшается примерно от—15 до—18% на 0,005 г/см³. Разность частот между интервалами 2,650-2,655 и 2,645-2,650 г/см³ для всех пород отрицательная, но существенно увеличивается при переходе по указанному ряду пород (от -41 для метаморфических пород до —12% на 0,005 г/см³ для кварцевых жил). Отличия производных кривых распределения зерен кварца по плотности при переходе по указанному ряду пород имеют место и в других областях плотности, но они менее выразительны.

СРАВНЕНИЕ С ЛИТЕРАТУРНЫМИ ДАННЫМИ

Согласно литературным данным, плотность наиболее чистых разностей кварца лежит в пределах 2,65 ± 0,01 г/см³ (Трегер, 1958). Аналив гистограмм (фиг. 33—37) и средней плотности (табл. 22—26) показывает, что плотность подавляющей части зерен исследованных эталонных образцов кварца действительно лежит в этих пределах и лишь небольшая часть зерен — в несколько более широких пределах (~2,63—2,67 г/см³). Та же часть зерен, которая имеет плотности < 2,63 и > 2,67 г/см³, составляет уже ничтожный процент. Так что результаты наших экспериментов целиком подтверждают литературные данные, поскольку в других лабораториях измеряли лишь средние значения плотности данного образца и в подавляющем большинство случаев старыми методами с погрешностью ±0.01 г/см³. Случайные ошибки наших измерений средней плотности были $\approx 0.0005 \ s/cm^3$. Соответственно мы получили гораздо большую информацию о плотности кварца,— важном физическом параметре минералов, — чем это было известно из справочной минералогической литературы. Более того, используя новую методику, — гравитационную градиентную трубку, — мы определяли для каждого образца кварца гистограмму распределения зерен по плотности, которая позволяет определять все статистические характеристики, а не только среднюю плотность. В литературе нет описаний результатов такого типа экспериментов и остальные исследованные статистические характеристики плотности кварца не с чем сравнивать.

По последнему, наиболее полному справочному руководству по физическим свойствам минералов и пород (Кларк, 1969), плотность оптически чистого кварца при 20° С 2,648 г/см³. Полагая погрешность равной единице в последнем знаке и учитывая, что калибровка нашего опорного репера из оптически чистого кварца показала, что плотность его при 20° С оказалась равной 2,677 г/см³, можно считать, что и абсолютные значения плотности других использованных реперов также совпадают с литературными данными в пределах возможной систематической ошибки ±0,001 г/см³.

В ряде случаев приводятся значения плотности (или удельного веса) кварца до четвертого и пятого знака после запятой (см. Дэна и др., 1966). Но идеальных кристаллов в природе нет. Такие точные цифры характеризуют не свойства природного кварца вообще, а скорее свойства исследованных образцов с присущими им изоморфными и неструктурными примесями и другими дефектами структуры (Гусева и др., 1964).

В. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЗЕРНАХ КВАРЦА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Ранее (см. гл. III) приводились результаты статистического изучения включений минералов и минералообразующей среды в зернах кварпа эталонной коллекции образцов, выделенных из кристаллических горных пород разного генезиса. При этом детальный количественный анализ включений проводился на исходных образдах кварда. Однако хорощо известно (Кац, 1966), что те или иные включения в зернах кварца часто обусловливают характерную приуроченность их к шкале плотности: они содержатся в зернах лишь определенных плотностных фракций. Это целиком подтвердили и результаты описываемых экспериментов. Поэтому точность микроскопического анализа включений в зернах кварпа повышается на один-два порядка, если анализировать не исходный образец, а его фракции после детального разделения по плотности: определенные примеси или редкие зерна с характерными включениями, как правило, находятся в одной-двух плотностных фракциях, где концентрация их часто уже на один-два порядка больше (см. гл. IV). Учитывая это, мы предполагали провести количественный микроскопический анализ включений во всех выделенных плотностных фракциях из каждого исследованного образца кварца эталонной коллекции. Однако, исходя из задачи исследования, а также из-за большой трудоемкости (в 115 исследованных образцах кварца оказалось более 1500 фракций), обычный количественный анализ был заменен следующими оценками: 1) количесто образцов, в которых микроскопическим анализом установлено наличие данного типа включений в зернах кварца заданного интервала плотности; 2) индекс, пропорциональный проценту от объема кварца во фракции заданного интервала плотности, занятого данным включением; 3) индекс, пропорциональный проценту от объема образца кварца, занятого данным включением. Последние два параметра определялись полуколичественным методом анализа¹. Метод использован для анализа относительных изменений процента объема зерен кварца, занятого каждым включением, с изменением плотности природных зерен кварца образцов из пород разного генезиса.

полуколичественный метод анализа

Как уже указывалось, выделенные плотностные фракции из образца кварца подвергали микроскопическому анализу. При этом количественно определялся только процент кварда во фракции (эти цифры использованы при анализе плотностных свойств кварца). А различные включения в зернах кварца данной фракции лишь оденивались полуколичественно по шестибалльной системе.

В кварце всех исследованных пород имеются зерна легче оптически чистого кварца за счет включений минералообразующей среды и тяжелее за счет включений более тяжелых минералов. Однако спектр по шкале плотности разных типов зерен в каждом данном образце очень ограничен: гистограмма его простирается лишь в пределах нескольких сотых в меньшую или большую сторону от плотности оптически чистого кварца.

Качественно все типы зерен, имеющих разное количество данного включения, делились на шесть градаций:

- 1) включений нет (индекс 0);
- 2) очень малое содержание включений (0,01);
- 3) малое содержание включений (0,03);

4) среднее содержание включений (0,1); 5) большое содержание включений (0,3);

6) очень большое содержание включений (1).

Исходя из плотности оптически чистого кварца и каждого из включений, а также экспериментальных данных о плотности всех исследованных образцов кварца из пород разного генезиса, можно оценить, какой процент от объема кварца должен быть занят тем или иным включением в зернах, в которых очень большое содержание включений, т. е. по нашей градации с индексом 1.

Для массы и объема зерна очевидны равенства

$$\rho v = \rho_{\rm K} v_{\rm K} + \rho_{\rm BK} v_{\rm BK}, \qquad v = v_{\rm K} + v_{\rm BK},$$

где р, рв, рвк — плотность соответственно данного зерна кварца, оптически чистого кварца и включения; v, v_к, v_{вк} — объем соответственно того же зерна кварца, оптически чистого кварца и включения. Исключив из этих равенств v_к, получим

$$\frac{\frac{v_{\mathsf{вк}}}{v}}{\frac{v_{\mathsf{вк}}}{v}} = \frac{\rho_{\mathsf{r}} - \rho_{\mathsf{в}}}{\rho_{\mathsf{r}} - \rho_{\mathsf{в}}} \quad \text{при} \quad \rho_{\mathsf{в}\mathsf{r}} < \rho_{\mathsf{r}};$$
$$\frac{\frac{v_{\mathsf{в}\mathsf{r}}}{v}}{\frac{v_{\mathsf{в}\mathsf{r}}}{v}} = \frac{\rho - \rho_{\mathsf{r}}}{\rho_{\mathsf{в}\mathsf{r}} - \rho_{\mathsf{r}}} \quad \text{при} \quad \rho_{\mathsf{в}\mathsf{r}} > \rho_{\mathsf{r}}.$$

¹ По-видимому, точно количественно определить два последних параметра весьма сложно не только из-за большого объема работы. Все исследованные включения в зернах кварца достаточно хорошо идентифицированы. Однако указать процент объема зерен, занятого включением, непросто. Соотношение жидкости и газа в минералообразующей среде может быть различно. Форма минеральных включений неправильная. Каждому включению минерала в принципе может сопутствовать и какой-то микроскопически нефиксируемый газовый объем. Да и физические свойства минералов варьируют в каких-то пределах, в частности и их плотности. Так что при современной технике эксперимента указанные два параметра можно только оценить тем или иным полуколичественным методом.

Воспользуемся этими равенствами для наших оценок. В основном плотность наиболее легких зерен кварца ~ 2,620 г/см³, а наиболее тяжелых ~ 2,675 г/см³, плотность оптически чистого кварца 2,647 г/см³ (табл. 14—21, фиг. 33—37, гл. VI, разд. Б). В обоих случаях разность плотности по отношению к оптически чистому кварцу ~ 0,027 г/см³.

Включения минералообразующей среды состоят из насыщенной жидкости (плотность ~ 1 г/см³) и газа. Плотность газа вдали от критической точки на два порядка меньше плотности жидкости. Рассмотрим оба крайних случая:

а) включения минералообразующей среды состоят только из жидкости. Тогда очевидно

$$\frac{v_{\rm BK}}{v} = \frac{\rho_{\rm K} - \rho}{\rho_{\rm K} - \rho_{\rm BK}} \cong \frac{0.027}{1.65} \sim 1.6 \%;$$

б) включения минералообразующей среды состоят только из газа. Тогда очевидно ρ_{вк} ~ 0,

$$\frac{v_{\rm BK}}{v} = \frac{\rho_{\rm K} - \rho}{\rho_{\rm K} - \rho_{\rm BK}} \simeq \frac{0.027}{2.65} \sim 1 \%$$

В среднем можно принять $v_{\rm BK}/v \simeq 1,3\%$. Возможные пределы изменения этой оценки очень небольшие. Если предположить, к примеру, что ~5% от объема зерна занято включениями минералообразующей среды, то плотность зерна окажется ~ 2,52— ~ 2,57 г/см³. Такого легкого кварца в природе нет. Таким образом, принятый нами для градации «очень большое содержание включений» индекс 1 близок к проценту от объема такого типа кварца, занятого включениями минералообразующей среды.

Оценим теперь для каждого более тяжелого, чем кварц, минерального гключения, какой процент объема кварца должен быть занят им в тех зернах, которые относятся к градации «очень большое содержание включений».

В табл. 28 для разных минералов приведены значения средней плотности ($\rho_{\rm BK}$) по литературным данным, разность между плотностью включения и плотностью оптически чистого кварца $\rho_{\rm BK} - \rho_{\rm K}$ и отношение объема включения к объему зерна $v_{\rm BK}$: v, рассчитанные по вышеприве-

Таблица

Минерал	Плотность, Р _{ВК} , г/см ³	Разность плотностей Р _{ВК} — Р _К , г/см ³	Отношение объемов включения и зерна v _{BK} : v, %
Мусковит	~2,9	~0.253	~10
Биотит	~2,9	~0,253	~10
Апатит	~3,2	~0,55	~4,9
Роговая обманка и акти- нолит	~3,2	~0,55	~4,9
Эпидот	~3,45	~0,80	~3,4
Сфен	~3,5	~0,85	~3,2
Силлиманит и дистен	~3,5	0,85	~3,2
Гранат	~3,9	~1,25	~2,2
Рутил	~4,25	~1,60	~1,7
Циркон	~4,7	~2,05	~1.3
Рудные	~7	~4,35	~0,6

Оценка про	цента объе	ма наиболее	тяжелых	зерен	кварца,	занятого
более	тяжелыми	, чем кварц	, минерали	ными	включени	ями

денной формуле. Для этих оценок в качестве разности между плотностью наиболее тяжелого зерна и плотностью оптически чистого кварца принято $\rho - \rho_{\kappa} \simeq 0,027 \ c/cm^3$. Как видно из табл. 28, для ряда более тяжелых минералов-включений рассчитанные проценты также близки к единице, ло по мере уменьшения плотности минерала они увеличиваются и для самых «легких» минералов (мусковит, биотит) становятся на порядок больше соответствующего индекса 1. Все результаты микроскопических анализов включений рассчитаны в индексах. Приведенные в табл. 28 оценки значения отношений объема включений к объему зерна кварца $v_{\rm BK}$: v каждого тяжелого минерального включения являются по существу переходными коэффициентами: на эти числа следует умножить каждый найденный в экспериментах индекс для перехода к соответствующему проценту от объема кварца, занятого данным включением.

Теперь оценим самый малый индекс 0,01 для этих же включений. Мы исследовали размерную фракцию 0,2—0,25 мм. Объем зерен ~ 0,01 мм³. Если в зерне имеется одно включение с линейным размером ~ 0,01 мм, то отношение объема включения к объему зерна

 $\frac{0,000001}{0,01} = 0,0001$, или 0,01 % .

Но в действительности единичного газово-жидкого включения минералообразующей среды никогда не бывает: они бывают лишь сериями. Включения минералов бывают и сериями и единичными. В то же время при микроскопическом анализе определяют включения с линейными размерами ~ 0,01 мм и несколько менее. Но при больших увеличениях можно и не зафиксировать всех включений. В целом 0,01%, видимо, больше всего соответствует индексу 0,01, которым оценивают наименьшие содержания включений в зернах кварца, которые позволяют зафиксировать чувствительность микроскопического метода. Вообще же этот самый малый индекс не может привести к большим ошибкам в оценке общего содержания данного типа включений в кварце.

Выше оценены наибольший (1) и наименьший (0,01) индексы в процентах от объема зерен кварца, занятого данными включениями. Для промежуточных индексов (0,3; 0,1; 0,03) соответствующих оценок у нас нет. Поэтому естественно принять наиболее простое предположение: каждый следующий более низкий (или более высокий) индекс соответствует примерно втрое меньшему (или большему) проценту объема кварца, занятого данным включением. Предполагается также, что при анализе разных включений была одна и та же точность определения индекса, характеризующего градацию содержания включений, и что коэффициент пропорциональности между любым индексом для каждого включения и соответствующим процентом от объема кварца, занятого данным включением, будет такой же, как и для индекса 1, рассчитанного для градации «очень большое содержание включений».

Мы отдаем себе отчет в том, что в таком полуколичественном методе могут быть и некоторые элементы субъективизма и некоторые неточности. В частности, в природе имеется не шесть градаций соответствующих процентов, а весь спектр; в ряде случаев возможно вместо необходимого зафиксировать с равной вероятностью либо больший, либо меньший, но смежный индекс; могут быть неточности, связанные с идентификацией разных минеральных включений и т. п. Но, поскольку практически все полуколичественные оценки легли на достаточно плавные кривые (их более 60), то, по-видимому, в них нет резких случайных ошибок. Описанный метод анализа использован для решения вполне определенной задачи, причем получаемые при этом выводы целиком коррелируются с результатами исследования плотностных свойств тех же образцов кварца с помощью принципиально другой методики (см. разд. Б).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Рассмотрим результаты полуколичественных оценок включений в зернах кварца из кристаллических пород. Из исходных экспериментальных данных (см. разд. А) для каждой плотностной фракции исследованных образцов была сделана: 1) оценка полуколичественным методом индекса, пропорционального проценту от объема зерен кварца в данной плотностной фракции, занятого рассматриваемым включением; 2) оценка индекса, пропорционального проценту от объема кварца в данном образце, занятого рассматриваемым включением. Вторая оценка получена из первой путем перемножения на частоты соответствующей гистограммы распределения зерен по плотности (см. разд. Б)¹. Результаты оценок для всех исследованных образцов сведены в 35 таблиц объемом более четырех печатных листов. Мы приводим для иллюстрации метода расчета лишь две из них (табл. 29 и 30)². Из таблиц были рассчитаны распределения

Таблица 29

THOTHOGTH 2/CM3	Номер образда								
	121		1	134		136		143	
2,615-2,620	_	_	0.3	0.00006	-	-	_	_	
2,620-2,625	0,3	0,00006	0,3	0,0002	_		_	_	
2,625-2,630	0,3	0,00006	0,3	0,003	-	-	_	_	
2,630-2,635	0,3	0,0005	0,3	0,02	0,3	0,01	i		
2,635-2,640	0,1	0,001	0,1	0,04	0,3	0,01	0,3	0,004	
2,640-2,645	0,03	0,01	0,1	0,05	0,3	0,1	0,3	0,1	
2,645-2,650	0,03	0,02	0,03	0,001	0,1	0,05	0,1	0,05	
2,650-2,655	0,03	0,004	0,03	0,0001	0,03	0,0001	0,03	0,001	
2,655 - 2,660	0,03	0,0007	0,03	0,00003	0,03	0,00003	0,03	0,001	
2,660 - 2,665	0,03	0,0002	0,03	0,00002	0,03	0,00003	0,03	0,0006	
2,665-2,670		·		-	_	_	0,03	0,0003	
2,670-2,675	-	<u>⊷</u>		-	—		0,03	0,0002	
2,675-2,680	-	_	-		—		0,03	0,0002	
2,680-2,685		—		-		-	0,03	0,0001	

Распределение ВМС в зернах кварца разной плотности молодых гранитондов

Таблица 29 (продолжение)

	Номер образца								
	145			146		158		167	
2,615-2,620	_			-				_	
2,620-2,625	_			-	0,3	0,0003	0,3	0,0003	
2,625-2,630		-			0,3	0,0009	0,3	0,0003	
2,630-2,635	1	0,009	0,3	0,0002	0,3	0,002	0,3	0,001	
2,635-2,640	0,3	0,03	0,3	0,02	0,3	0,01	0,3	0,007	
2,640-2,645	0,3	0,2	0,1	0,05	0,1	0,02	0,3	0,07	
2,645-2,650	0,1	0,03	0,1	0,04	0,03	0,02	0,1	0,07	
2,650-2,655	0,1	0,002	0,03	0,0003	0,03	0,0004	0,03	0,0009	
2,655 - 2,660	0,1	0,0007	0,03	0,0001	0,03	0,0001	0,03	0,0003	
2,660 - 2,665	0,03	0,00005	0,03	0,00007	0,01	0,00001	0,03	0,00008	
2,665-2,670	0,03	0,00003	0,03	0,00007	0,01	0,00004			
2,670-2,675	0,03	0,00001	0,03	0,00002	0,01	0,00001	-		
2,675-2,680	0,03	0,00002	-		-	-	_	-	
2,680-2,685	0,03	0,00001	—	-		-		-	

¹ При этих оценках поправка на положение репера не учитывалась, а все числа округлялись до первого значащего знака.

^а Аналогичные таблицы для всех рассчитанных оценок хранятся в лаборатории минералогии осадочных пород Геологического института АН СССР.

TTOTHOCTS 2'CH	Номер образца									
HHOTHOETH, E, CM		338		341		344		346		
2,615-2,620	_			_	-					
2,620-2,625			_	_	_	-	_	_		
2,625 - 2,630	_	-	0,1	0,0001			_	—		
2,630-2,635	0,3	0,00006	0,1	0,0002	0,3	0,001	0,3	0,0004		
2,635 - 2,640	0,3	0,005	0,1	0,002	0,3	0,02	0,1	0,002		
2,640-2,645	0,3	0,09	0,1	0,03	0,1	0,04	0,1	0,03		
2,645 - 2,650	0,1	0,07	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02		
2,650-2,655	0,03	0,0004	0,03	0,00003	0,03	0,0002	0,03	0,0003		
2,655-2,660	0,03	0,0002	0,03	0,0004	0,03	0,0002	0,03	0,00008		
2,660 - 2,665	0,03	0,00009	0,03	0,0003	0,03	0,00005	0,03	0,00007		
2,665-2,670	0,03	0,00004	0,03	0,0001	0,03	0,00003	0,03	0,00005		
2,670-2,675	—	_	—	-	_	_	-	 .		
2,675 - 2,680		-		_		-		-		
2,680-2,685		_		-	_	_		-		

Таблица 30

Распределение включений биотита в зернах кварца разной плотности молодых гранитоидов

Плотность.	Номер образца									
г/см ³ 121		124	134		145		146		158	
2,640-2,645	_	_	_	_	_	_		_		_
2,645-2,650	_		0,01	0,0003	0,01	0,003	0,01	0,004		
2,650-2,655	-	-	<u> </u>		0,01	0,0002	<u> </u>	·	0,03	0,0004
2,655-2,660	0,03	0,0007			0,03	0,0002	-	-	0,03	0,0001
2,660-2,665	0,1	0,0007	-		0,1	0,0002	- 1	_	0,1	0,0001
2,665-2,670						-	—	—	0,1	0,0004
2,670-2,675		_			- 1	-	-	_	0,1	0,0001

Таблица 30 (окончание)

Плотность	Номер образца									
11.107ноств, г/см ³ 167		338		341		344		346		
2,640-2,645				_	0.01	0,003				
2,645 - 2,650	_			—	0,03	0,02	0,01	0,005	_	-
2,650-2,655	—	_	0,03	0,0004	0,1	0,0001	0,03	0,0002	0,1	0,001
2,655-2,660	-	_	0,1	0,0005	0,1	0,001	0,1	0,0006	0,1	0,0003
2,660 - 2,665	0,3	0,0008	0,1	0,0003	0,3	0,003	0,3	0,0005	0,1	0,0002
2,665-2,670	—		0,1	0,0001	0,3	0,001	0,3	0,0003		
2,670-2,675				_	-		-	_	- 1	
]		1		1			

В обр. 136 и 143 включений биотита не обнаружено.

усредненных содержаний рассматриваемого включения в кварце по всем образцам из пород данного генезиса (табл. 31—41, фиг. 44—56). Для каждого интервала плотности приводятся четыре характеристики.

1. Число образцов, в которых обнаружены зерна кварца с данным включением. Как правило, эти числа образуют одномодальное распределение по плотности, отражая приуроченность зерен кварца с определенными включениями к шкале плотности. 2. Индекс, пропорциональный среднему проценту от объема зерен кварца в данном интервале плотности, занятого этим включением (по полуколичественной оценке), в расчете на те образцы, в которых обнаружены зерна с такими включениями. Как правило, в каждом случае с увеличением плотности они либо монотонно уменьшаются (для *BMC*, которая легче кварца), либо монотонно увеличиваются (для включений более тяжелых, чем кварц, минералов).

Таким образом, в основном за счет *BMC* зерна кварца становятся легче, чем оптически чистый (2,647 г/см³), и в степени тем большей, чем больше концентрация *BMC*. Аналогично за счет включений более тяжелых минералов зерна кварца становятся тяжелее, чем оптически чистые. Исключение составляют лишь те числа в таблицах, которые получились при усреднении по малому числу образцов (≈3).

3. То же, что и в предыдущем пункте, но в расчете на все исследованные образцы данного генезиса (4-я графа). В каждом случае эти числа образуют одномодальные распределения по плотности (см. также фиг. 44-56). Для ВМС правые ветви кривых распределений показывают, что в определенной области с увеличением плотности зерен кварца концентрация ВМС, как правило, уменьшается. Левые ветви кривых распределений ВМС обусловлены тем, что в определенной области с уменьшением плотности уменьшается число образпов, в которых имеются такие легкие зерна за счет ВМС, т. е. уменьшается вероятность образования зерен кварца с достаточно большим содержанием ВМС. Аналогично для всех включений минералов более тяжелых, чем кварц, левые ветви кривых показывают, что в определенной области с увеличением плотности зерен кварца концентрация рассматриваемого включения, как правило, увеличивается. Правые же ветви этих кривых обусловлены тем, что в определенной области с увеличением плотности уменьшается число образцов, в которых имеются такие тяжелые зерна кварца за счет включений более тяжелого минерала, т. е. уменьшается вероятность образования зерен кварца с большой концентрацией включений более тяжелого минерала.

4. В последних графах таблиц для каждого интервала плотности приводятся индексы, пропорциональные среднему проценту от всего объема кварца, занятого данным включением, в расчете на все исследованные образцы. Во всех случаях эти числа также образуют одномодальные распределения по плотности (см. также фиг. 44—56).

АНАЛИЗ ВКЛЮЧЕНИЙ

Проведем анализ специфических черт включений в зернах кварца, выделенных из порд разного генезиса. При этом остановимся на следующих параметрах: 1) наличие рассматриваемого включения; 2) индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в каком-либо интервале плотности, занятого этим включением; 3) индекс, пропорциональный среднему проценту от всего объема кварца в образце, занятого данным включением.

ВКЛЮЧЕНИЯ] МИНЕРАЛООБРАЗУЮЩЕЙ СРЕДЫ (табл. 31, фиг. 44)

При анализе *BMC* в зернах кварца разных плотностных фракций полуколичественной методикой фиксировался лишь индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого *BMC*, без учета разных их типов (см. гл. III). Из фиг. 44, а видно, что *BMC* в зернах кварца рассматриваемых пород имеются практически во всем диапазоне шкалы плотности (от 2,615 до 2,685 г/см³), причем различия для пород разного генезиса малы и не превышают ~ 0,01 г/см³; в области от ~ 2,635 до ~ 2,665 г/см³ практически во всех исследованных образцах из метаморфических пород, древних и молодых гранитоидов имеются зерна с *BMC*. Аналогичный интервал для жильного кварца от ~ 2,625 до ~ 2,665 *г/см*³.

Полуколичественный анализ (см. фиг. 44, б) показывает, что каждая кривая лежит в пределах соответствующей кривой на фиг. 44, а, но существенно уже, так как учитывается не просто наличие ВМС, а процент от объема кварца, занятого ими ¹. При этом четко выявились различия между кварцами из пород разного генезиса. При переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды кварцевые жилы максимум кривой сдвигается в область меньших плотностей (при ~ 2,649; ~ 2,648; ~ 2,643 и ~ 2,638 г/см³); основное количество ВМС находится в зернах кварда с плотностью в интервалах соответственно ~ 2,638-2,653; ~ 2,633-2,653; ~ 2,630-2,653 и ~ 2,623-2,650 г/см³, т. е. со стороны больших плотностей эта граница лежит практически в одном месте, а для меньших плотностей существенно уменьтается; индекс, пропорциональный проценту объема кварца, занятого ВМС, определяемый площадью под кривой, резко увеличивается: ~ 0,03; $\sim 0.08; \sim 0.13$ и ~ 0.26 . Другая в количественном отношении, но в принципе близкая картина наблюдается, если рассматривать средний процент от объема зерен кварца в данном интервале плотности, занятого





Фиг. 44. Распределение ВМС в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружены ВМС; 6 — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого ВМС; е — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности занятого ВМС. 1 — кварц метаморфических пород; 2 кварц древних гранитоидов; 3 — кварц молодых гранитоидов; 4 — кварц из образцов кварцевых жил

¹ Это замечание справедливо и для кривых на фиг. 45-56.

Таблица 31

Распределение усредненных содержаний ВМС в зернах кварца разной плотности

Плотнооть з'ена	Число образцов, в которых обна- ружены зерна	Индекс, пропорл нему дроценту о в данном интер занятого <i>BMC</i> (по оце	циональный сред- от объема кварца эвале плотности, элуколичественная нка)	Индекс, пропорциональ- ный среднему проценту от объема кварца, заня- того <i>BMC</i> , в расчете на	
11301n 0015, 2/0m ⁻	кварца, с ВМС в данном интервале плотности	в расчете на об- разцы, в которых обнаружены ВМС	в расчете на ис- следованные об- разцы данного генезиса	исследованные образцы данного генезиса (полу- количественная оценка)	
	Кварц м	ета морфических	пород (37 обр.)		
2,620-2,625	2	0,03	0,002	0,00001	
2,625 - 2,630	11	0,13	0,04	0,00004	
2,630-2,635	14	0,13	0,05	0,0002	
2,635-2,640	35	0,15	0,14	0,001	
2,640 - 2,645	37	0,06	0,06	0,007	
2,645 - 2,650	37	0,03	0,03	0,018	
2,650-2,655	37	0,03	0,03	0,003	
2,655-2,660	37	0,02	0,02	0,0008	
2,660-2,665	37	0,02	0,02	0,0004	
2,665-2,670	32	0,02	0,017	0,0002	
2,670-2,675	25	0,02	0,014	0,0001	
2,675-2,680	11	0,02	0,008	0,0004	
2,680-2,685	2	0,02	0,001	0,0001	
		J	Сумма	~0,03	
	Ke	варц древних гра	нитоидов (29 о б	<i>[p.</i>]	
2,615-2,620	j 1	1	0,03	j 0,00001	
2,620-2,625	2	0,3	0,02	0,00002	
2,625-2,630	3	0,3	0,03	0,00006	
2,630-2,635	14	0,3	0,15	0,0003	
2,635-2,640	27	0,26	0,24	0,005	
2,640 - 2,645	29	0,17	0,17	0,032	
2,645 - 2,650	29	0,06	0,06	0,04	
2,650-2,655	29	0,04	0,04	0,003	
2,655-2,660	29	0,03	0,03	0,0008	
2,660-2,665	28	0,03	0,03	0,0003	
2,665-2,670		0,03	0,02	0,0001	
2,070-2,075	15	0,03	0,015	0,00006	
2,073-2,080	10	0,03	0,01	0,00004	
2,685-2,690	2	0,03	0,003	0,00002	
			Сумма	~0,08	
	Ква	। рц молодых гран	। чи тоид ов (12 обр	.)	
2,6152,620	1	0,3	0,03	0,00001	
2,620-2,625	4	0,3	0,1	0,00012	
2,625-2,630	5	0,3	0,15	0,0003	
2,630-2,635	11	0,34	0,31	0,004	
2,635-2,640	12	0,25	0,25	0,012	
2,640 - 2,645	12	0,2	0,2	0,067	

	Число образцов, в которых обна-	Индекс, пропорш нему проценту от данном интервале того <i>BMC</i> (пол оцен	иональный сред- объема кварца в плотности, заня- уколичественная ика)	Индекс, процорциональ- ный среднему проценту от объема кварда, завя-	
Плотность, г/см3	ружены зер- на кварца с ВМС В данном интер- вале плотности	в расчете на об- разцы, в которых обнаружены ВМС	в расчете на ис- следованные об- разцы данного генезиса	того Вмс, в расчете на исследованные образцы данного генезиса (полу- количественная оценка)	
2 645-2 650	12	0.08	0.08	0,034	
2,650-2,655	12	0.04	0.04	0,001	
2,655-2,660	12	0.04	0,04	0,0003	
2,660 - 2,665	12	0,03	0,03	0,0001	
2,665-2,670	8	0,03	0,02	0,00006	
2,670-2,675	4	0,03	0,01	0,00002	
2,675-2,680	2	0,03	0,005	0,00002	
2,680-2,685	2	0,03	0,005	0,00001	
			Сумма	~0,13	
	Кварц и	• 18 обравцов квар	цевых жил (23 о	бр.)	
2,605-2,610	1 1	1 1	0.04	0.00001	
2.610-2.615	4	0.7	0.12	0,0001	
2,615-2,620	8	0,7	0.24	0,0007	
2,620-2,625	15	0,7	0,46	0,0025	
2,625-2,630	19	0,54	0,45	0,016	
2,630-2,635	22	0,47	0,45	0,073	
2,635-2,640	23	0,31	0,31	0,096	
2,640 - 2,645	23	0,18	0,18	0,065	
2,645 - 2,650	22	0,07	0,07	0,011	
2,650 - 2,655	21	0,04	0,04	0,0003	
2,655-2,660	17	0,04	0,03	0,0001	
2,660-2,665	10	0,04	0,02	0,0001	
2,665-2,670		0,03	0,009	0,00002	
2,670-2,675		0,04	0,007	0,00004	
2,675—2,680	1	0,01	0,0004	0,00001	
			Сумма	~0,26	

ВМС (см. фиг. 44, 6). Для того же ряда пород максимум кривой также сдвигается в сторону меньших плотностей но каждый находится при меньших значениях плотности, чем на фиг. 44, 6; восходящая ветвь кривой, обусловленная в основном увеличением числа образцов, в которых обнаружены такого типа зерна, сдвигается в область меньших плотностей, а нисходящая, обусловленная в основном уменьшением процента от объема кварца, занятого ВМС, находится практически в одной и той же области плотности.

В ключения полевых шпатов (табл. 32, фиг. 45). В жильном кварце нет полевых шпатов. Как видно из фиг. 45, при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды область плотности, в которой наблюдаются зерна кварца с включениями полевых шпатов, практически не меняется и лежит в узком интервале ($\sim 2,630-2,650 \ e/cm^3$); лишь небольшое количество образцов имеют зерна с включениями полевых шпатов ($\sim 10, \ \sim 15$ и $\ \sim 25\%$); подавляющее количество зерен с включениями полевых шпатов в образцах кварца из всех пород находится в совсем узком интервале плотности (~2,635—2,645 г/см³); индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого включениями полевых шпатов, очень мал (~0,003; ~0,0001 и ~0,003).

Включения биотита (табл. 33, фиг. 46). В жильном кварце нет биотита. Как видно из фиг. 46, *a*, при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды область плотности, в которой обнаружены зерна кварца с включениями биотита, существенно сужается (2,615—2,685; ~ 2,635—2,690 и ~2,640— 2,675 г/см³); максимумы кривых лежат в узком интервале плотности (~2,655—2,660 г/см³); количество образцов, в которых обнаружены зерна кварца с включениями биотита, уменьшается (~80, ~70 и ~60%).



Фиг. 45. Распределение включений полевых шпатов в зернах кварца разной плотности По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружены полевые шпаты; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого полевыми шпатами; в — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого полевыми шпатами (в расчете на все исследованные образцы)

Условные обозначения те же, что на фиг. 44

Фиг. 46. Распределение включений биотита в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружен биотит; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого биотитом; е — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого биотитом (в расчете на все исследованные образцы).

Условные обозначения те же, что на фиг. 44

Распределение усредненных содержаний некоторых минералов в зернах кварца разной плотности

	Число образцов, в которых обна- ружены зеона	Индекс, пропори нему проценту от данном интерва нятого включени луколичестве	циональный сред- гобъема кварца в пе плотности, за- ями минерала (по- иная оценка)	Инцекс, пропорциональ- ный среднему проценту от объема кварца, заня-
Плотность, <i>в/см</i> ³	кварца с включе- ниями минерала в данном интер- вале плотности	в расчете на об- разцы, в которых обнаружены включения соот- ветствующего минерала	в расчете на ис- следованные об- разцы данного генезиса	того включениями мине- рала, в расчете на ис- следованные образцы данного генезиса (полу- количественная оценка)
		Полевые шпат	'ы ^{1*}	
	Кварц м	итаморфическия	: пород (37 обр.)
2,630-2,635	1	0,1	0,003	0,00001
2,635-2,640	4	0.3	0.03	0.001
2.640 - 2.645	4	0.2	0.01	0.002
2,645-2,650	1	0,01	0,0003	0,0002
				<u> </u>
			Сумма	~0,003
	Кварц д	Ревних гранито	идов (29 обр.)	
2,635-2,640	5	0,2	0,03	0,0001
	Кварц м	юлодых гранито	ридов (12 обр.)	
2,635-2,640	3	0,1	0,01	0,0003
2,640 - 2,645	2	0,03	0,002	0,002
2,645-2,650	1	0,01	0,0003	0,0002
			Сумма	~0,003
		Силлиманит и д	истен ^{2*}	
	Кварц м	етаморфических	пород (37 обр.)	
2,620-2,625	1	0,03	0,001	0,000005
2,625 - 2,630	1	0,03	0,001	0,000005
2,630-2,635	1	0,03	0,001	0,000005
2,635-2,640	3	0,02	0,002	0,00003
2,640 - 2,645	8	0,04	0,007	0,001
2,645 - 2,650	9	0,06	0,02	0,009
2,650 - 2,655	7	0,16	0,03	0,005
2,655 - 2,660	6	0,2	0,05	0,002
2,660 - 2,665	6	0,4	0,06	0,0008
2,665 - 2,670	5	0,6	0,06	0,0006
2,670-2,675	4	0,8	0,09	0,0004
2,675-2,680	1	0,3	0,01	0,000005
			Сумма	~0,02
		Гранат ^{3*}		·
	Кварц м	етамо рфических	пород (37 обр.)	
2,645 - 2,650	2	0,06	0,004	0,002
2,650-2,655	2	0,1	0,01	0,002
2,655-2,660	3	0,1	0,01	0,0003
2,660-2,665	4	0,2	0,03	0,0003

	Число образцов, в которых обна- ружены зерна кварца с вилюче- ниями минерала в данном интер- вале плотности	Индекс, пропорл нему проценту (в данном интерва нятого включет (полуколичест	циональный сред- от объема кварца але плотности, за- ниями минерала гвенная оценка)	Индекс, пропорциональ- ный среднему проценту от объема кварца, занн-
Плотность, <i>г/см</i> ³		в расчете на об- разцы, в которых обнаружены включения соот- ветствующего минерала	в расчете на ис- следованные об- разцы данного генезиса	ого совема кварца, зани- того включениями ми- нерала, в расчете на исследованные образацы Данного генезиса (полу- количественная оценка)
2,665-2,670	4	0,4	0,05	0,0002
2,670-2,675	2	0,6	0,03	0,00004
2,675-2,680	1	1	0,03	0,00002
	ļ		Сумма	~0,005
		Мусковит4	*	
	Кварц мет	паморфических 1	пород (37 обр.)	
2,645-2,650	1	0.03	0.001	0.0005
2,650-2,655	1	0,1	0,003	0,0005
2,655-2,660				
2,660 - 2,665	1	0,3	0.01	0,00005
2,665-2,670	1	0,1	0,003	0,00001
			Сумма	~0,001
	Ква р ц б)ревних гранито	идов (29 обр.)	
2,660-2,665	1	0,03	0,001	0,00005
2,665-2,670	1	0,03	0,001	0,00002
			Сумма	~0,0001
	Кварц л	мол оды х гранито	идов (12 обр.)	
2,655-2,660	1 1	0.1	0,003	0,00004

¹⁶ Включений полевых шпатов не обнаружено в ряде фракций кварца из метаморфических пород (2,615—2,630 и 2,650—2,685 г/см³), из древних гранитоидов (2,615—2,635 и 2,645—2,690 г/см³), из молодых гранитоидов (2,615—2,635 и 2,655—2,690 г/см³), а также в зернах жильного кварца.

²⁶ Включений силлиманита и дистена не обнаружено в ряде фракций кварца из метамор фических пород (2,615—2,620 и 2,680—2,685 г/см³). Включений этих минералов нет и в зернах кварца из древних и молодых гранитоидов, а также из кварцевых жил.

э• Включений граната не обнаружено в ряде фракций кварца из метаморфических пород (2,615— -2,645 и 2,680—2,685 г/см³). Включений граната нет и в зернах кварца из молодых и цревних гранитоидов, а также из образцов кварцевых жил.

4* Включений мусковита не обнаружено в ряде фракций кварца из метаморфических пород (2,615—2,645 и 2,670—2,690 г/см³), из древних гранитоидов (2,615—2,660 и 2,670—2,690 г/см³), из молодых гранитоидов (2,615—2,655 и 2,660—2,690 г/см³), а также в зернах кварца из кварцевых жил.

Полуколичественным анализом включений биотита (см. фиг. 46, 6) для того же ряда пород установлено, что основное количество включений биотита находится в зернах кварца в областях плотности соответственно ~2,635—2,680; ~2,640—2,670 и ~2,645—2,660 г/см³; индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого включениями биотита, определяемый площадью под кривой, резко уменьшается (~0,07; ~0,03 и ~ 0,006); максимумы кривых находятся в узком интервале плотности (~2,645—2,650 г/см³). Восходящие ветви на кривых фиг. 46, в обусловлены в основном увеличением процента от объема кварца, занятого включениями биотита, а нисходящие — уменьшением числа образцов, в ко-

Таблица 33

	Число образцов, в которых обна-	Индекс, пропорл нему проценту с в данном интерва нятого включени луколичестве	иональный сред- т объема кварца ле плотности, за- инми биотита (по- иная оценка)	Индекс, пропорциональ- ный среднему проценту от объема кварца, заня-	
Плотность, г/см ³	ружены зерна кварца с включе- ниями биотита в данном интер- вале плотности	в расчете на об- разцы, в которых обнаружены включения био- тита	в расчете на ис- следованные об- разцы данного генезиса	того включениями био- тита, в расчете на ис- следованные образцы данного генезиса (полу- количественная оценка)	
	Кварц ме	памо рфических 🕫	пород (37 обр.)		
2.615-2.620	1 1	0.03	0.001	0.000004	
2,620-2,625	1	0.03	0.001	0.000005	
2,625-2,630	3	0.03	0.003	0.000007	
2,630-2,635	3	0.03	0.003	0.00005	
2,635-2,640	11	0.02	0.006	0.00009	
2,640 - 2.645	16	0.04	0.017	0.003	
2.645 - 2.650	26	0.07	0.05	0.03	
2,650-2,655	30	0.13	0.1	0.02	
2,655-2,660	30	0.24		0.007	
2,660-2,665	30	0.3	0.2	0.004	
2.665 - 2.670	25	0.4	0.3	0.002	
2.670-2.675	19	0.6	0.3	0.001	
2,675 - 2,680	10	0.7	0.2	0,001	
2,680-2,685	2	1	0,05	0,0003	
			Сумма	~0,07	
	Кварц и	в древних граниг	поидов (29 обр.)		
2 635-2 640	1 2	1 0.02	1 0.001	0.00005	
2,640-2,645	9	0.02	0.006	0.0006	
2.645-2.650	14	0.05	0.02	0.014	
2,650-2,655	19	0.1	0.06	0.01	
2,655-2,660	20	0.2	0.1	0.003	
2,660 - 2,665	17	0.3	0.15	0.002	
2.665-2.670	11	0.5	0.2	0,001	
2.670-2.675	8	0.7	0.2	0,0007	
2.675-2.680	7	0.7	0.16	0,0005	
2,680 - 2,685	2	0.7	0,05	0,00006	
2,685-2,690	1	1	0,03	0,00007	
			Сумма	~0.03	
	Квари и	• в молодых грани	тоидов (12 обр.)	
9 640. 9 645	1 4	1 0.04	1 0,001		
2,0402,040 9 645 9 650	5	0,01	0,001	0,000	
2,040-2,000	5	0,04	0.03	0,0002	
2,0002,000 2 6552 660	7	0,00	0,05	0,0003	
2,000-2,000 2,6602,665	2 ×	0,1	0,04	0,0005	
2,000-2,000	, И И И И И И И И И И И И И И И И И И И	0,2	0.1	0,0002	
2,670-2,675	1	0,1	0,01	0,00001	
- ·			Сумм!а	~0,005	

• Включение биотита не обнаружено в ряде фракций кварца из древних гранитоидов (2,615— -2,635 г/см³), из молоцых гранитоидов (2,615—2,640 и 2,675—2,690 г/см³), а также в зернах кварца из кварцевых жил.

Распределение усредненных содержаний апатита в зернах кварца разной плотности *

			1	
Число обр в которыз ружены г/см ³ кварца с чениями а в данном вале пло	Число образцов, в которых обна- ружены зерна	Индекс, пропорциона центу от объема ква вале плотности, зан апатита (полуколи	Индекс, пропорцио- нальный среднему проценту от объема кварца, занятого	
	кварца с вклю- чениями апатита в данном интер- вале плотности	в расчете на образ- цы, в которых обна- ружены включения апатита	в расчете на исследо- ванные образцы дан- ного генезиса	та, в расчете на ис- следованные образ- цы данного генезиса (полуколичественная оценка)

Кварц метаморфических пород (37 обр.)

2,625-2,630	1	0,1	0,003	0,000005
2,630-2,635	1	0,03	0,001	0,000003
2,635-2,640	3	0,02	0,002	0,00001
2,640-2,645	11	0,04	0,01	0,001
2,645-2,650	12	0,07	0,02	0,013
2,650-2,655	11	0,2	0,05	0,008
2,655-2,660	10	0,2	0,05	0,002
2,660-2,665	6	0,3	0,04	0,0007
2,665-2,670	6	0,4	0,06	0,0005
2,670-2,675	5	0,3	0,04	0,0002
2,675-2,680	4	0,5	0,05	0,0003
2,680-2,685	2	0,7	0,04	0,0003
				0.000

Сумма

Кварц древних гранитоидов (29 обр.)

			Сумма	~0,012
2,685-2,690	1	1	0,03	0,00007
2,680-2,685	1	1	0,03	0,00006
2,675-2,680	3	0,8	0,08	0,0004
2,670-2,675	4	0,6	0,08	0,0004
2,665-2,670	6	0,4	0,08	0,0008
2,660-2,665	6	0,2	0,04	0,0007
2,655-2,660	7	0,16	0,04	0,001
2,650-2,655	7	0,1	0,1 0,02	
2,645-2,650	8	0,04	0,01	0,007
2,640-2,645	1	0,03	0,001	0,00003

Кварц молодых гранитоидов (12 обр.)

2,645-2,650	2	0,02	0,004	0,002
2,655-2,660	4	0,04	0.02	0,0008
2,660 - 2,665	5	0,14	0,06	0,0002
2,665-2,670	2	0,1	0,02	0,00002
2,670-2,675	1	0,1	0,01	0,000002
2,675-2,680	1	0,1	0,01	0,000006
2,680-2,685	1	0,1	0,01	0,00002
			Carriero	0.002

Включений апатита не обнаружено в ряде легких: фракций кварца из метаморфических пород (2,615-2,625 г/см⁹) из древних и молодых гранитондов (2,615-2,640 г/см⁹), а также в зернах кварца образцов кварцевых жил. торых обнаружены такого типа зерна¹. Максимумы их лежат в узкой области плотности (при ~2,670; ~2,665 и ~2,665 г/см³). Это значит, что в кварце всех типов пород зерна с наибольшим количеством включений биотита находятся примерно в области ~2,650—2,680 г/см³. Последняя существенно отличается от вышеуказанной области плотности, где основное количество включений биотита²: максимумы кривых на фиг. 46, б и в находятся в разных местах по шкале плотности.

Таблица 35

Распределение усредненных содержаний циркона в зернах кварца разной плотности *

	-			
Плотность,	Число образцов, в которых обна- ружены зерна	Индекс, пропорцион центу от объема ква вале плотности, зал циркона (полуколя	Индекс, пропорцио- нальный среднему проценту от объема кварца, занятого включениями цир-	
s/cm3	кварца с включе- ниями циркона в данном интервале плотности	в расчете на образ- цы, в которых обна- ружены включения циркона данного генезиса		кона, в расчете на исследованные об- разцы данного гене- зиса (полуколичест- венная оценка)
	Кварц	метаморфических	пород (37 обр.)	
2,630-2,635	1	0,03	0,001	0,000005
2,635-2,640	3	0,02	0,002	0,00001
2,640-2,645	4	0,08	0,01	0,0007
2,645-2,650	10	0,09	0,03	0,02
2,650-2,655	16	0,1	0,04	0,005
2,655-2,660	18	0,16	0,08	0,002
2,660-2,665	18	0,2	0,1	0,002
2,665-2,670	11	0,4	0,1	0,001
2,670-2,675	6	0,6	0,1	0,0005
2,675-2,680	2	0,3 0,02		0,00004
			Сумма	~0,03
	Keap	ц древних гранито	цдов (29 обр.)	·
2.645-2.650		0.06	0,004	0,003
2.650 - 2.655	4	0.1	0.01	0,002
2,655-2,660	4	0,2	0,02	0,001
2,660-2,665	3	0,3	0,02	0,0003
2,665-2,670	3	0,5	0,05	0,0004
2,670-2,675	3	1	0,1	0,0006
2,675-2,680	1	1	0,03	0,0001
2,680-2,685	1	1	0,03	0,00005
2,685-2,690	1	1	0,03	0,00007
			Сумма	~0,008
	Кварц	молодых гранитог	идов (12 обр.)	
2,645-2,650	2	0,02	0,003	0,002
2,650-2,655	5	0,06	0,02	0,0007
2,655-2,660	4	0,08	0,03	0,0002
2,660-2,665	5	0,2	0,09	0,0003
2,665-2,670	4	0,2	0,06	0,0002
2,670-2,675	1	0,03	0,001	0,000001
2,675-2,680	1	0,03	0,001	0,000002
2,680-2,685	1	0,3	0,01	0,000006
1	I	,	Сумма	~0,004

• Включений циркона не обнаружено: в ряде фракций кварца из метаморфических пород (2,615-2,630 и 2,680-2,685 г/см³), из дрэвних гранигоидов (2,615-2,645 г/см³), из молодых гранитоидов (2,615-2,645 и 2,685-2,690 г/см³), а также в зернах кварца из образцов кварцевых жил.

¹ Это справедливо и для кривых на фиг. 47-53 и 55-56.

² Это касается всех более тяжелых, чем кварц, включений.

11 М. Я. Кац, И. М. Симанович

Включения мусковита (см. табл. 32)... В жильном кварце мусковита нет, а в зернах кварца остальных типов пород он присутствует лишь в малом количестве образцов (в 7 из 78) в области плотности ~2,645—2,670 г/см³. Индекс, пропорциональный проценту объема кварца, занятого включениями мусковита, очень мал и уменьшается при переходе от метаморфических пород к древним и молодым гранитоидам (~0,001; ~0,0001 и ≤0,0001).

Включение апатита (табл. 34, фиг. 47). В жильном кварце нет апатита. Как видно из фиг. 47, *a*, при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды область плотности, в которой обнаружены включения апатита, мало меняется (~2,625—2,680; ~2,640—2,690 и ~2,640—2,680 г/см³); макси-



ФИТ. 47. Гаспределение включении апатита в зернах кварца разной плотности По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружен апатит; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого апатитом; в — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого апатитом (в расчете на все исследованные образцы) Условные обозначения те же, что на фиг. 44

Фиг. 48. Распределение включений циркона в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружен циркон; б — индекс, пропорционалоный среднему проценту от объема кварца, занятого цирконом; в — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого цирконом (в расчете на все исследованные образцы)

Условные обозначения те же, что на фиг. 44

мумы кривых немного сдвигаются в область больших плотностей; количество образцов, в которых обнаружены зерна кварца с включениями апатита, мало меняется (~30, ~25 и ~42%).

Полуколичественным анализом включений апатита (фиг. 47, 6) для того же ряда пород установлено, что основное количество его в зернах кварца находится примерно в одной и той же области плотности (~2,640— 2,655 г/см³); индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого включениями апатита, определяемый площадью под кривой, резко уменьшается (~0,026; ~0,012 и ~0,003); максимумы кривых находятся в узкой области плотности (~2,645—2,650 г/см³). Из фиг. 47, в для того же ряда пород следует, что зерна кварца с наибольшим количеством включений апатита находятся в интервалах соответственно ~2,650— 2,685; ~2,660—2,680 и ~2,655—2,665 г/см³, кривые имеют резко отличный разброс, но положения их максимумов лежат в узких пределах плотности (~2,665—2,675 г/см³).

В ключения циркона (табл. 35, фиг. 48). В жильном кварце нет циркона. Как видно из фиг. 48, *a*, при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды область плотности, в которой обнаружены зерна кварца с включениями циркона, мало меняется ($\sim 2,630-2,680$; $\sim 2,645-2,690$ и $\sim 2,645-2,685$ e/cm^3); максимумы кривых лежат практически в узкой области плотности ($\sim 2,655-2,660 e/cm^3$); количество образцов, в которых обнаружены зерна кварца с включениями циркона, существенно меняется (~ 50 , $\sim 14 u \sim 42\%$).

Полуколичественным анализом включений циркона (см. фиг. 48, 6) для того же ряда пород установлено, что основное количество его находится в зернах кварца в областях плотности ~ 2,640—2,670; ~ 2,645— 2,665 и ~ 2,645—2,665 r/cm^3 ; индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого включениями циркона, определяемый площадью под кривой, уменьшается (~ 0,03; ~ 0,008 и ~ 0,004); максимумы кривых находятся в одной и той же области плотности (~2,645—2,650 r/cm^3). Из фиг. 48, e следует для того же ряда пород, что зерна кварца с наибольшим количеством включений циркона лежат в интервалах плотности соответственно ~2,655—2,675; ~2,665—2,680 и ~2,660—2,670 r/cm^3 ; разброс больше всего у кривой для метаморфических пород; максимумы кривых находятся при ~2,665; ~2,673 и ~2,660 r/cm^3 .

В ключения рутила (табл. 36, фиг. 49). В зернах кварца из молодых гранитоидов нет рутила. Как видно из фиг. 49, а, при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды кварцевые жилы область плотности, в которой обнаружены зерна кварца с включениями рутила, существенно меняется (~2,620—2,665; ~ 2,640— 2,690 и ~2,640—2,665 г/см³); максимумы кривых лежат при значениях плотности ~2,642; ~2,650 и ~2,645 г/см³; только в кварце из древних гранитоидов имеется довольно большое количество образцов, в которых обнаружены включения рутила (~60, а в остальных соответственно 15 и 9%).

Полуколичественным анализом включений рутила (см. фиг. 49, б) для того же ряда пород установлено, что основное количество его находится в зернах кварца в области плотности соответственно ~ 2,640— 2,655; ~2,640—2,665 и ~2,640—2,655 r/cm^3 ; наибольший индекс, пропорциональный объему кварца, занятого включениями рутила, среди образцов из древних гранитоидов (0,04, а в остальных ~0,004 и ~0,003); максимумы кривых находятся в узкой области плотности (~ 2,645— 2,650 r/cm^3). Из фиг. 49, в для того же ряда пород следует, что зерна кварца с наибольшим количеством включений рутила лежат в интервалах плотности соответственно ~ 2,635—2,655; ~ 2,645—2,670 и 2,645— 2,665 r/cm^3 ; максимумы кривых — при ~ 2,645; 2,660 и 2,660 r/cm^3 ; в зернах кварца из древних гранитоидов включений рутила почти на порядок больше, чем в кварце из остальных пород.

Таблица 36

Распределение усредненных содержаний рутила в зернах кварца разной плотности *

Плотность	Число образцов, в которых обна- ружены зерна	Индекс, пропорциона центу от объема ква вале плотности, зан рутила (полуколи	Индекс, пропорцио- нальный среднему проценту от объема кварца, занятого включениями рути-					
г/смэ	кварца с включё- ниями рутила в данном интер- вале плотности	в расчете на образ- цы, в которых обна- ружены включения рутила ванные образцы дан- ного генезиса		ла, в расчете на ис- следованные образцы данного генезиса (полуколичественная оценка)				
	Кварц метаморфических пород (37 обр.)							
2.620-2.625	1	0.01	(0,0003	0,000001				
2 625-2.630	1	0.01	0,0003	0,000001				
2.630-2.635	3	0,02	0,002	0,00001				
2,635-2,640	3	0,02	0,002	0,00001				
2,640-2.645	5	0.04	0,005	0,001				
2,645 - 2,650	4	0.05	0,005	0,003				
2,650-2,655	3	0.05	0,004	0,0003				
2,655-2,660	2	0,17	0,01	0,0001				
2,660-2,665	1	0,03	0,001	0,000001				
Сумма ~0,004								
	Ква	рцдревних гранити	ридов (29 обр.)					
2.640 - 2.645	1 8	0.02	[0,006	0,002				
2.645 - 2.650	17	0,05	0,03	0,02				
2,650 - 2.655	18	0,1	0.06	0,01				
2.655 - 2.660	13	0,15	0,06	0,002				
2,660-2,665	9	0.2	0,07	0,001				
2,665-2,670	4	0,2	0,03	0,0001				
2,670-2,675	2	0,06	0,004	0,00002				
2,675-2,680	1	0,1	0,003	0,00001				
2,680-2,685	1	0,1	0,003	0,00001				
2,685-2,690	1	0,1	0,003	0,00001				
	1	1	Сумма	~0,04				
	Кварц	и в образцов кварцев	вых жил (23 обр.)					
2.640 - 2.645	1	0.03	0,001	0,0003				
2,645 - 2,650	$\overline{2}$	0.07	0.005	0.003				
2,650-2,655		0.3	0.01	0.0002				
2,655-2.660	1	0.3	0.01	0,000003				
2,660-2,665	1	0,3	0,01	0,000006				
	•		Сумма	~0,003				

* Включений рутила не обнаружено в ряде фракций кварда из метаморфических пород (2,615-2,620 и 2,665--2,680 г/см³), из древних гранитоидов (2,615--2,640 г/см³), из образдов кварцевых жил (2,605--2,640 и от 2,665-2,680 г/см³), а также в зернах кварца из молодых гранитоидов.

Включения с фена (табл. 37, фиг. 50). В зернах кварца из молодых гранитоидов и образдов кварцевых жил нет сфена. Как видно из фиг. 50, *a*, при переходе от метаморфических пород к древним гранитоидам область плотности, в которой обнаружены зерна кварца с включениями сфена, изменяется от ~ 2,640-2,685 до ~ 2,655-2,680 г/см³; количество образцов, в которых обнаружены зерна кварца с включениями сфена, очень мало и уменьшается от ~ 14 до ~ 7%.

Полуколичественным анализом включений сфена в зернах кварца (см. фиг. 50, 6) установлено, что при переходе от метаморфических пород



Фиг. 49. Распределение включений рутила в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружен рутил; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого рутилом; в — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого рутилом (в расчете на все исследованные образцы) Условные обовачения те же, что на фит. 44

Фиг. 50. Распределение включений сфена в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружен сфен; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого сфеном; с — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого сфеном (в расчете на все исследованные образцы)

Условные обозначения те же, что и на фиг. 44

к древним гранитоидам основное количество его находится в зернах с плотностью в областях соответственно ~2,640—2,660 и ~2,650—2,660 г/см³; индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого включениями сфена, определяемый площадью под кривой, уменьшается втрое (от ~0,009 до ~ 0,003); максимумы кривых лежат в области ~ 2,645—2,655 г/см³. Из фиг. 50, в для этих же пород следует, что зерна кварца с наибольшим количеством включений сфена лежат в области ~ 2,660—2,680 г/см³, а максимумы кривых — в области ~ 2,665—2,675 г/см³.

Таблица 37

Распределение усредненных содержаний сфена в зернах кварца разной плотности *

Плотность, г/см ³	Число образцов, в которых обна- ружены зерна кварца с включе- ниями сфена в данном интер- вале плотности	Индекс, пропорциона центу от объема ква вале плотности, зан сфена (полуколиче в расчете на образ- цы, в которых обна- ружены включения сфена	Индекс, пропорцио- нальный среднему проценту от объема кварца, занятого включениями сфена, в расчете на исследо- ванные образцы дан- ного генезиса (полу- количественная оценка)					
Кварц метаморфических пород (37 обр.)								
2.640 - 2.645	1 1	0.03	0,0008	0,00005				
2.645 - 2.650	2	0,1	0,005	0,004				
2,650-2,655	5	0,1	0,002	0,003				
2,655-2,660	4	0,2	0,03	0,0011				
2,660-2,665	6	0,2	0,03	0,0003				
2,665-2,670	8	0,3	0,06	0,0003				
2,670-2,675	6	0,4	0,06	0,0002				
2,675-2,680	4	0,5	. 0,05	0,0003				
2,680-2,685	1	1	0,03	0,0003				
	•	,	Сумма	~0,009				
	Квар	эц древних гранито	идов (29 обр.)					
2,650-2,655	1	0.3	0,01	0,002				
2,655-2,660	2	0,2	0,02	0,001				
2,660-2,665	1	0,3	0,014	0,0001				
2,665-2,670	1	0,1	0,005	0,00002				
2,670-2,675	2	0,5	0,05	0,0001				
2,675-2,680	2	0,3	0,03	0,0001				
Сумма ~0,003								

Включений сфена не обнаружено в ряде фракций кварца метаморфических пород (2,615—2,640 и 2,685—2,690 г/см³), древних гранитоидов (2,615—2,650 и 2,680—2,690 г/см³), а также в зернах кварца молодых гранитоидов и образцов из кварцевых жил.

Включения эпидота (табл. 38, фиг. 51). В зернах кварца из молодых гранитоидов и кварцевых жил нет эпидота. Как видно из фиг. 51, а, при переходе от мотаморфических пород к древним гранитоидам область плотности, в которой обнаружены зерна кварца с включениями эпидота, практически не изменяется (~2,645—2,680 и ~2,640—2,685 e/cm³); резко выраженных максимумов у кривых нет; процент образцов, в которых обнаружены зерна кварца с включениями эпидота, очень мал (~5 и ~20).

Полуколичественный анализ включений эпидота в зернах кварца (см. фиг. 51, 6) показывает, что при переходе от метаморфических пород к древним гранитоидам основное количество его сосредоточено в зернах практически с одной и той же плотностью в области $\sim 2,645-2,665 \ e/cm^3$; индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого включениями эпидота, определяемый площадью под кривой, увеличивается примерно втрое (от $\sim 0,003$ до $\sim 0,01$); кривая для древних гранитоидов имеет резко выраженный максимум при $\sim 2,648 \ e/cm^3$. Из фиг. 51, e для этих же пород следует, что зерна кварца с наибольшим количеством включений эпидота лежат в области $\sim 2,655-2,685 \ e/cm^3$, а максимумы кривых — в области $\sim 2,670-2,675 \ e/cm^3$.

Включения граната (см. табл. 32, фиг. 52). В зернах кварца из древних и молодых гранитоидов, а также кварцевых жил нет граната. Как видно из фиг. 52, *a*, для метаморфических пород зерна

Распределение усредненных содержаний эпидота в зернах кварца разной плотности *

the second data was a			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					
Плотность,	Число образцов, в которых обна- ружены зерна	Индекс, пропорциона центу от объема ква вале плотности, зан эпидота (полуколи	Индекс, пропорцио- нальный среднему проценту от объема кварца, занятого					
5/cm3	кварца с включе- ниями эпидота в данном интер- вале плотности	в расчете на образ- цы, в которых обна- ружены включения эпидота	в расчете на иссле- дованные образцы данного генезиса	дота, в расчете на исследованные образ- цы данного генезиса (полуколичественная оценка)				
Кварц метаморфических пород (37 обр.)								
2,645-2,650	1	0,03	0,0008	0,0006				
2,650-2,655	2	0,07	0,004	0,0006				
2,655-2,660	2	0,2	0,01	0,0006				
2,660-2,665	2	0,2	0,01	0,0003				
2,665-2,670	2	0,6	0,03	0,0002				
2,670-2,675	2	0,7	0,04	0,0004				
2,675-2,680	1	1	0,03	0,0002				
			Сумма	~0,003				
	Квар	оц древни х гранито	идов (29 обр.)					
2,640-2,645	2	0,01	0,0007	0,00008				
2,645-2,650	6	0,04	0,009	0,006				
₿,650-2,655	6	0,1	0,02	0,004				
2,655-2,660	6	0,2	0,03	0,001				
2,660-2,665	5	0,3	0,05	0,0005				
2,665-2,670	5	0,4	0,07	0,0004				
2,670-2,675	5	0,4	0,07	0,0003				
2,675-2,680	4	0,5	0,07	0,0002				
2,680-2,685	2	0,7	0,05	0,0002				
	,	1	Сумма	~0.01				

Включений эпидота не обнаружено в ряде фракций кварца из метаморфических пород (2,615-2,645 и 2,680-2,685 г/см³), из древних гранитоидов (2,615-2,640 и от 2,685-2,690 г/см³), а также в зернах кварца из молодых гранитоидов и образцов кварцевых жил.

кварца с включениями граната лежат в области плотности ~2,645— 2,680 г/см³ с максимумом при ~2,665 г/см³. Зерна кварца с включениями граната обнаружены лишь в 10% исследованных образцов. Полуколичественный анализ (см. фиг. 52,16) показывает, что основное количество включений граната находится в зернах кварца с плотностью в области ~2,645—2,665 г/см³. Индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого включениями граната, составляет ~ 0,005. Наибольшее количество зерен кварца с большим содержанием граната лежит в области ~2,660—2,675 г/см³ (фиг. 52, в).

В ключения силлиманита и дистена (см. табл. 32, фиг. 53). В зернах кварца из древних и молодых гранитоидов, а также кварцевых жил нет силлиманита и дистена. Как видно из фиг. 53, *a*, для метаморфических пород зерна кварца с включениями силлиманита и дистена лежат в широкой области плотности ~2,620—2,680 г/см³ с максимумом при ~2,650 г/см³, причем лишь ~25% исследованных образцов содержат зерна кварца с включениями силлиманита и дистена.

Полуколичественный анализ (см. фиг. 53,*a*) показывает, что основное количество включений силлиманита и дистена находится в зернах кварца с плотностью в области ~2,640—2,665 *с/см*³. Индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого включениями силлиманита и дис-



Фиг. 51. Распределение включений эпидота в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обваружен эпидот; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого эпидотом; в — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого эпидотом (в расчете на все исследованные образцы) Условные обованачения те же, что на фиг. 44

Фиг. 52. Распределение включений граната в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружен гранат; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого гранатом; в — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого гранатом (в расчете на все исследованные образцы)

Условные обозначения те же, что на фиг. 44

тена, составляет ~0,02. Наибольшее количество зерен кварца с большим процентом включений силлиманита и дистена лежит в области ~2,650—2,675 г/см³ (фиг. 53, в).

Включения графита и углистого вещества (табл. 39, фиг. 54). В зернах кварца древних и молодых гранитоидов нет графита и углистого вещества. Как видно из фиг. 54, *a*, при переходе от метаморфических пород к кварцевым жилам область плотности, в которой обнаружены зерна кварца с этими включениями, меняется (~2,615— 2,675 и ~2,615—2,650 *г/см³*); максимумы у обеих кривых лежат в области ~2,635—2,645 *г/см³*; количество образцов, в которых обнаружены зерна кварца с упомянутыми включениями, соответственно ~ 30 и 15%.

Полуколичественный анализ включений графита и углистого вещества в зернах кварца из тех же пород (см. фиг. 54,6) показывает, что основное

Распределение усредненных содержаний включений графита и углистого вещества в зернах кварца разной плотности *

Паотность,	Число образцов, в которых обна- ружены зерна кварца с включе-	Индекс, пропорцион центу от объема ква вале плотности, за углистого вещества оце	Индекс, пропорцио- нальный среднему проценту от объема кварца, занятого включениями углис-	
г/см³	ниями углистого вещества в дан- ном интервале плотности	в расчете на образ- цы, в которых обна- ружены включения углистого вещества	в расчете на иссле- дованные образцы данного генезиса	чете на исследован- ные образцы даннс- го генезиса (полу- количественная оценка)
	Кварц	метаморфических [пород (37 обр.)	
2,615-2,620	1 1	0,03	0,001	0,00005
2,620-2,625	2	0,03	0,002	0,00005
2,625-2,630	5	0,3	0,04	0,0001
2,630-2,635	8	0,5	0,1	0,0007
2,635-2,640	12	0,3	0,3 0,1	
2,640—2,645	11	0,1	0,03	0,006
2,645—2,650	9	0,1	0,03	0,02
2,650-2,655	9	0,1	0,02	0,003
2,655-2,660	8	0,08	0,02	0,001
2,660-2,665	8	0,08	0,02	0,0002
2,665-2,670	5	0,04	0,005	0,00003
2,670-2,675	2	0,03	0,002	0,00001
			Сумма	~0,03
	Кварц и	н в обравц ов кварцевы	их жил (23 обр.)	
2,615-2,620	1	0,1	0,004	0,00002
2,620-2,625	1	0,1	0,004	0,000006
2,625-2,630	2	0,2	0,02	0,00004
2,630-2,635	3	0,3	0,04	0,0004
2,635-2,640	3	0,3	0,04	0,007
2,640-2,645	3	0,2	0,03	0,01
2,645-2,650	2	0,1	0,006	0,001
			Сумма	~0,02

• Включений графита и углистого вещества не обнаружено в ряде фракций кварца из метаморфических пород (2,675—2,685 г/см³), из образдов кварцевых жил (2,605—2,615 и 2,650—2,680 г/см³), а также в зернах кварца из молодых и древних гранитоидов.

количество этих включений находится в зернах кварца с плотностью в области ~2,635—2,655 г/см³ и ~2,635—2,650 г/см³; индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого данными включениями, определяемый площадью под кривой, равен соответственно ~0,03 и ~0,02; максимумы кривых лежат в области ~ 2,640—2,645 и ~ 2,645— 2,650 г/см³. Из фиг. 54 е для этих же пород следует, что наибольшее количество зерен кварца с большими включениями графита и углистого вещества лежит в области ~2,625—2,645 г/см³, а максимумы кривых в области ~2,630—2,640 г/см³.

В ключения рудных минералов (табл. 40, фиг. 55). Как видно из фиг. 55 а, при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды — кварцевые жилы область плотности, в которой обнаружены зерна кварца с включениями рудных минералов, соответственно ~2,640—2,680; ~2,645—2,690; ~2,645—2,685 и ~2,630—2,680 г/см³; максимумы кривых лежат в узкой области ~2,655—2,665 г/см³; количество образцов, в которых обнаружены включения рудных минералов, соответственно ~45, ~55, ~65 и ~45%.



Фиг. 53. Распределение включений силлиманита и дистена в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружены силлиманит и дистен; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого силлиманитом и дистеном; в — индекс, пропорцональный среднему проценту от объема кварца, в данном интервале, плотности, занятого силлиманитом и дистеном (в расчете на все исследованные образцы)

Условные обозначения те же, что на фиг. 44

Фиг. 54. Распределение включений графита и углистого вещества в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в зернах кварца которых в данном интервале плотности обнаружены эти включения; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого графитом и углистым веществом, е — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого указанными включениями (в расчете на все исслепованные образцы)

Условные обозначения те же, что на фиг. 44

Полуколичественный анализ включений в зернах кварца рудных минералов (см. фиг. 55, б) показывает, что для того же ряда пород основное количество включений рудных минералов находится в зернах кварца с плотностью в области ~ 2,645—2,665 г/см³; индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого включениями рудных минералов, существенно изменяется (~0,02; ~0,009; ~0,001; ~0,005); максимумы кривых лежат в областях соответственно ~2,645—2,650; ~2,650— 2,655; ~2,655—2,660 и ~2,645—2,650 г/см³. Из фиг. 55, в для того же ряда пород следует, что зерна кварца с наибольшим количеством включений рудных минералов лежат практически в одной области плотности

Распределение усредненных содержаний рудных минералов в зернах кварца разной плотности *

Плотность,	Число образ- цов, в которых обнаружены зерна кварца	Индекс, пропорцис проценту от объем интервале плотнос чениями рудных м личественн	Индекс, пропор- циональный сред- нему проценту ос- объема кварца, за- нятого включениями	
<i>2/см</i> 3	с включениями рудных мине- ралов в данном интервале плот- ности	в расчете на образ- цы, в которых обнаружены вклю- чения рудных минералов	в расчете на иссле- дованные образцы данного генезиса	рудных минералов в расчете на иссле- дованные образцы данного генезиса (полуколичествен- ная оценка)
	Кварц и	з мө _: таморфических	к по р од (37 обр.)	
2,640-2,645	4	0,02	0,002	0,0005
2,645-2,650	8	0,05	0,01	0,008
2,650-2,655	13	0,08	0,03	0,003
2,655-2,660	16	0,2	0,1	0,003
2,660-2,665	17	0,3	0,13	0,002
2,665-2,670	14	0,3	0,11	0,001
2,670-2,675	10	0,6	0,16	0,001
2,675-2,680	4	1	0,1	0,0009
			Сум	ма ~ 0,02
	Квари	<i>ң древних гранито</i> и	идов (29 обр.)	
2,645-2,650	3	0,02	0,002	0,001
2,650-2,655	12	0,1	0,04	0,002
2,655-2,660	12	0,15	0,06	0,0008
2,660-2,665	16	0,23	0,13	0,001
2,665-2,670	14	0,4	0,2	0,001
2,670-2,675	9	0,7	0,2	0,001
2,675 - 2,680	5	0,8	0,15	0,0007
2,680 - 2,685	3	0,8	0,08	0,0006
2,685-2,690	I 1	1 1	0,03	0,0005
	Fear	w wo codur and with	Сум ридов (12. обр.)	ма ~ 0,009
2 6/5 .2 650	1 4	и полоови граната 1 0.01		1 0.00002
2,040-2,050	6	0,01	0,001	0,0003
2,655-2,660	8	0,00	0,05	0,0003
2,660-2,665	8	0.13	0,00	0,0004
2,665-2,670	6	0.2	0.08	0.0001
2,670-2,675	3	0.2	0.04	0,0001
2,675 - 2.680	1	0,1	0.01	0,000005
2,680-2,685	2	0,2	0,03	0,0001
	,	• •	Сум	ма ~ 0,009
	Кварц и	ив образцов кварцеви	ых жил (23 обр.)	
2,630-2,635	1	0,01	0,0004	0,000004
2,635 - 2,640	1	0,01	0,0004	0,0001
2,640-2,645	4	0,02	0,003	0,0004
2,645 - 2,650	9	0,03	0,015	0,003
2,650-2,655	11	0,06	0,03	0,0003
2,655-2,660	15	0,1	0,07	0,0004
2,660-2,665	9	0,3	0,12	0,0003
2,665-2,670	5	0,4	0,1	0,0002
2,670-2,675	4	0,5	0,08	0,0002
2,675-2,680	2	0,3	0,03	0,00002

Сумма ~ 0,005

Включений рудных минералов не обнаружено в ряде фракций кварца из метаморфических пород (2,615—2,640 и 2,680—2,685 г/см³), из древних гранитоидов (2,615—2,645 г/см³), из молодых гранитоидов (2,615—2,645 и 2,685—2,690 г/см³), из образцов кварцевых жил (2,605—2,630 г/см³).



Фиг. 55. Распределение включений рудных минералов в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: a — количество образцов, в которых в зернах кварца в данном интервале плотности обнаружены рудные минералы; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объемакварца, занятого рудными минералами; в — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого рудными минералами; (в расчете на все исследованные образцы)

Условные обозначения те же, что на фиг. 44

Фиг. 56. Распределение включений роговой обманки и актинолита в зернах кварца разной плотности

По осям ординат: а — количество образцов, в которых в зернах кварца в данном интервале плотности обнаружены роговая обманка и актинолит; б — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца, занятого роговой обманкой и актинолитом; в — индекс, пропорциональный среднему проценту от объема кварца в данном интервале плотности, занятого роговой обманкой и актинолитом (в расчете на все исследованные образцы)

Условные обозначения те же, что на фиг. 44

(~2,650--2,680 г/см³); максимумы кривых для метаморфических пород и древних гранитоидов находятся в области ~2,665-2,675 г/см³, а для молодых гранитоидов и жильного кварца — в области ~ 2,660-2,665 г/см³; левые ветви кривых падают почти идентично для всех типов пород, т. е. закономерности, обусловливающие увеличение плотности зерен кварца с увеличением процента их объема, занятого включениями рудных минералов, для всех типов пород очень близки.

Включения роговой обманки и актинолита (табл. 41, фиг. 56). В зернах кварца из молодых гранитоидов и кварцевых

Распределение усредненных содержаний роговой обманки и актинолита в зернах кварца разной плотности *

	Число образцов, в которых обна- ружены зерна	Индекс, пропорцис проценту от объем интервале плотност нинми роговой обы (полуколичести	Индекс, пропор- циональный сред- нему проценту от объема кварца, занятого включе-				
Плотность, г/см³	чениями роговой обманки и ак- тинолита в дан- ном интервале плотности	в расчете на образ- пы, в которых об- наружены вклю- чения роговой обманки и акти- нолита		ниями роговой об- манки и актиноли- та, в расчете на исследованные образцы данного генезиса (полуколи- чественная оценка)			
Кварц метаморфических пород (37 обр.)							
2,630-2,635	1	0,03	0,001	0,000005			
2,635-2,640	2	0,02	0,001	0,000005			
2,640-2,645	3	0,05	0,004	0,0005			
2,645-2,650	5	0,05	0,007	0,005			
2,650-2,655	6	0,1	0,02	0,002			
2,655-2,660	6	0,2	0,04	0,001			
2,660-2,665	6	0,4	0,06	0,0007			
2,665-2,670	5	0,4	0,05	0,0005			
2,670-2,675	4	0,4	0,04	0,0003			
2,675-2,680	2	0,7	0,03	0,0003			
2,680-2,685	1	1	0,03	0,0003			
			Сум	ма ~ 0,01			
	Ksap	ц древних гранито	идов (29 обр.)				
2,645-2,650	4	0,1	0,01	0,008			
2,650-2,655	4	0,2	0,03	0,005			
2,655-2,660	9	0,2	0,07	0,002			
2,660-2,665	9 '	0,4	0,1	0,002			
2,665-2,670	8	0,6	0,2	0,0009			
2,670-2,675	7	0,8	0,2	0,0007			
2,675-2,680	5	0,7	0,1	0,0003			
2,680-2,685	1	1	0,03	0,00005			
2,685-2,690	1	1	0,03	0,0001			
Сумма ~ 0,02							

• Включений роговой обманки и актинолита не обнаружено в ряде легких фракций кварца из метаморфических пород (2,615—2,630 г/см³) и древних гранитоидов (2,615—2,645 г/см³). В зернах кварца из молодых гранитоидов включения этих минералов обнаружены лишь в одном образце (143). В кварце из кварце в кварцевых жил включений роговой обманки и актинолита нет.

жил нет роговой обманки и актинолита. Как видно из фиг.56, a, при переходе от метаморфических пород к древним гранитоидам область по шкале илотности, в которой обнаружены зерна с включениями этих минералов, сдвигается в сторону больших плотностей (~2,630—2,685 и ~2,645— 2,690 e/cm^3); максимумы обеих кривых лежат в узкой области плотности (~2,655—2,665 e/cm^3); количество образцов, в которых обнаружены зерна кварца с включениями этих минералов, соответственно ~16 и ~30%.

Полуколичественный анализ включений в зернах кварца роговой обманки и актинолита (см. фиг. 56, б) показывает, что при переходе от метаморфических пород к древним гранитоидам основное количество включений роговой обманки и актинолита находится в зернах с плотностью в области ~2,645—2,670 г/см³; индекс, пропорциональный проценту от объема кварца, занятого их включениями, определяемый площадью под кривой, увеличивается от ~0,01 до ~0,02; максимумы обеих кривых лежат в узкой области плотности (~2,645—2,650 г/см³). Из фиг. 56, в для тех же пород следует, что наибольшее количество зерен кварца с большим процентом включений роговой обманки и актинолита лежит в одной области плотности (~2,650—2,680 г/см³), а максимумы кривых — в области ~2,660—2,675 г/см³.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЗЕРНАХ КВАРЦА ПО ПЛОТНОСТИ

По данным графы 4 табл. 31 построены кривые распределения по плотности индексов, пропорциональных среднему проценту от объема кварца в рассматриваемом интервале плотности, занятого включениями минералообразующей среды, в расчете на все исследованные образцы кварца из пород одного генезиса (фиг. 57). На этой фигуре приведены также распределения по плотности индексов, пропорциональных суммарному проценту от объема кварца в рассматриваемом интервале плотности, занятого всеми более тяжелыми, чем кварц, включениями минералов, в расчете на все исследованные образцы кварца из пород одного генезиса (по данным графы 4 табл. 32—38 и 40—41).



Чтобы перейти от индексов по осям ординат к соответствующим процентам от объема зерен кварца. занятого включениями, достаточно значение ИНдекса умножить на рассчитанный paнее соответствующий коэффициент пропорциональности. Для ВМС в среднем (для жидкости и газа) он равен ~1.3. Поскольку на фиг. 57 приведены суммарные значения индексов для всех более тяжелых, чем кварц, минералов, то, очевидно, для перехода от индексов к соответствующим процентам достаточно взять средний коэффициент пропорциональности для всех минералов, которые зафиксированы в качестве включений в зернах кварца из пород одного генезиса.

Он рассчитан согласно вышеприведенным оценкам переходного коэффициента от индекса 1 к соответствующим процентам для каждого включения тяжелых минералов (см. табл. 28). Этот средний коэффициент пропорциональности оказался равным: для метаморфических пород (включения — биотит, мусковит, апатит, циркон, рутил, сфен, эпидот, гранат, силлиманит и дистен, рудные, роговая об-

Фиг. 57. Суммарные значения содержаний включений в зернах кварца из пород разного генезиса По осям ординат — индексы, пропорциональные усредненным значениям процента от объема кварца в данном интервале плотности, занятого включениями минералообразующей среды— 1 или всеми более тяжелыми, чем кварц, минеральными включениями — 2 (в расчете на исследованные образцы кварца из пород данного генезиса). I — кварц метаморфических пород; II — кварц древних гранитоидов; III — кварц молодых гранитоядов; IV жильный кварц

манка и актинолит) ~ 4; для древних гранитоидов (включения биотит, мусковит, апатит, циркон, рутил, роговая обманка и актинолит) ~4,4; для сфен, эпидот, рудные, для молодых гранитоидов (включения — биотит, мусковит, апатит, циркон, рутил, рудные) ~4.7;для кварцевых жил (включения — рутил, рудные) ~ 1,1. Для первых трех типов пород коэффициент пропорциональности варьирует лишь в пределах $\pm 10\%$ от среднего значения; для кварцевых жил он меньше. Однако В последнем случае существенно мы зафиксировали наименьшее содержание включений в зернах кварца более тяжелых, чем кварц, минералов. Это обстоятельство только усилит различие кварца из пород разного генезиса по содержанию включений более тяжелых минералов. Средние коэффициенты пропорциональности между индексами и соответствующими процентами отдельно для включений минералообразующей среды и для более тяжелых минералов в зернах кварца из пород разного генезиса очень близки. Поэтому, очевидно, кривые на фиг. 57 правильно отражают характер изменения распределения по плотности кварца процента от его объема в данном интервале плотности, занятого включениями минералообразующей среды или более тяжелых минералов при переходе по указанному ряду пород.

Если перевести индексы в соответствующие проценты по нашим оценкам (см. табл. 28) отдельно для каждого включения, то получим в принципе аналогичную картину.

Из этих кривых следует ряд важных выводов. При переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды кварцевые жилы.

1. Насыщенность зерен кварца включениями минералообразующей среды возрастает, а максимум во всех случаях одномодальных кривых сдвигается в область меньших плотностей.

2. Насыщенность зерен кварца из метаморфических пород и древних гранитоидов всеми включениями более тяжелых, чем кварц, минералов примерно одинаковая, а из молодых гранитоидов и кварцевых жил резко падает. Соответственно максимум этих одномодальных кривых сдвигается в область меньших плотностей.

3. Кривые на фиг. 57 дают наглядное физическое обоснование типоморфным особенностям кварца из пород разного генезиса — статистическим характеристикам плотности, а также частотам и производным кривых распределения зерен кварца по плотности в определенных областях (см. разд. Б).

4. В области плотности ~ $2,640-2,660 \ e/cm^3$ в кварце всех четырех типов пород наиболее резко уменьшаются концентрации включений минералообразующей среды и увеличиваются концентрации включений более тяжелых, чем кварц, минералов. Это область вблизи плотности оптически чистого кварца (в пределах $\pm 0,01 \ e/cm^3$). Именно в этой области установлены наиболее характерные изменения плотностных типоморфных признаков кварца при переходе по вышеуказанным типам пород (см. разд. Б).

СУММАРНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЗЕРНАХ КВАРЦА ИЗ ПОРОД РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА

По табл. 31—41 определены индексы, пропорциональные суммарным значениям включений в зернах кварца рассматриваемых типов пород (табл. 42). Из табл. 42 следует ряд важных выводов.

1. Для большинства включений их суммарные содержания при переходе по ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды — кварцевые жилы либо увеличиваются (*BMC*), либо уменьшаются (биотит, мусковит, апатит, циркон, сфен), либо дают резкий

Оценка суммарных содержаний включений в зернах кварца разного генезиса, измеренных полуколичественным методом (в индексах, пропорциональных проценту объема включений от объема кварца)

	Типы включений							
Генетические типы кварца	BMC	Полевые шпаты	Биотит	Мусковит	Ацатит	Циркон	Рутил	Сфев
.Из метаморфических по- род (37 обр.)	0,03	0,003	0,07	0,001	0,026	0,03	0,004	0,009
Из древних гранитоидов (29 обр.)	0,08	0,0001	0,03	0,0001	0,012	0,008	0,04	0,003
Из молодых гранитоидов (12 обр.)	0,13	0,003	0,006	<0,0001	0,003	0,004	0,003	-
.Жильный кварц I (23 обр.)	0,26	—		-	-		0,003	-

Таблица 42 (окончание)

Генетические типы кварца	Типы включений							
	Эпидот	Гранат	Силлима- нит и ди- стен	Графит и углистое вещество	Рудные	Роговая обманка и актино- лит	Сумма минераль- ных включе- ний	Общая сумма включе- ний
Из метаморфических по- род (37 обр.)	0,003	0,005	0,02	0,03	0,02	0,01	0,231	0,261
Иэ древних гранитоидов (29 обр.)	0,01		-	-	0,009	0,02	0,132	0,212
Из молодых гранитоидов (12 обр.)	—	_			0,001	—	0,020	0,150
Жильный кварц I (23 обр.)	—	-	—	0,02	0,005	-	0,028	0,288

характерный скачок (например, для рутила в зернах кварца древних транитоидов).

2. При переходе по указанному ряду пород суммарное содержание *BMC* увеличивается почти на порядок, а включений минералов уменьшается на порядок: в кварце из древних гранитоидов их примерно вдвое меньше, а из молодых гранитоидов и в жильном примерно на порядок меньше, чем в кварце из метаморфических пород.

3. Результаты оценок суммарных содержаний каждого включения согласуются с соответствующими результатами микроскопического количественного анализа включений в тех же образцах кварца (см. гл.III). Это также подтверждает, что точность принятого метода полуколичественного анализа включений в зернах кварца достаточна для поставленной задачи.

Глава VII

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ КВАРЦА ПЕСЧАНОЙ РАЗМЕРНОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Важнейшие типоморфные признаки изучались нами под определенным углом зрения. Мы пытались выяснить, какие типоморфные признаки наиболее характерны для каждого из генетических типов обломочногокварца. Поэтому уместно решить, что понимать под генетическими типами обломочного кварца. Нетрудно показать, что кварц, обладающий каким-либо одним специфическим типоморфным признаком (например, особенность ВМС, поликристаллическое строение зерен, определенная статистическая характеристика плотности, частота гистограммы в заданной области плотности и т. п.), не может строго соответствовать определенному генетическому типу. В опубликованных работах нередко встречаются утверждения, что обломочный кварц с поликристаллическим строением образовался за счет метаморфических пород, иногда эти зерна даже называют обломками кварцитов. Однако, как следует из приведенного нами материала, поликристаллическим строением может обладать обломочный кварц любого генезиса, особенно если он возник за счет размыва пород тектонически активных зон.

Г. Г. Леммлейн и В. С. Князев (1951) предложили классификацию обломочного кварца, в основу которой был положен принцип выделения типов кварца по какому-либо одному типоморфному признаку. Было выделено восемь типов обломочного кварца: непрозрачный, полупрозрачный, трещиноватый, опалесцирующий, с игольчатыми включениями, с крупными включениями, без включений, регенерированный. Интересно, что сами авторы не считают свою классификацию генетической; по их мнению, статистический подсчет предложенных типов кварца может быть полезным для корреляции терригенных толщ, но не для определения источников сноса.

Классификация Г. Г. Леммлейна и В. С. Князева действительно способствовала решению ряда важных литолого-стратиграфических задач. Было проведено большое количество исследований, в которых использована эта классификация (Пустовалов, 1951; Князев, 1951; Гмид, 1952; Канский, 1955; Короткова, 1960; Чен Ли-жунь, 1960; Левков, 1961; Михайлова, 1964; и др.). В некоторых из этих работ (Пустовалов, 1951; Михайлова, 1964) были сделаны неудачные, с нашей точки зрения, понытки связать типы кварца данной классификации с определенными материнскими породами. Такие попытки справедливо критиковали Н. В. Логвиненко и С. И. Шуменко (1956).

Исходя из этого, мы придали понятию «генетический тип обломочного кварца» априорный смысл и попытались выяснить важнейшие типоморфные признаки, наиболее специфические для каждого генетического типа. Такой же подход характерен и для других работ (см., например, Cayeux, 1929; Krynine, 1940).

Мы выделяем следующие генетические типы обломочного кварца: 1) метаморфических пород; 2) древних гранитоидов (имеются в виду гранитоиды палингенного происхождения древних архейских щитов); 3) молодых гранитоидов; 4) жильный (гидротермальный и пневматолитогидротермальный); 5) пегматитов; 6) кислых эффузивов. Естественно, предлагаемая классификация является грубой и при желании ее можно детализировать: например, рассматривать отдельно кварц биотитовых и роговообманковых гранитов, метаморфических пород гранулитовой и амфиболитовой фаций. Сейчас трудно сказать, появится ли необходимость в такой детализации. Нам кажется, что предлагаемая классификация генетических типов обломочного кварца отражает далеко не полную изученность его типоморфных признаков.

В соответствии с выделенными генетическими типами можно пытаться выяснить лишь первичное происхождение кварца за счет тех или иных кварцсодержащих кристаллических пород. В большинстве случаев песчаные породы, особенно высокозрелые, полицикличны. Возникновение обломочного кварца за счет размыва осадочной толщи обычно легко диагностируется по регенерационным обрастаниям. Однако присутствие этого признака зависит от вторичных преобразований размываемой толщи. Регенерационные обрастания не мешают изучению первичного генезиса обломочного кварца.

Прежде чем перейти к рассмотрению важнейших типоморфных признаков обломочного кварца, необходимо выяснить, почему мы считаем их такими. Дело в том, что песчаная размерность (0,1—1 мм) изучаемых нами зерен лимитирует применение многих методик исследования кварца. Из-за малого количества материала невозможно сделать спектральный анализ или определить объем элементарной ячейки единичного зерна песчаной размерности. Единичные зерна изучаются при помощи микроскопа, причем в зернах кварца можно наблюдать структурные дефекты и включения. Возможности изучения всего образца кварца песчаной размерности также ограниченны. Зрелые кварцевые песчаные породы представляют собой полигенетическую смесь кварцевых зерен. Поэтому спектральный анализ, например, дает лишь усредненное значение содержания различных элементов, а при изучении параметров элементарной ячейки мы получим размытые линии на дебаеграмме. В настоящее время лишь один метод позволяет успешно изучать статистические множества зерен обломочного кварца. Результатом исследования плотностных свойств кварца методом градиентной трубки (Кац, 1966) является гистограмма распределения зерен по плотностным фракциям. Оптический контроль фракций показывает, что плотность зерен кварца зависит в основном от состава и количества включений. Таким образом, оптически определимые структурные дефекты, включения минералов и минералообразующей среды, а также плотностные свойства наиболее важны для определения генезиса обломочного кварца.

включения и структурные дефекты

Рассмотрим оптически определимые типоморфные признаки для кварца различного генезиса (табл. 43).

В кварце метаморфических пород могут быть любые структурные дефекты, но наиболее характерны МИП, БЛ и ББ. В метаморфогенном кварце отмечается наиболее полный список минеральных включений, а частота их встречаемости самая высокая. Только в метаморфогенном кварце встречены включения графита, граната, силлиманита, дистена и сфена. Игольчатый рутил наблюдается редко, и появление его обычно связано с гранитизацией данной метаморфической породы. Зерна метаморфогенного кварца наименее насыщены *BMC*. В нем содержится наибольшее количество зерен без включений, характерна наименьшая частота встречаемости крупных, ограненных, полуограненных, газовых и многофазных *BMC*. Практически не встречаются зерна метаморфогенного кварца с высокой насыщенностью *BMC*, а также с затвердевшими включениями.
Важнейшие оптически определимые типоморфные признаки кварца различного генезиса

	Типоморфные признаки					
Генетические типы кварца	Оптически опреде- лимые структурные дефекты	Минеральные включения	BMC			
1. Из метаморфи- ческих пород	Повышенная ч. в. МИЛ, БЛ и ББ	Графит, гранат, силли- манит, дистен и сфен. Повышенная ч. в. био- тита, обычны циркон, апатит, мусковит, руд- ный, эпидот	Наименьшая ч. в. крупных, ограненных, полуогранен- ных, газовых и много- фазных <i>ВМС</i> , отсутствуют затвердевшие <i>ВМС</i> , зерен с высокой насыщенностью практически нет, наиболь- шее количество зерен без включений			
2. Из древних гранитоидов	По типам и ч. в. де- фектов близки к 1, несколько понижена ч. в. МИП и БЛ	Игольчатый рутил, ч. в. прочих минералов ниже, чем в 1, обычны биотит, циркон, апатит, муско- вит, рудный, эпидот	Несколько более высокая ч. в. по сравнению с 1 крупных, ограненных, по- луограненных, газовых и многофазовых ВМС, харак- терны зерна со средней и вы- сокой насыщенностью			
3. Из молоцых гранитоидов	Резко понижена по сравнению с 1 и 2 ч. в. МИП, БЛ, МИЛК, ББ и ВУП, повышен- ная ВУО, высокая БД	Малан по сравнению с 1 и 2 ч. в. минеральных включений, характерен игольчатый рутил	Высокая ч. в. крупных, ог- раненных, полуограненных, газовых и многофазных <i>BMC</i> , характерна высокая насыщенность зерен, отме- чаются затвердевшие <i>BMC</i>			
4. Жильный	Резко понижена ч. в. МИП и БЛ, типичны БН и ВУП, высокая ч. в. БД	Разнообразны, но ч.в. обычно очень низка	Высокая ч. в. крупных, ог- раненных и полуогранен- ных ВМС, ч. в. газовых и многофазных ВМС низкая, насыщенность зерен высокая и очень высокая			
5. Из пегматитов	Близок к 4	То же	Близок к 4, очень харак- терны крупные и газовые ВМС			
6. Из кислых эффузивов	Обычно БД, редко ВУО	Неизвестны	Характерны только затвер- девшие ВМС			

II римечание. Ч.в. — частота встречаемости; в кварце любого генезиса из тектонически активных зон может быть высокая частота встречаемости МИЛК, МГ, ББ, ВУП, ПД, а также вторичных *ВМС*; в «чистых» разностях жильного кварца и кварца из цегматитов *ВМС* могут почти полностью отсутствовать.

Кварц древних гранитоидов по типам структурных дефектов близок к кварцу метаморфических пород. Несколько менее характерны для него МИП и БЛ. Из минеральных включений наиболее типичен игольчатый рутил. Встречаются также циркон, апатит, биотит, мусковит, рудный минерал и эпидот, но несколько реже, чем в кварце метаморфических пород. Заметно повышается насыщенность зерен *BMC*, особенно увеличивается содержание крупных, ограненных, полуограненных, газовых и многофазных включений.

Кварц молодых гранитоидов явно менее дефектен по сравнению с двумя рассмотренными типами. Особенно резко понижены частоты встречаемости МИП, БЛ, МИЛК, ББ и ВУП. В то же время ВУО отмечается чаще, чем в кварце других типов пород. Многие зерна не имеют структурных дефектов. Включения минералов те же, что и в кварце древних гранитоидов, но частота их встречаемости заметно ниже. Характерна значительная насыщенность зерен кварца включениями минералообразующей среды, часто наблюдаются зерна с крупными, ограненными, полуограненными, газовыми и многофазными *BMC*, отмечаются затвердевшие *BMC*. Для жильного кварца наиболее типичны БН и ВУП. Чэстота встречаемости МИП и БЛ резко понижена. Минеральные включения в песчаной размерности зернах кварца первично гидротермального генезиса отмечаются очень редко. Обычный мутный жильный кварц, как правило, сильно насыщен включениями минералообразующей среды. Наблюдается высокая частота встречаемости крупных, ограненных и полуограненных *BMC*. В то же время в жильном кварце значительно реже по сравнению с кварцем молодых гранитоидов отмечаются газовые и многофазные включения. В чистых разностях жильного кварца *BMC* иногда почти отсутствуют.

Кварц из пегматитов наиболее близок к жильному по типам структурных дефектов, а также по очень редкой встречаемости минеральных включений в зернах песчаной размерности. Он также может быть сильно насыщен *BMC* или практически лишен их. В первом случае наиболее характерны крупные и газовые *BMC*.

Кварц кислых эффузивов — самый бездефектный. Оптически определимые структурные дефекты обычно почти отсутствуют, лишь иногда отмечается ВУО. Включения минералов в нем нам неизвестны. Из ВМС характерны только затвердевшие, обычно представленные раскристаллизованным стеклом.

плотностные свойства и включения

Рассмотрим плотностные типоморфные признаки для кварца метаморфических пород, древних гранитоидов, молодых гранитоидов, жильного (табл. 44—46). Из остальных типов пород было исследовано слишком малое число образцов кварца (оптически чистого жильного кварца 2, из пегматитов 3, из кварцитов 4), чтобы проводить по ним статистический анализ результатов измерений.

Таблица 44

Генетические типы кварца	Типоморфные признаки	Статистика распределений					
		Средняя плот- ность Р _{СР} , г/см ³	Коэффициент асимметрии А	Коэффи- циент эк- сцесса К	Мода, распреде- ление Мо, г/см [‡]		
Из метамор- фических пород	Среднее значение Доверительные границы с вероят- ностью 95%	2,6475 2,6468÷2,6482	1,6 1,2÷2,0	8,7 6,6÷10,8	2,6466 2,6461÷2,6471		
Из древних гранитоидов	Среднее значение Доверительные границы с вероят- ностью 95%	2,6458 $2,6450 \div 2,6466$	1,4 1,0÷1,8	9,2 6,2÷12,2	2,6455 2,6449÷2,6461		
Из молодых гранитоидов	Среднее значение Доверительные границы с вероят- ностью 95%	2,6427 2,6415÷2,6439	0,4 0,2÷1,0	6,2 4,4÷8,0	2,6428 2,6416÷2,6440		
Жильный I	Среднее значение Доверительные границы с вероят- ностью 95%	2,6383 $2,6368 \div 2,6398$	0,2 0,2÷0,6	3,2 2,7÷3,7	2,6385 2,6367÷2,6403		

Плотностные типоморфные признаки кварца различного генезиса (на основе статистических характеристик плотности)

Плотностные	типоморфные	признаки	кварца	различного го	енезиса
(на осн	юве частот ра	спределения	я зерен	по плотности)

		Плотность, г/см ³					
Генетические типы кварца	Типоморфные признаки	2,630 2,635	2,635—2,640	2,640 2,645	2,645— 2,650	2,650—2,655	2,6552,660
		Частота, %					
Из метамор- фических пород	Среднее значение Доверительные гра- ницы с вероятностью 95%	0,36 0,20,5	3,9 2,3—5,4	23 19—27	52 47—57	12,3 9,3—15,3	3,5 2,6—4,3
Из древних гранитоидов	Среднее значение Доверительные гра- ницы с вероятностью 95%	0,7 0,3—1,2	8,3 5,4—11,2	32 27—37	48 42—53	7,6 5—10	2,1 1,3—2,7
Из молодых гранитоидов	Среднее значение Доверительные гра- ницы с вероятностью 95%	3,4 1—6	21 15—27	43 41—46	29 22—36	1,6 0,5-2,7	0,7 0,24—1.12
Жильный I	Среднее значение Доверительные гра- ницы с вероятностью 95%	17 11—23	32 27—37	31 24—38	12 7—18	0,7 0,4—1,0	0,21 0,09—0,33

Таблица 46

Плотностные типоморфные признаки кварца различного генезиса (на основе градиента распределения зерен по плотности)

		Плотность, г/см ³		
Генетические типы кварца	Типоморфные признаки	2,642-2,647	2,647-2,652	
		Градиент в % на интервал 0,005 г/см ^е		
Из метаморфических пород	Среднее значение Доверительные границы с ве- роятностью 95%	30,6 23—38	41,1 (3646)	
Из древних гранитоидов	Среднее значение Доверительные границы с ве- роятностью 95%	16 626		
Из молодых гранитоидов	Среднее значение Доверительные границы с ве- роятностью 95%	-14,5 -(8-21)	27 (2035)	
Жильный I	Среднее значение Доверительные границы с ве- роятностью 95%!	-18 -(13-24)		

Квард метаморфических пород (см. табл. 44) имеет характерные значения средней плотности $ho_{cp}=2,6475$ с доверительными границами 2,6468—2,6482 г/см³ и моды распределения зерен по плотности Мо = = 2,6466 с доверительными границами 2,6461-2,6471 г/см3, которые не перекрываются с соответствующими доверительными границами для кварца других рассматриваемых типов пород. Коэффициент асимметрии распределения A = 1,6 с доверительными границами 1,0-2,0 типичен для кварца метаморфических пород и древних гранитоидов, которые не перекрываются с соответствующими доверительными границами для кварца молодых гранитоидов и жильного. Характерные частоты распределений кварда метаморфических пород ~3,9; ~12,3 и ~3,5% в интервалах плотности 2,635-2,640; 2,650-2,655 и 2,655-2,660 г/см³. Доверительные гранипы этих частот не перекрываются с соответствующими значениями для кварда других типов пород (см. табл. 45). В области плотности оптически чистого кварца 2,645—2,650 г/см³ частоты распределений с доверительными границами практически идентичные для кварца метаморфических пород и древних гранитоидов, но совершенно отличны от соответствующих значений для кварца молодых гранитоидов и жильного. Кривая распределения по плотности зерен кварца метаморфических пород в области 2,642—2,647 c/cm^3 имеет значение производной ~ 31 (в % на интервал 0,005 г/см³) с доверительными границами, которые почти не перекрываются с соответствующими значениями для кварца других типов пород (см. табл. 46).

Кварц древних гранитоидов (см. табл. 44) имеет характерные значения $\rho_{cp} = 2,6458$ с доверительными, границами 2,6450-2,6466 c/cm^3 и Mo = 2,6455 с доверительными границами 2,6449-2,6461 c/cm^3 , которые не перекрываются с соответствующими доверительными границами для кварца других типов пород.

Особенность коэффициента асимметрии распределения и частоты в области плотности оптически чистого кварца $2,645-2,650 \ e/cm^3$ та же, что для кварца метаморфических пород (см. табл. 44-45). В интервалах плотности 2,635-2,640; 2,650-2,655 и $2,655-2,660 \ e/cm^3$ соответствующие частоты распределений $\sim 8,3$; $\sim 7,6$ и $\sim 2,1\%$ имеют доверительные границы, которые не перекрываются с их значениями для кварца других типов пород. Кривая распределения по плотности зерен кварца древних гранитоидов в области $2,642-2,647 \ e/cm^3$ имеет значение производной ~ 16 (в % на интервал $0,005 \ e/cm^3$) с доверительными границами, которые почти не перекрываются с их значениями для кварца других типов пород (см. табл. 46).

Кварц молодых гранитоидов (см. табл. 44) имеет характерные значения $ho_{
m cp}=2,6427$ с доверительными границами $2,6415{--}2,6439$ г/см 3 и Mo== 2,6428 с доверительными границами 2,6416-2,6440 г/см³, которые не перекрываются с соответствующими доверительными границами для кварца других типов пород. Значение A = 0,4 для кварца молодых гранитоидов имеет доверительные границы от -0.2 до + 1,0, которые не перекрываются с соответствующими значениями для кварца метаморфических пород и древних гранитоидов, но существенно перекрываются с доверительными границами от -0.2 до +0.6 значения A=0.2 для жильного кварца. Характерные частоты распределения кварца молодых гранитоидов ~3,4; ~21; ~43; ~29; ~1,6 и ~0,7% в интервалах плотности соответственно 2,630-2,635; 2,635-2,640; 2,640-2,645; 2,645-2,650; 2,650—2,655 и 2,655—2,660 с/см³. Доверительные границы этих частот практически не перекрываются с соответствующими значениями для кварца других типов пород (см. табл. 45). Кривая распределения по плотности зерен кварца в области 2,647-2,652 г/см³ имеет значение производной — 27 (в % на интервал 0,005 г/см³) с доверительными границами, которые не перекрываются с их значениями для кварца других типов пород (см. табл. 46).

Жильный кварц (см. табл. 44) имеет значения $\rho_{cp} = 2,6383$ с доверительными границами 2,6368—2,6398 e/cm^3 и Mo = 2,6385 с доверительными границами 2,6367—2,6403 г/см³, которые не перекрываются с соответствующими доверительными границами для кварца других типов пород. Особенность коэффициента асимметрии для жильного кварда та же, что и для кварца молодых гранитоидов. Доверительные границы $2,7{-}3,7$ коэффициента эксцесса для жильного кварца $K{=}3,2$ не перекрываются доверительными границами для кварца других типов пород. Частоты распределения жильного кварца $\sim 17; \sim 32; \sim 12$ и 0.2% в интервалах плотности соответственно 2,630-2,635; 2,635-2,640; 2,645-2,650 и 2,655—2,660 г/см³. Доверительные границы этих частот не перекрываются с соответствующими значениями для кварца других типов пород (см. табл. 45). Кривая распределения по плотности зерен жильного кварда в области плотности 2,647—2,652 г/см³ имеет значение производной 12 (в % на интервал 0,005 г/см³) с доверительными границами, которые не перекрываются с их значениями для кварца других типов пород (см. табл. 46).

Остановимся на типоморфных признаках кварца при переходе по тому же ряду: метаморфические породы — древние гранитоиды — молодые гранитоиды — кварцевые жилы, но выявленных при статистическом изучении распределений включений в зернах кварца, полученных полуколичественным методом анализа фракций после разделения их по плотности (см. гл. VI, разд. В, табл. 42). Все числа в таблице показывают усредненный по всем образцам одного генезиса индекс, пропорциональный проценту объема включений от объема кварца. Подчеркнем, что эти количественные оценки дают большую информацию, чем их качественные характеристики, получаемые при микроскопическом анализе исходных образцов (см. табл. 43).

В кварце метаморфических пород обнаружены все исследованные включения: минералообразующая среда (~ 0,03), полевые шпаты (~ 0,003), биотит (~ 0,07), мусковит (~ 0,001), апатит (~ 0,026), циркон (~ 0,03), рутил (~ 0,004), сфен (~ 0,009), эпидот (~ 0,003), гранат (~ 0,005), силлиманит и дистен (~ 0,02), графит и углистое вещество (~ 0,03), рудные (~ 0,02), роговая обманка и актинолит (~ 0,01). Силлиманит, дистен и гранат обнаружены в зернах кварца только метаморфических пород. Из остальных включений наиболее характерны биотит, апатит, циркон, сфен и рудные.

В кварце древних гранитоидов установлены минералообразующая среда (~0,08), полевые шпаты (~0,0001), биотит (~0,03), мусковит (~0,0001), апатит (~0,012), циркон (~0,008), рутил (~0,04), сфен (~0,003), эпидот (~0,01), рудные (~0,009), роговая обманка и актинолит (~0,02). Наиболее характерны игольчатый рутил, роговая обманка и актина и актинолит, биотит, апатит, эпидот и рудные.

В кварце молодых гранитоидов выявлены минералообразующая среда (~ 0,13), полевые шпаты (~ 0,003), биотит (~ 0,006), мусковит (~ 0,0001), апатит (~ 0,003), циркон (~ 0,004) и рудные (~ 0,001). Ни одно из этих включений не является специфичным для кварца именно молодых гранитоидов. Наиболее характерно то, что общее количество включений примерно вдвое меньше, чем в рассмотренных выше типах пород, причем минеральных включений на порядок меньше, чем в кварце метаморфических пород.

В жильном кварце обнаружены минералообразующая среда ($\sim 0,26$), рутил ($\sim 0,003$), графит и углистое вещество ($\sim 0,02$), рудные ($\sim 0,005$). Наиболее характерны для жильного кварца *ВМС*. Включений минералов в нем на порядок меньше, чем в кварце метаморфических пород.

Нет ни одного включения, которое было бы установлено только в кварце древних гранитоидов, молодых гранитоидов или жильном.

В заключение отметим непротиворечивость и взаимную дополняемость выводов, основанных на разных методах анализа включений: микроскопического в исходных образцах кварца и полуколичественного в отдельных плотностных фракциях после детального разделения образцов по плотности.

ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ ОБЛОМОЧНОГО КВАРЦА

Переходя к рассмотрению обломочного кварца песчаных пород, прежде всего следует отметить, что никаких специфических оптически определимых структурных дефектов, включений минералов и ВМС, характерных лишь для обломочного кварца и не встреченных при изучении образцов эталонной коллекции, не существует. Рассмотренные выше примеры статистического изучения микроскопически определимых типоморфных признаков обломочного кварца показали принципиальную возможность качественной интерпретации ассоциации кварцевых зерен, слагающих данную песчаную породу. Наиболее характерны в этом отношении две группы образдов: П-1, П-2, П-3 (Русская платформа) и 109, 135, 163 (Алданский щит). По всем изученным типоморфным признакам заметно сходство образцов внутри каждой из этих групп, что объясняется унаследованностью обломочного кварца для каждого из указанных регионов. И по оптически определимым структурным дефектам и по минеральным включениям, и по ВМС устанавливается, что в образцах с Русской платформы преобладает метаморфогенный кварц, в то время как для образцов с Алданского щита характерен обломочный кварц гранитоидов. Таким образом, различные типоморфные признаки кварца взаимно дополняют друг друга и противоречие в их генетической интерпретации отсутствует, свидетельствуя о принципиальной правильности подхода.

Для количественного определения содержания различных генетических типов обломочного кварца в песчаных породах требуется большой объем методических исследований. Можно наметить основные их контуры: увеличение количества изученных эталонных образцов с привлечением образцов кварцеодержащих кристаллических пород различных районов и возрастов; подсчет большого количества зерен в каждом эталонном образце, строгое количественное определение пределов колебаний частот встречаемости различных типоморфных признаков; построение стохастических моделей кварцевых песков, состоящих из зерен обломочного кварца различных генетических типов; составление программы для количественного определения генетических типов кварца по важнейшим типоморфным признакам с помощью ЭВМ; исследования обломочного кварца песков с заведомо известными источниками сноса; установление количественных закономерностей дифференциальной разрушаемости различных типов зерен обломочного кварца, имеющих различные плотности; установление математических моделей изменения физических свойств (в частности, плотности) обломочного кварца при разрушении в период седиментации с учетом ряда природных условий; увеличение точности экспериментов при разделении образцов кварца на разные типы зерен и идентификации их в образцах разного генезиса (в частности, и по плотности).

ЛИТЕРАТУРА

- Баранов В. В. Конструкция гравитационной градиентной трубки с использованием полупроводниковых приборов. В кн.: Физические методы исследования минералов
- осадочных пород. М., «Наука», 1966. Барсанов Г. П., Гурьева Э. Я. О различии природного кварца, претерпевшего α-β превращения. Докл. АН СССР, 1963, 153, № 4.
- Брешенков Б. К. Об α-и β-кварце в изверженных породах. Труды Всес. научн.- иссл. ин-та пьезоопт. мин. сырья. М., 1960, 4, вып. 2.
- Быстрикова А. С. О природе α-β превращения кварца. -- Геохимия, 1966, № 2.
- Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. Пер. с англ. М., ИЛ, 1962. Варданянц Л.А. Проблема оптической двуосности одноосных минералов. — Зап. Всерос. мин. об-ва, 2 серия, 1941, ч. 70, вып. 1.
- Вертушков Г. Н. Метаморфизм жильного кварца. Труды Свердл. горн. ин-та, 1965,
- вып. 22. Вертушков Г. Н., Борисков Ф. Ф., Эмлин Э. Ф., Синкевич Г. А., Соколов Ю. А., Суставов О. А., Якшин Я. И. Жильный кварц восточного склона Урала.— Труды Свердл. горн. ин-та, 1970, вып. 66.
- Вистелиус А. В. О распространенности энантиоморфных типов кварца. Зап. Всес. мин. об-ва, 1950, 2 серия, ч. 79, вып. 3.
- Гмид Л. П. Опыт изучения обломочного кварца в песчано-алевритовых породах чокрака северо-восточного Кавказа. — Докл. АН СССР, 1952. 86, № 2.
- Григорьев Д. П. О проявлении спайности кварца в природе. Зап. Всес. мин. об-ва, 1958, 2 серия, ч. 87, вып. 4.
- Гусева И. Н., Каменцев И. Е., Франк-Каменецкий В.А.О влиянии примесей на плот-ность искусственного кварца. Труды Всес. научн.- иссл. ин-та синтеза мин. сырья, Александров, 1964, 8.
- Дмитриевский В. С. О волнистом погасании кварца в горных породах и петрографическом значении этого явления. — Труды Воронежск. гос. ун-та, 1955, 39.
- Долгов Ю. А. Расчленение термозвуковым методом осадочных терригенных кварцсодержащих толщ неогена Закарпатья. — Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1954, 🔊 1.
- Долгов Ю. А. Особенности генезиса высокотемпературных кварцев Мин. сб. Львовск.
- геол. об-ва, 1955, № 9. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Фрондель К. Система минералогии. Т. 3. Минералы кремне-зема. Перев. с англ. М., «Мир», 1966. Харькова Карака Карак
- Ермаков Н. П. Исследования минералообразующих растворов. Харьков. Изд. Харьк. гос. ун-та, 1950. Жабин А. Г. Границы зерен в агрегатах. — В кн.: Онтогенетические методы изучения
- минералов. М., «Наука», 1970.
- Каждан В. Е. Дитолого-минералогическая характеристика и фосфатоносность меловых отложений Южной Прибаллики. Автореф. канд. дисс. Изд. Вильнюсск. гос. ун-та, 1968.
- Каменцев И. Е. О влиянии температуры кристаллизации на количество примесей, входящих в структуру кварца, и изменение параметров элементарной ячейки. — Геохимия, 1963, № 6.
- Каменцев И. Е. О влияния температуры кристаллизации на вхождение примеси алюминия в структуру природного кварца. — Геохимия, 1965₁, № 3.
- Каменцев И. Е. О положении примесей в структуре кварца. Зап. Всес. мин. об-ва, 1965₂, ч. 94, № 6.
- Каменцев И. Е., Прияткин А. А. Изменение параметров элементарной ячейки кварца в зависимости от условий его образования в различных магматических породах Большого Хингана. В кн.: Рентгенография минерального сырья. Сб. 3. М., Госгеолтехиздат, 1963.
- Канский Н. Е. Об обломочном кварце из средней и верхней юры Донецкого кряжа. Докл. АН СССР, 1955, 102, № 4.
- Карпенко Н. Ф., Сидоренко Г. А., Соломкина С. Г., Дудыкина А. С. О структурных типоморфных особенностях кварца. Мин. сб. Львовск. гос. ун-та, 1967, № 21.
- Кац М. Я. Новые методы исследования минералов в гравитационном поле. Труды ГИН АН СССР. М., 1966, вып. 158.

- Кац М. Я., Баранов В. В. К методике точного разделения минералов по плотности.--Литология и полезные ископ., 1969, № 5.
- Кац М. Я., Каждан В. Е. Опыт использования плотности кварца для палеогеографических реконструкций (на примере нижнемеловых отложений Южной Прибалтики). — Литология и полезные ископ., 1967, № 2.
- Кац М. Я., Кац М. М. О динамике изменения статистических характеристик терригенного кварца в процессе седиментации. — Литология и полезные ископ., 1969, **№** 4.
- Кац М. Я., Муравьев В. И. Плотность аутигенного кварца, ортоклаза и мусковита и их высокотемпературных аналогов. — В кн.: Физические методы исследования минералов осадочных пород. Изд-во АН СССР, 1966.
- Кац М. Я., Шутов В. Д. Удельный вес обломочных зерен кварца и его использование в качестве корреляционного признака песчаных пород. – Литология и полезные ископ., 1963, № 1. Кац М. Я., Кац М. М., Рассказов А. А. Динамика изменения плотностных свойств
- кварца в процессе минералогического «вызревания» пород. Математическое и экспериментальное моделирование процесса. Труды ГИН АН СССР. М., 1971, вып. 221.
- Кейт М. Л., Таттл О. Ф. Значение вариации точки превращения кварца.— В кн.: Экспериментальные исследования в области петрографии и рудообразования. Перев. с англ. М., ИЛ, 1954.
- Кларк С. мл. Справочник физических констант горных пород. М., «Мир», 1969.
- Князее В. С. Некоторые данные о характере обломочного кварца в породах продуктивной толщи Азербайджанской ССР и ряда других отложений. — Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 4.
- Копейкин В. А., Михайлов А. С. Растворимость и формы кремнезема в разбавленных растворах при нормальных условиях. — Докл. АН СССР, 1970, 191, № 4.
- Копелиович А. В. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы.— Труды ГИН АН СССР. М., 1965, вып. 121.
- Копелиович А. В., Симанович И. М. Бластические структуры в некоторых типах метаморфизованных песчаных пород. — Литология и полезные ископ., 1966, № 1.
- Короткова К. Ф. Обломочный кварц в палеоцене Северо-Западного Кавказа, Ставрополья, Нижнего Поволжья. — Труды Краснодарск. фил. Всес. нефтегаз. научн.иссл. ин-та, 1960, вып. 4.
- Костылева Е. Е., Сухушина Т. К. Значение рН суспензии рудного кварца. Геохимия, 1957, № 7.
- Кузьмин А. М. Природа волнистого погасания кварца. В кн.: Новые данные по геологии и географии Кузбасса и Алтая. Новокузнецк, 1969.
- Ланг А. Р., Миусков В. Ф. Дефекты в природном и синтетическом кварце. В кн.: Рост кристаллов, т. 7. М., «Наука», 1967.
- Левков Э. А. Некоторые особенности кварца песчаных отложений. БССР. -- Докл. AH ECCP, 1961, 5, № 6.
- Леммлейн Г. Г. Относительное число правых и левых кристаллов. Зап. Всерос. мин. об-ва, 1944, ч. 73, вып. 2-3.
- Леммлейн Г. Г., Князев В. С. Опыт изучения обломочного кварца.— Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 4.
- Логвиненко Н. В., Шуменко С. И. К изучению обломочного кварца. Докл. АН СССР, 110, № 4.
- Лоскутов А. В. О процессе залечивания трещин в кристаллах кварца.— В кн.: К минералогии постмагматических процессов. Изд. ЛГУ, 1959.
- Мальков Б.А., Комов И.Л. Некоторые особенности распределения лития и бора в кварце различного генезиса. — Труды Всес. научн.-иссл. ин-та синтеза мин. сырья. Александров, 1970, 11.
- Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М., «Наука», 1971.
- Михайлова Н. А. Характеристика кварца терригенной толщи девона и возможных источников его сноса. М., «Наука», 1964.
- Папов Е. Н. О некоторых кристаллических особенностях кварца в гранитоидах Северо-
- Восточного Забайкалья. Зап. Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 92, вып. 6. Папов Е. Н., Муратов И. Г., Касатов Б. К. Исследование вариаций температуры α-β превращения кварца гранитоидов Северо-Восточного Забайкалья. — Докл. AH CCCP, 1967, 175, № 6.
- Пелсмекерс И., Амелинкс С. Простой прибор для сравнительных измерений плотности. — Приборы для научных исследований, 1961, № 7.
- Петровская А. Н. Некоторые результаты изучения диэлектрической проницаемости кварца в осадочных породах и ее использование при корреляции разрезов по терригенным компонентам. — Труды Всес. нефтегаз. научн.- иссл. ин-та. М., 1956, вып. 45.
- Приказчиков Л. А., Сорокин Ю. Г., Москалюк А. А., Весельев А. С. Кристалл-гигант кварца из пегматитового тела. — Зап. Всес. мин. об-ва, 1964, ч. 93, вып. 2.
- Пустовалов Л. В. Об обломочном кварце из продуктивной толщи Апшеронского полуострова.— Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 4.
- Рид В. Т. Цислокации в кристаллах. Перев. с англ. М., Металлургиздат, 1957.

- Самойлович М. И., Цинобер Л. И., Крейскоп В. Н. Особенности дымчатой окраски природных кристаллов кварца — морионов. — Кристаллография, 1970, 15, № 3.
- Симанович И. М. Морфология дофинейских двойников кварца в кварцито-песчаниках шокшинской свиты (Карелия). — Литология и полезные ископ., 19661, № 5.
- Симанович И. М. Эпигенез и начальный метаморфизм шокшинских кварцито-песчаников. — Труды ГИН АН СССР. М., 19662, вып. 153.
- Симанович И. М. Пластические и хрупкие деформации кварца в шокшинских кварцито-песчаниках (Карелия). — Литология и полезные ископ., 1968, № 1.
- Симанович И. М. О метаморфизме обломочного кварца сегозерских кварцитов (Карелия).— Докл. АН СССР, 1969, 187, № 4.
- Смирнова Н. А., Торопин С. И. Определение плотности твердых тел.- Измерительная техника, 1967, №4.
- Соловьев С. П. К вопросу о происхождении волнистого угасания в кварце. Зап. Всерос. мин. об-ва, 1945, ч. 74, вып. 4. Трегер В. В. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов.
- М., Госгеолтехиздат, 1958.
- Ферберн Г. В. Синтетический кварцит. В кн.: Экспериментальные исследования в области петрографии и руодообразования. М., ИЛ, 1954.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, их научное и практическое значение, т. 1. Гранитные пегматиты. Изд. З. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1940.
- **Франк-Каменецкий В. А., Каменцев И. Е. Микроизоморфизм и условия образования** кварца. — В кн.: Проблемы кристаллохимии минералов и эндогенное минералообразование. Л., «Наука», 1967.
- Цинзерлинг Е. В. Искусственное двойникование кварца. М., Изд-во АН СССР, 1961. Цинзерлинг Е. В. О каналах в кварце. Зап. Всес. мин. об-ва, 1964, ч. 93, вып. 3. Цинзерлинг Е. В. О скольжении в кварце (по данным иностранной литературы). Зап.
- Всес. мин. об-ва, 1969, ч. 98, вып. 2.
- Цинверлинг Е. В., Миронова З. А. Выявление дислокаций в кварце методом травления в автоклаве. — Кристаллография, 1964, 9, вып. 4.
- Цинзерлинг Е. В., Вольская О. Б. О выявлении дефектов в кварце методами травления и декорирования серебром в электрическом поле. — Кристаллография, 1968, 13, вып. 6.
- Чен Ли-жунь. О типах кварца в современном аллювии рек Нарына и Кара-Дарьи.— Докл. АН СССР, 1960, 134, № б.
- 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.
- Штернберг А. А., Гордиенко Л. А., Цинобер Л. И. Декорирование дефектов кварца и повышение его радиационной устойчивости. — Кристаллография, 1969, 14, вып. 5.
- Шубников А. В., Цинзерлинг Е. В. О фигурах удара и давления и о механических двойниках кварца. — Труды Ломоносовск. ин-та АН СССР, серия кристаллогр., 1933, вып. 3.
- Шутов В. Д. Обзор и анализ минералогических классификаций песчаных пород.-Литология и полезные ископ., 1965, № 1.
- Шутов В. Д. Классификация песчаников.— Литология и полезные ископ., 1967, № 5. Blatt H. Original characteristics of clastic quartz grains. - J. Sediment. Petrol., 1967,
- 37, N 2. Rlatt H., Christie J. M. Undulatory extinction in quartz of igneous and metamorphic rocks and its significance in provenance studies of sedimentary rocks. - J. Sediment. Petrol., 1963, 33, N 3.
- Böhm A. Uber die Gesteine des Wechsels.- Tschermaks mineral. und petrogr. Mitt., 1883, N 5 (204).
- Carter N. L., Christie J. M., Griggs D. T. Experimental deformation and recrystallizati-on of quartz. J. Geol., 1964, 72, N 6.
- Cayeux L. Les roches sedimentaires de France Roches siliceiuses. Paris, 1929.
- Christie J. M., Griggs D. T., Carter N. L. Experimental evidence of basal slip in quartz.— J. Geol., 1964, 72, N 6.
- Christie J. M., Raleigh C. B. The origin of deformation lamellae in quartz. Amer. J. Sci., 1959, N 257.
- Connoly J. R. The occurrence of polycrystallinity and undulatory extinction in quartz in sandstones. - J. Sediment. Petrol., 1965, 35, N 1.
- Dennen W. H. Stoichiometric substitution in natural quartz. Geochim. et cosmochim.
- acta, 1966, 30, N 12. Dennen W. H. Trace elements in quartz as indicators of provenance. Bull. Geol. Soc. America, 1967, 78, N 1.
- Fairbairn H. W. Deformation lamellae in quartz from the Ajibik formation. Michigan.-Bull. Geol. Soc. America, 1941, 52, N 8.
- Folk R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. -- J. Geol., 1954, 62, N 4.
- Folk R. L. Petrology of sidementary rocks. Austin., Hemphill's Book Store, 1961.
- Gilligan A. The petrography of Mullstone grit of Yorkshire. Quart. J. Geol. Soc. London, 1919, 75.

Heald M. T. Stylolites in sandstones. - J., Geol., 1955, 63, N 2.

Ingerson E., Tuttle O. F. Relations of lamellae and crystallography of guartz and fabric direction of some deformed rocks. - Trans. Amer. Geophys. Union, 1945, 26,

Katz M. Ya. Mineral studies in the gravitation-gradient field. 1. The method. — Sedimertology, 1970, 15, N 1-2.

Katz M. Ya., Katz M. M., Rasskazov A. A. Mineral studies in the gravitation-gradient field. 2. Changes of quarts sand density due to natural and experimental «maturation».— Sedimentology, 1970, 15, N 1-2.

Keller W. D., Littlefield R. F. Inclusions in the quartz of igneous and methomorphic rocks.- J. Sediment. Petrol., 1950, 20, N 2

Krauskoph K. B. Dissolution and precipitation of silica at low temperatures. — Geochim. et cosmochim. acta, 1956, 10, N 1-2.

Krynine P. D. Petrology and genesis of the Third Bradford sand. - Bull. Pennsylvania State Coll. Min. Exper. Sta., 1940, N 29.

Krynine P. D. Microscopic morphology of quartz types. - Pan-American Congress Mining and Geological Engineere. Annals of 2-nd Committee, 1946.

Kuenen Ph. H. Sands — its origin, transportation, abrasion and accumulation. — In: Alex. L. du Toit memorial lecture, Johannesburg, 1959, N 6.

Kuenen Ph. H. Experimental abrasion of sand grains.— Internat. Geol. Gongr. Rept. 21th Session, Pt. 10, Norden, Copenhagen, 1960.

Mackie W. The sand and sandstones of Eastern Morray. — Trans. Edinburgh Geol. Soc., 1896, 7.

O'Brien M. C. M. The structure of the colour centers in smoky quartz. — Proc. Roy. Soc., A, 1955, 231.

Okamoto I., Takeshi O., Ratsumi V. Properties of silica in water.- Geochim. et cosmochim. acta, 1957, 12.

Riley N. A. Structural petrology of the Baraboo quartzite.- J. Geol., 1947, 55, N 6. Ritter Ch. J., Dennen W. H. Colour center zonation in quartz. - Bull. Geol. Soc. Ameri-

ca, 1964, 75, N 9.

Rosenbusch H. Microscopical physiography of she rockmaking minerals. N. Y., 1893.

Sander B. Gefügekunde der Gesteine, Bd. 28. Wien, Springer Verlag, 1930,

Sederholm J. Über einen metamorphisierten praecambrischen Quarzporphyr.- Bull. Comiss. géol. Finlande, 1895, N²⁷. Siever R. Silica solubility 0-200° C, and the diagenesis of siliceous sediments. J. Geol.,

1962, 70, N 2.

Smale D. Density-gradient columns, with special reference to their application to modal analysis. -- Mineral. Sci. and Engng, 1970, 2, N 2.

Sorby H. C. The application of microscopy to geology.— J. Roy. Microscop. Sco., 1877, 17. Van Hise C. R. The Precambrian rocks of Black Hills.-Bull. Geol. Soc. America, 1890, 1. Walenczak Z. Geochemistry of gallium and aluminium in quartz. - Bull. Acad. polon. sci., ser. géol. et géogr., 1966, 14, N 2.

ТАБЛИЦЫ І—ХХХІХ

13 М. Я. Кац

Таблика I

Структурные де зекты кварца

- 1. Дислокационные ямки травления на полированной поверхности зерна кварца. Отраж. свет, увел. 630.
- 2. Изометрично-полигональная мозаичность. Кварц из гранита (валун из морены, Рублево). Николи +, увел. 70.
- Грануляционная мозаичность и прерывистое волнистое угасание. Кварц из гранита (валун из морены, Рублево). Николи +, увел. 70.
- 4. Мозаичность с изрезанными лапчатыми контурами индивидов. Кварц из гранита (валун из морены, Рублево). Николи +, увел. 70.
- 5. Линейная блочность. Кварц из гнейса (валун из морены, Рублево). Николи +, увел. 70.
- 6. Брусковидная блочность. Кварц из гранита (валун из морены, Рублево). Николи + увел. 70.
- 7. Волнистое угасание прерывистое. Кварц из гранита (валун из морены, Рублево). Николи +, увел. 70.
- 8. Полосы деформации. Жильный кварц, Карелия. Николи +, увел. 70.

Таблицы II—XXXIX

Объяснения по каждому из образцов, псмешенных в таблицах, приведены в гл. VJ. Все микрофотографии — без анализатора, увел. 80.



Таблица II







Таблица **V**















Таблица XII



Таблица XIII













Таблица XIX







Таблица XXII



Таблица XXIII




Таблица XXV





Таблица XXVII





1

Таблица XXIX















Таблица XXXVI









ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава I. Некоторые сведения о кристаллографии, составе и физических свойствах кварца	7
Глава II. Принципы составления эталонной коллекции	20
Глава III. Основные типоморфные особенности породообразующего кварца	25
Глава IV. Методика исследований плотностных свойств кварца в зернах	60
Глава V. Эволюция плотностных свойств породообразующего кварца в про- цессе минералогического вызревания пород	71
Глава VI. Результаты изучения плотностных свойств породообразующего кварца эталонной коллекции	84
А. Исходные экспериментальные данные, полученные при изуче- нии кварца в гравитационной градиентной трубке и под микроскопом	84
Б. Статистический анализ плотностных свойств кварца кристал- лических горных пород	121
В. Статистический анализ распределения включений в зернах квар- ца кристаллических горных пород	146
Глава VII. Генетические типы кварца песчаной размерности кристаллических горных пород	177
Литература	185
Таблицы I—XXXIX	189

CONTENTS

Introduction	5
Chapter I. Some data on crystallography, composition and physical properties of quartz.	7
Chapter II. Principles of making up a standard collection	20
Chapter III. The main typomorphic characteristics of rock-forming quartz	25
Chapter IV. Procedure of studying density properties of quartz in grains	60
Chapter V. Evolution of density properties of rock-forming quartz in the cour- se of mineralogical ripening of rocks	71
Chapter VI. Results of study of density properties of rock-forming quartz in the standard collection	84
A. Original experimental data obtained through study of quartz in a gravitation tube and under the microscope	84
B. Statistical analysis of density properties of quartz in crystalline rocks	121
C. Statistical analysis of distribution of inclusions in quartz grains of crystalline rocks	146
Chapter VII. Genetic types of quartz of sand dimensionality in crystalline rocks	177
Bibliography	185
Plates 1-XXXIX	189

Моисей Яковлевич Кац, Игсрь Максимсвич Симанович

Кварц кристаллических горных пород

Утверждено к печати Ордена Трудового Красного Знамени Геологическим инстипнутом

Редактор Г. Ф. Неманова Редактор издательства Т. Б. Гришина Художник В. Покусаев Художественный редактор С. А. Литвак Технический редактор Л. В. Каскова

Сдано в набор 24/Х 1973 г. Подписано к печати 5. И 1974 г. Формат 70×108¹/16. Бумага типографская № 2. Вклейки на меловой бумаг Усл. печ. л. 20,3. Уч.-изд. л. 18,9. Тираж 900. Т-01722. Тип. зак. 3118 Цена 2 р. 22 к.

Издательство «Наука», 103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21 2-я типография издательства «Наука», 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

