



Н. К. Крамаренко

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ,
ПЛАСТИНЧАТОЕ
СТРОЕНИЕ
И ИРИЗАЦИЯ
ПЛАГИОКЛАЗОВ

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И ФИЗИКИ МИНЕРАЛОВ

552.549

Н. К. КРАМАРЕНКО

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ,
ПЛАСТИНЧАТОЕ
СТРОЕНИЕ
И ИРИЗАЦИЯ
ПЛАГИОКЛАЗОВ

474

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКОВА ДУМКА»
КИЕВ - 1975



Приведены теоретическая модель пластинчатого строения плагиоклазов, уравнение интерференции, аналитическое выражение связи цвета иризации с составом, уравнения для определения составов фаз плагиоклазов. Описаны общая методика, частные приемы и методы оптических, спектрофотометрических, электронномикроскопических исследований иризирующих плагиоклазов. Освещены результаты изучения природных образцов, позволившие объяснить особенности иризации и определить составы фаз перистеритов и лабрадоров.

Рассчитана на минералогов, петрографов, кристаллографов.

О т в е т с т в е н н ы й р е д а к т о р
акад. АН УССР Н.П.СЕМЕНЧЕНКО

Рецензенты
д-р геол.-мин.наук Т.Н.АГАФОНОВА,
канд.геол.-мин.наук В.И.ПАВЛИШИН

Редакция наук о Земле

К 20605-375 _____ 236-76
M221(04) - 75

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одна из замечательнейших внешних особенностей плагноклазов — иризация — известна в минералогии уже более 100 лет. На протяжении этого времени неоднократно делались попытки изучения и объяснения этого явления. Однако физическая сущность иризации, ее минералогическая причина и происхождение до настоящего времени остаются невыясненными. Имеющиеся в литературе данные по этому вопросу либо носят описательный характер, либо ограничиваются упоминанием о явлении; поэтому выводы исследователей не выходят за рамки общих рассуждений и предположений, нередко противоречащих высказывавшимся ранее на основании того же фактического материала. Из всех имеющихся данных несомненно следует, что явление иризации плагноклазов обусловлено пластинчатой структурой, свидетельствующей об их гетерогенности. Поскольку иризация непосредственно связана с фазовым составом плагноклазов, то одной из основных целей настоящей работы является попытка использовать это явление при решении важнейшей проблемы современной минералогии и физики полевых шпатов — проблемы фазовой природы промежуточных структур низкотемпературных плагноклазов.

При решении вопроса о физической сущности и причинах иризации автором монографии на основании наиболее достоверных фактических данных, имеющихся в литературе, была разработана теоретическая модель строения пластинчатых плагноклазов и явления иризации в них, исходя из которой составлено уравнение интерференции и получено математическое выражение связи цвета иризации с основностью образца. На основе этого сделаны некоторые выводы, имеющие практическое значение. Составлены уравнения и разработаны методы определения составов фаз иризирующих пластинчатых плагноклазов по результатам их количественных оптических, химических, спектрофотометрических и электронномикроскопических исследований.

С целью количественной проверки гипотезы, следствий из нее и получения исходных данных для расчетов составов фаз перистеритов и лабрадоров проведено экспериментальное исследование иризирующих образцов плагноклазов из месторождений Украины по специально разработанной методике. Сравнение полученных результатов с теоретическими подтвердило правильность принятой модели. На основе этой модели предложено объяснение сущности и причин основных особенностей и закономерностей явления иризации, известных ранее и установленных в процессе исследований автором. По данным этих исследований определены составы фаз перистеритов и лабрадоров.

На основании анализа результатов исследований и литературных данных о характере изменения свойств низкотемпературных плагноклазов с изменением состава предпринята попытка обосновать предположение о двухфазном пластинчатом строении всех низкотемпературных плагноклазов в интервале составов $Al_2O_3 - Ar_{20}$.

В основу работы положены материалы, полученные автором в процессе исследований с 1968 по 1972 г., которые проводились в отделе петрогра-

Физ. ИГЕМ АН УССР под руководством чл.-кор. АН УССР И.С.Усенко. Спектрофотометрические исследования выполнены в отделе минералогии ИГЕМ АН УССР при участии ст. науч.сотрудника А.Н.Платонова под руководством акад. АН УССР А.С.Поваренных. Электронномикроскопические исследования предварительно протравленных образцов проводились в электронномикроскопической лаборатории ИГЕМ АН УССР ст.науч.сотрудником Ю.А.Русько. В разработке оптимальной методики электронномикроскопических исследований пластинчатого строения плагиоклазов автору оказывал помощь ст.науч. сотрудник отдела фазовых переходов ИГЕМ АН УССР Н.П.Мовчан.

Рукопись прочли и высказали ряд ценных замечаний акад. АН УССР Н.П.Семененко, д-р геол.-мин.наук Т.Н.Агафонова и канд. Геол.-мин.наук В.И.Павлишин. В процессе выполнения и оформления работы постоянно оказывали помощь канд.хим.наук С.А.Козак и инж.Т.П.Шестак. Всем им автор выражает глубокую благодарность.

ГЛАВА I

ИЗ ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ИРИЗАЦИИ И ПЛАСТИНЧАТОГО СТРОЕНИЯ ПЛАГИО- КЛАЗОВ

Сведения об иризации плагиоклазов встречаются в литературе начиная с конца прошлого столетия. Характерно, что до 1954 г. исследователи основное внимание уделяли особенностям иризации, в результате чего выявлены главные ее закономерности и высказано несколько гипотез о физической сущности явления. Вопрос же о его минералогической причине занимает основное место в работах начиная с 50-х годов. В рентгено-структурных и электронномикроскопических исследованиях этого периода иризация приводится как подтверждение структурных данных, объясняющих явления несмесимости; иризация сама по себе не рассматривается, а известные закономерности ее не учитываются.

До 1923 г. иризацию все минералоги (например, Andersen, 1915) связывали с включениями рудного минерала, обуславливавшими, как стало известно позже, авантюринизацию, которая не имеет ничего общего с иризацией.

Впервые целенаправленное изучение иризации лабрадора провел в 1923 г. Ф.Р.С.Рейлей (Rayleigh, 1923). Он пришел к выводу, что иризация — это отражение света от некоторой поверхности, являющейся вполне самостоятельной плоскостью в кристалле. По полученным им данным, эта плоскость независимо от цвета иризации ориентируется под углом $13 - 15^\circ$ к плоскости (010). Им установлено, что длина волны иризации уменьшается с увеличением угла падения света на кристалл (аналогичный эффект наблюдается при интерференции в тонких пластинках). Эти данные позволили Рейлею сделать вывод о том, что в явлении иризации нет признаков диффузионного спектра (как, например, у перламутра), а все имеющиеся данные указывают на интерференцию лучей от двух поверхностей тонких пластинок.

С помощью спектрометра прямого наблюдения Рейлей изучил спектр одного образца лабрадора с бронзово-красной иризацией. Им отмечена очень большая интенсивность иризации по сравнению с интенсивностью максимумов в тонких пластинках. Рейлей объяснил это наложением лучей от большого количества пластинок без взаимной интерференции. Максимум в спектре очень широкий и нет длины волны, для которой выполнялось бы условие минимума интенсивности (т.е. полного гашения иризации) при

каком-либо угле падения. Такой факт он объяснил непостоянством толщины пластинок в исследуемом объеме кристалла. Оттенки окраски зависят не только от средней разности хода, а и от статистического распределения около этого среднего. Предположив, что толщина пластинок непостоянна, Рейлей (Rayleigh, 1923) пришел к ошибочному выводу о том, что особенности иризации намного более заметны при прямом наблюдении, чем при наблюдении с помощью спектрометра и поэтому отрицал перспективность применения последнего.

Различия в положении плоскости иризации (пл. ир.) с иррациональными индексами и ориентировке пластинчатых включений рудного минерала, располагающихся только по плоскостям спайности, показали, что отражения от включений и иризация — два самостоятельных, не связанных между собой явления. По той же причине отмечает Рейлей, нет оснований предполагать, что отражения от двойниковых поверхностей имеют что-либо общее с иризацией, хотя иризирующий материал сам по себе часто sdвойникован.

При изучении лабрадоров в шлифах пластинчатое строение не было обнаружено. Исходя из того, что луч иризации имеет вид расходящегося конуса с углом раствора порядка $14 - 16^\circ$, Рейлей предположил, что плоскость иризации не сплошная, а состоит из большого количества дисковидных пластинок. Пластинки имеют очень маленькие размеры и действуют как независимые оптические апертуры. По дифракционной теории круговых апертур Рейлей рассчитал, что при угловом диаметре диффузного отражения точечного источника в 15° и длине волны иризации 6000Å диаметр пластинок равен $0,0058\text{ мм}$. Частицы такого размера должны наблюдаться под микроскопом, но они не наблюдались. Это объясняется тем, что отражения от многих пластинок сливаются.

В отношении природы пластинок Рейлей не пришел к какому-либо определенному выводу. Он допускал, что это могли быть либо включения, либо трещины.

В 1924 г. О.Б.Боггилд (Bøggild, 1924) впервые провел систематическое (на большом количестве образцов различного состава) исследование иризации полевых шпатов. Его монография — единственная фундаментальная работа по этому вопросу, в которой установлены все основные закономерности иризации (спектральная характеристика иризации изучалась только визуально) плагиоклазов и лунного камня и рассмотрены возможные причины этого явления. Боггилд разработал методику и выполнил на гониометре большой объем точных измерений положения (пл. ир.) ортоклазов (лунный камень) и плагиоклазов, изучил связь цвета иризации с основностью образцов в пределах всего ряда лабрадоров и в одном зональном образце. Все изученные им иризирующие плагиоклазы относятся к двум рядам: альбит-олигоклазы (перистериты), лабрадоры — и рассматриваются отдельно.

Из ряда перистеритов исследовано 18 образцов, представляющих составы от An_3 до An_{17} . Иризация во всех образцах была одноцветная и изменялась от темно-синей до яркой небесно-голубой. У sdвойникованных образцов наблюдались два отражения. Плоскость иризации $(08\bar{1})$ или $(1\ 2\ \bar{2})$. Угол между (пл. ир.) и (010) составлял $13 - 14^\circ$.

Лабораторы по положению плоскости иризации разделены на три группы - А, В и С. В одном образце могут наблюдаться две ориентировки (пл.ир.).

Для образцов группы А характерно большое колебание положения (пл.ир.). Иногда ее положение неодинаково в двух соседних зонах одного зонального образца, но обычно этим различием можно пренебречь. Зона плоскости иризации начинается вблизи зоны (010) - (101) около плоскости ($\bar{1}$ 12 1), затем идет к другой важной зоне (010) - (201) вблизи ($\bar{2}$ 91) и оканчивается у плоскости ($\bar{9}$ 33 4). Угол, образуемый (пл.ир.) с (010), равен 9-15°. Интервал составов - 50+60,5 мол. % *Al*. Каких-либо указаний на связь положения (пл.ир.) с составом не отмечено. Для этой группы образцов четко установлена строгая зависимость (в иностранной литературе она известна под названием "правила Боггилда") между изменением длины волны иризации и изменением основности зон одного и того же зонального образца. При этом обычно прямая связь, но для одного из изученных образцов описана обратная зависимость.

Группа В малочисленна (изучено пять образцов), но более изменчива во всех отношениях. Цвета иризации чаще голубые, реже наблюдаются все цвета, аналогичные группе А (от фиолетового до красного), но не так ясно проявляющиеся. Точки выходов (пл.ир.) также расселены. Средний символ плоскости иризации (04 $\bar{1}$) или более точно (1 22 $\bar{7}$). Интервал составов тот же. Связь цвета иризации с составом проявляется слабо, т.е. при изменении цвета зоны состав ее почти не изменяется. Смена состава наблюдалась Боггилдом лишь при резкой смене окрасок. Следует отметить, что в сечениях по (04 $\bar{1}$), на которых измерялось изменение состава по погасанию, вообще плохо заметно это изменение. Из пяти образцов только два обладали иризацией типа В, два имели иризацию типа А и В, а один - типа В и С.

Группа С (изучено пять образцов) также очень изменчива. Плоскость иризации близка к (30 $\bar{1}$). Составы попадают в тот же интервал - 50 + 60 мол. % *Al*.

В работе Боггилда приводится таблица химических анализов 19 образцов иризирующих лабрадоров. Анализы собраны из разных источников. В таблице представлены образцы с составами $An_{40} - An_{47}$, $An_{53} - An_{62}$, $An_{72} - An_{83}$. Боггилд высказывает сомнение в точности анализов, не попадающих в интервал $An_{50} - An_{62}$.

В работе Боггилда отмечено несколько важных моментов.

1. Иризирующие плагиоклазы попадают в два сравнительно узких интервала - An_{3-17} и An_{50-62} .

2. Нет никаких доказательств, что другие плагиоклазы не могут иризовать. Нет также никаких данных о причине, обуславливающей иризацию только в этих двух рядах.

3. Удивительно, что при большей отчетливости иризации плагиоклазов по сравнению с лунным камнем, в первых, в отличие от вторых, нет видимых ламелл или трещин по (пл.ир.). Единственное, что подтверждает их существование - это иризация. Отсутствуют также и какие-либо другие свойства полевых шпатов, связанные с этими направлениями.

Все перечисленные факты не получили до сих пор никакого объяснения и даже не затрагиваются никем из исследователей, хотя все проводят ана-

логию между ламелярным строением перитеритов и калишпатов (криптопертитов).

Боггилд также установил, что иризация ортоклаза не подчиняется закону изменения длины волны иризации с изменением угла падения, установленному для тонких пластинок и выполняющемуся в плагиоклазах. Это позволяет считать, что иризация лунного камня не является интерференцией света в тонких пластинках, а имеет другую природу. Однако такой вывод Боггилда, известный С.В.Раману, не помешал последнему утверждать, что иризация плагиоклазов ничем не отличается от иризации лунного камня и имеет ту же природу.

О природе ламелей О.Б.Боггилд сделал следующие выводы.

1. При наблюдениях с помощью призмы (угол падения на плоскость иризации очень маленький, почти скользкий) установлено, что показатель преломления пластинок должен быть очень близким к показателю преломления лабрадора. Никаких других указаний на субстанцию ламелей нет.

2. Прямая связь между цветом иризации и составом указывает на то, что включения полевого шпата должны быть более основными, чем кристаллохозяин, и иметь форму клина, утолщающегося в сторону увеличения основности. Но тогда промежутки между более основными ламелями должны давать обратный порядок смены цветов иризации с увеличением основности. Значит, иризация обусловлена несмещением главных компонентов плагиоклаза.

3. В большинстве плагиоклазов содержится небольшое количество ортоклаза, но оно всегда так мало, что его можно считать полностью растворенным. Кроме того, в иризирующих плагиоклазах ортоклаза не больше, чем в неиризирующих. А в случае видимых антипертитов они ориентируются так же, как и пертиты в ортоклазе. Тем более невероятно, что ламелли представлены какими-либо редким полевым шпатом.

В 1950-1951 гг. иризация в полевых шпатах изучалась С.В.Раманом с сотрудниками (Raman, 1950, 1951; Raman, Jajaraman, 1950; Raman a.o., 1950). Они также отмечали наличие двух отражений, отвечающих двум системам индивидов альбитовых двойников. Авторы полагают, что длина волны иризации в обоих индивидах должна быть одинаковой. Угол между направлениями иризации и $1(010)$ они определяли как $1/2$ угла между обоими отражениями. Для получения этого угла они фотографировали (с известным расстоянием между негативом и образцом) оба отражения при известном угле падения. На снимках получались два пятна с диффузными границами и различными размерами, зависящими от величины угла раствора конуса пучка иризации. По расстоянию между центрами пятен вычислялся угол между 1 (пл.ир.) и $1(010)$, а по размерам пятен - угол раствора конуса. Естественно, что точность таких определений очень низка по сравнению с непосредственными гониометрическими измерениями.

Индийские исследователи изучали также спектры иризации (методы их получения и сами спектры в работах не приводятся), которые оказались похожими на спектры в тонких пластинках. С интерференцией в тонких пластинках иризации сходна и тем, что с изменением угла падения изме-

яется длина волны максимума иризации. Однако спектры иризации и спектры интерференции в тонких пластинках имеют и отличия. Во-первых, определенное направление иризации действительно есть, но это не может быть отражением от плоскости, так как угол раствора конуса иризации слишком большой (при этом у плагноклазов этот угол почти в два раза меньше, чем у лунного камня). Во-вторых, в спектрах иризации нет длин волн, для которых выполнялось бы условие минимумов интенсивности (Rayleigh, 1923). В-третьих, цвета иризации значительно глубже, чем кольца Ньютона первого порядка (по Ф.Р.С.Рейлей и О.Б.Боггилду), но глубина тонов иризации сходна с цветом, рассеиваемым частицами, размер которых меньше длины волны света.

Последнее обстоятельство авторы связывают с тем, что частицы (представленные, по их мнению, кристаллитами ортоклаза) вызывают эффект Тиндалля. Поскольку частицы занимают фиксированное положение, то диффузное излучение от различных частиц имеет определенное фазовое отношение и способно интерферировать. Эффект в любом направлении будет зависеть от расположения частиц в пространстве. Поскольку свойства и структура ортоклаза и лабрадора подобны, то частицы ортоклаза должны располагаться в определенных плоскостях последнего. Поэтому максимальная интенсивность иризации будет наблюдаться в определенных направлениях, а это можно считать направленным диффузным отражением частиц, составляющих плоскость иризации. Предполагается, что кристаллиты имеют форму ламелей с определенной ориентацией. Цвета дифрагирующего света будут определяться толщиной ламелей, а угловое расстояние пучка будет зависеть от других их размеров. Следовательно, по мнению авторов, иризация - это явление, включающее как эффекты рассеяния, так и эффекты интерференции в тонких пластинках. При этом на первой стадии роста кристаллитов большее значение имеет рассеяние, а на конечной - интерференция.

Таким образом, результаты работ, выполненных индийскими исследователями, свидетельствуют, по их мнению, о том, что характер диффузии света, его спектральный состав, интенсивность, поляризация и распределение в различных направлениях с изменением направления прохождения света через кристалл позволяют принять концепцию о локальной гетерогенности кристалла. Раман утверждает, что локальные изменения состава и показателей преломления приводят к диффузному рассеянию света (Raman, 1950, с.304). Иризация лунного камня, подобно иризации жидкостей из трех несмешивающихся компонентов, - это результат рассеяния света, происходящее при сегрегации альбита в ортоклазе в форме тончайших кристаллов. Синяя иризация лабрадора аналогична иризации ортоклаза, но здесь в виде подчиненной фазы содержатся кристаллиты ортоклаза. Следовательно, несмещение натрия и калия приводит к тому, что игра цветов в лабрадоре и опалесценция лунного камня являются следствием способа распределения этих компонентов полевых шпатов (Raman, 1950). Однако такое объяснение, вероятно, справедливо только для иризации в ортоклазе, где альбит - основной компонент. Ф.Р.С.Рейлей и О.Б.Боггилд убедительно доказали, что для подобного объяснения иризации плагноклазов нет никаких оснований.

В течение более 20 лет изучением иризирующих лабрадоров занимается Т.Н.Агафонова. Результаты этих исследований представлены во многочисленных работах (Агафонова, 1950, 1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1959; и др.). Агафонова показала, что узоры иризации совпадают с узорами погасания образцов, выделила типы и виды узоров иризации и погасания. На материале из месторождений Украины установила пределы составов плагиоклазов, в которых может наблюдаться иризация. Эти пределы значительно шире пределов, устанавливаемых всеми исследователями этого явления, и охватывают интервал от № 46 до № 76. Ею многократно описано существование строгой связи между увеличением основности зон и длиной волны иризации в них для одного и того же зонального образца, а также показано отсутствие четко выраженной связи между цветом иризации и составом при срабнении различных образцов. Составы определялись, как правило, по углам погасания на (010) или универсальным теодолитным методом. Цвета иризации характеризовались визуально. При исследовании содержания ортоклазового компонента какой-либо связи этого содержания с цветом иризации не выявлено.

На основании многолетних исследований Т.Н.Агафонова (1959) пришла к следующим выводам.

1. Иризация, по-видимому, представляет собой явление весьма чувствительное к изменениям химического состава лабрадора и, следовательно, сверхтонкой структуры кристаллической решетки, конкретизировать которую еще нет возможности.

2. Чтобы ответить на вопрос, каким образом химический состав образца обуславливает цвет иризации, необходимо знать ее природу. Гипотеза диффузного рассеяния света, предложенная С.В.Раманом с сотрудниками, кажется наиболее соответствующей действительности. Однако в отношении субстанции кристаллитов Агафонова отдает предпочтение флуктуациям состава, связанным с распадом твердого раствора альбит - анортит. При этом указывается, что не исключена полностью и возможность образования кристаллитов ортоклаза.

В 1954 г. В.И.Михеев и С.А.Руденко выполнили гониометрические измерения положения плоскости иризации в семи образцах плагиоклазов и одном - ортоклаза. Полученные данные несколько не согласуются с данными О.Б.Боггилда. В частности, в изученном ими образце ортоклаза плоскость иризации не совпадает с плоскостью развития криптопертитов. В плагиоклазах положение (пл. ир.) изменяется с изменением состава. На основании выполненных исследований авторы пришли к заключению, что по-видимому, иризация прямым образом не связана с криптопертитовым строением полевых шпатов. Однако в отношении природы иризации и субстанции кристаллитов они в целом разделяют точку зрения С.В.Рамана.

В 1954 г. Л.И.Пазюк впервые попытался количественно описать явление иризации. Поскольку ему был неизвестен факт отклонения положения (пл. ир.) от (010), то причиной иризации он считал интерференцию в тонких пластинках альбитовых двойников. Он пытался (полуколичественными методами) экспериментально проверить принятое им уравнение

разности хода ($\Delta = 2hN \cos r$; где h — толщина пластинок двойников, N — средний показатель преломления плагиоклаза, r — угол преломления падающего пучка света), изменяя угол падения света на кристалл. Разность хода при этом определялась визуально по окраске иризации. Результаты подтвердили правильность уравнения. В процессе исследования лабрадоров в интервале составов $Al_{48} - Al_{55}$ он установил, что изменение основности зон на 2-3 мол.% Al вызывает изменение разности хода лучей на 300-400 мкм, т.е. в этом случае уравнение разности хода (если толщину пластинок принять постоянной) не выдерживается. Удовлетворительного объяснения этого факта он не нашел, поскольку такое изменение разности хода может быть связано лишь с изменением толщины пластинок двойников, которая вряд ли может в такой степени зависеть от состава. Статистические подсчеты толщины двойниковых индивидов в образцах с одноцветной иризацией показали, что полученные средние значения толщины двойниковых индивидов удовлетворяют и принятому уравнению для наблюдавшихся цветов иризации. Однако такие же измерения, выполненные Агафоновой, этого не подтвердили, что вместе с фактом отклонения (пл. ир.) от (010) послужило ей (по непонятной, однако, причине) основанием для отрицания гипотезы интерференции Рейлея вообще.

С начала 50-х годов быстро накапливаются данные о структуре и фазовом составе плагиоклазов. При этом ряды перистеритов и лабрадоров чаще рассматриваются отдельно.

Ф. Лавес (Laves, 1954) установил существование интервала несмесимости между Al_5 и Al_{17} . Решетки фаз соответствуют низкотемпературному альбиту и олигоклазу ($\sim Al_{30}$). Иризация объяснена (согласно представлениям Рамана) рассеянием света кристаллитами олигоклаза. При этом особо подчеркивалось, что иризация свидетельствует о наличии несмесимости, но ее отсутствие не указывает на отсутствие несмесимости.

Последующими рентгеноструктурными изучениями (Gay, Smith J.V., 1955; Smith J.V., 1956; Brown, 1960₂; Ribbe, 1960) подтверждены выводы Лавеса и определены составы фаз как Al_5 и Al_{25} . При этом, как указывает У.Х.Тейлор (1967), верхний предел (определяемый различными авторами по-разному) нельзя считать еще окончательно установленным.

Оптические свойства и валовой состав образца определяются (Ribbe, 1960) соотношением весовых процентов фаз. Данные о скорости достижения обеими фазами высокотемпературного состояния при нагревании образцов позволяют предположить, что фазы различаются и структурным состоянием.

В.Л.Браун (Brown, 1960₂) обращает внимание на тот факт, что, если смешиваются (по данным Ф.Лавеса) фазы составов Al_{0-2} и Al_{30} , то соотношение фаз, равное 1:1, должно наблюдаться при составе Al_{17} . К этому же выводу он пришел на основании анализа интенсивностей отражений фаз исследованных им образцов перистеритов. Судя по изменению соотношения интенсивностей отражений фаз и валового состава образцов, количественное соотношение фаз изменяется от единицы при составе Al_{17} , через 1,5 при составе Al_{13} , до 60 при составе Al_{2-3} . Следовательно, несмешение должно наблюдаться до Al_{30} , однако в образцах основнее Al_{18} рентгеноструктурными методами оно не установлено.

Браун заметил также, что на рентгенограммах перистеритов отражения фазы, содержащейся в меньшем количестве (более основной), обычно более диффузные. Это, по его мнению, может объясняться тем, что решетка минерала-хозяина влияет на решетку минерала-включения. Последнее, в свою очередь, вместе с отсутствием несмесимости в образцах основной An_{18} послужило причиной некоторого занижения основности менее кислой фазы (до An_{26-27}).

Браун рассматривает иризацию как результат рассеяния света кристаллитами олигоклаза.

П.Г.Риббе и Г.С.Ван Котт (Ribbe, Van Cott, 1962) исследовали перистериты при больших увеличениях с помощью фазово-контрастного устройства. Ими обнаружено большое количество мельчайших включений эллипсоидальной формы. Состав включений определен как An_{22} . Они принимали эти включения за рассеивающие кристаллиты Тамана.

С.Г.Флит и П.Г.Риббе (Fleet, Ribbe, 1968) под электронным микроскопом исследовали лунный камень, форма выделений альбита в котором оказалась подобной форме микропертитов. В 1965 г. они (Fleet, Ribbe, 1965) провели аналогичное изучение перистеритов в интервале составов An_2 - An_{17} . В задачу исследования входило: выяснение формы доменов, их кристаллографической ориентировки и связи с плоскостью иризации; выяснение связи распада доменов (гомогенизация образцов по мере нагревания) с иризацией. В результате исследований установлено, что форма доменов пластинчатая, аналогичная описанной Е.Бейриером и Дж.Пенсом (см. ниже) для лабрадоров. Пластинки обычно очень длинные (длина их в сотни раз больше толщины), выдержанные по толщине, которая, однако, нередко изменяется от пластинки к пластинке. Соотношение толщины пластинок меняется с изменением состава образцов от 1:1 (при составе An_{17}) до 50:1 (при составе An_2). Авторы пришли к выводу, что форма пластинок в лунном камне, а тем более в перистеритах, не соответствует представлениям С.В.Тамана, поэтому они считают, что иризация представляет собой интерференцию света в тонких пластинках. Однако полученные ими данные не позволили связать толщину пластинок с цветом иризации.

К.Висванатан и Э.Эберхард (Viswanathan, Eberhard, 1968) изучили рентгенографическими методами 17 образцов перистеритов. Содержание Са и К определялось электронным микроскопом. Авторы пришли к выводу, что на рентгенограммах образцов состава 0-8 мол.% An наблюдаются отражения двух фаз, а состава 8-16 мол.% An - трех фаз. Рефлексы богатой анортитом фазы диффузные, что указывает на непостоянство ее состава.

Вторая фаза представлена чистым альбитом, а третья (если она есть) постоянно содержит 16 мол.% An и, по-видимому, является стабильной в отношении Si/Al распределения. В образцах основное № 16 распад не зафиксирован.

Рентгеноструктурными и оптическими исследованиями лабрадоров (Chao, Taylor, 1940; Cole a.o., 1951; Gay, 1956; Gay, Bown, 1956; Bown, Gay, 1958) установлено, что они в структурном отношении относятся к ряду низкотемпературных плагиоклазов (An_{25} - An_{75}) с промежуточными структурами. На рентгенограммах этих плагиоклазов рефлексов типа δ

"с" и "д", характерных для анортита, нет. Рефлексы типа "δ" заменяются парами рефлексов типа "е", равноотстоящих от положения отсутствующих основных рефлексов и иногда отличающихся по интенсивности. Их положение и интенсивность зависят от состава плагиоклаза. Для членов ряда, богатых кальцием, свойственны также одвоенные рефлексы типа "ε". Подобные рентгенограммы особенно характерны для составов от Al_{75} до Al_{50} . При уменьшении основности ниже 50 мол. Al , описанные рефлексы постепенно ослабевают. Как указывает У.Х.Тейлор (1967), резкой границы между перистеритами и плагиоклазами с промежуточными структурами, с одной стороны, и между последними и битовнитами, с другой, по рентгенографическим данным, провести нельзя, хотя и имеются существенные различия в рентгенограммах плагиоклазов, относящихся к смежным рядам.

При нагревании плагиоклазов с промежуточными структурами рефлексов дополнительных слоевых линий, не изменяя своего положения, постепенно становятся все более диффузными и исчезают совсем. Положение рефлексов и степень диффузности их при фиксированной температуре определяется составом.

Структура промежуточных плагиоклазов до настоящего времени остается не выясненной. Предложено несколько моделей этой структуры.

1. Чередование вдоль оси *C* областей (доменов) различной основности (Chao, Taylor, 1940). Эта модель до настоящего времени поддерживается многими исследователями.

2. Поскольку рентгеновскими методами не удается выделить в этих плагиоклазах более одной фазы, в последнее время получила признание модель Е.Д.Мегау (Megaw, 1960), основанная на анализе характера распределения ошибок упаковки субъячеек, положение и природа которых определяется $Al-Si$ отношением. Этой моделью с чисто геометрических позиций объясняются все особенности промежуточных структур.

Исследованиями последних лет (Korekawa, Jagodzinski, 1967) в иризирующих лабрадорах установлено наличие суперсверхструктурных отражений ионного типа. Сверхпериодичность по оси $[100]$ в образцах с фиолетовой иризацией $1800 \pm 200 \text{ \AA}$, а с ультрафиолетовой - $1400 \pm 200 \text{ \AA}$. В неиризирующих образцах такие отражения не наблюдались. Авторы считают, что иризации и эти отражения обусловлены одной причиной. Сверхструктурные отражения, которые соответствуют уже известным "b" и "с" расщепленным отражениям, наиболее вероятно обусловлены распадом твердого раствора альбит - анортит, так как интенсивность этих отражений является функцией содержания анортита.

В 1957 г. Е.Бейриер и Дж.Пенс (Baier, Pense, 1957) впервые получили электронномикроскопические снимки реплик с протравленных в HCl базальных плоскостей лабрадоров. Состав плагиоклаза не определялся. На снимках наблюдались равномерно распределенные прямые полосы шириной порядка 0,3 мкм. Наличие этих полос они объяснили полисинтетическим двойникованием, а иризацию - интерференцией лучей на этой ламеллярной структуре и предположили, что интерференция происходит согласно закону Брегга - Вульфа: $n\lambda = 2d \sin \theta$.

В 1965 г. Ф.Лавес и др. (Laves a.o., 1965) провели комплексное электронномикроскопическое, электронографическое, оптическое и рентгено-

структурное исследование двух образцов иризирующих лабрадоров. Установлено, что лабрадоры состоят из перемежающихся ламелл A и B , которые отличаются константами отражения. Электронная микродифракция не показывает наличия двух фаз. Было найдено, что период идентичности $d=a+b$ (т.е. сумма толщин двух пластинок различных фаз) удовлетворяет уравнению Брегга - Вульфа для луча иризации. Длина волны оценивалась визуально. В более основном (Al_{57}) образце соотношение толщин пластинок примерно равно 1:1. В более кислом образце (Al_{53}) период идентичности меньше, чем в первом, а соотношение толщин пластинок (судя по приведенному снимку) близко к 1:3. Эти наблюдения велись в проходящем свете и на репликах протравленных в Hf поверхностей скола по (001).

Полученные в результате исследований противоречивые данные - электронная трансмиссия ясно показывает существование двух фаз, а электронография и рентгеновские данные этого не подтверждают - авторы объяснили тем, что фазы, на которые распался первичноомогенный плагиоклаз, имеют различные отношения Ca/Na и Si/Al , но благодаря их взаимному влиянию различия в структуре стираются.

Несколько позже эти исследования были продолжены (Nissen, Eggmann, Laves, 1967), но на значительно большем количестве образцов (около 100). Длина волны иризации также оценивалась визуально. По составу образцы охватывают интервал от № 40 до № 60. Пластинчатое строение обнаружено в образцах с составами Al_{44} , Al_{45} , Al_{50-60} и Al_{76} . Ни один из исследованных образцов с содержанием до 2 мол.% Og не обладал иризацией. Почти во всех образцах, содержащих 2-4 мол.% Og , иризация наблюдалась. Результаты исследований можно представить следующим образом.

1. Лабрадоры состоят из двух типов пластинок, перемежающихся между собой и различающихся степенью растворимости в Hf .

2. Наблюдается прямая линейная зависимость между периодом идентичности и основностью различных образцов. Указанная зависимость иллюстрируется диаграммой, построенной по данным для 13 образцов - из 100 изученных (Nissen, Eggmann, Laves, 1967, Fig.5, p.297).

3. Период идентичности пластинчатого строения изменяется даже в пределах одной реплики.

4. Соотношение толщин соседних пластинок сильно меняется в пределах образца и даже одной реплики (но это соотношение не определялось). Однако, если сравнивать различные образцы, то становится очевидной зависимость изменения a/b от состава. Характер этой зависимости ни качественно, ни количественно в работе не освещается.

5. Обнаружены образцы с пластинчатым строением двух (почти перпендикулярных) ориентировок, которые точно не определялись.

6. Пластинчатое строение в соседних индивидах двойников симметрично относительно (010).

Все изученные образцы подразделены на несколько групп по наличию "b"-отражений, содержанию Og , структурному состоянию и наличию пластинчатого строения с периодичностью порядка 1000 Å.

Основные выводы авторов следующие.

1. Наблюдаемые под электронным микроскопом пластинки, возможно, и отличаются по отношению Na/Ca , но более вероятно, что они отличаются

по содержанию ортоклазового компонента. Этот вывод полностью разделяет О.Кристи (Christie, 1969).

2. Доменное фазовое строение и пластинчатое строение с периодичностью 1000–2500 Å, которое не устанавливается рентгенографически (см., однако, Kogekawa, Jagodzinski, 1967), а предполагается только по наличию иризации, непосредственно не связаны.

3. Иризирующие пластинки не являются двойниками, ибо не обнаруживаются рентгенографически.

4. Отличаются они также и от пертитовых пластинок лунного камня и перистерита, так как и рентгеновскими исследованиями, и электронной микродифракцией в лабрадорах установлена только одна фаза.

5. Иризация не зависит от структурного состояния полевого шпата: после перехода его в высокотемпературную модификацию иризация сохраняется.

М.Корекава (Kogekawa, 1967) в своей теории сателлитовых отражений промежуточных структур главную роль отводит выделению богатых Na или богатых Ca доменов, обуславливающих структурную сложность плагиоклазов с промежуточными структурами, а также явление иризации.

В последней своей работе Г.У.Ниссен (Nissen, 1969) снова возвращается к мнению о том, что, по аналогии с перистеритами, пластинки лабрадоров, по-видимому, различаются отношениями Si/Al и Ca/Na.

Комплексное изучение (спектрооптическими, рентгенографическими, электронографическими и электронно-микроскопическими методами) двух образцов лабрадоров, состав которых не определялся, проводила группа американских авторов (Volton, а.о.1966). Впервые получены спектры иризации лабрадоров при различных углах падения света на образец. Измерения толщины пластинок различных фаз на электронно-микроскопических снимках показали, что в образце с бронзово-красной иризацией их соотношение равно 1:2. Во втором образце, с синей иризацией, это соотношение равно 1:1. В спектре первого образца наблюдаются два максимума, а в спектре второго – один. Авторы показали, что среднее значение периода идентичности с точностью $\pm 10\%$ удовлетворяют уравнению Брегга – Вульфа для экспериментально полученных максимумов иризации. В пределах ошибки измерений выполняется соответствие экспериментально измеренного изменения длины волны максимальной интенсивности иризации (при изменении угла падения света на плоскость иризации) с изменением длины волны, рассчитанным по этому уравнению.

Из изложенных выше взглядов на природу иризации и ее минералогическую причину, можно выделить два типа моделей этого явления.

1. Сущность явления состоит в рассеянии света доменами (кристаллитами) плагиоклаза-включения. Форма кристаллитов близка к изометричной. Этим механизмом объясняется иризация лунного камня и плагиоклазов. Взгляды на субстанцию кристаллитов различны:

1) для перистеритов – домены олигоклаза (Laves, 1954; Ribbe, 1960; Viswanathan, Eberhard, 1968);

2) для лабрадоров – кристаллиты ортоклаза (Raman, 1950, 1951; Raman, Jajaraman, 1950), кристаллиты, связанные с распадом твердого раствора Ab-An (Агафонова, 1956).

Гипотеза рассеяния носит характер общих рассуждений без попыток точного описания явления. Авторы не пытаются объяснить и широко известные закономерности иризации: изменения длины волны иризации с изменением угла падения света на кристалл; наличие интенсивной иризации в плагиоклазах при ничтожном (0 - 4 мол.%) количестве ортоклаза, несомненно полностью растворенного; наличие строгой связи между изменением цвета иризации и составом зон в одном образце и др.

П. Модели интерференции в тонких пластинках. В перистеритах пластинки представлены альбитом и олигоклазом № 23-28. По поводу субстанции пластинок лабрадоров мнения разноречивы:

1) пластинки представляют собой двойниковые пластинки (Пазж, 1954; *Barier, Pense, 1957*);

2) перемежающиеся между собой пластинки двух типов ориентируются под углом $10-15^{\circ}$ к (010) и отличаются между собой: содержанием ортоклазового компонента и степенью упорядоченности (*Nissen u. a., 1967; Christie, 1969*); отношениями Na/Ca и Si/Al , однако нет никаких указаний на величину различий этих отношений (*Laves, a. o., 1965; Bolton, a. o., 1966; Nissen, 1969*).

Исходя из этой модели, объяснены (*Rayleigh, 1923; Vogtild, 1924; Bolton, u. a., 1966*) некоторые чисто физические закономерности иризации. В работах по иризации и пластинчатому строению плагиоклазов нет даже попытки объяснить основные закономерности, связанные с минералогическими причинами: строгую связь цвета иризации с основностью зон в одном образце, интенсивность иризации перистеритов и лабрадоров, особенности окрасок иризации в перистеритах и лабрадорах и др.

ТВОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ
ИРИЗИРУЮЩИХ ПЛАГИОКЛАЗОВ

Аналитическое рассмотрение физической природы, минералогической причины и способов использования явления иризации плагиоклазов, которому посвящена настоящая глава, основано на ряде предпосылок, часть из которых представляет собой ранее установленные факты, а часть - в различной степени обоснованные предположения автора, достоверность которых проверена экспериментальными исследованиями (см. гл.3 и 4).

Принятая исходная теоретическая модель строения пластинчатых плагиоклазов и иризации в них сводится к следующим основным положениям:

1. Электронномикроскопическими исследованиями установлено, что иризирующие кристаллы представляют собой совокупность тонких плоскопараллельных пластинок, размеры которых в плоскости уплощения практически бесконечны по сравнению с их толщиной. Отсюда следует, что явление иризации может быть лишь результатом интерференции лучей, отраженных от поверхностей раздела между пластинками - плоскостями иризации.

2. Морфология пластинчатого строения исключает вероятность того, что один из типов пластинок может быть представлен чистым ортоклазом, так как максимальное содержание ортоклаза в плагиоклазах никогда не превышает 6-7 мол.%. Поэтому даже в случае его выделения в самостоятельную фазу в образующейся пластинчатой (вместо более вероятной - антипертитовой) структуре максимально возможное соотношение толщин пластинок различных типов не может превышать 1:1?, что не соответствует действительности. Тем более, что цвет иризации зависит от содержания анортита, а не ортоклаза.

3. Обнаруживаемые под электронным микроскопом пластинки двух типов отличаются основностью, а не содержанием ортоклазовой молекулы, так как только в первом случае они будут достаточно четко различаться по показателям преломления света, что обеспечивает и заметную интенсивность света, отражаемого поверхностью раздела между пластинками. На это указывает также связь цвета иризации с основностью образца, а не с содержанием ортоклазовой или какой-нибудь иной молекулы.

4. Предполагается, что состав пластинок каждого типа остается постоянным для некоторого интервала составов. В этом случае интенсивность пучков, отраженных от единичных поверхностей раздела между пластинками, будет оставаться (пренебрегая поглощением света в пластинке) постоянной.

ной. На основании этого следует ожидать, что в спектрах иризации должны в первую очередь наблюдаться максимумы, длины волн которых удовлетворяют условиям интерференции лучей, отраженных от двух поверхностей ограничения единичных пластинок каждого из типов. Условия интерференции лучей от пары поверхностей раздела, располагающихся на расстоянии периода идентичности, несомненно, менее благоприятны.

Большинство зарубежных исследователей (Laves u.a., 1965; Bolton a.o., 1966; Nissen u.a., 1967) связывает, по аналогии с рентгеновской моделью, максимумы иризации только с периодом идентичности. Однако в рентгеновской модели расчета интенсивности (в отличие от обсуждающейся — оптической) максимумы, связанные с периодом идентичности, всегда более интенсивны, чем максимумы, отвечающие паре ближайших плоских сеток. Это связано с тем, что ближайшие плоские сетки всегда отличаются плотностью и, следовательно, интенсивностью отраженных пучков, а сетки, располагающиеся на расстоянии периода идентичности, идентичны по плотности и интенсивности отраженных пучков. Поэтому использовавшаяся Г.С.Балтоном и др. (Bolton a.o., 1966) модель расчета интенсивности максимумов интерференции объективно неприемлема для расчета спектров иризации лабрадоров.

5. Если состав пластинок каждого типа постоянен, то соотношение их объемов полностью определяется валовым составом образца. Очевидно, что при указанной в пункте I степени улощения пластинок, соотношение средних толщин пластинок каждого из типов вполне представляет соотношение их объемов. Поэтому при постоянном валовом составе образца из трех геометрических констант пластинчатого строения — толщина пластинок каждого из типов и период идентичности — произвольно изменяться может только одна, а две другие определяются первой и валовым составом образца.

6. Независимой переменной является, по-видимому, период идентичности, величина которого (так же, как и валовой состав образца) определяется только термодинамическими условиями образования пластинчатого кристалла. Следовательно, можно предполагать, что в одном зональном образце период идентичности остается практически постоянным во всех зонах. При этом условия толщины пластинок различных типов и их соотношения должны изменяться с изменением состава зон.

7. Данные, приведенные в предыдущей главе, показывают, что никаких различий в тонкой ламеллярной структуре перистеритов и лабрадоров нет как нет и существенных различий в закономерностях их иризации, за исключением того, что в перистеритах, в отличие от лабрадоров, окраски иризации выше синих и голубых встречаются очень редко. Нет также никаких оснований сомневаться в том, что иризация в обоих рядах плагиоклазов обусловлена одной и той же причиной — пластинчатым строением и различной основностью пластинок. А то, что в промежуточных плагиоклазах эти фазы не различаются рентгеновскими методами (в отличие от перистеритов) из-за чего отрицается их двухфазовое строение — то это самостоятельный вопрос, требующий отдельного рассмотрения. Таким образом, имеются все основания модель распространить на все пластинчатые плагиоклазы независимо от их валового состава и величины периода идентичности.

Ниже приводится анализ явления иризации и методы его использования при определении составов фаз плагиоклазов, основанные на изложенных здесь фактах и допущениях.

УРАВНЕНИЕ РАЗНОСТИ ХОДА

Для получения уравнения разности хода рассмотрим сечение пластинчатого кристалла по плоскости, перпендикулярной к плоскости ограничения кристалла и к плоскостям раздела между пластинками (рис.1).

Пусть на поверхность скола по (010) или близкую к ней полированную поверхность ограничения пластинчатого образца падает пучок света в плоскости, в которой лежат нормали к (010) и к (пл. ир.), угол между последними обозначим через α . В этой плоскости (падения) будут лежать также пучки, отраженные плоскостью (010) и границами между пластинками-плоскостями иризации. Пренебрегая двупреломлением света, которое в плагиоклазах не превышает 0,01, будем считать, что в среде кристалла выполняются простые геометрические соотношения, наблюдаемые при распространении света в изотропной среде. Обозначим средний показатель преломления света и толщину пластинки более кислой и более основной фаз соответственно через n_1, d_1 и n_2, d_2 и рассмотрим пути лучей 1 и 2 (рис.1).

Как видно из рисунка, разность хода между этими лучами выразится суммой:

$$\Delta = 2FGn_2 + DCn_1 - AB \pm \frac{\lambda}{2} \quad (2-1)$$

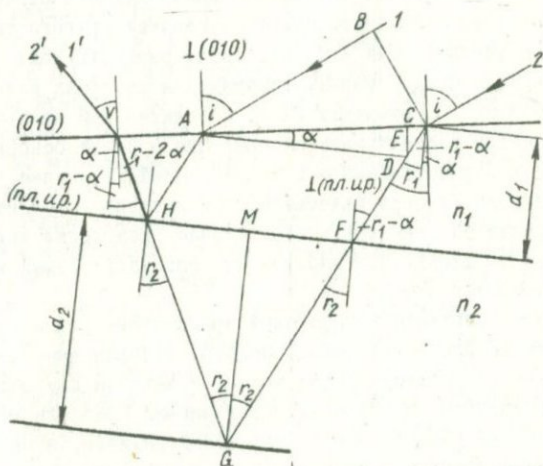


Рис.1. Сечение иризирующего кристалла по плоскости падения.

Дополнительная разность хода в полволны возникает, как известно, в оптически менее плотной среде вследствие изменения фазы колебаний при отражении от границы с более плотной средой.

Подстановкой в равенство (2.1) значений отрезков, которые легко определяются из рисунка через d_2 и функции углов, и простыми преобразованиями равенство приводится к виду:

$$\Delta = \left\{ 2d_2 \frac{n_2}{\cos r_2} + n_1 \operatorname{tg} r_2 \left[\frac{\sin \alpha}{\cos r_1} \sin r_1 (\cos \alpha + \sin \alpha \operatorname{tg} r_1) \right] \right\} \pm \frac{\lambda}{2}. \quad (2.2)$$

Поскольку разница между показателями преломления даже конечных членов всего ряда плагноклазов не превышает 0,05, а разница между показателями преломления фаз будет, по-видимому, значительно меньше, то ее можно пренебречь. Тогда, заменив n_1 и n_2 средним показателем преломления N , а угол r_2 его значением $r_1 - \alpha$ и обозначив r_1 через r , с помощью соответствующих преобразований получим

$$\Delta = 2d_2 N \cos(r - \alpha) \pm \frac{\lambda}{2}. \quad (2.3)$$

Как известно, максимумы интенсивности интерференции наблюдаются в случаях, когда

$$\Delta = 2n \frac{\lambda}{2}. \quad (2.4)$$

Подставив в равенство (2.4) вместо Δ его значение (2.3) и перенеся $\pm \frac{\lambda}{2}$ в правую часть равенства, получим

$$4d_2 N \cos(r - \alpha) = (2n \pm 1) \lambda. \quad (2.5)$$

Наличие ± 1 в члене $(2n \pm 1)$ обусловлено ранее принятым допущением, что в спектрах иризации наблюдаются максимумы, отвечающие каждому типу пластинок, которые отличаются тем, что дополнительная разность хода лучей в них возникает либо на верхней поверхности пластинки, либо на нижней, в зависимости от величины показателя преломления в рассматриваемой пластинке по сравнению с показателями в пластинках другого типа, что в свою очередь определяет знак дополнительной разности хода, входящей в общую разность хода между лучами, отраженными от обеих плоскостей ограничения пластинки. В уравнении (2.5) положительный знак в $(2n \pm 1)$ берется в случае, когда рассматривается иризация в более основной по составу пластинке, а отрицательный — в более кислой. В случае, когда рассматривается иризация от пары пластинок, дополнительная разность хода в уравнение не вводится, так как в этом случае происходит интерференция лучей, отраженных от идентичных плоскостей. Рассматриваемый член уравнения в этом случае имеет вид $2n$.

Таким образом, различие показателей преломления фаз в уравнении (2.5) учитывается только качественно. Ошибка, которая вносится в результат количественным их различием (так же, как и наличие двупреломления) при рассмотрении чисто геометрических соотношений (аналогично данному случаю) не выходит за пределы ошибок измерений величин, входящих в формулу. Различия показателей преломления фаз и двупреломление наряду с поляризацией играют важную роль лишь при рассмотрении интенсивности иризации.

На основании изложенного следует полагать, что спектры иризации в более основных пластинках должны начинаться с нулевого порядка, а значения члена $2n + 1$ для этого и последующих (1-го, 2-го и т.д.) порядков

равны соответственно : 1, 3, 5 ... Спектры иризации в кислых пластинках не будут иметь нулевого порядка и значения члена $2n-1$ для первого и последующих порядков также соответственно равны : 1, 3, 5, ... В связи с этим для различных типов пластинок уравнение (2.5) будет иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \text{для основных пластинок} \quad 4d_0 N \cos(r-\alpha) &= (2n+1) \lambda_0, \\ \text{для кислых пластинок} \quad 4d_2 N \cos(r-\alpha) &= (2n-1) \lambda_2, \\ \text{для периода идентичности} \quad 2(d_0+d_2) N \cos(r-\alpha) &= n\lambda. \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

В этих уравнениях для основных пластинок $n=0, 1, 2, \dots$, для кислых пластинок и периода идентичности $n=1, 2, 3, \dots$

Следует отметить, что приведенные уравнения справедливы только при условии, что ирризация наблюдается на той же плоскости, на которую падает свет. При других условиях они будут иметь иной вид.

Угол r в этих уравнениях положительный в случае, когда падающий лучок и l (пл.ир.) находятся по одну сторону от $l(010)$; в противном случае знак этого угла отрицательный. Угол α всегда положительный и определяется (см.рис.1) из равенства:

$$2\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin i}{N}\right) - \arcsin\left(\frac{\sin v}{N}\right) \quad (2.7)$$

или

$$2\alpha = r - r_n, \quad (2.7a)$$

где i - угол (падения) между $l(010)$ и падающим лучом; v - угол (выхода иризации) между $l(010)$ и лучом иризации; r - угол (преломления падающего пучка) между $l(010)$ и преломленным падающим лучом;

r_n - то же для луча иризации;

α - угол между $l(010)$ и l (пл.ир.).

Угол v положителен, когда луч иризации и l (пл.ир.) лежат по разные стороны от $l(010)$ и наоборот, т.е. знаки углов i и v при падении луча и выходе иризации по одну сторону от $l(010)$ всегда обратные.

Исследование уравнений (2.5) и (2.7) при изменении угла падения от 90° через 0 до максимально возможного отрицательного его значения показывает следующее:

1. Максимально возможное положительное значение угла падения (при указанных условиях падения и наблюдения иризации равно 90° . Поскольку $\sin i = \sin r N$, то при $N=1,560$ и $\sin i=1$, $r=40^\circ$. А из равенства $\sin v = \sin r_n N$ и $r_n = n-2\alpha$ при $r=40^\circ$ и $\alpha=10^\circ$ можно вычислить, что $v=32^\circ$. Значение $\cos(r-\alpha)$ в уравнении (2.5) при этом максимально и равно 0,866.

2. При уменьшении угла падения угол выхода иризации будет также уменьшаться, но несколько медленнее, а исследуемые уравнения сохранят общий вид.

3. При уменьшении угла выхода иризации до нуля (наблюдение иризации в направлении $l(010)$) из уравнения (2.7), при $v=0$, получим

$$2\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin i}{N}\right), \quad \text{или} \quad r = 2\alpha,$$

а уравнение (2.5) преобразуется к виду

$$4d_0 N \cos \alpha = (2n \pm 1) \lambda. \quad (2.8)$$

4. При дальнейшем уменьшении угла падения, угол v будет иметь отрицательное значение. При этом $i > |-v|$ и $r > |-r_z|$, $2\alpha = r + |-r_z|$. Следовательно, $r > \alpha$ и уравнение (2.5) сохранит общий вид.

5. Если $r = \alpha = |-r_z|$ (нормальное падение на плоскость иризации), то из уравнения (2.7) получим $\sin i = \sin |-v| = \sin \alpha$, и уравнение (2.5) для этого случая будет

$$4dN = (2n \pm 1) \lambda, \quad (2.9)$$

т.е. значение $\cos(r-\alpha)$ будет максимальным и равным единице.

6. При уменьшении угла падения от $r = \alpha$ до $r = 0$ соотношение между углами r , α и r_z изменится $r < \alpha < |-r_z|$, т.е. падение на плоскость иризации будет обратное. Тогда в уравнении (2.5), вынеся -1 за скобку аргумента при косинусе и помня, что $\cos \varphi = \cos(-\varphi)$, получим уравнение

$$4dN \cos(\alpha - r) = (2n \pm 1) \lambda. \quad (2.10)$$

При этом $2\alpha = r + |-r_z|$.

7. При $i = r = 0$ (нормальное падение на (010)) из уравнения (2.7) получим

$$\sin 2\alpha = -\frac{\sin |-v|}{N}, \quad \text{т.е. } \sin 2\alpha N = \sin |-v|.$$

Уравнение (2.5) для этого случая будет:

$$2dN \cos \alpha = (2n \pm 1) \lambda. \quad (2.11)$$

8. При падении луча с обратной стороны от l (010) углы падения и преломления будут иметь отрицательные знаки, так же, как и угол выхода иризации v . Поскольку $|-v| > |r_z|$, то уравнение (2.7) после вынесения -1 за символ функции примет вид

$$2\alpha = -\arcsin\left(\frac{\sin i}{N}\right) + \arcsin\left(\frac{\sin v}{N}\right),$$

или

$$2\alpha = |-r_z| - |-r|.$$

Подставив в уравнение (2.5) r с отрицательным знаком и заменив $\cos[-(r+\alpha)]$ на $\cos(r+\alpha)$, получим

$$4dN \cos(|-r| + \alpha) = (2n \pm 1) \lambda. \quad (2.12)$$

9. Предельный угол падения (для случаев, когда падающий луч и l (пл.ир.) находятся по разные стороны от l (010)), при котором возможно наблюдение иризации, определяется условием отсутствия полного внутреннего отражения иризирующего луча. Величина угла падения при $|-v_{\max}| = 90^\circ$, по аналогии с пунктом 1, соответствует примерно 32° .

Использование уравнений (2.6) позволяет определять толщину пластинок, в которых возникает иризация, по известным из эксперимента значе-

ниям углов падения и видимости иризации. Состав плагноклаза и его N средний показатель преломления определяются петрографическими методами, а угол α из равенства (2.7).

Поскольку в процессе отражения участвует большое количество пластинок (распологающихся в интервале глубины проникновения света в кристалл во время эксперимента), то каждый максимум в спектре будет представлять сумму (если не учитывать эффект возможной частичной интерференции между лучами от различных пластинок) интенсивностей нескольких сотен пластинок данного типа, толщина которых, как уже указывалось (Rayleigh, 1923; Laves u.a., 1965; Nissen u.a., 1967), колеблется в определенных пределах. Поэтому значение толщины пластинки, полученное по уравнениям, приведенным выше, будет представлять среднюю толщину всех пластинок в исследуемом интервале глубины или толщину наибольшего количества одинаковых пластинок в этом интервале.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ИРИЗАЦИИ

Исходя из принятой модели строения пластинчатых плагноклазов выведены уравнения (2.6) для определения длин волн, при которых должны наблюдаться максимумы интенсивности в спектрах иризации. При этом каждая из пластинок рассматривалась изолированно от других, т.е. предполагалось, что лучи иризации от различных пластинок, представляющие собой результат интерференции лучей, отраженных от нижней и верхней поверхности ограничения каждой пластинки, не интерferируют между собой. В этом случае общая интенсивность иризации в каждом из типов пластинок для каждой длины волны будет представлять собой простую сумму интенсивностей иризации (этой же длины волны) всей совокупности пластинок данного типа, участвующих в отражении. Следовательно, интенсивность иризации (I_u) каждого из типов пластинок при любой длине волны будет определяться только интенсивностью иризации в единичной пластинке (I_i) и количеством пластинок (M):

$$I_u = \sum_{i=1}^M I_i.$$

Поскольку величина I_i из-за уменьшения интенсивности падающего пучка, что обусловлено многократным отражением от большого количества поверхностей раздела и поглощением света в кристалле, является сложной функцией расстояния пластинки от поверхности кристалла, то получение точного выражения для определения интенсивности иризации представляет собой очень сложную задачу. Для упрощения ее можно пренебречь уменьшением интенсивности падающего пучка, а также различиями отражательных свойств пластинок разных типов. Тогда можно считать интенсивность лучей, отраженных каждой поверхностью раздела пластинок, независимо от ее положения в кристалле, постоянной, т.е. $I_i = const$.

Интенсивность иризации в единичной пластинке (I_i), представляющая собой результат интерференции двух волн одинаковой (как принято выше) амплитуды (интенсивности), определяется из выражения (Фейнман и др., 1967, т.3, с.57, уравнение (29.12)):

$$I_i = \Delta I_i \cos^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right),$$

где I_j — интенсивность луча (для данной длины волны), отраженного одной плоскостью раздела между пластинками; $(\varphi_2 - \varphi_1)$ — разность фаз лучей, отраженных от верхней и нижней поверхностей ограничения пластинки, определяющаяся разностью хода между этими лучами.

Но, при принятом допущении о равенстве интенсивностей (I_j) лучей, отраженных всеми плоскостями ирризации, интенсивности ирризации во всех пластинках будут также одинаковы, при условии постоянства периода идентичности. Тогда общая интенсивность ирризации в пластинках данного типа будет

$$I_M = I_i M = 4M I_j \cos^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right).$$

Величина I_j в этом выражении для случая отражения неполяризованной волны в изотропной среде (каковой мы ранее условились считать среду плагноклава), определяется из уравнения (Яворский и Детлаф, 1964, с.538.

$$R = \frac{I_2}{I_n} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)} + \frac{\cos^2(i-r)}{\cos^2(i+r)} \right],$$

где R — коэффициент отражения; I_n — интенсивность падающей волны; i и r — соответственно, углы падения и преломления луча, определяемые (см. выше) из эксперимента.

Так как количество пластинок обоих типов (и периодов идентичности) одинаково в одном и том же интервале толщины кристалла, на которую в него проникает свет при наблюдении ирризации, то интенсивности волн, отвечающие условиям максимумов интерференции (т.е. при $\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi n$, где n — любое целое число), в каждом из типов пластинок также будут одинаковы.

Приведенное выражение для интенсивности ирризации в совокупностях пластинок каждого типа представляет (в рамках принятых допущений) суммарный эффект сложения интенсивностей ирризации во всех пластинках без их взаимной интерференции.

Простое сложение интенсивностей имеет место только в случаях сложения некогерентных волн (Яворский, Детлаф, 1964, с.544). Однако, когда падающий пучок отражается от большого количества плоскопараллельных пластинок ирризирующего плагноклава, разность фаз различных волн определяется только толщиной пластинок, от которых наблюдается ирризация. Толщина пластинок в образце постоянного состава зависит только от величины периода идентичности пластинчатого строения. Поэтому, если период идентичности будет постоянным на каком-либо участке пути луча в кристалле, то постоянной будет оставаться и толщина пластинок обоих типов, а следовательно, и разность хода между лучами, т.е. лучи ирризации от различных пластинок в этом интервале будут когерентны. Последнее приведет к тому, что будет происходить интерференция лучей ирризации от этих пластинок.

Так как (рис.2), $l = d_0 + d_x$, то обозначив $\frac{d_x}{d_0}$ через k , выразим d_0 и d_x через l и k . Тогда

$$d_0 = \frac{l}{(k+1)}, \quad d_x = \frac{kl}{(k+1)}.$$

Подставив в (2.6) эти значения толщины пластинок и обозначив $2lN \cos(\pi - \alpha)$ через a получим

$$\lambda_n = a; \quad \lambda_0 = \frac{2a}{(k+1)}; \quad \lambda_k = \frac{2ak}{(k+1)}. \quad (2.13)$$

Прежде, чем перейти к составлению уравнений интенсивности результирующих волн, определим фазы колебаний каждой из пяти волн в точке А (рис.2), от которой все волны далее идут по одному пути.

Положим, что фаза волны 1 в этой точке равна нулю - $\varphi_1 = 0$. Чтобы найти фазу волны 2 в этой точке (фазы лучей 1 и 2 на фронте ВС предполагаем, как обычно, одинаковыми), необходимо к фазе волны 1 добавить разность фаз между волнами 2 и 1, т.е. $\varphi_2 = \varphi_1 + (\varphi_2 - \varphi_1)$.

Аналогично $\varphi_3 = \varphi_2 + (\varphi_3 - \varphi_2)$ и т.д.

Из рис.2 видно, что разности фаз лучей 2 и 1, 4 и 3 и т.д. равны между собой и представляют разности фаз волн, отраженных нижними и верхними поверхностями ограничения каждой основной пластинки. Поскольку (Фейнман и др., 1967, т.3, стр.60, уравнение (29.17)) разность фаз волн, отраженных от обеих поверхностей плоскопараллельной пластинки $(\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{2\pi d_{21}}{\lambda}$, а разность хода лучей в пластинках каждого из типов определяется из рис.2, то в рассматриваемом случае для лучей в основных и ксиловых пластинках из равенств (2.6) и (2.13) получим

$$\varphi_{2,1} = \varphi_{4,3} = \frac{2\pi a}{\lambda(k+1)} - \pi; \quad \varphi_{3,2} = \varphi_{5,4} = \frac{2\pi ak}{(k+1)} + \pi.$$

Тогда

$$\varphi_2 = 0 + \frac{2\pi a}{\lambda(k+1)} - \pi;$$

$$\varphi_3 = \frac{2\pi a}{\lambda(k+1)} - \pi + \frac{2\pi ak}{\lambda(k+1)} + \pi = \frac{2\pi a}{\lambda};$$

(2.14)

$$\varphi_4 = \frac{2\pi a}{\lambda} + \pi - \frac{2\pi a}{\lambda(k+1)} - \pi = \frac{2\pi a(k+2)}{\lambda(k+1)} - \pi;$$

$$\varphi_5 = \frac{2\pi a(k+2)}{\lambda(k+1)} - \pi + \frac{2\pi ak}{\lambda(k+1)} + \pi = \frac{4\pi a}{\lambda}.$$

Рассмотрим теперь результаты интерференции лучей ирризации от различных пластинок в каждом из указанных выше случаев.

Интерференция лучей ирризации в паре пластинок различных типов

В этом случае необходимо сложить волны 1, 2 и 3 (см. рис. 2), отраженные от трех плоскостей ирризации, располагающихся в пределах одного периода идентичности. По принятому допущению, амплитуда (и, соответственно, интенсивность) волн, отраженных от различных поверхностей раздела между пластинками, одинакова; поэтому, обозначив ее через A_3 ($I_3 = A_3^2$), сложим сначала волны 1 и 2 с одинаковыми амплитудами, а затем результирующую волну сложим с волной 3.

После сложения когерентных волн 1 и 2 с одинаковой амплитудой результирующая амплитуда (Фейнман и др., 1967, т. 3, с. 57 уравнение (29.12)) будет равна

$$A_{1,2} = 2A_3 \cos\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) = 2A_3 \cos\left[\frac{\pi a}{\lambda(k+1)} - \frac{\pi}{2}\right],$$

или

$$A_{1,2} = 2A_3 \sin \frac{\pi a}{\lambda(k+1)}. \quad (2.15)$$

Фаза результирующей волны равна полусумме фаз слагаемых волн:

$$\varphi_{1,2} = \frac{\pi a}{\lambda(k+1)} - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi a}{\lambda(k+1)} - \frac{\pi}{2}.$$

Сложим эту новую волну с волной 3. Разность фаз между ними

$$\varphi_3 - \varphi_{1,2} = \frac{2\pi a}{\lambda} - \frac{\pi a}{\lambda(k+1)} + \frac{\pi}{2} = \frac{\pi a(2k+1)}{\lambda(k+1)} + \frac{\pi}{2}.$$

Поскольку амплитуды этих волн не одинаковы, то сложение их производится по другому закону (Фейнман и др., 1967, т. 3, с. 59, уравнение (29.16))

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Подставив вместо A_1 и A_2 амплитуды рассматриваемых волн $A_{1,2}$, а также заменив квадраты амплитуд интенсивностями, получим (после соответствующих преобразований)

$$I_{1-3} = I_3 \left[1 - 8 \cos \frac{\pi a}{\lambda} \sin \frac{\pi a}{\lambda(k+1)} \sin \frac{\pi a k}{\lambda(k+1)} \right]. \quad (2.16)$$

Интерференция лучей ирризации от двух основных пластинок

Рассмотрим теперь результат интерференции волн 1 - 4. Как показано выше, разность фаз волн, отраженных обеими плоскостями ограничения каждой основной пластинки, составляет:

$$(\varphi_2 - \varphi_1) = (\varphi_4 - \varphi_3) = \frac{2\pi a}{\lambda(k+1)} - \pi.$$

Результирующая амплитуда этих волн выражается равенством (2.15), результирующие фазы

$$\varphi_{1,2} = \frac{\pi a}{\lambda(k+1)} - \frac{\pi}{2} \quad \text{и} \quad \varphi_{3,4} = \frac{\varphi_3 + \varphi_4}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} + \frac{\pi a(k+2)}{\lambda(k+1)} - \frac{\pi}{2} = \\ = \frac{\pi a(2k+3)}{\lambda(k+1)} - \frac{\pi}{2}.$$

Разность фаз между результирующими волнами обеих пластинок составит

$$\varphi_{3,4} - \varphi_{1,2} = \frac{\pi a(2k+3)}{\lambda(k+1)} - \frac{\pi a}{\lambda(k+1)} = \frac{2\pi a}{\lambda}.$$

Результирующую амплитуду всех четырех волн найдем сложением равных по величине амплитуд двух суммарных волн от обеих пластинок по приведенному выше закону (Фейнман и др., 1967, т.3, стр.57, уравнение (29.12):

$$A_{\gamma-4} = 2 \cdot 2 A_2 \sin \frac{\pi a}{\lambda(k+1)} \cos \frac{\pi a}{\lambda} = 4 A_2 \sin \frac{\pi a}{\lambda(k+1)} \cos \frac{\pi a}{\lambda};$$

а, перейдя к интенсивностям, окончательно получим

$$I_{\gamma-4} = 16 I_3 \sin^2 \frac{\pi a}{\lambda(k+1)} \cos^2 \frac{\pi a}{\lambda}. \quad (2.17)$$

Интерференция лучей от двух кислых пластинок

Способом, аналогичным изложенному выше, можно получить выражение для результирующей интенсивности волн 2,3, 4 и 5, представляющей результат интерференции лучей ирризации от двух соседних кислых пластинок. Это выражение имеет вид

$$I_{2-5} = 16 I_3 \sin^2 \frac{\pi a k}{\lambda(k+1)} \cos^2 \frac{\pi a}{\lambda}. \quad (2.18)$$

Если полагать $\alpha = 2dN \cos(r-\alpha)$ постоянным (что справедливо при постоянстве периода идентичности), то в уравнениях (2.16) - (2.18) независимыми переменными будут только λ и k . Соотношение толщины пластинок k зависит только от состава фаз и валового состава образца, поэтому (как будет показано ниже) может быть вычислено для любого состава. Анализ этих уравнений показывает, что при любых фиксированных значениях максимумы интенсивности во всех случаях интерференции наблюдаются только для длин волн, удовлетворяющих уравнениям максимумов интерференции (2.6) для обоих типов пластинок и периода идентичности.

Поэтому преобразуем уравнения (2.16) - (2.18) для частных случаев, когда λ равна длинам волн, удовлетворяющим условиям максимумов интенсивности для периодов идентичности, основных пластинок и кислых пластинок. Для этого в указанные уравнения вместо λ подставим соответственно λ_{γ} ,

λ_0 и λ_k выраженные, согласно (2.13), через a . Тогда вместо (2.16) получим соответственно три уравнения, в которых переменными будут I и k :

$$\lambda = \lambda_n = a;$$

$$I_{1-3} = I_3 \left[5 + 4 \cos \frac{\pi(k-1)}{(k+1)} \right]; \quad (2.16a)$$

$$2. \quad \lambda = \lambda_0 = \frac{2a}{(k+1)};$$

$$I_{1-3} = I_3 \left[5 - 4 \sin \frac{\pi(2k+1)}{2} \right]; \quad (2.16b)$$

$$3. \quad \lambda = \lambda_k = \frac{2ak}{(k+1)};$$

$$I_{1-3} = I_3 \left[5 - 4 \sin \frac{\pi(k+2)}{2k} \right]; \quad (2.16в)$$

Вместо уравнения (2.17), после подстановок и соответствующих преобразований, получим:

$$1) \quad \lambda = \lambda_n = a; \quad I_{1-4} = I_3 16 \sin^2 \frac{\pi}{(k+1)}; \quad (2.17a)$$

$$2) \quad \lambda = \lambda_0 = \frac{2a}{(k+1)}; \quad I_{1-4} = 16 I_3 \cos^2 \frac{\pi(k+1)}{2}; \quad (2.17b)$$

$$3) \quad \lambda = \lambda_k = \frac{2ak}{(k+1)};$$

$$I_{1-4} = 16 I_3 \sin^2 \frac{\pi}{2k} \cos^2 \frac{\pi(k+1)}{2k}. \quad (2.17в)$$

Аналогично вместо уравнения (2-18) получим:

$$1) \quad \lambda = \lambda_n = a; \quad I_{2-5} = 16 I_3 \sin^2 \frac{\pi k}{(k+1)}; \quad (2.18a)$$

$$2) \quad \lambda = \lambda_0 = \frac{2a}{(k+1)};$$

$$I_{2-5} = 16 I_3 \sin^2 \frac{\pi k}{2} \cos^2 \frac{\pi(k+1)}{2}; \quad (2.18b)$$

$$3) \quad \lambda = \lambda_k = \frac{2ak}{(k+1)}; \quad I_{2-5} = 16 I_3 \cos^2 \frac{\pi(k+1)}{2k}. \quad (2.18в)$$

Кривые изменения интенсивности с изменением k , рассчитанные по этим уравнениям, приведены в главе 4.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СВЯЗИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИРИЗАЦИИ С СОСТАВОМ ОБРАЗЦА

Исходя из принятого допущения, что каждому типу пластинок в структуре плагноклаза соответствует свой максимум в спектре иризации каждого образца, представляется возможность количественно рассмотреть связь цвета иризации с основностью зон в одном и том же зональном или пятнистом образце.

Поскольку размеры пластинок в плоскости уплощения соизмеримы с размерами всего кристалла при ничтожной их толщине, то соотношение толщин пластинок различных фаз представляет соотношение их объемов, а последнее определяется (Brown, 1960₂ и Ribbe, 1960) валовым составом образца.

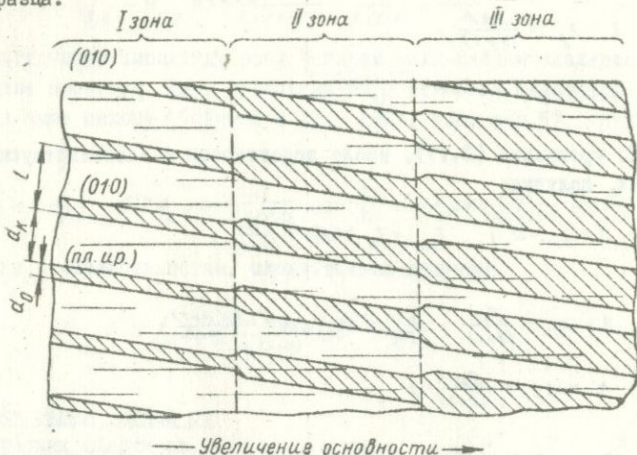


Рис.3. Схематическое сечение зонального, пластинчатого кристалла по плоскости перпендикулярной к (010), (пл.ир.) и простиранию зон.

Если предположить, что количество пластинок, а соответственно величина периода идентичности (рис.3), остаются постоянными (так же, как и состав фаз) по меньшей мере в пределах участка, охватывающего несколько зон образца, то с изменением валового состава будет изменяться только соотношение толщин пластинок различных по основности фаз. При резком изменении состава на границах зон (рис.3), резко изменится и соотношение толщин пластинок, а при постепенном изменении состава (как например, при метасоматическом замещении кристалла по краям) в результате постепенного изменения толщины пластинок, они будут (как предполагал и Bøggild, 1924) уподобляться клиньям. Соответствующим образом будут изменяться и иризационные окраски, поскольку между ними и толщиной пластинок, согласно уравнению (2.6), существует прямая связь. В первом случае смена окрасок при переходе от зоны к зоне будет резкой, а во втором — она будет уподобляться смене окрасок интерференции на клине. Оба эти случая неоднократно описывались Т.Н. Агафоновой, но не получали (с позиций гипотезы рассеяния Ч.В. Рамана) однозначного объяснения.

Поскольку толщина пластинок различных фаз в общем случае различна, то на основании сказанного выше, можно ожидать, что:

1) среди иризирующих плаггиоклазов должны наблюдаться зональные и пятнистые образцы, у которых длина волны максимумов иризации увеличивается с уменьшением основности зон (т.е. иризация возникает в более кислых пластинках), в отличие от широко известной в литературе (Vogel, 1924; Агафонова, 1950-1956; Пазюк, 1954) обратной зависимости, когда иризируют более основные пластинки. Такая зависимость между составом и цветом иризации описана О.Б. Боггилдом в одном из изученных им образцов;

2) указанная выше связь (прямая и обратная) длины волны максимумов иризации с основностью зон в одном и том же зональном образце должна строго подчиняться определенному закону;

3) в спектрах иризации должны наблюдаться максимумы, соответствующие обоим типам пластинок.

Возможность наблюдения всех этих эффектов в диапазоне длин волн, доступном измерениям (0,2 - 1,2 мк), ограничивается (из чисто геометрических соображений) абсолютной величиной периода идентичности и валовым составом образца, т.е. отношением толщины пластинок различных типов.

Из уравнения (2.5) видно, что при переходе из одной зоны образца в другую изменение показателя преломления на 0,002 - 0,003, происходящее при изменении состава зон на 3-5 мол.% Al_2O_3 , не может приводить к изменению длины волны максимума иризации на (0,25 - 0,35) λ , наблюдавшемуся Л.И. Пазюком (1954). Следовательно, в этом случае должна заметно измениться толщина пластинок, в которых возникает иризация.

При каких условиях возможно резкое изменение толщины пластинок при изменении состава на несколько номеров?

Если обозначить состав (содержание аноритового компонента в мол.%) более основных пластинок, их толщину и длину волны иризации в них соответственно через X , d_0 и λ_0 , более кислых пластинок через Y , d_k и λ_k , а средний валовой состав зоны через A , то для каждой из зон зонального образца будет справедливо равенство

$$X d_0 + Y d_k = A (d_0 + d_k). \quad (2.19)$$

Преобразовав это равенство, получим (принимая во внимание прямую связь между толщиной пластинок и длиной волны иризации)

$$\frac{d_0}{d_k} = \frac{\lambda_0}{\lambda_k} = \frac{A - Y}{X - A}. \quad (2.20)$$

Резкое изменение длины волны иризации одного из типов пластинок возможно лишь при резком изменении толщины пластинок, в которых она возникает. Поскольку при постоянном периоде идентичности изменение толщины одной пластинки сопровождается таким же по величине изменением другой, но в обратном направлении, то их соотношение изменит-

ся значительно более резко. А это при небольшом изменении λ , как видно из выражения (2.20), возможно лишь при очень небольшом различии между значениями X и Y , т.е. составами фаз.

Напишем уравнения, аналогичные (2.19), для двух зон образца, различающихся составом и цветом иризации. Поскольку составы фаз, как сказано выше, одинаковы во всех зонах образца (и вообще для образцов некоторого ряда составов), получим систему из двух уравнений первой степени с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} X d_0 + Y d_k = A (d_0 + d_k), \\ X d'_0 + Y d'_k = B (d'_0 + d'_k), \end{cases} \quad (2.21)$$

Полагая период идентичности постоянным в обеих зонах, получим дополнительное уравнение

$$l = d_0 + d_k = d'_0 + d'_k \quad (2.22)$$

Поскольку из уравнений (2.21)

$$d_k = d_0 \frac{X - A}{A - Y} \quad \text{и} \quad d'_k = d'_0 \frac{X - B}{B - Y}, \quad (2.23)$$

то, подставив в уравнение (2.22) значения d_k и d'_k с помощью простых преобразований получим

$$d_0 \left(1 + \frac{X - A}{A - Y} \right) = d'_0 \left(1 + \frac{X - B}{B - Y} \right) \quad (2.24)$$

откуда, учитывая прямую зависимость между d и λ ,

$$\frac{d_0}{d'_0} = \frac{\lambda_0}{\lambda'_0} = \frac{A - Y}{B - Y}. \quad (2.25)$$

Уравнение (2.25) представляет собой аналитическое выражение связи изменения длины волны максимумов иризации в более основных пластинках с изменением валового состава зон, в которых сравнивается иризация. Аналогичным способом можно получить и выражение этой связи для кислых пластинок, которое имеет вид

$$\frac{d_k}{d'_k} = \frac{\lambda_k}{\lambda'_k} = \frac{X - A}{X - B}. \quad (2.26)$$

Из уравнений (2.25) и (2.26) видно, что соотношение длин волн максимумов иризации в основных пластинках определяется не только соотношением валовых составов зон, но и составом более кислых пластинок. Соотношение длин волн иризации более кислых пластинок, кроме соотношения составов зон, зависит также от состава более основных пластинок.

В общем случае (когда допущение о постоянстве периода идентичности в соседних зонах не выполняется) $l = l' m$, где m — коэффициент, учитывающий изменение периода идентичности в исследуемых зонах, который в

общем случае не равен единице. После введения этого коэффициента в уравнения (2.25) и (2.26) они примут вид

$$\frac{d_0}{m d'_0} = \frac{\lambda_0}{m \lambda'_0} = \frac{\lambda - \gamma}{\delta - \gamma}, \quad (2.27)$$

$$\frac{d_x}{m d'_x} = \frac{\lambda_x}{m \lambda'_x} = \frac{\lambda - \lambda}{\lambda - \delta}.$$

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВОВ ФАЗ ИРИЗИРУЮЩИХ ПЛАГИОКЛАЗОВ

Аналитическое выражение связи соотношения толщины пластинок (и длин волн максимумов иризации в них) различных фаз с их составом и валовым составом образца (зоны), приведенное выше (2.19), представляет собой исходный принцип метода определения составов фаз пластинчатых плагиоклазов по соотношению толщин пластинок этих фаз (замеренных в одной точке) или соотношению длин волн максимумов иризации в них, полученных для двух образцов различного состава (Крамаренко и др., 1973).

Поделив уравнение (2.19) на d'_0 и обозначив $\frac{d_x}{d'_0}$ через λ , напишем уравнения для двух образцов или двух различных по составу зон образца

$$\begin{aligned} \lambda + \gamma_k &= \lambda (1 + k), \\ \lambda + \gamma_{k'} &= \lambda' (1 + k'), \end{aligned} \quad (2.28)$$

Определив по электронномикроскопическим снимкам пластинчатого строения толщины пластинок обеих систем (фаз) и валовой состав образцов в двух зонах или отдельных образцах и, решив систему уравнений (2.28), найдем λ и λ' — составы фаз исследованных плагиоклазов.

Так как при использовании уравнений (2.28) достаточно знать лишь соотношение толщин пластинок различных фаз λ , а не их абсолютную величину, то это позволяет: 1) использовать для вычислений два соотношения толщин пластинок, полученные измерениями в различных образцах (зонах), которые отличаются периодами идентичности; 2) соотношение толщин пластинок заменить соотношением длин волн иризации в них. Длины волн могут определяться в образцах, отличающихся периодом идентичности, величиной угла α , а также при различных условиях съемки спектров иризации в отдельных образцах. Использование длин волн избавляет от необходимости вычислений толщины пластинок по уравнениям (2.6).

Поскольку для наиболее низких порядков интерференции (нулевого в более основных пластинках и I-го в кислых) $2n + 1 = 1$ для обоих типов пластинок, то

$$\frac{d_x}{d_0} = \frac{\lambda_x}{\lambda_0} = \lambda.$$

Тогда, определив по спектрам иризации двух образцов длины волн максимумов иризации в пластинках обоих типов и вычислив коэффициенты k и k' , а также зная валовой состав этих образцов, можно легко рассчитать (по той же системе уравнений) составы фаз.

Таким образом, описанный метод не имеет ограничений в применении, так как может быть использован для любой пары образцов (относящихся однако к одному ряду пластинчатых плагноклазов), а необходимые исходные данные могут быть получены либо электронномикроскопическими, либо спектрофотометрическими методами. В последнем случае пригодны только образцы, в спектрах которых имеются максимумы иризации от обеих фаз.

Ошибка определения составов фаз этим методом зависит практически только от ошибки определения валовых составов образцов.

На основе аналитического выражения связи изменения длины волны максимума иризации с изменением основности зон в одном и том же образце (при условии постоянства периода идентичности пластинчатой структуры в этих зонах), приведенного выше, предлагается другой способ определения составов фаз (пластинок).

Решая уравнения (2.25) и (2.26) относительно X и Y получим

$$x = \frac{\lambda_2 B - \lambda_2' A}{\lambda_2 - \lambda_2'}, \quad y = \frac{\lambda_0 B - \lambda_0' A}{\lambda_0 - \lambda_0'} \quad (2.29)$$

Определив по спектрам иризации двух зон образца длины волн максимумов, относящихся к одному и тому же типу пластинок, и зная валовой состав этих зон, по одному из уравнений (2.29) можно определить состав одной из фаз.

Этот метод может применяться только на основе данных спектрофотометрических измерений в двух зонах одного образца. При этом в образцах, обладающих иризацией, связанной лишь с одной фазой, можно определить состав только той фазы, максимумы которой в полученных спектрах иризации отсутствуют.

На точность результатов вычислений по этому методу, кроме ошибок определения длин волн и составов зон, влияют возможные различия углов α в различных зонах, а также периодов идентичности и условий падения - отражения при получении спектров. От влияния на величины длин волн максимумов иризации различия углов α и условий падения - отражения можно избавиться пересчетом длин волн на максимальные их значения по уравнению (2.9), не зависящие от этих факторов. Изменение периода идентичности может быть учтено введением коэффициента m , который можно определять по соотношению длин волн максимумов иризации от пар пластинок в изучаемых зонах, если эти максимумы наблюдаются в спектрах обеих зон.

Однако, как показывает опыт, ошибка определения валового состава зон оказывает значительно большее влияние на результат, чем ошибка определения длины волны иризации, связанная с колебаниями периода идентичности в соседних зонах одного образца. Поэтому практически в каждом зональном иризирующем образце этим способом можно определить состав одной из фаз с удовлетворительной точностью.

Из приведенного обзора литературы видно, что при всей многочисленности исследований иризации плагиоклазов количественные исследования спектров иризации единичны. Это связано, по-видимому, с двумя причинами: отсутствием достаточно определенной необходимости в их получении и с трудностями монтирования образцов на современных спектрофотометрах.

Целью выполненных экспериментальных исследований было: а) выяснение общих особенностей спектров иризации, не зависящих от состава образцов; б) выяснение характера изменения спектров иризации с изменением состава образцов; в) экспериментальная проверка положений, изложенных в гл.2; г) получение исходных количественных данных для определения составов фаз перистеритов и лабрадоров на основании всестороннего изучения сравнительно ограниченного количества образцов.

Имеющиеся в распоряжении автора образцы, краткое описание и результаты исследования большинства из которых приведены в настоящей главе, изучались точными оптическими спектрофотометрическими и электронномикроскопическими методами. Для некоторых образцов сделан химический анализ. Методики оптических и спектрофотометрических исследований разработаны впервые, поэтому излагаются ниже подробно. Для выполнения этих исследований собирались оригинальные приборы, сконструирован и изготовлен специальный препаратоводитель. Последний раздел главы посвящен сравнению и обсуждению всех результатов исследований.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗЦОВ

Основное внимание в работе было уделено изучению иризирующих плагиоклазов ряда лабрадоров, фазовое строение которых еще не выяснено, а особенности их иризации позволяют использовать описанные выше методы для определения состава их фаз. Из плагиоклазов перистеритового ряда исследовано лишь несколько образцов. Это объясняется особенностями иризации перистеритов, а также и тем, что их строение можно считать выясненным, за исключением точного состава более основной фазы. Этот состав, как указано в главе I, определен различными исследователями как An_{22-35} .

В настоящем исследовании использованы образцы лабрадоров из месторождений Житомирской области в районах сел Головино, Слипчицы, Каменный

Брод, Горбулев, Рудня-Каменка, а также из месторождения в окрестностях г.Городища Черкасской области. Поскольку образцы из одного месторождения обычно сходны по составу, морфологии кристаллов и особенностями ирризации, то приводимая ниже характеристика образцов дается по месторождениям.

Для иризирующих лабрадоров (обр. С-1, С-8 и др.) из карьера № 1 с.Слипчиц характерны наиболее полный набор окрасок ирризации (от фиолетовых до красно-оранжевых) и наиболее правильная зональность. Размеры кристаллов в плоскости (010) широко варьируют (от 1 до 15 см), но четкая зональность наблюдается только у кристаллов довольно постоянных размеров (примерно 7 x 5 x 2 см). Рисунок ирризации наиболее часто псевдогексагональный со сторонами по $\{001\}$, $\{201\}$, и $\{100\}$, а иногда и по $\{101\}$. Ширина зон обычно порядка 1 - 2 мм. Ядро, как правило, обладает самой высокой окраской (буро-желтой или оранжевой) и наиболее высокой основностью (Al_{59-60}). К периферии кристаллов основность и окраски ирризации снижаются; окраска до фиолетовой, а состав до Al_{52-54} . Затем с этой окраски и состава начинается новое повышение основности и окрасок до исходных: буро-желтой окраски ирризации и состава Al_{69-60} , от которых начинается новый цикл понижения окрасок и основности. Очень часто кроме ядра наблюдается еще одна или две зоны с буро-оранжевой окраской ирризации, реже насчитывается до трех таких зон и более. Характерно, что иризирующие участки, наблюдающиеся в центре наиболее кислых (фиолетовых) и наиболее основных (буро-оранжевых) зон никогда не имеют прямых границ (в отличие от границ между зонами), а изменение состава и цвета ирризации при переходе этих границ очень постепенны. Внутренние границы следующих после ядра наиболее основных зон, как правило, имеют извилистые, заливообразные очертания, свидетельствующие о частичном растворении кристалла перед началом кристаллизации этих зон. Отмечаются также случаи, когда ядро сложено наиболее кислым плагиоклазом, от которого идет возрастание окрасок и основности до буро-оранжевой зоны, после которой начинается обычная смена окрасок и состава до фиолетовой зоны.

Зональный узор ирризации всегда в той или иной степени усложнен пятнистыми или каемочными (по Т.Н.Агафоновой) узорами. Во всех без исключения случаях окраски ирризации с повышением основности зон повышаются. В целом в этих образцах преобладают зеленые, желтые и буро-оранжевые окраски. Состав зон с одинаковой окраской ирризации в различных образцах практически одинаков.

Лабрадоры из месторождения с.Горбулева и из карьера № 2 (район с.Слипчицы) аналогичны описанным выше, но здесь часто встречаются крупные (15 x 5 x 4 см) кристаллы, узор ирризации которых имеет вид параллелограмма, со сторонами по $[001]$ и $[100]$, вытянутого по $[001]$. Почти всю площадь кристалла занимает ядро с однотонной ирризацией (обр. Гр.-1 - фиолетовая, С-20 - зеленая, Ск-1 - серо-синяя, сменяющаяся к периферии ядра бледной серовато-розовой, КС-8 - желтая). Ядро окружено очень узкими (не более 2 мм) ровными зонами других цветов, составляющими обычно один-два цикла смены окрасок, аналогичных описанным выше.

Узкая краевая неирризирующая оторочка с наиболее кислым составом имеет неровные границы. Для таких кристаллов не характерно уложнение пятнистыми и каемочными узорами.

Образцы из месторождения с.Городища (Г-1, Г-3 и др.) обычно имеют (см. также Агафонова, 1959) однотонную иризацию фиолетовых тонов. Границы узора иризации, как правило, неровные, изрезанные. На фоне фиолетовой иризации всегда наблюдаются пятна неправильной формы, с наиболее основным составом в центре. Пятна окружены узкой каймой сменяющих друг друга синих, зеленых и желтых полосок; основная площадь пятна имеет красную окраску иризации, которая к центру нередко сменяется серо-зеленой и серо-синей, а в самом центре пятна переходит в фиолетовую или исчезает совсем. Иногда (обр. Г-4) пятна очень крупные и незамкнутые, тогда узор иризации переходит в каемочный или неправильно-зональный.

Образцы Г-7 и Г-9 имеют сравнительно правильную зональность. Периферическая часть рисунка с фиолетовой иризацией постепенно сменяется синей, зеленой, желтой и оранжевой. Границы ядра в образце Г-7 четкие ровные, иризация темно-красная. В образце Г-9 оранжевая окраска сменяется фиолетово-красной сравнительно узкой зоной с резкими ровными границами, которая далее к центру переходит в серо-зеленую и серо-синюю, а затем в неирризирующие наиболее основное ядро.

Таким образом, в этих образцах, кроме фиолетовых, наиболее распространены красные и темно-красные окраски иризации, за которыми увеличение основности зон сопровождается понижением окрасок иризации с преобладанием серых оттенков. Переход красных тонов иризации в серые в образцах этого месторождения описан и Т.Н. Агафоновой, но снижение окрасок не связывается с увеличением основности.

Для образцов из карьера с.Головино характерно большое разнообразие узоров иризации — от четко зональных до пятнистых и каемочных в различных их комбинациях. Окраски иризации обычно синие различных тонов, редко зеленые и желтые. Связь изменения окрасок иризации с основностью только прямая. Очень часто в смене составов и цветов иризации в зональных образцах периодичности нет.

Образец Гл-1 из этого месторождения имеет крупное ядро с синей иризацией, окруженное узкими зонами различных цветов по периферии. Сравнительно узкая краевая часть кристалла с фиолетовой иризацией постепенно переходит к краю в неирризирующую.

Образец Н обладает одноцветной сине-зеленой иризацией. Узор иризации имеет очень изрезанные границы. Переход к периферической неирризирующей оторочке постепенный — через синие и фиолетовые тона. В центральной части узора располагается крупное пятно с четкими ровными границами. Оно иризирует оранжево-розовым цветом. В направлении, нормальном к (010), пятно выклинивается на расстоянии 2 см. Переход между оранжево-розовой и сине-зеленой зонами резкий, без переходных каемок. Образец интересен тем, что описанная выше розовая окраска наблюдается также в некоторых (из подчиненной системы) индивидах альбитовых двойников в зелено-синей зоне. Определения состава этих индивидов

Дали те же результаты, что и в розовой зоне. Наблюдается также и обратное явление, т.е., на участках с розовой иризацией встречаются индивиды двойников подчиненной системы, обладающие составом и окраской иризаци, соответствующими сине-зеленой зоне. На рис.4 изображено сечение этого образца плоскостью, перпендикулярной к (010). Таким образом, отдельные индивиды альбитовых двойников подчиненной системы различаются составом (на 4 мол.% Al) и окраской иризаци.

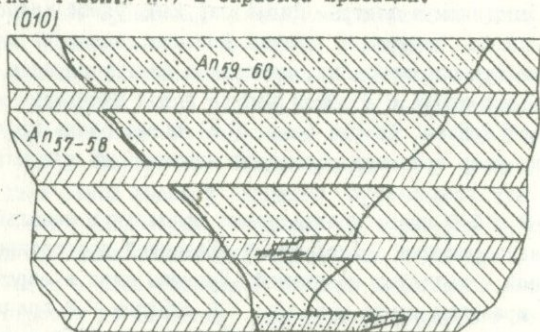


Рис.4. Схематическое сечение образца Н по плоскости (100).

Изучен также один образец водяно-прозрачного лабрадора из пегматитовой жилы в габбро-амфиболитах, вскрытой карьером на левом берегу Юж.Буга ниже с.Дюшневатого. Иризирующие плагиоклазы из этой жилы впервые описаны М.М.Кононовой и В.А.Кутним (1966). Относительно иризаци авторы указывают следующее: 1) иризация наблюдается по трем плоскостям: примерно по (010), (100), и более слабая по (001); 2) нередко встречается полосчатая иризация на плоскости (100) в виде разноцветных иризирующих полосок. Рисунок иризаци отражает полисинтетическое двойникование, причем, каждая система двойников имеет свой цвет иризаци.

Изученный нами образец (Ку) из коллекции В.А.Кутнего имеет две плоскости иризаци: (04 $\bar{1}$) – желтая иризация с оранжевыми зонами и, примерно, (30 $\bar{1}$), на которой наблюдается иризация фиолетового цвета с зелеными, желтыми и оранжевыми зонами. Поскольку иризация по (04 $\bar{1}$) заметна на плоскостях (010) и (001), то авторы приведенной выше работы, по-видимому, приняли иризацию от (04 $\bar{1}$) за отражение от плоскостей (010) и (001). Зональность на обеих плоскостях очень четкая с резкой сменой окрасок иризаци на границах зон. Границы между зонами прямые. Ширина зон колеблется от 0,5 до 5 мм. Периодичность нечеткая. Зональность иризаци не имеет ничего общего с двойникованием. В обоих сечениях (по (100) и (04 $\bar{1}$)) зоны вытягиваются по следу спайности по (001) (и, соответственно, по направлению плоскости срастания периклиновых двойников; однако индивиды этих двойников в 20-50 раз тоньше полосок зональности и развиты только в очень широких индивидах альбитовых двойников), а затем, в результате довольно крутого излома, ориентируются примерно под углом 45° к (010) и (001).

Из всех образцов лабрадоров (см. табл.1) было отобрано II (см. табл.2) с различными окрасками иризаци, которые охватывают весь интер-

вал составов иризирующих лабрадоров, для детальных оптических, спектроскопических и электронномикроскопических исследований. Для некоторых из них выполнены химические определения содержания основных минералообразующих окислов.

Почти все исследованные образцы перистеритов отобраны из различных зон пегматитовых жил месторождения Зеленая Могила в Западном Приазовье. Все иризирующие образцы имеют однотонную голубую иризацию иногда с синими или фиолетовыми оттенками на отдельных участках. Интенсивность иризации прямо зависит от прозрачности образца.

Образец М из района с.Хеталамбино (Северная Карелия) также обладает голубой иризацией, но с пятнами фиолетовых, синих и сине-зеленых тонов.

Данные о составах отдельных зон всех изученных образцов приведены в табл. I. Следует отметить, что составы всех исследованных образцов лабрадоров не выходят за пределы ряда $Ap_{51}-Ap_{62}$. Однако на основании изучения большого количества образцов Т.Н. Агафонова (1955) установила интервалы составов иризирующих образцов из месторождения с. Головино - $Ap_{47}-Ap_{72}$; с. Горбулева - $Ap_{46}-Ap_{72}$ и г. Городища - $Ap_{45}-Ap_{65}$.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИБОРЫ

При установлении природы иризации важнейшим условием экспериментальных исследований иризирующих плагиоклазов является выполнение спектроскопических и электронномикроскопических исследований в том же объеме кристалла, в котором определяется состав образца точными оптическими или химическими методами. Это условие потребовало создания комплексной методики, позволяющей совмещать различные методы. При таких исследованиях необходимо:

1. Выполнять гониометрические и кристаллооптические измерения в заданном объеме образца с целью получения координат - 1 (010), (пл.ир.), осей индикатрисы и оптических осей - в единой системе отсчета.

2. В этом же объеме образца получать спектры иризации, для чего требуется: а) иметь возможность изменять ориентировку кристалла по отношению к падающему лучу и лучу иризации, принимаемому на фотоумножитель, зная, вместе с тем, эту ориентировку (в принятой ранее системе отсчета) с достаточной точностью; б) иметь возможность снимать поочередно спектр иризации и спектр эталона (источника света) не меняя условий приема отраженного луча на фотоумножитель.

3. Для объема образца, в котором снят спектр иризации и определен валовой состав, получить электронномикроскопические снимки пластинчатого строения, обуславливающего эти спектры иризации.

Решение первых двух задач оказалось возможным только на микроскопе со столиком Федорова, используемом в качестве отражательного микрогониометра (Заварицкий, 1929 ; Крамаренко, 1970).

Гониометрические измерения

Универсальный столик юстировался (обычными методами) и закреплялся на рудном микроскопе МИН-9, на который устанавливался тубус микроскопа МИН-8, имеющий диафрагму и линзу Бертрана. Микроскоп закреплялся на стандартной станине с подъемными винтами (рис. 5, а). Отражательная пластинка опак-иллюминатора с прибора снималась. При исследовании использовались стандартные 3,5^ж и 9^ж объективы. Призма опак-иллюминатора выводилась из хода лучей.

В зависимости от задачи исследования кризациии выполнялись в спайных выколках образцов и в прозрачных полированных шлифах. Поскольку методы исследований этих объектов несколько отличаются, то они рассматриваются в отдельности.

Исследования в спайных выколках

После закрепления универсального столика на микроскопе со столика снимались все кольца, кроме кольца *m*. На место цапф кольца *k* устанавливался специальный препаратоводитель. Препаратоводитель (рис. 5 а, б, в см. вклейку) сконструирован и изготовлен специально для выполнения гониометрических исследований с помощью микроскопа и позволяет перемещать закрепленный на его кристаллоносце обломок образца в трех взаимно перпендикулярных направлениях, не меняя его ориентировки.

Из образца вырезалась тонкая (толщиной 5 мм) пластинка приблизительно 1/100/, из которой после шлифовки и полировки плоскости 1 (010) и (001). — плоскости будущего шлифа, выкалывался небольшой обломок (обычно около 10x5x5 мм) по спайности (001) и (010). Обломок плоскостью (010) приклеивался к площадке кристаллоносца препаратоводителя с помощью пластилина.

В темном помещении микроскоп юстировался относительно удаленного (на расстоянии 3 — 5 м) источника света (осветитель ОИ-19). Источник устанавливался таким образом, чтобы луч, падающий от него на кристалл, составлял с поверхностью столика микроскопа угол порядка 25–40°. Вращением кристалла вокруг оси *M* и поворотами вокруг оси *I*, сигнал от плоскости спайности по (010) (при включенной линзе Бертрана и закрытой до предела диафрагме имеет вид очень маленького четко ограниченного неокрашенного кружочка) устанавливается на вертикальную нить окуляра. Затем, перемещениями и поворотами микроскопа вместе со станиной, наклонами микроскопа с помощью подъемных винтов станины и небольшими поворотами вокруг оси *M*, необходимо добиться, чтобы сигнал от плоскости (010), при закрепленном в одном положении кольце *m*, не смещался с вертикальной нити креста при поворотах образца вокруг оси *I*. Такое положение свидетельствует о юстировке положения оси *I* строго перпендикулярно к плоскости падения, проходящей через падающий луч и оптическую ось микроскопа. После этого кристалл юстируется на кристаллоносце.

Наиболее удобно ориентировать кристалл таким образом, чтобы плоскость спайности по (010) располагалась строго перпендикулярно к оси *M*.

Для этого наклонами обломка на кристаллоносце следует добиться, чтобы сигнал от плоскости спайности по (010), при закрепленной в одном положении оси I , не смещался с креста нитей окуляра при вращении кристалла вокруг оси M на 360° . После этого, перемещая кристалл всеми винтами препаратопроводителя, в крест нитей устанавливается наиболее удобный участок будущих измерений положения плоскостей спайности (001), (010) и плоскостей иризации. Эти поверхности устанавливаются (вращением всех винтов препаратопроводителя) на резкую видимость (при открытой диафрагме и выведенной из хода лучей линзе Бертрана) таким образом, чтобы можно было только поворотами вокруг осей M и I вывести в крест нитей сигналы от всех указанных плоскостей в положение их резкой видимости, не перемещая при этом кристалл и тубус микроскопа. Затем снова проверяется встировка микроскопа и кристалла. Если встировка осталась правильной, то в положении, когда центр сигнала от (010) находится в кресте нитей, записывается отсчет по лимбу оси I . После внесения поправки на место нуля этой шкалы, записанный отсчет будет равен половине угла между осью микроскопа и падающим лучем (угол Φ , по А.Н.Заварицкому).

Согласно Заварицкому (1929), построение стереографической проекции измеренных таким способом элементов кристалла может выполняться двумя способами:

1. Считать отсчет $\frac{\Phi}{2}$ нулевым. Тогда плоскость, ориентированная строго перпендикулярно к оси M , в данном случае (010) будет иметь координаты $\varphi = 00$ и $\rho = 00$, а широта всех других элементов должна быть пересчитана на эту систему отсчета путем прибавления или вычитания (в зависимости от положения элемента относительно (010)) половины угла от измеренных ее значений.

2. За нуль в системе отсчета считать место нуля шкалы оси I , что избавляет от внесения поправок во все отсчеты по этой оси, но вместе с тем, смещает стереографическую проекцию с центра на $\frac{\Phi}{2}$. Поэтому плоскость, перпендикулярная к оси M будет иметь координаты: $\varphi = 00$; $\rho = \frac{\Phi}{2}$. В случаях гониометрических измерений микроскопических кристаллов (Заварицкий, 1929) более удобен второй способ, но для определения положения плоскости иризации, когда необходимы дополнительные построения на сетке Вульфа, более удобным оказывается первый способ.

После определения угла Φ поворотом кристалла вокруг осей M и I в крест нитей поочередно (в прямом и обратном направлении) выводятся сигналы от плоскостей среза будущего шлифа (полированной) и спайности по (001) обеих систем альбитовых двойников; записываются отсчеты по обеим шкалам. Затем вычисляются средние из прямых и обратных замеров. С целью повышения точности замеров, после записи отсчетов по шкале оси I для (001) и плоскости среза шлифа проверяется перпендикулярность оси M к плоскости (010). Углы, образуемые плоскостью спайности (010) с плоскостью среза шлифа и плоскостями (001), вычисляются без построений на сетке Вульфа; углы между плоскостью среза шлифа и (001) вычисляются графически.

Как показал опыт, при измерениях описанным способом можно достичь

точности $\pm 10'$. В случаях, когда наблюдаются плоскости спайности по $\{110\}$, их положение также легко может быть измерено, но с более низкой точностью, так как качество сигналов от них значительно ниже.

После определения положения плоскостей спайности относительно плоскости среза шлифа поворотами вокруг тех же осей столика в крест нитей выводятся сигналы от плоскостей иризации обеих систем двойников по альбитовому закону. При закрытой почти до предела диафрагме и включенной линзе Бертрана отражение от плоскости иризации имеет вид довольно тусклого окрашенного пятна с диффузными краями, размером до $1/2-1/3$ (иногда больше) диаметра поля зрения. Такой вид сигнала обусловлен конически расходящейся формой пучка иризации, что, вероятно, связано с колебаниями ориентировки плоскостей раздела между пластинками. Однако, несмотря на большие размеры пятна, центр его может быть довольно точно совмещен с крестом нитей, так как яркость обычно резко возрастает к центру. Записываются отсчеты по обоим шкалам для сигналов от обеих плоскостей иризации.

Многочисленными измерениями установлено, что углы, образуемые обеими плоскостями иризации с (010) , как правило, одинаковы. Точность измерений положения плоскостей иризации, естественно, ниже, чем плоскостей спайности, но при тщательной работе вполне достижима точность $\pm 15-20'$.

В процессе работы измерялось также положение плоскостей развития пластинок гематита, но точность этих измерений значительно ниже, чем точность измерения положения плоскостей иризации.

Поскольку при измерении положения плоскостей иризации (и отражений от пластинок гематита) падающий и отраженный лучи преломляются на границе раздела кристалл-воздух, то вычисление координат этих плоскостей выполнялось из следующих соображений.

Установка отражения от (пл.ир.) в крест нитей окуляра описанным выше способом возможна только при таком положении кольца m когда центр сигнала от нее находится на вертикальной нити креста. Этот отсчет дает первую (φ) координату этой плоскости. В этом положении кристалла $l(010)$ и l (пл.ир.) лежат в плоскости падения, проходящей через падающий и отраженный указанными плоскостями лучи. Такое положение этих элементов возможно только в случае ориентировки плоскости (010) строго перпендикулярно оси M и позволяет определять величину угла α (или вторую координату плоскости иризации) из отсчетов по шкале оси I не прибегая к графическим методам. Если (010) ориентирована произвольно, то этот угол может быть определен только с помощью построений на сетке Вульфа.

На рис. 6 схематически изображено сечение кристалла по плоскости падения в указанном выше положении. Из рисунка видно, что выход $l(010)$ в тубус микроскопа соответствует нулевому отсчету по шкале оси I . Угол между падающим лучем и оптической осью микроскопа Φ известен с высокой точностью. В положении $l(010)$, когда сигнал от (010) находится в кресте нитей (положение "0" на рисунке), отсчет по оси I равен $\frac{\Phi}{2}$ и соответствует месту нуля в принятой системе отсчета. В положении плоскости (010) , когда в тубус выходит луч иризации (положение 1), отсчет

α по той же шкале, как видно из рисунка, соответствует углу выхода ирризации ν_1 . Но, поскольку всегда: $i + \nu = \Phi$ (3.1),

то: $i = \Phi - \alpha$. Если луч ирризации выходит с обратной стороны от $l(010)$ (положение 2), то отсчет δ по шкале оси I в положении видимости ирризации будет соответствовать углу ν_2 с отрицательным знаком; т.е. $\delta = -\nu_1$. В этом случае из (3.1) получим $i = \Phi + \delta$, но отсчет δ при этом берется по второй половине шкалы оси I .

Таким образом, угол выхода ирризации по абсолютной величине всегда равен (с учетом места нуля в принятой системе отсчета) отсчету по шкале оси I . При этом, если отсчет в положении видимости ирризации находится на той же половине шкалы, что и отсчет $\Phi/2$, то знак угла ν положительный, а для определения угла i этот отсчет вычитается из угла Φ ; а если этот отсчет находится на другой половине шкалы оси I , то знак угла ν отрицательный, а угол i равен сумме угла Φ и этого отсчета. Угол всегда положительный, а $i = \Phi \pm \nu$. Зная величины углов i и ν и средний показатель преломления (состав) плагиоклаза, угол α (между $l(010)$ и $l(\text{пл. ир.})$) легко вычисляется из соотношения (2.7).

Таким способом получается вторая координата (ρ) плоскостей ирризации и плоскостей развития пластинчатых включений гематита.

Результаты всех измерений и вычислений далее наносились на специально изготовленную увеличенную ($\Phi 40$ см) сетку Вульфа с разграфкой через 1° и определялась полная кристаллографическая ориентировка плоскостей ирризации и включений гематита (обычно это плоскости $\{110\}$);

После этого, без изменения положения образца на кристаллоносце (и, как правило, без перемещения его с помощью винтов препаратоводителя) микроскоп в сборе устанавливался для освещения объекта монохроматическим светом и юстировался относительно выходной щели монохроматора СФ-4. Методика юстировки микроскопа (кристалл юстирован ранее) аналогична описанной выше и выполняется очень быстро. Методика съемки спектров описывается ниже.

После получения спектров ирризации образец раскалывался на две части. Из обломка, в котором выполнялись гониометрические измерения, изготавливался шлиф для определения состава и упорядоченности по методике А.С.Марфунина (1962), а вторая часть раскалывалась на тонкие пластинки по спайности (001) для электронномикроскопических исследований. Из этой же части выделялась навеска для химических определений главных окислов.

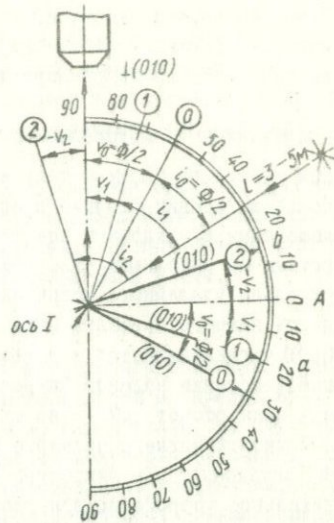


Рис.6. Схема хода луча от источника через кристалл в тубус микроскопа при исследовании ирризации плагиоклазов.

Этим методом исследовались образцы, или участки образцов, в которых иризация остается неизменной (по данным качественных наблюдений в отраженном свете на микроскопе МПС-1) в достаточно больших объемах.

Исследования в прозрачно-полированных шлифах

При работе по этому методу используется универсальный столик в обороте. После юстировки столика и определения места нуля шкал осей М и I перемещениями и наклонами всего микроскопа (как это описывалось выше) поворотами на небольшие углы вокруг осей Н и К микроскоп юстируется относительно удаленного источника света (А.Н.Заварицкий, 1929), а поверхность нижнего сегмента (как в предыдущем методе поверхность скола по (OIO)), устанавливается в положение, строго перпендикулярное к оси М. В таком положении надежно закрепляются оси Н, К и кольцо λ , также записывается отсчет $\phi/2$ по шкале оси I в положении, когда сигнал от поверхности нижнего сегмента столика Федорова находится в кресте нитей окуляра. На микроскоп МИН-9 устанавливается и регулируется осветительное устройство для работы в проходящем свете.

Из выбранного участка образца вырезается и выкальвается тонкая пластинка параллельная (OIO). Площадка шлифуется по поверхности спайности (OIO) и наклеивается на предметное стекло обычными методами. Шлиф доводится до нормальной (или несколько большей) толщины и не покрывается. На матовой поверхности такого шлифа всегда имеется большое количество мелких фрагментов плоскости спайности по (OIO).

Под микроскопом МПС-1 в отраженном и проходящем свете выбираются участки будущих спектроскопических и оптических измерений. Затем шлиф устанавливается на нижний сегмент столика (как обычно, с прослойкой глицерина) и прижимается оправой верхнего сегмента, из которой вынута полусфера. Поверхность шлифа регулируется по высоте с помощью штурвального устройства столика. Фрагменты плоскости спайности по (OIO) в выбранных участках поочередно (по два-три фрагмента на каждом участке) устанавливаются в крест нитей окуляра и для каждого из них определяются (способом описанным в предыдущем разделе) обе координаты (средние из прямых и обратных замеров) положения плоскости (OIO). Ширина (ρ) вычисляется относительно перпендикуляра к плоскости среза шлифа (плоскости нижнего сегмента), отсчет которого (как и l (OIO) в предыдущем методе) принимается за нулевой; а долгота (φ) — относительно следа спайности по (OOI), наблюдаемого в проходящем свете. Для этого вместе с отсчетом долготы (по шкале кольца m) каждого фрагмента плоскости (OIO) записывается отсчет при совпадении (в проходящем свете) следа спайности по (OOI) с одной из нитей окуляра. Затем вычисляются средние (по всем измеренным фрагментам) значения координат плоскости (OIO) для каждого участка.

После этого шлиф тщательно полировался и в намеченных участках определялась полная оптическая ориентировка относительно плоскости шлифа и следа спайности по (OOI).

После этого шлиф снова закреплялся на столике Федорова и в тех же участках определялся угол α , между l (пл.ир.) и нормалью к плоскости

ореза шлифа. Точные определения ориентировки плоскости иризации относительно кристаллографических осей плагиоклаза этим методом не производилась из-за невозможности гониометрических определений осей.

После получения всех этих данных микроскоп в сборе юстировался относительно выходной щели монохроматора для получения спектров иризации в намеченных участках.

Этим способом изучались, как правило, зональные образцы, спектрофотометрические исследования которых не сопровождалось электронномикроскопическими и химическими ввиду трудности выделения из каждой зоны необходимого количества материала, идентичного изучавшемуся в шлифе.

Оптические определения состава

Определения ориентировки оптической индикатрисы в шлифах, ориентированных I $[100]$ и II (010), из образцов лабрадоров и перистеритов М и Э20 выполнялись коноскопическим методом и, как правило, по двум выходам оптических осей. В случаях невозможности получения выходов обеих осей ориентировка индикатрисы (и 2V) определялась графически, но положения главных сечений устанавливались коноскопически. Данные измерений других образцов перистеритов и образца андезин-лабрадора Ку-1 получены обычным ортоскопическим методом, из-за очень тонкого полисинтетического их двойникования.

Следует отметить одно обстоятельство, связанное с оптическими измерениями состава плагиоклазов в шлифах, ориентированных по (010).

Т.Н. Агафоновой (1952, 1955) отмечалось, что при исследовании шлифов из лабрадоров, ориентированных по (010), очень часто наблюдается такое явление, когда зерно погасает волнисто. При этом волна погасания перемещается от одного края поля зрения к другому, что затрудняет определение углов погасания на таких участках. Аналогичное явление нередко наблюдалось и в описываемых шлифах. Однако, хорошо известно, что для плагиоклазов характерно нормальное погасание, а образцы с волнистым, облачным и другими типами погасания очень редки и встречаются в особых условиях. Многочисленные наблюдения показали, что в случаях неточного совпадения плоскости среза шлифа с (010) и наличия "размазанной" двойниковой структуры, волна погасания всегда перемещается от границ двойниковых полос. Нетрудно убедиться, что волнистое погасание, наблюдающееся у лабрадоров (в шлифах, ориентированных по (010)) при отсутствии видимой двойниковой структуры также связано с наложением эффектов поляризации в соседних, очень тонких, индивидах альбитовых двойников, имеющих (из-за очень косоого расположения их по отношению к срезу шлифа) форму клиньев, наложенных друг на друга скошенными концами. В результате этого в зонах, где различные индивиды перекрываются, волна погасания будет перемещаться от положения погасания одного индивида до положения погасания другого индивида по мере изменения соотношения их толщин. Явление наложения двух индивидов хорошо распознается и при наблюдениях в коноскопе. В этом случае при совмещении плоскости оптических осей с плоскостью симметрии микроскопа одна половина (реже обе) вертикальной балки креста оказывается "размазанной", в то время как другая остается резкой.

Таким образом, определения состава образца любым методом измерения следует выполнять только на участках с прямым погасанием.

Чтобы избежать ошибок, связанных с описанным явлением, при определениях состава в прозрачно-полированных шлифах, принимались следующие меры:

1. Для исследований выбирались образцы с резко неодинаково развитыми системами альбитовых двойников или вовсе несдвойникованные.

2. Плоскость среза шлифа ориентировалась под некоторым углом к (010). Желательно, чтобы плоскость среза шлифа при этом отклонялась от (010) в сторону Mg , т.е. для лабрадоров примерно в сторону $1(001)$. Следует при этом иметь в виду, что (пл.ир.) отклоняется от $1(010)$ в сторону $1(\bar{2}01)$, а совпадение плоскости иризации с плоскостью среза шлифа также недопустимо, так как отражение от плоскости среза шлифа будет совпадать с лучем иризации.

3. Для улучшения качества коноскопической фигуры в тонко сдвойникованных образцах не использовались утолщенные шлифы.

4. Перед определением состава в намеченном участке проверялось отсутствие наложения двух индивидов по описанным выше признакам.

Результаты измерений оптической ориентировки, вместе с данными гониометрических измерений на каждом участке, наносились на увеличенную сетку Вульфа и определялись координаты $1(010)$ относительно осей индикатрисы, по которым на диаграмме А.С.Марфунина (1962) определялся состав и степень упорядоченности плагиоклаза на заданном его участке.

Спектрофотометрические исследования

Методика съемки спектров иризации одинакова при исследовании образцов в обломках и в прозрачно-полированных шлифах. Различны лишь способы монтировки объектов исследования на столике Федорова, как показано выше.

Съемка спектров иризации выполнялась при двух способах освещения образцов монохроматическим светом: с помощью призмы opak-иллюминатора и без нее.

Освещение образца без opak-иллюминатора

Юстировка микроскопа в сборе (с юстированным после определения угла α объектом) отличается от описанной выше только тем, что источником света служит выходная щель монохроматора СФ-4. При этом микроскоп придвигается к монохроматору на минимально возможное расстояние от щели. Анализатор выводится из хода лучей. В зависимости от качества отражающей поверхности и размеров исследуемых участков могут использоваться любые стандартные объективы. Нами использовался $10\times$ кварц-флюоритовый объектив типа ОК-10-3 при всех исследованиях.

Описанный способ освещения образца имеет важные преимущества.

1. Он позволяет изменять (изменением наклона микроскопа с помощью подъемных винтов станины) угол между падающим лучем и осью микроскопа (угол Φ) от $35 - 40^\circ$ до $100 - 110^\circ$. При этом, естественно, повторяется юстировка микроскопа относительно падающего луча для каждого нового значения угла Φ , для чего требуется обычно не более 5-10 минут.

2. Имеется возможность выполнения измерений в ближней ультрафиолетовой области спектра. Для этого после установки необходимого отражения (сигнал от плоскости (010), полированной поверхности шлифа или плоскости иризации) тубус микроскопа снимается, а ФЭУ с помощью специально изготовленной переходной втулки устанавливается непосредственно в гнездо микроскопа под тубус. В этом случае (если работа выполняется на микроскопе МИН-9, с которого снята отражательная пластинка опак-иллюминатора и используется флюоритовый объектив) на пути лучей в микроскопе нет стеклянных деталей, поглощающих ультрафиолетовое излучение.

3. Этот способ освещения образца позволяет выполнять описанные выше определения угла α , но точность этих измерений снижается из-за малого расстояния между источником света и кристаллом, однако она вполне достаточна для расчетов по уравнениям интерференции (2.6).

Поскольку тубус микроскопа снимался, то диафрагмирование, в случаях необходимости, осуществлялось установкой экранов с отверстиями в свободное окно оправы анализатора. Угол падения определяется так же, как и при гониометрических измерениях. Если угол α известен, то величину угла выхода иризации не обязательно фиксировать.

Освещение образца с помощью опак-иллюминатора

Если кристалл юстирован (как указано выше) относительно оси М, то осветитель и поляризатор снимаются с опак-иллюминатора, а призма вводится в ход лучей. Затем микроскоп юстируется таким образом, чтобы при придвинутом вплотную к щели монохроматора отверстию трубки опак-иллюминатора в положении выхода сигнала от плоскости ограничения кристалла (поверхность скола по (010) или полированная поверхность шлифа) наблюдалась максимальная яркость всего поля зрения и не было вуали. Юстировка производится только перемещениями всего микроскопа и подъемными винтами станины. Для полного устранения вуали закрывается до половины полевая диафрагма осветительного устройства опак-иллюминатора. Величина поля зрения регулировалась апертурной диафрагмой осветительного устройства. Линза Бертрана, после установки необходимого отражения выводится из поля зрения. ФЭУ устанавливается в тубус через переходную втулку вместо объектива так же, как и в первом случае, за исключением щелки в ультрафиолетовой области. Интенсивность пучка регулировалась диафрагмой тубуса.

Поскольку падающий и отраженный лучи в опак-иллюминаторе идут практически по одному пути, то при освещении образца таким способом имеет место частный случай падения — отражения луча \perp (пл.ир.) (см. главу 2). При этом угол преломления падающего пучка равен углу α .

Этот способ освещения образца лишен преимуществ первого, но при использовании его для определения толщины пластинок по уравнениям (2-6) не требуется определение углов и вычисления $\cos(\pi - \alpha)$, что упрощает работу.

В качестве эталона при всех спектрофотометрических исследованиях использовались отражения от плоскости ограничения кристалла ((010) и полированная поверхность шлифа). Это удобно из следующих соображений:

1. При этом исключается влияние на значения I/I_0 особенностей отражательных свойств образца (характер плоскости, цвет, прозрачность, трещиноватость) и в значительной степени его поляризации. Поэтому полученные значения I/I_0 луча иризации представляют главным образом суммарный эффект только: количества пластинок, участвующих в отражении, эффекта интерференции в каждой пластинке и поглощения в кристалле.

2. Смена образца на эталон при этом производится только поворотом образца вокруг оси I универсального столика на угол $15-20^\circ$ без снятия напряжения на ФЭУ и нарушения режима его работы.

Отсчеты по шкале гальванометра (использовался микрогальванометр с магазином сопротивлений типа М194, а также высокочувствительный гальванометр со шкалой типа ИФ-201) производились через $0,01$ мкм, а в областях максимумов в спектрах через $0,005-0,002$ мкм. В областях максимумов спектры снимались при прямом и обратном изменении длин волн. Графики строились в координатах $I/I_0 - \lambda$, где I интенсивность иризации, а I_0 - интенсивность эталона. В полученные значения I/I_0 в случаях необходимости вводилась поправка на влияние паразитического рассеянного света. Для этого образец из положения видимости иризации поворачивался вокруг оси M до ее полного исчезновения и измерялась интенсивность паразитического света I'_0 , которая затем вычиталась из значений интенсивностей иризации при тех же длинах волн. Как показал опыт, при измерениях иризации в обломках введение этой поправки не имеет смысла, так как она очень мала, но при получении спектров в прозрачно-полированных шлифах введение ее обязательно, потому что ее величина имеет тот же порядок, что и интенсивность иризации.

Электронномикроскопические исследования

Отобранные для электромикроскопических исследований спайные выколки (см. выше) образцов раскалывались на тонкие пластинки по спайности (001) и протравливались в HCl .

Как показали результаты специально поставленных экспериментов, травление образцов в HCl вместо HF , использовавшейся всеми предыдущими исследователями, более предпочтительно. При травлении в HCl процесс растворения протекает значительно более длительное время (часы вместо секунд), поэтому полностью исключается влияние на этот процесс случайных эффектов. Различие в скоростях растворения фаз плагиоклазов в HCl гораздо больше чем в HF . В результате этого качество структуры травления значительно повышается: границы раздела между пластинками ровные (при травлении в HF рваные), глубина протравливания постоянна, что позволяет почти всегда хорошо оттенить вместе с пластинчатым строением и двойниковую структуру (при напылении под небольшим углом к поверхности образца), и обеспечивает повторяемость опыта и сопоставимость результатов. Для перистеритов, у которых одна из фаз представлена чистым альбитом, нерастворимым в HCl , использование этой кислоты

позволяет вытравить только более основные пластинки, а поверхность альбитовых пластинок при этом остается нетронутой (обр. М., см. рис.12а,б). В результате получается очень четкая с острыми ребрами структура, позволяющая выявлять детали взаимоотношений пластинок различных типов между собой и с двойниковой структурой.

Наиболее рациональная длительность процесса травления, установленная опытным путем, составляет 15-24 ч. При этом для более кислых плагиоклазов длительность меньше, а для более основных больше. Более удобно использовать концентрированную HCl. Использование разбавленной кислоты увеличивает длительность процесса без улучшения качества протравленной поверхности.

Травленные поверхности скола по (001) оттенялись платиной под углом 10-15° к этой поверхности в плоскости перпендикулярной (или под углом не менее 25-30°) к простираению того элемента структуры (двойниковая структура, пластинки различных ориентировок), который необходимо было выявлять. Почти все образцы (см. рис.12-15) напылялись в плоскости перпендикулярной к альбитовым двойникам и границам между пластинками по (5 22 2) и (041), т.е. в плоскости примерно перпендикулярной к (001) и (010). Для выявления пластинчатого строения по (301) с протравленных поверхностей спайности по (001) образца Ку реплики получены при напылении в плоскости (010), следовательно, в плоскости перпендикулярной к (301) (см.рис. 17а,б). Снимки (см. рис.15б и 16а, б) пластинчатого строения образца Ку по (041) и (301) на фоне альбитовой двойниковой структуры получены с реплик, оттенявшихся в плоскости, образующей углы 45° с (010) и обеими системами пластинок.

После образования тонкой пленки угля одноступенчатая угольная реплика отделялась от объекта в плавиковой кислоте. На полученных калиброванных увеличенных электронномикроскопических снимках проводились измерения толщины пластинок каждого из типов (50-200 замеров пластинок каждого типа на образец) и периода идентичности (200 - 800 замеров на образец). Затем вычислялись средние значения толщины пластинок каждого из типов и их соотношения, а также значения периодов идентичности.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оптические исследования

Результаты оптических измерений в образцах приведены в табл. I. Анализ этих данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Сравнение результатов оптических определений составов некоторых образцов с данными химических анализов показывают довольно высокую сходимость результатов. Исключение составляет образец Н. Заниженные значения состава более основных зон и завышенные более кислых зон, полученные химически для этого образца, по-видимому, являются результатом не вполне чистого отбора материала из-за различий составов соседних индивидов очень тонких двойников.

2. Все исследованные плагиоклазы имеют промежуточную упорядоченность, хотя в структурном отношении пластинчатые плагиоклазы относятся (Laves, a.o., 1965; Nissen u.a., 1967; Теадор, 1967; Ribbe, 1960; Brown, 1960;

Марфунин, 1962) к серии низкотемпературных, высокоупорядоченных плагио-
 классов. Это, по-видимому, связано с наложением оптических индикатрис
 различно ориентированных систем (наложение оптических индикатрис раз-
 различно ориентированных систем индивидов альбитовых двойников, описанное
 выше, исключается, так как результаты измерений в шлифах, ориентирован-
 ных по (010) и $Ap/100$, одинаковы) пластинок, с различной структурой и
 составом и обладающих заметной толщиной. Некоторое влияние на результа-
 ты оказало, вероятно, и наличие субмикроскопического двойникования, от-
 мечавшееся на электронномикроскопических снимках (см. ниже).

Т а б л и ц а 1

Результаты оптических измерений ирризирующих плагиоклазов

Номер образ-ца	Место измерения	Цвет иризации	Состав мол.% <i>Ап</i>	Степень порядка	2 <i>ν</i>
1	2	3	4	5	6
Л а б о р а д о р ы					
Г-6	Пятно	Не иррирует	49,5	0,70	76,0 (.)
Г-6	Кайма деанортити-зации	" "	51,5	0,70	79,6 (x)
Г-1	Пятно	" "	52,5	0,60	77,0 (x)
С-3/3	Кайма деанортити-зации	Фиолетовый	52,5	0,70	78,6 (x)
Г-1*	Основная зона	" "	52,5	0,75	78,0 (.)
Г-3*	" "	" "	52,5	0,85	78,0 (x)
Г-7	Кайма деанортити-зации	Не иррирует	53,0	0,75	78,0 (.)
С-8	Зона	Фиолетовый	53,0	0,70	79,0 (x)
Г-4*	Основная зона	" "	53,5	0,60	79,5 (x)
Г-9	Неправильная зона	" "	54,0	0,85	80,0 (x)
Г-6*	Основная зона	" "	54,0	0,75	78,0 (x)
Ск-1	Зона	" "	54,0	0,75	78,0 (x)
Г-8	Основная зона	" "	55,0	0,50	82,0 (x)
С-8	" "	Зеленый	55,0	0,70	80,0 (x)
Г-7	Основная зона	Фиолетовый	55,5	0,60	78,5 (x)
Г-1	" "	" "	56,0	0,60	79,0 (x)
Г-11*	" "	" "	56,0	0,65	78,0 (x)
Г-6	Зона	Сине-зеленый	56,0	0,65	80,0 (x)
Г-7	" "	Синий	56,0	0,60	78,0 (.)
С-22	" "	Сине-зеленый	56,0	0,60	79,0 (x)
Г-4	" "	Сине-фиолетовый	56,0	0,60	79,5 (x)
Г-8	" "	Сине-зеленый	56,0	0,50	81,0 (x)
Н-*	Основная зона	Зелено-синий	56,0	0,70	78,5 (x)
Ск-1	Зона	Синий	56,0	0,75	79,0 (x)
Г-9	" "	" "	56,0	0,75	79,0 (x)
Г-5*	Кайма пятна	Зеленый	56,5	0,50	80,0 (x)
Г-1*	Зона	Желто-зеленый	57,0	0,70	79,5 (x)
Г-9	" "	" "	57,0	0,65	79,5 (x)
С-1	Пятно	Желто-зеленый	57,0	0,70	80,5 (x)
Г-7	Зона	Зеленый	57,0	0,55	79,0 (x)
Г-11	Пятно	Синий	57,0	0,60	78,0 (x)
Г-1	Основная зона	Синий	57,5	0,65	79,0 (x)
КС-8*	Зона	" "	57,5	0,65	79,5 (x)
Г-1*	Основная зона	" "	57,5	0,65	79,5 (x)
С-22	Зона	Зелено-желтый	57,5	0,60	78,0 (.)
Г-1	Неправильная зона	Зеленый	57,5	0,60	79,5 (x)
Г-7	Зона	Зелено-желтый	57,5	0,60	80,0 (.)
С-20*	Основная зона	Желтый	58,0	0,80	78,0 (x)
Ск-1	Неправильная зона	Бурый	58,0	0,70	79,0 (x)

1	2	3	4	5	6
Г-4	Кайма пятна	Оранжевый	58,0	0,65	80,0 (x)
Г-1	Кайма деанортитизации	Не иризирует	58,5	0,65	80,0 (x)
С-3/3	Зона	Бурый	59,0	0,60	82,0 (x)
С-22	"	Оранжевый	59,0	0,50	80,0 (x)
Г-9	"	Фиолетово-красный	59,0	0,80	81,0 (x)
КС-8	"	Оранжевый	59,5	0,60	81,0 (x)
Г-8	"	Красный	59,5	0,45	80,0 (x)
Г-6	Ядро пятна	"	59,5	0,60	80,0 (.)
Г-5	Неправильная зона	Серо-зеленый	59,5	0,40	81,0 (x)
С-40	Зона	Оранжевый	59,5	0,55	80,3 (x)
С-8	"	Бурый	59,5	0,60	81,0 (x)
Б-1	Зона деанортитизации	Не иризирует	59,5	0,5	79,5 (x)
Гр-1	Зона	"	59,5	0,60	81,0 (x)
Г-9*	Основная зона	Серо-синий	59,5	0,60	81,0 (x)
С-1*	"	Оранжевый	59,6	0,50	80,0 (x)
Г-5	Ядро пятна	Не иризирует	60,0	0,45	81,0 (x)
Нх*	Неправильная зона	Красный	60,0	0,55	81,0 (x)
Ск-1*	Основная зона	Серо-синий	60,0	0,50	80,7 (x)
Г-8	Ядро пятна	Фиолетово-красный	60,0	0,50	81,0 (x)
Г-9	"	Не иризирует	60,0	0,75	81,0 (x)
Н	Неправильная зона	Красновато-оранжевый	60,0	0,55	81,0 (x)
Ск-1	Ядро кристалла	Серо-синий	60,0	0,50	80,6 (x)
Г-8	" пятна	Фиолетово-красный	60,0	0,50	81,0 (x)
Г-9	"	Не иризирует	60,0	0,75	81,0 (x)
С-2	" кристалла	Фиолетово-красный	60,0	0,40	81,0 (x)
Г-11	Пятно	"	60,0	0,45	83,0 (x)
Г-7	Ядро кристалла	красный	60,5	0,45	81,0 (x)
Г-4	" пятна	Не иризирует	61,0	0,55	82,5 (x)
Г-8	Пятно	Серо-зеленый	61,0	0,50	82,0 (x)
Г-7	Неправильная зона	Красновато-фиолетовый	61,5	0,50	83,0 (.)
Г-8	Ядро пятна	Не иризирует	62,0	0,25	83,0 (.)

Перистериты

1Л2П*	-	Сине-голубой	8,5	0,75	84,5 (x)
120/5а*	-	Голубой	9,0	0,85	85,0 (.)
М	-	"	10,0	0,80	86,0 (x)
120/5*	-	"	9,0	0,90	85,0 (x)
222/2А*	-	"	10,0	0,90	87,0 (x)
320	-	"	13,5	0,85	88,5 (x)

*Гониометрические измерения выполнялись в выколках по спайностям (001) и (010). В остальных образцах измерения получены с использованием гониометрических определений положения нормали к (010) в шлифе.

(x) - определение по двум выходам оптических осей.
(.) - определение по одному выходу оптической оси.

3. Полученные значения углов $2V$, практически лежащие на кривые максимально упорядоченных плагиоклазов (Smith J.R. 1960; Марфуния, 1962), также являются заниженными для этой упорядоченности, что подтверждает указанные выше допущения.

4. Из приведенных в таблице данных заметно некоторое уменьшение степени порядка с увеличением основности образцов, что можно связать только с наличием пластинчатого строения в этих плагиоклазах.

Результаты спектрофотометрических исследований 13 образцов приведены в табл.2 вместе с данными определения их составов. На рисунках 7-11 показаны спектры иризации этих образцов, снятые в диапазоне длин волн 220-1200 нм.

Экспериментальная проверка уравнения интерференции

Во всех образцах иризирующих плагиоклазов, как указывалось и всеми предыдущими исследователями (Пазюк, 1954; Rayleigh, 1923; Bøggild, 1924; Bolton a.o., 1966), наблюдается уменьшение длины волны иризации с увеличением угла падения света на образец. Характер этого изменения исследован нами количественно. В качестве примера приведены спектры иризации обр.С-20 (3 и 4 на рис.7) снятые в одной и той же точке образца при наклонном и нормальном падении света на (пл.ир.).

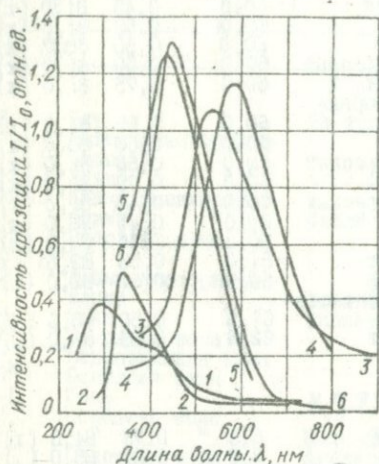


Рис.7. Спектры иризации плагиоклазов:

1 - обр. М, 2 - обр.320, 3,4 - обр.С-20 (при различных углах падения - отражения), 5,6 - обр.Гл-1 (в соседних индивидах альбитовых двойников при одинаковых условиях съемки).

При нормальном падении света на (пл.ир.) (съемка с помощью опак-иллюминатора) условия съемки спектра таковы: $\varphi = 0$; $i = 16^{\circ}15'$; $\tau_1 = \alpha = 10^{\circ}18'$; $\lambda = 587,5$ нм.

Во втором случае (съемка без опак-иллюминатора) геометрические условия съемки были: $\Phi = 80$; $V_2 = 20$; $i = 60$; $\tau_2 = 33^{\circ}34'$; $\alpha = 10^{\circ}28'$; $\lambda = 540$ нм.

Поскольку из (2.5): $\lambda = \frac{\varphi d n \cos(\tau - \alpha)}{(2n \pm 1)}$, а при съемке в различных геометрических условиях падения - отражения будет изменяться только значение $\cos(\tau - \alpha)$, то соотношение длин волн максимумов иризации, полученных при различных условиях, будет

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\cos(\tau_2 - \alpha)}{\cos(\tau_1 - \alpha)}$$

Для первого случая $\cos(\tau_1 - \alpha) = 1$, а для второго $-\cos(33^{\circ}34' - 10^{\circ}28') = 0,92$ и соотношение косинусов равно 0,92. Отношение длин волн

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{540}{587,5} = 0,92.$$

Для других образцов получено совпадение отношений косинусов и длин волн максимумов иризации с такой же высокой точностью.

Перистериты. Спектры иризации перистеритов (1,2 рис.7) значительно более однообразны и более растянуты по сравнению с лабрадорами. Ширина максимумов в их спектрах на высоте $1/2$ наибольшей интенсивности составляет от 120 до 180 нм, в то время как максимумы в спектрах лабрадоров в том же диапазоне длин волн обычно не превышают 120 нм. Ни в одном из изученных образцов не удалось обнаружить спектр, в котором можно было бы уверенно выделить более чем один максимум. Иризация во всех образцах голубая с различными оттенками. Максимумы почти всегда располагаются на границе или за пределами видимого диапазона в ближней ультрафиолетовой области. Какой-либо закономерности в изменении интенсивности иризации в образцах перистеритов не обнаружено. Интенсивность иризации прямо связана лишь с прозрачностью образцов.

Лабрадоры. Спектры иризации лабрадоров заметно отличаются от спектров перистеритов как шириной диапазона, в котором наблюдаются максимумы, так и формой. Анализ спектров иризации лабрадоров (рис. 8-11) позволяет отметить следующие их особенности, не зависящие от состава образцов:

1. Интенсивность максимумов спектров, полученных в тонких прозрачно-полированных шлифах (обр. Г-7; КС-8; Н), в пять-семь раз ниже, чем интенсивность максимумов спектров, снятых в толстых выколках. При съемке спектров в выколках с помощью опак-иллюминатора можно легко заметить, что глубина проникновения света в образец обычно составляет от 2 до 3 мм. Если принять среднюю толщину шлифа равной 0,025 мм, а глубину проникновения света в кристалл 2,5 мм, то толщина слоя материала, подвергающегося исследованию в обоих случаях, а, следовательно, и количество пластинок, участвующих в отражении, будут различаться в 100 раз. На этом основании следует считать, что вклад в общую интенсивность пучка иризации от пластинок, расположенных далеко от поверхности образца, резко уменьшается с увеличением глубины. Это, по-видимому, связано с поглощением лучей в кристалле и их многократными отражениями от поверхностей раздела большого количества пластинок.

2. Интенсивность максимумов (при измерениях в выколках) колеблется в широких пределах. Интенсивность иризации зависит (как и в перистеритах) от прозрачности образцов, а также от их состава, о чем более подробно будет сказано ниже.

3. Ширина максимумов прямо пропорциональна длине волны иризации. Максимумы в более коротковолновой области видимого диапазона всегда уже чем в длинноволновой.

4. Ширина максимумов в средней части видимого диапазона длин волн составляет 120-160 нм независимо от толщины исследуемого образца, т.е. независимо от того снимался спектр в образце или в шлифе.

5. Форма максимумов всегда в той или иной степени резко асимметрична. Более крутой всегда оказывается более коротковолновая ветвь.

6. Длины волн максимумов иризации в различных системах индивидуальных альбитовых двойников, за редкими исключениями (обр. Гл-1, рис.7, спектры 5, 6), одинаковы в пределах ошибки определения длин волн. Интенсив-

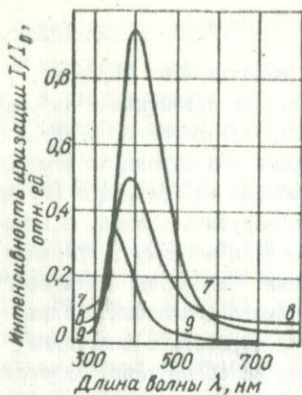


Рис.8. Спектры ирризации кис-
лых лабрадоров:
7 - обр.Г-1, 8 - обр.
Г-11, 9 - обр.Г-6.

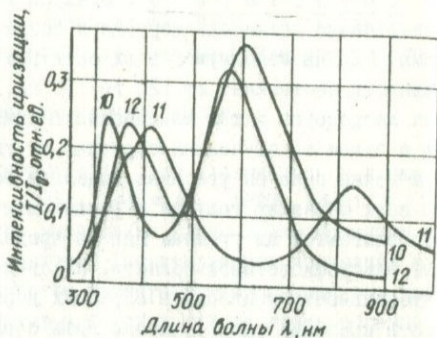


Рис.9. Спектры ирризации основных
лабрадоров:
10 - обр.С-1, 11 - обр.Сх-1, 12 -
обр.С-40.

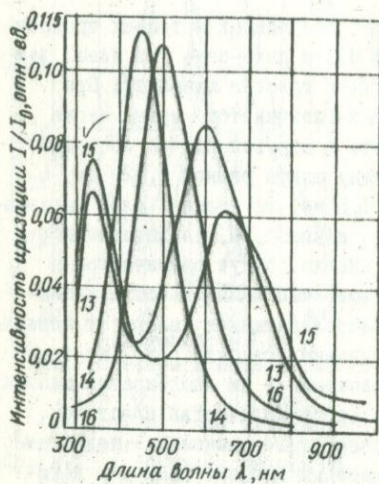


Рис.10. Спектры ирризации в различ-
ных зонах зональных кристаллов
лабрадоров:
13, 14 - обр.КС-8, 15, 16 - обр.Н.
Интенсивность спектров 14 и 16
уменьшена в два раза.

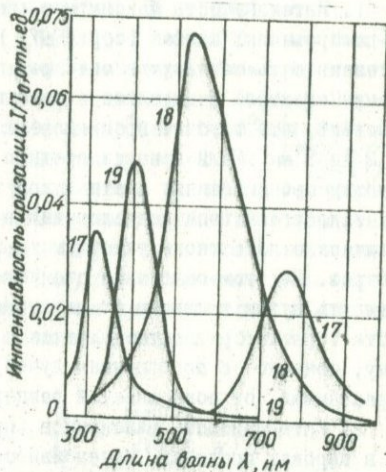


Рис.11. Спектры ирризации в различ-
ных зонах образца Г-7. Интен-
сивность спектра 18 уменьшена в
два раза.

ности максимумов иризации в каждой из систем индивидов пропорциональны объемам занимаемым этими системами в сложении образца.

Перечисленные выше особенности спектров иризации – зависимость ширины максимумов от их длин волн, асимметричность максимумов и зависимость длины волны иризации от угла падения света на образец – характерны для спектров интерференции в тонких пластинках, следовательно, еще раз подтверждают гипотезу, объясняющую иризацию интерференцией света в тонких пластинках. Некоторые отклонения особенностей спектров иризации плагиоклазов от теоретических для одной пластинки легко объясняются, как это сделано еще Ф.Р.Рейлеем (Rayleigh, 1923), наложением лучей от большого количества пластинок, толщина которых колеблется в определенных пределах. А судя по виду спектров перистеритов и лабрадоров, можно предположить, что пределы колебаний толщины пластинок в перистеритах несколько шире, чем в лабрадорах, при меньшей, в среднем, их толщине.

Изменение спектров иризации лабрадоров с изменением состава

Как видно из табл.2, интервал составов лабрадоров ограничивается пределами $\Delta n_{52} - \Delta n_{61}$. При сравнении спектров исследованных образцов различного состава установлено следующее:

1. Весь указанный интервал составов по особенностям спектров иризации четко разделяется на две части: кислее Δn_{57-58} и основное этого состава.

2. Образцы составов Δn_{57-58} обладают значительно более высокой интенсивностью иризации, чем все остальные. Это хорошо заметно и невооруженным глазом, а из приведенных спектров видно, что интенсивность максимумов иризации (см. спектры иризации рис.7-II и табл.2) в таких образцах (например, обр. Гр-I, рис.8, спектр № 7) достигает единицы, а иногда и превышает ее, т.е. при измерении иризации в обломках для определенных длин волн интенсивность иризации больше интенсивности луча, отраженного поверхностью скола по (010). Относительная интенсивность иризации в образцах других составов лежит в пределах 0,2 – 0,3. Таким образом, интенсивность иризации в образцах составов Δn_{57-58} превышает обычную в 2,5 – 4 раза. Для этих составов характерны синие, зеленые и желтые окраски иризации. Спектры имеют только один максимум.

3. В образцах кислее № 57-58 окраски иризации, как правило, не превышают зеленого цвета. Обычны фиолетовые и синие. В спектрах наблюдается только один максимум. Отмечена тенденция к увеличению интенсивности иризации с увеличением основности образцов (см. спектры образцов Г-6, Г-II, Гр-I на рис.8).

4. Для образцов из Волынских месторождений составов Δn_{58} и основное наиболее характерны желтые, бронзово-желтые и медно-бронзовые цвета иризации. Для образцов этих же составов из месторождения лабрадоритов г.Городище Черкасской области, типичны оранжево-красные, красные, фиолетово-красные и серые окраски различных оттенков.

Таблица 2

Результаты химических, оптических и спектрофотометрических исследований иризирующих плагиоклазов

Номер образца	Химический состав, мол.%			Содержание анортита, мол.%		Окраска иризации	Номер иризации	Номер спектра	Длины волн максимумов иризации, нм			Интенсивности максимумов I/I_0 отн. ед.			$k = \frac{I_{\text{осн}}}{I_{\text{кис}}}$
	Or	Ab	An	Оптическое определение	Среднее				$\cos(r-d)$	λ_0	λ_2	$\lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_0}$	$I_{\text{осн}}$	$I_{\text{кис}}$	
C-20	-	-	-	58,0	58,0	Желтовато-зеленая	7	3	0,922	540,0	-	-	0,215	-	-
								4	1,000	587,5	-	-	0,253	-	-
Гл-I	-	-	-	57,5	57,5	Синяя	7	5	0,938	450	450	1,000	1,310	?	?
								6		435	435	1,000	1,270		
M	2,8	87,1	10,1	10,0	10,0	Голубая	7	1	0,934	293	-	-	0,374	-	-
320	2,6	83,5	13,9	13,5	13,7	"	7	2	0,954	340	-	-	0,497	-	-
Г-6	-	-	-	54,0	54,0	Фиолетовая	8	9	0,929	350	-	-	0,340	-	-
Г-II	3,5	40,1	56,4	56,0	56,2	"	8	8	0,923	390	-	-	0,496	-	-
Гр-I	2,5	39,7	57,9	57,5	57,7	Фиолетово-синяя	8	7	0,920	403	403	1,000	0,946	?	?
C-40	-	-	-	59,1	59,1	Оранжево-желтая	9	12	0,941	570	370	0,649	0,320	0,238	0,745
C-I	-	-	-	59,6	59,6	Желто-оранжевая	9	10	0,933	605	326	0,537	0,356	0,245	0,678
Ск-I	3,0	37,1	59,9	60,0	60,0	Розовато-синяя	9	11	0,940	830	412	0,497	0,150	0,231	1,550
	-	-	-	57,7	57,7	Зелено-синяя	10	16	0,925	500	-	-	0,215	-	-
	2,9	58,2	58,9	60,0	59,5	Красная	10	15	0,925	640	340	0,521	0,085	0,066	0,775
КС-8	-	-	-	57,5	57,5	Синяя	10	13	0,940	450	450	1,000	0,223	?	?
	-	-	-	59,5	59,5	Оранжевая	10	14	0,940	600	337,5	0,563	0,062	0,075	1,210
	-	-	-	55,5	55,5	Фиолетовая	11	19	0,936	405	-	-	0,048	-	-
Г-7,	-	-	-	57,5	57,5	Желто-зеленая	11	18	0,936	530	530	1,000	0,130	?	?
	-	-	-	60,5	60,5	Темно-красная	11	17	0,936	750	315	0,420	0,028	0,035	1,230

В спектрах всех образцов из этого интервала составов наблюдаются два максимума иризации. Соотношение длин волн этих максимумов изменяется с изменением валового состава образца от единицы при составе n_{57-58} до 2,4 при составе $n_{60,5}$. Соотношение интенсивностей этих максимумов колеблется в обе стороны от единицы, но чаще всего максимум в более коротковолновой части спектра более интенсивный.

К этому же интервалу составов, вероятно, относится и образец с двумя максимумами, описанный Г.С.Болтоном и др. (Bolton a.o., 1966). Эти максимумы авторы статьи относят к первому и второму порядкам интерференции от пар пластинок, наблюдавшихся ими под электронным микроскопом, несмотря на то, что соотношение длин волн максимумов довольно сильно отличалось от теоретического (примерно 1,73 вместо 2). Это отклонение они объясняли колебаниями толщины пластинок. Однако такое объяснение кажется необоснованным. Соотношение максимумов различных порядков должно строго соответствовать теоретическому, так как, колебания толщины пластинок (периода идентичности) никогда не доходят до минимальных значений, удовлетворяющих условиям максимумов первого порядка для длин волн, которые соответствуют значениям длин волн второго порядка в пластинках средней толщины. Поэтому колебания периода идентичности не могут влиять на положение максимума второго порядка относительно максимума первого порядка. Поскольку первый максимум соответствует толщине наибольшего количества одинаковых пластинок (равно, как и средней толщине всех пластинок, участвующих в отражении), то интенсивность и второго максимума должна быть наибольшей именно для этих пластинок. Следовательно, отклонение соотношения длин волн максимумов первого и второго порядков от теоретического (для пар пластинок равно двум, а для пластинок обоих типов - трем) должно быть ничтожно. Однако, как указывалось выше, соотношение длин волн обоих максимумов в каждом спектре закономерно изменяется с изменением состава образца от единицы, при составе n_{57-58} достигая значения, равного двум, только при составе n_{60} . Кроме того, соотношение интенсивностей этих максимумов также колеблется в ту или иную сторону около единицы, а не около двух, как вытекает из теоретических расчетов интенсивностей максимумов первого и второго порядков, выполненных Г.С.Болтоном и др., предполагавшим, что в спектрах иризации наблюдаются только максимумы связанные с периодом идентичности.

5. Анализ табл. I показывает, что каждому цвету иризации соответствует определенный интервал составов. Это полностью согласуется с наблюдениями О.Б.Боггилда (Bøggild, 1924) и Т.Н.Агафоновой (1955, 1956, 1959).

Изложенные результаты качественных и точных спектрофотометрических исследований образцов известного состава, наряду с известной закономерностью (Bøggild, 1924; Агафонова, 1956, 1959) в изменении цвета иризации с изменением основности зон образцов, хорошо согласуются с предположением, что максимумы, наблюдаемые в спектрах иризации плагиоклазов, соответствуют различным типам пластинок, отличающихся составом, и являются для них максимумами низших порядков. Максимумы более высоких поряд-

ков в спектрах не обнаружены так же, как и максимумы первого порядка для пар пластинок, которым предыдущие исследователи (Laves a.o., 1965, Nissen u.a., 1967; Bolton a.o., 1966) приписывали все максимумы в спектрах иризации плагиоклазов. В спектрах лабрадоров кислее № 57-58 и перистеритов не обнаружены также и максимумы, соответствующие более кислым пластинкам. Причины такого поведения спектров иризации при изменении состава будут рассмотрены ниже.

Электронномикроскопические исследования

Как установлено ранее (Barier, Fense, 1957; Laves a.o., 1965; Nissen, u.a., 1967; Bolton a.o., 1966), все изученные нами иризирующие образцы имеют пластинчатое строение, представляющее собой чередование пластинок двух типов, различающихся степенью растворимости в HCl (рис. 12-17, см. вклейку).

Плоскости разграничения пластинок по $(\bar{5} 22 2)$ образуют угол $8-15^\circ$ с плоскостью срастания альбитовых двойников, располагаясь в соседних индивидах симметрично относительно последней. Период идентичности, как и толщина пластинок различных типов, одинаков в обоих индивидах.

Образец Ку, в котором обнаружено две плоскости иризации, исследовался на участке с однотонной иризацией: фиолетовой по $(30\bar{1})$ и желто-оранжевой по $(04\bar{1})$. На приведенных снимках этого образца (рис. 15, 16 и 17) видно, что пластинки, ориентированные в различных направлениях, совершенно равноправны и развиты на отдельных участках удлинённой (обычно неправильной) формы. Размеры участков порядка первого десятка микронов колеблются в значительных пределах. Поскольку пластинки по $(04\bar{1})$ расположены под острым углом к $(00\bar{1})$, то судить об их истинной толщине очень трудно, во-первых, из-за неравномерного растворения (острые углы растворяются лучше чем тупые), а во-вторых, из-за особенностей их напыления. Однако можно утверждать, что период идентичности пластинок по $(30\bar{1})$ меньше, чем по $(04\bar{1})$. Плоскость (010) является также плоскостью зеркального отражения для пластинок обеих ориентировок, располагающихся в соседних индивидах альбитовых двойников. Пластинки, ориентированные по $(30\bar{1})$, образуют с плоскостью срастания альбитовых двойников угол, очень близкий к прямому. Об истинном угле между плоскостью (010) и пластинками по $(04\bar{1})$ судить трудно, однако на рисунках 15, в и 16, в, г хорошо видно, что направление этих пластинок заметно отклоняется от (010) .

Нередки случаи (обр. Ск-1), когда в индивидах одной из систем двойников (обычно в менее развитой) пластинчатое строение отсутствует вовсе (рис. 14, в) или более узкие пластинки выклиниваются по мере удаления от двойникового шва (рис. 14, в), то ли по мере приближения к нему (рис. 14, г, д). Возможно, что эти индивиды отличаются от соседних валовым составом. Еще более распространены случаи, когда по мере удаления пластинок от двойникового шва они утолщаются, а их количество соответственно уменьшается (обр. 320, Г-II и Гр-I, рис. 12, в и 13, в, г).

На всех снимках лабрадоров за редким исключением (например, обр. С-40, рис. 14, б), хорошо видно, что толщина пластинок и период идентич-

Таблица 3

Результаты электронномикроскопических исследований иризирующих плагиоклазов

Номер образца	Состав, мол.%, Al_2O_3	Толщины пла- тинок, измерен- ные, нм		Период идент., нм	$K = \frac{d_x}{d_0}$	$\cos(r-d)$	Длины волн максимумов иризации, нм					$K = \frac{\lambda_x}{\lambda_0}$
		d_0	d_x				$L = d_0 + d_x$	вычисленные			измеренные	
				λ_0	λ_x	λ_0		λ_x	λ_x			
Г-II	56,2	65,3	92,1	157,4	1,410	0,923	408 375	576 530	492 452	390	-	-
Гр-I	57,7	70,7	70,7	151,4	1,00	0,920	497 457	497 457	497 457	403	403	0,00
С-40	59,1	105,9	65,3	171,2	0,618	0,941	660 621	407 383	534 502	570	370	0,649
СК-I	60,0	131,8	70,4	202,2	0,534	0,940	825 775	440 413	632 594	830	412	0,497
М	10,0	48,3	119,9	168,2	2,480	0,934	298 278	737 688	518 483	293	-	-
320	13,7	54,0	79,3	133,3	1,472	0,954	332 316	489 467	411 392	340	-	-

ности довольно постоянны (исключая участки вблизи двойниковых швов). В перистеритах они более изменчивы. На всех снимках особым постоянством толщины отличаются всегда более тонкие пластинки. И даже в случаях резкого увеличения периода идентичности и ширины более широких пластинок (обр.С-40, рис.14,б), более узкие пластинки сохраняют толщину неизменной, разделяясь на две, располагающиеся в непосредственной близости друг от друга.

В случаях, когда образец не двойникован, пластинки прослеживаются на очень большие расстояния (в сотни раз превышающие их толщину), при этом толщина каждой тонкой пластинки остается удивительно постоянной по простиранию. Период идентичности и толщина более широких пластинок также значительно более постоянны в этом направлении, чем в поперечном.

Во всех изученных образцах наблюдалась двойниковая структура. Ширина индивидов одной системы колеблется в очень широких пределах — от 1 мкм до различных макроскопически. Это обстоятельство всегда следует иметь в виду при оценке точности оптических определений состава и упорядоченности плаггиоклазов.

Результаты измерений толщины пластинок и периода идентичности приведены в табл.3 вместе с данными по определениям составов образцов, представленными средними значениями из оптических и химических определений (все эти образцы помимо оптических определений состава анализировались химически на главные окислы). Для полученных средних значений толщины пластинок и периодов идентичности по уравнениям (2.6) рассчитаны максимально возможные длины волн (в табл.3 указаны в верхних строчках) при $\cos(r_2) = 1$, а также длины волн, которые должны наблюдаться в этих пластинках при съемке спектров в образцах (в табл.3 указаны в нижних строчках). Значения экспериментально полученных длин волн иризации на соответствующих участках также приведены в таблице.

Из табл.3 видно, что существует связь между соотношением толщин пластинок различных типов и валовым составом образцов. Зависимость периода идентичности от состава не четкая и неоднозначная.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВЫВОДЫ

Сравнение длин волн максимумов иризации, вычисленных по данным измерения толщин пластинок на электронномикроскопических снимках с действительно наблюдаемыми, показывает, что для образцов кислее № 57-58 наблюдаемые длины волн близки к вычисленным для основных пластинок. Максимумы, связанные с более кислыми пластинками и с периодом идентичности, в спектрах этих образцов не обнаружены. Не отмечено также наличия в спектрах максимумов высоких порядков, длины волн которых для кислых и основных пластинок должны быть в три раза, а для периодов идентичности в два раза меньше, чем длины волн максимумов наиболее низких порядков.

Для составов основное № 57-58 длина волны одного из наблюдающихся максимумов близка к длине волны, вычисленной для более основных пластинок, а второго — длине волны (меньшей), вычисленной для более

кислых пластинок. Максимумы, отвечающие периодам идентичности, в образцах из этого интервала составов также не обнаружены.

Для составов Δ_{57-58} все вычисленные длины волн одинаковы и близки к экспериментальным.

Как видно из табл.3, расхождение вычисленных длин волн с действительно наблюдаемыми довольно большое (порядка 10-15%). Причиной этому, по мнению Болтона и др. (Bolton a.o., 1966), является различие в степени представительности данных спектрофотометрических и электронномикроскопических исследований. Так, по их расчетам, объем материала, анализируемого при получении спектра, составляет около 10^{-3} см³, а при электронномикроскопических исследованиях - порядка 10^{-11} см³. Это, по-видимому, основная причина, так как роль ошибок измерения по сравнению с ролью колебаний толщины пластинок в объеме, подвергнутом спектрофотометрическому исследованию, по всей вероятности, ничтожна.

Составы фаз. В табл.3 приведены значения коэффициента k , вычисленные для каждого образца по длинам волн различных типов пластинок, а также по данным измерения толщин пластинок на электронномикроскопических снимках. Используя данные табл.3 и решая систему уравнений (2.28) для пар образцов в различных комбинациях, вычислены X и Y , т.е. составы фаз разной основности, соответствующие в среднем Δ_{64} и $\Delta_{51,2}$ для лабрадоров, по данным спектрофотометрических исследований; $\Delta_{65,1}$ и $\Delta_{50,4}$ для лабрадоров, Δ_{34} и $\Delta_{0,3}$ для перистеритов, по данным электронномикроскопических исследований.

Метод определения составов фаз по спектрам иризации с двумя максимумами несомненно является более точным по сравнению с методом, использующим соотношения толщин пластинок, измеренных на электронномикроскопических снимках. Во-первых, первый метод, как указывалось выше, более представительен; во-вторых, истинное соотношение толщин пластинок на электронномикроскопических снимках может искажаться из-за неодинакового растворения пластинок и острых ребер; в-третьих, очевидно, что в первом случае можно определить валовой состав образца именно на том участке, на котором определялся коэффициент k по спектрам иризации, в то время, как при втором методе такая возможность исключена, а точность результатов вычисления составов фаз по уравнениям (2.28) гораздо больше зависит от точности определения валового состава на участке, где определяется коэффициент k , чем от точности определения k . Таким образом, благодаря более высокой точности первого метода, наряду с простотой и легкостью получения спектров иризации по сравнению с получением электронномикроскопических снимков, этот метод более предпочтителен при определении составов фаз. Однако для незональных образцов с одним максимумом в спектре иризации или вообще без иризации в диапазоне длин волн, доступном измерениям, второй метод остается пока единственным.

В табл.2 приведены также результаты измерений длин волн максимумов иризации в трех зонах образца Г-7, двух зонах образцов Н и КС-8 и результаты вычисления составов фаз в них по уравнениям (2.29). Средние составы фаз, полученные для этих образцов, соответствуют $\Delta_{64,3}$

Средние значения составов фаз, полученные всеми методами для всех образцов лабрадоров, соответствуют $An_{64,3}$ и $An_{50,8}$ а для перистеритов (только по данным электронномикроскопических исследований) - $An_{0,3}$ и An_{34} .

Полученные таким образом новые данные о составах фаз перистеритов и лабрадоров вместе с приведенными выше рентгенографическими и оптическими данными, свидетельствуют о возможном наличии в ряду плагиоклазов четырех интервалов несмесимости.

Альбит-олигоклазы. Конечные члены An_0 и An_{35} . Наиболее характерны спектры иризации с максимумами в ультрафиолетовой и фиолетовой областях. Известны также синие, зеленые и желтоватые оттенки. Иризация и пластинчатое строение известны и изучены только в образцах составов An_{3-5} - An_{17-18} . По данным рентгеновских измерений и электронной микродифракции, несмесимость также устанавливается только в этом интервале составов.

Андезины. Конечные члены An_{35} и An_{50} . Практически не изучались. Наиболее характерны, по данным Т.Н. Агафоновой (1959), синие и голубые окраски иризации, реже зеленовато-голубые, желтовато-зеленые, желтые и бронзово-желтые. Иризация описана только в образцах конца ряда (An_{45} - An_{50}). Пластинчатое строение описано в образцах An_{44} и An_{45} (Nissen, Eggmann, Laves, 1967). Структура промежуточная. Две фазы рентгенографически не устанавливаются.

Лабрадоры. Конечные члены An_{50} и An_{65} . Известны все окраски видимого диапазона. Пластинчатое строение и иризация описаны во всем интервале составов. Структура промежуточная. Две фазы рентгенографически не обнаружены.

Лабрадор-битовниты. Составы фаз An_{65} и An_{80} (?). Изучены очень слабо. Т.Н. Агафоновой описаны синие и желтовато-зеленые окраски иризации для интервала An_{65} - An_{76} . Пластинчатое строение описано в образце An_{75-76} (Nissen, Eggmann, Laves, 1967). Структура промежуточная. По рентгеновским данным, однородные.

ГЛАВА 4.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИРИЗАЦИИ ПЛАГИОКЛАЗОВ

Характер спектров, форма максимумов, связь длины волны иризации с составом зон в одном и том же зональном образце проанализированы выше. Теперь рассмотрим другие особенности иризации известные ранее, а также установленные в настоящем исследовании.

Эффект интерференции лучей иризации от различных пластинок в ряду лабрадоров

Как указывалось в гл.2, в связи с интерференцией лучей иризации от различных пластинок, возможно некоторое перераспределение интенсивности иризации по длинам волн. Рассмотрим этот эффект конкретнее.

Во всех уравнениях интенсивностей (2.16а)-(2.16в), (2.17а)-(2.17в), (2.18а)-(2.18в) независимой переменной, при постоянном периоде и соответственно величине α , является λ . Чтобы проследить изменение интенсивности интересующих нас длин волн с изменением валового состава лабрадоров, необходимо вычислить отношения толщин пластинок при изменении состава от A_{50} до A_{60} .

Из уравнения (3.2) найдем, что

$$\lambda = \frac{\alpha \lambda}{\alpha_0} = \frac{\lambda_k}{\lambda_0} = \frac{X-A}{A-Y}$$

Поскольку составы фаз X-65, а Y-50, то

$$\lambda = \frac{65 - A}{A - 50}$$

Задаваясь значениями валового состава образцов (A) от 50 до 65 через 0,5 или I мол.% A_{π} , вычислим значения λ , которые должны наблюдаться в образцах заданного состава при условии постоянства составов фаз. Подставляя затем полученные значения λ в каждое из указанных девяти уравнений, получим девять таблиц значений интенсивностей каждой из трех длин волн при изменении валового состава в ряде лабрадоров. Построенные по этим данным кривые (рис.18) изображают изменение интенсивности отражения рассматриваемых волн, обусловленное интерференцией лучей иризации от различных пластинок. На рис.18, а, б, в представлены кривые изменения интенсивности длин волн, удовлетворяющих условиям максимумов интерференции для периода идентичности и обоих типов пластинок. Из рисунков видно,

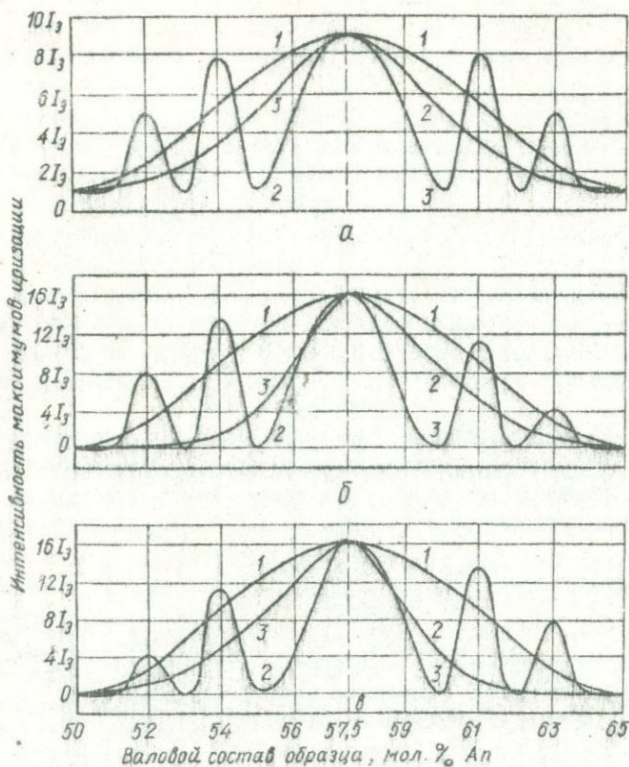


Рис. 18. Теоретические кривые интенсивности максимумов иризации, обусловленные взаимной интерференцией лучей иризации от: а - пары различных пластинок, б - пары более основных пластинок, в - пары более кислых пластинок; кривые отвечающие: 1 - периоду идентичности, 2 - более основным пластинкам, 3 - более кислым пластинкам, I₃ - интенсивность элементарная.

что результат взаимной интерференции лучей иризации от двух пластинок во всех их комбинациях - две пластинки разного состава (рис. 18, а), две пластинки более основного (рис. 18, б) и две более кислого (рис. 18, в) состава - качественно почти одинаков. Анализ кривых позволяет отметить следующее.

1. Для всех длин волн в целом наблюдается постепенное увеличение интенсивности от Al_{50} до $Al_{57.5}$. При составе $Al_{57.5}$ все длины волн и их интенсивности одинаковы. От состава $Al_{57.5}$ и до конца интервала иризирующих лабораторов интенсивность всех волн постепенно снижается до минимума.
2. Кривые интенсивности длины волны, удовлетворяющей условию максимумов для периода идентичности, имеют плоскость симметрии, проходящую через состав $Al_{57.5}$.
3. Кривые интенсивности максимумов в основных пластинках не симметричны. В кислой части интервала составов (кислее $M_{57.5}$) все они имеют

два дополнительных максимума (при составах An_{52} и An_{54}), превышающих интенсивность иризации периодов идентичности в среднем в два раза, а также два минимума ($I=0$) при составах An_{53} и An_{55} . От состава An_{55} до середины интервала интенсивность иризации в этих пластинках резко возрастает до максимума, оставаясь все время меньше интенсивности максимумов для периодов идентичности. В основной части интервала кривые плавно снижаются до нуля, располагаясь также несколько ниже кривых для периодов идентичности.

4. Кривые интенсивности иризации в более кислых пластинках обратны таковым в более основных. Максимумы на этих кривых наблюдаются в основной части интервала составов при нечетных составах (An_{61} и An_{63}), а минимумы при четных составах (An_{60} и An_{62}). В более кислой части интервала эти кривые плавно поднимаются от нуля до максимума при составе $An_{58,5}$.

5. Кривые интенсивности иризации для длин волн, удовлетворяющих условию максимумов в пластинках различных типов, в случае интерференции лучей от пары разнотипных пластинок антисимметричны. В двух других случаях — интерференция лучей от пар однотипных пластинок — указанные кривые также антисимметричны, но интенсивности иризации, естественно, различны, так как в каждом из этих случаев на пару пластинок одного типа приходится только одна пластинка другого типа.

Следует напомнить, что приведенные на рис. 18 кривые рассчитаны для идеального случая, когда: а) период идентичности пластинчатого строения не меняется; б) состав пластинок (фаз) постоянен и строго соответствует An_{50} и An_{65} ; в) поглощение плагиоклаза, его поляризация и различия в свойствах пластинок разных составов не учитываются, поэтому интенсивности лучей, отраженных от всех плоскостей иризации, независимо от их положения в кристалле, принимаются равными.

Однако ранее указывалось, что в реальных кристаллах период идентичности, как правило, не постоянен. Это послужило Ф.Р. Рейлею и другим исследователям основанием считать, что иризация представляет собой результат простого сложения лучей иризации от большого количества пластинок без их взаимной интерференции, т.е. эффект взаимной интерференции не является доминирующим в сложении лучей иризации от многих пластинок.

Состав фаз, по-видимому, также не постоянен в интервале глубины проникновения света в кристалл при наблюдении иризации, а тем более не соответствует строго составам An_{50} и An_{65} . Поэтому второе обстоятельство приводит к изменению положения максимумов и минимумов на приведенных кривых, а первое — к сглаживанию кривых в областях перегибов.

Реальным кристаллам свойственны также особенности, перечисленные в пункте "в", влияние которых вместе с увеличением количества пластинок, участвующих в отражении, несомненно приводит к значительному искажению результатов сложения лучей иризации от большого количества пластинок. Но, поскольку точный количественный учет влияния всех этих факторов — задача практически неразрешимая, то изложенное выше отражает не закон изменения интенсивностей максимумов в различных пластинках с изменением

состава образцов, а лишь тенденцию, связанную с возможной частичной интерференцией, значение которой по сравнению с простым сложением лучей иризации от различных пластинок оценить трудно, но влияние их на интенсивность иризации очевидно.

Так, как следует из табл.2, в изученных нами зональных образцах со строгой зависимостью длин волн максимумов иризации от состава зон не обнаружены (это, конечно, не значит, что их вообще нет) зоны с составами An_{53} , An_{55} , An_{60} , An_{62} , в которых бы (как следует из приведенных на рис.18 кривых) наблюдалось полное гашение иризации в более основных (первые два состава) или более кислых пластинках. Но, с другой стороны, ранее отмечалось, что для образцов, относящихся к более кислой части ряда лабрадоров, наблюдается в целом постепенное увеличение интенсивности иризации с увеличением основности образцов. В более основной части интервала изменение интенсивности иризации не отмечено, так как, исследовался лишь узкий, наиболее кислый, интервал. Такое изменение интенсивности иризации несомненно связано с интерференцией лучей от большого количества пластинок.

Характер изменения спектров иризации лабрадоров в зависимости от состава образцов

Выше было показано, что иризирующие лабрадоры представляют собой ряд пластинчатых плаггиоклазов с пределами (составами фаз) An_{50} и An_{65} . Следовательно, при составе $An_{57,5}$ соотношение обеих фаз (толщин их пластинок) равно 1:1, т.е. $d_0 = d_x = 1/2t$. При уменьшении основности образцов, начиная с этого состава, толщина основных пластинок будет уменьшаться, стремясь к нулю, а толщина более кислых пластинок увеличиваться, стремясь к величине периода идентичности. В предельном случае ($d_0 = 0$; $d_x = t$) пластинчатое строение исчезает. При увеличении основности от указанного состава изменение толщины пластинок каждого из типов будет обратным.

Исходя из этого, описанные в предыдущей главе особенности изменения спектров иризации лабрадоров с изменением валового состава образцов могут быть объяснены следующим образом.

1. Поскольку для более основных пластинок возможен (см. гл. 2) нулевой порядок интерференции, а для кислых пластинок и периодов идентичности только первый, то, при прочих равных условиях интенсивность максимумов иризации наименьших порядков в основных пластинках будет значительно превышать интенсивность остальных максимумов.

2. Как было показано в предыдущем разделе, в интервале составов от An_{50} до $An_{57,5}$ интерференция лучей иризации от большого количества пластинок также приводит к тому, что интенсивность максимумов в более основных пластинках оказывается (теоретически только для некоторых составов) несколько большей, чем интенсивности двух других максимумов. При этом, интенсивности максимумов в кислых пластинках ниже, чем интенсивности максимумов для периодов идентичности.

3. Очевидно, что для образцов, состав которых кислее № 57,5, будет справедливо неравенство: $d_0 < d_x < t$. Поэтому основные пластинки

как подчиненные должны иметь (независимо от способа образования пластинчатого строения) более выдержанную толщину, чем промежутки между ними (кислые пластинки), за счет которых происходят местные флуктуации валового состава. Вместе с кислыми пластинками будет изменяться и период идентичности, что и наблюдается на электронномикроскопических снимках. В таких условиях максимумы, связанные с более кислыми пластинками и периодами идентичности, будут значительно растянуты, а интенсивности их соответственно понизятся по сравнению с максимумами более основных пластинок.

4. В более кислой части интервала иризирующих лабрадоров $\lambda_0 < \lambda_A < \lambda_B$. А поскольку ширина максимумов интерференции в тонких пластинках увеличивается с увеличением длины волны, то это приводит к тому, что максимумы в кислых пластинках и парах пластинок растягиваются по ширине еще больше по сравнению с более основными.

5. Совместное влияние четырех предыдущих факторов приведет к тому, что в спектрах иризации образцов кислее № 57,5 будут хорошо выделяться только максимумы более основных пластинок, что и наблюдается в действительности.

6. По мере увеличения основности зон в одном образце будет увеличиваться толщина более основных пластинок, а вместе с ней и длина волны иризации в них. Но, поскольку в образцах составов $An_{50} - An_{57,5}$ выделяются только максимумы иризации основных пластинок, то этим и объясняется строгая и именно прямая (Vogel, 1924; Агафонова, 1950-1959; Пазюк, 1954) связь цвета иризации с основностью зон. Одновременно с изменением соотношения толщин пластинок (по мере изменения состава образцов) будет изменяться и роль факторов 2,3,4 для основных и кислых пластинок. К максимумам, связанным с периодом идентичности, эти изменения не относятся.

7. При уравнивании толщин пластинок обеих систем (состав $An_{57,5}$) длины волн всех трех максимумов иризации наименьших порядков совпадут, что приведет к полной интерференции всех лучей с максимальным увеличением интенсивности результирующей волны. Этим и объясняется аномально высокая интенсивность иризации в образцах этого состава.

8. В образцах более основной части интервала составов, роль факторов 2,3,4, изменится на обратную, что приведет к относительному ослаблению максимумов в основных пластинках и усилению максимумов более кислых пластинок. Поэтому в спектрах иризации появится второй максимум, принадлежащий к более кислым пластинкам. Положение и интенсивность этого максимума будут изменяться с изменением состава образцов. Длины волн максимумов основных пластинок увеличатся, а более кислых уменьшатся по мере увеличения основности зон в образце, что полностью подтверждает принятую модель пластинчатого строения плагиоклазов.

В заключение отметим, что в полученных нами спектрах не обнаружены максимумы, связанные с периодом идентичности; но это не исключает возможности их существования. Напротив, весьма вероятно, что в иризирующих образцах составов, близких к An_{53} и An_{55} чаще будут наблюдаться именно эти максимумы, но такие образцы нами не изучались, так

как для исследования выбирались только те, у которых четко проявляется строгая связь длины волны иризации с основностью. Точное же установление принадлежности максимумов тому или иному типу пластинок или же периоду идентичности возможно только на основе детального изучения спектральной характеристики иризации, состава образца и изучения его пластинчатого строения под электронным микроскопом.

Связь цвета иризации с валовым составом образца

Известны два (впервые четко выделенные Т.Н.Агафоновой) типа связи цвета иризации с основностью плагноклазов: а) строгая связь между составом и длиной волны иризации в различных зонах одного образца; б) связь между составом и цветом иризации, проявляющаяся в различных образцах определенного ряда составов.

Первый тип связи детально рассмотрен выше.

Второй тип охарактеризован О.Б.Боггилдом, который утверждал, что: "...плагноклазы с определенными цветами иризации относятся к определенным интервалам составов. Но, очевидно, что пределы этих интервалов не остаются постоянными, поэтому должны быть другие факторы, кроме состава, определяющие эти пределы" (Bøggild, 1924, с.60). Т.Н.Агафонова по этому поводу отмечает следующее: "...в образцах с одинаковой по цвету иризацией углы погасания участков разные и величина их меняется в пределах, свойственных плагноклазам № 46-76" (Агафонова, 1956, с.267). Позднее автор приходит к выводу, что цвета иризации связаны с химическим составом лишь в некоторых пределах. Лабрадоры определенного состава обладают определенными цветами иризации (Агафонова, 1959). Этот вывод подтверждает правильность тезиса, обратного тезису О.Б.Боггилда; каждому цвету соответствует определенный интервал составов (О.Б.Боггилд) и обратно - каждому составу свойственны определенные цвета иризации (Т.Н.Агафонова).

По данным Т.Н. Агафоновой (1959), намечается периодическая повторяемость цветов иризации при изменении составов образцов в пределах $A_{48} - A_{74}$. Никаких конкретных данных об этой периодичности в работе не приводится, так же, как не высказываются более или менее определенные предположения о причинах, обуславливающих такой характер связи цвета иризации с составом как в одном зональном образце, так и в различных образцах.

Результаты, полученные в настоящем исследовании, полностью согласуются с качественными выводами и предположениями О.Б.Боггилда и Т.Н.Агафоновой.

Другие авторы в своих работах не принимают во внимание различие между двумя указанными типами связи цвета иризации с основностью образцов. Так, Н.И.Безбородько отмечает: "В кислых членах окраска преобладающе от светло- до темно-синего и зеленого, в то же время у более основных плагноклазов, в частности, лабрадоров, окраски значительно богаче: желтая, красная, фиолетовая. Границы окрасок отвечают местам смены химического состава отдельных зон плагноклаза" (цит. по Т.Н.Агафоновой, 1956). Здесь второе предложение касается связи цвета иризации с составом в

одном зональном образце, а первое — характера изменения цветов иризации различных образцов во всем ряде плаггиоклазов.

В работах иностранных авторов последнего десятилетия (Laves u.a., 1965; Nissen u.a., 1967; Bolton a.o., 1966) строгая связь цвета иризации с основностью зон в одном образце переносится на различные образцы. Все эти авторы связывают иризацию (по аналогии с дифракцией рентгеновских лучей на кристаллической решетке) с периодом идентичности, а затем, для объяснения существования строгой связи цвета иризации с составом зон в одном образце, пытаются доказать (Nissen u.a., 1967) наличие строгой связи увеличения периода идентичности с увеличением основности различных образцов. Так, в последней работе (Nissen u.a., 1967) приводится диаграмма, выражающая прямую связь между периодом идентичности и составом. Однако диаграмма построена по данным лишь 13 образцов, а в распоряжении авторов имелись результаты изучения 100 образцов. При этом они не делают попыток теоретически обосновать возможность (или необходимость) существования прямой строгой связи между составом и периодом идентичности в различных (или в одном) образцах, вероятно, потому, что они не пришли к какому-либо определенному выводу о природе пластинчатого строения и субстанции пластинок.

Вероятно по той же причине, обойден вопрос о связи цвета иризации с составом образцов и американскими авторами (Bolton a.o., 1966), выполнившими всестороннее исследование двух образцов (неизвестного состава) иризирующих лабрадоров спектрофотометрическими и электронно-микроскопическими методами с обработкой полученных результатов на ЭВМ.

Имеющиеся в настоящее время данные о связи цвета иризации с валовым составом образцов, свидетельствуют о том, что эта связь не является строгой и в каждом конкретном случае сравнения двух образцов — однозначной, т.е., может наблюдаться как прямая, так и обратная связь. Эти данные позволяют утверждать, что существует лишь тенденция к повышению цвета иризации в различных образцах с увеличением их основности. Указанная тенденция проявляется двояко.

1. Тенденция, охарактеризованная Н.И.Безбородько и выявляющаяся лишь при сравнении цветов иризации всего ряда иризирующих пластинчатых плаггиоклазов от Al_0 до Al_{76} . Из приведенной в гл.3 характеристики четырех рядов пластинчатых плаггиоклазов можно заметить, что в целом для перистеритов характерны наиболее низкие окраски иризации, для андезинов несколько выше, а для лабрадоров наиболее высокие (данные об окрасках иризации лабрадор-битовнитов весьма скудные).

2. В пределах отдельных рядов; андезинов, лабрадоров и, по-видимому, судя по данным Т.Н.Агафоновой (1959), битовнитов по мере увеличения основности образцов также наблюдается повышение окрасок от наиболее низких до наиболее высоких, возможных для данного ряда. В этом, вероятно, и заключается упомянутая Т.Н.Агафоновой (1959) периодичность в изменении окрасок иризации плаггиоклазов с изменением их основности от № 46 до № 76. Следует подчеркнуть, что ни один из исследователей иризации перистеритов (Foggild, 1924; Brown, 1960₂; Ribbe, 1960) не отме-

чал какой-либо закономерности в изменении цвета иризации с изменением состава образцов, принадлежащих к этому ряду иризирующих плагиоклазов. Образцы перистеритов, имеющиеся в нашем распоряжении, также обладают одинаковой (голубой) окраской иризации независимо от их состава.

Каковы причины описанной связи окрасок иризации с основностью образцов? Какие факторы, кроме состава, определяют окраску иризации?

Длина волны максимума иризации, как видно из уравнения (2.5), зависит от показателя преломления образца и толщины пластинок, с которыми связана иризация. Толщина пластинок определяется прежде всего величиной периода идентичности, являющегося верхним пределом толщины пластинок каждого типа. Валовой состав образца определяет толщину пластинок (и связанную с ними длину волны иризации) лишь в пределах значений от близких к нулю до величины периода идентичности. Поэтому первое проявление связи цвета иризации различных образцов с их основностью, выражающееся повышением предела изменения цветов иризации в рядах плагиоклазов с повышением крайних составов этих рядов, всецело зависит от тенденции к увеличению периода идентичности при переходе от кислых рядов плагиоклазов к основным. Эта тенденция носит такой же характер, как и известная тенденция к увеличению средней ширины полосок полисинтетических альбитовых двойников с увеличением основности плагиоклаза.

Тенденция к повышению окрасок иризации с увеличением основности в различных образцах, относящихся к одному ряду составов безусловно определяется (как и в одном зональном образце) изменением толщины основных пластинок, утолщающихся по мере увеличения основности образцов. Однако из-за колебаний периода идентичности в различных образцах эта связь проявляется гораздо слабее, чем в одном образце с постоянным периодом идентичности. Поскольку описываемая тенденция в пределах каждого ряда проявляется более отчетливо [см. табл. I, а также таблицу O. B. Боггилда, (Böggild, 1924)], чем общая, можно сделать вывод, что период идентичности в образцах, принадлежащих к одному ряду, остается практически постоянным, а главную роль в изменении цветов иризации играет изменение состава.

Отсутствие четкой зависимости цвета иризации от состава в ряде перистеритов определяется, по-видимому, несколькими основными причинами.

Во-первых, различие между составами фаз в ряду перистеритов более чем в два раза превышает это различие в других рядах плагиоклазов. Поэтому, как легко можно заметить из уравнений (2.20), (2.25) и (2.26), окраски иризации перистеритов значительно менее чувствительны к изменениям валового состава образцов, чем в других рядах плагиоклазов.

Во-вторых, влияние состава на длину волны иризации в перистеритах дополнительно затушевывается значительными (по сравнению с другими рядами плагиоклазов) колебаниями периода идентичности, проявляющимися даже в небольших объемах одного образца.

В-третьих, имеет также значение и небольшая величина периода идентичности, при которой наблюдаются лишь максимальные длины волн иризации в основных пластинках, выходящие за пределы ультрафиолетовой области спектра, а более низкие окраски не могут быть отмечены, так как недоступны измерениям.

В-четвертых, некоторое значение имеет, по-видимому, и то, что иризация перистеритов описана только в более кислой части интервала, где окраски иризации самые низкие и не отличаются особым разнообразием даже в ряде лабрадоров.

Все это полностью согласуется с результатами электронномикроскопических и спектрофотометрических исследований.

Из приведенного в этом разделе анализа связи цвета иризации с основностью различных образцов можно сделать следующие выводы:

1. Основным фактором, определяющим наличие или отсутствие иризации в видимой области спектра, является период идентичности. Его величина определяет верхний предел изменения окрасок иризации с изменением состава образцов. В пределах всего ряда составов пластинчатых плагиоклазов от $Ап_0$ до $Ап_{80}$ наблюдается тенденция к увеличению периода идентичности по мере увеличения основности образцов, которая обуславливает повышение верхнего предела возможных для каждого ряда окрасок иризации.

2. В пределах каждого ряда (за исключением перистеритов) период идентичности колеблется в небольших пределах с незначительной общей тенденцией к повышению. Изменение окрасок иризации от самых низких до самых высоких (определяемых периодом идентичности) для данного ряда обуславливается изменениями толщины более основных пластинок (иризация в которых наиболее интенсивна) с изменением состава образцов. В перистеритах период идентичности при незначительной величине значительно меняется, что является одной из причин отсутствия в них заметной связи цвета с основностью образцов.

Различия между интенсивностями иризации перистеритов и лабрадоров

О.Б.Боггилд (Boggild, 1924) отмечал (что полностью подтверждается нашими наблюдениями) важное отличие иризации перистеритов от иризации лабрадоров (не нашедшее у него объяснения), состоящее в том, что перистериты дают более четкие отражения при измерениях положения плоскостей иризации на гониометре, чем лабрадоры. Другими словами - интенсивность иризации перистеритов заметно превышает интенсивность иризации лабрадоров.

Как указывалось ранее, пластинчатое строение перистеритов ничем существенно не отличается от лабрадоров. Единственное отличие, состоящее в том, что пределы колебаний периода идентичности в перистеритах заметно шире, чем в лабрадорах, должно приводить к обратному явлению - уменьшению максимальной интенсивности и растягиванию максимумов по ширине, что и наблюдается в действительности. Однако абсолютная интенсивность иризации в перистеритах остается более высокой, чем в лабрадорах. Причины этого, по-видимому, заключаются в следующем:

1. Как известно (Фейнман и др., 1967, т.7, с.69, уравнение 33.5), коэффициент отражения света поверхностью раздела двух сред (при нормальном падении в изотропной среде) определяется из выражения

$$R = \frac{I_D}{I_H} = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_1 + n_2)^2},$$

где n_1 и n_2 - показатели преломления сред, I_n - интенсивность падающего луча, I_0 - интенсивность отраженного луча.

В перистеритах, состоящих из двух фаз An_0 ($n=1,533$) и An_{35} ($n=1,550$) - коэффициент отражения

$$R = \frac{(1,550 - 1,533)^2}{(1,550 + 1,533)^2} = 0,00552^2 = 30,4 \cdot 10^{-6}.$$

В лабрадорах с составами фаз An_{50} ($n=1,557$) и An_{65} ($n=1,565$)

$$R = \frac{(1,565 - 1,557)^2}{(1,565 + 1,557)^2} = 0,00256^2 = 6,57 \cdot 10^{-6}.$$

Следовательно, интенсивность луча иризации, отраженного от одной плоскости раздела пластинок (пл.ир.), в перистеритах почти в пять раз выше, чем в лабрадорах, а вследствие интерференции от верхней и нижней поверхностей каждой пластинки такое различие увеличится еще больше.

Это, в свою очередь, также подтверждает, что состав более основной фазы в перистеритах должен быть основной, чем An_{22} , так как в последнем случае различие в коэффициентах отражения перистеритов и лабрадоров не компенсировало бы эффекта снижения интенсивности иризации в перистеритах за счет колебаний периода идентичности.

2. Иризирующие перистериты обычно водянпрозрачны, а лабрадоры практически непрозрачны из-за большого количества очень мелких включений гематита, поэтому в перистеритах в отражении участвует значительно большее количество пластинок. Кроме того, к некоторому увеличению количества пластинок, участвующих в отражении, приводит и меньшая величина периода идентичности в перистеритах по сравнению с лабрадорами. Все это также приводит к заметному увеличению интенсивности иризации перистеритов по сравнению с лабрадорами.

Различия между спектрами иризации перистеритов и лабрадоров

Выше неоднократно упоминалось, что перистериты в отличие от лабрадоров обладают, как правило, голубой окраской, а их спектры очень растянуты и имеют довольно высокий фон. Это свидетельствует о том, что в спектрах иризации перистеритов наблюдается значительная примесь белого света. Следовательно, если максимум иризации будет находиться в диапазоне длин волн от фиолетового и почти до зеленого, окраска иризации останется голубой, изменятся только ее оттенки. Все это обусловлено теми же причинами, какими обусловлена и высокая интенсивность иризации. Во-первых, из-за высокой прозрачности образцов, в отражении участвует большое количество пластинок, а поскольку период идентичности очень изменчив, то будут наблюдаться широкие максимумы, охватывающие значительные диапазоны длин волн. Во-вторых, т.к. в отражении участвует большое количество пластинок, а коэффициент отражения высок, то интенсивность длин волн, не удовлетворяющих условию максимумов (т.е. практически всех длин волн видимого диапазона), также будет довольно высокой, что и обуславливает заметное увеличение фона (а следовательно, и разбавление интерференционных окрасок иризации белым светом) спектров перистеритов по сравнению с лабрадорами.

Как указывалось в гл. I, конически расходящуюся форму пучка иризации с углом раствора конуса 15° Ф.Р. Рейлей (Rayleigh, 1923) объяснял прерывистым характером плоскостей иризации. По данным Ч.В. Рамана и др., угол раствора конуса иризации в лабрадорах составляет $15-20^{\circ}$. Угол раствора конуса, измерявшийся нами гониометрически на специальном приборе, изменяется в пределах $15-30^{\circ}$. При этом, по мере отклонения от оси конуса, интенсивность иризации (по качественной оценке) резко падает.

Электронномикроскопическими исследованиями установлено, что плоскости иризации не являются совокупностями мелких пластинок, подобно криптопертитовым пластинкам лунного камня, а протягиваются почти через весь кристалл. Поэтому коническая форма пучка иризации при падении на кристалл цилиндрического пучка света может объясняться только колебаниями положения плоскости иризации (что видно на электронномикроскопических снимках, но в значительно меньших пределах), а также мелкими неровностями плоскости, на которой наблюдается иризация. Небольшие колебания указанных плоскостей приводят к значительным колебаниям направления пучка иризации.

Так, если угол преломления падающего пучка принять равным 30° , угол $\alpha = 9^{\circ}$ и показатель преломления $N = 1,56$, то, поскольку из уравнения (2.7) угол выхода иризации

$$v = \arcsin [\sin(r-2\alpha)N],$$

при изменении угла α на 3° ($\alpha = 12$) угол v изменится с $9,5$ на 19° , т.е. на $9,5$. Тогда угол раствора конуса при колебаниях значения угла α на $1,5^{\circ}$ в обе стороны будет составлять почти 10° .

Аналогичной будет картина при мелких неровностях плоскости, на которой наблюдается иризация. Суммарный результат обоих эффектов всегда больше их суммы, так как они усиливают друг друга.

ГЛАВА 5. ФАЗОВАЯ ПРИРОДА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЛАГИОКЛАЗОВ

В 1864 г. Г.Чермак впервые показал, что плагиоклазы — это непрерывная серия известково-натриевых полевых шпатов. Представление о плагиоклазах, как изоморфных смесях, окончательно утвердилось после экспериментальных работ Н.Л.Боуэна (*Bowen, 1915*), которые показали неограниченную смешимость альбита и анортита в серии синтетических плагиоклазов. Это представление господствовало практически вплоть до 50-х годов. Начиная с этого времени, по мнению А.С.Марфунина (1962), плагиоклазы рассматриваются как упорядочивающиеся твердые растворы. Однако в настоящее время имеется много данных, указывающих на прерывистость серии низкотемпературных плагиоклазов, но доказана и сравнительно хорошо изучена несмесимость только в интервале составов: $An_3 - An_{16}$.

Анализ результатов специальных комплексных исследований иризирующих пластинчатых плагиоклазов, которые изложены в гл.4, а также данные предыдущих исследований иризации и пластинчатого строения указывают на возможность существования двухфазных пластинчатых плагиоклазов во всем интервале составов от нулевого до № 80. При этом, весь интервал разбивается на четыре самостоятельных ряда со своими конечными членами, являющимися, по всей вероятности, гомогенными. Смешение конечных членов в различных пропорциях дает все переходные между ними члены, обладающие двухфазной пластинчатой структурой, различимой под электронным микроскопом. К этому интервалу относятся (составляя большую его часть) и все плагиоклазы с промежуточными структурами. Такие плагиоклазы некоторые исследователи предположительно относят к двухфазным. Поэтому с целью выяснения фазовой природы низкотемпературных плагиоклазов, имеет смысл суммировать данные, указывающие на несмесимость в серии низкотемпературных плагиоклазов, и проанализировать сходство и различия между плагиоклазами, двухфазное строение которых устанавливается под электронным или поляризационным микроскопом, и остальными плагиоклазами, пластинчатое строение которых прямыми методами установить пока невозможно.

НЕСМЕСИМОСТЬ В СЕРИИ "ГОМОГЕННЫХ" НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЛАГИОКЛАЗОВ

Под "гомогенными" здесь понимаются низкотемпературные плагиоклазы ($An_{25} - An_{75}$) с промежуточными структурами, в которых рентгеноструктурным данным не выделяются две фазы и отсутствует пластинчатое строение,

видимое под электронным микроскопом. Ниже дается попытка суммировать данные, указывающие на несмесимость в этих плагиоклазах, и предлагается их интерпретация.

В 1940 г. С.Г.Чао и В.Г.Тейлор впервые описали промежуточную структуру (подробнее см.гл.1), характерную, по их данным, для ряда плагиоклазов с пределами An_{23-25} и An_{67-80} , причем, при составе An_{67} эта структура уже определенно отличается от анортитовой. Ряды составов № 0-23 и (67-80) - 100, по мнению авторов, представляют собой изоморфные смеси. В первом ряду структура альбитовая, а во втором - анортитовая. Характерные черты рентгенограмм качания и вращения вокруг оси $[001]$ объяснены с помощью оптической модели, для которой выполнены соответствующие расчеты. Согласно этой модели, слои со структурой альбита перемежаются со слоями с анортитовой структурой. Толщина слоев составляет несколько элементарных ячеек. Слои параллельны (001) .

Ф.Клейсс (Claisse, 1950) на построенных им кривых изменения d_{20} некоторых отражений с изменением состава впервые показал наличие скачкообразного перехода между плагиоклазами с альбитовой и промежуточной структурами в области составов An_{30-40} .

О.Ф.Таттл и Н.Л.Боуэн (1952) установили пределы ряда промежуточных плагиоклазов как An_{35-40} и An_{65-70} . Авторы пришли также к выводу о существовании скачка в изменении d_{20} низкотемпературных плагиоклазов при составе An_{35} .

По данным В.Коула и др. (Cole а.о., 1951), этот ряд имеет пределы An_{30} и An_{77-72} . По их мнению, ряд $An_0 - An_{30}$ представляет собой изоморфные смеси с альбитовой структурой, а промежуточные плагиоклазы - чередование слоев с альбитовой и анортитовой структурами. При этом, высокотемпературные минералы состоят из двух фаз, с неупорядоченной структурой, а низкотемпературные - из двух фаз с упорядоченной структурой. Область $An_{72} - An_{100}$ - область истинного изоморфизма. Однако они допускали также, что область $An_{72} - An_{85}$ представляет собой смесь двух беспорядочно чередующихся фаз с анортитовой и альбитовой структурами. Смена типов ячеек (объемноцентрированная - переходная - примитивная) связана лишь с упорядочением Ca и Na "Прерывность" при An_{72} является скачком в упорядочении из-за сегрегации этих ионов с образованием правильного чередования слоев со структурой анортитового типа. Авторы отмечают, что структурная схема промежуточных плагиоклазов симметрична относительно состава An_{50} , при котором наблюдается крутой перегиб кривых смещений дополнительных отражений с изменением состава. Поэтому, если учитывать эту симметричность и границы ряда (примерно An_{30} и An_{72}), то состав слоев в этой структуре не должен соответствовать чистому альбиту и анортиту, а иметь $(100 - X) \% Ab$, $X \% An$ и $X \% Ab$, $(100 - X) \% An$. Здесь $X = 15-30$ и вряд ли далеко выходит за эти пределы, т.е. составы слоев должны соответствовать примерно An_{23} и An_{77} .

К выводу о двухфазном строении всех промежуточных плагиоклазов пришли также Дж.В.Смит и П.Риббе (Smith J.V., Ribbe, 1969) на основании изучения низкотемпературных плагиоклазов рентгеноструктурными, оптическими

и ЯМР методами. Авторы установили, что промежуточные плагиоклазы с низкими значениями энтропии имеют сложные прорастания и доменную структуру, связанную, по их мнению, с сегрегацией атомов *Na* и *Ca*. Эти плагиоклазы не описываются в рамках классической термодинамики, а требуют кинетической интерпретации, основанной на атомном и субмикроскопическом структурных факторах. Согласно предложенной ими модели, промежуточные плагиоклазы состоят из альбито- и анортитоподобных областей, разделяющихся переходными ("out-of-step"), разупорядоченными границами. Атомы натрия и кальция авторы, в отличие от модели М.Корекавы и Г.Ягодзинского (Korekawa, Jagodzinski, 1967), рассматривают в тесной связи с атомами кремния и алюминия, образующими, соответственно, области подобные альбиту и анортиту. По их мнению, ионы натрия и кальция могут диффундировать быстрее чем ионы кремния и алюминия, благодаря более низкой энергии их связи с кислородом.

Ф.Лавес (Laves, 1954) в ряде кислых плагиоклазов выделил три интервала с различными структурами. Интервалы $An_0 - An_5$ и $An_{77} - An_{30-40}$ представляют собой изоморфные смеси, $An_5 - An_{77}$ - двухфазовую область (подробнее см. гл. I).

П.Гея (Gay, 1954) и Дж.В.Смит (Smith J.V., 1956) отмечали неодинаковое поведение дополнительных рефлексов типа "e" в различных интервалах составов промежуточных плагиоклазов: в интервале $An_{23-28} - An_{40}$ эти рефлексы отсутствуют, а в более основных они четкие и резкие.

По данным М.Боуна и П.Гея (Bown, Gay, 1958), "e"-отражения становятся диффузными при составе An_{33} а "f"-отражения наблюдаются лишь до составов An_{50-55} .

В 1959 г. Э.П.Изох и Ю.В.Казницын сделали обзор рентгенографических, кристаллооптических и термохимических данных о прерывистости в серии низкотемпературных плагиоклазов. По данным порошковых низкотемпературных плагиоклазов Дж.Гудьера и В.Д.Дафина (1954) авторами построены кривые изменения межплоскостных расстояний (111), (040), (002), (220), (131) с изменением состава от нуля до 100% *An*; по данным Дж.В.Смита (Smith J.V., 1956), - кривые изменения параметров ячейки и некоторых межплоскостных расстояний. На всех кривых наблюдается резкий перегиб при составе An_{30-35} . Изох и Казницын дают интерпретацию серии низкотемпературных плагиоклазов. Прежде всего, эта интерпретация основана на представлениях А.С.Марфунина (1957) о двух типах упорядочения в плагиоклазах: тетраэдрическом и катионном. В чистом альбите возможна полная упорядоченность, благодаря кратным отношениям *Na/Ca* и *Si/Al*. Увеличение содержания *Ca* и *Al* приводит к ограничению возможностей упорядочения, что является причиной распада в перистеритах. Дальнейшее увеличение количества этих ионов после № 17 приводит к образованию гомогенной структуры вплоть до An_{30-35} . Следует заметить, что такая интерпретация кислых плагиоклазов, впервые данная Ф.Лавесом (Laves, 1954), принимается во всех последующих работах. Однако ни самим Лавесом ни его последователями не приводится никакого обоснования столь резко различного влияния увеличения содержания *Ca* и *Al* в рядах перистеритов и более основных "гомогенных" плагиоклазов до 30-35. А вместе с тем, совершенно очевидно, что принципиальных различий между этими рядами нет.

При составе Al_{35} количество Al таково, что может (Изох и Казизцын, 1959) образоваться новая, более высокоупорядоченная структура. Появляется промежуточная структура с чередованием слоев с альбитовой и анортитовой структурой. Эту структуру авторы, вслед за Геом (Gay, 1956), интерпретируют как проявление несмесимости, но иного чем в перистеритах типа, так как толщина слоев не превышает нескольких элементарных ячеек. А.С. Марфунин (1957) полагал, что промежуточные плагиоклазы нельзя считать двухфазными, поскольку слои не разрастаются до размеров, заметных под микроскопом. Однако существование извивающихся лабрадоров и образцов с изопертитам (описаны Н.З. Коленко, 1946) позволило авторам заключить, что в промежуточных плагиоклазах может существовать область несмесимости, подобная перистеритам. В такой области плагиоклаз представляет собой смесь двух фаз, являющихся гомогенными. "Возможность существования в некоторых точках серии плагиоклазов настоящих химических соединений не исключена" (Изох и Казизцын, 1959, с.253). Авторы указывают, что эта идея высказана еще В.С. Соболевым (1949), который полагал, что сингулярные точки на кривой " $2V$ - состав" могут отвечать особым химическим соединениям. Однако А.С. Марфунин (1957, 1962) полностью исключает такую возможность.

Таким образом, по мнению Э.П. Изоха и Ю.В. Казизцына (1959): "Кроме альбита и анортита к самостоятельным соединениям можно отнести некоторые олигоклазы и лабрадоры ... уже сейчас с уверенностью можно сказать, что в плагиоклазах мы имеем дело не с единым рядом твердых растворов, а с несколькими, в известной степени самостоятельными материалами, важнейшие свойства которых при переходе от одного к другому меняются скачкообразно" (с.254).

В 1966 г. Р.С. Домен и др. (Doan a.o., 1965) провел специальное исследование низкотемпературных плагиоклазов (39 образцов) с целью выяснения характера изменения констант кристаллической решетки с изменением состава от нуля до 100% Al , исключая интервал несмесимости. В одном зерне определялись показатели преломления, двупреломление и получались рентгенограммы качания и прецессионные. Двупреломление определялось двойным вариационным методом на 5-осном столике. Показатели преломления измерялись (2-3 раза в каждом зерне) иммерсионным методом с помощью иглы Вилкоккса (Wilcox, 1959). Точность определений $\pm 0,0005$. На рентгенограммах качания измерялось положение рефлексов типа "а", а на прецессионных - углы обратной решетки. Измерения μ^* повторялись семь-восемь раз. Ошибка измерений $10'$. Состав определялся по средним значениям (из данных Стумп, Ketner, 1953; Ribbe, 1960; Smith, 1960 и авторов для одних и тех же образцов) показателей преломления. Рассчитывались $2V$. По результатам измерений построены диаграммы: $\mu^* - \pi_p$; $\mu^* - \pi_g$; $\mu^* - \text{мол. \% } An; \delta_c$ -состав (мол. % Al).

На графике " $\mu^* - \text{состав}$ " (Doan a.o., 1965, Fig. 4, p. 733) наиболее четко выражены разрывы (с некоторым перекрытием) при составах Al_{33} и Al_{50} . При этих составах получено по два значения μ^* , отличающихся на $0,4 - 0,5^\circ$. В области Al_{67} имеется перегиб кривой, который с таким же успехом может интерпретироваться как точка соединения двух отдельных прямых участков с различными наклонами. График " $\mu^* - \text{состав}$ " при этих же составах

имеет перегибы, что также можно интерпретировать как серию прямых линий, соединяющихся при этих составах. Для составов № 60 - 80 наблюдается большое рассеяние точек на кривой смещений "е" отражений по оси с. Возможно, что это связано с существованием разрыва при An_{57} .

Интерпретация авторами (Domani a.o., 1965) полученных результатов сводится к следующему:

1. Интервалы составов с плавным, непрерывным изменением свойств разделяются разрывами при простых соотношениях Na/Ca и Si/Al .

	Na/Ca	Si/Al
An_{33}	2:1	2:1
An_{50}	1:1	5:3
An_{67}	1:2	7:5

2. В пределах интервала происходят случайные замещения Na на Ca и Si на Al в определенных положениях. Но этот тип случайного замещения отличается от случайного замещения в высокотемпературной серии.

3. При составах, обеспечивающих простые соотношения Na/Ca и Si/Al , происходит структурная перестройка с перераспределением Si и Al в правильную систему, допускаемую составом. По данным Е.Д.Мегью (Megaw, 1960), структура идеального плаггиоклаза появляется при An_{78} , но по данным авторов, при этом составе перерыва или изгиба не наблюдается.

4. Подобие кривых высокотемпературных и низкотемпературных плаггиоклазов в интервале $An_{57} - An_{100}$ свидетельствуют о том, что характер замещения Si на Al и Na на Ca может быть одинаковым для обеих (высоко- и низкотемпературной) серий. По мере увеличения содержания альбита от An_{67} различие между кривыми увеличивается, также подтверждая, что этот состав уникальным в отношении Si/Al распределения. А разрыва (вместо перегиба) здесь не наблюдается потому, что кривые в этой области имеют очень небольшой уклон.

Несколько позже аналогичное исследование провел Г.У.Бамбауэр и др. (Bambauer u.a., 1967), которые по данным порошкограмм, полученных с помощью камеры Гинье, для серии низкотемпературных плаггиоклазов рассчитывали параметры элементарной ячейки, отношения осей и углы наклона ромбического сечения; построили кривые изменения этих констант с изменением Si/Al отношения. На кривых наблюдается несколько перегибов при составах: 17, 33, 50, 76 и 87% An . В отличие от данных Р.С.Домена (Domani a.o., 1965), эти кривые имеют не разрывы, а перегибы, между которыми располагаются прямолинейные участки. Зависимость констант от состава прямая в интервалах (16+33) и (50+76)% An , в интервале (33+50)% An не вполне ясная.

Обзор данных (аналогичный обзору Э.П.Изоха и Ю.В.Казыцина, 1959) о прерывистости в серии низкотемпературных плаггиоклазов сделан в 1969г. Г.У.Ниссеном (Nissen, 1969). Он использовал преимущественно данные, полученные после 1960 года:

1) данные Р.С.Домена и др. (Domani e.a., 1965) по изменению констант решетки, полученные методом монокристалла;

2) данные порошкограмм, опубликованные Г.У.Бамбауэром с сотрудниками (Bambauer u.a., 1967), Л.Б.Стюартом (Stewart, 1967) и данные автора (Nissen, Eggmann, Laves, 1967);

3) данные Дж.Старки (Starkey, 1967), рассчитанные из данных В.Л.Брауна (Brown, 1960) и Дж.В.Смита (Smith J.V., 1956);

4) использованы также данные, опубликованные различными авторами, для отдельных образцов.

Таким образом, собранные данные получены различными методами, различными авторами, для различных образцов. Определения состава выполнялись: а) на универсальном столике (Smith J.V., 1956; Brown, 1960₂); б) иммерсионным методом (Domas a.o., 1965); в) методом микропроб (Corlett, Ribbe, 1967). Рентгенографические данные - прецизионные рентгенограммы единичных зерен известного состава (Brown, 1960₂; Domas a.o., 1965); и метод квадратов в приложении к измерениям $\Delta 2\theta$ порошкограмм, представляющих довольно большой объем материала (Smith J.V., 1956, Bambauer u.a., 1967).

По этим данным автором построены кривые в координатах: состав (мол.% An) - свойство ($\alpha, \beta, \gamma, \alpha^*, \beta^*, \gamma^*, a_0, b_0, c_0, c_0/b_0, V$, а также $\Delta 2\theta$ (131) - (131)). На кривых отмечаются перегибы при составах № 25, 37,5; 50; 87,5. Средние значения размеров ячейки пластинчатых перитеритов и битовнятов (Nissen, 1968) попадают почти точно на полученные кривые, а точки пластинчатых лабрадоров дают большое рассеяние, которое, по мнению Р.С.Домена (Domas a.o., 1965), может быть вызвано колебаниями состава в одном зерне, характерными для лабрадора. Поэтому необходимо получение новых данных для интервалов 40-60 и 80-100.

На основе ячейки аортитового типа, в которой нет центра симметрии, с 52 ($Al + Si$) и 8 ($Ca + Na$) атомами на ячейку Г.-У.Ниссен (Nissen, 1969) вычислил составы, при которых возможно полное упорядочение Si/Al и Na/Ca (табл.4).

По поводу приведенной таблицы следует сделать несколько замечаний.

1. Таблица составлена, исходя из ячейки аортитового типа. Однако известно, что ячейка кислых плагиоклазов основана на элементарной ячейке низкого альбита (Laves, 1954; Brown, 1960₂; и др.), а в отношении основы ячейки промежуточных плагиоклазов мнения разноречивы (Cole a.o., 1951; Megaw, 1960), поэтому с таким же успехом могут быть получены другие особые составы, если исходить из другой геометрии ячейки.

2. Как видно из таблицы, ни для одного из полученных составов соотношение Si/Al и Na/Ca не является простым, за исключением An_{50} . Это также свидетельствует о том, что выбранная ячейка не соответствует действительности ни для одного из составов.

Автором (Nissen, 1969) предполагается, что характер изменения констант решетки промежуточных плагиоклазов и плагиоклазов, богатых одинаков. Однако, в промежуточных плагиоклазах (№ 25 - 75) доменная структура и, следовательно, сателлитовые отражения подобны. Поэтому перегибы вблизи $An_{37,5}$ и An_{50} должны иметь структурное значение, отличное от значения перегибов при An_{25} и $An_{87,5}$. При последнем составе, кристалл, по-видимому, является истинно гомогенным и высокоупорядоченным в отношении Al и Si , а поэтому и устойчивым.

В качестве доказательства этого положения автор приводит представления М.Хунашаши и др. (Hunachashi a.o., 1969), Е.Венка (Wenk, 1962), Е.Венка и Ф.Келлера (Wenk, Keller, 1969), основанные на статистических данных о частоте встречаемости плагиоклазов различного состава. Согласно этим статистическим данным, при составах An_{25} и $An_{87,5}$ наблюдаются максимумы распространенности плагиоклазов в plutonических и метаморфических породах. На этом основании, перечисленные исследователи полагают, что эти составы являются равновесными, а Г.У.Ниссен (Nissen, 1969), по-видимому, считает их гомогенными соединениями с простыми соотношениями катионов в понимании Марфунина (1957), Изоха и Казидына (1959), Домана (Doman a.o., 1965).

Т а б л и ц а 4

Особенные составы в ряду плагиоклазов,
по данным Г.-У.Ниссена (Nissen, 1969)

Состав, мол.% An	$An/(Ab+An)$	Al/Si	Si/M
0	0	8/24	3
12,5	1/8	9/23	2,55
25,0	2/8	10/22	2,2
37,5	3/8	11/21	1,95
50,0	4/8	12/20	1,66
62,5	5/8	13/19	1,46
75,0	6/8	14/18	1,29
87,5	7,8	15/17	1,13
100,0	8/8	16/16	1,00

Таким образом, наиболее важными, по мнению Ниссена, точками являются An_{25} и $An_{87,5}$, отделяющие промежуточные структуры, а перегибы при $An_{37,5}$ и An_{50} внутри интервала промежуточных плагиоклазов, по-видимому, соответствуют точкам, ограничивающим интервалы составов с незначительными различиями внутри ряда.

Необходимо отметить здесь, такие два обстоятельства.

1. А.С.Марфунин (1962) отрицает возможность преобладания в природе плагиоклазов с простыми отношениями катионов. При этом он ссылается на статистические данные Ретгерса (1894), который на большом количестве анализов показал отсутствие максимумов распространенности плагиоклазов с какими-либо простыми отношениями катионов.

2. Наличие максимумов распространенности каких-либо составов не может быть связано со структурой полевого шпата и, вообще, любого минерала. Г.-У. Ниссен (Nissen, 1969) предполагает такую связь на основании большей устойчивости этих гомогенных плагиоклазов. Однако в магматическом и метаморфическом минералообразовании состав плагиоклаза (а следовательно, и распространенность тех или иных составов) определяется только парагенезисом, т.е. исключительно химическими и термодинамическими условиями системы, а тип структуры плагиоклазов определяется лишь

кристаллофизическими факторами, зависимость которых от $P-t^0$ условий совершенно самостоятельна. Это становится очевидным уже из того, что при одном и том же составе кристаллизуются плагиоклазы с весьма отличающимися структурами. Поэтому приводить максимальную распространенность каких-либо составов в качестве доказательства, что эти составы являются особенными в кристаллофизическом отношении, совершенно необоснованно.

Таким образом, все приведенные замечания относительно выводов Г.-У. Ниссена (Nissen, 1969), убеждают в том, что вычисленные им особенные составы не являются таковыми, исключая An_{50} . Особенными следует считать, как это полагали и ранее (Марфунин, 1962, с.10-11) многие известные минералоги (Мисель-Леви, В.Е.Тарасенко, Е.С.Федоров и др.), лишь составы с простыми Na/Ca и Si/Al отношениями. Это находит подтверждение в большинстве работ по изучению оптических свойств плагиоклазов.

Л.Дьюпарк и М.Рейнгард (Duparc, Reinhard, 1924) показали перегибы на кривых изменения углов $\frac{\mu_{D.O.} \angle (001)}{1000}$ и кривых положения оптических осей относительно кристаллографических осей при составах An_{35} и An_{52} .

В 1952 г. Д.Л.Рейнольдс (Reynolds, 1952) в результате обработки данных по оптическим свойствам плагиоклазов, пришла к выводу, что наибольшие различия (особенно по кривой $2V$) между высоко- и низкотемпературными плагиоклазами наблюдаются в ряду $0 + 55\% An$, менее заметны различия в ряду $An_{35} - An_{55}$, а для ряда $An_{70} - An_{700}$ различия не обнаруживаются. То же относится и к кривым " $2V$ - состав" опубликованным позднее (Smith J.R., 1958; Марфунин, 1962).

Ф.Чейс (Chayes, 1950, 1952) указал на наличие нарушения линейной зависимости показателей преломления от состава при An_{33} и An_{56} .

П.Риббе (Ribbe, 1960) обнаружил разрыв на кривых изменения показателей преломления при An_{71} , т.е. в начале ряда перистеритов, а при составе An_{77} разрыв им не зафиксирован. На кривых показателей преломления Дж.Р.Смита (Smith J.R., 1960) наблюдается разрыв при An_{20} .

С.Бурри опубликовал (Burri u.a., 1967) диаграммы изменения оптических свойств ($2V$ и положения оптической индикатриссы относительно кристаллографических осей, выраженной в углах Бйлера, и на стереографической проекции) с изменением содержания анортита. На кривых оптической ориентировки отмечаются разрывы между 25 и 30, 70 и 75 и между 80 и 85 мол.% An .

Особый интерес у исследователей вызывает характер изменения $2V$ низкотемпературных плагиоклазов с изменением состава. Как известно, эти кривые имеют два максимума и минимума при составах, определяемых различными авторами несколько по-разному. На рис.19 приведены составы, при которых наблюдаются экстремумы и точки перегибов между максимумами и минимумами (т.е. точки перехода $2V$ через 90^0) на кривых, опубликованных различными авторами (Duparc, Reinhard, 1924; Никитин, 1953; Smith J.R., 1958, 1960; Марфунин, 1962; Burri u.a., 1967).

На кривых (Thompson, Wadsworth, 1957) инфракрасного поглощения плагиоклазов в зависимости от состава в полосе 15,4-16,2 мкм имеется перегиб при составе An_{37-35} , который авторы приписывают образованию упорядоченной структуры с простым соотношением Na/Ca и Si/Al , равным 2:1.

Ф.К.Карачеком и К.Дж.Нейвоном (1956) выполнены измерения теплот растворения природных плагиоклазов в H_2O , по которым вычислены теплоты образования ($\Delta H_{адр}$) низкотемпературных плагиоклазов. По полученным данным, для интервала $0 + 30\% An$ теплоты образования положительны по отношению к кривой для твердых растворов, а для интервала $64 + 100\% An$ они ниже, чем для твердых растворов. Значения теплот образования для интервала $An_{30} - An_{64}$ соответствуют значениям для механических смесей двух конечных членов этого ряда, представляющих собой твердые растворы.

Все данные об особенных составах в серии низкотемпературных плагиоклазов сведены на рис.19, где приведены также данные о наличии пластинчатого строения, которое обнаруживается под электронным микроскопом, и о пределах составов образцов, в которых описана иризация. На рисунке показаны результаты (см.гл.3) определения составов фаз пластинчатых плагиоклазов и схемы существования различных структур в низкотемпературных плагиоклазах (Down, Gay, 1958; Down a.o., 1965).

СРАВНЕНИЕ "ГОМОГЕННЫХ" И ПЛАСТИНЧАТЫХ ИРИЗИРУЮЩИХ ПЛАГИОКЛАЗОВ

На основании данных, приведенных на рис.19, можно заключить, что по всем свойствам плагиоклазов в интервале составов $0 - 80\% An$ особенными являются составы: An_0 , An_{35} , An_{50} , An_{65-67} , An_{75-80} . Эти же составы соответствуют составам фаз пластинчатых (под электронным микроскопом) плагиоклазов, рассчитанные автором из данных спектрофотометрического и электронномикроскопического исследования иризирующих плагиоклазов.

Совпадение особенных составов в "гомогенных" и пластинчатых иризирующих плагиоклазах вряд ли случайно. Этот факт несомненно указывает на то, что все низкотемпературные плагиоклазы ряда $An_0 - An_{80}$; независимо от того наблюдается в них пластинчатое строение под электронным микроскопом или нет, являются двухфазными с составами фаз, соответствующими вышеперечисленным особенным составам, при которых наблюдаются простые соотношения Na/Ca и Si/Al .

Следовательно, важнейшим отличием "гомогенных" и пластинчатых промежуточных плагиоклазов является величина периода идентичности. При этом существуют постепенные непрерывные переходы величины периода идентичности от нескольких элементарных ячеек ("гомогенные" промежуточные плагиоклазы) до субмикроскопических (пластинчатые иризирующие плагиоклазы), и до видимых под поляризационным микроскопом.

Так, на основании рентгенографического и электронномикроскопического изучения кислого низкотемпературного плагиоклаза перистеритового интервала составов, М.Корекава (Korekawa, Nissen, Philipp, 1970) описал двухфазное пластинчатое строение, морфологически отличающееся от пластинчатого строения иризирующих образцов только величиной периода идентичности. Последний в этом плагиоклазе имеет среднюю величину между предполагаемой (Chao, Taylor, 1940; Cole a.o., 1951; Smith J.V., Ribbe, 1969) его величиной в "гомогенных" промежуточных плагиоклазах и в иризирующих.

Двухфазная природа низкотемпературных плагиоклазов и, особенно, су-

существование нескольких самостоятельных рядов со своими конечными членами обуславливают сложность зависимости их свойств от состава.

Функцией одного лишь состава являются только свойства однородных упорядоченных конечных членов рядов. Свойства промежуточных членов являются функцией, по меньшей мере, трех величин: а) свойств обоих конечных членов; б) их относительного количества, определяемого валовым составом двухфазного промежуточного члена; в) величины периода идентичности, определяющего вместе с соотношением количеств фаз, степень влияния решетки одной фазы на другую, что отражается на свойствах смеси.

Зависимость свойств промежуточных членов от периода идентичности должна обуславливать существование определенных интервалов колебаний свойств образцов одного состава только за счет изменения периода идентичности. При этом, максимальные колебания будут в средних членах рядов, а к конечным членам они должны уменьшаться до нуля. Последнее, вместе с тем, что один и тот же однородный конечный член входит в смежные ряды, позволяет утверждать: на кривых "состав - свойство" должны наблюдаться не разрывы, а только перегибы.

Таким образом, различия между "гомогенными" и пластинчатыми плагноклазами заключаются прежде всего в величине периода идентичности пластинчатого строения. Форма выделений фаз в "гомогенных" образцах, вероятно, пластинчатая, аналогичная пластинчатым плагноклазам. Относительно ориентировки и толщины пластинок нет никаких прямых данных, поэтому наиболее целесообразно пока принимать предположения (в известной степени обоснованные) С.Г.Чао и У.Х.Тейлора (Chao, Taylor, 1940), а также В.Ф.Коула и др. (Cole a.o., 1951), согласно которым толщина пластинок не превышает нескольких элементарных ячеек (следовательно, период идентичности на один-два порядка меньше, чем в иризирующих плагноклазах), а ориентируются они параллельно (001). Модель Коула и др. основана на предположении, что составы фаз отвечают An_{15-30} и An_{70-85} . Однако это не соответствует, как показано выше, действительности. Поэтому можно ожидать, что изменение составов фаз и их структуры потребует изменения в этой модели ориентировки пластинок, которая окажется аналогичной их ориентировке в иризирующих плагноклазах. Следовательно, различия останутся только в величине периода идентичности.

В заключение необходимо кратко остановиться на обсуждении трех связанных между собой вопросов.

Возможные причины несоответствия данных о составах фаз перистеритов, полученных различными методами

Как отмечалось в гл. I, результаты рентгеноструктурных и электронографических определений более основной фазы перистеритов значительно отличаются от An_{35} , причем у разных авторов состав этой фазы различен (от 22 до 30% An). Среди причин, обуславливающих такое несоответствие результатов, можно указать три основные:

1) характер получаемых в настоящее время дифракционных картин отдельных фаз все еще затрудняет непосредственный структурный анализ отдельных фаз (Тейлор, 1967);

2) определить состав плагиоклазов по дифрактограммам (Brown, 1960₁); можно только зная его упорядоченность;

3) в кислых плагиоклазах степень порядка значительно больше влияет на константы решетки, чем состав (Гудьер и Лаффин, 1954; Smith J.v., 1956; Brown, 1960₁; и др.), поэтому рентгеновские определения состава плагиоклазов особенно не точны. Все это привело к тому, что содержание *Al* в более основной фазе перистеритов, первоначально определенное (50%) Ф.Лавесом (Laves, 1954), позже ошибочно было значительно занижено (Ribbe, 1960; Brown, 1960₂).

Т.Р.Шнейдер (Schneider, 1957) предположил, что богатая анортитом фаза имеет некоторую степень беспорядка, так как она переходит в высокотемпературное состояние быстрее, чем альбитовая. Это послужило П.Риббе (Ribbe, 1960) основанием для занижения основности менее кислой фазы (ранее определявшейся как полностью упорядоченная). На основании того, что уменьшение степени порядка плагиоклаза, при сохранении постоянными его свойств, возможно только за счет уменьшения его основности. Как следует из диаграмм изменения свойств кислых плагиоклазов с составом и упорядоченностью (Brown, Марфунин, 1962 и др.), поскольку упорядоченность больше влияет на константы решетки альбит-олигоклазов, чем состав, то содержание *Al* было занижено на довольно большую величину. Однако совершенно очевидно, что вывод Т.Р.Шнейдера о некоторой разупорядоченности этой фазы не обоснован, так как неоднократно установлено (Brown, 1960₁), что увеличение скорости перехода полностью упорядоченных плагиоклазов в высокотемпературную форму связано только с увеличением содержания анортита.

Трудно согласиться также и с выводами В.Л.Брауна (Brown, 1960₂), который занижение основности более основной фазы объясняет влиянием на ее решетку альбитовой фазы. Кажется совершенно очевидным, что влияние решеток фаз друг на друга направлено на стирание различий между ними и может выражаться только в некотором уменьшении степени порядка альбитовой и более заметном (так как она подчиненная и легче подвергается превращениям) увеличении упорядоченности более основной фазы. А так как степень упорядоченности больше влияет на результаты определения основности, чем состав, это приведет к соответствующему завышению значений основности альбитовой и занижению их для более основной фазы по сравнению с действительными их составами, а не наоборот, как считал В.Л.Браун. Одним из доказательств этого может, вероятно, служить то, что ни одним из авторов альбитовая фаза не была определена как Al_0 , что не находит иного объяснения.

Таким образом, состав более основной фазы перистеритов, свойства которой отвечают полностью упорядоченному олигоклазу № 30, в действительности близок к Al_{33-35} , а состав альбитовой фазы — к Al_0 , что приводит рентгенографические определения в соответствие с другими данными. Но, поскольку ряд промежуточных плагиоклазов лежит между № 25 и № 75, то материал состава Al_{35} (состав более основной фазы перистеритов) должен давать дифракционную картину, характерную для промежуточных структур, чего в действительности не наблюдалось. Это — одна из причин, заставляющих многих исследователей искать возможности для зани-

жения состава основных пластинок перистеритов до составов $Ап_{22-25}$, выходящих за пределы ряда плагиоклазов с промежуточными структурами.

Здесь полезно напомнить интерпретацию полученных К. Висванатаном и Э. Эберхардом (Vishwanathan, Eberhard, 1968) рентгенограмм перистеритов (подробнее см. гл. I). Имеющиеся на рентгенограммах отражения они приписали трем фазам, составы которых отвечают чистому альбиту, олигоклазу № 16 и более основной фазе, точно определить которую им не удалось из-за диффузности ее отражения. На диффузность отражений более основной фазы указывал также В. Л. Браун (Brown, 1960), объясняя это влиянием альбитовой фазы. На основании приведенных данных, не вдаваясь в обсуждение обоснованности интерпретации К. Висванатана и Э. Эберхарда, можно предположить, что отражения обеих более основных фаз, выделенных упомянутыми авторами, вероятно принадлежат одной фазе. В таком случае результаты этих исследований могут рассматриваться как прежде рентгенографическое доказательство того, что более основная фаза перистеритов обладает типичной структурой промежуточного типа. Это не противоречит данным о ее составе, отвечающим № 35.

Возможные причины различий рентгенограмм плагиоклазов, относящихся к различным рядам

Уже отмечалось, что несмотря на отсутствие принципиальных различий в двухфазном пластинчатом строении перистеритов ($Ап_5 - Ап_{18}$) и промежуточных плагиоклазов ($Ап_{25} - Ап_{75-80}$), на рентгенограммах последних, в отличие от первых, выделить две фазы не возможно.

Ф. Лавес (Laves, Nissen, Bollmann, 1965), а также Дж. Д. Мак-Коннел и С. Г. Флит (Mc-Connel, Fleet, 1963) предполагали, что доменная структура, наблюдавшаяся ими под электронным микроскопом, может, вероятно, объяснить загадочное поведение дополнительных рефлексов на дифрактограммах промежуточных плагиоклазов. Однако, если исходить из предположения, что составы этих доменов близки к альбиту и анортиту, то объяснить существование четырех рядов в серии промежуточных структур, отличающихся поведением дополнительных отражений при значительном сходстве их поведения только в смежных рядах, им не удавалось.

Особенности рентгенограмм, так же как и крайние изменения свойств низкотемпературных плагиоклазов в зависимости от состава, качественно можно объяснить, исходя из предположения о существовании четырех рядов двухфазных плагиоклазов со своими конечными членами, каждый из которых входит в оба смежных ряда. При этом необходимо учитывать, что, во-первых, помимо значений констант решеток чистых членов рядов, положение их отражений (отражений фаз) на рентгенограммах двухфазных плагиоклазов зависит также от влияния решеток фаз друг на друга; интенсивность отражений — от соотношения их объемов (валового состава), и, в меньшей мере, от степени взаимного влияния фаз. Диффузность отражений почти всецело определяется степенью влияния решеток фаз друг на друга, которая является функцией расстояния от границ между фазами и обуславливает неоднородность свойств решеток в объемах обособлений фаз.

Во-вторых, влияние решеток фаз друг на друга направлено на стирание различий между ними и проявляется на рентгенограммах (через измененные по-

ложения, диффузности и интенсивности отражений) в уменьшении основности и степени упорядоченности более основных фаз и наоборот, в увеличении основности и упорядоченности более кислых.

В-третьих, степень взаимного влияния фаз зависит от времени возникновения (в истории существования обособлений плагиоклазов), способа образования пластинчатого строения и определяется величиной различия между решетками фаз, устойчивостью их решеток, величиной периода идентичности пластинчатого строения и соотношением объемов фаз (валовым составом образцов).

Прежде чем перейти к анализу рентгенограмм плагиоклазов, относящихся к различным рядам, необходимо напомнить, что в андезилах и лабрадорах не отмечено различий в рентгенограммах образцов "гомогенных" и плагиоклазов с видимым под электронным микроскопом пластинчатым строением. В ряде альбит - олигоклав различия рентгенограмм "гомогенных" и пластинчатых образцов весьма существенны, поэтому ниже они рассматриваются отдельно.

Ряд альбит - олигоклав

Многие исследователи отмечают существенное различие рентгенограмм образцов кислее № 17-18 и основной этого состава, наблюдающееся как в "гомогенных", так и в пластинчатых плагиоклазах этого ряда.

"Гомогенные" образцы более кислой части ряда имеют структуру, основанную на ячейке низкого альбита, а на их рентгенограммах отсутствуют дополнительные отражения, указывающие на их двухфазную природу. Дифрактограммам образцов из более основной части ряда присущи особенности, свойственные промежуточным структурам и указывающие, как отмечалось выше, на их двухфазную природу.

Это различие дифрактограмм "гомогенных" плагиоклазов вероятно объясняется следующими причинами.

1. В "гомогенных" образцах период идентичности чрезвычайно мал, поэтому на их дифрактограммах резко сказывается взаимное влияние решеток различных фаз.

2. При одинаковом количестве фаз (валовой состав Ap_{17-18}), решетка альбитовой фазы должна, по всей вероятности, испытывать меньшее искажение, чем решетка более основной фазы, вследствие того, что структура с одним катионом (альбит) должна быть более жесткой, чем структура с двумя, существенно различающимися при низких температурах катионами. Следовательно, состав, при котором влияние решеток фаз друг на друга проявляется в одинаковой мере, должен находиться в более основной части интервала, а не в его середине.

3. В более кислой части ряда более основная фаза, содержащаяся в меньшем количестве, будет (при прочих равных условиях) гораздо больше приспособляться к альбитовой, чем последняя к более основной.

В результате воздействия всех этих факторов влияние более основной фазы на общую дифракционную картину образцов кислее Ap_{17-18} обусловленную хорошо идентифицирующейся альбитовой фазой, настолько ничтожно, что наличие этой фазы остается незамеченным.

При увеличении содержания более основной фазы от середины ряда начнут проявляться особенности ее дифракционной картины, которая станет отчетливой уже в более основной части ряда. Этот момент в ряде альбит - олигоклаз отмечается при составе An_{23-26} появлением на дифрактограммах признаков их сходства с промежуточными структурами, свидетельствующими о присутствии двух фаз.

Однако, из-за более высокой устойчивости альбитовой решетки искажения ее в результате воздействия более основной фазы будут менее заметны, чем искажения более основной фазы в кислой части интервала. По этой причине решетка более основной фазы будет испытывать заметные искажения и в более основной части ряда, несмотря на ее количественное преобладание. Этим и обуславливаются отмечавшиеся всеми исследователями отличия особенностей рентгенограмм плаггиоклазов первой четверти интервала промежуточных структур от последующих.

Пластинчатые альбит - олигоклазы - перистериты - описаны пока только в более кислой части ряда. Возможные причины отсутствия в литературе данных о существовании пластинчатых образцов основное № 19-20 рассматриваются далее.

В отличие от пластинчатых лабрадоров на рентгенограммах перистеритов всегда фиксируется наличие отражений двух фаз. Одна из них - альбитовая - уверенно диагностируется всеми исследователями во всех образцах ряда перистеритов. Более основная фаза, отличающаяся (судя по диффузности ее отражений) почти всегда непостоянством состава, определяется приближенно и по-разному. Так, в недавнем исследовании (Viswanathan, Eberchard, 1968) помимо альбитовой фазы выделено (в образцах составов 8-16% An) еще две фазы различного состава (подробнее см. гл. I).

Особенности рентгенограмм перистеритов и неопределенность в диагностике более основной фазы вероятно могут объясняться следующими основными факторами.

1. Всеми исследователями структур плаггиоклазов отмечается неопределенность структурного анализа и идентификации плаггиоклазов по рентгенограммам, так как дифракционная картина зависит от состава и упорядоченности, которые в рассматриваемом случае неизвестны.

2. Трехмерная расшифровка структур плаггиоклазов к настоящему времени выполнена только для альбита. Для других плаггиоклазов особых составов (конечных членов рядов) трехмерный анализ структур не производился (Тейлор, 1967).

3. Кривые изменения констант решеток плаггиоклазов в зависимости от состава в интервале 0-35% An имеют очень крутой наклон (Brown, 1960, ; и др.). Поэтому изменение состава даже на небольшую величину приводит к заметным изменениям констант решетки. Так как в ряде альбит-олигоклаз различие между составами фаз очень велико (35 номеров), то очевидно, что структуры фаз перистеритов отличаются довольно сильно.

4. Судя по тому, что кривые изменения рентгенографических и оптических свойств низкотемпературных плаггиоклазов в зависимости от состава имеют крутой перегиб при составе An_{35} , оставаясь почти прямыми на участках, лежащих по обе стороны от этого состава, можно предположить, что

решетки конечных членов рядов № 35, 50, 65 и 80 — имеют в принципе сходную основу, резко отличающуюся от ячейки низкого альбита. Это прямо подтверждается также тем, что наклон кривых в интервале № 0-35 гораздо более крутой, чем в более основном.

5. Период идентичности в перистеритах большой, поэтому воздействие решетки альбита на подчиненную фазу не распространяется на весь ее объем, а ограничивается зонами вокруг поверхностей раздела. Очевидно, что величина объема этой фазы, не подвергающегося воздействию альбитовой решетки, находится в прямой зависимости от содержания ее в образце (валового состава).

Влияние факторов, перечисленных в пунктах 3-5, приводит к тому, что на рентгенограммах перистеритов четко различаются отражения двух фаз. Но при условиях, отмеченных в пунктах 1, 2, 5, уверенно диагностируется только альбитовая фаза.

Ряды андезинов, лабрадоров
и битовнитов

Плаггиоклазы этих рядов имеют промежуточные структуры. Рентгенограммы всех промежуточных структур сходны и отличаются лишь деталями, присущими каждому из этих рядов. Различия в рентгенограммах "гомогенных" и пластинчатых образцов одного состава не отмечаются. Уверенно выделить две фазы по рентгенограммам этих структур не представляется возможности.

Эти особенности рентгенограмм промежуточных плаггиоклазов несомненно объясняются общностью основы структур конечных членов всех рядов и небольшими (15 номеров) различиями составов фаз, при незначительном изменении свойств с изменением состава (очень небольшой наклон кривых), характерном для плаггиоклазов основного № 35. Незначительные отличия решеток фаз при отсутствии данных трехмерного анализа их структур, а также при объективной невозможности идентификации на рентгенограммах фаз неизвестного состава и упорядоченности не позволяют интерпретировать промежуточные структуры как двухфазные.

Поскольку нет существенных различий в рентгенограммах "гомогенных" и пластинчатых плаггиоклазов этих рядов, несомненно, что изменение объемов фаз, не подвергающихся воздействию другой фазы, которое находится в прямой зависимости от периода идентичности, не отражается на рентгенограммах. Это может объясняться тем, что из-за очень небольшого различия констант решеток фаз, роль взаимного влияния фаз в характере рентгенограмм гораздо менее заметна, чем это предполагалось ранее (Laves, Nissen, Bollmann, 1965; Крамаренко, 1971). Следовательно, особенности рентгенограмм промежуточных плаггиоклазов почти целиком определяются константами решеток конечных членов, упорядоченность которых, возможно, непостоянна. Однако окончательное решение вопроса о значении влияния фаз друг на друга и количественная интерпретация поведения дополнительных рефлексов на рентгенограммах промежуточных структур станет возможной только после выполнения трехмерной расфигурки структур гомогенных плаггиоклазов особых составов — № 35, 50, 65 и 80.

Возможные причины отсутствия данных об иризации
и пластинчатом строении в плагиоклазах ряда $Ап_{20} - Ап_{43}$

Из характеристики четырех рядов пластинчатых плагиоклазов, приведенной в конце гл.3, видно, что из ряда плагиоклазов от 0 до № 80 пластинчатое строение и иризация не отмечались только в образцах составов $Ап_{20} - Ап_{43}$. При этом, как видно из литературных данных, единственной причиной, побуждающей к изучению плагиоклазов (особенно промежуточных, дифрактограммы которых не интерпретируются как двухфазные) под электронным микроскопом, практически всегда служило явление иризации, которое впервые обнаружено и в дальнейшем изучалось только в крупных кристаллах (Агафонова, 1970). Так, образцы иризирующих перистеритов отбирались, как правило, из гранитных пегматитов, для которых характерны плагиоклазы не основнее № 20; андезиты - из диоритовых пегматитов, с плагиоклазами составов $Ап_{40} - Ап_{50}$; образцы лабрадоров из лабрадоритов и габро-анортозитов, содержащих крупные иризирующие вкрапленники состава $Ап_{45} - Ап_{75} - 80$. Плагиоклазы рассматриваемого ряда встречаются почти исключительно в мелкозернистых породах, где явление иризации обнаруживается гораздо труднее, чем в крупных кристаллах. Это подтверждается, например, тем, что в многочисленной литературе по пегматитам Западного Приазовья нет упоминаний об иризации альбит-слюдоклазов из них. А между тем иризирующие плагиоклазы являются обычными минералами всех их структур - от мелко- до гигантозернистых, но из-за плохой прозрачности образцов и трещиноватости, иризация в них обычно очень неявная и слабая. Возможно, что именно поэтому нет описания иризации в мелкозернистых плагиоклазах, где она вполне вероятна.

Таким образом, отсутствие в литературе данных о существовании иризирующих образцов, относящихся к интервалу составов № 20-43, не доказывает невозможности в них иризации, а объясняется трудностью наблюдения этого явления в плагиоклазах мелкозернистых пород. Отсутствие данных о пластинчатом строении объясняется тем, что в них не обнаружена иризация, а рентгенограммы их структур (промежуточных) для "гомогенных" и пластинчатых образцов не отличаются и не интерпретируются как двухфазные, поэтому они специально не изучались под электронным микроскопом.

ПЛАСТИНЧАТОЕ СТРОЕНИЕ ПЛАГИОКЛАЗОВ,
РАЗЛИЧИМОЕ ПОД ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ МИКРОСКОПОМ

Плагиоклазы лабрадор-битовнитового ряда (№ 50 - 75) с видимым под поляризационным микроскопом пластинчатым строением описаны Н.З.Коленко (1946). На основании определения М.А.Усова (1910), для закономерного пертитового прорастания двух полевовшатовых видов, принадлежащих к одному и тому же изоморфному ряду, но учитывая только состав прорастающих минералов, эти плагиоклазы названы автором изопертитам. Однако по форме пластинок описанные прорастания четко отличаются от типичных изопертитовых прорастаний, поэтому ниже также плагиоклазы называются пластинчатыми.

Основные особенности этих плагиоклазов, описанные Н.З.Коленко по собственным наблюдениям, а также по данным Ромберга (1894, 1895) и Леггинна (1894), кратко можно охарактеризовать следующим образом.

1. Под микроскопом зерно лабрадора сплошь или частично прорезается тончайшими вростками, образующими обычно очень густые решетки. Накладывающиеся друг на друга плоскопараллельные пластинки в косом срезе дают сплошную полосчатую структуру кристалла.

2. В большинстве кристаллов пластинки располагаются лишь в одном направлении, но нередки случаи, когда в отдельных участках наблюдается и вторая система под углом $83-87^{\circ}$ к первой. По данным Ромберга, этот угол составляет 53° . Одна из систем обычно является господствующей (по занимаемой площади) и более постоянной. Обычно каждая из различно ориентированных систем занимает свой участок. Реже обе системы совмещаются и их пластинки пересекаются, образуя клеточную структуру.

3. Оптическая ориентировка обеих систем совпадает с ориентировкой всего кристалла.

4. Ориентировка пластинок первой системы не выяснена, но она близка к (010). Вместе с тем, она не совпадает с двойниковой плоскостью. Вторая система, наиболее вероятно, ориентируется приблизительно перпендикулярно $[100]$. Плоскости разграничения пластинок, наблюдавшихся Ромбергом, ориентируются примерно по (04 $\bar{1}$). Следовательно, в этом типе пластинчатого строения наблюдаются те же плоскости, что и в иризирующих образцах, т.е., по О.Б.Боггилду, (291), (30 $\bar{1}$), (04 $\bar{1}$).

5. В соседних индивидах сдвойникованных по альбитовому закону, зерен пластинки располагаются симметрично. Периклиновые двойники во всех случаях пересекаются пластинчатой структурой. При этом, пластинки сохраняют свою форму и направление. Очень часто пластинчатое строение развито только в более широких индивидах альбитовых двойников. Иногда одна из систем пластинок развита только в четных индивидах альбитовых двойников, а другая - только в нечетных. Даже в очень тонких индивидах (0,1-0,01мм) пластинки иногда не доходят до двойниковых швов.

6. На всех приведенных в работе микрофотографиях пластинки очень прямые, толщина их одинакова на всем участке развития пластинчатого строения. Длина пластинок в сотни раз превышает толщину.

7. Состав пластинок не определен. Установлено, что во всех случаях угол погасания участков, в которых развито пластинчатое строение, больше, чем в участках однородных. В участках с пластинчатым строением всегда

Пласт > R-форма

На основании изучения изопертитовых плагиоклазов Коленко (1946) сделаны следующие выводы:

1. Пластинчатые плагиоклазы не исключение, а существенный полевоспатовый компонент многих пород.

2. Они встречаются в довольно разнообразных породах: гранулитах, диоритах, роговообманковых габбро, кварцевых и бескварцевых роговообманковых габбро-норитах, различных метабазитах. Известны такие плагиоклазы на всех континентах.

3. Факты наличия пластинчатых плагиоклазов "...противоречат теории неограниченной смесимости альбитовой и анортитовой молекул в плагиоклазе; в интервале между $Ab_2 An_2$ и $Ab_0 An_2$, она может не иметь места" (Коленко, 1946, с.129).

В 1942 г. Г. Гуттенлохер в битовниках из габброидных пород и шпиро-вых пегматитов в них обнаружил под поляризационным микроскопом пластинчатое строение и описал как структуры несмесимости.

Позднее, совместно с Е. Ягером, он детально, изучал эти структуры (Jäger, Huttenlocher, 1955). Оптические измерения показали, что эти плагиоклазы принадлежат к низкотемпературной серии. Состав их — № 70-76. При увеличениях около 300 раз и прикрытой диафрагме в ядрах наблюдалась тончайшая плоскопараллельная штриховка (рис. 20, см. вклейку). Это явление очень распространено. Плоскость развития пластинок соответствует примерно (061), т. е. с (010) образует угол около 17° . Наблюдения с помощью метода фазового контраста при увеличениях около 1500 раз показали (см. рис. 20, в), что толщина более толстых пластинок не строго постоянна, а максимальная ее величина равна примерно 0,003 мм. Иногда пластинки разветвляются. Эта структура рассматривается как совокупность наложенных друг на друга листочков. Механически и оптически кристалл ведет себя как гомогенный. Относительно шва альбитовых двойников пластинчатое строение симметрично. Судя по тому, что пластинки по мере удаления от швов нередко выклиниваются, авторы предположили, что они либо одновозрастны, либо моложе полисинтетического двойникования. А тот факт, что пластинчатое строение в центрах зерен развито более часто, чем по периферии, свидетельствует, по-видимому, об образовании пластинок в твердом состоянии. Условия нахождения породы не позволяют предполагать влияние метасоматических процессов. Состав образцов, по данным химических анализов, — № 70-76. Количество калия ничтожно, поэтому не принималось в расчет. Состав, определяемый химически, всегда оказывался более основным, чем по оптическим данным. На этом основании, поскольку оптические определения выполнялись по углу погасания фона Е. Ягером и Г. Гуттенлохером сделан вывод о более высокой основности тонких пластинок.

Отражения на Вайсенбергограммах порошков и монокристалла по положению отвечают рентгенограммам Ф. Клейсса (Claisse, 1950) для образца № 78, но значительно более диффузные. На рентгенограммах вращения вокруг оси С, наблюдаются полосы расщепленных b -отражений, которые частично диффузные, но чаще резкие. Отражения типа c не наблюдались. Отражения типа a не расщеплены, как следовало бы ожидать, если бы ламеллы имели различный состав. Это обычно объясняется взаимным влиянием решеток друг на друга. Однако, учитывая очень большие размеры пластинок, авторы полагают, что это объяснение не обосновано.

Отжиг плагиоклазов при 1100°C в течение 100 ч не оказал никакого влияния на пластинчатое строение.

Пластинчатое строение, напоминающее описанное выше, наблюдал В. Л. Браун (Brown, 1960₁) в перистеритах в сечениях $1/100$. Ламеллы встречались спорадически и раздельно. Ориентированы они под углом 14° к (010), т. е. по (061). Расположение ламелл в соседних индивидах двойников симметричное.

Ламеллярная структура наблюдалась как в призматических, так и в не призматических образцах. Иногда по ламеллам наблюдалось замещение перистерита более кислым плагиоклазом.

По поводу приведенного описания пластинчатого строения плагиоклазов следует сделать некоторые замечания.

Прежде всего, обращает на себя внимание совпадение данных о составах образцов и пластинок в описаниях Н.З.Коленко, а также Ягера и Гуттенлохера. Сходь и морфологические особенности пластинчатого строения. Однако легко заметить существенное различие между пластинчатым строением, описанным различными авторами. Так, Е.Ягер и Г.Гуттенлохер (Jäger, Huttenlocher, 1955) отмечают (и подтверждают микрофотографией), что в изученных ими образцах пластинчатое строение развито обычно в ядрах зерен, а периферические оторочки остаются гомогенными. Н.З.Коленко описывает характер развития пластинчатого строения как пятнистый с неправильной формой пятен: "Отдельные самостоятельные участки не проявляют никакой правильности ни в очертаниях ни в распределении... и пластинка кажется покрытой бесформенными тусклыми пятнами... Но иногда пятна занимают и всю площадь кристалла" (Коленко, 1946, с. 106). Следовательно, в первом случае развитие пластинчатого строения отражает первичную кристаллизационную зональность, а во втором пластинчатые участки имеют скорее наложенный характер.

Сравнение описаний (и приведенных микрофотографий) пластинчатого строения, различного под поляризационным микроскопом, с пластинчатым строением, обуславливающим иризацию и обнаруживаемым только под электронным микроскопом позволяет отметить следующее.

1. Оба типа пластинчатого строения характеризуются общностью характера, ориентировки, пространственного положения внутри кристалла и взаимоотношений с полисинтетическими альбитовыми двойниками. Есть, однако, и некоторые различия: а) в субмикроскопическом пластинчатом строении, в отличие от описаний Коленко, не отмечены случаи пересечения пластинок различно ориентированных систем с образованием сетки; б) не наблюдалось также пересечение пластинами периклиновых двойниковых швов с сохранением их толщины и направления; иногда субмикроскопические пластинки пересекают двойниковые швы с сохранением ориентировки, однако, в одном из индивидуальных пластинок резко выклиниваются в непосредственной близости от шва.

2. Интервал составов, в котором описано пластинчатое строение видимое под микроскопом, практически совпадает с интервалом иризирующих плагиоклазов, за исключением андезинов.

3. Ряд пород, в которых известны плагиоклазы с пластинчатым строением, видимым под микроскопом, значительно больше, чем ряд с иризирующими плагиоклазами. Однако, вполне вероятно, что ряд пород с пластинчатыми плагиоклазами Коленко (с учетом данных других авторов) несколько расширил за счет того, что он не делал различия между пластинчатыми структурами и типично изопертитовыми, которые наблюдаются совместно с пластинчатыми. В то же время, поскольку иризирующие плагиоклазы описаны только в крупнозернистых породах, то ряд пород, содержащих плагиоклазы с субмикроскопическим пластинчатым строением оказывается суженным. Поэтому имеются основания предполагать, что оба типа плагиоклазов могут встречаться в любых породах от мелко- до гигантозернистых.

4. Не отмечено также каких-либо возрастных ограничений для обоих типов плагиоклазов.

5. Единственным существенным различием между обоими типами пластинчатого строения является величина периода идентичности. Последний в случае микроскопического пластинчатого строения в 10 - 30 раз больше, чем в случае субмикроскопического. Нет, однако, оснований предполагать, что отсутствуют все промежуточные значения этой величины.

Таким образом; а) пластинчатое строение обоих типов представляет несколько отличающиеся проявления одного и того же явления - несмеси-мости главных компонентов плагиоклазов; б) большая распространенность пластинчатых плагиоклазов свидетельствует о том, что пластинчатое строение в плагиоклазах составов $Ап_0 - Ап_{30}$ - явление обычное; в) способ образования пластинчатого строения обоих типов и его причины, по всей вероятности, сходны.

ИЗОПЕРТИТЫ

Изопертиты плагиоклазов основного состава описаны в цоизитовых амфиболитах о-ва Кий Д.С.Белянкиным и М.А.Лавровой (1930), которые характеризовали эти плагиоклазы следующим образом: "Совершенно однородный в кислых своих частях, в более основных он (плагиоклаз. - Н.К.) тончайшим образом пертитизирован. В пертите мы находим, с одной стороны, более кислую основу, продолжающуюся сюда из кислых и однородных участков, и с другой - переполняющие ее веретенца более основного плагиоклаза, определяющего, в силу его количественного господства, и общее погасание пертита" (Белянкин, Лаврова, 1930, с.136). Пертитизированный плагиоклаз, следовательно, встречается в виде участков неправильной формы на общем фоне шлифа гомогенного плагиоклаза.

В 1952 г. С.А.Руденко описал изопертиты в ряду кислых плагиоклазов, в которых вроски чаще имели более основной состав, чем включающий их плагиоклаз, но встречались и обратные соотношения.

В работе 1954 г. С.А.Руденко относит описанные Коленко (1946) пластинчатые плагиоклазы (среди которых были и типичные изопертиты) к изопертитам распада и высказывает предположение, что субмикроскопические пертитовые вроски этого типа вызывают ирризацию лабрадоров.

К изопертитам, несомненно, относятся и образцы перистеритов, изученные М.Райтом (Right, 1969) с помощью фазово-контрастного и интерференционного микроскопов. В этих образцах обнаружены домены пластинчатой и эллипсовидной формы, размеры которых в сечениях, перпендикулярных 001 , составляют: длина 10-15 мкм, ширина около 1 мкм. Ориентировочный состав доменов $Ап_{0-5}$ и $Ап_{17-25}$.

В большинстве образцов из карьера г.Городища Черкасской обл. охарактеризованных в настоящей работе, наблюдается своеобразная изопертитовая структура, развитая на отдельных участках и во многом сходная с описанной Н.З.Коленко и Д.С.Белянкиным. Однако, сходство изопертитовых структур с описанными выше этим и ограничивается.

Изопертитовые структуры в лабрадорах г.Городища особенно хорошо обнаруживаются в шлифах по (010). Пертитизированные участки имеют неправильную форму с заливообразными очертаниями (рис. 22, см. вклейку между с. 00-00). Наиболее часто они начинаются от границ кристалла и про-

тягиваются полосами вдоль трещин спайности по (001) и плоскости $\perp [100]$, постепенно выклиниваясь вглубь кристалла. Иногда в плоскости среза шлифа эти участки имеют замкнутые контуры. Форма пластинок таблитчатая, но может изменяться от изометричной до игольчатой (рис. 21, в). Размеры пластинок в сечении по (010) также изменяются в широких пределах: $(0,02 + 0,15) \times (0,003 + 0,01)$ мм в уплощенных пластинках и $(0,015 + 0,1)$ мм в брусковидных и изометричных. В контурах этих сечений табличек бывает иногда параллельными только плоскости уплощения. Торцовые грани почти никогда не являются прямыми (рис. 21, в и 22, в).

Состав фона изопертитовых участков всегда кислее пертитизированной части кристалла. Переход от "гомогенных" участков к пертитизированным очень постепенен, что хорошо видно на микрофотоснимке (рис. 22, а) по характеру погасания переходных зон. Если состав образцов никогда не бывает кислее № 50, то состав фона изопертитовых участков никогда не бывает основнее этого номера. Состав фона изопертитовых участков изменяется даже в пределах небольших участков. По данным измерений углов погасания, он изменяется между № 50 и 40 (средний по всем замерам $A_{\mu 45,3}$). Средний состав пластинок — $A_{\mu 36}$ (угол погасания на (010) составляет около 7°), колебания также большие (№ 30–40), но они в значительной мере зависят от неточности определения углов погасания, из-за малых размеров включений и влияния фона. Следовательно, изопертиты во всех случаях оказываются кислее фона, а последний кислее пертитизированной части кристалла. Это соотношение составов хорошо видно на микрофотографии (рис. 22, а), где пертитизированный кристалл снят в положении погасания (темное), а фон (серый) и изопертиты (светлые) в различной степени удалены от положения погасания. Иногда (наиболее часто в случаях очень мелких изопертитов, форма которых близка к изометричной) различия в погасании пертитизированного кристалла и фона изопертитовых участков не отмечается или оно едва заметно (рис. 21а, б, в).

Площадь, занимаемая изопертитами, колеблется (по визуальной оценке) между 25 и 50% площади изопертитовых участков. Количество (густота) пластинок заметно увеличивается от периферии к центрам участков вместе с уменьшением основности фона.

Во всех образцах, как видно из рис. 21, 22, сечений по (010), пластинки ориентируются примерно перпендикулярно оси $[100]$, несколько отклоняясь к $\perp (001)$. Однако, наблюдаются и довольно большие (до 10° и более) отклонения ориентировки отдельных пластинок от этого направления.

В сечениях по (010) во всех иризирующих образцах изопертитовые участки не иризируют. При переходе к ним обычно наблюдается каемочный узор иризации, характеризующийся снижением окрасок в сторону центров изопертитовых участков, который отражает снижение основности фона.

В целом, характер развития изопертитовых участков очень похож на рисунок деанортитизации плагиоклаза по краям кристалла и, судя по составу фона и включений, по-видимому, действительно представляет собой результат выноса кальция и алюминия из решетки в процессе метасоматического разложения. Возможность этого процесса экспериментально доказана Дж. Б. Адамсом

(Adams, 1968). Очень характерно при этом, что вновь образующийся плагиоклаз включений имеет состав близкий к An_{35} .

Сравнение изопертитов с пластинчатыми плагиоклазами всех типов позволяет отметить следующее.

1. По форме и ориентировке пластинок изопертиты до некоторой степени подобны калишпат-пертитам, но не имеют ничего общего с пластинчатыми плагиоклазами. От пластинок альбита в калишпате изопертитовые пластинки также существенно отличаются угловатостью очертаний, неправильностью и непостоянством формы и размеров, а также изменениями ориентировки в широких пределах.

2. Морфология рисунка изопертитовых участков в значительной мере сходна с характером развития микроскопического пластинчатого строения, описанного Н.З. Коленко как более омычного. Существенное различие между ними состоит в обратных соотношениях составов пластинок, фона и включающего их кристалла, что исключает предположение об одинаковом их генезисе.

3. По характеру развития (заполнения объема кристалла) пластинчатого строения изопертиты коренным образом отличаются от: а) плагиоклазов с пластинчатым строением, описанных Е.Ягером и Г.Гуттенлохером, а также (для менее распространенных случаев) Н.З. Коленко; б) иризирующих плагиоклазов с субмикроскопическим пластинчатым строением, участки развития которого занимают, как правило, весь кристалл; в) калишпатовых пертитов, для которых наиболее характерно сплошное однотонное заполнение пертитами всей площади сечения зерна.

На основании анализа сходства и отличия изопертитов от других двухфазных полевых шпатов можно сделать следующие выводы:

1. Все особенности изопертитов однозначно указывают на связь их генезиса со вторичными наложенными процессами изменения полевых шпатов под действием растворов. В то же время особенности пластинчатых плагиоклазов исключают предположение об участии в их образовании посткристаллизационных растворов.

2. Тот факт, что пертитизированные участки всегда явно наложены на правильный однообразный рисунок иризации, усложняя его, свидетельствует о том, что процесс образования изопертитовых структур является более поздним, вторичным по отношению к процессу образования пластинчатых структур.

3. Характер изменения состава пластинок и фона с изменением валового состава, характер заполнения объема кристалла пластинками, морфология и ориентировка пластинок изопертитов и плагиоклазов с пластинчатыми структурами совершенно различны. Это доказывает, что факторы, определяющие образование тех и других структур, различны, хотя соответствие состава пластинок особенным составом в обоих случаях указывает на общность причины их образования - несмесимости альбита и анортита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненной работы убеждают в том, что изучение иризации и пластинчатого строения является одним из важнейших методов для решения основной проблемы современной теории полевых шпатов — проблемы фазового состава плагноклазов с промежуточными структурами. Решение этой проблемы имеет большое значение для выяснения физической природы и количественной интерпретации рентгенограмм этих структур.

Изучение иризации и пластинчатого строения перистеритов и лабрадоров позволило автору установить и количественно доказать физическую сущность и минералогическую причину явления иризации, а на этой основе, разработать и применить практически методы использования этого явления для определения составов фаз двухфазных плагноклазов, что до сих пор не удавалось сделать никакими другими методами (рентгеновским, рентгеновской спектроскопии, методом электронной микродифракции).

Результаты работы можно свести к следующим основным положениям.

1. С целью получения количественных данных о явлении иризации и пластинчатом строении плагноклазов, автором разработана и проверена практически удобная методика комплексного их исследования, частные приемы и методы гониометрического, оптического, спектрофотометрического и электронномикроскопического исследований иризирующих кристаллов, позволяющая получать обширную и легко проверяемую информацию о пластинчатом строении.

2. Гониометрические измерения выполнялись на микроскопе с модернизированным универсальным столиком и специальным препаратоводителем, сконструированным автором. Разработанная методика позволяет быстро и с достаточно высокой точностью производить любые измерения, выполнение которых на гониометре чрезвычайно трудоемко, а в большинстве случаев вообще невозможно в связи с плохим качеством сигналов или небольшими размерами измеряемых элементов. Использовались два варианта методики: изучение плагноклазов в выколках кристаллов и в прозрачно-полированных шлифах. Это необходимо было для решения двух задач: а) определения положения (010) и (001) относительно плоскости (полированной) среза шлифа, которое требуется для точных измерений полной оптической ориентировки с целью определения состава и упорядоченности по диаграммам А.С. Марфунина (1962), и б) определения плоскостей иризации относительно кристаллографических осей или плоскости ограничения кристалла.

3. Впервые показана практическая необходимость получения спектров иризации плагноклазов и предложена удобная методика их съемки. Наиболее

сложным методическим моментом при получении спектров иризации является выбор способа установки и закрепления образца по отношению к падающему монохроматическому лучу, который должен позволить: а) изменять ориентировку плоскости иризации по отношению к падающему лучу и лучу, принимаемому на фотоумножитель, определяя вместе с тем, эту ориентировку с достаточной точностью; и б) снимать поочередно спектр иризации и спектр эталона (источника света), не меняя условий приема отраженного луча на фотоумножитель. Эти задачи решены в предлагаемой методике измерений на рудном микроскопе МИН-9 с тубусом микроскопа МИН-8, и модернизированным столиком Федорова. В качестве источника света использовался монохроматор СФ-4, в качестве эталона - поверхность ограничения кристалла. Интенсивность измерялась с помощью фотоумножителей, устанавливавшихся в тубус микроскопа или вместо тубуса, и высокочувствительной регистрирующей аппаратуры. Методика позволяет снимать спектры иризации как в выколках кристаллов, так и в прозрачно-полированных шлифах.

С помощью этой методики автору впервые удалось получить спектры иризации большого количества образцов известного состава, что позволило: а) установить общие особенности спектров иризации плагиоклазов, не зависящие от состава образцов; б) впервые описать особенности спектров иризации, зависящие от состава образцов; в) выявить количественную связь изменения длины волны максимумов интерференции в различных зонах одного образца при изменении состава зон, а также связь изменения соотношения длин волн максимумов иризации в спектрах, обладающих двумя максимумами интенсивности, с изменением состава образцов. Результаты измерений послужили исходными данными для расчета составов пластинок (фаз) плагиоклазов.

4. Разработана также рациональная методика электронномикроскопического исследования пластинчатых образцов. Наиболее полную информацию о пластинчатом строении позволяет получить метод одноступенчатых реплик с предварительно протравленных в HCl сколов по (001). При обработке образцов концентрированной HCl в течение 16-20 ч и оттении платиной под углом 10-15° к исследуемой поверхности скола, в плоскости примерно перпендикулярной (или образующей угол не менее 25-30°) к спайности по (010), пластинчатое строение очень хорошо оттеняется на фоне двойниковой структуры. Выполненные электронномикроскопические исследования позволили впервые выявить: а) особенности взаимоотношения пластинчатого строения различных ориентировок с двойниковой структурой и взаимоотношения между различно ориентированными системами пластинок; б) закономерное изменение соотношения толщин соседних пластинок различных типов при изменении валового состава образца. Количественные данные о связи отношения толщин пластинок с изменением состава использованы для определения составов пластинок.

5. Количественными измерениями установлено, что явление иризации строго подчиняется закону интерференции света в пластинках, изучаемых под электронным микроскопом. Составлено уравнение интерференции, подтвержденное с высокой точностью экспериментально. Уравнение позволяет определять толщину пластинок, в которых возникает иризация, по результатам оптических и спектрофотометрических исследований.

Комплексные экспериментальные исследования природных иризирующих плагиоклазов количественно подтвердили предлагаемую модель строения пластинчатых плагиоклазов и гипотезу физической сущности явления иризации, сводящиеся к следующим основным положениям.

А. Явление иризации – результат интерференции лучей, отражающихся от поверхностей раздела между слагающими кристалл плоскопараллельными пластинками двух типов, которые различаются основностью.

Б. Состав пластинок каждого типа постоянен для некоторых интервалов составов плагиоклазов.

В. С изменением состава зон одного образца закономерно изменяется только соотношение толщин пластинок различных типов и их абсолютная величина. Период идентичности пластинчатого строения – сумма толщин двух соседних пластинок различных типов – остается почти постоянным во всех зонах каждого образца. Величина его очень мало изменяется даже в различных образцах из одного месторождения.

Г. Так как состав пластинок постоянен, то интенсивность света, отражающегося от единичной поверхности раздела между пластинками остается (пренебрегая поглощением света в кристалле) постоянной для всех пластинок. Поэтому можно ожидать наличия в спектрах иризации трех максимумов интерференции, отвечающих каждому типу пластинок и периоду идентичности. В полученных спектрах иризации наблюдаются всегда лишь максимумы, отвечающие более основным пластинкам, в которых возможен, в отличие от кислых пластинок и периодов идентичности, наиболее низкий (нулевой) порядок интерференции. Максимумы, связанные с более кислыми пластинками обнаруживаются только в части образцов, а отвечающие периодам идентичности не обнаружены вовсе.

7. Исходя из этой модели, найдено аналитическое выражение связи цвета иризации с основностью зон (широко известной в литературе в качественном выражении) и составами фаз, на основании которого составлены уравнения для определения составов фаз двумя методами; а) по соотношению толщин пластинок фаз, измеряемых на электронномикроскопических снимках, или по соотношению длин волн максимумов иризации, отвечающих этим пластинкам, в двух образцах, отличающихся составом; б) по изменению длины волны максимума иризации, принадлежащего одному типу пластинок в различных зонах одного образца.

По результатам выполненных исследований всеми методами рассчитаны составы фаз перистеритов, отвечающие № 0,3 и 34, и лабрадоров – 50,8 и 64,3.

8. На основании изложенной модели и результатов экспериментальных исследований дана интерпретация основных закономерностей и особенностей иризации, известных ранее и установленных в процессе количественных исследований автором. Некоторые из этих закономерностей являются прямыми следствиями из гипотезы, поэтому объяснены количественно, другие интерпретированы качественно.

9. Анализ многочисленных, опубликованных вплоть до последнего времени данных о пластинчатом двухфазном строении, различимом под поляризационным микроскопом; особенностей рентгенограмм "гомогенных" и

пластинчатых иризирующих плагиоклазов с промежуточными структурами; данных о существовании разрывов постепенности в изменении всех свойств низкотемпературных плагиоклазов при изменении состава, отмечающихся при составах примерно 33-35, 50, 65-67 и 75-80; совпадение этих составов с полученными автором составами фаз пластинчатых плагиоклазов - указывает на то, что низкотемпературные плагиоклазы в интервале составов $An_0 - An_{80}$ являются двухфазными и подразделяются на четыре ряда со своими конечными членами:

альбит-олигоклазы - An_0 и An_{35}

андезины - An_{35} и An_{50}

лабрадоры - An_{50} и An_{65}

лабрадор-битовниты An_{65} и An_{80} (?)

Только конечные члены этих рядов, представляющие собой соединения с простыми отношениями Na/Ca и Si/M , могут образовывать устойчивые, гомогенные при любых условиях, структуры. Все другие члены рядов могут образовывать гомогенную структуру, вероятно, лишь при сравнительно высоких температурах и скоростях кристаллизации.

Период идентичности пластинчатого строения двухфазных низкотемпературных плагиоклазов определяется, по-видимому, условиями образования плагиоклаза и изменяется от нескольких элементарных ячеек до десятых долей миллиметра.

На основе этих представлений предпринята попытка качественно объяснить характер изменения рентгенограмм низкотемпературных плагиоклазов при изменении состава от № 0 до № 80.

ЛИТЕРАТУРА

- Агафонова Т.Н. - Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1950, 4.
- Агафонова Т.Н. - Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1952, 6.
- Агафонова Т.Н. - Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1953, 7.
- Агафонова Т.Н. - ДАН СССР, 1954, 96, 6.
- Агафонова Т.Н. - ДАН СССР, 1955, 103, 6.
- Агафонова Т.Н. - Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1956, 10.
- Агафонова Т.Н. - Наук. записки Київск. держун-ту. Зб. геол. фак., 1959, 8.
- Белянкин Д.С., Даврова М.А. - Труды Геол. музея АН СССР, 1930, 8.
- Гудьер Дж., Даффин В. - В кн.: Полевые шпаты, т. 2. ИЛ, М., 1956.
- Заварицкий А.Н. - Записки Всесоюз. мин. об-ва, 1929, 58, 2.
- Изох Э.П., Кавиця Ю.В. - Записки Всесоюз. мин. об-ва, 1959, 88, 3.
- Карачек Ф.К., Нейвонен К. Дж. - В кн.: Полевые шпаты, т. 2. ИЛ, М., 1956.
- Коленко Н.З. - В кн.: Сб., посвящ. акад. Д.С. Белянкину к 70-летию со дня рожд. и 45-летию научной деятельности. Изд-во АН СССР, М., 1946.
- Коновова М.М., Кутяй В.А. - В кн.: Конституция и свойства минералов, 1966, в. I.
- Крамаренко Н.К. - В кн.: Вопросы геохимии, минералогии, петрологии и рудообразования. "Наукова думка", К., 1970.
- Крамаренко Н.К. - Геол. журн., 1971, 31, 5.
- Крамаренко М.К. - ДАН УРСР, серия Б, 1971, 2, 3.
- Крамаренко Н.К., Платонов А.Н., Поваренных А.С. - Записки Всесоюз. мин. об-ва, 1972, 101, 4.
- Крамаренко Н.К., Русько Ю.А., Платонов А.Н. - Геол. журн., 1973, 33, I.
- Марфуни А.С. - Изв. АН СССР, серия геол. 1957, 9.
- Марфуни А.С. - Тр. Ин-та геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР, 1962, 78.
- Михеев В.И., Руденко С.А. - Записки Всесоюз. мин. об-ва, 1954, 83, 4.
- Никитин В.В. - В кн.: Универсальный столб Федорова. Изд-во АН СССР, М., 1953.

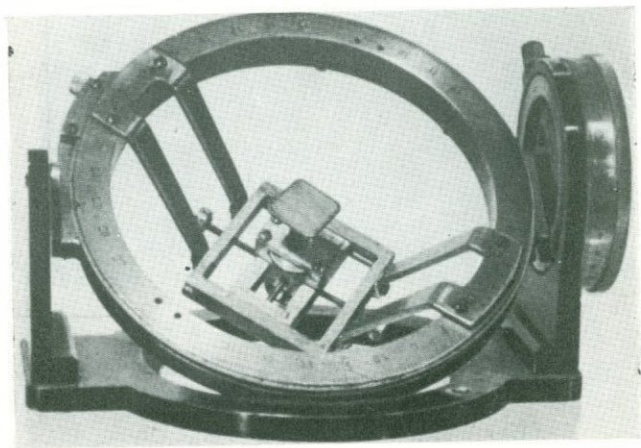
- Пазюк Л.И. - ДАН СССР, 1954, 98, 3.
- Руденко С.А. - Запис. Ленингр. горного ин-та, 1952, 27, 2.
- Руденко С.А. - Записки Всесоюз. мин. об-ва, 1954, 83, 1.
- Русько Ю.А., Крамаренко Н.К. - В кн.: Тез. докл. Ш Всес. конф. по электронной микроскопии, 2. Изд-во АН СССР, М., 1971.
- Соболев В.С. Введение в минералогия силикатов. Изд-во Львовского ун-та, Львов, 1949.
- Тарасенко В.Е. - Зап. Киевск. об-ва естествоиспытателей, 1889, 16.
- Таттл О.Ф., Боуэн Н.Л. - В кн.: Полевые шпаты, т.1. М., ИЛ, 1952.
- Тейлор У.Х. - В кн.: Брегг У., Кларингбулл Г. Кристаллическая структура минералов, гл.14, "Мир", М., 1967.
- Усов М.А. Федоровский или универсально-оптический метод исследования минералов. Томск, 1910.
- Фейнман Р. и др. Фейнмановские лекции по физике. 3, 7, "Мир", М., 1967.
- Яворский Б.М. и Детлаф А.А. Справочник по физике, "Наука", М., 1964.
- Адамс J.B. - Amer. Miner., 1968, 53, N 9-10.
- Андерсен О. - Amer. J. Sci., 1915, 40, p. 351.
- Баиер Б., Пензе J. - Naturwiss., 44, S. 110.
- Вамбауер H.U. u.a. - SMFM, 1967, 2, S. 351.
- Вёггилд О.В. - Kgl. Dansk. Vidensk. Selsk. M-F Medd., 1924, 6, N 1.
- Волтон Н.С. а.о. - Phys. Stat. Sol., 1966, 18, p. 221.
- Бовен N.L. - Amer. J. Sci., ser. 4, 1913, 35, p. 57.
- Бовен M.G., Гау F. - Zeit. Krist., 1958, III, S. 1.
- Бовен M.G., Гау F. - Zeit. Krist., 1959, 129, N 5-6, S. 451.
- Броун W.L. - Zeit. Krist., 1960₁, 113, S. 297.
- Броун W.L. - Zeit. Krist., 1960₂, 113, S. 330.
- Бургг С. u.a. Die optische Orientierung der Plagioklasse. Birkhäuser, Basel u. Stuttgart, 1967, S. 334.
- Чао S.H., Таулоу W.H. - Proc. Roy. Soc., 1940, ser. A, 176, p. 76.
- Чауес F. - J. Geol., 1950, 58, p. 593.
- Чауес F. - Amer. J. Sci., 1952, Bowen vol., I, p. 85.
- Кристие О. - "Lithos", 1969, 2, p. 285.
- Клаиссе F. - Amer. Min., 1950, 35, N 5-6, p. 412.
- Коле W.F. а.о. - Acta Cryst., 1951, 4, p. 20.
- Корлетт M., Риббе P.H. - SMFM, 1967, 47, S. 317.
- Крум Р.М., Кетнер К.В. - Soc. Amer. Mem., 1953, 52, p. 23.
- Доман R.S. а.о. - Amer. Min., 1965, 50, N 5-6, p. 724.
- Дупарс L., Рейнхард M. - Soc. Phys. Hist. Nat. Geneve Mem., 1924, 40.
- Флиет S.G., Риббе P.H. - Philos. Mag., 1963, 8, N 91, p. 1179.
- Флиет S.G., Риббе P.H. - Amer. Min., 1965, 35, N 268, p. 165.

- Gay P. - Min. Mag., 1953, 30, p. 169.
- Gay P. - Min. Mag., 1956, 3, p. 21.
- Gay P., Bown M.G. - Min. Mag., 1956, 31, p.306.
- Gay P., Smith J.V. - Acta Cryst., 1956, B, p. 64.
- Hunachaschi M. a.o. - "Lithos", 1968, 1, p. 365.
- Jäger E., Huttenlocher H. - SMPM, 1955, 32,
S.199.
- Korekawa M. Naturwiss. Fak. Univers. München, 1967.
- Korekawa M., Jagodzinski H. - SMPM, 1967, 47,
S.269.
- Korekawa M., Nissen H.-U., Philipp D. - Zeit.
Krist., 1970, 131, S.418.
- Laves F. - J. Geol., 1954, 62, p. 409.
- Laves F., Nissen H., U., Bollmann W. - Naturwiss.,
1965, 52, S.427.
- McCConnell J.D.S., Fleet S.G. - Nature, 1963, 199,
p. 586.
- Megaw H.D. - Proc. Roy. Soc., 1960, ser. A, 259, N 1297, p.159.
- Megaw H.D. - Proc. Roy. Soc., 1960, ser. A, 259, N 1297, p.184.
- Mookherise A., Sahu K.S. - Amer. Min., 1960, 45,
p. 742.
- Nissen H.-U. - SMPM, 1968, 48, S. 53.
- Nissen H.-U. - SMPM, 1969, 49, N 3, S. 491.
- Nissen H.-U., Eggmann H.A., Laves F. - SMPM,
1967, 47, S.289.
- Raman C.V. - Current Sci., 1950, 19, N 10.
- Raman C.V. - Current Sci., 1951, 20, N 4.
- Raman C.V., Jayaraman A. - Proc. Indian Acad. Sci.,
1950, ser. A, 32, N 1.
- Raman C.V. a.o. - Proc. Indian Acad. Sci., 1950, ser. A,
32, N 3.
- Hayleigh F.R.S. - Proc. Roy. Soc., 1923, ser. A, 103,
N 4720.
- Reynolds D.L. - Geol. Mag., 1952, 89, p. 233.
- Ribbe P.H. - Amer. Min., 1960, 45, N 3.
- Ribbe P.H., Van Cott H.C. - Canad. Min., 1962, 7, p.278.
- Right M. - Contr. Min. a. Petrol., 1969, 21, N 4, p. 357.
- Schneider T.R. - Zeit. Krist., 1957, 109, S.245.
- Smith J.R. - Amer. Min., 1958, 43, p. 1179.
- Smith J.R. - Geol. Soc. Amer. Mem., 1960, 80, p. 191.
- Smith J.V. - Min. Mag., 1956, 31, p. 47.
- Smith J.V. - Min. Mag., 1956, 31, 914.
- Smith J.V., Ribbe P.H. - Contr. Miner. a. Petrol.,
1969, 21, p. 157.
- Starkey J. - SMPM, 1967, 47, S.257.
- Stewart D.B. - SMPM, 1967, 47, S. 35.

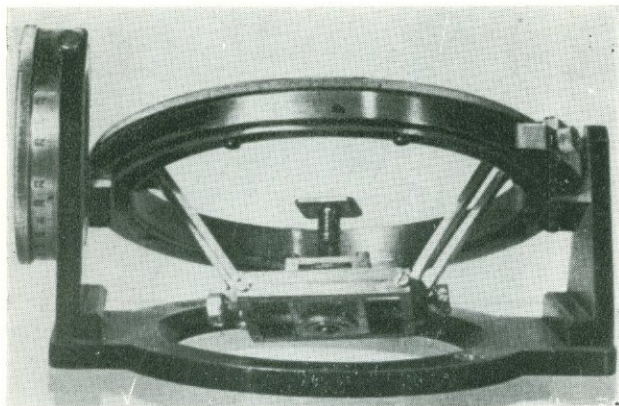
Tompson O.S., Wadsworth M.E. - Amer. Min., 1957,
42, p. 334.
Viswanathan K., Eberhard E. - SMPM, 1968, 48,
N 3, S. 803.
Wenk E. - SMPM, 1962, 42, S.139.
Wenk E., Kölller F. - SMPM, 1969, 49, S.157.
Wilcox R.E. - Amer. Min., 1959, 44, p. 1272.



a



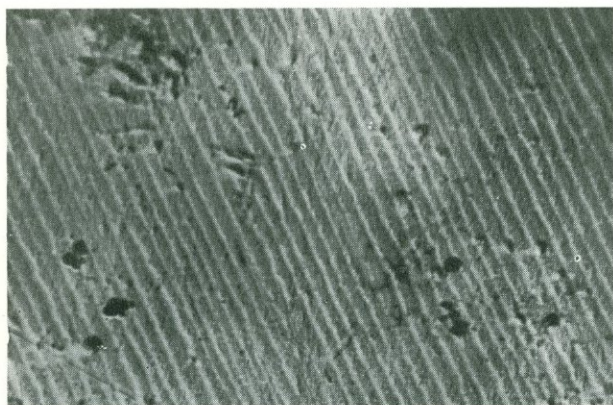
б



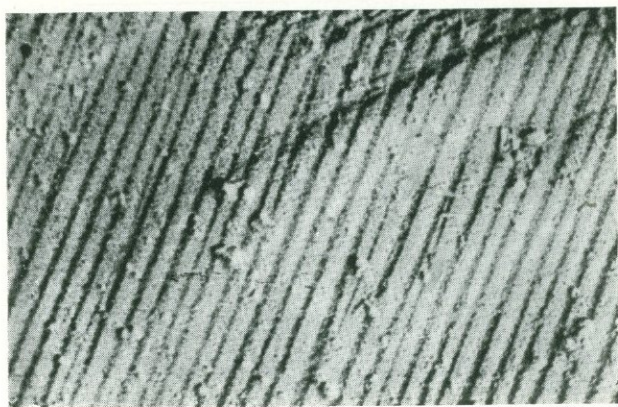
в

Рис. 5. Микроскоп МИН-9 с модернизированным столиком Федорова, использовавшийся для исследования иризации:

а — общий вид прибора; *б* и *в* — столик Федорова с препаратом.



а



а

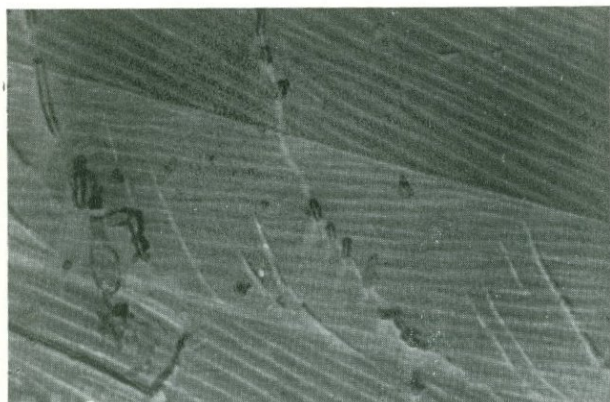


б

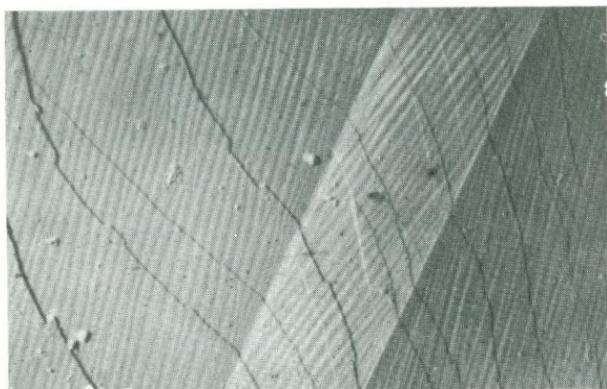
Рис. 12. Электронномикроскопические снимки перистеритов:
а—обр. М, ув. ~ 9700 ; б—обр. М, ув. $\sim 14\,000$, в—обр. 320, ув. ~ 7100 .



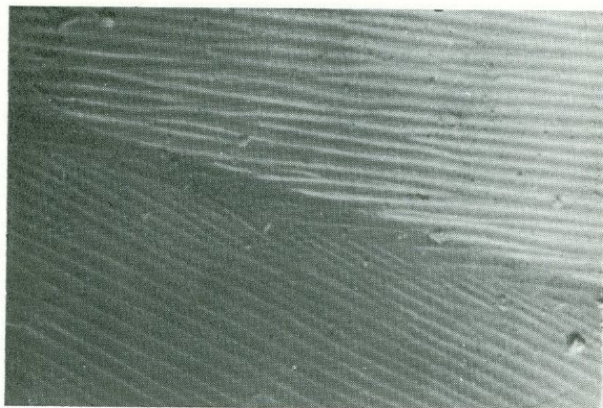
a



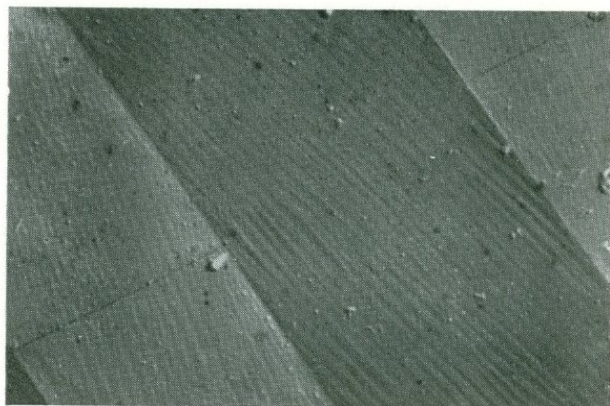
b



v

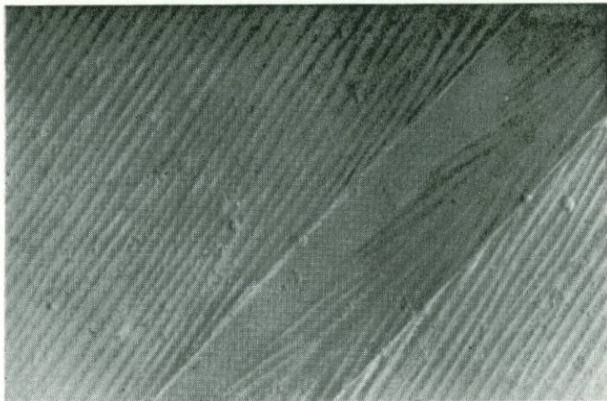


г

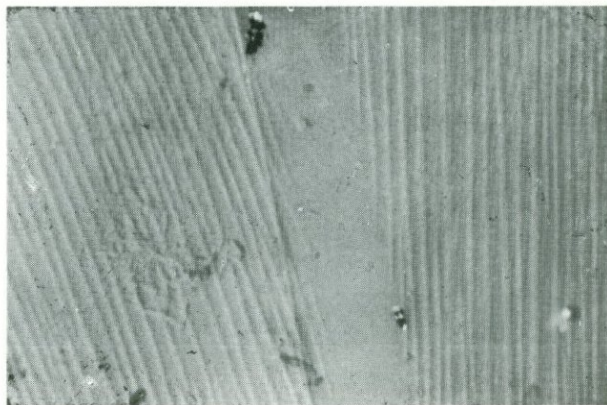


д

Рис. 13. Электронномикроскопические снимки кислых лабрадоров:
а — обр. Г-11, ув. $\sim 12\,000$; б — обр. Г-11, ув. $\sim 11\,800$; в — обр. Г-11, ув. ~ 7800 ; г —
обр. Гр-1, ув. $\sim 10\,900$; д — обр. Гр-1, ув. ~ 7900 .

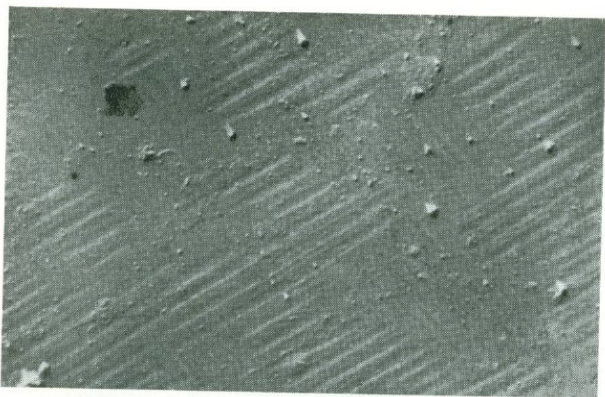


а

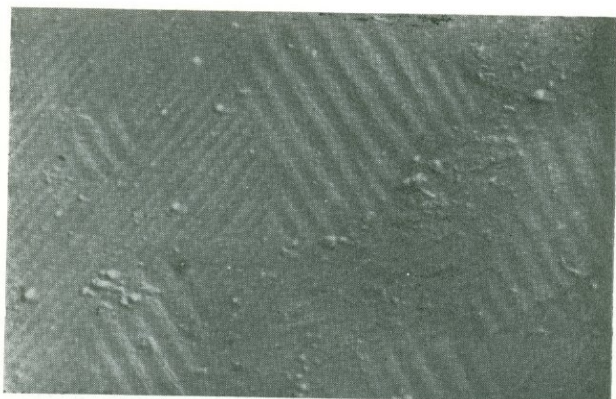


б

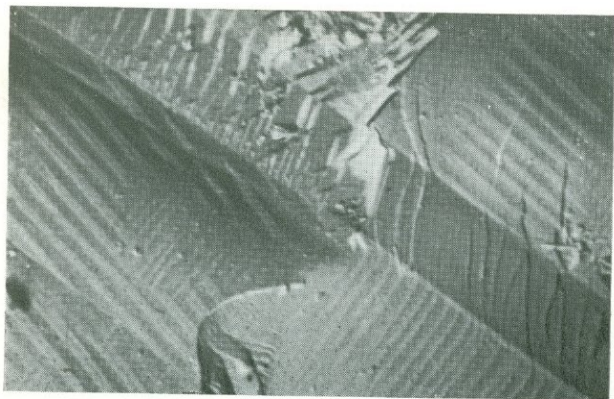
Рис. 14. Электронномикроскопические снимки основных лабрадоров:
а — обр. С-40, ув. ~ 7300 ; б — обр. С-40, ув. ~ 9000 ; в — обр. Ск-1, ув. ~ 6000 ; г —
обр. Ск-1, ув. $\sim 75\ 000$; д — обр. Ск-1, ув. ~ 7800 .



a



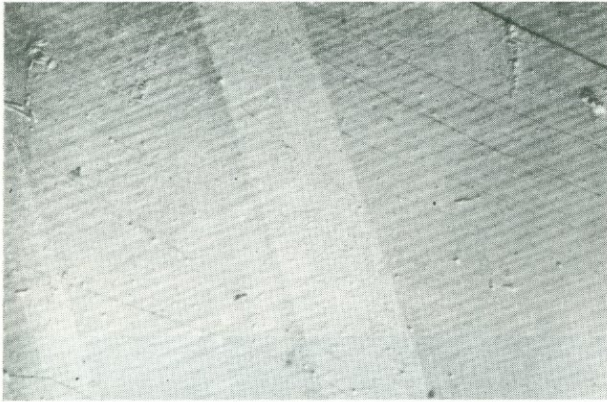
b



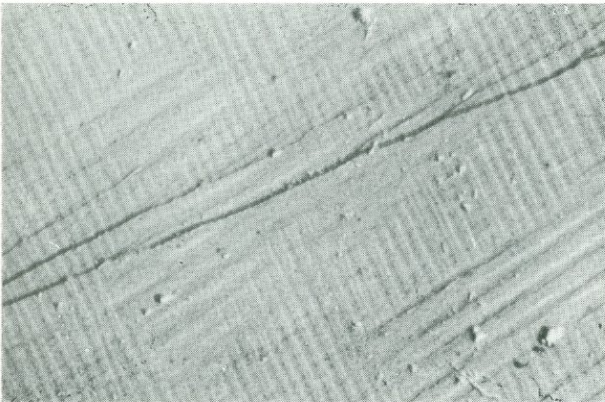
в

Рис. 15. Электронномикроскопические снимки реплик с протравленных в HCl поверхностей скола по спайности (001) образца K_2O , оттененные платиной в направлении нормали к пластинкам по (041): *a* — ув. ~ 8300 ; *b* — ув. $\sim 10\,500$; *в* — ув. ~ 7000 .

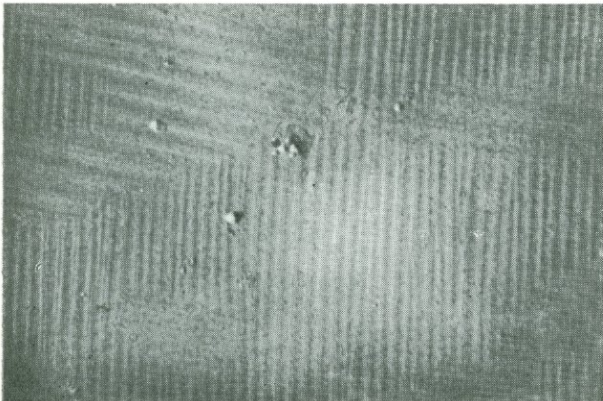
8

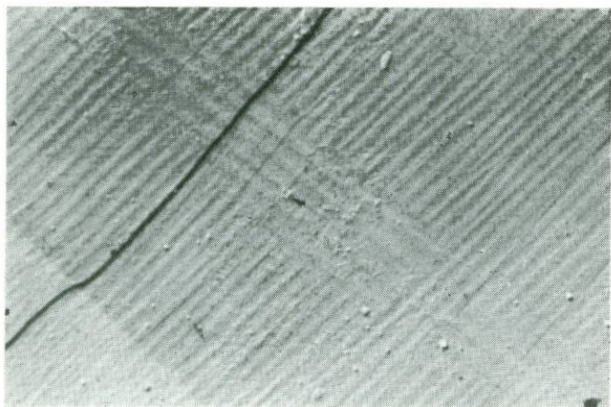


9



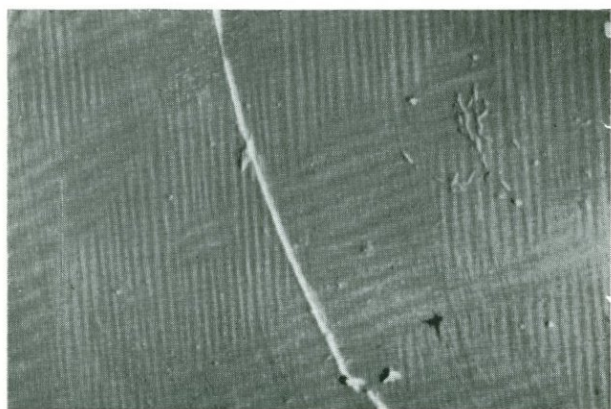
10





г

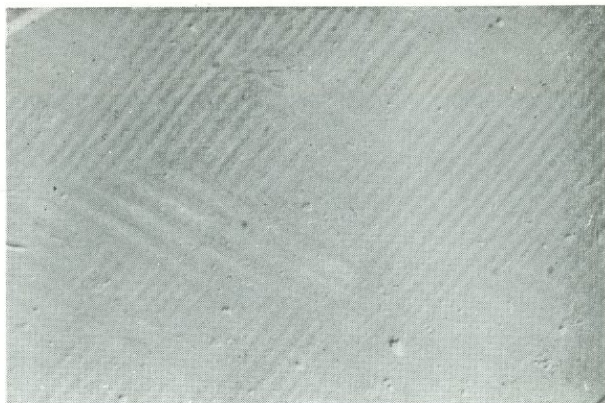
Рис. 16. Электронномикроскопические снимки реплик с образца Ku , отпеченных платиной в направлении нормали к пластинчатому строению по (301):
a — ув. ~ 8000 ; *b* — ув. ~ 7800 ; *в* — ув. ~ 7800 ; *г* — ув. ~ 7800 .



а



а



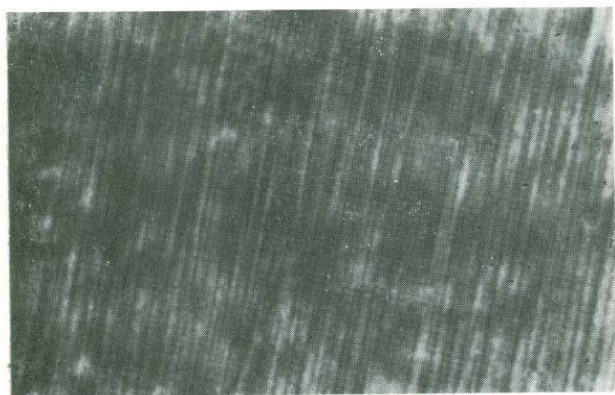
б

Рис. 17. Электронномикроскопические снимки реплик с образца Ku , оттененных платиной под углом 45° к обеим системам пластинок и к альбитовым двойникам:

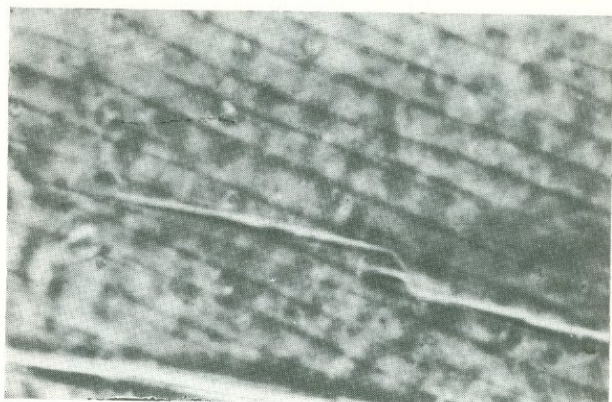
а — ув. ~ 7900 ; б — ув. ~ 8100 ; в — ув. ~ 8300 .



a



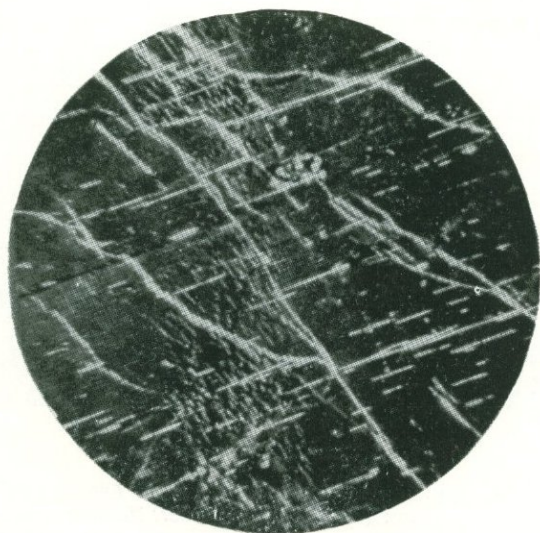
б



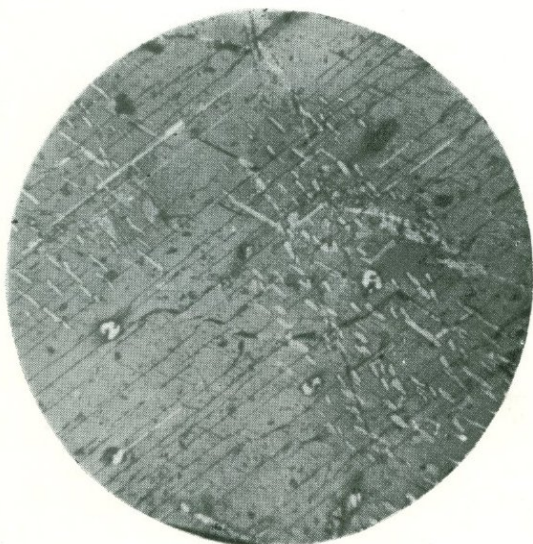
в

Рис. 20. Микрофотоснимки пластинчатого строения битовнитов, наблюдавшегося Ягером и Гуттенлохером (Jäger, Huttenlocher, 1955) под поляризационным микроскопом:

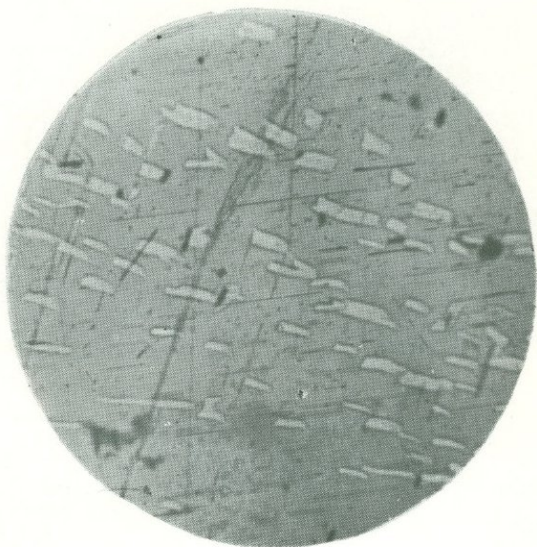
а — ув. ~ 60 ; *б* — ув. ~ 225 ; *в* — ув. ~ 1125 . Николи +.



a

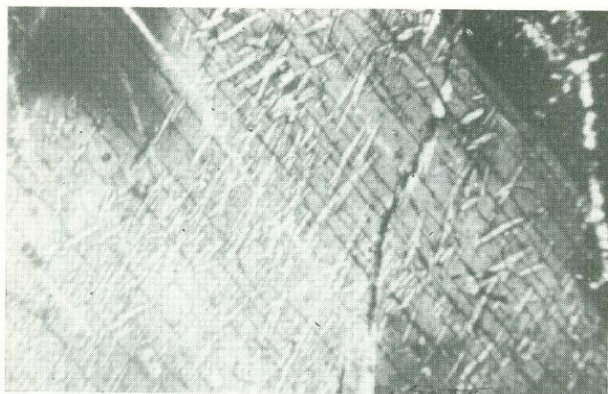


b



в

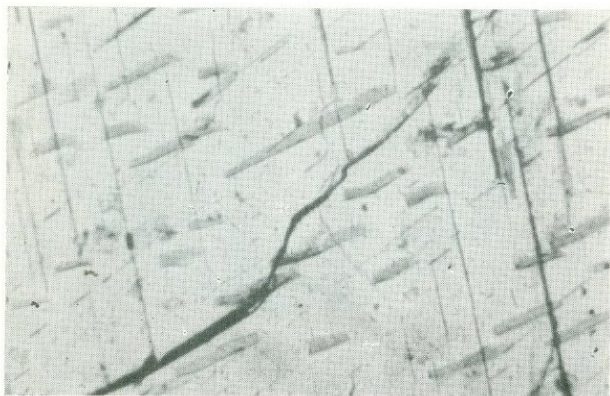
Рис. 21. Микрофотографии изопертитов в шлифе по (010) из образца иризирующего лабрадора Г-9:
а — ув. ~ 30 ; *б* — ув. ~ 80 ; *в* — ув. ~ 225 . Николи +.



a



б



в

Рис. 22. Микрофотоснимки изопертитов в шлифе по (010) образца иризирующего лабрадора Г-1:

a — ув. ~ 48 , николи +; *б* — ув. ~ 48 , без анализатора; *в* — ув. ~ 110 , николи +.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ГЛАВА 1. ИЗ ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ИРИЗАЦИИ И ПЛАСТИНЧАТОГО СТРОЕНИЯ	5
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ ИРИЗИРУЮЩИХ ПЛАГИОКЛАЗОВ	17
УРАВНЕНИЕ РАЗНОСТИ ХОДА	19
ИНТЕНСИВНОСТЬ ИРИЗАЦИИ	23
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СВЯЗИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИРИЗАЦИИ С СОСТА- ВОМ ОБРАЗЦА	30
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВОВ ФАЗ ИРИЗИРУЮЩИХ ПЛАГИОКЛАЗОВ	33
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИС- СЛЕДОВАНИЯ	35
КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗЦОВ	35
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИБОРЫ	39
Гониометрические измерения	40
Оптические определения состава	45
Спектрофотометрические исследования	46
Электронномикроскопические исследования	48
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	49
Оптические исследования	49
Спектрофотометрические исследования	52
Электронномикроскопические исследования	58
СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВЫВОДЫ	60
ГЛАВА 4. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИРИЗАЦИИ ПЛАГИО- КЛАЗОВ	63
Эффект интерференции лучей иризации от различных пластинок в ряду лабрадоров	63
Характер изменения спектров иризации лабрадоров в зависимости от состава образцов	66
Связь цвета иризации с валовым составом образца	68
Различия между интенсивностями иризации перистеритов и лабрадоров	71
Различия между спектрами иризации перистеритов и лаб- радоров	72
Форма пучка иризации плагиоклазов	73
ГЛАВА 5. ФАЗОВАЯ ПРИРОДА НИЗКО- ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЛАГИОКЛАЗОВ	74

НЕСМЕСИМОСТЬ В СЕРИИ "ГОМОГЕННЫХ" НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЛАГИОКЛАЗОВ,	74
СРАВНЕНИЕ "ГОМОГЕННЫХ" И ПЛАСТИНЧАТЫХ ИРИЗИРУЮЩИХ ПЛАГИОКЛАЗОВ,	83
Возможные причины несоответствия данных о составах фаз перистеритов, полученных различными методами .	84
Возможные причины различий рентгенограмм плагио-клавов, относящихся к различным рядам	86
Возможные причины отсутствия данных об иризации и пластинчатом строении в плагиоклазах ряда $An_{20} - An_{43}$	90
ПЛАСТИНЧАТОЕ СТРОЕНИЕ ПЛАГИОКЛАЗОВ, РАЗЛИЧИМОЕ ПО ЛЯРИЗАЦИОННЫМ МИКРОСКОПОМ	90
ИЗОПЕРТИТЫ	94
ЗАКЛОЧЕНИЕ !	97
ЛИТЕРАТУРА	101

Николай Кириллович Крамаренко

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, ПЛАСТИНЧАТОЕ
СТРОЕНИЕ И ИРИЗАЦИИ ПЛАГИОКЛАЗОВ

Печатается по постановлению ученого совета
Института геохимии и физики минералов АН УССР

Редакторы Н.Я.Соколова, С.А.Свердлова
Художественный редактор И.П.Савицкая
Оформление художника Г.М.Балына
Технический редактор Р.Э.Хавирова
Корректор Л.И.Пузанкова

Подписано к печати 1.Х 1975 г. БФ 00259. Бумага офс. № 2, 60x90 1/16.
Усл.печ.листов 7,75. Уч.-изд.листов 8,19. Тираж 700. Зак. № 5-324
Изд. № 79. Цена 83 коп.

Издательство "Наукова думка", Киев, Репина, 3.
Киевская типография научной книги республиканского производственного
объединения "Полиграфкнига" Госкомиздата УССР, Киев, Репина, 4.

83 коп.

1474

« НАУКОВА ДУМКА »