

Е.С. ДОВРОХОВА

МЕТОД  
Е.С. ФЕДОРОВА  
В ПЕТРОГРАФИИ

ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ

Е. С. ДОБРОХОТОВА

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО  
К ОСВОЕНИЮ МЕТОДА  
Е. С. ФЕДОРОВА В ПЕТРОГРАФИИ

5539  
Допущено Министерством высшего образования СССР  
в качестве учебного пособия  
для студентов геолого-разведочных вузов  
и факультетов



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЕ НЕДР  
МОСКВА 1957





## ВВЕДЕНИЕ

Имеющиеся в настоящее время в значительном количестве руководства и учебники по федоровскому методу (Е. А. Кузнецова, В. С. Соболева, Г. М. Саранчиной и др.) не дают достаточно подробного разбора методики работы, вследствие чего преподавание этого курса продолжает быть связанным с необходимостью сообщать учащимся ряд практических приемов, без которых невозможно получение точных результатов при работе со столиком Федорова.

В настоящем практическом руководстве подробно излагается методика определения плагиоклазов, кали-натровых полевых шпатов и цветных минералов на четырехосном федоровском столике. Руководство не претендует на полноту изложения теоретических основ методики, имея своей единственной целью облегчить работу преподавателей и дать начинающему в руки подробное пособие, из которого он почерпнет все, что ему необходимо для практического освоения работы с данным прибором.

Количество часов (28), выделяемое на федоровский метод по существующей программе геолого-разведочных вузов, достаточно только для освоения методики определения плагиоклазов на четырехосном столике и зональным методом. Поскольку данное пособие позволит сократить время на разбор практических приемов работы, освободившиеся часы дадут возможность познакомить учащихся с методикой определения кали-натровых полевых шпатов и цветных минералов, что является очень важным при настоящем уровне методики петрографического исследования. Лица, овладевшие элементарными приемами работы со столиком Федорова, без труда смогут работать дальше самостоятельно и совершенствовать свои знания, пользуясь подробными руководствами Г. М. Саранчиной, В. С. Соболева и др.

При составлении настоящего руководства и при его обсуждении учтены многочисленные советы и критические замечания профессоров Е. А. Кузнецова, В. А. Николаева, доцентов И. Ф. Трусовой, С. Д. Четверикова и коллектива кафедры петрографии МГРИ. Автор приносит им свою благодарность.

# 1. ИСТОРИЯ СТОЛИКА ФЕДОРОВА, ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ И УСТРОЙСТВО

## § 1. ИСТОРИЯ СТОЛИКА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

В конце прошлого столетия, когда у нас, и в особенности за рубежом, в странах Западной Европы, широко и разносторонне развивалась методика исследования оптических свойств минералов в горных породах, встал вопрос о необходимости наиболее тщательного подхода к определению плагиоклазов. Особое значение плагиоклазов для диагностики магматических горных пород требовало метода, который позволил бы быстро и точно определять состав плагиоклаза в данной породе. Разработкой этого вопроса занялись многие петрографы. Усовершенствование оптических методов определения плагиоклазов заключалось главным образом в отыскании способа наиболее быстрого получения возможно более полных и точных данных относительно ориентировки оптического эллипсоида в кристалле.

В развитии этого метода можно наметить ряд последовательных этапов: измерение углов погасания в спайных зернах (Шустер), измерение этих углов в определенно ориентированных сечениях в шлифах (методы Бекке-Беккера, Мишель-Леви, Фуке) и т. д. Решительный поворот в этом направлении был произведен Е. С. Федоровым, применившим для определения плагиоклазов принцип теодолитной установки.

Евграф Степанович Федоров родился в 1853 г. в г. Оренбурге (Чкалов). В 1872 г. закончил Петербургское военно-инженерное училище. Но не пожелав оставаться военным, продолжал учение — сначала в Военно-медико-хирургической академии, затем в Технологическом институте. Позднее Федоров увлекся геометрией и кристаллографией. В возрасте 27 лет он поступил в Петербургский горный институт, который окончил в 1883 г. первым по списку с занесением на мраморную доску. Им была сконструирована модель двукружного гониометра, а затем универсального столика.

В 1893 г. вышла из печати его работа «Теодолитный метод в минералогии и петрографии», а в 1895 г. он был приглашен



в Москву в Сельскохозяйственный институт (Петровскую Академию). Здесь только и началось признание его научных заслуг.

Сущность устройства столика Федорова заключается в том, что на столике микроскопа плотно укрепляется система вложенных друг в друга концентрических колец с вращением вокруг трех взаимно перпендикулярных осей. Шлиф, помещенный в центре этой системы, приобретает возможность различного наклона относительно плоскости столика микроскопа. Это дает возможность совмещения с оптической осью микроскопа любого направления в исследуемом зерне минерала, а также определения пространственного положения любых линий и плоскостей в кристалле.

Чтобы избежать обязательного при этих наклонах сильного преломления лучей, падающих под углом к плоскости шлифа, последний помещается между двумя стеклянными сегментами из оптического стекла. Тогда при любом наклоне шлифа свет будет падать перпендикулярно к поверхности сферы. Если подобрать показатель преломления стекла, близкий к показателю преломления минерала, преломление можно устранить. Для этой же цели, чтобы не было сильно преломляющей воздушной прослойки между стеклянными сегментами и шлифом, последний приклеивается глицерином.

Наименования осей в федоровском столике сохранены первоначальные, введенные Е. С. Федоровым: *I*, *M*, *H* и *N*. *I* — неподвижная ось (Immobilachse); *M* — подвижная ось (Mobilachse); *H* — вспомогательная ось (Hilfsachse) и *N* — нормальная ось (Normalachse).

Первые столики имели всего две взаимно перпендикулярные оси: неподвижную *I* и подвижную *M*. Позднее Е. С. Федоровым были прибавлены сначала вспомогательная ось *H*, затем нормальная ось *N*, повторявшая во внутреннем кольце направление оси *M*.

Эти первые модели были весьма примитивны, с маленькими и неуклюжими стеклянными сегментами.

Дальнейшие усовершенствования были сделаны учениками Е. С. Федорова — В. В. Никитиным, Е. Д. Стратоновичем, М. А. Усовым, а позднее проф. В. Н. Лодочниковым и академиком А. Н. Заварицким.

Универсальный столик — наш отечественный прибор, и хотя изготовлять его приходилось за границей, он не получил широкого распространения в Западной Европе.

Некоторые петрографы (как например Бекке) вообще отнеслись отрицательно к его появлению. Сначала универсальный столик появился во Франции (Руководство Л. Дюпарка, на французском языке, изд. 1907 г.), затем в Германии, Швейцарии и только после 20-х годов нашего века прибор начал применяться в Америке.

В Америке Эммонс изменил конструкцию столика, прибавив к нему еще одну ось (пятую), позволившую освободиться от графических операций и ускоряющую процесс работы. Но Эммонс до конца не разработал методику работы с пятиосным столиком. Это было сделано академиком А. Н. Заварицким. Им были разработаны диаграммы для работы с пятиосным столиком, что явилось логическим завершением совершенствования федоровского столика, к которому наука пришла через 50 лет после возникновения его в его первоначальной форме.

Применяя федоровский метод для определения плагиоклазов, русские исследователи давно пользовались универсальными столиками как средством для отыскания определенных сечений в исследуемых зернах.

Еще более 40 лет назад в Ленинградском горном институте ученики Е. С. Федорова пользовались федоровским столиком для определения плагиоклаза по углам угасания в симметрической зоне разрезов, перпендикулярных (010), и в сечениях, перпендикулярных оси (100). Давно применяя эти приемы, русские ученые не рассматривали их как особый метод, а видели в них только использование федоровского столика для нахождения сечений, в которых может быть определен плагиоклаз. Только в 1929 г., т. е. через 20 лет после того, как этим приемом начали пользоваться русские петрографы, в Германии вышла работа Ритмана «Зональный метод», в которой эти приемы были изложены как новый метод зон и где были систематизированы все случаи применения сечений зон, перпендикулярных (010) и (001) (Эта работа была переведена на русский язык в 1931 г. Ю. А. Кузнецовым в г. Томске.) В настоящее время универсальный столик Федорова широко применяется в петрографии, как для определения и изучения плагиоклазов и кали-натровых полевых шпатов, так и для определения важнейших констант цветных минералов.

Первое время, пока учащийся еще не освоил метода, установка прибора отнимает довольно много времени, а затем при выработавшемся навыке она занимает не более 15—20 мин. Применение зонального метода сокращает операцию в несколько раз, причем на точности работы это почти не отражается.

## § 2. УСТРОЙСТВО СТОЛИКА

Первые, примитивные модели столика Федорова отличались малыми размерами, приспособленными к небольшим микроскопам того времени, и имели очень маленькие и неудобные стеклянные сегменты. Появившаяся позднее модель федоровского столика к микроскопам фирмы Фюсс несколько крупнее и более совершенна, но сейчас и она полностью вышла из употребления, как и сами микроскопы фирмы Фюсс. Столики к микроскопам Лейтц и Винкель-Цейс, сконструированные в конце



30-х годов нашего столетия, уже представляют собой современные модели, на которых работа ведется и сейчас.

Кроме зарубежных федоровских столиков, имеются модели четырех- и пятиосных столиков отечественного производства к микроскопам марки МП и МИН, изготовляющиеся на заводе ФЭЗ, ФС и ФСБ ООМЗ треста «Русские самоцветы» в Ленинграде.

Ниже описывается устройство современного столика Федорова (рис. 1) завода ООМЗ.

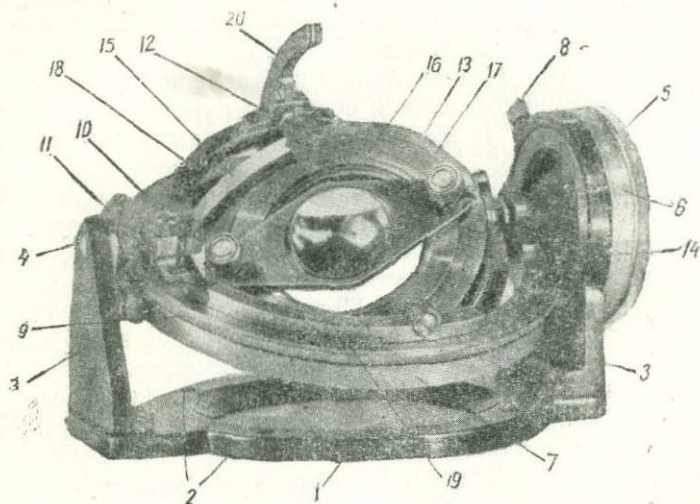


Рис. 1

Основанием столика служит плоское металлическое кольцо (1) с двумя (или четырьмя) отверстиями (2) для винтов, прикрепляющих прибор к столику микроскопа. По бокам кольца укреплены две металлические стойки (3), в которых на горизонтальной оси *I* (4) укреплен сам столик, т. е. вся система концентрических колец.

При правой стойке имеется круглая рукоятка (5), с помощью которой вся система колец может вращаться около оси *I*. Рукоятка снабжена вертикальным лимбом с делениями (6) для отсчетов наклона по оси *I*. Каждое деление на лимбе соответствует одному градусу окружности. Отсчеты ведутся от нуля на лимбе вверх или вниз до  $90^\circ$  (повороты на больший угол около оси *I* не производятся). При записи отсчета замечают, какое деление лимба совпадает с нулевым делением неподвижного нониуса на стойке. Деления «вниз» отсчитываются тогда, когда система концентрических колец столика поворачивается около оси *I* от себя.

На некоторых столиках деления от  $0$  до  $90^\circ$  нанесены на лимбе только вниз, а вверх отложены деления от  $360$  до  $270^\circ$ .

При нулевом положении оси  $I$ , т. е. когда нулевые деления нониуса и лимба совпадают, внешнее кольцо  $K$  (7) концентрической системы столика находится в плоскости, параллельной плоскости столика микроскопа.

(На столике системы Винкель-Цейс отсчеты на лимбе оси  $I$  нанесены вниз от нуля до  $120^\circ$ , а вверх — от  $360$  до  $300^\circ$ . Цифры стоят через  $20^\circ$ , а каждое деление лимба равно  $2^\circ$ . Отсчеты берутся по нониусу, строение которого представлено на рис. 2. На нониусе нанесены  $2^\circ$ . Каждое деление таким образом соответствует  $5'$ . Наблюдается совпадение черточек нониуса с делениями лимба. Получается отсчет в градусах и минутах.)

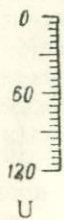


Рис. 2

Ось  $I$  закрепляется неподвижно зажимом винта  $i$  (8), находящегося сбоку на рукоятке оси  $I$  (в столиках Винкель зажим находится на левой стойке).

На оси  $I$  неподвижно укреплено металлическое кольцо  $K$  (внешнее кольцо в системе концентрических колец столика). В него вставлено кольцо  $M$  (9), свободно вращающееся в своей плоскости в кольце  $K$ , около вертикальной оси  $M$ , перпендикулярной оси  $I$ . Поворот кольца  $M$  в кольце  $K$  отсчитывается по лимбу (10), нанесенному вокруг всего кольца  $M$  от  $0$  до  $360^\circ$  (внешний лимб столика) против часовой стрелки. Ноль нониуса расположен на кольце  $K$  вблизи края левой стойки столика. Ось  $M$  закрепляется неподвижно зажимом винта  $m$ , помещенного в столиках МП-2 на кольце  $K$  у нониуса (11). В столиках системы Лейтц и Винкель этот винт венчает собой правый конец оси  $I$  в центре рукоятки. (У столиков Винкель вместо винта ось  $M$  зажимается особым ключом, хранящимся в ящичке столика.)

Кольцо  $M$  несет две цапфы  $H-H$  (12) с зажимным винтом  $h$ , на которых на оси  $H$  укреплено внутреннее кольцо столика (13). Для отсчета углов наклона этого внутреннего кольца около оси  $H$  на кольце  $M$  укреплены две откидные дужки: правая (14) и левая (15), с делениями на них от нуля (внизу) до  $50$  или  $60^\circ$ . На краю внутреннего кольца имеются соответствующие указатели, по которым берутся отсчеты в градусах. Отсчет по оси  $H$  называют левым, когда он берется по левой дужке, и правым, когда он берется по правой дужке. При нулевых отсчетах по правой и левой дужкам внутреннее кольцо параллельно оси  $I$ .

(На столиках системы Винкель вместо дужек отсчеты берутся на полудиске, находящемся у передней цапфы  $H$ . Деления на полукруглой шкале (рис. 3) нанесены через  $5^\circ$  от нуля влево и вправо — на  $80^\circ$ . На неподвижном нониусе деления через  $1/2^\circ$  на  $5^\circ$  влево и вправо.  $45^\circ$  шкалы отвечают пяти делениям на нониусе, что дает возможность брать отсчеты с точностью до  $0,1^\circ$ .)

Во внутреннем кольце расположено кольцо (16), вращающееся вокруг оси  $N$ , всегда перпендикулярной плоскости шлифа.



Для отсчетов поворота кольца  $N$  на внутреннем кольце имеется лимб с делениями от 0 до 360° по часовой стрелке, а на кольце  $N$ , соответственно, указатель в виде черточка с точкой. (На столике системы Винкель черточек на лимбе несколько и указателем служит наиболее длинная.)

Итак, столик Федорова имеет следующие оси:

- Ось  $I$  — зажим  $i$ . Отсчет по вертикальному лимбу вверх и вниз от 0 до 90°, или вниз от 0 до 90°, а вверх от 360 до 270°.
- Ось  $M$  — зажим  $m$ . Отсчет по внешнему горизонтальному лимбу  $K$  (этой осью пользуются редко).
- Ось  $H$  — зажим  $h$ . Отсчет по дужкам правой и левой (или по полудиску — у столиков Винкель).
- Ось  $N$  — зажима нет. Отсчет по внутреннему горизонтальному лимбу (17) и кольца  $N$ .

Ось  $M$  имела большое значение в первоначальных двух- и трехосных моделях столика. Теперь она применяется при исследовании одноосных минералов и необходима при работе на пятиосных столиках. При определении двусосных минералов на четырехосном столике она полностью утратила свое практическое значение, являясь лишь проверочной осью при установке столика.

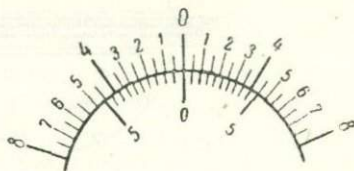


Рис. 3

Кроме описанных четырех осей, в работе со столиком Федорова участвует также ось вращения столика микроскопа  $A$  с зажимом  $a$ , помещенным под столиком микроскопа слева или справа.

Перед началом работы федоровский столик должен быть установлен таким образом, чтобы оси  $I$  и  $H$  лежали в плоскости, параллельной плоскости столика микроскопа, и перпендикулярно друг другу, а оси  $M$  и  $N$  совпадали друг с другом и были перпендикулярны к плоскости осей  $I$  и  $H$ . Для этого все оси закрепляются на нулевых отсчетах (ставятся в нулевое положение), кроме оси  $M$  на столиках Лейтц и Винкель, для которой в этих моделях исходное положение не 0, а 90°.

Рукоятка оси  $I$  у работающего на столике должна быть расположена справа, тогда деления на откидных дужках будут повернуты к наблюдателю. Внутренний лимб (лимб оси  $N$ ) обычно в столиках МП-2, МИН и Лейтц стоит так, что 0° на нем находится внизу (или спереди) кольца, и только в столиках Винкель 0° находитсяверху кольца, а внизу (спереди) стоит цифра 180°.

В столиках к микроскопам системы МП-2 и МИН имеется еще дополнительная, пятая ось  $K$ , введенная Эммонсом. Она также горизонтальна и при нулевом положении оси  $M$  параллельна оси  $I$ . Располагается пятая ось между внешним кольцом  $K$

и внутренним кольцом *H*. Цапфы ее находятся на кольце *M* и к ней неподвижно прикреплено промежуточное кольцо (18), несущее цапфы *H—H*. Таким образом, ось *M* всегда перпендикулярна пятой оси и лежит с ней в одной плоскости. Зажим пятой оси находится при ее левой цапфе, а отсчеты наклонов по ней внутреннего кольца с осями *H* и *N* берутся по второй паре откидных дужек (19 и 20), укрепленных на кольце *M*.

В центре системы концентрических колец столика помещается шлиф, укрепляющийся между двумя стеклянными сегментами. Сегменты рассчитаны так, что вместе со шлифом, при условии нормальной толщины предметного стекла, они образуют оптически единую сферу (рис. 4). Исследуемое зерно, находящееся в кресте нитей окуляра, будет лежать в центре сферы и

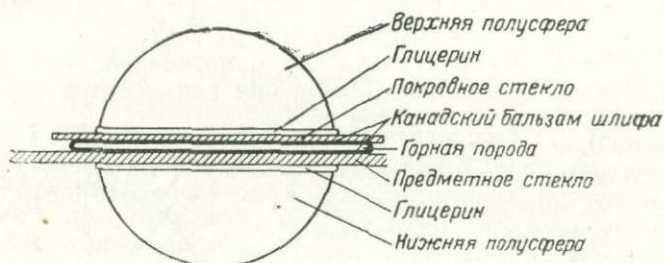


Рис. 4

одновременно в фокусе объектива при любом повороте осей столика. Для шлифов с ненормальной толщиной предметного стекла в пятиосных столиках (к микроскопам МП и МИН) с нижней стороны внутреннего кольца имеется так называемый штурвал, вращая который можно поднимать или опускать внутреннее кольцо столика и, таким образом, регулировать положение центра шлифа относительно фокуса объектива. В столиках Лейтца вместо штурвала имеется ключ, при помощи которого производится регулировка по тому же принципу.

Стеклянные сегменты вправлены в металлические оправы, причем верхний имеет оправу веретенообразной формы, а нижний — круглую. Для точности работы важно, чтобы показатели преломления стекла сегментов, по возможности, были близки показателю преломления исследуемого минерала. Для этого при каждом столике имеется набор сегментов (см. таблицу на странице 11).

Само собой разумеется, что при сборке сегментов необходимо следить, чтобы оба сегмента были взяты с одинаковой величиной показателя преломления.

Для большей точности работы вводится поправка на различие показателей преломления минерала и сегмента. Эта поправка очень простая и описана в учебниках федоровского метода



	Показатели преломления сегментов для микроскопов:		
	МП и МИН	Лейтц	Винкель
Употребляются для работы с основными и средними плагиноклазами .	1,548	1,557	—
Употребляются для работы с кислыми плагиноклазами и кали-натровыми полевыми шпатами . . . . .	1,516	1,516	1,517
Употребляются для работы с цветными минералами . . . . .	1,647	1,648	1,649

А. К. Подногина (11) на стр. 14—15 и у Е. А. Кузнецова (6) на стр. 8—9, где даны соответствующие диаграммы этих поправок.

### § 3. ПОДГОТОВКА СТОЛИКА ФЕДОРОВА К РАБОТЕ

Подготовка к работе заключается в проверке положения всех осей столика, в сборке сегмента и накладке шлифа.

1. Проверка положения осей столика. Прежде чем производить сборку сегментов рекомендуется установить все оси столика в нулевое положение, кроме оси *N*, которая в нулевое положение не ставится, и оси *M* на столиках системы Лейтц, для которых основным положением, как уже было сказано выше, является положение  $90^\circ$ .

2. Сборка сегментов и накладка шлифа. Сборка производится различно для разных систем столиков. При этом:

а) для всех систем без исключения должна быть подобрана пара сегментов с соответствующей величиной показателя преломления *n*;

б) оба сегмента и шлиф должны быть протерты чистой тряпочкой, смоченной спиртом.

*Сборка сегментов и накладка шлифа в столиках ФЭС со стеклянным диском и в столиках Лейтц:*

1) В кольцо *N* вкладываем стеклянный диск, находящийся в коробке столика, предварительно протертый спиртом.

2) На середину стеклянного диска при помощи капельника помещаем **первую** каплю глицерина.

3) Накладываем шлиф, помещая его сначала ребром длинной стороны на стекло диска, а затем осторожно опуская на глицерин, чтобы в последний не попали пузырьки воздуха, вытесняемые из-под шлифа (наличие таких пузырьков в глицерине вызывает явление полного внутреннего отражения и крайне затрудняет работу). Шлиф должен быть положен покровным сте-

клом вверх, при этом его длинная сторона должна располагаться поперек к оправе верхнего сегмента.

4) На покровное стекло шлифа помещаем **вторую** каплю глицерина.

5) Двумя винтами привинчиваем верхний сегмент.

6) Поворачиваем внутреннее кольцо столика вокруг оси  $H$  на  $180^\circ$ .

7) На середину стеклянного диска помещаем **третью** каплю глицерина.

8) Накладываем нижний сегмент. В столиках ФЭС он держится только сцеплением частичек глицерина. В столиках Лейтц, опустив на глицерин нижний сегмент, поворачиваем его так, чтобы два металлических стержня на его оправе подошли под придерживающие их пластинки, прикрепленные на нижней стороне кольца  $N$ .

9) Поворачиваем кольцо  $N$  снова на  $180^\circ$  вокруг оси  $H$  и устанавливаем ось  $H$  в нулевое положение.

*Сборка сегментов и накладка шлифа в столиках ФС, ФС5 без стеклянного диска (последние модели):*

1) В кольцо  $N$  вкладываем нижний сегмент (плоской поверхностью кверху).

2) В центр плоскости нижнего сегмента помещаем **первую** каплю глицерина.

3) Накладываем шлиф так же, как было указано выше, покровным стеклом вверх.

4) Помещаем на покровное стекло шлифа **вторую** каплю глицерина.

5) Двумя винтами привинчиваем верхний сегмент.

*(Сборка сегментов и накладка шлифа в столиках системы Винкель-Цейс.*

1) Внутрь кольца  $N$  вкладываем нижний сегмент, причем нужно следить, чтобы нигде не было перекосов и все части сегмента и столика плотно прились на места. Нижний сегмент имеет круглую оправу с небольшим радиусом. Вкладывать сегмент нужно плоской стороной кверху.

2) В центр плоской стороны сегмента помещаем **первую** каплю глицерина.

3) На глицерин опускаем стеклянный диск из тонкого стекла, предварительно протерев его спиртом.

4) На середину стеклянного диска помещаем **вторую** каплю глицерина.

5) Накладываем шлиф так, как было указано выше, покровным стеклом вверх.

6) На покровное стекло шлифа кладем **третью** каплю глицерина.

7) Двумя винтами привинчиваем верхний сегмент.)



#### § 4. ПОДГОТОВКА МИКРОСКОПА К РАБОТЕ СО СТОЛИКОМ ФЕДОРОВА

##### Подготовка микроскопов МП, Лейтц и Винкель

1. Обычным порядком устанавливаем микроскоп и наводим свет при помощи специального осветителя или лампы.

2. Проверяем, правильно ли вставлен окуляр и хорошо ли в нем видны нити. Для работы со столиком Федорова следует выбирать наиболее сильно увеличивающие окуляры:  $8\times$ ;  $12,5\times$  и другие более сильные.

3. Вставляем объектив. Объективы для работы с федоровским столиком годятся только длиннофокусные, которым не мешает значительный размер верхнего сегмента. В микроскопах Винкель и Лейтц пользуются объективами 0, 1 и 2 или специальными. Для отечественных микроскопов имеются специальные объективы  $3,7\times$  и  $5,5\times$ , хранящиеся в ящике федоровского столика. Чтобы с этими объективами иметь полностью освещенное поле зрения, надо работать или вообще без конденсора или со вставленным специальным конденсором. В микроскопах МП-2 этот конденсор с апертурой  $A=0,22$  накладывается в осветительный аппарат сверху.

4. Тщательно центрируем объектив.

5. Тщательно проверяем скрещенность николей.

6. Проверяем, перпендикулярны ли нити в окуляре и совпадают ли они с направлениями колебаний в николях. Для этого следует взять шлиф с биотитом и проверить, дает ли биотит с вертикальной нитью окуляра прямое угасание, а также получается ли  $90^\circ$  при повороте спайности биотита от вертикальной нити до совмещения с горизонтальной, т. е. дает ли биотит по горизонтальной нити также прямое погасание. Если же окуляр вставлен правильно и николи скрещены, а биотит прямого угасания не дает, микроскоп необходимо проверить, прежде чем начинать на нем работу со столиком Федорова.

7. Для работы с цветными минералами необходимо определить еще и направление световых колебаний, вышедших из анализатора и поляризатора. С этой целью также используется шлиф с биотитом. Зная, что у биотита  $N_g=Nm$  и совпадает с направлением спайности и что формула его абсорбции  $N_g=Nm \gg N_p$ , находим в шлифе сечение биотита с хорошо заметной спайностью и резким плеохроизмом; ставим его на крест нитей и находим для него положение наибольшей интенсивности окраски (без анализатора). Наибольшая интенсивность окраски будет тогда, когда ось  $N_g$  биотита, идущая по спайности, совместится с направлением колебаний в поляризаторе.

8. Проведя подготовку микроскопа к работе, ставим его в вертикальное положение, снимаем со столика зажимы, вынимаем внутренний круг столика и поднимаем повыше тубус.

## Подготовка микроскопов МИН

В микроскопах МИН для установки столика Федорова нужно столик микроскопа опустить ниже, с чего и надо начать подготовку этих микроскопов (МИН-4, МИН-5, МИН-6) к работе со столиком Федорова.

1. Опускаем вниз осветительный аппарат, слегка сгибаем тубус микроскопа и поворачиваем его столиком к себе. Справа на штативе осветительного аппарата имеется небольшой винт. Отвинчиваем его и снимаем осветительный аппарат. На конце стержня тубусодержателя (с которого сняли осветительный аппарат) имеется полукруглый упор. Этот упор должен войти в прорезь колодки осветительного аппарата, специально расположенную на 12—15 мм выше края колодки. В таком положении осветительный аппарат оказывается опущенным ниже прежнего положения, а под столиком микроскопа, на стержне тубусодержателя, освобождается некоторое пространство, которое дает возможность опустить и столик микроскопа. Завернув винт, укрепляем осветительный аппарат в новом положении.

2. Меняем конденсор, находящийся сверху на осветительном аппарате. Линза Лазо при этом, как и при всей работе со столиком Федорова, должна быть откинута в сторону. Вместо обычного конденсора с апертурой  $A=0,94$ , применяется специальный конденсор с апертурой  $A=0,22$ , большего диаметра, с цилиндрической оправой. Конденсоры легко вдвигаются и выдвигаются на салазках.

3. После того как конденсор сменен, открепляем винт, находящийся слева под столиком микроскопа, и осторожно поднимаем столик вниз по тубусодержателю на все свободное пространство, освободившееся над осветительным аппаратом. После того как столик опущен, закрепляем винт.

4. Поворачиваем микроскоп в обычное положение и производим всю остальную подготовку его к работе со столиком Федорова так, как уже было описано для других микроскопов (см. § 4, стр. 13).

### § 5. УСТАНОВКА СТОЛИКА ФЕДОРОВА НА МИКРОСКОП

1. Установка федоровского столика производится обязательно при вертикальном положении микроскопа.

2. Прежде чем ставить столик на микроскоп, следует поднять повыше тубус микроскопа и повернуть столик так, чтобы нуль левого нониуса столика микроскопа совместился с нулем лимба федоровского столика. В микроскопах Винкель и Лейтц нужно установить нулевую точку нониуса на  $40^\circ$  лимба столика. Тогда отверстия для винтов, предназначенных для укрепления на микроскопе федоровского столика, расположатся у микроскопов Винкель и Лейтц в плоскости симметрии микро-



скопа, а у микроскопов МП и МИН — по диагонали слева направо. Закрепим зажим *a* у столика микроскопа.

3. Осторожно поместим федоровский столик на микроскоп так, чтобы рукоятка оси *I* находилась справа.

4. Вложим винты, укрепляющие столик, в прорези и завинтим их, но не до конца, а так, чтобы столик можно было немного передвигать по столику микроскопа. На столиках ФЭС и ФС для этого служат винты с парой отверстий в головке.

5. Наведем свет (микроскоп продолжает оставаться в вертикальном положении).

6. Опустим тубус и наведем на фокус изображение шлифа.

7. Проведем центрировку федоровского столика на микроскопе, так, чтобы ось вращения столика микроскопа проходила через точку пересечения всех осей столика. Для этого, не открепляя зажима *a*, выбираем в шлифе заметную точку и, передвигая шлиф от руки между сегментами, ставим выбранную точку на крест нитей поля зрения.

Вращаем внутреннее кольцо столика со шлифом вокруг оси *N* (опираясь пальцами на винты верхнего сегмента) и замечаем окружность, которую описывает выбранная нами точка. Мысленно находим центр этой окружности и стараемся передвинуть весь федоровский столик (в пределах движения, допускаемого незажатыми винтами) на столике микроскопа так, чтобы крест нитей окуляра пришелся в центре замеченной окружности.

Повторяем эту операцию несколько раз, т. е. центрируем федоровский столик на микроскопе по обычному принципу центрировки, но не трогая центрировочных винтов объектива и не вращая столика микроскопа, а пользуясь поворотом вокруг оси *N* и передвижкой самого столика на столике микроскопа. Можно заметить, что эта передвижка обычно возможна или слева направо, или на себя и от себя. Комбинируя эти движения, можно легко достичь цели.

8. Добившись точной центрировки, следует затянуть до отказа крепежные винты у столика, причем в моделях ФЭС и ФС для этого существуют специальные ключи, надевающиеся на головки винтов с отверстиями (после затяжки винтов эти ключи следует снять и убрать обратно в ящик). В моделях МИН для затяжки винтов имеются специальные металлические шпильки, продевающиеся сквозь головку зажимного винта. Затяжку винтов рекомендуется производить очень осторожно, смотря в микроскоп, так как при этом очень легко сдвинуть столик и нарушить установленную центрировку.

9. Установим основное положение оси *I*<sup>1</sup>, т. е. совместим ось *I* с горизонтальной нитью окуляра или с направлением световых колебаний в одном из николей. Для этого:

<sup>1</sup> Значительно удобнее и точнее метод «пылинок» (п. 11), не требующий снятия объектива и прочих операций. — Прим. ред.

- 1) осторожно вынимаем объектив из тубуса;
- 2) поднимаем тубус микроскопа возможно выше;
- 3) опускаем осветительный аппарат вниз;
- 4) открепляем зажим  $i$  и поворачиваем кольцо  $K$  около оси  $I$ , пока оно не встанет на ребро перпендикулярно плоскости симметрии микроскопа;
- 5) включаем линзу Бертрана;
- 6) направляем источник света на верхний край ребра кольца  $K$ ;
- 7) рассматриваем в микроскоп ребро кольца  $K$  и, открепив зажим  $a$ , поворачиваем столик микроскопа так, чтобы линии плоскости кольца  $K$  стали параллельно горизонтальной нити окуляра. Закрепляем зажим  $a$ ;
- 8) записываем отсчет на обоих нониусах столика микроскопа и обозначаем его  $I_0$ . Например: левый  $I_0=2^\circ$ , правый  $I_0=92^\circ$ .

Этот отсчет постоянный. По нему ставится столик микроскопа в основное положение в течение всей дальнейшей работы с данным прибором;

9) поворачиваем рукоятку оси  $I$  в нулевое положение и закрепляем зажим  $i$ , т. е. возвращаем кольцо  $K$  в первоначальное горизонтальное положение;

10. Проверяем положение оси  $H$ . Эта ось при правильной установке столика должна быть строго перпендикулярна оси  $I$ , т. е. должна совпадать с вертикальной нитью окуляра или с направлением световых колебаний в другом никеле. Для проверки положения оси  $H$  продельваем следующее:

1) открепляем зажим  $h$  и поворачиваем на ребро внутреннее кольцо  $N$  столика (поворотом вокруг оси  $H$ );

2) рассматриваем в микроскоп изображение края ребра  $N$ , который должен совпасть с вертикальной нитью окуляра. Если положение кольца  $N$  неправильное и вертикальная нить расположена под некоторым углом, это может означать, что:

- а) нити окуляра не перпендикулярны друг другу,
- б) неправильно установлена ось  $I$  ( $I_0$ ),
- в) неправильно установлено кольцо  $K$  по оси  $M$ ,
- г) ось  $H$  не перпендикулярна оси  $I$ .

В первых трех случаях причиной является неаккуратная подготовка микроскопа и федоровского столика к работе. Эта причина легко устранима. В четвертом случае, после того как еще раз проверена вся установка, следует открепить зажим  $m$  и повернуть кольцо  $M$  вокруг оси  $M$  до совмещения ребра кольца  $N$  с вертикальной нитью окуляра и записать отсчет  $M_0$ . Это значит, что допущена ошибка в конструкции столика и, устанавливая его в рабочее положение, следует ось  $M$  ставить не на 0 или  $90^\circ$ , а на отсчет  $M_0$ , так как только тогда оси  $I$  и  $H$  будут взаимно перпендикулярны и расположены правильно;

3) поворотом около оси  $H$  возвращаем кольцо  $N$  в горизонтальное положение и закрепляем зажим  $h$ ;



4) возвращаемся к обычной установке микроскопа, т. е. выключаем линзу Бертрана, вставляем объектив, опускаем тубус микроскопа, поднимаем вверх нижний осветительный аппарат. При этом диафрагма должна быть открыта, линза Лазо выключена, анализатор включен.

После этого можно наклонить микроскоп, навести свет и приступить к работе над исследованием минерала.

11. Проверяем положение осей  $I$  и  $H$  по пылинкам. Установку и проверку положения осей  $I$  и  $H$  на столике микроскопа можно производить и другим способом — не включая линзу Бертрана и не вынимая объектива. Для этого достаточно поднять тубус микроскопа при помощи микрометричного винта так, чтобы в фокусе оказалось не изображение шлифа, а мелкие пылинки на поверхности верхнего сегмента. Замечаем одну из пылинок и вращаем столик около оси  $I$ . Пылинка должна передвигаться параллельно вертикальной нити окуляра. Если ее движение происходит по линии, образующей угол с вертикальной нитью, открепляем зажим  $a$  столика микроскопа и поправляем положение столика, пока все пылинки, находящиеся в фокусе, не будут при вращении около оси  $I$  передвигаться параллельно вертикальной нити окуляра. Закрепляем в новом положении столика зажим  $a$  и записываем отсчеты  $I_0$  по правому и левому нониусам столика микроскопа.

Так же можно проверить и положение оси  $H$ : при вращении вокруг оси  $H$  пылинки должны передвигаться параллельно горизонтальной нити окуляра.

12. Проверяем центрировку столика при наклонах около оси  $H$ . Часто при работе со столиком Федорова начинающие сталкиваются с тем, что тщательно отцентрированный столик во время работы оказывается совсем не центрированным. Обычно это наблюдается при наклонах около оси  $H$ , в то время как при нулевом положении кольца  $H$  первоначальная точная центрировка как будто восстанавливается. Это явление «нецентрированности» объясняется тем, что, вследствие нестандартной толщины предметных стекол шлифа, точка пересечения всех осей столика часто не совпадает с плоскостью шлифа, а располагается выше ее или ниже, т. е. шлиф оказывается не в центре единой оптической сферы.

Если при наклонах по оси  $H$  заметна значительная «расцентрированность», следует поставить кольцо  $H$  вертикально (так, как описывалось в п. 10, § 5) и, удерживая кольцо  $N$  от вращения, левой рукой придерживая винты оправы верхнего сегмента, правой рукой поворачивать штурвал.

Если толщина предметного стекла шлифа больше средней нормы, т. е. при наклонах около оси  $H$  замеченная в шлифе точка движется против наклона кольца  $H$ , то штурвал следует вращать против часовой стрелки, тогда плоскость шлифа в столике опустится. Если же, наоборот, предметное стекло очень

тонко и плоскость шлифа находится ниже точки пересечения осей столика, т. е. при наклоне около оси  $H$  замеченная точка движется в ту же сторону, куда наклоняется кольцо  $H$ , то, чтобы поднять уровень шлифа, требуется вращать штурвал по часовой стрелке. Эту операцию можно проделать несколько раз, пока при всех наклонах около оси  $H$  центрировка столика заметно нарушаться не будет.

Работа со столиком Федорова, как и всякая работа с точными приборами, требует внимательного и аккуратного выполнения. Поэтому необходимо строго придерживаться установленного порядка работы, каждый раз тщательно производить всю проверку как микроскопа, так и столика Федорова, содержать прибор в чистоте. Неряшливость в установке прибора непременно приводит к ошибкам в процессе работы, в результате чего весь ход определения констант минерала может оказаться неверным и будет только напрасно потеряно время.

Необходимо также содержать в порядке свое рабочее место. После окончания сборки прибора следует убрать на место пузырьки со спиртом и глицерином, отставить футляр федоровского столика, положив в него все подсобные части прибора, а также вынутые из столика микроскопа внутренний круг и зажимы.

Со стола необходимо убрать все лишнее, так как должно быть достаточно места для произведения записей и для работы с накладкой на сетке Вульфа. Рекомендуются иметь несколько цветных карандашей, резинку и т. п. Авторучки, постоянно пачкающие сетки Вульфа и другие применяющиеся пособия, следует из употребления исключить.

## II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАГИОКЛАЗОВ НА СТОЛИКЕ ФЕДОРОВА

### § 6. ОПТИЧЕСКАЯ ИНДИКАТРИСА КРИСТАЛЛОВ

Для определения минерала на федоровском столике прежде всего нужно определить положение его индикатрисы относительно осей  $N$ ,  $H$  и  $I$  федоровского столика.

Оптической индикатрисой называется некоторая условная поверхность в кристалле, получающаяся при отложении отрезков, пропорциональных величинам показателей преломления  $n$  вещества, в направлении колебания электрического вектора соответствующей световой волны, перпендикулярном к направлению распространения той же волны.

Эти отрезки обратно пропорциональны скорости света в тех же направлениях:

$$n = \frac{1}{V}.$$

В изотропных веществах, имеющих только один показатель преломления, величина которого не зависит от направления све-



товых волн, оптическая индикатриса имеет форму шара. Такая форма индикатрисы свойственна всем кристаллам кубической сингонии.

В анизотропных веществах, где скорость света, а следовательно, и величина показателя преломления изменяются с положением световых колебаний, оптическая индикатриса имеет форму эллипсоида. В кристаллах средних сингоний — гексагональной, тетрагональной и тригональной — оптическая индикатриса представляет собой эллипсоид вращения (одноосные кристаллы). Ось вращения эллипсоида в кристалле всегда направлена по оси симметрии  $L^6$ ,  $L^4$  или  $L^3$ . Все сечения такой индикатрисы эллиптические, кроме единственного кругового сечения, перпендикулярного оси вращения эллипсоида.

Если световая волна распространяется по направлению оси вращения эллипсоида, т. е. перпендикулярно круговому сечению, то световые колебания, как и в изотропном веществе, происходят в плоскости круга, где все радиусы равны, т. е. соответствуют показателю преломления  $n_0$  одной единственной обыкновенной волны ( $o$ ), т. е. круговое сечение эллипсоида является сечением изотропным. Направление, перпендикулярное круговому сечению, называется оптической осью кристалла. В одноосных кристаллах единственная оптическая ось всегда совпадает с осью вращения эллипсоида.

При всяком ином направлении распространения света световые колебания будут совершаться в плоскости эллиптического сечения, поэтому всегда будут получаться две волны — обыкновенная ( $o$ ) и необыкновенная ( $e$ ). Колебания электрического вектора обыкновенной волны будут всегда совершаться в плоскости кругового сечения, а необыкновенной — перпендикулярно ему, т. е. в плоскости оптической оси. Откладывая величины показателей преломления по этим плоскостям для разных направлений световых волн, получим величины полуосей разных эллиптических сечений. Одна из них будет постоянной и равна  $N_0$ , другая будет иметь разные значения  $N_{e1}$ . Одноосная оптическая индикатриса имеет две оси: наибольшая ось обозначается  $Ng$ , наименьшая —  $Np$ .

Возможны два типа одноосной индикатрисы — положительный и отрицательный. Положительной оптической индикатрисой одноосных кристаллов называется индикатриса, для которой  $n_e$  больше  $n_0$ . В этом случае в направлении оптической оси будет располагаться большая ось индикатрисы  $Ng = n_e$ , а по радиусам кругового сечения  $Np = n_0$ .

Форма оптической индикатрисы — эллипсоид вращения, вытянутый по оси вращения. Отрицательной оптической индикатрисой одноосных кристаллов называется индикатриса, для которой  $n_e$  меньше  $n_0$ . Форма ее — сплюснутый по оси вращения эллипсоид. Ось  $Np$ , расположенная по оптической оси, равна  $n_e$ , а  $Ng$  — радиус кругового сечения — равен  $n_0$ .

В кристаллах низших сингоний — ромбической, моноклинной и триклинной — оптическая индикатриса имеет форму трехосного эллипсоида, имеющего три плоскости симметрии и перпендикулярно им три оси симметрии второго порядка ( $L^2$ ), которые соответствуют трем величинам показателей преломления: большая ось  $Ng$ , средняя —  $Nm$  и меньшая —  $Np$ . Симметрия такого эллипсоида будет соответствовать полногранному виду симметрии ромбической сингонии:  $3L^23PC$ .

В таком эллипсоиде все сечения, кроме двух, эллиптические. Три главных сечения, перпендикулярные осям  $L^2$ , имеют полуоси, соответствующие осям:  $Ng$  и  $Nm$ ;  $Nm$  и  $Np$ ;  $Ng$  и  $Np$ .

Трехосный эллипсоид имеет, как известно, два круговых сечения, радиусом которых будет  $Nm$ . Перпендикулярно этим круговым сечениям, как и в одноосной индикатрисе, располагаются оптические оси, которых здесь две:  $A$  и  $B$ .

Оптические оси всегда лежат в плоскости осей  $Ng$  и  $Np$ , которая называется плоскостью оптических осей. Оси  $Ng$  и  $Np$  делят пополам угол между оптическими осями и являются его биссектрисами. Ось  $Nm$  всегда перпендикулярна к плоскости оптических осей и называется оптической нормалью. Острый угол между оптическими осями называется углом оптических осей —  $2V$ .

Величина угла оптических осей и форма индикатрисы оптически двуосных кристаллов тесно связаны между собой и зависят от относительной величины показателей преломления  $ng$ ,  $nm$  и  $np$ . Так же, как и в оптически одноосных кристаллах, здесь различают положительные и отрицательные типы оптической индикатрисы.

В положительной оптической индикатрисе двуосных кристаллов величина средней оси индикатрисы  $Nm$  ближе к величине  $Np$ , чем к  $Ng$ , т. е.  $(Ng - Nm) > (Nm - Np)$ . Круговые сечения, радиус которых всегда  $Nm$ , располагаются ближе к оси симметрии  $Np$ , а оптические оси образуют острый угол с  $Ng$  ( $Ng$  — острая биссектриса,  $Np$  — тупая).

В отрицательной оптической индикатрисе, наоборот:  $(Ng - Np) < (Nm - Np)$ .

Круговые сечения располагаются ближе к оси  $Ng$ , а перпендикулярные к ним оптические оси образуют острый угол около оси  $Np$  ( $Np$  — острая биссектриса, а  $Ng$  — тупая).

В частном случае, когда угол оптических осей  $2V$  равен  $90^\circ$ , оптический знак кристалла считается неопределенным ( $\pm$ ).

Минералы группы плагиоклаза, относящиеся к триклинной сингонии, являются оптически двуосными. Величина угла оптических осей  $2V$  у них колеблется в широких пределах, часто переходя через  $90^\circ$ , с переменной оптического знака. Форма индикатрисы этой группы минералов непостоянна и зависит от состава, режима охлаждения и температуры при кристаллизации вещества.



## § 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЛАВНЫХ СЕЧЕНИЙ ОПТИЧЕСКОЙ ИНДИКАТРИСЫ

В любом произвольно выбранном зерне исследуемого в шлифе оптически двуосного минерала, за исключением того случая, когда это оказалось сечением, перпендикулярным оптической оси, плоскость шлифа будет совпадать с каким-либо эллиптическим сечением его оптической индикатрисы.

Такое сечение при повороте столика микроскопа на  $360^\circ$  четыре раза будет угасать, через каждые  $90^\circ$ , и четыре раза просветляться. Положения угасания будут наступать каждый раз, когда оси эллиптического сечения будут совпадать с направлениями световых колебаний в николях.

Если шлиф помещен на федоровском столике, оси которого находятся в исходном положении, то вращение столика микроскопа может быть заменено вращением шлифа вокруг оси  $N$ . При этом мы также будем получать четыре раза угасание и четыре раза просветление для выбранного нами зерна минерала.

Если же поворотом вокруг оси  $N$  поставить данное зерно в положение темноты и затем произвести наклон около оси  $I$ , то, в общем случае, установленная темнота сохраниться не может, так как, если ни одна из осей симметрии индикатрисы не лежит в плоскости шлифа, мы не можем совместить ее с этой плоскостью поворотом столика вокруг одной только оси  $N$ . Положение угасания может сохраниться при любом повороте вокруг оси  $I$  только в том случае, когда одна из осей индикатрисы  $Ng$ ,  $Np$  или  $Nm$  совпадет с направлением оси  $I$ , а другие две оси индикатрисы расположатся в плоскости симметрии микроскопа, перпендикулярной к этой оси. Установка такого положения сохраняющейся темноты позволит нам определить положение осей оптической индикатрисы в выбранном нами зерне.

### Установка сохраняющейся темноты

1. Выбираем зерно исследуемого минерала и ставим его на крест нитей передвиганием шлифа между сегментами. Если шлиф очень плотно зажат между сегментами, как обычно бывает на столиках фирмы Лейтц, то следует несколько ослабить винты верхнего сегмента, подвинуть шлиф и опять их закрепить.

При работе с плагиоклазами следует выбрать подходящий двойник плагиоклаза, по возможности с широкими и четко гаснущими двойниковыми полосками. На первых порах надо избегать зерен плагиоклаза с зональным строением.

2. Выбрав зерно плагиоклаза и поставив на крест нитей, зарисовываем его, стараясь точно передать форму зерна и расположение двойниковых полос. Если есть рядом примечательные очертания соседних минералов или если выбранный нами двойник имеет заметные изгибы вдоль краев, трещины и т. п., зарисовываем и их, чтобы легче было находить исследуемое зерно при различных поворотах и наклонах вокруг осей столика.

3. Выбираем пару соседних двойниковых полос, имеющих общий двойниковый шов, и обозначаем их № 1 и 2.

4. Проверяем, крепко ли шлиф держится между сегментами, так как малейший сдвиг шлифа в процессе работы меняет положение зерна относительно осей федоровского столика (если шлиф сдвинулся, всю работу по определению осей данного зерна следует начинать снова).

5. Поворачиваем столик около оси  $N$  до полного угасания выбранной нами полоски двойника кристалла.

6. Открепляем зажим  $i$  и поворачиваем столик вокруг оси  $I$ , по возможности на большие углы. При этом почти всегда наблюдается просветление исследуемой части двойника. Поворачиваем ось  $I$  на себя на максимально возможный угол и закрепляем зажим  $i$ .

7. Снова поворачиваем столик около оси  $N$  до полного погасания той же полоски двойника.

8. Открепляем зажим  $i$  и поворачиваем столик около оси  $I$  от себя снова на максимальный угол; закрепляем зажим  $i$ .

9. Поворачиваем около оси  $N$  до темноты и продолжаем ту же последовательность операций, пока при повороте по оси  $I$  исследуемая часть не перестанет просветляться. Постепенно просветление будет все более слабым и, наконец, минерал при любых поворотах оси  $I$  будет оставаться абсолютно темным. Тогда следует поворачивать по оси  $I$  в ту и другую стороны, чтобы убедиться в установке полной темноты исследуемой первой полоски двойника. Таким образом, для установки сохраняющейся темноты следует чередовать повороты на темноту по осям  $N$  и  $H$  и повороты по оси  $I$  на себя и от себя для проверки сохранения установленной темноты.

Прием	№	Установка на темноту осями	Исследование темноты осью
1-й полный прием	1		
	2		
	3		
	4		
2-й полный прием	1		
	2		
	3		
	4		

и т. д.



Сохраняющаяся темнота показывает, что одна из осей индикатрисы совпадает с осью  $I$ , а две другие располагаются в плоскости симметрии микроскопа.

10. Установив темноту, записываем отсчеты по осям  $N$  и  $H$ .

### Проверка установленной темноты на выходы оптических осей

Когда плоскость главного сечения индикатрисы найдена, следует убедиться, не является ли она плоскостью оптических осей. Для этого открываем зажим  $a$  и поворачиваем столик микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки. Закрепляем зажим  $a$ . При таком повороте установленное ранее положение осей индикатрисы перестает совпадать с направлениями световых колебаний в николях, и исследуемая часть двойника оказывается в положении наибольшего просветления.

Возможны два случая расположения осей оптической индикатрисы.

**Первый случай:** с осью  $I$  столика совпадает ось  $Nm$  оптической индикатрисы. Это значит, что с плоскостью симметрии микроскопа совпадает плоскость оптических осей индикатрисы, в которой лежат обе оптические оси и оси  $Ng$  и  $Np$  индикатрисы. В этом случае при вращении около оси  $I$  должен наступить такой момент, когда одна из оптических осей будет направлена в глаз наблюдателю (по направлению оптической оси микроскопа, а круговое (изотропное) сечение индикатрисы совпадет с плоскостью столика микроскопа, и исследуемая часть двойника окажется в положении темноты.

Для проверки положения оптической оси следует в момент темноты закрепить зажим  $i$  и поворачивать столик микроскопа. Так как плоскость кругового сечения исследуемой части совпадает с плоскостью столика микроскопа, то при вращении около оси  $A$  темнота данной части должна сохраняться все время.

После того как мы убедились в правильности нахождения оптической оси, записываем отсчет по оси  $I$  (вверх или вниз от нуля лимба, см. стр. 7, § 2). Запись отсчетов производится в виде таблички, например:

	I	II
$N$	260°	
$H$	л. 10°	
$I$	↑ 42° ↓ 38°	

При вращении около оси  $I$  темнота в этой плоскости может наступить два раза. Это значит, что в глаз последовательно попадают выходы обеих оптических осей. Тогда записываем оба отсчета по оси  $I$ .

**Второй случай:** с осью  $I$  столика совпадает не ось  $Nm$ , а ось  $Ng$  или  $Np$ . При повороте около оси  $A$  на  $45^\circ$  против часовой стрелки и при вращении около оси  $I$  темнота совсем не наступает. Исследуемая часть двойника все время остается освещенной.

Для полноты определения положения оптической индикатрисы в двойнике плагиоклаза необходимо замерить две темноты в первой и две темноты во второй части выбранного нами двойника и записать полученные данные в табличку.

### Ход работы при определении положения главных сечений оптической индикатрисы

Нахождение первого сечения:

- 1) выбираем подходящий двойник плагиоклаза;
- 2) зарисовываем его;
- 3) устанавливаем, как было показано на стр. 21—22, сохраняющуюся темноту первой половинки двойника;
- 4) записываем отсчеты по  $N$  и  $H$ , отмечая — правый или левый отсчет был сделан по оси  $H$ ;
- 5) открепляем зажим  $a$ , поворачиваем столик микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки и закрепляем зажим  $a$ ;
- 6) открепляем зажим  $i$ , вращаем по оси  $I$ .

Возможны два случая:

**Первый случай** — при вращении около оси  $I$  темнота наступает один или два раза;

а) устанавливаем ось  $I$  в положение одной темноты и закрепляем зажим  $i$ ;

б) открепляем зажим  $a$  и вращаем по оси  $A$ ; темнота должна сохраняться все время (если темнота сохраняется плохо, значит оптическая ось установлена в глаз неточно; если темнота при вращении по оси  $A$  не сохраняется — в работе допущена ошибка. Чаще всего спутаны части двойника, что нередко случается с начинающими);

в) возвращаем столик микроскопа по оси  $A$  снова в положение  $45^\circ$ , закрепляем зажим  $a$ ;

г) записываем отсчет по оси  $I$ ;

д) открепляем зажим  $i$  и поворачиваем столик около оси  $I$  до достижения второй темноты, когда вторая оптическая ось будет направлена нам в глаз; закрепляем зажим  $i$ ;

е) открепляем зажим  $a$  и вращаем столик микроскопа для проверки темноты кругового сечения индикатрисы;

ж) поворачиваем столик микроскопа до исходного положения ( $I_0$ );



з) записываем второй отсчет по оси  $I$  и отмечаем, что с направлением оси  $I$  совпадает ось  $Nm$  оптической индикатрисы.

**Второй случай** — при вращении около оси  $I$  темнота не наступает:

а) открепляем зажим  $a$ ;

б) возвращаем столик микроскопа вращением вокруг оси  $A$  в основное положение ( $I_0$ ).

Таким образом, мы измерили положение одного сечения оптической индикатрисы первой половинки двойника. Для окончательного определения положения оптической индикатрисы этой части двойника нужно таким же образом найти положение другого ее сечения, перпендикулярного первому.

Нахождение второго сечения:

1. Возвращаем оси федоровского столика, кроме оси  $N$ , в исходное положение. Проверяем, не изменилось ли положение оси  $M$ ;

2. Поворачиваем ось  $N$  приблизительно на  $90^\circ$  до наступления другой темноты той же полоски двойника. Начинаящему при этом следует обратить внимание на положение исследуемого двойника. Зерно должно быть теперь повернуто относительно прежнего положения на  $90^\circ$ .

3. Устанавливаем сохраняющуюся темноту (вторую) той же полоски двойника, чередуя, как и при установке первой темноты, повороты по осям  $N$ ,  $H$  и  $I$  (см. стр. 22).

4. Записываем отсчеты по  $N$  и по  $H_2$  при этом для  $H$  отмечаем, какой отсчет был взят — левый или правый.

5. Поворачиваем столик микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки и закрепляем зажим  $a$ .

6. Вращаем по оси  $I$  и проверяем, не появляется ли положение темноты. Если в первом сечении нами плоскость оптических осей найдена не была, то она может обнаружиться во втором сечении. Если же плоскость оптических осей уже была найдена в первом сечении, то проверку поворотом на  $45^\circ$  проделать необходимо для контроля. Второй раз плоскость оптических осей найдена быть не может, и если во втором сечении опять обнаружится угасание, значит где-то была допущена ошибка. В таком случае чаще всего или спутана часть двойника, или учащийся сделал поворот по оси  $N$  не на  $90^\circ$ , а на  $180^\circ$  и при установке попал вторично на то же сечение.

После определения и записи положения второй темноты заканчиваем исследование первой полоски двойника и переходим к исследованию второй полоски, ранее нами выбранной, зарисованной и отмеченной цифрой 2.

Для этого (не двигая шлифа под сегментом) снова возвращаем все оси столика Федорова, кроме оси  $N$ , в исходное положение, а ось  $N$  поворачиваем до угасания второй полоски двойника.

Все операции со второй полоской проделываем в том же порядке, что и с первой, в результате чего должны быть получены отсчеты по осям  $N$  и  $H$  для 1-й и 2-й темноты этой половинки и записаны отсчеты по  $I$ , если одна из установленных плоскостей оказалась плоскостью оптических осей индикатрисы. Если в положении  $45^\circ$  темнота не наблюдалась, т. е. с осью  $I$  совпала не ось  $Nm$ , отсчетов по оси  $I$  нет. В соответствующих клетках таблички проводим черту, но ни в коем случае не ставим знак 0, который может быть прочитан как отсчет  $0^\circ$ .

Для упорядочения системы записи полученные отсчеты записывают в табличку:

	1-я полоска двойника		2-я полоска двойника		Двойниковый шов
	I	II	I	II	
$N$					
$H$					
$I$					

Отсчеты по оси  $H$  могут быть самые разнообразные — от  $0$  до  $45^\circ$ , причем в левых и правых наклонах нет никакой закономерности; например, все четыре отсчета по оси  $H$  в обеих полосках двойника могут быть левые.

Разница отсчетов по оси  $N$  для первой и второй темноты одной и той же полоски двойника точно равна  $90^\circ$  только при отсчетах по оси  $H$ , равных  $0^\circ$ . Чем сильнее наклон по оси  $H$ , тем, как правило, больше отклонение разницы между отсчетами по  $N$  от  $90^\circ$ .

## § 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДВОЙНИКОВОГО ШВА ПЛАГИОКЛАЗА

После определения положения оптической индикатрисы, для увязки оптических направлений в кристалле с кристаллографическими, следует установить положение двойникового шва, являющегося общей плоскостью для обеих частей двойника.

Двойниковый шов, т. е. граница между исследованными полосками двойника, устанавливается параллельно плоскости осей  $N$  и  $H$  федоровского столика (или параллельно плоскости симметрии микроскопа). Это достигается следующим образом:

1) ни в коем случае не сдвигая шлиф между сегментами, возвращаем все оси столика в основное положение;

2) поворачиваем по оси  $N$  так, чтобы двойниковый шов между исследованными полосками двойника был строго параллелен вертикальной нити окуляра;

3) наклоняем направо и налево по оси  $H$  и замечаем, при каком ее положении двойниковый шов становится наиболее четким и тонким. Это положение наступает тогда, когда плоскость



двойникового шва совпадает с плоскостью симметрии микроскопа. Иногда параллельно плоскости двойникового шва наблюдается заметная спайность. В таком случае установку двойникового шва можно проверить без анализатора. Замечаем, при каком положении оси  $N$  трещинки спайности видны наиболее четко;

4) записываем в табличку отсчеты по осям  $N$  и  $H$ , определяющие положение двойникового шва.

### § 9. НАНЕСЕНИЕ НА СЕТКУ ВУЛЬФА НАЙДЕННЫХ ГЛАВНЫХ СЕЧЕНИЙ ИНДИКАТРИСЫ

Данные отсчетов найденных сечений индикатрисы в обеих половинках двойника плагноклаза и плоскости двойникового шва являются сферическими координатами этих плоскостей относительно осей  $N$ ,  $H$  и  $I$  столика Федорова. Пользуясь сеткой Вульфа, можно получить стереографическую проекцию взаиморасположения этих плоскостей в пространстве. При этом, как и при всех стереографических построениях, получается двойное проектирование: сначала на поверхность шара с центром в месте пересечения всех осей столика, а затем на плоскость при помощи стереографической сетки<sup>1</sup>.

Сетку Вульфа употребляют при этом с нанесенными на нее по кругу делениями градусной сетки; каждое деление сетки соответствует двум градусам (см. Приложение 1). Сетку надо положить перед собой так, чтобы нулевой ее отсчет находился внизу и отсчеты градусов располагались по часовой стрелке. Тогда ее положение будет соответствовать положению лимба на внутреннем кольце столика, по которому берутся отсчеты по оси  $N$  (при работе со столиками Винкель-Цейс, где на внутреннем лимбе  $0^\circ$  расположен наверху, а  $180^\circ$  — внизу, следует и сетку Вульфа располагать нулем вверх).

Оси федоровского столика будут проектироваться на сетку Вульфа очевидно так: ось  $N$  — перпендикулярно плоскости сетки, ось  $H$  — по вертикальному диаметру, а ось  $I$  — по горизонтальному диаметру. Отсчеты откладываются (рис. 5): по оси  $N$  по кругу сетки соответственно ее делениям (по часовой стрелке) от нуля до  $360^\circ$ , по оси  $H$  по горизонтальному диаметру сетки от нуля в центре налево и направо на  $90^\circ$ . Углы наклона по оси  $I$  отсчитываются по меридианам сетки или от нуля в центре вверх и вниз на  $90^\circ$ , или от  $270^\circ$  вверху сетки до  $360^\circ$  в центре и дальше вниз от 0 до  $90^\circ$ , как показано на рис. 6. В последнем случае имеем на сетке проекцию поворота около осей  $I$  как бы на полную окружность.

<sup>1</sup> Подробнее о построении стереографических проекций см. в учебнике Федоровского метода Г. М. Саранчиной, гл. II, стр. 25 и в книге В. С. Соболева, стр. 23—26.

Для получения проекций оптических плоскостей исследуемого минерала пользуются восковкой. Лист восковки кладется

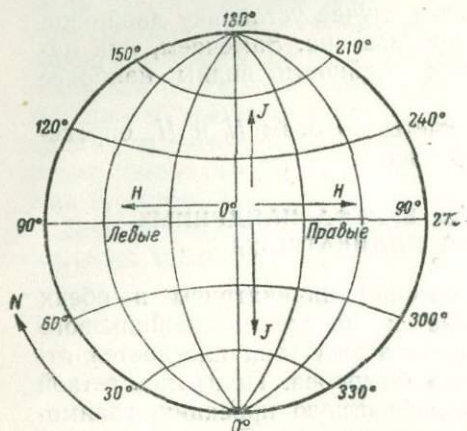


Рис. 5

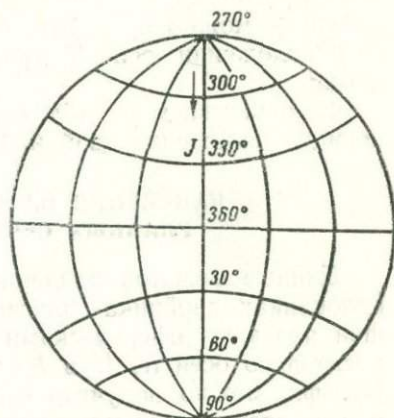


Рис. 6

на сетку. Хорошо отточенным карандашом на него наносят центр сетки и окружность без градусных делений. Против нулевого отсчета сетки на восковке отмечается нулевой индекс<sup>1</sup>.

### Нанесение на сетку первого сечения

Не смещая центра, отмеченного на восковке, с центра сетки поворачиваем восковку так, чтобы ее нулевой индекс совместился с отсчетом сетки, соответствующим отсчету по оси *N*. Затем по горизонтальному диаметру сетки от центра влево или вправо откладываем отсчет по оси *H*. Ставим на горизонтальном диаметре на восковке точку и проводим через нее по соответствующему меридиану дугу от полюса до полюса сетки. Полученная дуга будет проекцией данной плоскости на сетку.

Начинающим часто неясно, почему отсчет по оси *H* следует откладывать от центра сетки, а не от ее края, в то время как отсчет по дужке указывает наклон по отношению к ней. Отсчет от края сетки был бы правильным, если бы мы наносили проекцию положения кольца столика. Наши же отсчеты по *N* и *H* дают нам координаты плоскости, которая при нулевом отсчете по оси *H* находится в вертикальном положении и совпадает с плоскостью симметрии микроскопа. Отсчет, отложенный от центра сетки, как раз и соответствует проекции указанной плоскости при данном ее наклоне.

Например, отсчеты сохраняющейся темноты, определяющей одну из плоскостей симметрии индикатрисы, следующие: *N*—287°;

<sup>1</sup> При освоении работы с сеткой Вульфа рекомендуется предварительно тщательно изучить примеры приложений 2—7 и 9—12, сделав их самостоятельно на восковке.



$H$  — левый  $30^\circ$ . Для нанесения проекции данной плоскости поворачиваем восковку так, чтобы нулевой индекс ее пришелся на  $287^\circ$  окружности сетки Вульфа. Установив таким образом восковку и проверив, совпадает ли центр восковки с центром сетки, отсчитаем от центра по горизонтальному диаметру сетки влево  $30^\circ$  и через полученную точку проведем по меридиану дугу от полюса до полюса сетки.

### Нахождение полюса плоскости

После нанесения плоскости на сетку следует найти ее полюс, т. е. проекцию перпендикуляра к данной плоскости. Для этого, не смещая восковки с сетки, отсчитываем от проведенной дуги по горизонтальному диаметру через центр  $90^\circ$ . Полученная точка и будет полюсом данной плоскости (рис. 7).

Если имеются для этой плоскости отсчеты по оси  $I$ , следует нанести их на данную плоскость, отсчитывая вверх или вниз от горизонтального диаметра по соответствующему меридиану. Полученные точки отмечают кружком и обозначают обычными индексами оптических осей —  $A$  и  $B$ . Если при записи установленной темноты кольцо  $H$  столика было расположено горизонтально, т. е. отсчет по оси  $H$  был равен  $0^\circ$ , проекция сечения на восковке совпадет с вертикальным диаметром сетки Вульфа, а полюсы должны быть отложены сразу с двух сторон на окружности сетки слева и справа.

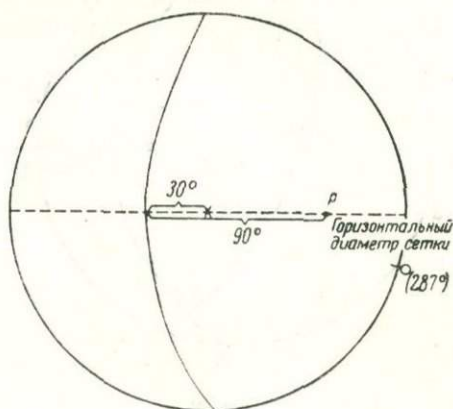


Рис. 7

### Нанесение на сетку второго сечения

Покончив с первым сечением, поворачиваем восковку так, чтобы ее нулевой индекс совпал с отсчетом по оси  $N$  второй темноты той же части двойника. По горизонтальному диаметру сетки откладываем от центра отсчет  $H$  влево или вправо. Проводим дугу второго сечения (II—II) и находим ее полюс.

Построенное второе сечение должно пройти через точку полюса первого сечения, а полюс второго сечения должен расположиться на дуге первого сечения. Допускаются небольшие отклонения:  $1-2^\circ$ . Если отклонения получились более значительные, необходимо проверить на столике полученные темноты и установить их более точно.

## Построение третьего сечения индикатрисы

Третье сечение оптической индикатрисы находится построением. Не смещая центра восковки с центра сетки Вульфа, поворачиваем восковку так, чтобы точка пересечения первых двух дуг поместилась на горизонтальный диаметр сетки. Эта точка является полюсом третьей плоскости. Отсчитав от нее по горизонтальному диаметру через центр  $90^\circ$ , построим третью плоскость, проведя через полученную новую точку дугу по меридиану от полюса до полюса. Эта третья дуга должна соединить точки полюсов первых двух дуг (рис. 8) и представляет собой

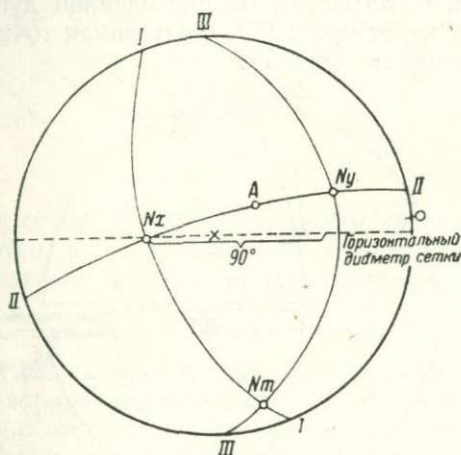


Рис. 8

проекцию третьего сечения оптической индикатрисы (III—III). Так как оси индикатрисы  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$  всегда взаимно перпендикулярны, каждая из трех сторон сферического треугольника должна быть равна  $90^\circ$ . Это обязательно следует проверить, подсчитав по меридиану дуговые расстояния между всеми тремя осями. Допустимая здесь неточность работы не должна превышать двух делений по сетке.

Таким образом, нанеся все три сечения на восковку, получаем на ней сферический треугольник, представляющий проекцию трех плоскостей симметрии оптической индикатрисы.

В вершинах этого треугольника расположатся точки проекции осей индикатрисы —  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$ . В плоскости  $NgNp$  (если эта плоскость не оказалась третьей, найденной построением) должны быть построены точки проекций одной или двух найденных оптических осей индикатрисы.

## Нанесение сечений второй части двойника

Для второй части двойника проделываем те же операции. На ту же восковку пунктиром или карандашом другого цвета наносим проекции двух сечений второй полоски двойника; находим построением проекцию третьего сечения и проверяем дуги полученного второго сферического треугольника. На проекции плоскости  $NgNp$  откладываем проекции точек выходов оптических осей.



## § 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИМЕНОВАНИЯ ОСЕЙ ИНДИКАТРИСЫ

После построения проекций главных сечений оптической индикатрисы для обеих частей исследуемого двойника приступаем к определению наименования осей индикатрисы, которые, как уже указано было выше, располагаются в вершинах полученных сферических треугольников.

Прежде всего следует обозначить положение оси  $Nm$ . Она всегда перпендикулярна плоскости оптических осей. Если эта плоскость была найдена, то  $Nm$  ставится в вершине треугольника, противолежащей этой плоскости. Если же плоскость оптических осей не была найдена, то, очевидно, она совпадает с третьим сечением. Тогда  $Nm$  ставится в вершине угла против сечения, найденного построением.

Наименования двух других вершин треугольника удобнее всего определять в плоскости оптических осей. Совмещаем центр восковки с центром сетки и смотрим, какая из трех осей индикатрисы расположена ближе к центру. Пусть это ось  $Nx$ , лежащая в плоскости  $NxNy$  (рис. 9). Вращая восковку вокруг центра, совмещаем с меридианом сетки плоскость оптических осей  $NxNy$ . Читаем ее координаты по сетке, например:  $N = 12^\circ$ ;  $H = 14^\circ$  вправо. Очевидно, это координаты найденной нами ранее плоскости, или записанные в табличке, или отличающиеся от записанных на  $180^\circ$  (при повороте в другую сторону).

Ставим на эти отсчеты оси  $N$  и  $H$  столика Федорова при условии, что шлиф после окончания всех измерений не был смещен. Так как это отсчеты одной из найденных нами ранее темнот, сохраняющаяся темнота при установке этих отсчетов должна восстановиться снова.

По восковке определяем наклон точки  $Nx$  относительно оси  $I$ . В данном случае он равен  $30^\circ \uparrow$  (вверх). Поворачиваем ось  $I$  до совмещения  $0^\circ$  нониуса с этим отсчетом на лимбе и закрепляем зажим  $i$ . Теперь направление оси  $Nx$  параллельно оптической оси микроскопа,  $Ny$  совпадает с вертикальной нитью окуляра, а  $Nm$  — с горизонтальной. Открепляем зажим  $a$  и поворачиваем столик микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки. За-

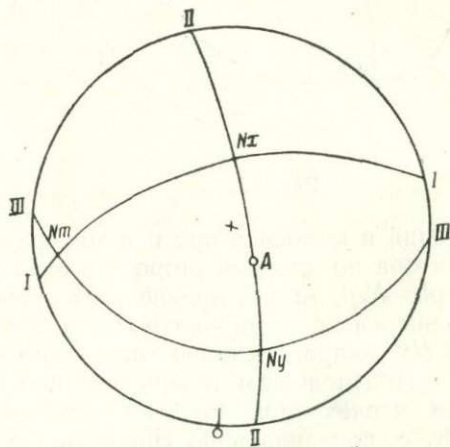


Рис. 9

крепляем зажим *a*. В этом положении (рис. 10) исследуемая полоска двойника стоит на просветлении. Ось *Nx* продолжает быть направленной в глаз, ось *Ny* параллельна вводимому компенсатору, а *Nm* перпендикулярна ему. Вводим компенсатор с разностью хода  $560 \text{ м}\mu$  (красный). Если при этом исследуемая полоска двойника окрасится в синий (или зелено-желтый) цвет II порядка, т. е. окраска компенсатора повысится, то, очевидно, направления наименьшего и наибольшего показателей прелом-

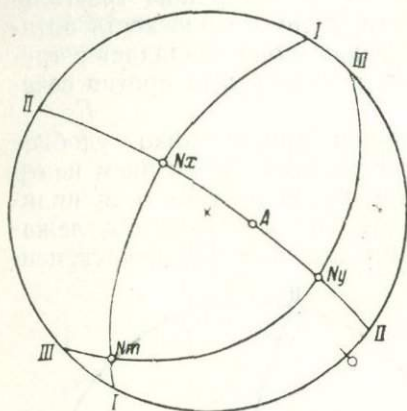


Рис. 10

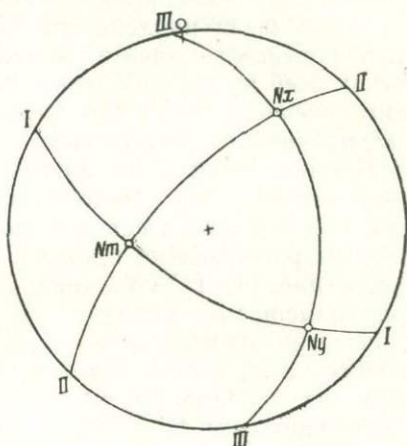


Рис. 11

ления в компенсаторе и в минерале совпали. Так как у компенсатора по длинной стороне всегда расположена  $Np^1$ , а по короткой —  $Ng^1$ , то для имеющегося сечения минерала *Ny* является наименьшей осью индикатрисы, а *Nm* — наибольшей, т. е.  $Ny=Np$ , а *Nx*, направленная в глаз, соответствует  $Ng$  (см. рис. 10).

Предположим теперь, что при введении компенсатора окраска исследуемой полоски двойника стала желтой I порядка (т. е. понизилась по сравнению с красной окраской компенсатора). Это значит, что направления наименьшей и наибольшей осей индикатрисы в минерале и компенсаторе не совпали, а оказались в перекрещенном положении, т. е. параллельно  $Np^1$  компенсатора расположена ось  $Ng$  минерала, а параллельно  $Ng^1$  компенсатора — *Nm*, которая в данном случае является меньшей, т. е.  $Ny=Ng$ , а  $Nx=Np$ .

При установке в глаз ближайшей к центру сетки оси индикатрисы могло получиться так, что плоскости оптических осей соответствовало бы третье сечение, и в глаз можно было бы установить только ось *Nm*. Тогда обе неизвестные оси оказались бы в плоскости данного сечения, и все рассуждения повторились бы по той же схеме (рис. 11). Очевидно, если при введении компенсатора ( $R=560 \text{ м}\mu$ ) окраска повысится, значит с  $Np^1$  ком-



пенсатора совпадает ось  $Np$  минерала и  $Ny=Np$ , а  $Nx=Ng$ . Если же окраска понизится, то с  $Np^1$  компенсатора совпадает  $Ng$  минерала и  $Ny=Ng$ , а  $Nx=Np$ .

Наименование осей индикатрисы определяем в обеих частях двойника.

## § 11. НАНЕСЕНИЕ НА СЕТКУ ПЛОСКОСТИ ДВОЙНИКОВОГО ШВА И НАХОЖДЕНИЕ КООРДИНАТ ЕГО ПОЛЮСА

Взаимное положение обеих частей двойника на проекции не случайно. Оно определяется двойниковым законом. Тем же способом, но условным пунктиром или карандашом другого цвета (по имеющимся отсчетам по  $N$  и по  $H$ ), наносим на восковку плоскость двойникового шва или — что то же — плоскость срастания двойника. Находим ее полюс и обозначаем его  $P$  или  $P$ .

Эта точка  $P$  — полюс двойникового шва — должна быть точкой, симметрично расположенной относительно проекций одноименных осей обеих частей двойника. Это легко проверить, сосчитав дуговые расстояния от  $P$  до указанных осей. Для этого, не смещая центра восковки, ставят последовательно на один меридиан  $P$  и  $Ng$ ,  $P$  и  $Ng_1$ ;  $P$  и  $Nm$ ,  $P$  и  $Nm_1$ ;  $P$  и  $Np$ ,  $P$  и  $Np_1$  и сравнивают получаемые отсчеты. Если расстояние между  $P$  и установленной с ней на один меридиан точкой оказывается по дуге больше  $90^\circ$ , считают не полученную величину, а дополнительную до  $180^\circ$ .

Начинающие нередко здесь допускают ошибку, вычитая не полученную величину из  $180^\circ$ , а из полученной величины вычитая  $90^\circ$ . Между тем эти арифметические действия не однозначны и результаты их не одинаковы.

## § 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УГЛА ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ

Если при вращении около оси  $I$  в положении  $45^\circ$  два раза устанавливалось положение темноты, легко определить для соответствующей части двойника величину угла оптических осей. Она равна сумме обоих отсчетов по лимбу оси  $I$ , если отсчеты записывались от нуля вверх и вниз до  $90^\circ$ . Например:

$$I \begin{matrix} 42^\circ \uparrow \\ 47^\circ \downarrow \end{matrix}, 2V = 42^\circ + 47^\circ = 89^\circ.$$

Если вверх от нуля деления на лимбе оси  $I$  нанесены от  $360^\circ$  до  $270^\circ$  (например, на столиках системы Лейтц), то верхний отсчет нужно вычесть из  $360^\circ$  и полученную разность сложить с нижним отсчетом. Например:

$$I \begin{matrix} 318^\circ \\ 47^\circ \end{matrix} \quad \begin{matrix} 360^\circ - 318^\circ = 42^\circ \\ 42^\circ + 47^\circ = 89^\circ \end{matrix} \quad 2V = 89^\circ.$$

Одновременно определяется и оптический знак минерала; если острой биссектрисой является  $Ng$ , то оптический знак — плюс, если  $Np$  — минус.

Если в плоскости оптических осей было найдено одно положение темноты, т. е. обнаружен один выход оптической оси, величина  $2V$  может быть определена только после нанесения результатов измерений на сетку Вульфа. Однако этот метод не дает точных результатов и не может быть рекомендован для работы. Чтобы определить  $2V$  по выходу одной оптической оси, совмещают проекцию сечения плоскости оптических осей на восковку с каким-либо меридианом сетки (при условии совпадения центров восковки и сетки). Определяют дуговое расстояние

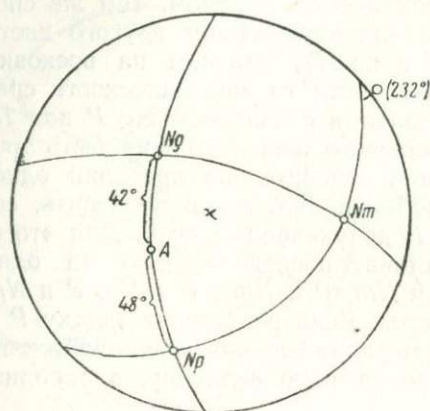


Рис. 12

между точкой выхода оптической оси  $A$  и острой биссектрисой. Это дуговое расстояние равно  $V$ . Умножив полученную величину на 2, получим  $2V$ . На рис. 12  $2V = 42 \times 2 = 84^\circ$ .

Если определенное дуговое расстояние оказалось больше  $45^\circ$ , значит оно измерено не до острой, а до тупой биссектрисы. В таком случае для получения  $2V$  нужно полученную величину удвоить и затем вычесть из  $180^\circ$ . Например, дуговое расстояние  $ANg$  равно  $47^\circ$ :

$$47^\circ \times 2 = 94^\circ$$

$$180^\circ - 94^\circ = 86^\circ.$$

$2V = 86^\circ$  со знаком —, так как  $Ng$  оказалась тупой биссектрисой, а  $Np$ , очевидно, острой.

### § 13. ПРИМЕР НАНЕСЕНИЯ ДАННЫХ НА СЕТКУ ВУЛЬФА

Для усвоения изложенного выше разберем пример нанесения на сетку Вульфа. Подготовим восковку, как было указано на стр. 28, и сделаем последовательно все операции.

Допустим, что при измерении плагиоклаза на столике Федорова были получены следующие данные:

	1-я полоска двойника		2-я полоска двойника		Двойниковый шов
	I	II	I	II	
$N$	$121^\circ$	$205^\circ$	$232^\circ$	$129^\circ$	$235^\circ$
$H$	л. $13^\circ$	п. $22^\circ$	л. $26^\circ$	л. $25^\circ$	л. $46^\circ$
$I$	—	↓ $29^\circ$	—	—	



1. Для нанесения на сетку первой темноты повернем восковку так, чтобы ее нулевой индекс совпал с отсчетом  $121^\circ$  по окружности сетки (см. Приложение 2). От центра влево по горизонтальному диаметру отложим  $13^\circ$  и проведем дугу ( $I-I$ ) от полюса до полюса.

2. Найдем полюс дуги.

3. Затем, не смещая центра, повернем восковку вправо, против часовой стрелки, пока ее нулевой индекс не совместился с отсчетом  $205^\circ$  (см. Приложение 3). От центра по горизонтальному диаметру вправо отсчитаем  $22^\circ$  и проведем дугу второго сечения. Эта дуга пройдет через полюс первой дуги.

4. Найдем полюс второй дуги. Он будет расположен на первой дуге. От горизонтального диаметра вниз по дуге  $II-II$  отсчитаем  $29^\circ$  и отложим точку проекции оптической оси  $A$ .

5. Затем повернем восковку по часовой стрелке так, чтобы точка пересечения найденных дуг ( $I-I$  и  $II-II$ ) легла на горизонтальный диаметр сетки (см. Приложение 3). Эта точка является полюсом проекции третьего сечения индикатрисы. Отсчитав от нее по горизонтальному диаметру через центр  $90^\circ$ , проведем по меридиану дугу третьего сечения, которая должна пройти через точки полюсов первых двух дуг.

6. Не сдвигая сетки, сосчитаем величину дуги третьего сечения; она должна быть равна точно  $90^\circ$ . Сферический треугольник готов. Отметим кружками его вершины, соответствующие проекциям выходов осей индикатрисы  $Ng$ ,  $Np$  и  $Nm$ . Убедимся, что каждая из сторон треугольников равна  $90^\circ$ .

7. Определим наименование осей индикатрисы. В вершине, противоположной проекции плоскости оптических осей, поставим обозначение  $Nm$ . Другие две вершины треугольника обозначим  $Nx$  и  $Ny$  (см. Приложение 3). Проекция плоскости оптических осей — это проекция нашей второй темноты. Отсчеты ее  $N=205^\circ$  и  $H=22^\circ$  вправо. Поставим оси  $N$  и  $H$  столика на эти отсчеты. Соответственно повернем восковку так, чтобы ее нулевой индекс совпал с отсчетом  $205^\circ$ . Тогда на восковке проекция плоскости совпадет с меридианом, проходящим через отсчет  $H=п. 22^\circ$ , а на федоровском столике плоскость будет совмещена с плоскостью симметрии микроскопа, а ось  $Nm$  — с осью  $I$  столика. Определим на восковке дуговое расстояние между горизонтальным диаметром сетки и ближайшей к центру точкой  $Ny$ . Оно равно  $14^\circ$  вверх. Очевидно, чтобы совместить точку  $Ny$  с оптической осью микроскопа, нужно повернуть столик Федорова по оси  $I$  вверх на  $14^\circ$ . При таком положении ось  $Ny$  будет направлена в глаз. Закрепим зажим  $i$ .

8. Если теперь открепить зажим  $a$  и повернуть столик на  $45^\circ$  против часовой стрелки, то направление  $Nx$  расположится параллельно  $Np$  компенсатора. Введем компенсатор ( $R=560 \text{ м}\mu$ ).

Предположим, что при введении компенсатора исследуемая часть двойника окрасилась в синий цвет II порядка, т. е. интерференционная окраска повысилась. Обозначим точку  $Nx$  через  $Np$ , а точку  $Ny$  через  $Ng$  (см. Приложение 4).

9. Определим величину  $2V$ . Нами был найден один выход оптической оси, поэтому угол  $2V$  может быть определен лишь ориентировочно. Плоскость оптических осей  $NgNp$  устанавливаем на соответствующем меридиане. Дуговое расстояние от  $A$  до  $Ng$  равно  $43^\circ$ , откуда  $2V = +86^\circ$ . Оптический знак минерала положительный (+), так как острой биссектрисой является  $Ng$ .

10. Нанесем данные для второй части двойника. Для этого ставим восковку нулевым индексом на  $232^\circ$ , по горизонтальному диаметру отсчитываем влево  $26^\circ$  от центра и пунктиром проводим дугу первого сечения второй части двойника (см. Приложение 4).

11. Находим ее полюс.

12. Затем поворачиваем восковку до отсчета  $129^\circ$ , откладываем влево по горизонтальному диаметру  $26^\circ$  и проводим тем же пунктиром дугу второй темноты. Находим ее полюс.

13. Точку пересечения этих двух дуг ставим на горизонтальный диаметр, отсчитываем от нее через центр по горизонтальному диаметру  $90^\circ$  и проводим дугу третьей плоскости.

14. Проверяем величину сторон полученного сферического треугольника. Каждая сторона должна равняться  $90^\circ$ .

15. Определяем наименование осей индикатрисы во второй части двойника. Здесь выходов оптических осей не было ни в первом, ни во втором установленных сечениях. Очевидно, осью  $Nt$  нужно обозначить вершину сферического треугольника, противоположную третьему сечению. И ее же надо ставить в глаз при определении наименования остальных осей индикатрисы.

Установим на восковке и на столике второе сечение второй половинки двойника:  $N = 129^\circ$ ,  $H = л. 25^\circ$ .

Чтобы поставить ось  $Nt$  в глаз, нужно повернуть столик около оси  $I$  вниз на  $29^\circ$ . Закрепив зажим  $i$ , повернем столик микроскопа вокруг оси  $A$  на  $45^\circ$  против часовой стрелки. Введем компенсатор ( $R = 560 m\mu$ ). Интерференционная окраска второй половинки понизилась. Это значит, что с  $Np$  компенсатора совпала ось  $Ng$  оптической индикатрисы. Пишем на восковке (см. Приложение 4) вместо  $Nx—Ng_1$ , а вместо  $Ny—Np_1$ .

16. Наносим плоскость двойникового шва. Для этого нулевой индекс восковки совмещаем с отсчетом  $N = 235^\circ$ . От центра сетки по горизонтальному диаметру отсчитываем влево  $46^\circ$  и цветным карандашом (или условным пунктиром) проводим дугу плоскости срастания (двойникового шва).

17. Находим полюс двойникового шва и обозначаем его  $P$  (или  $\Pi$ ).



18. Измеряем дуговые расстояния  $P : Ng$ ;  $P : Nm$ ;  $P : Np$ , как было указано в § 11 на стр. 33. Они оказываются следующими:

$$\begin{array}{ll}
 pNg = 20^\circ & pNg_1 = 18^\circ \\
 pNm = 72^\circ & pNm_1 = 180^\circ - 109^\circ = 71^\circ \\
 pNp = 180^\circ - 98^\circ = 82^\circ & pNp_1 = 180^\circ - 96^\circ = 84^\circ \\
 & pNg \text{ среднее} = 19^\circ \\
 & pNm \text{ среднее} = 71,5^\circ \\
 & pNp \text{ среднее} = 83^\circ
 \end{array}$$

#### § 14. УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИМЕНОВАНИЯ ОСЕЙ ИНДИКАТРИСЫ<sup>1</sup>

Операции по определению наименования осей можно проделать и в другой последовательности, а именно:

- 1) зарисовываем выбранный двойник плагиоклаза;
- 2) устанавливаем, как было указано на стр. 21—22, сохраняющуюся темноту первой части двойника;

3) записываем в табличку отсчеты по  $N$  и  $H$ ;

4) затем, повернув столик микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки, определяем не только плоскость оптических осей, но одновременно и наименование найденного сечения оптической индикатрисы.

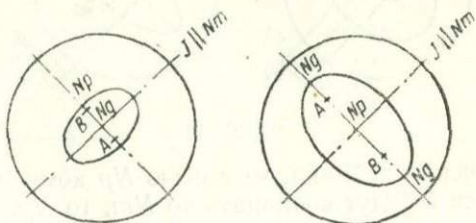


Рис. 13

Возможны три случая расположения осей оптической индикатрисы относительно оси  $I$ .

**Первый случай:** с направлением оси  $I$  столика совпадает ось  $Nm$  оптической индикатрисы (рис. 13). Это значит, что с плоскостью симметрии микроскопа совпадает плоскость оптических осей индикатрисы, в которой лежат обе оптические оси и оси  $Ng$  и  $Np$  индикатрисы. В этом случае, как уже было указано в § 7 на стр. 23, при вращении около оси  $I$  в общем случае должен наступить такой момент, когда одна из оптических осей будет направлена в глаз наблюдателю (по направлению оптической оси микроскопа). В это время круговое (изотропное) сечение индикатрисы совпадет с плоскостью столика микроскопа, и исследуемая часть двойника окажется в положении темноты.

Работа проводится, как и по первому методу, т. е. последовательно устанавливаем, проверяем и записываем положение выходов одной или обеих оптических осей (см. § 7, стр. 23—24).

<sup>1</sup> Этот способ наиболее удобен и методически правилен. — Прим. ред.

Кроме записи отсчетов по  $I$ , отмечаем в табличке также, что в этом сечении с осью  $I$  совпадает  $Nm$ .

Если с осью  $I$  столика совпадает не  $Nm$ , а  $Ng$  или  $Np$ , то после поворота столика вокруг оси  $A$  на  $45^\circ$  против часовой стрелки и при вращении по оси  $I$  темнота совсем не наступает. Исследуемая часть двойника все время остается освещенной.

**Второй случай:** с направлением оси  $I$  столика совпадает ось  $Ng$  оптической индикатрисы. С плоскостью симметрии микроскопа совмещается плоскость симметрии оптической индикатрисы, в которой лежат оси  $Nm$  и  $Np$ . Повернув столик микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки и закрепив зажим  $a$ , убеждаемся, что темнота при вращении около оси  $I$  не наступает. Вводим гипсовый компенсатор с разностью хода  $560 \text{ м}\mu$  (рис. 14).

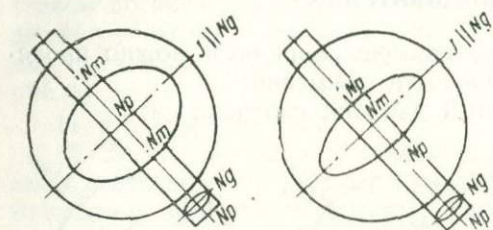


Рис. 14

Так как с плоскостью симметрии микроскопа в данном случае совмещается плоскость  $Nm Np$  индикатрисы исследуемой полоски двойника, то с осью  $Np$  компенсатора при поворотах около оси  $I$  будут совпадать то  $Nm$ , то  $Np$ , то векторы, промежуточные между этими осями, а с осью  $Ng$  компенсатора все время будет совмещена ось  $Ng$ . Поэтому с компенсатором все время будет наблюдаться повышение окраски, и при любом положении оси  $I$  исследуемая часть двойника при введенном компенсаторе будет сохранять синезеленую или желтую окраску II порядка.

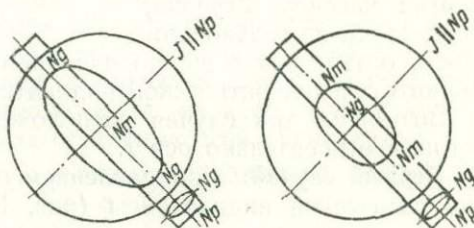


Рис. 15

**Третий случай:** с осью  $I$  столика совпадает ось  $Np$  оптической индикатрисы, а с плоскостью симметрии микроскопа совмещается плоскость симметрии оптической индикатрисы, в которой лежат оси  $Ng$  и  $Nm$ . В этом случае при введении компенсатора с разностью хода  $560 \text{ м}\mu$  получается понижение окраски, и при вращении около оси  $I$  исследуемая часть двойника сохраняет желтый или желто-красный цвет I порядка. В данном случае с  $Np$  компенсатора совпадают оси  $Ng$  и  $Nm$  минерала, а с осью  $Ng$  компенсатора — ось  $Np$  минерала (рис. 15).

Таким образом, получив сохраняющуюся темноту, т. е. одно из сечений оптической индикатрисы данной полоски, и повернув



столик микроскопа против часовой стрелки на  $45^\circ$ , мы имеем возможность сразу же определить наименование полученной плоскости, т. е. определить, какая ось индикатрисы совпадает в данном сечении с осью  $I$ . Записываем наименование этой оси под отсчетами в соответствующей графе таблички.

Если вводить компенсатор параллельно плоскости  $Ng, Np$ , когда с осью  $I$  совпадает ось  $Nm$ , можно видеть, что по обе стороны от оптической оси окраска с компенсатором неодинакова. При повороте около оси  $I$  синяя окраска II порядка будет сменяться желтой первого или наоборот. Это объясняется тем, что в плоскости оптических осей по одну сторону от оптической оси располагается ось  $Ng'$  индикатрисы, а по другую — ось  $Np'$ . Явление это очень удобно для проверки выхода оптической оси, особенно в тех случаях, когда двупреломление минерала является очень низким, а угол оптических осей — небольшим.

Для упорядочения системы записи отсчетов табличка должна иметь следующий вид:

	1-я полоска двойника		2-я полоска двойника		Двойниковый шов
	I	II	I	II	
$N$ $H$ $I$ Совпадает с осью $I$ Цвет с компенсатором					

Далее весь ход работы повторяется тот же: т. е. определяются два сечения первой части двойника, два сечения второй части, положение двойникового шва.

Во избежание ошибок рекомендуется вести накладку на сетку параллельно с определениями на столике Федорова, т. е. после получения замеров для первой части двойника нужно сразу же построить проекции сечения оптической индикатрисы этой половинки на восковке, произведя все необходимые проверки точности работы на столике.

После замеров сечений производится накладка их проекций на обложку. При этом, отыскав полюс каждого сечения, сразу же обозначаем его наименованием той оси индикатрисы, которая в данном сечении совпала с осью  $I$ .

После того, как для каждой части двойника будут построены сферические треугольники проекций сечений оптической индикатрисы, сразу же имеем обозначения осей индикатрисы в вершинах треугольника. Не следует однако забывать, что если, вследствие неточной работы, полюса сечений отклонятся от вершин треугольника, то наименования осей индикатрисы будут отно-

ситься к вершинам, а не к полюсам сечений, которые в данном случае теряют свое значение.

Предлагаемый «ускоренный» метод работы значительно удобнее, проще и нагляднее. Он сокращает время работы и избавляет начинающих от главной массы ошибок, которые обычно приходится на неправильное определение наименования осей индикатрисы.

#### § 15. ПРИМЕР ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСКОРЕННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСЕЙ ИНДИКАТРИСЫ

1. Ставим на крест нитей зерно плагиоклаза и зарисовываем его, выбрав для исследования две смежные двойниковые полосы.

2. Устанавливаем первую сохраняющуюся темноту первой половинки двойника.

3. Записываем отсчеты по осям  $N$  и  $H$  столика, например:  $N=152^\circ$ ;  $H=2^\circ$  вправо.

4. Открепляем зажим  $a$  и поворачиваем столик микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки. Исследуем сечение, вращая препарат около оси  $I$ . Темнота не наступает. Вводим компенсатор ( $R=560 \text{ мц}$ ). Окраска полосы становится синей II порядка. Это значит, что сечение —  $NmNp$ , а с осью  $I$  совпадает ось  $Ng$ . Полученные данные записываем в табличку.

5. Возвращаем столик микроскопа, а также оси  $I$  и  $H$  в исходное положение.

6. Поворачиваем прибор около оси  $N$  приблизительно на  $90^\circ$  до достижения другой темноты той же части двойника.

7. Устанавливаем вторую сохраняющуюся темноту. Ее отсчеты:  $N=61^\circ$ ;  $H=28^\circ$  вправо. Записываем их в табличку.

8. Поворачиваем столик микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки. Вращаем препарат вокруг оси  $I$ .

9. Наблюдаем две темноты. Проверяем каждую из них вращением столика микроскопа вокруг оси  $A$ ; закрепив зажим  $i$  в положении темноты (как указано в § 7).

10. Записываем отсчеты выходов оптических осей по лимбу.

Они равны:  $I \begin{matrix} \uparrow 43^\circ \\ \downarrow 39^\circ \end{matrix}$ . Следовательно, угол оптических осей  $2V=43^\circ+39^\circ=82^\circ$ .

11. Отмечаем в табличке, что данное сечение —  $NgNp$ , т. е. с осью  $I$  совпадает ось  $Nm$ .

12. Берем чистую восковку и подготавливаем ее для работы.

13. Поворачиваем восковку так, чтобы ее нулевой индекс совпал с отсчетом  $152^\circ$  по окружности сетки Вульфа.

14. От центра по горизонтальному диаметру сетки отсчитываем вправо  $2^\circ$  (одно деление сетки) и через полученную точку проводим по меридиану на восковке дугу ( $I-I$ ) от полюса до полюса. Отмечаем, что это проекция первого сечения (см. Приложение 5).



15. Отсчитываем от проведенной дуги по горизонтальному диаметру сетки через центр  $90^\circ$  и отмечаем точку полюса первого сечения, обозначив ее выходом оси  $Ng$ .

16. Наносим второе сечение, для чего поворачиваем восковку до совмещения ее нулевого индекса с отсчетом  $61^\circ$  на окружности сетки.

17. От центра отсчитываем вправо по горизонтальному диаметру  $28^\circ$  и проводим дугу второго сечения.

18. На проведенной дуге от горизонтального диаметра сетки откладываем отсчеты по  $I$ : вверх  $43^\circ$  и вниз  $39^\circ$ . Отмечаем кружками проекции выходов оптических осей  $A$  и  $B$ .

19. Находим полюс дуги второго сечения и обозначаем его  $Nm$ .

20. Поворачиваем восковку так, чтобы точка пересечения первых двух дуг совместилась с горизонтальным диаметром сетки. От этой точки отсчитываем через центр по горизонтальному диаметру  $90^\circ$  и проводим дугу третьего сечения индикатрисы.

21. В точке пересечения первых двух дуг, являющейся полюсом третьего сечения, ставим наименование оси  $Np$  оптической индикатрисы.

22. Проверяем дуговые расстояния сторон сферического треугольника. Они все должны быть равны  $90^\circ$ . Точки полюсов сечений не должны отклоняться от вершин треугольника больше, чем на  $2^\circ$ .

23. Отмечаем кружками вершины треугольника с наименованием осей индикатрисы. Значительное отклонение полюсов сечений от вершин треугольника указывает на неточность выполненной работы. Такая работа не может считаться выполненной правильно.

24. Прodelываем те же операции со второй частью двойника. Получаем отсчеты, указанные в табличке.

	1-я полоска двойника		2-я полоска двойника		Двойниковый шов
	I	II	I	II	
$N$	$152^\circ$	$61^\circ$	$130^\circ$	$213^\circ$	$141^\circ$
$H$	п. $2^\circ$	п. $28^\circ$	п. $13^\circ$	л. $27^\circ$	п. $6^\circ$
$I$	—	$\uparrow 43^\circ$	—	$26^\circ$	
	—	$\downarrow 39^\circ$	—	$56^\circ$	
С осью $I$	$Ng$	$Nm$	$Ng_1$		
Окраска с компенсатором	(син.)		(син.)		

При повороте на  $45^\circ$  в первом сечении второй полоски двойника темноты не наблюдается. При введении компенсатора окраска (как и в первой полоске) становится синей II порядка, т. е. с осью  $I$  совмещается ось  $Ng_1$ . Во втором сечении обнару-

живаются оба выхода оптических осей  $A_1$  и  $B_1$ , т. е. это сечение соответствует плоскости оптических осей, а с осью  $I$  совпала  $Nm_1$ .

25. Наносим данные замеров второй части двойника на восковку (см. Приложение 5, пункт 1). Как видим, в полюсе первого сечения следует поставить  $Ng^1$  в полюсе второго сечения  $Nm^1$ , ось  $Np^1$  ставится в вершине треугольника, противолежащей третьему сечению. На дуге ( $II-II$ ) второго сечения наносятся проекции выходов оптических осей  $A_1$  и  $B_1$ . Угол между ними  $2V = 26^\circ + 56^\circ = 82^\circ$ .

26. Определяем оптический знак плагиоклаза. Для обеих частей двойника острой биссектрисой является  $Np$ , т. е. оптический знак минерала отрицательный:  $2V = -82^\circ$ .

27. Наносим на восковку проекцию двойникового шва и ее полюс  $P$ .

28. Определяем координаты полюса плоскости срастания (двойникового шва). Они следующие (см. Приложение 5):

1-я часть	2-я часть	Среднее
$PNg\ 12^\circ$ $PNm\ 78^\circ$	$PNg\ 13^\circ$ $PNm\ 104^\circ$ , т. е. $180-104=76^\circ$	$12,5^\circ$ $77,0^\circ$
$PNp\ 92^\circ$ , т. е. $180-92=88^\circ$	$PNp\ 91^\circ$ , т. е. $180-91=89^\circ$	$88,5^\circ$

При работе со столиком Федорова можно пользоваться любым из предложенных методов определения наименования осей индикатрисы; можно применять их оба для проверки проделанной работы. Но во всяком случае необходимо не сдвигать шлифа до конца всей работы над данным зерном плагиоклаза.

## § 16. ГЛАВНЕЙШИЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ ПЛАГИОКЛАЗОВ

Несмотря на то, что данное руководство рассчитано на лиц, хорошо знакомых с основами петрографии кристаллических пород, мы считаем необходимым перед тем, как перейти непосредственно к определению плагиоклаза методом Федорова, напомнить главнейшие особенности минералов этой группы полевых шпатов.

### Химический состав плагиоклазов

Плагиоклазы, как известно, представляют собой пример полного изоморфизма двух составляющих: альбитовой  $NaAlSi_3O_8$  ( $Ab$ ) и анортитовой  $CaAl_2Si_2O_8$  ( $An$ ), смешивающихся в любых пропорциях как в природных условиях, так и в искусственных сплавах.



Существует несколько классификаций плагиоклазов. В последнее время их принято обозначать номерами соответственно процентному содержанию анортитовой составляющей.

Небольшие количества Na в плагиоклазе могут замещаться K, но размеры и пределы этого замещения точно не установлены до настоящего времени. Плагиоклазы, содержащие заметные количества K называют иногда калиевыми плагиоклазами. Возможно также, что в некоторых плагиоклазах незначительная часть Al замещается иногда Fe.

### Сингония и форма кристаллов плагиоклазов

Все плагиоклазы кристаллизуются в триклинной сингонии. Форма большей частью таблитчатая, более или менее правильная, с преимущественным развитием граней пинакоидов (010), (001) и (110) (рис. 16). Пинакоид (100) у плагиоклазов встречается реже, в альбитах не встречается вообще.

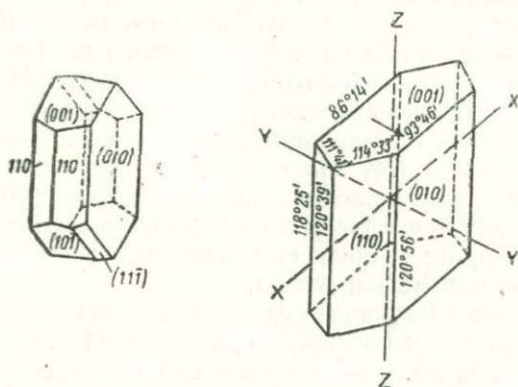


Рис. 16

Под микроскопом обнаруживается обычно таблитчатая или лейстовидная форма кристаллов плагиоклаза. Часто они встречаются в виде неправильных зерен.

Спайность, совершенная по двум направлениям: (001) и (010), в шлифах заметна сравнительно плохо, только если плоскость ее перпендикулярна плоскости столика микроскопа.

### Двойники плагиоклазов

Плагиоклазы редко встречаются в простых зернах. Обычно они образуют двойниковые срастания простые или чаще полисинтетические. В кислых плагиоклазах полосы полисинтетических двойников обычно значительно уже, чем в основных, поэтому в шлифах кислые плагиоклазы обычно состоят из многочисленных двойниковых полос, а основные часто оказываются в виде

простых двойников или совсем без двойников. Это происходит не потому, что во втором случае двойники хуже выражены, а потому, что при более толстых индивидах двойников плоскость шлифа во многих зернах разрезает лишь один-два таких индивида<sup>1</sup>.

Двойники кристаллов отличаются от простых сростаний зерен тем, что в них сростание происходит закономерно. В простых двойниках, т. е. в случае сростания двух индивидов минерала, один индивид как бы повернут относительно другого на  $180^\circ$ , а сростание происходит по плоскости, являющейся общей для обоих индивидов, чаще всего по какой-либо общей грани.

Полисинтетические двойники получаются при одновременном закономерном сростании многих индивидов минерала.

Различают следующие элементы двойников:

**1. Плоскость сростания**, т. е. та плоскость, по которой происходит сростание двух половинок двойника. В плагиоклазах, в 80% всех двойников, этой плоскостью является грань (010).

**2. Двойниковая ось.** Двойниковой осью называется кристаллографическое направление, вокруг которого один индивид двойника как бы повернут относительно другого на  $180^\circ$ , т. е. двойниковая ось является осью симметрии II порядка ( $L^2$ ).

Двойниковая ось всегда лежит в одной плоскости с проекциями обеих  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$  двойника и является биссектрисой углов, образованных двумя  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$ . Поэтому, если на федоровском столике повернуть двойник плагиоклаза так, чтобы его двойниковая ось была направлена в глаз, двойниковое строение исчезает, и при повороте столика весь двойник гаснет одновременно, т. е. ведет себя как монокристалл.

В кристаллах плагиоклаза двойниковая ось может представлять собой нормаль к плоскости сростания или может лежать в этой плоскости. В последнем случае она совпадает или с одной из кристаллографических осей кристалла, или с направлением перпендикуляра к ней.

**3. Двойниковая плоскость.** Двойниковой плоскостью называется плоскость, перпендикулярная к двойниковой оси. Она является плоскостью симметрии двойника. В одних двойниках она совпадает с плоскостью сростания, в других — перпендикулярна к последней.

Двойниковая плоскость, таким образом, есть геометрическое место точек, равноудаленных от одноименных направлений в обеих частях двойника. Если повернуть оси федоровского столика так, чтобы двойниковая ось совпала с осью  $I$  столика, а перпендикулярная ей двойниковая плоскость совместилась с плоскостью симметрии микроскопа, обе части двойника при любом наклоне по оси  $I$  и вращении вокруг оси  $A$  будут обнаруживать симметричное погасание.

<sup>1</sup> В. Н. Лодочников. Породообразующие минералы. Госгеолтехиздат, 1955, стр. 89.



Двойники обычно обозначаются символом в виде дроби, где числитель — кристаллографический символ двойниковой оси, а знаменатель — кристаллографический символ плоскости срастания.

Для плагиоклазов известно много различных двойниковых законов, которые по расположению элементов двойника могут быть сгруппированы в три типа: нормальные законы, или законы грани; параллельные законы, или законы оси, и сложные, или комплексные, законы (см. таблицу двойниковых законов на стр. 47).

### Нормальные двойники (законы грани)

В нормальных двойниках двойниковая ось перпендикулярна (нормальна) к плоскости срастания, т. е. последняя одновременно

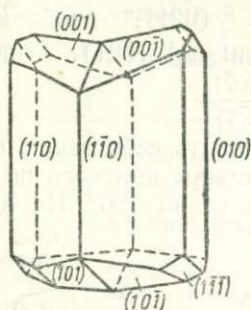


Рис. 17

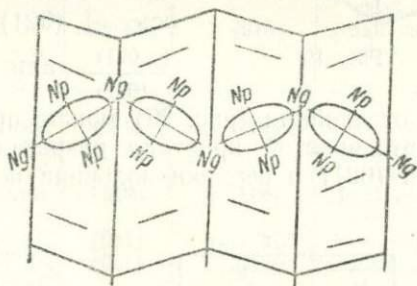


Рис. 18

является и двойниковой плоскостью двойника. Иначе можно сказать, что двойниковая ось здесь всегда перпендикулярна одной из граней кристалла. Эту группу законов часто называют законами грани.

Теоретически можно предположить для плагиоклазов столько нормальных законов, сколько у них граней, но в природе встречается не так уже много двойников этого типа. Из них наиболее важны следующие:

1. **Альбитовый закон:** наиболее распространенный закон двойникования плагиоклазов; характер срастания почти всегда полисинтетический. Плоскость срастания  $(010)$ , двойниковая ось перпендикулярна к этой плоскости. Символ альбитового закона  $\frac{\perp (010)}{(010)}$

В двойниках по альбитовому закону одна половинка повернута относительно другой вокруг оси  $\perp (010)$  так, что плоскость  $(001)$  наклонена относительно оси  $Z$  (ребро  $[001]$ ) (рис. 17) в отдельных полосках попеременно то влево, то вправо.

Оптическая индикатриса индивидов альбитового двойника расположена всегда симметрично относительно плоскости сра-

стания двойника (рис. 18). Двойниковая плоскость в них совпадает с плоскостью срастания, поэтому при совмещении последней с плоскостью симметрии микроскопа и при вращении вокруг оси  $A$  в альбитовых двойниках при любом наклоне по оси  $I$  наблюдается симметричное погасание.

2. *Манебахский закон*: плоскость срастания  $(001)$ , двойниковая ось  $\perp (001)$ . Символ  $\frac{\perp (001)}{(001)}$ . Этот закон сравнительно редок;

более часто, как отмечает В. Н. Лодочников [10], встречается у плагиоклазов порфировых вкрапленников эффузивных и жильных пород. По этому закону обычно срастаются только два неделимых (рис. 19).

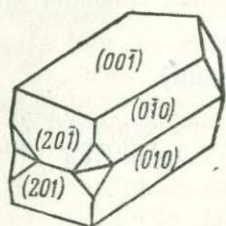


Рис. 19

3. *Бавенский закон*: плоскость срастания  $(021)$  или  $(0\bar{2}1)$ , двойниковая ось  $\perp (021)$  или  $\perp (0\bar{2}1)$ . Символ  $\frac{(\perp 021)}{(021)}$  или  $\frac{\perp (0\bar{2}1)}{(0\bar{2}1)}$ .

Этот двойник (рис. 20) можно представить себе таким образом, что простой кристалл разрезан пополам наискось по плоскости  $(021)$  и верхняя половина повернута на  $180^\circ$ . На одном

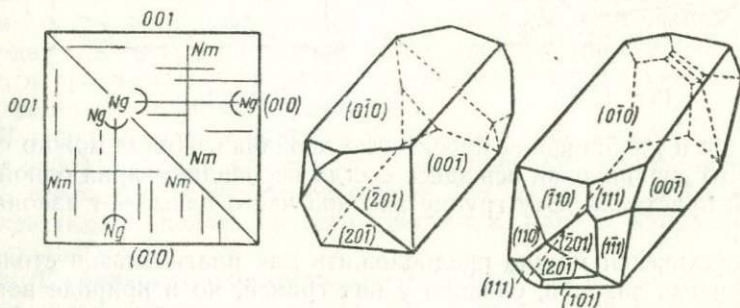


Рис. 20

конце бавенские двойники имеют ясные входящие, а на другом — выходящие углы.

В плоскости двойникового шва почти под прямым углом сходятся в одном ребре две плоскости  $(010)$ , а в другом ребре две плоскости  $(001)$ . Различают левый и правый бавенские законы.

Этот закон двойникования характерен для калиевых полевых шпатов; у плагиоклазов он редок.

К нормальным двойникам относятся также закон  $X$  и закон грани  $(110)$  (закон призмы), но они встречаются еще более редко.



Таблица двойниковых законов плагиноклазов

Типы двойников	Название закона	Плоскость срастания	Двойниковая ось	Характер двойника
Нормальные (законы грани)	Альбитовый	(010)	$\perp$ (010)	Полисинтетический Простой " " " "
	Манебахский	(001)	$\perp$ (001)	
	Бавенский (правый)	(021)	$\perp$ (021)	
	Бавенский (левый)	(0 $\bar{2}$ 1)	$\perp$ (0 $\bar{2}$ 1)	
	X	(100)	$\perp$ (100)	
	Призмы (правый)	(110)	$\perp$ (110)	
Призмы (левый)	(1 $\bar{1}$ 0)	$\perp$ (1 $\bar{1}$ 0)		
Параллельные (законы оси)	Карлсбадский	(010)	Z [001]	Простой 2—4 полоски Полисинтетический Полисинтетический
	Эстерельский (Ала)	(010)	X [100]	
	Аклиновый	(001)	Y [010]	
	Периклиновый	P. C.	Y [010]	
Сложные, или комплексные, законы	Альбит-карлсбадский (рок-турнэ)	(010)	$\perp$ [001]	3—4 полоски, иногда полисинтетический Полисинтетический 3—4 полоски Полисинтетический Полисинтетический 3—4 полоски
	Альбит-эстерельский	(010)	$\perp$ [100]	
	Манебах-эстерельский	(001)	$\perp$ [100]	
	Манебах-аклиновый (периклиновый) (скопи)	(001)	$\perp$ [010]	
	X-периклиновый	(100)	$\perp$ [010]	
	X-карлсбадский	(100)	$\perp$ [001]	

### Параллельные двойники (законы оси)

В параллельных двойниках двойниковая ось лежит в плоскости срастания и параллельна какой-либо из кристаллографических осей: I, II или III (X, Y или Z). Самый распространенный закон этой группы — карлсбадский.

1. *Карлсбадский закон*: плоскость срастания (010), двойниковая ось — ребро [001], т. е. III кристаллографическая ось (Z) (рис. 21). Характер двойникового простого. Очень часто карлсбадские двойники встречаются в комбинации с альбитовыми:

два полисинтетических альбитовых двойника срастаются между собой по карлсбадскому закону. Такие двойники легко узнаются под микроскопом: при повороте столика на 45°, когда аль-

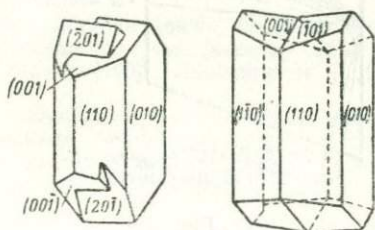


Рис. 21

битовые двойники становятся незаметными, резко выделяются две более широкие части карлсбадского двойника.

Примечание. Иногда в карлсбадском двойнике плоскостью срастания является не (010), а (100). В первом случае закон называется карлсбадским А и символ его  $\frac{[001]}{(010)}$ , а во втором — карлсбадским В с символом  $\frac{[001]}{(100)}$

2. *Эстерельский закон (или Ала)*: плоскость срастания (010), двойниковая ось — ребро [100], т. е. I кристаллографическая ось (X). Оси I в обеих частях двойника лежат параллельно, а оси III наклонены одна навстречу другой.

Примечание. Как и в карлсбадских двойниках, здесь плоскостью срастания иногда является не (010), а (001). В первом случае закон называется Ала А с символом  $\frac{[100]}{(010)}$ , а во втором — Ала В с символом  $\frac{[100]}{(001)}$

Эстерельский закон обычно простой, но иногда по нему сростаются три-четыре полосы.

3. *Аклиновый закон*: плоскость срастания (001), двойниковая ось — ребро [010], или II кристаллографическая ось (Y). Этот закон большей частью полисинтетический. Двойниковый шов расположен почти перпендикулярно шву альбитовых двойников. Символ закона  $\frac{[010]}{(001)}$ .

4. *Периклиновый закон* очень близок к аклиновому, весьма распространен. Двойниковой осью также является ребро [010], но плоскостью срастания служит не (001), а плоскость так называемого ромбического сечения (Р. С.). Символ закона  $\frac{[010]}{P. C.}$ .

Ромбическое сечение пересекает плоскости граней (110) и (1 $\bar{1}$ 0) так, что они в сечении дают правильный ромб. Ромбическое сечение у плагиоклазов разного состава имеет различный наклон относительно плоскости (001) (рис. 22).

Как видно из рис. 22, плоскость ромбического сечения у андезина совпадает с плоскостью (001), так что для этих плагиоклазов аклиновый и периклиновый двойники не различаются.

Периклиновый закон, как и аклиновый, обычно полисинтетический. Оба эти закона часто встречаются одновременно с альбитовым, образуя две системы почти взаимно перпендикулярных тонких двойниковых полосок (такие двойники плагиоклаза начинающие нередко путают с микроклином).

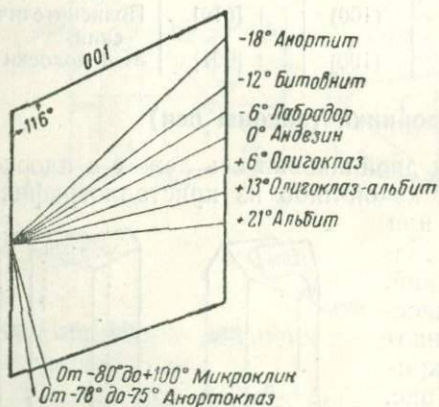


Рис. 22



## Сложные или комплексные двойники

В этих двойниках двойниковая ось лежит также в плоскости срastания, но не параллельно, а перпендикулярно ребру грани.

Они образуются как бы вследствие срastания индивидов одновременно по нормальному и параллельному законам. Эти законы следующие.

1. *Альбит-карлсбадский закон (рок-турнэ)*. Этот закон весьма распространен в плагиоклазах, по нему срastается небольшое число неделимых (три-четыре полоски). Плоскость срastания (010), двойниковая ось — перпендикуляр к ребру [001]. Символ закона  $\frac{\perp [001]}{(010)}$ .

Поворот по альбит-карлсбадскому закону, как и по другим комплексным законам, можно представить себе или как сложный поворот сначала по одному, затем по другому закону, или же как срastание трех кристаллов, из которых средний затем удален.

А. К. Подногин<sup>1</sup> рекомендует представлять себе поворот по сложному закону следующим образом. Первый и второй из трех кристаллов находятся в срastании по альбитовому закону, а второй с третьим — по карлсбадскому закону. Если теперь удалить второй кристалл, то оставшиеся кристаллы будут находиться в двойниковом срastании по сложному закону.

2. *Альбит-эстерельский закон* также встречается довольно часто. Полисинтетический. Плоскость срastания (010), а двойниковая ось  $\perp [100]$ . Символ  $\frac{\perp [100]}{(010)}$ .

Поворот по этому закону также двойной — сначала по альбитовому закону, по оси  $\perp [010]$ , затем по эстерельскому, по оси [100].

Остальные комплексные законы более редки. Из них нужно иметь представление о следующих.

3. *Манебах-эстерельский закон*: плоскость срastания (001), двойниковая ось  $\perp [100]$ . Символ  $\frac{\perp [100]}{(001)}$ . По этому закону обычно срastается не более четырех индивидов. Представить себе срastание можно, повернув вторую половинку относительно первой сначала по манебахскому закону (по оси  $\perp [001]$ ) затем по эстерельскому (по оси [100]). Двойники по (001) обычно вытянуты по осям X и Y.

4. *Манебах-аклиновый закон (скопи)*: плоскость срastания (001), двойниковая ось  $\perp [010]$ . Обычно полисинтетический. Чтобы представить себе соотношение половинок двойника, следует сначала повернуть вторую половинку относительно первой по манебахскому закону, т. е. по оси  $\perp (001)$ , а затем по аклиновому (по оси Y).

Из двойниковых законов наиболее часты альбитовый, карлсбадский и комплексный альбит-карлсбадский (рок-турнэ). Довольно часто встречаются также законы альбит-эстерельский и

<sup>1</sup> А. К. Подногин. Микроскопическое исследование породообразующих минералов по методу Федорова. Изд. ОНТИ, 1937, стр. 37.

эстерельский, а также периклиновый и аклиновый; остальные — редки.

Разбор двойниковых сростаний очень удобно производить на двух одинаковых моделях плагиоклазов, представляющих собой упрощенную комбинацию трех пинакоидов: (100), (010) и (001). С этой целью можно взять две спичечные коробки или специально изготовить две модели с учетом относительного наклона осей I, II и III или X, Y и Z, характерного для плагиоклазов.

При сравнении сростаний в плоскости (010), на первый взгляд, по расположению обеих частей, кажется, что карлсбадский двойник ближе к альбит-карлсбадскому, а эстерельский к альбит-эстерельскому двойникам. Однако внимательное рассмотрение соотношений граней показывает, что на самом деле альбит-карлсбадский закон ближе к эстерельскому, а альбит-эстерельский — к карлсбадскому, и действительно эти типы сростаний разнятся один от другого лишь настолько, насколько отклонены друг от друга направления их двойниковых осей: III и  $\perp$  I; I и  $\perp$  III.

При развитии двойниковых сростаний в плоскости (001) кристаллы плагиоклаза обычно вытягиваются не по плоскости (010), а по плоскости (001), преимущественно по оси I.

Нередко в плагиоклазе наблюдается резко выраженная зонарная структура, когда зерно плагиоклаза угасает не сразу, а концентрическими зонами. Такая структура образуется в течение роста кристалла в связи с изменением физико-химических условий окружающей среды. Лучшее всего зонарная структура заметна в сечениях, параллельных плоскостям сростаний двойников, например, в плоскости (010).

### Оптические свойства плагиоклазов

Оптические свойства плагиоклазов, как например, величина показателей преломления, двупреломление, оптический знак и величина угла оптических осей, являются непостоянными, колеблющимися в зависимости не только от химического состава плагиоклаза, но и от температурных условий его кристаллизации.

Величина показателей преломления закономерно возрастает у плагиоклазов пропорционально увеличению количества аортитовой составляющей. Следует иметь в виду, что преломление может значительно отклоняться от приводимых величин. На это указывает В. Н. Лодочников<sup>1</sup>, ссылающийся на ряд зарубежных авторов. Двупреломление колеблется от 0,007 до 0,012.

Угол оптических осей  $2V$  в плагиоклазах обычно большой и, как установлено позднейшими работами А. Н. Заварицкого, Д. С. Белянкина, В. Н. Лодочникова и других, величина его зна-

<sup>1</sup> В. Н. Лодочников. Главнейшие породообразующие минералы. 4-е издание, Госгеолтехиздат, 1955, стр. 87.



чительно колеблется. Большую роль при этом играет режим охлаждения при кристаллизации. Установлено, что более высокотемпературные плагиоклазы имеют  $2V$  значительно меньший, чем обычно изображается на кривых.

Для определения плагиоклаза, как указывает В. Н. Лодочников<sup>1</sup>, угол оптических осей не имеет никакого значения, но может служить важным критерием при установлении генезиса пород и их генетических соотношений. Несомненно, что в будущем эта константа приобретет очень важное значение при изучении пород и процессов минералообразования.

Наиболее удобной константой при определении плагиоклазов как на обыкновенном столике микроскопа, так и при пользовании

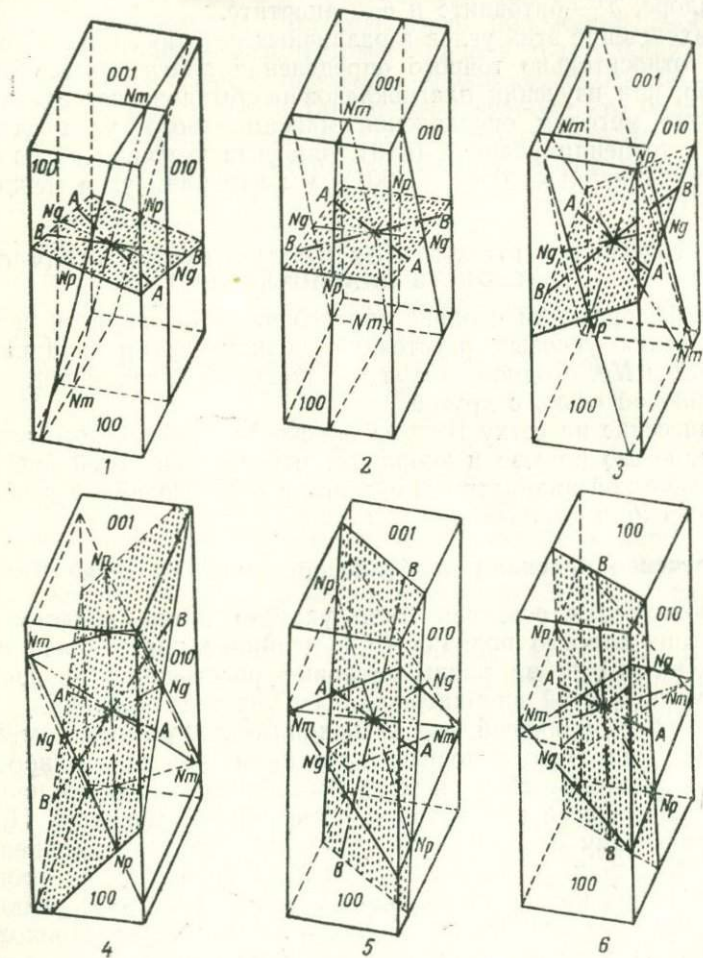


Рис. 23

<sup>1</sup> См. сноску на стр. 50.

столиком Федорова, до сих пор является их оптическая ориентировка, т. е. положение в кристалле осей  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$  оптической индикатрисы.

Методика определения плагиоклазов почти целиком основана на следующем: состав плагиоклаза, образовавшегося в определенных физико-химических условиях, определяется положением оптической индикатрисы в кристалле, т. е. углы между осями  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$  оптической индикатрисы с каждой кристаллографической осью строго определены, по крайней мере, для глубинных магматических и для метаморфических пород. На рис. 23 изображено положение осей индикатрисы и плоскости оптических осей в плагиоклазах: 1 — альбите, 2 — олигоклазе, 3 — андезине, 4 — лабрадоре, 5 — битовните и 6 — анортите.

Нахождение этих углов в различных сечениях и дает возможность относительно точного определения плагиоклаза. Так, например, при изучении плагиоклазов на обыкновенном столике микроскопа методом определения максимального угла угасания в зоне, перпендикулярной (010), или угла угасания на разрезах, перпендикулярных (010) и (001), мы измеряем угол между  $Np_1$  и (010).

#### § 17. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАГИОКЛАЗОВ

На федоровском столике определение плагиоклазов сводится к измерению угловых расстояний между осями индикатрисы  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$ , с одной стороны, и полюсом двойникового шва и двойниковой осью, с другой.

Нанесение на сетку Вульфа плоскости двойникового шва, нахождение его полюса и координат относительно осей  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$  оптической индикатрисы описано в § 13. Перейдем к построению проекции двойниковой оси.

#### Получение проекции двойниковой оси $D$ на сетке Вульфа

Двойниковая ось, как было указано выше, является осью симметрии второго порядка  $L^2$  в двойнике плагиоклаза и расположена всегда на равных угловых расстояниях от проекций одноименных осей индикатрисы обеих частей двойника.

Выход двойниковой оси  $D$  находим построением на сетке Вульфа. Для этого условным пунктиром или каким-либо цветным карандашом соединяем дугами больших кругов проекции одноименных осей индикатрисы обеих частей двойника. Поворачивая восковку около центра сетки, поочередно помещаем на один меридиан  $Ng$  и  $Ng_1$ ,  $Nm$  и  $Nm_1$ ,  $Np$  и  $Np_1$  и проводим дуги больших кругов по меридиану сетки от полюса до полюса. В разобранном нами примере накладки (см. § 13, Приложения 2, 3, 4 и 6) дуги, соединяющие проекции одноименных осей индикатрисы, проведены условным пунктиром с точками (см. Приложение 6).



В идеальном случае все три дуги пересекутся в одной точке, которая и будет стереографической проекцией двойниковой оси  $D$  данного двойника. Часто вследствие неточности работы дуги не пересекаются; получается некоторый треугольник погрешностей. (В Приложении 6 такой треугольник заштрихован). За проекцию двойниковой оси в таком случае принимается центр тяжести треугольника.

### Другие методы определения положения двойниковой оси

Иногда при работе со столиком Федорова, даже при условии аккуратной работы и точного построения сферических треугольников на восковке, при отыскании положения двойниковой оси  $D$  получается недопустимо большой треугольник погрешностей. В таком случае проекцию двойниковой оси  $D$  нельзя помещать в центре тяжести такого треугольника, это будет слишком неточно. Лучше всего переделать работу заново, на другом зерне минерала. В редких же случаях, когда почему-либо другого выбора нет, можно применить метод, предложенный А. К. Подногиным [см. 2, стр. 71].

Поместив на меридиан дугу, соединяющую  $Ng$  и  $Ng_1$ , определяем дуговое расстояние (по меридиану) между этими точками, делим его пополам и полученную точку отмечаем крестиком с обозначением  $h_1$ . По этому же меридиану через  $90^\circ$  от  $h_1$  отмечаем крестиком вторую точку  $h_2$ . Таким же образом находим на дугах  $Nm-Nm_1$  и  $Np-Np_1$  точки  $h_3, h_4, h_5$  и  $h_6$ . Затем из каждой точки, как из полюса, поместив ее на горизонтальный диаметр сетки и отсчитав от нее через центр сетки  $90^\circ$ , проводим условным пунктиром (или цветом) дугу. Получаем шесть дуг, которые будут образовывать пары дуг, перпендикулярных друг другу. Эти шесть дуг дадут на восковке несколько пересечений. Ищем пересечение трех дуг, которое расположится внутри ранее полученного треугольника погрешностей. Это и будет проекция двойниковой оси  $D$ .

Этот способ разобран в Приложении 7, где проведены вспомогательные шесть дуг; на рисунке видно, что проекция выхода двойниковой оси находится в точке  $h_3$  в центре треугольника погрешностей, между проекциями осей  $Nm$  и  $Nm_1$ .

Можно несколько видоизменить этот способ. Определив положение вспомогательных точек  $h_1-h_6$  на восковке, не проводим дуг, а вращаем восковку до тех пор, пока какие-либо три из названных точек не окажутся на одном меридиане. Ищем полюс дуги, соответствующий этому меридиану. Если этот полюс поместится внутри найденного ранее треугольника погрешностей, то он и будет проекцией двойниковой оси, а дуга, проходящая через эти точки, стереографической проекцией двойниковой плоскости.

## Определение типа двойникового срastания

Двойниковая ось на восковке не может быть расположена произвольно. В нормальных двойниках она всегда должна совпадать с проекцией полюса двойникового шва ( $P$ ). В параллельных и сложных двойниках, где двойниковая ось лежит в плоскости срastания, точка  $D$  на восковке должна расположиться на линии двойникового шва. Положение двойниковой оси  $D$  на восковке определяет тип двойникового срastания и является проверкой всей ранее проделанной работы. Так, например, в Приложении 7 мы имеем параллельное или сложное срastание, так как точка  $D$  лежит на плоскости двойникового шва, а в Приложении 6 — нормальное двойникование: точка проекции двойниковой оси совпадает с проекцией полюса плоскости срastания.

Большой треугольник погрешностей, а также смещение точки  $D$  относительно двойникового шва или его полюса является показателем плохо выполненной работы, результаты которой не могут считаться правильными при определении номера плагноклаза. Допустимое отклонение положения проекции  $D$  не должно превышать  $10^\circ$  сетки.

### Проверка положения двойниковой оси и двойниковой плоскости

Положение двойниковой оси в кристалле всегда может быть проверено, если она на восковке расположена ближе к центру, чем к периферии сетки. Для этого поворачиваем восковку вокруг центра сетки так, чтобы точка  $D$  имела, по возможности, меньшие наклоны по осям  $H$  и  $I$ . Установив восковку в найденном положении, читаем полученные отсчеты по осям  $N$ ,  $H$  и  $I$  и устанавливаем по этим отсчетам оси столика Федорова, при условии, конечно, что шлиф после произведения отсчетов темнот не был сдвинут. Для случая Приложения 6, например, отсчеты для точки  $D$  могут быть получены следующие:

по  $N$  —  $11^\circ$ ; по  $H$  —  $36^\circ$  влево; по  $I$  —  $31^\circ$  вниз.

Если установить оси столика на эти отсчеты, то ось  $D$  будет направлена в глаз. При этом исчезает двойниковое строение, и все зерно плагноклаза при вращении столика микроскопа вокруг оси  $A$  гаснет сразу, как монокристалл.

Если двойниковая ось на восковке расположена ближе к периферии, то ее нельзя поставить в глаз, так как слишком велики будут наклоны по осям  $H$  или  $I$ . В этом случае можно двойниковую ось совместить с осью  $I$ . Тогда с плоскостью симметрии микроскопа будет совмещена перпендикулярная двойниковой оси двойниковая плоскость. Дугу проекции двойниковой плоскости найдем, поставив точку  $D$  на горизонтальный диаметр сет-



ки и отсчитав от нее через центр  $90^\circ$ . По восковке находим отсчеты для дуги двойниковой плоскости по осям  $N$  и  $H$  и ставим на эти отсчеты соответствующие оси столика.

Когда двойниковая плоскость установлена вертикально, т. е. параллельно плоскости симметрии микроскопа, двойниковое строение незаметно: все двойниковые полоски остаются окрашенными одинаково при любом наклоне по оси  $I$ .

При повороте же столика микроскопа влево или вправо (так как двойниковая плоскость является плоскостью симметрии двойника), обе части двойника (или обе системы полосок) будут всегда иметь симметричное погасание.

При определении плагиоклаза методом Федорова всегда рекомендуется производить эти проверки.

В кислых плагиоклазах при построении проекции по сетке Вульфа часто  $Np$  обеих частей двойника оказываются почти рядом, и треугольник погрешностей получается большим и очень длинным, так что определение положения проекции  $D$  становится вообще невозможным. Иногда при этом на одной дуге получаются не две, а четыре точки проекции осей индикатрисы. Тогда вообще никакого треугольника получится не может и положение  $D$  неопределимо. Во всех этих случаях положение двойниковой оси можно определить только отысканием этой точки непосредственно на столике Федорова, или устанавливая ее в глаз, или совмещая с осью  $I$ . В таких случаях начинающим лучше всего выбрать другое зерно и проделать работу еще раз.

### Определение координат двойниковой оси

Когда положение двойниковой оси найдено и проверено, следует определить ее координаты относительно осей  $Ng$ ,  $Np$  и  $Nm$  в обеих частях двойника. Это определение производится таким же образом, как и в случае нахождения координат точки  $P$  (см. § 13, п. 18).

Вращая восковку вокруг центра сетки, совмещаем на одном меридиане точку  $D$  последовательно с  $Ng$ ,  $Ng_1$ ,  $Nm$ ,  $Nm_1$  и т. д. Получаем дуговые расстояния и берем для них среднearифметические:  $DNg$ ,  $DNm$  и  $DNp$ .

Так же, как и в случае  $P$ , если величина дугового расстояния больше  $90^\circ$ , ее следует вычесть из  $180^\circ$  и записать полученную разность.

В примере Приложения 6 координаты точки  $D$  совпадают с координатами точки  $P$ . Это пример нормального двойника:

$$P = D \begin{array}{l} / Ng - 19^\circ \\ - Nm - 71,5^\circ \\ \backslash Np - 83^\circ. \end{array}$$

Во втором примере (см. приложение 7) координаты  $D$  следующие:

$$\begin{array}{l}
 \angle Ng = 180^\circ - 104^\circ = 76^\circ \\
 D - Nm = 11^\circ \\
 \angle Np = 89^\circ
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \angle Ng_1 = 78^\circ \\
 D_1 - Nm_1 = 13^\circ \\
 \angle Np_1 = 88^\circ
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \angle Ng = 77^\circ \\
 D_0 - Nm = 12^\circ \\
 \angle Np = 88,5^\circ.
 \end{array}$$

### § 18. ДИАГРАММЫ Е. С. ФЕДОРОВА и В. В. НИКИТИНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАГИОКЛАЗОВ

Учениками Е. С. Федорова М. А. Усовым, В. В. Никитиным и другими были разработаны диаграммы для определения двойникового закона и номера плагиоклаза по координатам  $P$  и  $D$  относительно осей индикатрисы  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$ . Для этого на специальную полярную сетку наносятся угловые координаты полюса плоскости срастания и двойниковой оси относительно проекций осей оптической индикатрисы  $Ng$ ,  $Np$  и  $Nm$ .

Е. С. Федоров для этой цели пользовался стереографической сеткой, с горизонтальным диаметром которой была совмещена ось  $Ng$ , с вертикальным — ось  $Np$  и с центром — ось  $Nm$  (см. Приложение 8). Цена деления такой сетки  $5^\circ$ .

На эту сетку были нанесены проекции полюсов граней и двойниковых осей для случаев различных двойниковых законов всех плагиоклазов, от альбита до анортита. Оказалось, что эти проекции располагаются в виде некоторых кривых, определенным образом ориентированных.

В. В. Никитиным были составлены две диаграммы: на одной были расположены полюса граней относительно осей индикатрисы двойника, на другой — двойниковые оси параллельных и сложных двойников. Положение двойниковой оси нормальных двойников (законов грани), естественно, соответствует расположению полюсов граней первой диаграммы. Рассмотрим эти диаграммы.

*Диаграмма полюсов граней* (рис. 24). Нанесенные на диаграмму кривые соединяют проекции полюсов всех граней, которые могут явиться плоскостями срастания двойников плагиоклаза. Здесь представлены грани  $(010)$ ,  $(001)$ , плоскость ромбического сечения (Р. С.)  $(100)$ ,  $(1\bar{1}0)$ ,  $(110)$ ,  $(021)$ ,  $(0\bar{2}1)$ . Эта диаграмма является одновременно диаграммой полюсов и плоскостей срастания (двойниковых швов) всех возможных двойников. Кривая  $(010)$  отвечает линии проекции полюсов двойниковых швов альбитового закона и в то же время полюсов плоскостей срастания всех двойников, которые срастаются по плоскости  $(010)$ . Кривая  $(001)$  отвечает проекции полюсов двойниковых швов манебахского закона и одновременно полюсов плоскостей срастания всех параллельных и сложных двойников, срастающихся в плоскости  $(001)$ . Кривые  $(021)$  и  $(0\bar{2}1)$  соответствуют проекциям полюсов двойниковых швов правого и левого



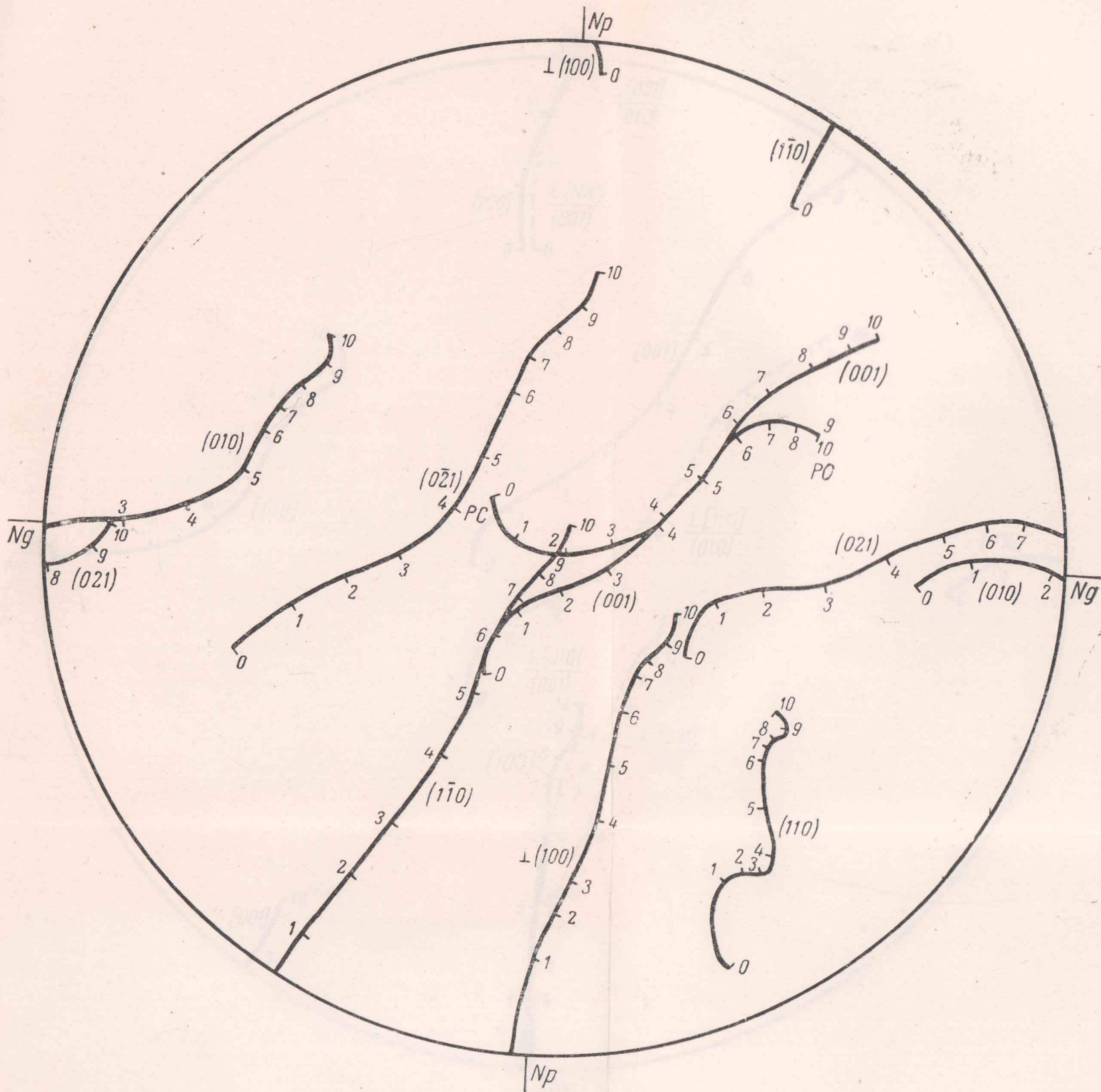


Рис. 24

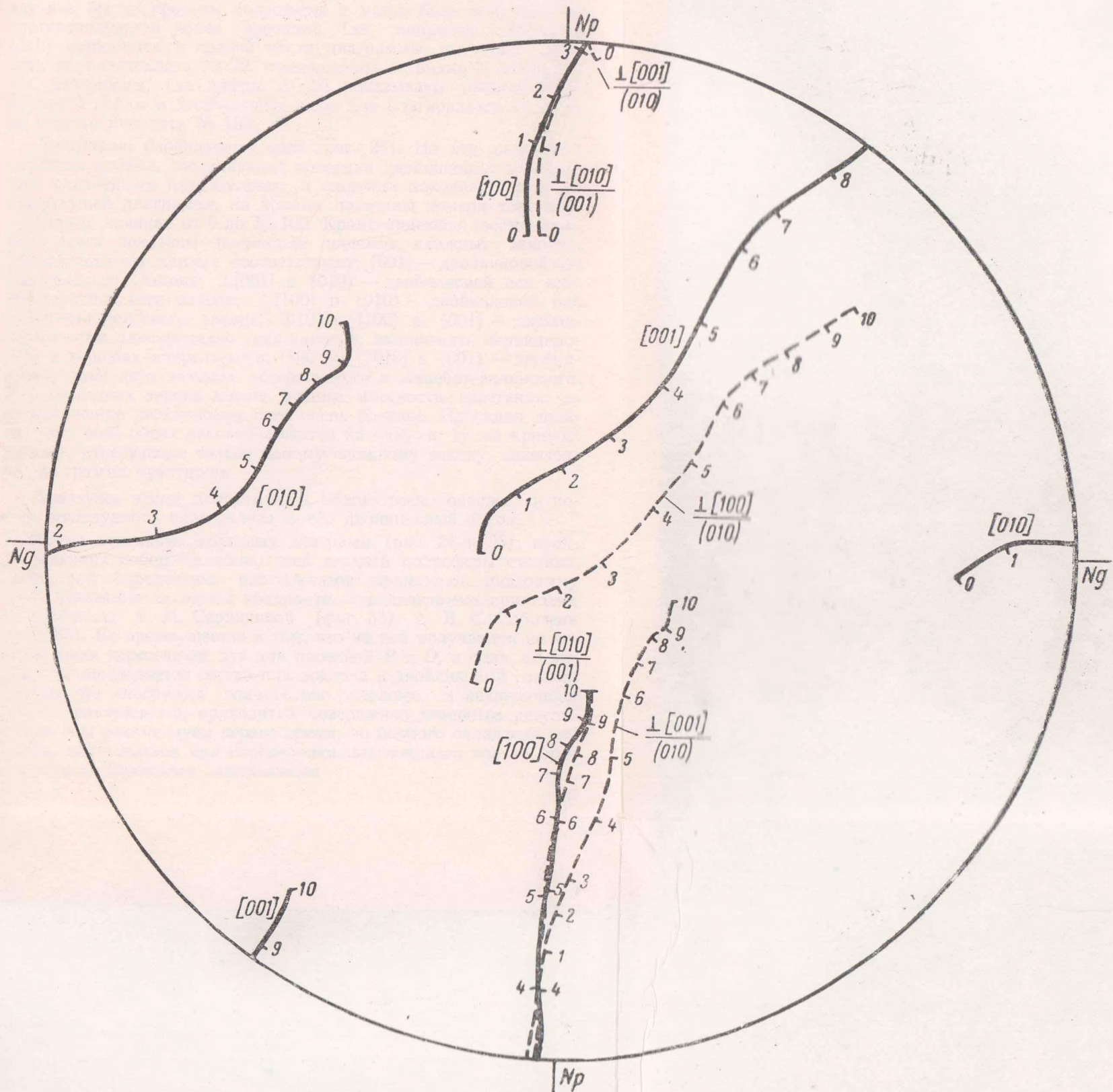
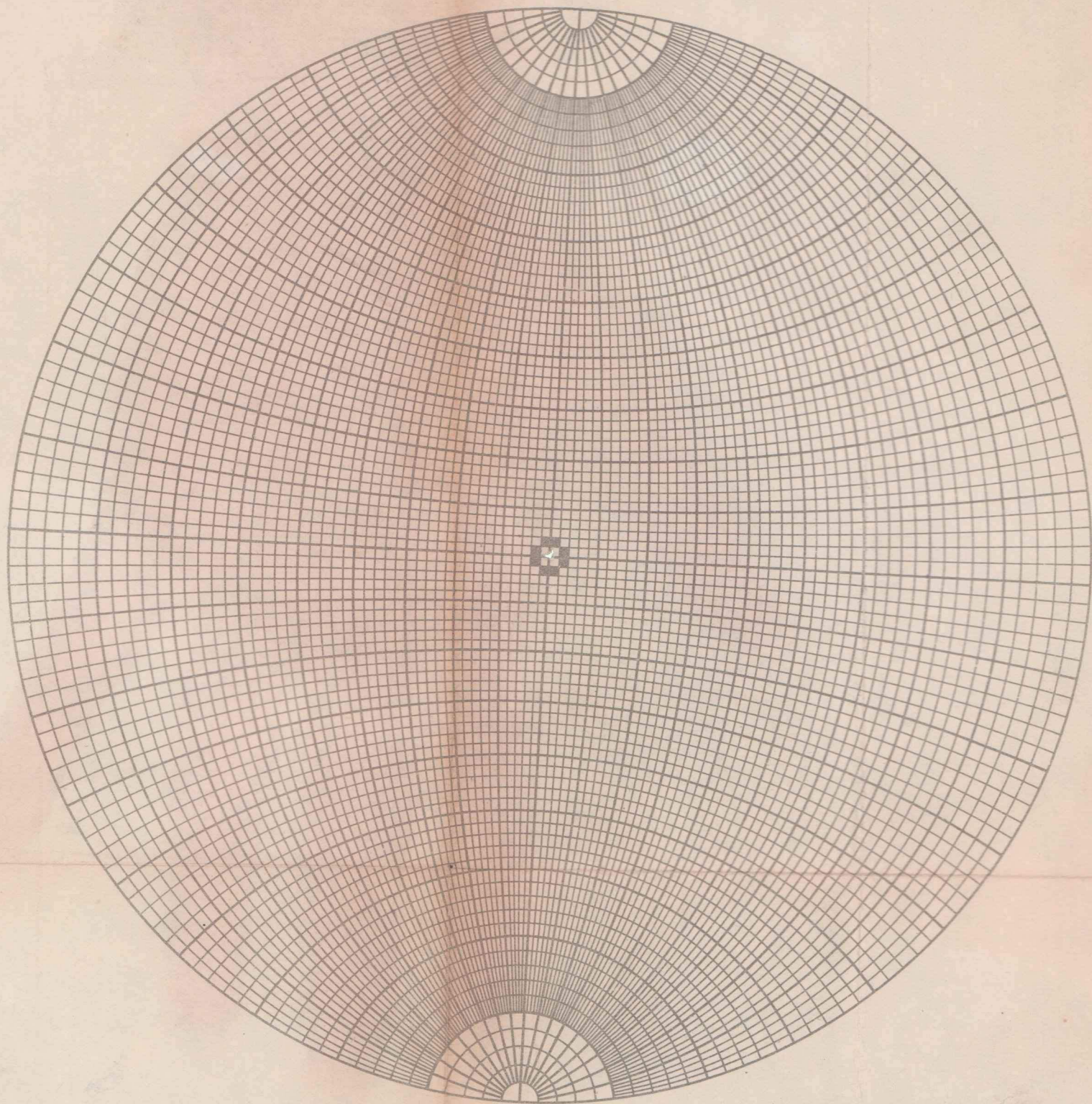


Рис. 25





Сетка Вульфа.



бавенских законов (110) и (110) — проекции полюсов законов по грани (110) и т. д. Кривая Р. С. соответствует проекции полюсов плоскости срастания периклиновых двойников.

Цифры, поставленные на каждой кривой, обозначают содержание аноритовой составляющей в десятках процентов в данном плагиоклазе. Некоторые кривые не целиком помещаются в пределах данной проекции. Противоположные концы их уходят как бы за пределы полусферы и могут быть показаны на противоположном конце проекции. Так, например, проекция (010) начинается в правой части диаграммы, от чистого альбита до плагиоклаза № 22, продолжение ее видим в левой части диаграммы, где цифры 3—10 показывают расположение проекций полюсов двойниковых швов для плагиоклазов от № 22 до чистого анортита № 100.

*Диаграмма двойниковых осей* (рис. 25). На эту диаграмму нанесены кривые, соединяющие проекции двойниковых осей для всех главнейших параллельных и сложных законов. Как и на предыдущей диаграмме, на кривых показаны номера всех плагиоклазов, начиная от 0 до № 100. Кроме индексов двойниковых осей, здесь показаны полностью индексы сложных законов. Обозначения на кривых соответствуют:  $[001]$  — двойниковой оси карлсбадского закона;  $\perp[001]$  в (010) — двойниковой оси альбит-карлсбадского закона;  $\perp[100]$  в (010) — двойниковой оси альбит-эстерельского закона;  $[010] = \perp[100]$  в (001) — двойниковым осям одновременно трех законов: аклинового, периклинового и манебах-эстерельского;  $[100] = \perp[010]$  в (001) — двойниковым осям двух законов: эстерельского и манебах-аклинового. Два последних закона имеют разные плоскости срастания, но расположение двойниковых осей очень близкое. Проекции двойниковых осей обоих законов ложатся на одну и ту же кривую. Кривые, отвечающие только одному сложному закону, нанесены на диаграмме пунктиром.

Пользуясь этими диаграммами можно точно определить номер исследуемого плагиоклаза и его двойниковый закон.

Кроме описанных круговых диаграмм (рис. 24 и 25), представляющих собой проекцию всей верхней полусферы столика, часто для определения плагиоклазов применяют диаграмму В. В. Никитина на одном квадранте. Эта диаграмма приведена в учебниках Г. М. Саранчиной (фиг. 33) и В. С. Соболева (рис. 85). Ее преимущество в том, что на ней получают не четыре точки пересечения дуг для проекций  $P$  и  $D$ , а одна, по которой и определяется состав плагиоклаза и двойниковый закон. Однако эта диаграмма значительно сложнее, и начинающие, часто, пользуясь ею, приходят к совершенно неверным результатам. Мы рекомендуем первое время, до полного овладения методом, пользоваться при определении плагиоклазов только приведенными круговыми диаграммами.



## § 19. НАНЕСЕНИЕ КООРДИНАТ $P$ И $D$ НА ПОЛЯРНУЮ СЕТКУ

Берем чистую восковку и накладываем ее на полярную сетку. В этом случае нет надобности обводить окружность, которая даже будет мешать, если координаты  $P$  и  $D$  с осью  $Nm$  близки к  $90^\circ$ . На восковку следует нанести центр и показать пересечение вертикального и горизонтального диаметров сетки с окружностью, как это показано в приложениях 9 и 10.

На подготовленную таким образом восковку наносим координаты сначала  $P$ , затем  $D$ . Координаты с осью  $Ng$  откладываются по горизонтальному диаметру сетки по малым кругам<sup>1</sup> с двух сторон, считая от периферии сетки к центру; координаты с осью  $Np$  откладываются по вертикальному диаметру с двух сторон по малым кругам также от периферии к центру; координаты с осью  $Nm$  отсчитываются от центра и откладываются по радиусу в виде одной малой окружности.

Для разбираемого нами примера (Приложения 2, 3, 4, 6) восковка с нанесенными координатами  $P$  представлена в Приложении 9.

Сплошные линии четырех малых дуг дадут с кругом  $Nm$  четыре точки пересечения. Кривые пересекаются достаточно точно даже при не совсем аккуратной и четкой работе. Непересечение кривых или образование треугольника погрешностей свидетельствует о какой-то грубой ошибке при подсчете координат или при отложении этих величин на восковку. В таком случае следует тщательно проверить работу, найти и исправить ошибку.

Далее на ту же восковку другим цветом, но по тому же принципу откладываются координаты  $D$ . Если определяемый двойник плагноклаза относится к нормальным двойникам, кривые для  $P$  и  $D$ , а также и точки их пересечения должны совпадать. В случае же параллельного двойника, кривые для  $D$  и  $P$  располагаются по-разному. На Приложении 10 координаты параллельного двойника нанесены пунктиром.

После нанесения координат  $P$  и  $D$  на полярную сетку остается наложить восковку на диаграммы и определить плагноклаз.

## § 20. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕРА ПЛАГИОКЛАЗА И ДВОЙНИКОВОГО ЗАКОНА НОРМАЛЬНЫХ ДВОЙНИКОВ

Накладываем восковку с координатами  $P$  и  $D$  на диаграмму полюсов граней. Совмещаем центр восковки с центром диаграммы и следим, чтобы горизонтальный и вертикальный диаметры восковки были совмещены с таковыми диаграммы.

<sup>1</sup> Малыми кругами называются окружности, проводимые не по меридианам стереографической проекции и не от полюса до полюса, а по заданным радиусам из заданных центров. На полярной сетке малые круги проводятся по радиусам из центров проекций осей  $Ng$ ,  $Nm$ ,  $Np$ . (А. К. Подногин, стр. 69—70).

Смотрим, как расположились точки пересечений нанесенных нами кривых относительно кривых полюсов граней диаграммы. Если только одна из четырех точек пересечения попала на кривую грани, определяем по ней двойниковый закон и номер плагиоклаза. Например, пусть точка пересечения попала на кривую (010) между точками 5 и 6, как показано на рис. 26. Интерполируя между точками 5 и 6, определяем, что исследуемый нами плагиоклаз относится к лабрадору № 55, двойниковый закон — альбитовый.

Если точка пересечения не попала на кривую, но легла от нее поблизости, следует из данной точки (или из центра тяжести маленького треугольника погрешности) опустить на кривую перпендикуляр и так же, как и в предыдущем случае, прочесть номер плагиоклаза и двойниковый закон.

Часто бывает, что не одна, а две или даже три точки пересечения расположатся вблизи различных кривых. В этом случае при выборе решения следует учитывать все имеющиеся у нас данные: форму и характер двойника, приблизительное предварительное определение номера плагиоклаза или данной породы, которое обычно производится раньше, чем данный шлиф подвергается детальному изучению на столике Федорова.

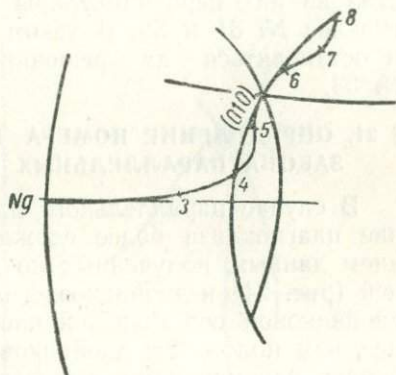


Рис. 26

Очень важно при установке двойникового шва заранее определить плоскость срастания: относится она к плоскости (010) или не относится. Это делается следующим образом: когда двойниковый шов установлен на резкость (§ 8), поворачивают столик микроскопа вокруг оси  $A$  на  $45^\circ$  против часовой стрелки, вдвигают компенсатор с  $R = 560 m_\mu$  и наклоняют ось  $I$ . Если плоскостью срастания является плоскость (010), обе половинки двойника будут при любом повороте вокруг оси  $I$  окрашены в синий или зеленый цвет II порядка. При любой другой плоскости срастания в одной или в обеих половинках синий цвет сменяется желтым цветом I порядка.

Располагая всеми этими данными, обычно без труда удастся выбрать правильное решение. Следует также принять во внимание, что наиболее часто встречается альбитовый закон, затем — манебахский, а все остальные из нормальных законов сравнительно очень редки. Поэтому, если одна из точек пересечения попадет, например, на кривую (110), а другая расположится недалеко от кривой (010), то ни в коем случае не следует считать, что мы имеем закон призмы; надо опустить пер-



пендикуляр на кривую (010) и считать закон альбитовым, конечно, при условии, что при проверке двойникового шва не было установлено, что плоскость срастания не (010).

На примере Приложения 9 видно, что из четырех точек пересечения дуг три падают на кривую (010) и одна — на кривую (021) бавенского закона. Если плагиоклаз не имеет отрицательного рельефа и обладает полисинтетическим двойниковым строением, следует выбрать для решения две левые точки; опустив из них перпендикуляры на кривую (010), получаем плагиоклаз № 31 и 35. В таком случае приходится взять среднее и остановиться на решении: альбитовый закон, плагиоклаз № 33.

## § 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕРА ПЛАГИОКЛАЗА И ДВОЙНИКОВОГО ЗАКОНА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ИЛИ СЛОЖНЫХ ДВОЙНИКОВ

В случае параллельного или комплексного закона определение плагиоклаза более сложно. Оно производится сопоставлением данных, полученных по двум диаграммам — полюсов граней (рис. 24) и двойниковых осей (рис. 25). Так как положение двойниковой оси большей частью на восковке получается точнее, чем положение двойникового шва и его полюса  $P$ , то начинать рекомендуется с диаграммы двойниковых осей. Накладывая на нее восковку с нанесенными координатами точек  $P$  и  $D$  посмотрим, где расположатся точки пересечения кругов координат  $D$ . Предположим, что точка пересечений попадает на кривую [001], плагиоклаз № 70. Берем на заметку это определение и переносим восковку на диаграмму полюсов граней. Смотрим, где расположатся точки пересечений кругов координат  $P$ . По положению этих точек определяем плоскость срастания и номер плагиоклаза так же, как и для нормальных двойников. При этом пересечение с кривыми (021), (110) и (100) ничего не дает. Здесь плоскостями срастания обычно являются (010), (001) или  $P. C.$

Часто бывает, что одна точка пересечения попадает на кривую (010), а другая на кривую (001) или  $P. C.$  В таком случае нужно взять на заметку оба решения. Например, пусть точки пересечения для  $P$  расположатся:

1) недалеко от (010); опущенный перпендикуляр падает на плагиоклаз № 72 (рис. 27);

2) недалеко от кривой  $P. C.$ ; опущенный перпендикуляр падает на плагиоклаз № 65.

Сопоставляем оба эти решения с тем, что у нас получилось по диаграмме двойниковых осей. Очевидно, первое решение для нас больше подходит. Двойниковая ось, ребро [001], соответствует плоскости срастания (010) в карлсбадских двойниках. Сошты плагиоклазов № 70 и 72 также близко совпадают. Если же принять второе решение, то ребро [001] для плоскости ромбического сечения не годится, такого двойникового закона нет. При-

ходим к выводу, что второе решение по диаграмме полюсов граней следует отбросить и считать, что у нас имеется карлсбадский закон  $\frac{[001]}{(010)}$  и плагиоклаз № 70 (принимая результат, полученный по  $D$ , как более точный).

Здесь следует еще более осторожно, чем в случае нормального двойника, выбирать решение, учитывая все особенности данного зерна. Решающее значение часто имеет характер двойника: простой или полисинтетический (важно иметь его зарисовку).

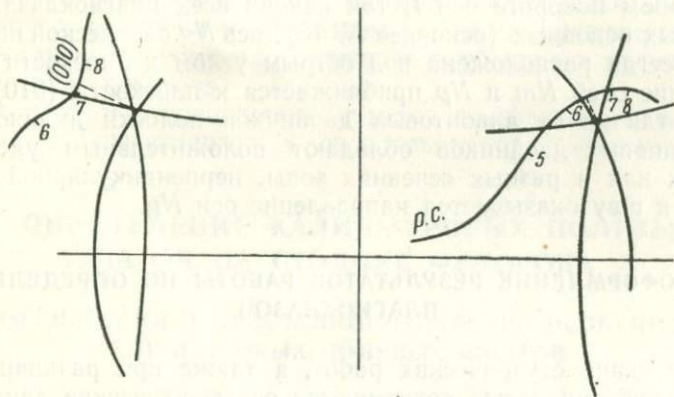


Рис. 27

Надо помнить, что наиболее вероятно присутствие карлсбадского, периклинового или альбит-карлсбадского двойников, другие встречаются реже.

Рассмотрим пример Приложения 10. Одна из четырех точек пересечения координат двойниковой оси ложится на кривой  $\perp [100]$  в пл. (010), в точке, отвечающей плагиоклазу № 28. Точки проекции  $P$ , в левой стороне диаграммы полюсов граней, располагаются по обеим сторонам кривой (010), также около точки плагиоклаза № 28. Другое решение в правой части диаграммы могло бы быть для альбита № 3—5 той же кривой (010), но это решение нам не подходит во-первых потому, что не соответствует положению проекции  $D$ , а, во-вторых, потому, что альбит № 3—5 должен был бы иметь отрицательный рельеф, чего, очевидно, нет в данном случае. Отбрасываем это второе решение и принимаем: плагиоклаз № 28, альбит-эстерельский закон  $\frac{\perp [100]}{(010)}$ .

При изучении плагиоклазов следует иметь в виду, что двойники по альбитовому закону легко определяются на столике Федорова следующим приемом. Так как в случае альбитового закона двойниковая плоскость совпадает с плоскостью срастания и оптическая индикатриса двух соседних половинок двой-



ника по отношению к этой плоскости всегда будет расположено симметрично, то при установке двойникового шва на резкость (параллельно плоскости симметрии микроскопа, см. § 8), все полоски альбитового двойника будут иметь одинаковую окраску при любом положении оси  $I$ , т. е. двойниковое строение будет незаметно. При повороте же столика микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки и введении компенсатора с  $R = 560 m_\mu$  все двойниковые полоски исследуемого зерна будут обнаруживать отрицательное удлинение, т. е. окрасятся в синий или зелено-желтый цвет II порядка. Эта окраска будет сохраняться при любом повороте оси  $I$ , так как во всех плагиоклазах, кроме самых основных (основнее № 73), ось  $Ng$  оптической индикатрисы всегда расположена под острым углом к плоскости (001), а сечение осей  $Nm$  и  $Np$  приближается к плоскости (010).

В отличие от альбитовых двойников полоски аклиновых и периклиновых двойников обладают положительным удлинением, так как в разных сечениях зоны, перпендикулярной (001), ближе к шву оказывается направление оси  $Ng$ .

## § 22. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЛАГИОКЛАЗОВ

При сдаче студенческих работ, а также при различных отчетных работах, когда сохраняются все фактические данные по обработке петрографического материала, имеет значение оформление результатов работы.

Восковки должны быть чисто и аккуратно выполнены, различные данные должны быть нанесены условным пунктиром или цветом. На первой восковке должны быть указаны: номер шлифа, место взятия образца, зарисовка зерна, фамилия исполнителя работы, таблички данных отсчетов по осям  $N$ ,  $H$  и  $I$ , величина  $2V$  и оптический знак минерала; внизу должны быть помечены координаты  $P$  и  $D$ .

На второй восковке пишется снова номер шлифа, место взятия образца, фамилия исполнителя работы, а затем результаты определения: номер плагиоклаза и двойниковый закон.

При выполнении многих определений на столике Федорова полученные данные обычно сводят в табличку. Установленная форма для такой таблички следующая:

№ п/п	№ образца или шлифа	Место взятия образца	Координаты $P$			Координаты $D$			$2V$	№ плагиоклаза	Двойниковый закон	Примечание
			$Ng$	$Nm$	$Np$	$Ng$	$Nm$	$Np$				

Обозначения для координат полюса двойникового шва и двойниковой оси не всегда соответствуют принятым Е. С. Федоровым *P* и *D*. В литературе часто под буквой *D* подразумевается полюс двойникового шва, а двойниковая ось обозначается *B*. Это следует иметь в виду.

### § 23. УСКОРЕННЫЙ (ЗОНАЛЬНЫЙ) МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАГИОКЛАЗОВ

На столике Федорова можно производить определение плагиоклазов ускоренным — зональным методом. Зональный метод, являющийся дальнейшим развитием методики применения столика Федорова, значительно упрощает и убыстряет процесс определения плагиоклазов.

В настоящем руководстве этот метод не излагается, поэтому отсылаем интересующихся к специальным руководствам<sup>1</sup>.

## III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЛИ-НАТРОВЫХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ НА СТОЛИКЕ ФЕДОРОВА

### § 24. ХИМИЧЕСКИЕ И КРИСТАЛЛООПТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАЛИ-НАТРОВЫХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ

Кали-натровые полевые шпаты, как и плагиоклазы, образуют непрерывный кристаллохимический ряд, несомненно, с совершенной непрерывностью изменений их оптических свойств, но изучены они еще очень плохо.

Химически эта группа минералов представляет собой изоморфную смесь ортоклазовой  $KAlSi_3O_8(Og)$  и альбитовой  $NaAlSi_3O_8(Ab)$  составляющих, к которым примешивается незначительное количество  $CaAl_2Si_2O_8(An)$ . *Og* и *Ab*, по-видимому, смешиваются во всех пропорциях только при высоких температурах, при низких же температурах смесимость их ограничена. Что касается *Og* и *An*, то они почти не смешиваются между собой и примесь *An* в кали-натровых полевых шпатах очень незначительна. Кроме основных компонентов, *K-Na* полевые шпаты постоянно содержат в виде примеси  $RbAlSi_3O_8$ ,  $CsAlSi_3O_8$  и некоторые другие соединения. *K*-полевые шпаты с примесью бариевого полевого шпата — цельзиана  $BaAl_2Si_2O_8$  представляют, по-видимому, другой непрерывный ряд твердых растворов.

Кали-натровые шпаты встречаются в двух сингониях: триклинной и моноклинной. Обычно моноклинные различия носят название ортоклаза, триклинные — микроклина и анортклаза. Однако вопрос о сингонии этой группы минералов значительно

<sup>1</sup> См. список литературы [5] и [9].



сложнее. Закономерности их структурных решеток окончательно еще не выявлены и представляют один из интереснейших объектов, находящийся в стадии изучения.

Форма кристаллов кали-натровых полевых шпатов весьма близка к форме кристаллов плагиоклазов — короткопризматическая, таблитчатая или пластинчатая, с преимущественным развитием тех же граней (010), (001), (110), что и у плагиоклазов. Общий вид кристаллов совершенно одинаков. По форме кристаллов их отличить нельзя.

Спайность, как у плагиоклазов, совершенная по (001), несколько хуже выраженная по (010).

Двойники у моноклинных разновидностей простые — карлсбадские, бавенские или, реже, манебахские; для триклинных характерно одновременное развитие двойников по альбитовому и периклиновому законам, дающих в скрещенных николях под микроскопом тонкополисинтетическую микроклиновую решетку. Плоскостью сростаний у двойников микроклина являются обычно плоскость (010) (альбитовые двойники) и плоскость ( $\bar{1}502$ ) (микроклиновые двойники). Последняя близка к плоскости (100). Полюс ее образует с осью  $Np$  угол около  $19^\circ$ .

Под микроскопом кали-натровые полевые шпаты обычно имеют вид неправильных, широко таблитчатых или короткопризматических кристаллов, спайность у которых заметна не всегда.

Оптические свойства этой группы минералов следующие:

1. Величина показателей преломления ниже показателей преломления канадского бальзама и кварца и колеблется в следующих пределах:  $N_g$  — от 1,5260 до 1,5306,  $N_m$  — от 1,5237 до 1,5294,  $N_p$  — от 1,5180 до 1,5234.

2. Двупреломление низкое, около 0,007.

3. Угол оптических осей колеблется в очень широких пределах — от 0 до  $90^\circ$ , оставаясь всегда отрицательным (В литературе встречаются указания на случаи положительного ортоклаза, но эти случаи редки и не изучены).

Установлено, что малые углы оптических осей характерны для кали-натровых полевых шпатов, кристаллизующихся при высоких температурах; большие углы получаются при низких температурах кристаллизации. Кроме того, как показывают последние работы по изучению структурной решетки кали-натровых полевых шпатов, величина угла оптических осей зависит как и у плагиоклазов от режима их охлаждения и от продолжительности пребывания их в той или иной термальной обстановке.

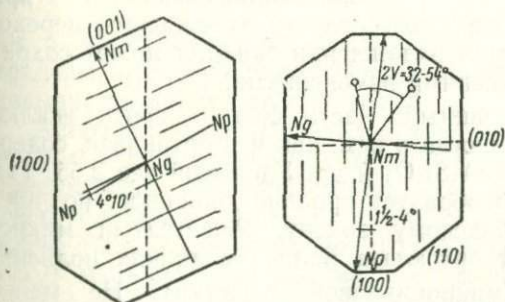
Известны следующие разновидности кали-натровых полевых шпатов: ортоклаз (Or) и водяно-прозрачный адуляр, санидин, натровый ортоклаз, анортотлаз, микроклин, натровый микроклин, цельзиан (Sp) и гиалофан ( $Or_{70}Sp_{30}$ ).

Винчелл дает следующую, более современную их классификацию:

Цельзиан	Сп	.....	BaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
Казоит	.....	.....	Cn <sub>50</sub> (Or, Ab) <sub>50</sub>
Гиалофан	.....	.....	Or <sub>m(50)</sub> Cn <sub>m(50)</sub>
Калиевые (K, Na): ортоклаз и анортоклаз	}	K, Na санидин (малое 2V) .....	(K, Na) AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
		K, Na анортоклаз (умеренное 2V) .....	(K, Na) AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
		K, Na адуляр; также ортоклаз и частично нерешетчатый микроклин (большое 2V) .....	(K, Na) AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
		Микроклин .....	(K, Na) AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Натровые (Na, K): микроклин и анортоклаз	}	Na, K анортоклаз (умеренное 2V) .....	(Na, K) AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
		Na, K микроклин (большое 2V) .....	(Na, K) AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Барбьерит (моноклинный)	}	гипотетические NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	
Анальбит (триклинный)			

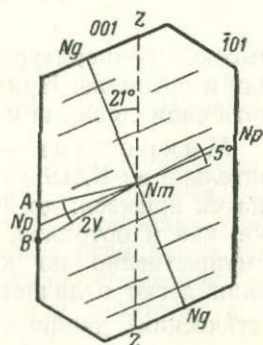
Важным диагностическим признаком кали-натровых полевых шпатов, кроме их химического состава, как и в плагиоклазах, является оптическая ориентировка.

Ортоклаз — моноклинный. Практически никогда не состоит из чистого KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>(Or), обычно содержит до 20% NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>(Ab). Удельный вес 2,56. Встречается гораздо реже, чем микроклин. Часто образует карлсбадские и бавенские двойники. Плоскость оптических осей (рис. 28) почти параллельна (001). Ось Ng перпендикулярна (010). Ось Np — острая биссек-



Разрез в плоскости (010)      Разрез в плоскости (001)

Ортоклаз  
Рис. 28



Разрез в плоскости (010),

Санидин  
Рис. 29

триса — образует со спайностью по (001) угол в 5° (до 8°) в плоскости (010). 2V — около 70°.

Водянопрозрачную разновидность ортоклаза называют адуляром.

Санидин — прозрачный, лишенный вторичных продуктов. Моноклинный. Отличается от ортоклаза малым углом оптической ориентировки.



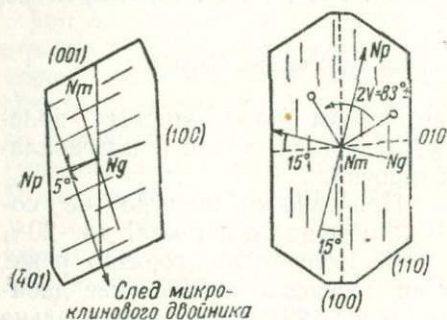
ских осей — от 0 до  $30^\circ$ . Под микроскопом часто ведет себя как одноосный минерал. Спайность часто в шлифе незаметна. Удельный вес 2,57—2,58. Оптическая ориентировка иная, чем у ортоклаза (рис. 29). Плоскость оптических осей при слабой наклонной дисперсии ( $r > v$ ) параллельна (010), но при сильной дисперсии может быть параллельна (010) для одного конца спектра и перпендикулярна для другого. Ось *Ng* перпендикулярна плоскости (001), *Nm* перпендикулярна плоскости (010), а острая биссектриса *Np*, как и у ортоклаза, образует с плоскостью (001) угол в  $5^\circ$ .

Ортоклаз встречается в глубинных магматических, а также и в метаморфических породах: адуляр — чаще всего в низкотемпературных жильных породах (альпийских жилах); санидин — в свежеизлившихся породах и иногда в жилах.

При нагревании до  $900^\circ$  адуляр переходит в санидин. При этом после  $600^\circ$  угол оптических осей его постепенно понижается до  $0^\circ$  и затем снова раскрывается в плоскости (010) под прямым углом к первоначальному положению. Санидин, кристаллизовавшийся при

высокой температуре, по мере постепенного охлаждения, переходит в ортоклаз. При быстром охлаждении санидин может сохранить свои свойства с небольшими изменениями.

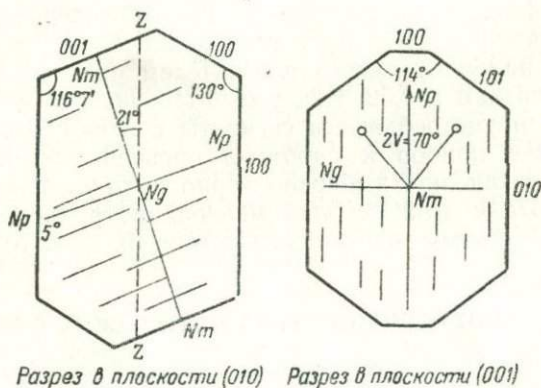
Микроклин — триклинный. Часто состоит почти исключительно из  $KAlSi_3O_8$ , но иногда в нем, как и в ортоклазе, содержатся примеси: до 20%  $NaAlSi_3O_8$  и др. Удельный вес 2,55. Так же, как и ортоклаз, часто образует простые двойники, но преимущественно по карлсбадскому закону. Решетчатый микроклин легко отличается от ортоклаза наличием тонких полисинтетических двойников (микроклиновой решетки). Не менее часто встречающийся нерешетчатый микроклин по внешнему виду не может быть отличен от ортоклаза. Оптическая ориентировка микроклина (рис. 30) в плоскости (010) та же, что и у ортоклаза, оптическая нормаль *Nm* перпендикулярна к плоскости (001). Плоскость оптических осей почти параллельна (001). Острая биссектриса *Np* образует с плоскостью (001) угол  $5^\circ$ . В плоскости же (001) картина меняется: оси *Ng* и *Np* ориентированы косо по отношению к следу плоскости (010). Ось *Np* образует со спайностью (010) угол  $15^\circ$ . Угол оптических осей большой, около  $83^\circ$ .



Микроклин  
Рис. 30

Микроклин распространен значительно шире ортоклаза, особенно в пегматитах и в динамометаморфизованных породах (так называемых тектонитах).

Анортоклаз — термин неясный. Часто анортоклазом называют триклинную разновидность кали-натрового полевого шпата, отличающуюся от микроклина величиной угла оптических осей и несколько иной оптической ориентировкой. Химический состав также  $Or+Ab+$  небольшое количество  $Ap$ . Количество



Анортоклаз

Рис. 31

$Or$  и  $Ab$  переменчиво. Различают калиевые и натровые анортоклазы, а разновидность, содержащая меньше 10%  $Or$ , иногда называется альбитом.

Анортоклаз, по Винчеллу, характеризуется умеренным или малым углом оптических осей:  $2V = 32-54^\circ$ . Оптическая его ориентировка показана на рис. 31. Плоскость оптических осей очень близка к плоскости (001), расположение осей почти подобно микроклиновому, но угол  $Np$  со следами спайности по (010) меньше: у микроклина он равен  $15^\circ$ , а у анортоклаза — до  $4^\circ$ .

Анортоклаз редко образует двойники, иногда в нем наблюдается микроклиновое решетчатое строение, но хуже выраженное, чем у микроклина.

Детальное описание особенностей кали-натровых полевых шпатов не входит в нашу задачу. Поэтому тех, кто желает детально познакомиться с этой интересной и еще мало изученной группой минералов, мы отсылаем к «Оптической минералогии» А. Н. Винчелла, изд. 1949 или 1952 г., «Главнейшим порообразующим минералам» В. Н. Лодочкина, 4-е изд., 1955 г. и другим специальным работам.



## § 25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЛИ-НАТРОВЫХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ НА СТОЛИКЕ ФЕДОРОВА

Изучение кали-натровых полевых шпатов показывает, что на современном уровне знания этой группы минералов нет необходимости различать их разновидности. Достаточно определить в них величину угла оптических осей и ориентировку оптической индикатрисы, что дает возможность установить сингонию минерала.

Для определения констант кали-натровых полевых шпатов подготовка федоровского столика ведется совершенно так же, как и для плагиоклазов, но с той разницей, что сегменты подбираются с наиболее низким показателем преломления, по возможности близким к 1,52. Как уже было указано в § 2, стр. 10, для этой цели употребляются сегменты с  $N = 1,516$ .

Подготовив прибор к работе и проведя всю необходимую проверку и установку, выбираем зерно кали-натрового полевого шпата. Работа с этой группой минералов труднее, чем с плагиоклазами, главным образом вследствие их низкого двупреломления.

## § 26. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ

Для определения угла оптических осей следует выбирать зерно кали-натрового полевого шпата с более низкой интерференционной окраской — темно-серой или серой, но не светло-серой или белой, так как иначе плоскость оптических осей, будучи близка к плоскости шлифа, не может быть установлена параллельно плоскости симметрии микроскопа.

Найдя подходящее зерно и зарисовав его, поступаем с ним так же, как и с плагиоклазами, т. е. начинаем с установки сохраняющихся темнот, пока не найдем в зерне плоскости оптических осей. В том случае, когда в плоскости оптических осей удается найти положение обеих оптических осей, величина угла  $2V$  определяется непосредственно по отсчетам, как было указано в § 12.

Величина угла оптических осей для кали-натровых полевых шпатов является очень важной константой. Поэтому метод определения  $2V$  по одному выходу оптической оси, также описанный в § 12, вследствие своей неточности здесь не приемлем.

Несмотря на то, что кали-натровые полевые шпаты всегда отрицательны, следует все же всегда проверить оптический знак. Положительный оптический знак может указать на ошибку (вместо кали-натрового полевого шпата может оказаться установленным сечение плагиоклаза) или на встречу с оптически положительным изоортотоклазом или бариевым целезианом.

При определении угла оптических осей в кали-натровых полевых шпатах, вследствие малой величины двупреломления, можно встретиться со следующими трудностями:

1. На низкополяризующих разрезах зерна кали-натровых шпатов часто бывают темно-серые. В этом случае темнота устанавливается только с большим трудом. Неопытным исследователем такая темно-серая окраска может быть принята за темноту, и вся работа может оказаться выполненной неправильно. Поэтому при установке сечений следует особо тщательно добиваться полной («бархатной») темноты, не меняющейся при поворотах оси *I*. При поисках выходов оптических осей нужно непременно проверять установку оси вращением столика микроскопа (см. § 7, стр. 23) вокруг оси *A*.

2. При установке темноты часто наблюдается малая чувствительность в изменении окраски зерна при поворотах осей столика. Можно поворачивать ось *H* или *N* на довольно значительный угол, а минерал будет продолжать оставаться темным. Положение темноты нельзя установить точно. В этом случае рекомендуется заметить начало просветлений при поворотах оси в одну и другую сторону и найти среднее между этими положениями по отсчетам. Это среднее положение оси и будет являться максимальной темнотой при установке данного сечения.

3. Большая трудность встречается при определении малых углов оптических осей, например, у санидина. В этих случаях разрезы, перпендикулярные острой биссектрисе, обычно очень темны, и не удается уловить просветления между выходами обеих оптических осей. Точно определить  $2V$  в таких случаях невозможно. При особо малых углах, от 0 до  $10^\circ$ , санидин ведет себя как одноосный минерал, т. е. при установке направления оптической оси (или острой биссектрисы) в глаз темнота сохраняется все время, при любом повороте столика микроскопа и оси *I*. В таких случаях можно рекомендовать проверить осность минерала на обычном столике микроскопа в сходящемся свете.

При детальном изучении кали-натровых полевых шпатов нередко удается заметить, что в так называемых пятнистых их разностях величина угла оптических осей крайне непостоянна не только для данной породы, но и в пределах одного зерна. Наблюдения показывают, что в центральных и периферических частях зерен (особенно крупных) результаты измерений  $2V$  бывают разные.

Поэтому при тщательном изучении минералов этой группы необходимо в каждом шлифе, по возможности, производить побольше замеров угла оптических осей.

## § 27. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТИРОВКИ В КРИСТАЛЛАХ КАЛИ-НАТРОВЫХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ

Для определения оптической ориентировки кали-натровых полевых шпатов необходимо найти в шлифе разрезы с заметными трещинами спайности в одном или в двух направлениях. Нередко трещины спайности в этих минералах в шлифах бы-



вают заметны очень хорошо, иногда же, наоборот, очень плохо, и тогда эта часть работы крайне затрудняется. Вместо трещин спайности можно взять плоскость двойникового шва, или, в крайнем случае, направление волокон микроклиновой решетки.

Найдя разрез исследуемого минерала с заметными трещинами спайности, производим следующие операции:

1. Проводим на нем все определения в той же последовательности, что и для одной части двойника плагиоклаза, т. е.: а) находим темноты; б) составляем табличку замеров; в) вычерчиваем на восковке сферический треугольник проекции оптической индикатрисы, обозначив в его вершинах наименования осей  $Ng$ ,  $Nm$ ,  $Np$ ; г) если при этом нам удалось найти плоскость оптических осей, определяем также  $2V$  и оптический знак минерала.

2. Определяем положение плоскости спайности таким же образом, как для плагиоклаза положение двойникового шва (§ 8), т. е. поворотом вокруг оси  $N$  устанавливаем направление спайности параллельно вертикальной нити окуляра, а затем поворотом вокруг оси  $H$  находим положение наибольшей четкости и резкости ее трещинок. Установку трещин спайности на резкость следует производить и при скрещенных николях и с одним анализатором (как лучше видно), можно также несколько прикрыть диафрагму. Положение относительно оси  $I$  при этом не обязательно должно быть исходным (отсчет  $0^\circ$ ). Иногда спайность бывает резче видна при некоторых наклонах по оси  $I$ .

3. Записываем отсчеты положения плоскости спайности по осям  $N$  и  $H$  столика и наносим ее на восковку по меридиану так же, как двойниковый шов плагиноклазов (§ 11).

4. Находим проекцию полюса спайности, обозначаем ее  $P$ .

5. Если есть второе направление спайности, устанавливаем также и его, наносим на восковку и находим полюс  $P_1$ .

6. Находим координаты полюсов плоскости спайности так же, как это делали для плагиноклазов (§ 11 и 13 п. 18).

7. Определяем наименование направлений спайности. Обычно спайность по (001) бывает в кали-натровых полевых шпатах выражена лучше, чем спайность по (010). Обратим внимание на оптическую ориентировку ортоклаза (рис. 28), санидина (рис. 29), микроклина (рис. 30) и аноклаза (рис. 31). Во всех случаях, кроме санидина, проекция плоскости оптических осей  $Ng$   $Np$  расположена около проекции плоскости (001). На восковке проекция плоскости спайности по (001) должна лежать рядом с дугой  $Ng$   $Np$  индикатрисы. Обозначим ее полюс  $P_{(001)}$ . Плоскость (010) у ортоклаза совпадает с плоскостью  $Nm$ ,  $Np$  индикатрисы, а у триклинных разновидностей образует с ней небольшой угол. Найдём ее на восковке и обозначим ее полюс  $P_{(010)}$ . В случае санидина, т. е. минерала с величиной  $2V < 30^\circ$ , около плоскости оптических осей расположится спайность по (010), а проекция плоскости спайности (001) совпадет с дугой  $Np$   $Nm$  оптической индикатрисы.

8. Для определения наименования направлений спайности в кали-натровых полевых шпатах удобнее и надежнее всего пользоваться диаграммой В. В. Никитина (см. учебники Г. М. Саранчиной, фиг. 33 и В. С. Соболева, рис. 85). Диаграмма представляет собой квадрант стереографической проекции, построенной на осях  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$ , как на прямоугольных координатах. Величина их для полюсов плоскостей спайности двойниковых швов и других направлений откладывается по соответствующим дугам окружностей, расходящимся по радиусам от  $Ng$ ,  $Nm$  и  $Np$ . Цифры по сторонам квадранта соответствуют: горизонтальная сторона квадранта — координатам по оси  $Ng$  (дуги, расходящиеся от оси  $Ng$ ), вертикальная левая сторона — координатам  $Nm$  (дуги, расходящиеся от оси  $Nm$ ) и сторона по дуге от  $Np$  до  $Ng$  — координатам  $Np$  (дуги расходящиеся от  $Np$ ).

Наложив восковку на диаграмму, откладываем координаты найденных нами полюсов плоскостей спайностей. Они дают точки пересечения на диаграмме, соответствующие проекциям полюсов найденных нами плоскостей. Определим их наименование по диаграмме. Легко видеть, что вблизи вершины  $Ng$  располагаются проекции полюсов плоскости (010), вблизи вершины  $Nm$  — (001) и  $Np$  — (1502) и (100). Моноклинные разности ложатся по краям диаграммы, триклинные дают отклонения внутрь. Пользоваться этой диаграммой очень удобно. Кроме определения наименования плоскостей измеренных нами спайностей, по ней определяют и характер двойников кали-натровых полевых шпатов и их сингония.

9. При детальной работе над калиевыми полевыми шпатами, в тех случаях, когда на одном и том же зерне есть возможность произвести замеры двух или большего количества плоскостей спайности, следует также измерить и углы между полюсами этих плоскостей. Измерение углов производится по сетке Вульфа тем же способом, который уже был указан при работе с плагиоклазами: совмещаем на один меридиан полюсы двух плоскостей и подсчитываем в градусах расстояние между ними по меридиану.

10. По найденным координатам плоскостей спайности определяем сингонию минерала.

На основании оптической ориентировки индикатрисы в кали-натровых полевых шпатах и величин углов  $X : Y$ ;  $Y : Z$  и  $X : Z$  можно составить следующую табличку координатных данных:

Разновидности кали-натровых полевых шпатов	Плоскость оптических осей	Координаты $P_{(001)}$			Координаты $P_{(010)}$		
		$Ng$	$Nm$	$Np$	$Ng$	$Nm$	$Np$
Ортоклаз и адуляр Санидин Микроклин Анортоклаз	Около (001)	90°	5—8°	82—85°	0°	90°	90°
	Около (010)	до 5°	90°	85°	90°	0°	90°
	Около (001)	72—88°	15—18°	72—85°	15°±	90°±	75°±
	Около (001)	90°±	4°	86°±	1—4°	90°±	86—89°



Из этой таблички видно, что самым надежным критерием для различия кали-натровых полевых шпатов будет являться константа  $Nm : \perp (001)$ . Для моноклинных разновидностей эта константа около  $5^\circ$ , для триклинных —  $15-18^\circ$ . Для моноклинных также характерно, что  $Ng : \perp (010) = 0^\circ$ .

11. При наличии двойников в кали-натровых полевых шпатах их определение может вестись по той же схеме, что и определение плагиоклазов. Находим положение оптической индикатрисы обеих частей двойника, наносим на восковку; наносим также двойниковый шов и определяем, как и для плагиоклазов, координаты:

$$\begin{array}{l} \diagup Ng \\ P-Nm \\ \diagdown Np \end{array} \quad \text{и} \quad \begin{array}{l} \diagup Ng \\ D-Nm \\ \diagdown Np \end{array}$$

На диаграмме В. В. Никитина даны также проекции двойниковых осей калиевых полевых шпатов.

12. Запись произведенных измерений кали-натровых полевых шпатов удобнее всего вести по следующей форме:

№ п/п	№ шлифа	1			2			3			4			Величина углов между полюсами	
		$\perp (001)$			$\perp (010)$			$\perp (\bar{1}502)$			$\perp$ к другим плоскостям				
	2 V	Ng	Nm	Np	Ng	Nm	Np	Ng	Nm	Np	индексы плоскости	Ng	Nm	Np	1:2

#### IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ ЦВЕТНЫХ МИНЕРАЛОВ НА СТОЛИКЕ ФЕДОРОВА

##### § 28. ХАРАКТЕР ИССЛЕДОВАНИЯ ЦВЕТНЫХ МИНЕРАЛОВ

Методика определения цветных минералов хорошо разработана в применении к обыкновенному столику микроскопа, однако большим неудобством этой методики является трудность отыскания разрезов, параллельных плоскости оптических осей, для большинства моноклинных и триклинных минералов. Постоянное отсутствие этих разрезов в шлифах затрудняет определение таких констант, как угол угасания, сила двупреломления и плеохроизм минералов. Федоровский столик легко устраняет эти трудности.

Наклоняя шлиф относительно плоскости столика микроскопа, мы получаем возможность установки в глаз оптической нормали. Тогда параллельно плоскости шлифа окажется пло-

скость оптических осей минерала и можно будет измерить константы относительно истинных векторов  $Ng$  и  $Np$ .

Федоровский столик дает также возможность определить угол оптических осей, что является очень важным для большинства цветных минералов, таких как оливин, пироксены, амфиболы, эпидоты и т. п.

При определении констант цветных минералов применяется та же методика, что и при измерении плагиоклазов. Сегменты употребляются с показателями преломления  $n = 1,647, 1,648$  или  $1,649$  (см. § 2, стр. 10).

При подготовке микроскопа в работе, кроме всех необходимых проверок, определяется еще и направление главных сечений анализатора и поляризатора (см. § 4, п. 7).

### § 29. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ ЦВЕТНЫХ МИНЕРАЛОВ

Для определения угла оптических осей цветных минералов следует подбирать зерна с низкими интерференционными окрасками, примерно отвечающими двупреломлению на разрезах, перпендикулярных острой биссектрисе. Для сравнительно низкополяризующих минералов — ромбических пироксенов, роговой обманки, цоизита и т. п. — это будут серо-белые окраски I порядка, для более высокополяризующих минералов — моноклинных пироксенов, оливинов — желтые и оранжевые окраски I порядка.

Найдя соответствующий разрез, ставим его на крест нитей и устанавливаем сохраняющиеся темноты одного или двух сечений, пока не найдем плоскости оптических осей. Следует иметь в виду, что некоторые цветные минералы обладают сильной дисперсией биссектрис. У них настоящей темноты не получается, а при повороте осей федоровского столика после понижения окраски до серой наблюдается иногда переход в красноватые или синеватые аномальные тона, после чего идет опять повышение окраски. Точку этого перехода и следует фиксировать вместо темноты. Найдя плоскость оптических осей, определяем угол  $2V$  так же, как это мы делаем для плагиоклазов (§ 12) и кали-натровых полевых шпатов (§ 26).

Для определения оптического знака минерала можно построить сферический треугольник на восковке и определить наименования осей индикатрисы в его вершинах. При определении наименования осей можно использовать оба изложенных способа (§ 7 и § 14), применяя тот компенсатор, который в данном случае дает более наглядную реакцию повышения и понижения интерференционных окрасок. Рассуждения здесь те же, что и при работе с плагиоклазами, иллюстрированные рисунками 9, 10, 11, 13, 14, 15.

Можно определить оптический знак минерала и непосредственно на зерне. Если плоскость оптических осей установлена



в плоскости симметрии микроскопа и в ней имеются выходы обеих оптических осей, можно найти проекцию острой биссектрисы этого угла и установить ее в глаз поворотом около оси  $I$ . Закрепив ось  $I$  в указанном положении, поворачиваем столик микроскопа на  $45^\circ$  против часовой стрелки и вводим компенсатор. Если с компенсатором окраска зерна повышается, значит в плоскости оптических осей параллельно компенсатору лежит ось  $Np$  оптической индикатрисы (тупая биссектриса), а острой биссектрисой является ось  $Ng$ . Минерал положительный. Если же, наоборот, с компенсатором окраска понижается, значит в плоскости оптических осей параллельно компенсатору расположена ось  $Ng$ , а в глаз направлена ось  $Np$  (острая биссектриса) и минерал отрицательный.

### § 30. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА УГАСАНИЯ НА РАЗРЕЗАХ С НИЗКОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ ОКРАСКОЙ

Если разрез, выбранный для определения  $2V$ , имеет четко выраженную спайность, на нем может быть также определен и угол угасания  $CNg(Ng : [001])$ .

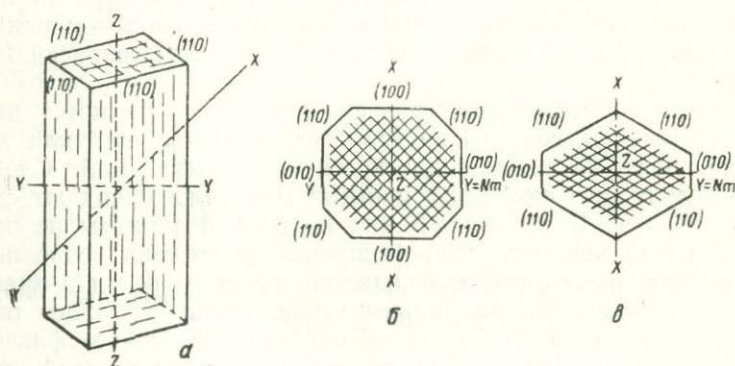


Рис. 32

Призматические кристаллы пироксенов и амфиболов, обычно удлиненные по III оси ( $Z$ ), обладают совершенной спайностью по призме  $(110)$ , т. е. по двум направлениям, которые на продольных разрезах параллельны ребру  $[001]$  (рис. 32, а), а на поперечных пересекаются под углом; у пироксенов этот угол равен  $87-88^\circ$  (см. рис. 32, б), а у амфиболов —  $56$  или  $124^\circ$  (см. рис. 32, в). III кристаллографическая ось  $Z$  параллельна ребру призмы  $(110)$ .

Оптическая индикатриса в этих минералах располагается так, что плоскость оптических осей ( $Ng Np$ ) совпадает с пло-

скостью<sup>1</sup> симметрии (010), а ось  $Nm$  с осью  $Y(L^2)(C)$  Ось  $Ng$ , лежащая в плоскости (010), образует в разных пироксенах и амфиболах разные наклоны относительно [001]. Угол  $Ng$  с III осью ( $Z$ ) ( $CNg$ ) является важнейшей константой этих минералов.

В зависимости от разреза — проходит ли он перпендикулярно или параллельно III оси ( $Z$ ) — в сечениях пироксенов и амфиболов в шлифах наблюдается одно или два направления спайности.

Для определения константы  $CNg$  нужно замерить положение обоих (или одного) направлений спайности и нанести их на восковку с проекцией оптической индикатрисы (см. § 27, пп. 2 и 3). Точка пересечения обеих плоскостей спайности с плоскостью оптических осей индикатрисы будет проекцией выхода III оси ( $Z$ ) ( $C$ ). Для определения  $CNg$  следует повернуть восковку вокруг центра так, чтобы плоскость оптических осей (010) совместилась с меридианом сетки, и по последнему найти дуговое расстояние между точками  $Ng$  и  $C$ , которое и будет соответствовать углу угасания  $CNg$ . Иногда, вследствие ошибки в работе, точка пересечения обоих направлений спайности не попадает на плоскость оптических осей ( $NgNp$ ), и тогда образуется небольшой треугольник погрешностей. Точку  $C$  тогда следует считать не на плоскости оптических осей, а на половине расстояния между обеими точками пересечений.

В случае наличия только одного направления спайности точка  $C$  будет находиться в точке пересечения дуги спайности с дугой  $NgNp$ . Угол  $CNg$  определяется также измерением дугового расстояния между точками  $Ng$  и  $C$ , но в этом случае результат может получиться менее точным; поэтому измерять  $CNg$  на разрезах с одним направлением спайности не рекомендуется.

### § 31. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА СПАЙНОСТИ ПИРОКСЕНОВ И АМФИБОЛОВ

При определении угла угасания на разрезах с двумя направлениями спайности у пироксенов и амфиболов можно также попутно определить и угол между плоскостями спайности. Для этого восковку с нанесенными на ней проекциями обеих плоскостей спайности поворачиваем вокруг центра так, чтобы точка пересечения обоих направлений спайности оказалась на горизонтальном диаметре сетки. Затем от этой точки через центр по горизонтальному диаметру отсчитываем  $90^\circ$  и, проведя по найденному меридиану дугу от одной линии спайности до другой, определяем дуговое расстояние. Оно и будет соответ-

<sup>1</sup> Некоторые амфиболы имеют иную ориентировку индикатрисы. Плоскость оптических осей  $\perp$  (010) у некоторых щелочных амфиболов. Такая же ориентировка наблюдается у клиноэстатита. — Прим. ред.



вовать углу спайности. У пироксенов в этом случае должно получиться  $87-88^\circ$  или дополнительно до  $180, 92-93^\circ$ , у амфиболов  $56^\circ$  или  $124^\circ$ .

### § 32. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТАНТ РОГОВОЙ ОБМАНКИ НА РАЗРЕЗЕ С ДВУМЯ НАПРАВЛЕНИЯМИ ТРЕЩИН СПАЙНОСТИ

Пусть на разрезе роговой обманки, поперечном спайности, получены следующие отсчеты на федоровском столике.

	Плоскости симметрии оптической индикатрисы		Плоскости спайности	
	I	II	(010)	(110)
<i>N</i>	$0^\circ$	$79^\circ$	$59^\circ$	$113^\circ$
<i>H</i>	п. $20^\circ$	л. $28^\circ$	л. $3^\circ$	л. $22^\circ$
<i>I</i>	$25^\circ \uparrow$	—		
С компенсатором (под $45^\circ$ )	—	Понижение окраски		
С осью <i>I</i>	<i>Nm</i>	<i>Np</i>		

Нанесем эти отсчеты на восковку (Приложение 11) и сделаем по ней следующие определения:

1. Если дуговое расстояние между *Np* и *A* равно  $36^\circ$ , то  $2V = 36 \times 2 = 72^\circ$ .

2. *Np* — острая биссектриса, значит, оптический знак минерала отрицательный.

3. Находим проекцию точки пересечения обеих плоскостей спайности (это точка *C* или проекция III оси) и ставим ее на один меридиан с точкой *Ng*. Измеряем дуговое расстояние, оно равно  $15^\circ$ , т. е.  $CNg = 15^\circ$ .

4. Ставим точку *C* на горизонтальный диаметр сетки, отсчитываем от нее по горизонтальному диаметру через центр  $90^\circ$ , проводим дугу и определяем дуговое расстояние между обеими плоскостями спайности. Оно равно  $56^\circ$ . Это и есть угол спайности.

### § 33. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА АДсорбЦИИ ЦВЕТНЫХ МИНЕРАЛОВ

Если исследованный нами минерал относится к плеохроирующим, следует использовать данный разрез еще и для определения плеохроизма. Как видно из приложения 11, ближайшей к центру осью индикатрисы является ось *Ng*. Если поставить ее в глаз, то с плоскостью столика микроскопа совместится плоскость симметрии индикатрисы *Nm Np*; тогда можно будет определить характер адсорбции для этой пары осей. Особенно это важно для амфиболов.

Ось  $Ng$  для данного примера (Приложение 11) поместится в глаз при следующих отсчетах:

$$\begin{aligned} N &- 0^\circ \\ H &- \text{п } 20^\circ \\ I &- 30 \downarrow \end{aligned}$$

Ставим оси столика на эти отсчеты и закрепляем их в этих положениях.

Открыв зажим столика микроскопа, получаем возможность обращаться с зерном как с разрезом  $\perp Ng$ . При установке зерна на погасание с плоскостью главного сечения одного николя совместится  $Nm$ , а другого —  $Np$ . Если направление световых колебаний в николях нам известно, остается только выключить анализатор и записать окраску с одним поляризатором для той оси, которая совпадает с направлением световых колебаний в нем. Затем повернуть столик микроскопа на  $90^\circ$  и записать окраску для другой оси, совместившейся теперь с направлением световых колебаний, вышедших из поляризатора.

Подобным же образом, можно определить характер адсорбции на разрезах, перпендикулярных  $Np$  и  $Nm$ . В первом случае определяется адсорбция для осей  $Ng$  и  $Nm$ , а во втором случае для  $Ng$  и  $Np$ .

#### § 34. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ ЦВЕТНОГО МИНЕРАЛА НА ВЫСОКОПОЛЯРИЗУЮЩЕМ РАЗРЕЗЕ

Подобрав подходящий высокополяризирующий разрез исследуемого минерала, ставим его на крест нитей и определяем положение плоскостей симметрии и наименование осей оптической индикатрисы. Если есть трещины спайности, наносим и их плоскость.

Так как нами был выбран наиболее высокополяризирующий разрез, то очевидно ось  $Nm$  расположится наиболее близко к центру восковки, а плоскость оптических осей будет ближе к периферии сетки в третьем сечении, найденном построением.

Угол угасания может быть определен, как и в случае с низкополяризирующим разрезом непосредственно по сетке. Тогда пересечение плоскости  $NgNp$  с плоскостью спайности будет проекцией оси  $[001]$  ( $C$ ). Поместив плоскость оптических осей  $NgNp$  на меридиан сетки и определив дуговое расстояние между  $Ng$  и  $C$ , получим величину  $CNg$ .

Далее для работы с высокополяризирующим разрезом нужно его ориентировать как разрез, параллельный плоскости оптических осей индикатрисы. Для этого нужно поставить  $Nm$  в глаз так, как это мы делали для  $Ng$  (§ 33), т. е. прочесть отсчеты по  $N$ ,  $H$  и  $I$  на сетке для точки  $Nm$  и поставить эти отсчеты по осям на столике. После этого надо закрепить зажимы осей  $H$  и  $I$ . Поворачивая столик микроскопа, можно на этом



разреze найти все те константы, которые определяются на разрезе, параллельном плоскости оптических осей. Главнейшие из них:  $Ng - Np$ , угол угасания, удлинение и характер адсорбции для осей  $Ng$  и  $Np$ .

Величина двупреломления минерала может быть в этом случае найдена для истинных величин  $Ng - Np$ . Обычно это делается при помощи компенсатора Берека, но так как нахождение  $Ng - Np$  связано с определением толщины минерала в шлифе, а методика этого определения весьма несовершенна и точных результатов не дает, константа  $Ng - Np$  в последнее время почти не определяется.

Методика определения угла угасания нами уже изложена. Проверить правильность определения угла угасания можно путем простого поворота столика микроскопа от положения угасания по  $Ng$  параллельно вертикальной нити до совмещения спайности с последней (т. е. так же, как и угол угасания на плоском столике).

Также обычным методом здесь проверяется удлинение минерала.

Наиболее важно на этом разрезе определение характера адсорбции для истинных величин  $Ng$  и  $Np$ . Когда  $Nm$  ориентировано в глаз, оси  $Ng$  и  $Np$  будут совмещены в момент угасания с направлениями колебаний в обоих николях. Определение характера адсорбции производится так, как это изложено в § 33.

### § 35. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТАНТ ПИРОКСЕНА НА РАЗРЕЗЕ С ОДНИМ НАПРАВЛЕНИЕМ СПАЙНОСТИ

Возьмем зерно моноклинного пироксена с довольно высокой интерференционной окраской и с одним направлением спайности. Пусть определение сохраняющихся темнот на столике дало следующие координаты плоскостей симметрии и плоскости спайности:

	1-я темнота	2-я темнота	Плоскость спайности
$N$	$10^\circ$	$285^\circ$	$304^\circ$
$H$	п. $10^\circ$	л. $29^\circ$	п. $26^\circ$
$I$	—	—	—
Изменение окраски с компенсатором	Повышение	Понижение	—
С осью $I$ совпадает	$Ng$	$Np$	—

Ближайшей осью к центру восковки (Приложение 12) является  $Nm$ . Плоскость оптических осей лежит ближе к пе-

риферии сетки. Проекция оси [001] (*C*) находится на пересечении спайности плоскостью оптических осей *Ng Np*.

Повернув восковку влево вокруг центра, совмещаем плоскость *Ng Np* с меридианом сетки и определяем угол *CNg*. Он здесь равен  $41^\circ$ .

Чтобы определить угол между плоскостями спайности, нужно повернуть восковку до помещения точки *C* на горизонтальный диаметр. Поступая, как указано в § 31, получаем величину угла спайности:  $44^\circ \times 2 = 88^\circ$ .

Этим же методом можно определить константы любого анизотропного минерала.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Кузнецов Е. А. Краткий курс метода Федорова в петрографии. Изд. МГУ, 1949.
2. Подногин А. К. Микроскопическое исследование породообразующих минералов (по методу Федорова). Изд. 2-ое ОНТИ.
3. Риттман А. Зональный метод. К методике определения плагиоклазов с помощью универсального столика. Перевод Ю. А. Кузнецова. Томск, 1931.
4. Саранчина Г. М. Федоровский метод. Изд. Ленингр. ун-та. 1954.
5. Соболев В. С. Федоровский метод. Госгеолтехиздат, 1954.

### Дополнительная

6. Белянкин Д. С. К определению понятия и к практике аноктоклазов. Изд. АН СССР, сер. геол. № 2, 1937.
7. Винчелл А. Н. и Винчелл Г. Оптическая минералогия. Ил. 1953.
8. Заварицкий А. Н. Дальнейший шаг в применении универсального столика. Зап. Мин. о-ва, ч. 72, № 2, 1943.
9. Лодочников В. Н. Микроскопические наблюдения полевых шпатов и выводы из них в породах Кальдзарской вол., Зайсанского у., Семипалат. обл. Зап. Мин. о-ва, ч. 52, 1925.
10. Лодочников В. Н. Главнейшие породообразующие минералы. 4-е изд. Госгеолтехиздат, 1955.
11. Лучицкий В. И. Петрография. Том. 1, ч. I и II, ОНТИ, 1938.
12. Монич В. К. Аноктоклаз в магматических породах Казахстана. Сб. «Вопросы петрографии и минералогии», т. 2, изд. АН СССР, 1953.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение . . . . .	3
<b>I. История столика Федорова его применение и устройство . . . . .</b>	<b>4</b>
§ 1. История столика и его применение . . . . .	4
§ 2. Устройство столика . . . . .	6
§ 3. Подготовка столика Федорова к работе . . . . .	11
§ 4. Подготовка микроскопа к работе со столиком Федорова . . . . .	13
§ 5. Установка столика Федорова на микроскоп . . . . .	14
<b>II. Определение плагноклазов на столике Федорова . . . . .</b>	<b>18</b>
§ 6. Оптическая индикатриса кристаллов . . . . .	18
§ 7. Определение положения главных сечений оптической индикатрисы . . . . .	21
§ 8. Определение положения двойникового шва плагноклаза . . . . .	26
§ 9. Нанесение на сетку Вульфа найденных главных сечений индикатрисы . . . . .	27
§ 10. Определение наименования осей индикатрисы . . . . .	31
§ 11. Нанесение на сетку плоскости двойникового шва и нахождение координат его полюса . . . . .	33
§ 12. Определение величины угла оптических осей . . . . .	33
§ 13. Пример нанесения данных на сетку Вульфа . . . . .	34
§ 14. Ускоренный метод определения наименования осей индикатрисы . . . . .	37
§ 15. Пример последовательности работы с применением ускоренного метода определения осей индикатрисы . . . . .	40
§ 16. Главнейшие особенности минералов группы плагноклазов . . . . .	42
§ 17. Обработка результатов исследования оптических свойств плагноклазов . . . . .	52
§ 18. Диаграммы Е. С. Федорова и В. В. Никитина для определения плагноклазов . . . . .	56
§ 19. Нанесение координат $P$ и $D$ на полярную сетку . . . . .	58
§ 20. Определение номера плагноклаза и двойникового закона нормальных двойников . . . . .	58
§ 21. Определение номера плагноклаза и двойникового закона параллельных или сложных двойников . . . . .	60
§ 22. Оформление результатов работы по определению плагноклазов . . . . .	62
§ 23. Ускоренный (зональный) метод определения плагноклазов . . . . .	63
<b>III. Определение кали-натровых полевых шпатов на столике Федорова . . . . .</b>	<b>63</b>
§ 24. Химические и кристаллооптические особенности кали-натровых полевых шпатов . . . . .	63
§ 25. Определение кали-натровых полевых шпатов на столике Федорова . . . . .	68
§ 26. Определение угла оптических осей . . . . .	68
§ 27. Определение оптической ориентировки в кристаллах кали-натровых полевых шпатов . . . . .	69
<b>IV. Определение констант цветных минералов на столике Федорова . . . . .</b>	<b>73</b>
§ 28. Характер исследования цветных минералов . . . . .	73
§ 29. Определение угла оптических осей цветных минералов . . . . .	73
§ 30. Определение угла угасания на разрезах с низкой интерференционной окраской . . . . .	74
§ 31. Определение угла спайности пироксенов и амфиболов . . . . .	75
§ 32. Пример определения констант роговой обманки на разрезе с двумя направлениями трещин спайности . . . . .	76
§ 33. Определение характера адсорбции цветных минералов . . . . .	76
§ 34. Определение констант цветного минерала на высокополяризующем разрезе . . . . .	77
§ 35. Пример определения констант пироксена на разрезе с одним направлением спайности . . . . .	78
<b>Литература . . . . .</b>	<b>79</b>

ЕЛИЗАВЕТА СЕРГЕЕВНА ДОБРОХОТОВА  
ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО К ОСВОЕНИЮ МЕТОДА  
Е. С. ФЕДОРОВА В ПЕТРОГРАФИИ

Редактор С. Д. Четвериков  
Технич. редактор К. В. Крыночкина

Редактор издательства Л. А. Годовикова  
Корректор Э. М. Гольцер

Сдано в набор 10/VI 1957 г. . . . . Подписано к печати 31/VII 1957 г.  
Формат бумаги 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub> . . . . . Бум. л. 4. . . . . Печ. л. 5+3 л. вкл. . . . . Уч.-изд. л. 7,22  
Т 07803 . . . . . Тираж 10000 экз. . . . . Зак. 1352 . . . . . Цена 2 р. 55 к.

Картфабрика Госгеолтехиздата



2 p. 55 к.

5539