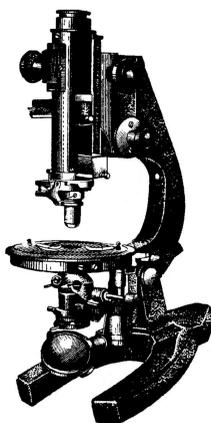


**Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»**

О. Е. КРУКОВСКАЯ, Ю. Б. КРУКОВСКИЙ

ПЕТРОГРАФИЯ С ОСНОВАМИ КРИСТАЛЛООПТИКИ



Практическое пособие

Гомель 2007

**Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»**

О. Е. КРУКОВСКАЯ, Ю. Б. КРУКОВСКИЙ

ПЕТРОГРАФИЯ С ОСНОВАМИ КРИСТАЛЛООПТИКИ

**Практическое пособие
по разделу «Практика определения кристаллов под
микроскопом» для студентов специальности I – 51 01 01
«Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»**

Гомель 2007

УДК 553.2 : 552.125.4 : 549 : 537.533.35 (075.8)
ББК 26.303С5 + 26.304С5 + 22.37 : 22.342.9 Я73
К 842

Рецензенты:

А. П. Гусев, доцент, кандидат геолого-минералогических наук;
кафедра геологии и разведки полезных ископаемых учреждения
образования «Гомельский государственный университет имени
Франциска Скорины»

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом учре-
ждения образования «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Круковская, О. Е.

К **Практика определения кристаллов под микроскопом:**
практическое пособие для студентов специальности I -51
01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ис-
копаемых» / О. Е. Круковская, Ю. Б. Круковский; М-во
образ. РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф.Скорины. – Гомель:
ГГУ им. Ф.Скорины, 2007. – 62 с.

В практическом пособии приводятся лабораторные рабо-
ты, позволяющие студентам геологических специальностей ос-
воить элементарные приёмы работы с поляризационным микро-
скопом. На примере поляризационного микроскопа МП-3 изу-
чается устройство поляризационных микроскопов, рассматри-
ваются приёмы работы при изучении свойств минералов и гор-
ных пород, а также приёмы измерения кристаллографических и
кристаллооптических характеристик минералов.

УДК 553.2 : 552.125.4 : 549 : 537.533.35 (075.8)
ББК 26.303С5 + 26.304С5 + 22.37 : 22.342.9 Я73

© Круковская О. Е., Круковский Ю. Б., 2007
© УО «ГГУ им. Ф.Скорины», 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Тема 1 Устройство поляризационного микроскопа на примере микроскопа МП – 3	6
Тема 2 Исследование минералов в параллельном свете с одним поляризатором	15
Тема 3 Спайности минералов	22
Тема 4 Относительная величина показателя преломления	26
Тема 5 Оценка толщины шлифа	33
Тема 6 Явление компенсации. Цвета интерференции ...	38
Тема 7 Наименование осей оптической индикатрисы двуосных кристаллов	41
Тема 8 Угол погасания минералов	45
ЛИТЕРАТУРА	51
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Порядок изучения минералов в шлифе	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Перечень учебных шлифов горных пород, используемых при проведении лабораторных работ	53
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Перечень символов основных минералов ..	55

ВВЕДЕНИЕ

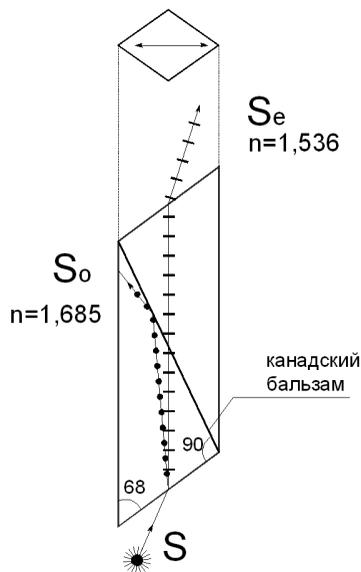
Настоящее пособие составлено в соответствии с требованиями программы курса «Петрография с основами кристаллооптики», разработано для практического руководства процессом обучения студентов навыкам выполнения работ по изучению оптических свойств кристаллов основных породообразующих минералов горных пород и рассчитано на закрепление теоретических знаний, получаемых по указанной дисциплине. При изучении устройства поляризационного микроскопа и работе со шлифами горных пород студенты знакомятся с проявлением специфических оптических эффектов, кристаллографических и кристаллооптических свойств основных породообразующих минералов. При этом вырабатывается навык наблюдения оптических свойств минералов при работе с поляризованным светом, зарисовки поля зрения микроскопа, определения структуры породы, умение видеть форму и цвет минералов, специфику контактов минералов в горной породе, определения степени их идиоморфности. Теоретические знания приобретают зрительное воплощение, отрабатываются приёмы управления отдельными элементами микроскопа. Здесь же приводятся некоторые справочные материалы и теоретические сведения, помогающие в освоении лабораторной работы.

Практическое пособие рассчитано на объём указанного курса и использование поляризационного микроскопа МП – 3 с комплектом учебных шлифов для выполнения всех лабораторных работ. Во время проведения лабораторных работ предполагается использование дополнительной справочной литературы по кристаллооптике, минералогии, петрографии.

Объектом исследования с использованием поляризационного микроскопа является **шлиф** — очень тонкая прозрачная пластинка горной породы, заклеенная между двумя полосками стекла. Для изготовления шлифа берут небольшой обломок породы (обычно не более 2x2x2 см). На шлифовальном станке одну из сторон обломка зашлифовывают, а затем с помощью канадского бальзама приклеивают к пластинке стекла размером 2,5x5 см. Это стекло называется предметным.

Канадский бальзам (пихтовый бальзам) — смолообразное вещество, которое добывается из канадской (сибирской) пихты или изготавливают синтетическим путём. Он имеет показатель преломления, близкий к показателю преломления стекла - (1,537).

На шлифовальном станке обломок породы, приклеенный к стеклу, постепенно сошлифовывают до пластинки толщиной 0,03 мм. Эту пластинку или шлиф покрывают вторым слоем канадского бальзама и заклеивают второй пластинкой очень тонкого покровного стекла. Готовый шлиф просушивают. В таком виде шлифы применяют для петрографических и минералогических исследований.



Основным элементом поляризатора является призма Николя. В основу конструкции поляризующих устройств положено свойство анизотропных кристаллов поляризовать проходящий через них свет. Призма Николя представляет собой кристалл бесцветного прозрачного кальцита (исландского шпата), распиленный под углом 68° (22°) к граням и затем склеенный канадским бальзамом. Луч естественного света, достигнув нижней поверхности призмы Николя, разлагается кристаллом кальцита на два луча — обыкновенный (ординарный) S_o и необыкновенный (экстраординарный) S_e с показателями преломления соответственно n_o - 1,658 и n_e - 1,536. Волны луча S_o (линия с точками) совершают колебания в плоскости, перпендикулярной к чертежу; волны луча S_e колеблются в плоскости чертежа (линия с черточками).

Рис. 2. Ход лучей в призме Николя

Так как показатель преломления кристалла для направления колебаний волн луча S_o больше показателя преломления бальзама, а угол падения при данном направлении плоскости распила больше предельного, то, дойдя до плоскости распила, луч S_o получит полное внутреннее отражение, будет отброшен на боковую сторону призмы, где и погасится черной оправой николя. В итоге сила света уменьшится примерно вдвое. Луч S_e , идущий с показателем преломления, близким к показателю преломления бальзама, пройдет через плоскость распила почти без преломления и выйдет из призмы Николя, сохранив приобретенные в кристалле колебания в строго определенной плоскости.

Положение плоскости поляризации нижнего николя (поляризатора) может быть проверено по наступлению момента полного погасания зерна биотита, входящего в состав нормальных гранитов.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какой из лучей в призме Николя (ординарный или экстраординарный) гасится на боковой стороне?
- 2 Как может быть определено направление колебаний плоскополяризованного света, сформированного поляризатором?
- 3 Какой показатель преломления имеет канадский бальзам?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Цель: освоение приёмов работы с поляризационным микроскопом.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп МП – 3, комплект учебных шлифов.

Ход работы:

Приведение микроскопа в рабочее положение

Поляризационные микроскопы надо подготавливать к работе следующим образом.

1 Установить микроскоп на расстоянии 15÷20 см. от ближнего края стола прямо перед собой. Повернуть штатив микроскопа к себе (у микроскопов системы МП-2, МП-3, МП-7, МИН-4 и МИН-5).

2 Наклонить ручку - держатель под таким углом, чтобы можно было не напрягаясь смотреть в тубус, и закрепить ее в этом положении. ***Микроскоп в***

этом положении неустойчив — центр тяжести его сильно смещен назад, поэтому его не следует оставлять в рабочем положении на столе. Уходя, ставьте микроскоп вертикально.

3 Полностью открыть диафрагму и выключить линзу Лазо.

4 Отпустить стопорный винт столика.

5 Выключить анализатор (верхний николю).

6 Выключить линзу Бертрана.

7 С помощью вогнутого зеркала установить наиболее яркое и *равномерное* освещение всего поля зрения.

8 В случае необходимости отфокусировать крест нитей в окуляре. Для этого необходимо вынуть окуляр из тубуса и, глядя на белую бумагу или на свет, установить верхнюю линзу в такое положение, чтобы крест нитей был виден с предельной резкостью.

9 Вставить нужный объектив. Как правило, работу начинают с объективом 8^x или 9^x. Обязательно проверить, вошел ли крест нитей в щипцовый зажим тубуса.

10 Уложить шлиф горной породы на столик микроскопа и закрепить его зажимами. Шлиф надо положить покровным стеклом вверх.

В таком положении микроскоп готов к работе. Однако если на одном приборе работает несколько человек или работа производится впервые, необходимо произвести его основные проверки. К ним относятся проверка и центрировка объективов, проверка скрещенности николей и определение плоскости световых колебаний, пропускаемых ими. Необходимость в проверках может возникнуть из-за того, что прибор в процессе длительной работы начинает постепенно разлаживаться.

Основные проверки

Центрировка микроскопа

Для проверки центрировки микроскопа надо отфокусировать его на шлифе и, выбрав в пределах поля зрения какую-нибудь хорошо заметную точку небольших размеров, совместить ее с крестом нитей, затем повернуть столик на один оборот, одновременно следя за точкой. Если выбранная точка уходит с перекрестка нитей и описывает какую-то окружность, микроскоп надо отцентрировать.

Приступая к центрировке, необходимо надеть центрировочные ключи на центрирующие винты объектива. Ввинчивая или вывинчивая один из них, можно изменить направление оптической оси микроскопа на некоторое угловое расстояние, совместив ее с центром вращения столика.

Центрировку можно производить двумя приемами.

Первый прием

1 Приподнять окуляр и повернуть его так, чтобы фиксирующий винт окуляра вошел в дополнительный паз тубуса. При этом нити окуляра расположатся под углом в 45° к их первоначальному положению.

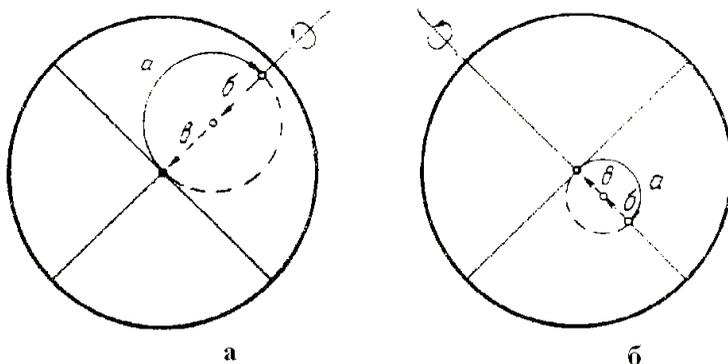


Рис. 3. Центрировка микроскопа, первый приём

2 Выбранную точку в шлифе совместить с перекрестием нитей окуляра.

3 Повернуть столик на некоторый угол так, чтобы точка, описав дугу, совместилась с одной из нитей окуляра (рис. 3 а).

4 Действуя центрировочным винтом, расположенным в направлении этой нити, не прикасаясь к шлифу руками, «переместить» точку на полпути к перекрестию нитей.

5 Передвигая шлиф рукой, совместить точку с перекрестием нитей (см. рис. 3 б).

6 Повернуть столик, и если точка снова описывает окружность, то совместить ее с другой нитью.

7 Действуя другим центрировочным винтом, «переместить» точку на полпути к перекрестию нитей, а на оставшееся расстояние передвинуть шлиф рукой.

Операция повторяется до тех пор, пока полностью не исчезнет эксцентриситет.

Второй прием

Окуляр можно оставить в обычном положении.

1 Не выбирая какой-либо определенной точки в пределах поля зрения, но, следя за перемещением всех точек одновременно, надо быстро повернуть столик микроскопа на $60\div 90^\circ$ туда и обратно несколько раз и визуально оп-

ределить центр вращения, т. е. место, где точки имеют наименьшее линейное перемещение (рис. 4 а, б).

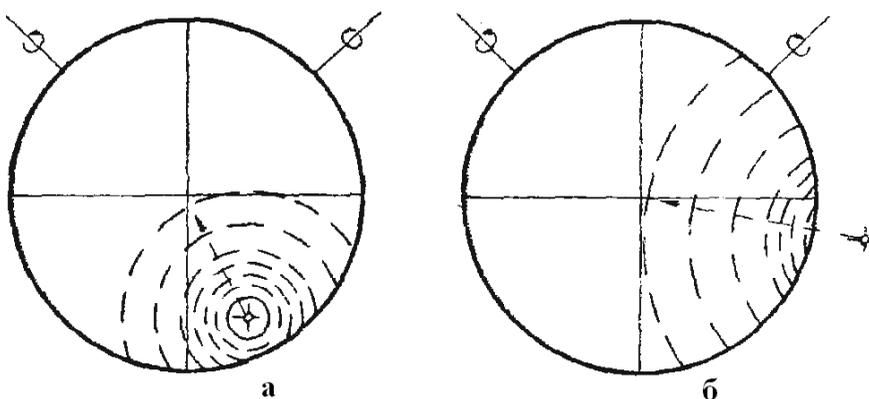


Рис. 4. Центрировка микроскопа, второй приём

2 Вращая одновременно оба винта, совместить найденный центр вращения с крестом нитей.

3 Снова сделать несколько быстрых поворотов, и если сохранился некоторый эксцентриситет, то повторить операцию.

При определенном навыке после двух-трех попыток удастся добиться хорошей центрировки. Этот способ особенно удобен, если приходится работать с сильно расцентрированным объективом, когда центр вращения расположен за пределами поля зрения. Направление к центру вращения мысленно устанавливается по нормали к вогнутой части дуг, описываемых точками шлифа.

Проверка скрещенности николей

Скрещенные николи не пропускают света. Если снять со столика шлиф и включить верхний николю, то поле зрения должно стать темным. При любых поворотах столика просветления не наступает. Если при включении верхнего николя поле зрения темнеет не полностью, то очевидно, николи не скрещены. Чтобы исправить это, надо опустить стопорный винт нижнего николя и, вращая рычаг поляризатора, добиться максимального затемнения поля зрения.

Определение ориентировки плоскости световых колебаний, пропускаемых поляризатором или «главного сечения» поляризатора

В правильно отрегулированном микроскопе николи установлены так, что плоскости пропускаемых ими световых колебаний («главные сечения») расположены под прямым углом одна к другой и ориентированы параллельно нитям окуляра. Но стандартного положения для верхнего и нижнего николей не существует, в одних микроскопах нижний николь пропускает световые колебания, совершающиеся в вертикальной плоскости («главное сечение» расположено параллельно вертикальной нити окуляра), а верхний - колебания, направленные горизонтально, в других - наоборот. Поэтому в каждом микроскопе эти положения необходимо определить. Для этого достаточно определить положение плоскости световых колебаний, пропускаемых одним николем, что удобнее сделать для невыключающегося поляризатора. При определении используют шлиф породы с биотитом, который обладает свойством интенсивно поглощать световые колебания, совершающиеся параллельно плоскости его спайности, т. е. в плоскости третьего пинакоида (001). Ориентировка главного сечения поляризатора устанавливается по направлению трещинок спайности биотита в момент наиболее интенсивной окраски его кристалла при вращении столика микроскопа. (Не следует брать биотит из щелочных пород, так как он может дать косое погасание).

Порядок работы при определении ориентировки световых колебаний николей

Необходимо выполнить следующие действия:

1 Выключить анализатор, в шлифе с биотитом выбрать кристалл с хорошо видимыми трещинами спайности, совместить его с крестом нитей.

2 Вращая столик микроскопа, найти такое его положение, при котором листочек биотита будет иметь наиболее густую окраску. В этом положении трещины спайности будут расположены параллельно плоскости главного сечения поляризатора. Вместе с тем они должны быть ориентированными параллельно одной из нитей окуляра - вертикальной или горизонтальной.

3 Записать, в какой плоскости лежит главное сечение поляризатора - в вертикальной или горизонтальной.

4 Для проверки, не меняя положения столика, включить верхний николь. Листочек биотита должен находиться в положении погасания. При полном обороте столика минерал гаснет в скрещенных николях четыре раза: два раза, когда направление трещин спайности совпадает с «главной плоскостью» нижнего николя, и два раза при совпадении его с «главной плоскостью» верхнего николя. Необходимо убедиться, что в момент погасания направление трещин спайности биотита точно совпадает с направлением нитей окуляра.

Проверка угла перекрестия нитей окуляра и совпадения с ними главных сечений николей

Если же при проверке выяснилось, что эти направления не совпадают, то прежде всего надо проверить угол, под которым пересекаются нити окуляра. Для этого поступают следующим образом:

В шлифе выбирается хорошо заметная точка и сдвигается к поля зрения, где совмещается с одной из нитей окуляра.

2 По нониусу берется первый отсчет на лимбе столика. (Принимается, что микроскоп уже отцентрирован.)

3 Повернуть столик до совмещения выбранной точки с другой нитью.

4 Взять второй отсчет по тому же нониусу. Разница между отсчетами должна быть 90° .

В связи с тем, что крест нитей образуется натяжением в фокальной плоскости окуляра двух свободно ориентирующихся по натяжению нитей, нет необходимости проверять остальные секторы, так как неточность будет обнаружена первым же замером.

Если при проверке оказалось, что угол между нитями не равен 90° , окуляр необходимо передать мастеру для ремонта.

Если нити перпендикулярны, надо еще раз проверить параллельность им плоскостей главных сечений николей и добиться совпадения этих направлений. Для этого с помощью шлифа с биотитом при одном николе проверяется поляризатор, а затем в скрещенных николях - анализатор.

Порядок работы при проверке перекрестия нитей окуляра

Необходимо выполнить следующие действия:

1 при выключенном анализаторе кристалл биотита в шлифе совмещается с перекрестием нитей, и поворотом столика трещины его спайности располагаются строго параллельно нити окуляра, указывающей на направление главного сечения поляризатора.

2 сделать несколько небольших поворотов столика ($10\div 15^\circ$) в ту и другую сторону и установить его в положении, соответствующем наиболее густой окраске кристалла. Если при этом трещины спайности не параллельны нити, необходимо поправить ориентировку николя.

Для этого необходимо:

1 кристалл биотита вернуть в исходное положение (трещины параллельны нити);

2 отпустить стопорный винт поляризатора и аккуратно поворачивая его ручку, остановить ее в положении наиболее густой окраски кристалла;

3 зажать стопорный винт поляризатора;

4 скрестить николи и убедиться, что кристалл находится в положении погасания;

5 повернуть столик на 90° . В случае неполного погасания поправить положение анализатора, отпустив его стопорный винт. Это можно сделать у микроскопов более поздних модификаций, имеющих ориентируемый анализатор. Анализатор микроскопов марки МП-3 зафиксирован жестко, поэтому во избежание порчи прибора поправлять его положение без помощи мастера не следует.

На первых порах работы с микроскопом установка николей, если в этом возникла необходимость, производится только под пособием мастера или специалиста-петрографа.

Проверка может быть закончена, если в результате установлено, что:

- а) ось вращения столика точно совпадает с оптической осью микроскопа;
- б) плоскости главных сечений николей расположены перпендикулярно друг другу и точно совпадают с положением нитей окуляра, при этом известно направление световых колебаний, пропускаемых поляризатором.

Оценка увеличения микроскопа

Увеличение объекта, рассматриваемого в микроскоп, зависит от силы применяемых объективов и окуляров. Для того чтобы вычислить общее увеличение, надо умножить увеличение объектива на увеличение окуляра. Например, при объективе 9^x и окуляре 6^x общее увеличение будет $9 \cdot 6 = 54^x$; при объективе 60^x и окуляре $12,5^x$ общее увеличение будет $60 \cdot 12,5 = 750^x$ и т. д.

ТЕМА 2

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СВЕТЕ С ОДНИМ ПОЛЯРИЗАТОРОМ

- 1 Определение размера зёрен минералов.
- 2 Исследование формы зёрен минералов.
- 3 Исследование цвета минералов в шлифе.

Основные понятия по теме

Измерять абсолютные размеры микрообъектов, изучаемых в шлифе, можно приближенно - при предварительном описании и точно - при детальном исследовании. Размер зёрен и их разнообразие в пределах образца горной породы, а также форма зёрен и характер взаимоотношения зёрен различных минералов в образце есть весьма значимая характеристика, особенно для магматических пород.

Как известно, цвет любого вещества зависит от его способности избирательно поглощать (абсорбировать) и отражать волны определенной длины из состава сложного белого цвета.

Цвета минералов в образцах и шлифах обычно не совпадают. Цвет минерала в образце обусловлен суммарным эффектом лучей, как отраженных от его поверхности, так и проникших внутрь минерала на некоторую, весьма незначительную глубину, где часть лучей избирательно поглощается, а часть отражается. Цвет минерала в шлифе зависит исключительно от избирательного поглощения лучей, проходящих сквозь тонкую пластинку минерала. При этих условиях часть лучей поглощается, и минерал становится окрашенным в цвета дополнительные до белого. Например, если минерал окрашен в зеленый цвет, следовательно, он поглощает волны красного цвета, так как суммарный эффект от сложения волн зеленого и красного цвета дает белый цвет. В шлифе минералы чаще всего окрашены в зеленые, бурые, коричневые тона. Черные минералы (как правило, рудные) поглощают все видимые лучи спектра. Минералы бесцветные пропускают все лучи или поглощают их в столь незначительном количестве, что глаз не улавливает изменения окраски.

В изотропных минералах или в разрезах, перпендикулярных к оптической оси анизотропных минералов, цвет и его интенсивность постоянны в любом направлении и зависят исключительно от абсорбционной способности минерала и толщины пластинки.

В анизотропных сечениях минералов цвет и его интенсивность изменяются в зависимости от направления колебания световой волны, проходящей через кристалл. Это явление называется плеохроизмом. Плеохроизм отчетливо наблюдается при вращении столика микроскопа, когда последовательно

совмещаются с плоскостью колебаний поляризатора два взаимно перпендикулярных направления в минерале, отвечающие направлениям наибольшего и наименьшего поглощения света. Плеохроизм резко выражен в таких минералах, как биотит, роговая обманка, эгирин, турмалин и др. Явление плеохроизма в биотите, как уже говорилось, используется для определения положения плоскости колебаний поляризатора.

В шлифе минералы по-разному реагируют на проходящий свет. *При одном николе* водяно-прозрачные бесцветные минералы, такие, как кварц и полевые шпаты, полностью или почти полностью пропускают его; оливины, некоторые пироксены, апатит и другие заметно рассеивают или поглощают свет. Минералы, содержащие в своем составе хромофоры (амфиболы, некоторые слюды, щелочные пироксены и др.) в проходящем свете избирательно поглощают, т.е. гасят световые волны определенной длины. Хромофоры - химические элементы, присутствие которых всегда придает минералам определенные (в данных условиях) окраски.

Благодаря этому выходящий свет обладает иным спектральным составом по сравнению с белым естественным светом и придает минералу цвета непогашенных участков видимой области спектра. Таким образом, в шлифе под микроскопом одни минералы кажутся бесцветными, другие - окрашенными.

К числу наиболее распространенных окрашенных минералов относится обширная группа амфиболов. Они имеют различные окраски, чаще всего представленные сочетаниями зеленого цвета с бурым, коричневым, желтым или синим. Встречаются также амфиболы с бурой и коричневой окраской.

Из группы слюд интенсивно окраска выражена у биотита. Этот минерал, очень распространенный в горных породах, имеет коричневую окраску или бурую, реже зеленовато-бурую или буровато-зеленую и др. Яркими зелеными окрасками обладают щелочные пироксены, эгирин, эгирин-авгиты.

В светло-зеленый или голубовато-зеленый цвет обычно окрашен хлорит. Светло-зеленым или бледным желто-зеленым цветом обладают некоторые разновидности эпидота.

Окраски минералов, как правило, очень сложны, поэтому в описании необходимо указывать не только основной тон, но и его густоту и оттенки. Вначале указывается общая интенсивность окраски, затем оттенки и, наконец, основной тон. Например, темный синева-зеленый, светлый зеленовато-бурый, светло-желтый и т. п.

При вращении столика микроскопа можно заметить, что цвет или интенсивность окраски минералов изменяются. Изменение окраски кристалла в зависимости от его положения относительно плоскости главного сечения поляризатора является следствием плеохроизма.

Вопросы для самоконтроля

- 1 В чём заключаются особенности исследования формы неокрашенных минералов?
- 2 От чего зависит цвет минералов в шлифе?
- 3 В чём заключается явление плеохроизма?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Цель: освоение приёмов изучения минералов с одним никелем.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп МП – 3, комплект учебных шлифов.

Ход работы:

Определение размера зёрен минералов в шлифе

Для приблизительной оценки величины зерен минералов в шлифе достаточно определить видимую величину диаметра поля зрения (в миллиметрах). Сравнивая поперечник зерна с диаметром поля зрения, можно примерно определить величину зерна. Поясним это на примере.

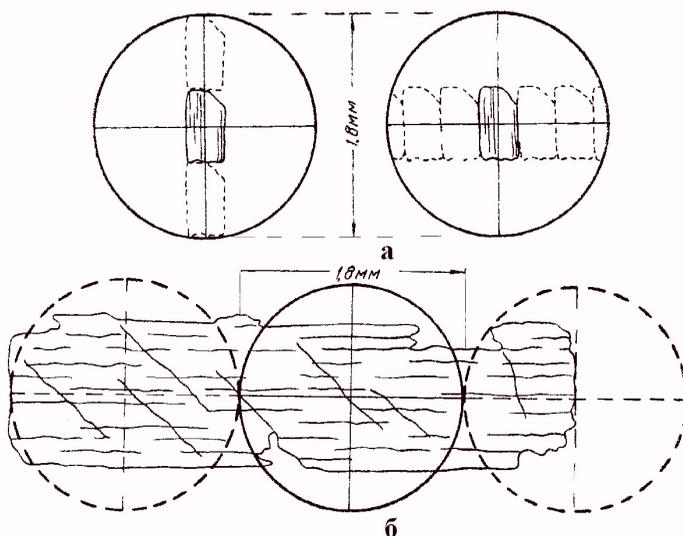


Рис. 5. Определение размера зёрен минералов.

Диаметр поля зрения 1,8 мм. Зерно по своей длинной оси укладывается в поперечнике поля зрения три раза (рис. 5 а), а по короткой - шесть раз, следовательно, длина зерна $1,8:3 = 0,6$ мм; ширина его $1,8:6 = 0,3$ мм. Размеры зерна $0,6 \times 0,3$ мм.

При том же диаметре поля зрения само поле укладывается два с половиной раза по длине кристалла и составляет $2/3$ его ширины (рис. 5 б). В этом случае длина кристалла равна $1,8 \cdot 2,5 = 4,5$ мм, ширина его $1,8 \cdot 2/3 = 1,2$ мм. Размеры зерна $1,2 \times 4,5$ мм.

Величина зерна минерала всегда дается в двух измерениях: по короткой и по длинной осям. Диаметр поля зрения наиболее просто измерить, положив на столик микроскопа вместо шлифа небольшой лист миллиметровки. Надо отфокусировать объектив и сосчитать количество клеточек, расположенных поперек поля зрения, это и будет величина его диаметра в миллиметрах. Предварительно рекомендуется поднять миллиметровую сетку светлоокрашенной миллиметровки (оранжевой, желтой и др.) остро отточенным карандашом или тушью. Диаметр поля зрения зависит не только от применяемого объектива, но и окуляра.

Описанный способ измерения размеров зерен минералов не отличается точностью. Кроме того, область его применения ограничена как величиной зерен, размеры которых должны быть легко сопоставимы с диаметром поля зрения, так и малыми увеличениями объективов (3^X ; $3,7^X$; 8^X ; 9^X).

Для точного определения величины наблюдаемых объектов необходимо применять дополнительные приспособления, такие, как объект-микрометр и окуляр-микрометр.

Объект-микрометр представляет собой линейку длиной 1 мм с делениями через 0,01 мм, вмонтированную на прозрачной основе в стеклянную пластинку, которая в свою очередь заключена в металлическую оправу.

Окуляр-микрометр - это также микроскопическая линейка на прозрачной основе, вмонтированная в фокальную плоскость окуляра вместо креста нитей. Линейка разделена на 100 делений с цифровкой через каждые 10 делений.

Объект-микрометр устанавливают на столике микроскопа и фокусируют; вместо обычного окуляра в тубус микроскопа вводят окуляр с линейкой, т. е. окуляр-микрометр. Совмещают линейку объект - микрометра с линейкой окуляра - микрометра и определяют цену делений последнего.

Для определения цены деления окуляра - микрометра (в миллиметрах) надо количество сотых долей миллиметра объект - микрометра разделить на совмещившееся с ними количество делений окуляра - микрометра. Разбираем в качестве примера два наиболее обычных случая.

1 Со 100 делениями объект - микрометра, т. е. с 1,00 мм изучаемого объекта, совмещены 30 делений окуляра - микрометра. Определяем цену делений последнего: $1,00:30 = 0,033$ мм.

Одно деление окуляр - микрометра соответствует 0,033 мм (десять делений 0,33 мм, сто делений, длина всей линейки 3,3 мм).

2 С 30 делениями объект - микрометра, т. е. с 0,30 мм совмещаются 75 делений окуляр - микрометра. Определяем цену делений последнего: $0,30:75 = 0,004$ мм.

Одно деление окуляр - микрометра соответствует 0,004 мм (десять делений 0,04 мм, сто делений 0,4 мм).

Для каждого объектива цену деления окуляр - микрометра следует вычислять отдельно и результаты вычислений выписывать в таблицу. Составленная таблица будет действительно только для данного микроскопа и окуляр - микрометра.

Дальнейшее определение размеров зерен минералов в шлифе сводится к измерению их длины и ширины с помощью линейки окуляр - микрометра и переводу отвлеченных величин в доли миллиметра.

Исследование формы зёрен минералов

Существенное значение для диагностики минералов и нередко для выяснения условий их образования имеет изучение формы минеральных выделений. При исследовании минералов в шлифе эта задача осложняется тем, что здесь наблюдаются только случайные плоские сечения, на основании которых приходится судить о форме минеральных зерен, таким образом, определяя положение кристаллографических осей.

Все разнообразие форм минералов можно объединить в четыре главных морфологических типа:

1 минералы изометричные - гранат, оливин, лейцит, флюорит;

2 минералы, удлинённые в одном направлении:

а) минералы призматические пироксены, амфиболы, апатит, турмалин, волластонит, дистен;

б) минералы игольчатые - актинолит, силлиманит, эгирин;

3 минералы удлинённые одновременно в двух направлениях при наличии третьего короткого:

а) минералы таблитчатые - полевые шпаты;

б) минералы листоватые или чешуйчатые - слюды, хлориты, серпентин, тальк;

4 минералы неправильной формы: кварц, кальцит.

На рис. 6 изображены наиболее типичные плоские сечения минералов, наблюдаемые в шлифах.

Форму бесцветных минералов изучают с одним поляризатором и при скрещенных николях. Последнее условие особенно важно для случая, когда показатель преломления исследуемого минерала близок к показателю преломления балъзама.

Порядок работы при описании (зарисовке) формы зёрен минералов.

По окончании подготовки микроскопа к работе следует подобрать увеличение таким образом, чтобы в поле зрения микроскопа оказалось не слишком большое число зёрен минералов, обеспечив тем самым возможность хорошо рассмотреть особенности формы отдельных зёрен, характер контакта различных зёрен, его особенности. При этом желательно, чтобы размер зёрен не был слишком большим, чтобы по характеру зарисовки можно было составить представления о соотношении размеров различных минералов и их форме.



Рис. 6. Типичные формы минералов в шлифах:

1. - гранат; 2 - оливин; 3 - роговая обманка; 4 - силлиманит; 5 - плагиоклаз; 6 - биотит; 7 - кварц; 8 - кальцит.

Сделать зарисовку поля зрения учебных шлифов минералов, обращая особое внимание на форму минералов в произвольном сечении, характер

границ между соседними зёрнами, стараясь выявить возможность определения в произвольном сечении признаков основных кристаллографических направлений минерала.

Для выяснения особенностей формы зёрен бесцветных минералов включить анализатор и производить зарисовку, обращая внимание на видимое изменение контура плеохроирующих зёрен.

Исследование цвета минерала в шлифе

При описании формы минеральных зёрен обратить внимание на окраску минералов при одном никеле, её особенности, характер изменения окраски минералов при вращении столика микроскопа. Записать выявленные цвета минералов и характер изменения окраски с привязкой описания к конкретному зерну в поле зрения микроскопа.

ТЕМА 3

СПАЙНОСТЬ МИНЕРАЛОВ

- 1 Наблюдение трещин спайности.
- 2 Определение углов между трещинами спайности.

Основные понятия по теме

Спайностью называется способность минерала раскалываться по определенным кристаллографическим плоскостям, соответствующим плоским сеткам пространственной решетки.

В шлифе спайность наблюдается в виде серии трещин, пересекающих минерал. Чем больше разница между показателями преломления минерала и бальзама, тем трещины спайности выделяются резче. Спайность проявляется по-разному, в зависимости от направления среза минерала плоскостью шлифа. Если срез минерала прошел перпендикулярно плоскостям спайности, трещины в шлифе имеют вид тонких четких линий. С увеличением наклона среза относительно плоскостей спайности трещины становятся все более широкими, расплывающимися, пока совершенно не исчезнут. Так, слюды в разрезах, перпендикулярных плоскостям спайности, имеют тонкие четкие трещины; в разрезах, проходящих близкопараллельно или параллельно плоскостям спайности, трещины не обнаруживаются. В зависимости от прямолинейности трещин, взаимной параллельности и протяженности различают спайность весьма совершенную, совершенную и несовершенную.

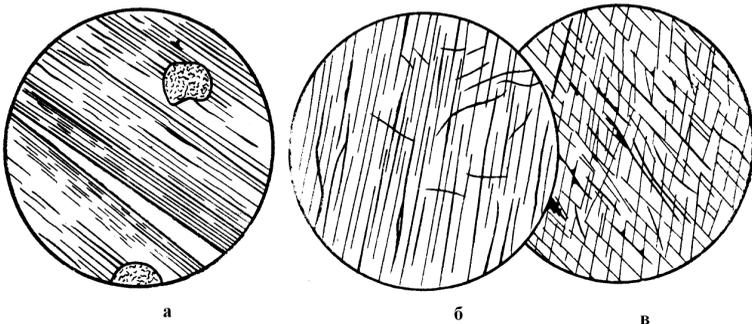


Рис. 7. Характер трещин спайности: а) весьма совершенная у биотита; б) совершенная спайность в кристалле амфибола на продольном разрезе; в) тоже на поперечном разрезе.

Спайность весьма совершенная отличается наличием четких, тонких параллельных трещин, проходящих через все зерно минерала (слюды, карбонаты). Спайность совершенная характеризуется развитием прерывистых параллельных трещин (полевые шпаты, амфиболы, пироксены). Трещины имеют вид более грубой и толстой штриховки, чем та, которая наблюдается у минералов с весьма совершенной спайностью. Спайность несовершенная проявляется в виде очень коротких трещин (оливин, нефелин). Имеются минералы, которые не обладают спайностью (кварц, гранаты). Для этих минералов характерна неправильная трещиноватость. Трещины спайности могут развиваться в одном направлении (слюды), в двух направлениях (амфиболы, пироксены) и в трех направлениях (карбонаты, флюорит).

Степень совершенства спайности и величины углов между трещинами спайности - важные диагностические признаки минералов.

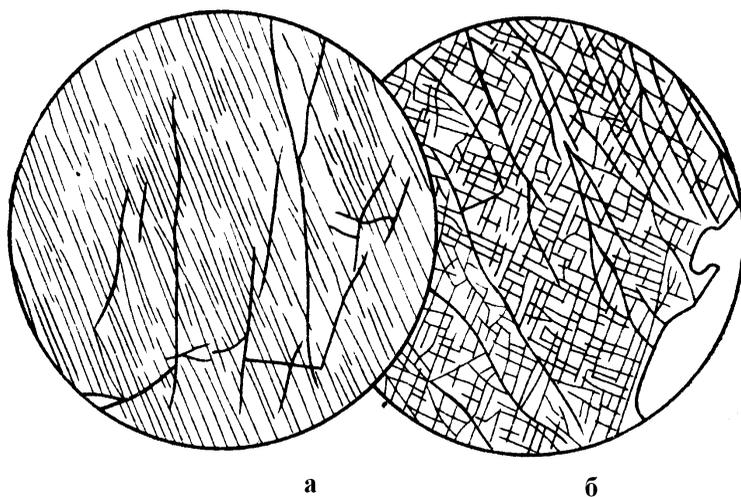


Рис. 8. Характер трещин спайности в кристалле пироксена: а) продольный разрез; б) тоже на поперечном разрезе.

Так, острый угол между трещинами призматической спайности в разрезах по (001), перпендикулярных оси c для всех минералов группы пироксенов, равен 87° , для амфиболов 56° , поэтому определение углов между трещинами спайности может помочь при диагностике минералов.

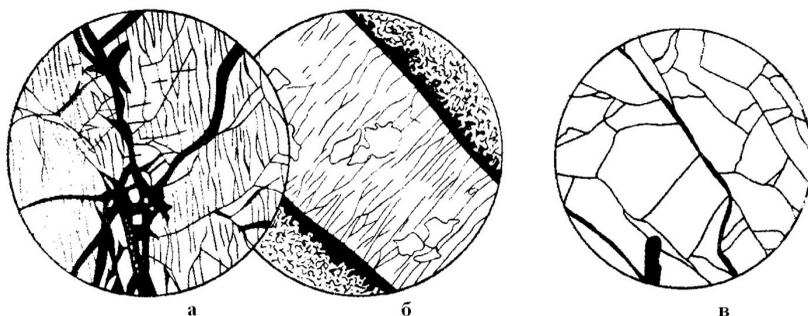


Рис. 9. Характер проявления: несовершенной спайности в кристаллах: а) оливина; б) турмалина. Трещиноватость (в) в кристалле граната.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что называется спайностью минералов и в чём заключается физическая основа этого явления?
- 2 Каким способом можно оценить соотношение плоскости спайности и плоскости шлифа?
- 3 Как проявляются в шлифах степени совершенства спайности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Цель: освоение приёмов изучения спайности минералов.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп МП – 3, комплект учебных шлифов.

Ход работы:

Определение углов между трещинами спайности

1. Находят зерно, разрезанное плоскостью шлифа перпендикулярно обеим плоскостям спайности (обе системы имеют вид тонких четких трещин).
2. Передвигая шлиф по поверхности столика микроскопа, ставят вершину угла двух пересекающихся трещин на центр креста нитей и вращением столика микроскопа совмещают одну из трещин с любой из нитей окулярного креста.
3. Берут отсчет по лимбу столика. Затем поворотом столика совмещают вторую трещину с той же нитью креста и снова берут отсчет. Разность отсчетов дает искомый угол. Принято определять величину острого угла между трещинами спайности.

Примечание: Приступая к замеру угла между трещинами спайности, необходимо обращать внимание на два следующих положения.

1 Замер углов между трещинами спайности дает точные результаты на точно ориентированных разрезах кристаллов. Такой разрез узнают по наличию тонких и наиболее четких трещинок. При подъеме и опускании тубуса микрометренным винтом эти трещинки не должны смещаться. В случае неточной ориентировки трещинка будет как бы передвигаться параллельно своему расположению вправо или влево от оси трещинки. Это объясняется тем, что, опуская или поднимая объектив над препаратом, мы фокусируем разные участки трещины, если она расположена наклонно к плоскости среза шлифа.

2 В кристаллах с несовершенной (а иногда и с совершенной) спайностью рядом расположенные трещинки не всегда строго параллельны одна другой. Поворачивая столик, надо добиваться, чтобы нить окуляра была параллельна не одной какой-то трещинке, а общему их направлению.

Изучение спайности минерала в шлифе не ограничивается выяснением ее совершенства, количества направлений и замерами углов между ними. Породообразующие минералы в горных породах редко имеют хорошо развитые грани, по которым можно определить пространственное положение кристалла в шлифе. Для установления кристаллографических направлений в этом случае большое значение имеет ориентировка трещин спайности. Спайность минерала не зависит от его внешней формы в данном агрегате породы, она определяется исключительно его внутренним строением. Поэтому в ксеноморфных выделениях правильная оценка положения плоскостей спайности позволяет выяснить ориентировку кристалла на разрезе. Однако для этого пригоден не всякий разрез. Вследствие беспорядочного расположения кристаллов минерала в массе горной породы в плоскость среза шлифа попадают случайные разрезы. Для определения же кристаллографических направлений из всего их количества пригодны лишь разрезы, точно ориентированные по отношению к направлениям спайности, т. е. такие разрезы, которые проходят под прямым углом к спайности или расположены в плоскости спайности, под прямым углом к следу пересечения двух плоскостей спайности или параллельно этому следу.

ТЕМА 4

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

- 1 Шагреновая поверхность.
- 2 Рельеф.
- 3 Линия Бекке.

Основные понятия по теме

Важным диагностическим признаком минерала является относительная величина его показателя преломления по сравнению с окружающей средой. Это отличие обнаруживается, если исследовать минерал в узком пучке параллельных или слабо расходящихся лучей. Для сужения светового потока, поступающего в оптическую систему микроскопа через осветительное устройство, служит диафрагма, расположенная над нижним николем.

Рассматриваемый ниже эффект основан на различии показателей преломления двух соприкасающихся сред. Напомним суть величины показателя преломления. Распространение световых волн через стекло (изотропная среда) и через кристалл (анизотропная среда) можно изобразить в виде схемы (рис. 10). Видно, что световая волна естественного света, преломившись в кристалле (рис. 10 б), расщепилась на две. Волны разошлись под небольшим углом друг к другу, а, достигнув границы кристалла, претерпевают снова преломление. В изотропной среде и в воздухе — распространяются параллельно друг другу.

Преломившись в кристалле, волны образовали разные углы преломления. Угол преломления одной волны r_1 не равен углу преломления другой волны r_2 .

Величина угла преломления связана следующей зависимостью с величиной угла падения и показателем преломления среды

$$\sin r = \frac{\sin i}{n}, \text{ где } r \text{ — угол преломления; } i \text{ — угол падения; } n \text{ —}$$

показатель преломления среды.

В рассматриваемом случае угол падения один и тот же. Углов преломления два.

$$\text{Тогда из выражения } r_1 \neq r_2 \quad \text{и} \quad \frac{\sin i}{\sin r} = n \text{ следует, что } \frac{\sin i}{\sin r_2} = n_2 \text{ т.}$$

е. неравным углам преломления соответствуют неравные показатели преломления. Иначе говоря, двум световым волнам, распространяющимся в кристалле, соответствуют разные по величине показатели преломления.

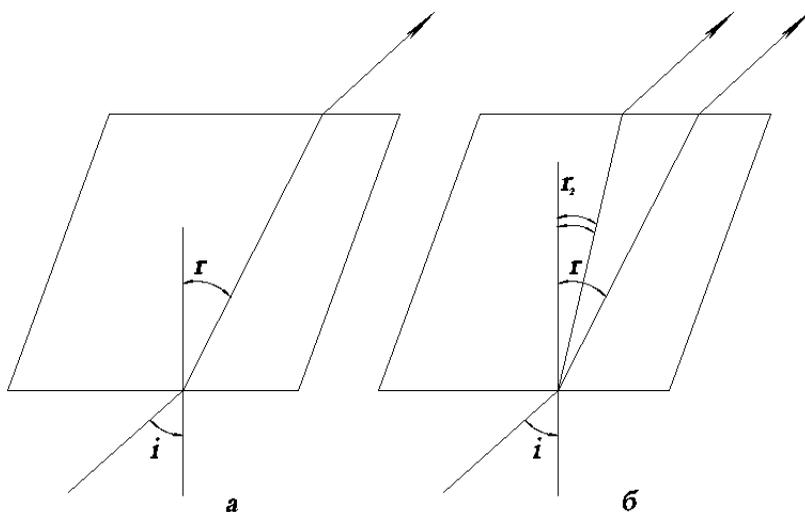


Рис. 10. Ход лучей через стекло (а) и через анизотропный кристалл (б).

Но величина n численно равна отношению скорости света в пустоте или в воздухе (C) к скорости света в данной среде (V):

$$n = \frac{C}{V} \quad \text{или} \quad V = \frac{C}{n}$$

При абсолютном значении величины C и конкретных значениях n_1 и n_2

$$V_1 = \frac{C}{n_1} \quad V_2 = \frac{C}{n_2}, \text{ где } V_1 \text{ — скорость одной волны; } V_2 \text{ — скорость другой волны.}$$

Следовательно, **каждой световой волне соответствует своя скорость распространения в кристалле.**

Таким образом, на основании первого наблюдения установлено, что в анизотропном кристалле наблюдается явление двупреломления, в результате которого волна естественного света расщепляется на две световые волны, распространяющиеся с разными скоростями; волнам соответствуют разные по величине показатели преломления.

Шагреновая поверхность

В узком пучке света наблюдается интересное явление - поверхности зерен минералов, которые до того были относительно ровными и чистыми,

становятся по мере затягивания диафрагмы все более шероховатыми и, наконец, сплошь покрываются густой сеткой неровностей. Узор таких неровностей напоминает поверхность ватманской бумаги или шагреновой кожи, откуда и заимствовано название - шагреновая поверхность.

Причина возникновения шагреновой поверхности заключается в том, что при изготовлении шлифа отшлифованная поверхность прозрачной пластинки горной породы не полируется. Она остается шероховатой, покрытой мельчайшими бугорками и раковинками. Пучок света, проходя через предметное стекло, канадский бальзам и кристаллическую пластинку минерала, при переходе из одной среды в другую преломляется.

Величина угла преломления светового пучка зависит от различия величин показателей преломления двух сред и положение поверхности раздела по отношению к направлению светового пучка. Так, при переходе из среды с меньшей оптической плотностью в среду с большей плотностью пучок света, преломляясь, приближается к направлению перпендикуляра к поверхности раздела. Величина отклонения пучка от первоначального направления тем больше, чем больше различие в величинах показателей преломления различных сред и чем более пологий угол, под которым пучок подошел к плоскости раздела. В шлифе показатели преломления стекла и канадского бальзама очень близки, поэтому преломление света, вертикально падающего на ровную границу раздела, незначительно. Картина существенно изменится на границе раздела канадского бальзама и шероховатой поверхности кристаллической пластинки.

В зависимости от положения плоскости раздела в каждой отдельной точке и различий в показателях преломления канадского бальзама и минерала направление отдельных пучков света отличается от первоначального на больший или меньший угол, причем лучи то сближаются, то расходятся (рис. 11).

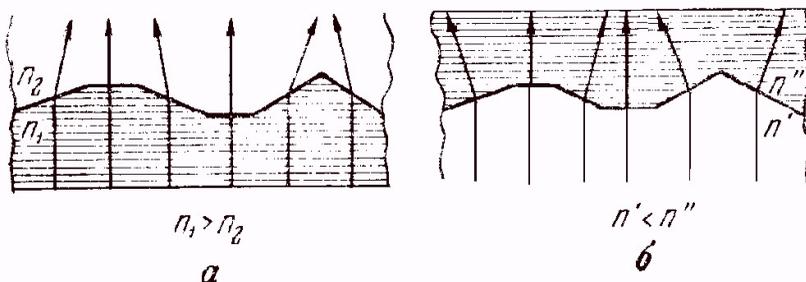


Рис. 11. Характер рассеяния света при переходе из одной среды в другую при неровной границе раздела: а) из среды с большим показателем прелом-

ления в среду с меньшим показателем преломления; б) из среды с меньшим показателем преломления в среду с большим показателем преломления.

Пучок света, рассеянный у нижней границы кристаллической пластинки, под разными углами подходит к неровной поверхности верхней границы и, проникая через нее, рассеивается еще больше. Неравномерное преломление света, вызванное шероховатостью верхней границы кристаллической пластинки, сообщает неравномерную освещенность зерну минерала и оттеняет все неровности на его поверхности. Чем больше рассеивает свет кристаллическая пластинка, чем больше отличается показатель её преломления от показателя преломления канадского бальзама, тем резче выражена шагрeneвая поверхность. У разных минералов она выглядит различно.

В зависимости от разницы в показателях преломлений канадского бальзама и кристалла шагрeneвая поверхность может быть резкой, средней, низкой или совсем отсутствовать (кварц).

Рельеф

Чем больше разница в показателях преломления рассматриваемого зерна и окружающих его других зерен, тем более рельефным (выпуклым или вогнутым) кажется зерно.

Рельефность зерен минерала или, как принято называть, высота рельефа, так же как и шагрeneвая поверхность, зависит от сравнительной величины показателя преломления и является мерой для его оценки. Рельеф может быть высокий, средний и низкий, иногда выделяют очень высокий и очень низкий.

Для того чтобы уяснить разницу между минералами с разной высотой рельефа, необходимо исследовать с этой целью некоторые из них под микроскопом.

Световая полоска (линия Бекке)

По характеру шагрeneвой поверхности или по высоте рельефа минерала можно решить вопрос о том, насколько показатель его преломления отличается от показателя преломления канадского бальзама, но нельзя установить, какой показатель преломления больше - минерала или канадского бальзама. Для определения относительной величины показателя преломления используют явление полного внутреннего отражения, которое возникает на границе двух сред с разными показателями преломления.

Свет, переходящий из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления, отклоняется от нормали к плоскости раздела на *большой* угол по сравнению с первоначальным (рис. 10). Начиная с некоторых малых (критических) углов, свет претерпевает полное внутреннее отражение. В шлифе поток параллельных или слабо расходящихся-

ся световых лучей, рассеянных неровностями нижней границы кристаллической пластинки, преобразуется в световой пучок, расходящийся в разные стороны. Одна часть этого пучка достигает верхней поверхности пластинки, другая попадает на вертикальную границу раздела пластинки и канадского бальзама или другого минерала. Большинство лучей подходит к плоскости раздела, образуя с ней малые углы, и если граничащая среда отличается меньшим показателем преломления, они претерпевают полное внутреннее отражение (рис. 12).

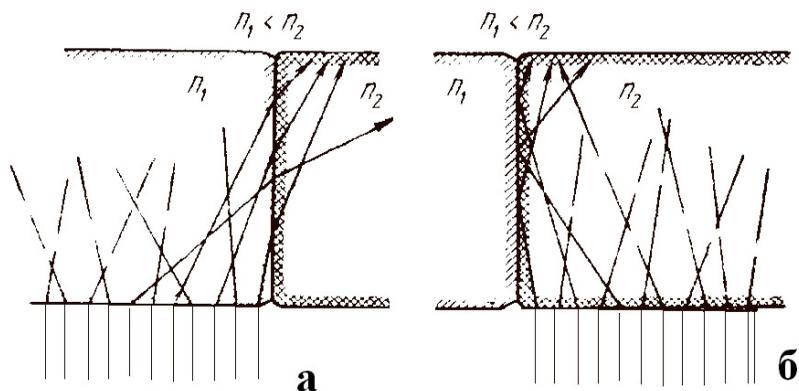


Рис. 12. Характер преломления света вблизи границы раздела двух сред с разными показателями преломления: а) лучи, преломляясь, проникают через границу раздела; б) лучи претерпевают полное внутреннее отражение и создают дополнительную подсветку (линия Бекке) вблизи границы раздела.

Серия таких световых пучков создает дополнительную освещенность среды с большим показателем преломления вблизи границы раздела и наблюдается в виде очень узкой световой полоски, параллельной границе зерна минерала.

Линия Бекке становится хорошо видимой, если сузить диафрагму и слегка поднять тубус. При этом освещенность зерна минерала уменьшается, и световой эффект пучка лучей, претерпевших полное внутреннее отражение, виден особенно хорошо. Поднимая и опуская тубус, можно заметить, что световая полоска движется то в одну сторону от границы раздела, то в другую.

При поднятии тубуса световая полоска перемещается в сторону среды с большим показателем преломления; при опускании тубуса, наоборот, — в сторону среды с меньшим показателем преломления. Световая полоска является чутким индикатором, она отчетливо видна на границе двух сред, если

показатели их преломления отличаются хотя бы на 0,001. Особенно хорошо она видна на бесцветных минералах, показатели преломления которых отличаются от канадского бальзама на $0,05 \div 0,07$. Для начального упражнения надо взять шлиф с такими минералами, как мусковит или основной плагиоклаз (лабрадор или битовнит).

После того как будут отработаны навыки сравнения показателей преломления на бесцветных минералах с небольшими различиями в величине показателя преломления по отношению к канадскому бальзаму, можно приступить к работе с минералами, показатели преломления которых резко отличаются от показателей преломления окружающей среды.

Поведение линии Бекке в минералах, резко отличающихся показателем преломления от окружающей среды, и в кристаллах игольчатой или волокнистой формы

В тех случаях, когда показатель преломления минерала резко отличается от показателя канадского бальзама, световая полоска вследствие более сильного рассеивания света в кристаллической пластинке видна хуже. Ширина ее больше, она имеет расплывчатые края и быстрее перемещается при поднятии тубуса. В этих случаях отчетливо видна теневая полоска. Она, как и световая полоска, повторяет контуры кристалла и представляет собой узкую серую линию - как бы разросшуюся тень границы зерна. При поднятии тубуса она, расширяясь, перемещается в ту же сторону, что и световая полоска, но обычно лучше видна.

Можно использовать другой прием. Грубо вращая макрометрический винт, поднимая и опуская тубус, можно заметить, что при подъеме тубуса всё зерно минерала светлеет, если показатель преломления минерала значительно выше окружающей среды, и темнеет, если он заметно ниже показателя преломления окружающей среды.

К этому же приему необходимо прибегать при работе с игольчатыми или волокнистыми минералами, поперечные размеры которых настолько малы, что обычные приемы наблюдения за световой полоской не могут быть использованы.

Вопросы для самоконтроля

1 Какие особенности шлифа и минералов, его слагающих, лежат в основе возникновения эффекта шагреновой поверхности?

2 Какая зависимость существует между показателями преломления минералов и оптическим рельефом?

3 Какое мнемоническое правило В.Н. Лодочкикова определяет направление движения линии Бекке при изменении положения тубуса микроскопа?

4 Может ли быть величина преломления менее единицы и почему?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Цель: определение относительной величины показателя преломления.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп МП – 3, комплект учебных шлифов.

Ход работы:

Выполнить настройку микроскопа для работы с конкретным шлифом. С объективом 3^x или 8^x устанавливают границу зерна и бальзама (или двух зерен) на крест нитей.

Меняют объектив на 20^x или 40^x и фокусируют микроскоп (нередко оптические эффекты отчетливо видны и с объективом 8^x).

Несколько прикрывают диафрагму осветительной системы. С помощью микрометричного винта слегка поднимают тубус, затем опускают его и одновременно следят за «перемещением» световой полоски.

Сделать зарисовку контура зёрен в пределах поля зрения.

Таблица 1 – Характерные показатели преломления минералов

Минерал	Шагреновая поверхность	Рельеф	Показатель преломления
Гранат	Очень резкая	Очень высокий, положительный	1,8 и выше
Пироксен	Резкая	Высокий, положительный	1,7
Мусковит	Средняя	Средний, положительный	1,6
Основной плагиоклаз	Низкая	Низкий положительный	1,56
Кварц	Нет	Очень низкий положительный	1,54
Калиевый ПШ	Низкая	Низкий, отрицательный	1,52
Флюорит	Резкая	Высокий, отрицательный	1,43

Учитывая результаты наблюдений над световой полоской, характером рельефа и шагреновой поверхности и используя приведенную таблицу 1, определяют группу, к которой относится минерал по показателю преломления. Все результаты наблюдения записать в тетрадь.

ТЕМА 5

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СВЕТЕ ПРИ СКРЕЩЕННЫХ НИКОЛЯХ. ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ ШЛИФА

- 1 Номограмма Мишеля-Леви.
- 2 Определение толщины шлифа независимым способом.
- 3 Некоторые особенности минералов, обнаруживаемые в скрещенных николях.

Основные понятия по теме

При обычных рядовых исследованиях оценка толщины шлифа производится по цветам интерференции кварца или плагиоклаза - минералов, широко распространенных в породах. Оба минерала при нормальной толщине шлифа (около 0,03 мм.) в сечениях, близких к главному (т. е. с максимальным дву-преломлением 0,009 и 0,010 соответственно для кварца и плагиоклаза), имеют белые цвета интерференции. Если в различных разрезах зерен этих минералов не наблюдается цветов интерференции выше серых или, наоборот, появляются желтые, красные и другие, более высокие цвета (см. номограмму Мишеля-Леви), то, следовательно, в первом случае шлиф имеет толщину меньше 0,03 мм, во втором - больше 0,03 мм. Принцип построения номограммы Мишеля-Леви показан на рисунке 13.

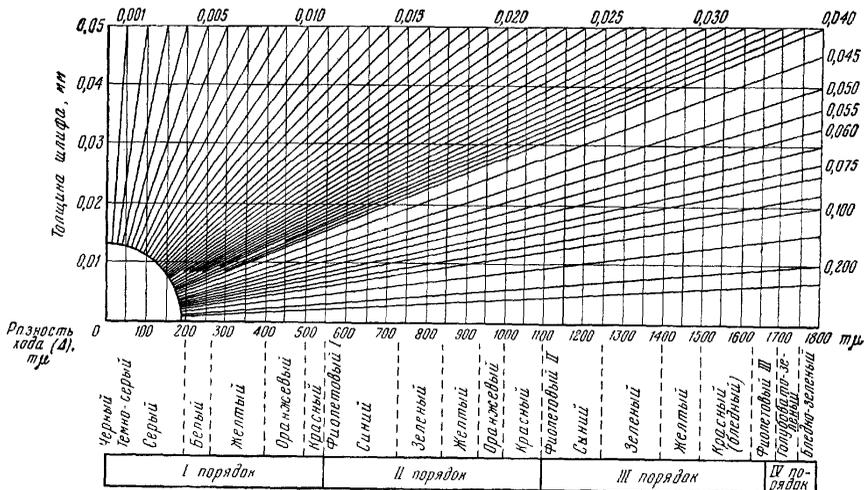


Рис. 13. Принцип построения номограммы Мишеля-Леви.

Для того, чтобы в цифрах оценить толщину исследуемого шлифа, нужно установить по номограмме место пересечения радиальной прямой, соответствующей величине двупреломления одного из указанных минералов с цветной полосой, которая соответствует наиболее высоким для него цветам интерференции в данном шлифе, и от этого пункта провести горизонтальную линию до пересечения с осью ординат, по которой и определить толщину шлифа.

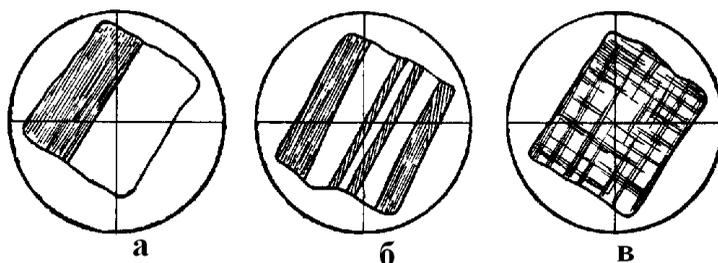


Рис. 14. Проявление двойников при скрещенных николях.

К особенностям минералов, обнаруживающиеся в скрещенных николях, относятся двойники, зональное строение, аномальные цвета интерференции и ряд других.

Двойник — закономерный сросток двух или нескольких индивидов одного и того же минерала, повернутых один относительно другого на 180° . Наиболее часто встречаются простые и полисинтетические двойники. Под микроскопом простой двойник представляет собой кристалл, разделенный двойниковым швом на две части. При повороте столика микроскопа одна часть гаснет, тогда как другая остается освещенной. Такие двойники встречаются в натриево-калиевых полевых шпатах (рис. 14 а). Полисинтетические двойники состоят из нескольких параллельных индивидов, гаснущих неодновременно в смежных двойниковых полосках. Особенно характерны для плагиоклазов (рис. 14 б). Встречается комбинация двух систем полисинтетических двойников, образующих решетчатые срастания, типичные для микроклинов (рис. 14 в).

Зональное строение обнаруживается в ряде минералов, причем наиболее часто в плагиоклазах, пироксенах, амфиболах. Зональный минерал характеризуется наличием ряда зон, отличающихся несколько по составу, что сопровождается изменением оптических свойств минерала от зоны к зоне и, следовательно, изменением ориентировки индикатрисы. Под микроскопом зональ-

ное строение минерала хорошо обнаруживается в виде концентрических зон различной ширины с одновременным погасанием и несколько различной интерференционной окраской.

Аномальные цвета интерференции возникают в том случае, когда величина двупреломления минерала зависит от длины волны применяемого света. Так, если сила двупреломления для фиолетового цвета больше, чем для красного, то возникают густо-синие цвета интерференции, что характерно для минерала цоизита: если сила двупреломления для красного цвета больше, чем для фиолетового, то появляются ржаво-бурые цвета интерференции, как у некоторых хлоритов; если кристалл положителен для одних и отрицателен для других длин волн, а для некоторых длин волн изотропен, то при малых разностях хода возникают чернильно-синие и фиолетовые тона, свойственные некоторым хлоритам и везувианам. Аномальные цвета интерференции не нашли отражения в таблице Мишель-Леви.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Взаимоотношения между какими оптическими и физическими характеристиками устанавливает номограмма Мишеля-Леви?
- 2 Цвета интерференции каких минералов используются при рядовых исследованиях для оценки толщины шлифа?
- 3 В какой последовательности повторяются цвета интерференции первого, второго и третьего порядков?
- 4 Как проявляется двойникование в шлифах, какая оптическая характеристика минералов лежит в основе обнаруживаемого оптического эффекта?

Лабораторная работа № 5

Цель: определение толщины шлифа.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп МП – 3, комплект учебных шлифов.

Ход работы:

Определение толщины шлифа с использованием номограммы Мишеля-Леви

В шлифе, содержащем зёрна кварца или плагиоклаза, подобрать минеральные зёрна, плоскость среза которых была бы максимально близка к оптической оси минерала. Такие срезы определяются по максимальному диапазону изменения цветов интерференции минералов, по которым проводится

определение толщины шлифа.

Сравнивая интерференционную окраску с эталонным цветом номограммы Мишеля-Леви, определить толщину шлифа.

Результаты работ занести в тетрадь, сделать зарисовку поля зрения.

Определение толщины шлифа независимым способом

Толщину зерна в данной точке можно замерять другим менее точным, но независимым способом. Он сводится к тому, что объектив микроскопа фокусируется сначала на нижней поверхности шлифа, а затем на верхней. Величина расстояния между этими положениями измеряется с помощью микрометричного винта при подъеме тубуса микроскопа, а затем вычисляется реальная толщина зерна.

Делается это следующим образом. При сильном увеличении — объективы с увеличением 40^x и 60^x — устанавливается фокус на неровностях или пылинках у нижней поверхности пластинки шлифа. На оцифрованном кольце микрометричного винта против риски берется первый отсчет.

Далее, поднимая тубус только микрометричным винтом, фокусируют объектив на верхней поверхности и берут второй отсчёт.

Разность отсчетов, взятых по микрометричному винту, дает представление о видимой или кажущейся толщине кристаллической пластинки шлифа d' . Но эта толщина всегда меньше действительной d . Сущность этого явления разъясняется на рис. 15.

Здесь при опущенном объективе (нижнее его положение) дано действительное и кажущееся положение точки, расположенной на нижней поверхности шлифа (b_0 и b_1). Скрадывание расстояния, т.е. кажущееся его уменьшение, происходит вследствие преломления пучка сходящихся лучей при переходе их из среды с более высоким в среду с более низким показателем преломления. Для того чтобы вычислить действительную толщину зерна на выбранном разрезе надо кажущуюся его толщину d' умножить на показатель преломления минерала n :

$$d = d' * n$$

Величина показателя преломления определяется по высоте рельефа и резкости шагреновой поверхности, т.е. с точностью до первого знака после запятой. Если название минерала известно, то показатель преломления его можно взять из справочника и округлить до второго знака после запятой (по значению n_m).

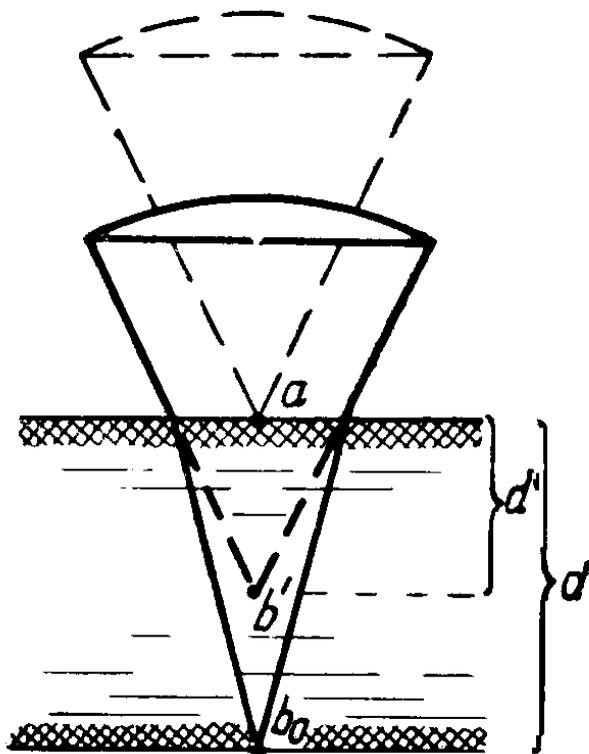


Рис. 15. Толщина зерна в шлифе кажущаяся (d') и действительная (d).

ТЕМА 6

ЯВЛЕНИЕ КОМПЕНСАЦИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРЯДКА ЦВЕТОВ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

- 1 Цвета интерференции и их порядок.
- 2 Использование кварцевого компенсатора при определении толщины шлифа.

Основные понятия по теме

Компенсатор - прибор, изменяющий разность хода интерферирующих волн и этим понижающий или повышающий интерференционную окраску минерала. Компенсаторы делают с постоянной и переменной разностью хода.

Компенсатор с постоянной разностью хода представляет собой пластинку, вырезанную из монокристалла кварца параллельно его оптической оси. В этом сечении двупреломление кварца равно 0,009, что при толщине пластинки 0,06 мм дает разность хода, равную 550 мμ, а цвет интерференции чувствительный фиолетовый, отвечающий границе первого и второго порядка. При малейшем изменении разности хода этот цвет переходит либо в синий (при повышении разности хода), либо в красный (при понижении). Пластинка кварца вклеена между двумя стеклами и заключена в металлическую оправу, на которой показано положение осей индикатрисы - вдоль длинной стороны оправы ось n_p , вдоль короткой - ось n_g .

Определение порядка цветов интерференции минерала с помощью компенсаторов основано на правиле компенсации. Содержание этого правила заключается в следующем: *если над минералом поместить компенсатор так, чтобы, одноименные оси оптической индикатрисы минерала и компенсатора оказались параллельны, то результирующая разность хода будет равна сумме разностей хода минерала и компенсатора $\Delta = \Delta_m + \Delta_k$, соответственно цвет интерференции повысится и будет отвечать новому значению разности хода. В случае перекрещенного положения осей индикатрис минерала и компенсатора окончательная величина разности хода равна разности разностей хода минерала и компенсатора $\Delta = \Delta_m - \Delta_k$ или $\Delta = \Delta_k - \Delta_m$ (от большей величины отнимается меньшая). В этом случае суммарный эффект будет давать понижение цветов интерференции. При равенстве разностей хода минерала и компенсатора $\Delta_m = \Delta_k$ (оси индикатрисы перекрещены) суммарная разность хода равна нулю. Наступает полная компенсация и зерно становится темным.*

Обычно для определения порядка цветов интерференции минералов с низким двупреломлением (не выше начала второго порядка) пользуются

кварцевой пластинкой, для минералов с высоким двупреломлением — кварцевым клином.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что представляют собой оптические компенсаторы и какие они бывают?
- 2 В чём заключаются конструктивные особенности компенсатора Берка и основное направление его использования?
- 3 Какая физическая основа лежит в возникновении явления интерференционной окраски минералов при скрещенных николях?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Цель: изучение цветов интерференции при использовании оптических компенсаторов.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп МП – 3, комплект учебных шлифов.

Ход работы:

Цвета интерференции и их порядок

Допустим, что цвет интерференции минерала в рассматриваемом разрезе зеленый. Определяем положение осей оптической индикатрисы исследуемого сечения. Для этого поворотом столика микроскопа ставим минерал на погасание, т. е. совмещаем оси индикатрисы с плоскостями колебаний поляризатора и анализатора (рис. 16 а).

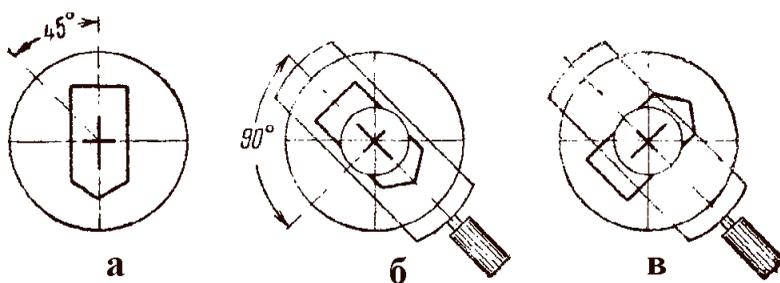


Рис. 16. Схема определения порядка цветов интерференции

Поворотом столика микроскопа на 45° против часовой стрелки ставим ось индикатрисы, параллельную вертикальной нити, вдоль прорези тубуса

микроскопа. Вставляем в прорезь компенсатор с постоянной разностью хода кварцевую пластинку (рис. 16 б).

Получаем желтовато-зеленый цвет интерференции. Поворачиваем столик на 90° (компенсатор в прорези) - цвет интерференции становится белым (рис. 16 в). Белый цвет интерференции - неповторяющийся цвет первого порядка, следовательно, в первом случае наблюдалось, повышение цветов интерференции, а во втором - понижение. Сопоставляя наблюдаемые эффекты с номограммой Мишель-Леви, нетрудно понять, что в рассматриваемом случае зеленый цвет интерференции минерала соответствовал второму порядку, для которого разность хода равна 795 нм. Именно об этом свидетельствуют цвета интерференции, полученные в момент совмещения осей индикатрисы минерала и компенсатора:

$$795 \text{ (зеленый II)} + 550 \text{ (фиолетовый I)} = 1345 \text{ (желтовато-зеленый III)};$$

$$795 \text{ (зеленый II)} - 550 \text{ (фиолетовый I)} = 245 \text{ (белый I)}.$$

Если бы зеленый цвет интерференции минерала соответствовал не второму, а третьему порядку, то, проведя последовательно описанные выше операции, для случая параллельного положения осей индикатрисы минерала и кварцевой пластинки получили бы зеленовато-розовый цвет: $1325 \text{ (зеленый III)} + 550 \text{ (фиолетовый I)} = 1875 \text{ (зеленовато-розовый IV)}$.

Использование кварцевого компенсатора при определении толщины шлифа

В шлифе подобрать для исследований зёрна минерала с цветами интерференции низших порядков, близкими к обычной интерференционной окраске (цвета номограммы).

Согласно вышеприведенному описанию изменить разность хода лучей с использованием кварцевого компенсатора.

Определить порядок интерференционной окраски минерала, сделать зарисовку в тетради с отображением диаметра поля зрения, контуров минеральных зёрен, положением осей индикатрисы исследуемого минерала. Рисунки сопроводить соответствующим текстом.

ТЕМА 7

НАИМЕНОВАНИЯ ОСЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ ИНДИКАТРИСЫ ДВУОСНЫХ КРИСТАЛЛОВ

1 Определение наименования осей оптической индикатрисы двuosных кристаллов.

Основные понятия по теме

Оптическая индикатриса — вспомогательная поверхность, имеющая форму шара или эллипсоида. Каждый радиус-вектор индикатрисы пропорционален величине показателя преломления той волны, колебания которой совершаются в направлении этого вектора (распространяется свет в направлении, перпендикулярном к направлению колебания волн.). Таким образом, оптическая индикатриса наглядно выражает связь между величинами показателей преломления и направлением колебаний световых волн, проходящих через кристалл. Оси симметрии эллиптического сечения индикатрисы – единственные направления, вдоль которых совершаются колебания световых волн в данном сечении кристалла. Форма индикатрисы зависит от симметрии кристалла.

В. Н. Лодочников предложил так называемое правило индикатрисы, которое помогает понять оптические свойства минерала в различных сечениях. Сущность правила заключается в следующем: «Оптические свойства минерала в наблюдаемом разрезе характеризуются центральным сечением индикатрисы, перпендикулярным к направлению светового луча». Здесь говорится о центральном сечении, так как в параллельных сечениях кристалла все свойства одинаковы и, следовательно, любую точку кристалла можно принимать за центр индикатрисы.

Зная форму и ориентировку индикатрисы и применяя правило индикатрисы, легко разобраться в оптических свойствах разных сечений минерала. Так, если световой луч идет через изотропный минерал или вдоль оптической оси анизотропного минерала, то он встретит на своем пути круговое сечение индикатрисы, характеризующееся постоянством показателя преломления и, следовательно, отсутствием двойного лучепреломления. Луч, идущий перпендикулярно к сечению индикатрисы, расположенному вдоль оптической оси одноосного минерала или параллельно плоскости оптических осей двuosного минерала, встретит эллиптическое сечение индикатрисы, оси симметрии которого являются единственными направлениями, пропускающими колебания световых волн, а величины полуосей пропорциональны показателям преломления для данного направления. В этом сечении наблюдается максимальное двупреломление минерала. Все промежуточные косые разрезы характеризуются эллиптическими сечениями индикатрисы, причем для минералов средних сингонии в таких разрезах один показатель преломления име-

ет всегда постоянное значение n_o ; другой — переменное значение n_e ; для минералов низших сингонии оба радиуса-вектора случайного сечения имеют переменные значения и обозначаются n_g и n_p .

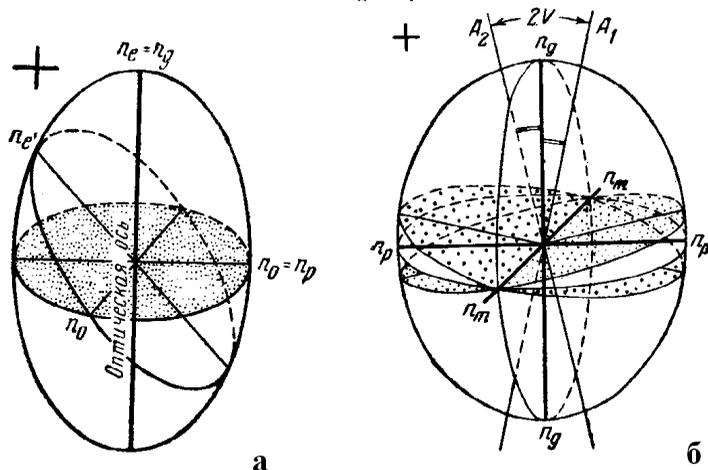


Рис. 17. Оптические индикатрисы одноосных (а) и двухосных (б) оптически положительных кристаллов

Внутренняя структура кристаллов низших сингоний характеризуется наличием не менее трех единичных направлений, что определяет форму оптической индикатрисы в виде трехосного эллипсоида с тремя неравными взаимно перпендикулярными осями, соответствующими одному из главных показателей преломления n_p , n_g , n_m (рис. 17 б). Геометрия трехосного эллипсоида предопределяет наличие симметрично расположенных двух круговых сечений, радиусы-векторы которых равны среднему показателю преломления n_m — Перпендикулярно к круговым сечениям располагаются оптические оси кристалла A_1 и A_2 , при прохождении вдоль которых лучи не испытывают двойного лучепреломления.

В оптически двусосных кристаллах различают три главных сечения: $n_g n_p$, $n_g n_m$, $n_m n_p$. В сечении $n_g n_p$ лежат оптические оси и поэтому оно называется плоскостью оптических осей. Ось n_m перпендикулярна к плоскости оптических осей. Острый угол между оптическими осями называется углом оптических осей и обозначается $2V$; оси n_g и n_p являются биссектрисами этих углов. Если биссектриса острого угла n_g , то кристалл относится к оптически положительным, если n_p — к оптически отрицательным.

В одноосных кристаллах (n_e которых может иметь, например, значение n_g - для оптически положительных кристаллов, и n_p - для оптически отрицательных кристаллов), методом компенсации можно установить только поло-

жение большей и меньшей осей индикатрисы. Наименование осей определяется путем исследования минерала в сходящемся свете (коноскопические исследования).

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что означает наиболее низкая интерференционная окраска минерала?
- 2 Почему используемый компенсатор называют гипсовым или красным?
- 3 Что означает момент погасания зерна минерала, возникающий при вращении столика микроскопа при скрещенных николях?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Цель: определение наименования осей оптической индикатрисы двуосных кристаллов.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп МП – 3, комплект учебных шлифов.

Ход работы:

Определение наименования осей оптической индикатрисы двуосных кристаллов

Определение наименования осей индикатрисы **двуосных кристаллов** производится в скрещенных николях. Выбирают разрез минерала с наивысшими интерференционными окрасками и в зависимости от них заранее решают, с каким компенсатором удобнее работать. Выбранное зерно совмещают с перекрестием нитей окуляра и поворотом столика микроскопа устанавливают его в положение погасания. В момент погасания зерна оси индикатрисы минерала ориентированы параллельно кресту нитей окуляра. Зная расположение осей индикатрисы, с помощью компенсатора можно определить их наименование (рис.18).

Для этого необходимо повернуть столик микроскопа на 45° против часовой стрелки (в этом положении зерно минерала максимально просветлено) и ввести компенсатор в тубус. В тубусе над объективом есть специальный прорез, который ориентирован по отношению к кресту нитей окуляра под углом в 45° и пересекает нижний правый и верхний левый квадранты поля зрения.

Компенсатор, введенный в прорез тубуса, расположится длинной стороной - а стало быть, осью n_p , параллельно той оси индикатрисы минерала, которая до поворота столика на 45° в положении погасания зерна была ориентирована параллельно вертикальной нити.

Если при этом одноименные оси индикатрис минерала и компенсатора совпали, то (как это следует из разобранный выше явления компенсации)

интерференционная окраска зерна минерала повысится. Если при введении компенсатора совпали (параллельны) разноименные оси индикатрис, т. е. n_p компенсатора и n_g минерала, то интерференционная окраска понизится.

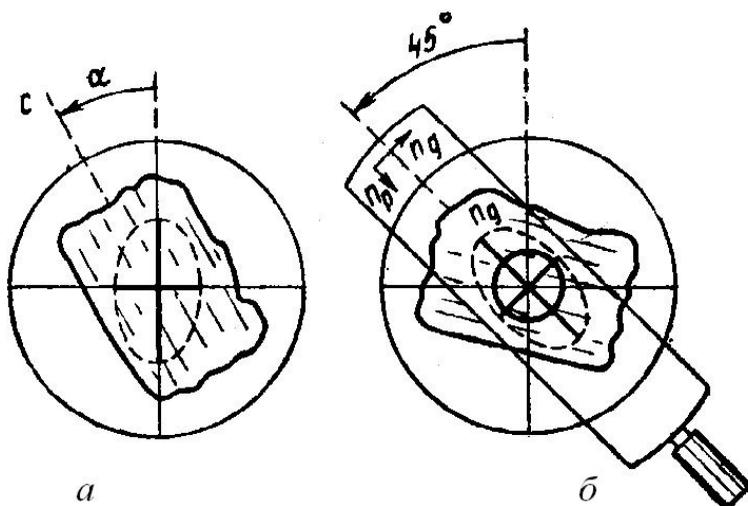


Рис. 18. Схема определения параллельности осей:
а) кристалл в момент погасания; б) определение наименования осей индикатрисы.

Напоминаем, что при окрасках минерала в пределах первого порядка и при пользовании красным (гипсовым) компенсатором следует отмечать изменения интерференционной окраски не минерала, а **компенсатора**. В тех случаях, когда при введении компенсатора характер изменения интерференционной окраски неясен, решить вопрос о наименовании осей индикатрисы становится трудно. Необходима проверка.

Для этого надо, не вынимая компенсатора, повернуть столик микроскопа на 90° в любую сторону (до совмещения оси n_p компенсатора с другой осью минерала). При этом изменение интерференционной окраски становится, как правило, достаточно ясным. В таком случае характер изменения будет обратным тому, который мог быть в первом случае.

Приведенный здесь метод основан на установлении соотношения величин показателей преломления двусосного кристалла в главных направлениях световых колебаний. Этого вполне достаточно для прямого определения наименования осей индикатрисы этой разновидности кристаллов.

ТЕМА 8

УГОЛ ПОГАСАНИЯ МИНЕРАЛОВ

- 1 Определение угла погасания кристаллов.
- 2 Совместное определение наименования осей индикатрисы и угла погасания.
- 3 Определение состава плагиоклазов по наибольшему углу погасания.

Основные понятия по теме

При вращении шлифа на столике микроскопа в скрещенных николях погасание каждого отдельного зерна минерала наступает в момент совмещения направления световых колебаний, возникающих в нем (или осей эллиптического сечения индикатрисы), с главными сечениями николей. Если в момент погасания с нитями окуляра совпадает ясно выраженное кристаллографическое направление минерала (обычно это трещины спайности, реже удлинение или направление граней), то погасание считается прямым относительно этого направления. Если же в момент погасания между нитями окуляра и хорошо заметными кристаллографическим направлением образуется некоторый угол - погасание считается косым.

Характер погасания зависит от положения оптической индикатрисы по отношению к кристаллографическим осям. В кристаллах разных сингоний, как уже отмечалось, оптическая индикатриса ориентирована различным образом.

Кристаллы средних сингоний (тригональной, тетрагональной и гексагональной) характеризуются совпадением оси симметрии наивысшего наименования, т. е. вертикальной кристаллографической оси, с оптической осью индикатрисы (с L_3 , L_4 или L_6 совпадает n_e индикатрисы). Таким образом, кристаллы средних сингоний всегда обладают прямым погасанием относительно удлинения.

Более разнообразна ориентировка индикатрисы в кристаллах низших сингоний. Для кристаллов ромбической сингонии характерно совпадение осей индикатрисы с кристаллографическими осями. Поэтому минералы ромбической сингонии отличаются на ориентированных разрезах прямым погасанием относительно всех кристаллографических осей.

В моноклинной сингонии только одна ось индикатрисы, чаще всего n_m , совпадает с кристаллографической осью b или (010). Две другие оси (n_g и n_p) не совпадают с кристаллографическими осями (a и c), но находятся с ними в одной плоскости. Соответственно этому в моноклинных минералах прямое погасание наблюдается только в одной кристаллографической зоне, в зоне второго пинакоида, на всех других разрезах погасание всегда косое.

В триклинной сингонии ни одна из осей индикатрисы не совпадает ни с одной из кристаллографических осей. На всех разрезах триклинных минералов наблюдаются косые погасания.

Углы косоугольного погасания, или просто углы погасания, имеют большое значение для диагностики минералов, кристаллизующихся в моноклинной и триклинной сингониях. Замеренные на *ориентированных* разрезах, они являются важными диагностическими признаками, характеризующими отдельные минералогические группы в целом и видовые отличия минералов внутри группы.

Углы погасания обычно определяют на разрезах минералов, параллельных главному сечению индикатрисы n_g n_p . *Это сечение узнаётся по наиболее высшей интерференционной окраске.* Для замера угла погасания выбранное зерно минерала совмещают с крестом нитей. Определяют ориентировку осей индикатрисы и их наименование (лабораторная работа № 7). Затем, поворачивая столик микроскопа, измеряют угол между кристаллографическим направлением (обычно трещинами спайности в зерне минерала) и ближайшей осью индикатрисы, т. е. ближайшим положением погасания (угол, наименьший из двух).

При записи угла погасания индекс кристаллографического направления пишут во всех случаях, когда это направление известно. Так, для амфиболов и пироксенов направление трещин спайности на ориентированных продольных разрезах совпадает с направлением третьей кристаллографической оси c , для плагиоклазов и оливинов - с плоскостью второго пинакоида (010), для слюд - с плоскостью третьего пинакоида (001).

Если сведения о кристаллографическом направлении нужны в уточнении, в рабочей записи надо оставить знак «Сп» - спайность. То же относится и к индексам осей индикатрисы. Если кристаллооптическая ориентировка разреза не подвергалась специальной проверке (о чем будет сказано ниже), над индексом оси ставится штрих: n_g' n_p' .

Углы погасания удобно определять на амфиболах.

Вопросы для самоконтроля

- 1 В каком случае погасание считается прямым?
- 2 Как узнаётся разрез минерала, параллельный главному сечению индикатрисы n_g n_p ?
- 3 Какими условиями должен обладать срез зерна полисинтетически двойникового плагиоклаза, чтобы определённый угол погасания относительно второго пинакоида (010, ось n_p') являлся бы диагностическим признаком минерала?

Лабораторная работа № 8

Цель: изучение угла погасания кристаллов как диагностического признака минералов.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп МП – 3, комплект учебных шлифов.

Ход работы (поясняется рисунком 19):

Определение угла погасания кристаллов

1) найти зерно с наивысшей интерференционной окраской и хорошо выраженными трещинами спайности, определить на нем ориентировку осей индикатрисы и их наименования (n_g' и n_p');

2) поворотом столика вернуть зерно в положение погасания и взять отсчет на лимбе столика по одному из нониусов;

3) затем снова поворотом столика совместить трещины спайности с вертикальной нитью и взять второй отсчет по тому же нониусу. Разность отсчетов даст величину угла погасания. В любом зерне будет два таких угла: между трещиной спайности и осью n_g' и между трещиной спайности и осью n_p' . В сумме они дадут 90° . Из двух углов обычно принимают за константу и записывают меньший угол. Например, угол погасания Сп : n_g' - 43° , Сп : n_p' = 47° ; записывается угол Сп: n_g' = 43° .

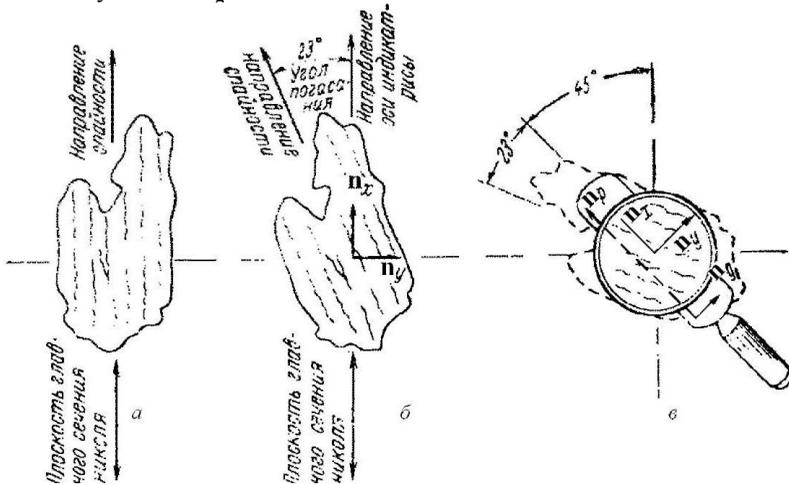


Рис. 19. Схема определения угла погасания и осей индикатрисы а) трещины спайности параллельны вертикальной нити - первый отсчет на лимбе столика; б) кристалл повернут в положение ближайшего погасания - второй

отсчет; в) кристалл повернут на 45° против часовой стрелки (в положение максимального просветления), введен компенсатор.

Совместное определение наименования осей индикатрисы и угла погасания

Смысл операций при этом остается тот же, но порядок работы несколько меняется.

1. Найти зерно минерала с наивысшей интерференционной окраской и установить его на перекрестии нитей.

2. Поворотом столика совместить трещины спайности с вертикальной нитью окуляра. Взять отсчет, зарисовать зерно в этом положении (рис. 19 а).

3. Повернуть столик микроскопа в сторону ближайшего положения погасания и установить зерно в положение полного погасания.

4. Зарисовать зерно в этом положении. Нанести на рисунок ориентировку осей индикатрисы кристалла и главных сечений николей. Пометить оси индикатрисы через \mathbf{n}_x и \mathbf{n}_y (рис. 19 б).

5. Взять отсчет, записать условный угол погасания: (Сп: $\mathbf{n}_x = 24^\circ$).

6. Повернуть столик микроскопа на 45° против часовой стрелки.

7. Ввести компенсатор, зарисовать зерно минерала в этом положении (рис. 19 в).

8. Сделать выводы о совпадении одноименных осей индикатрисы минерала и компенсатора, пометить в рисунке значение осей индикатрисы.

9. Записать угол погасания, например: Сп: $\mathbf{n}_g' = 24^\circ$.

Описанный способ определения углов погасания наиболее удобен для моноклинных кристаллов, у которых в одной плоскости с \mathbf{n}_g и \mathbf{n}_p лежат две кристаллографические оси. Таким образом, на ориентированном разрезе здесь можно замерять важную константу - угол между осью индикатрисы и кристаллографической осью (угол погасания).

При изучении моноклинных минералов, широко распространенных среди цветных компонентов пород, полезно иметь под рукой приведенные на рис. 20, 21 диаграммы углов погасания пироксенов и амфиболов на разрезах, параллельных плоскости оптических осей.

У триклинных кристаллов в связи с особенностями расположения в них осей индикатрисы замеренный таким же способом угол погасания представляет собой угол между осью индикатрисы и проекцией кристаллографической оси направления на плоскость $\mathbf{n}_g\mathbf{n}_p$.

Замер углов погасания некоторых групп триклинных кристаллов (плагноклазов, калиевых полевых шпатов) принято производить на кристаллографически ориентированных разрезах. В этом случае определяется угол между кристаллографическим направлением и проекцией оси индикатрисы на плоскость среза.

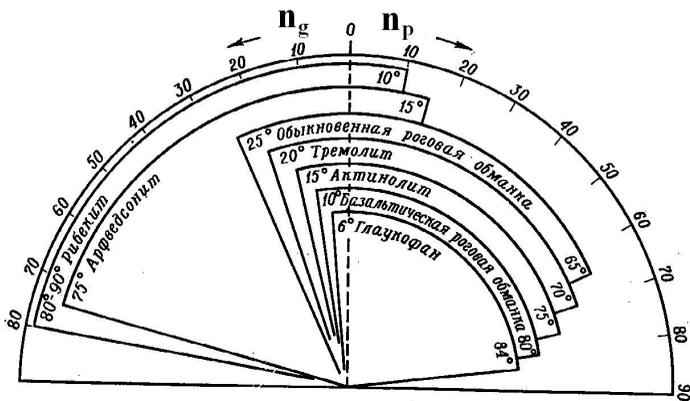


Рис. 20. Углы погасания пироксенов

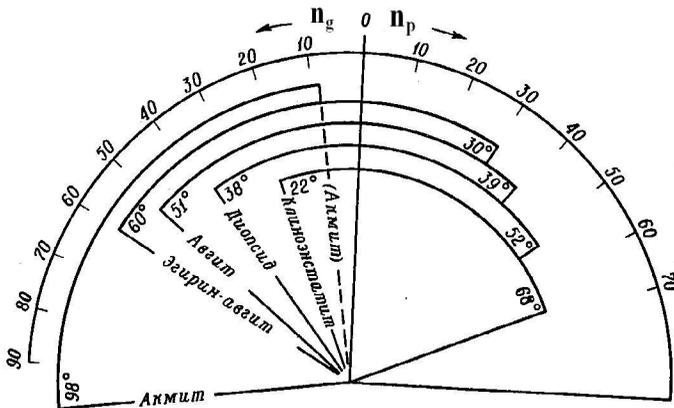


Рис. 21. Углы погасания амфиболов

Определение состава плагиоклазов по наибольшему углу погасания

Определение состава плагиоклазов по наибольшему углу погасания n_r (010) производится следующим образом:

- а) выбранный разрез кристалла совмещается с перекрестием окуляра;
- б) двойниковый шов совмещается с вертикальной нитью окуляра;
- в) берется отсчет на лимбе столика;

г) столик поворачивается сначала в одну сторону до полного погасания одного из двойников, а затем в другую до погасания другого двойника. И в первом, и во втором случаях берутся отсчеты и вычисляются углы погасания;

д) проверяются наименования осей индикатрисы двойников тех из них, которые были в момент погасания совмещены с вертикальной нитью окуляра.

Плагиоклазы имеют низкие интерференционные окраски от серых до желто-белых первого порядка. При вводе гипсового (красного) компенсатора окраска повысится, если n_p компенсатора совпадет с n_p' минерала, и станет синей второго порядка. При несовпадении осей интерференционная окраска компенсатора понизится до желтой или желто-оранжевой первого порядка.

Выбранный разрез считается пригодным для замера, если разница углов погасания двойников не превышает $2-3^\circ$.

Далее можно перейти к другим разрезам.

Этот способ трудоемок, он обычно требует нескольких десятков замеров. Определение состава плагиоклаза производится по наибольшему углу погасания из всех замеров с помощью приведенной диаграммы (рис. 22).

На вертикальной оси от нулевой точки откладывают величины углов погасания выше нулевой линии, если показатель преломления плагиоклаза выше, чем у канадского бальзама, и, наоборот, ниже нулевой линии, если показатель преломления ниже, чем у канадского бальзама. От полученной отметки проводим горизонтальную линию до пересечения с кривой диаграммы. Затем от точки пересечения опускаем перпендикуляр на горизонтальную ось, где и определяется номер плагиоклаза.

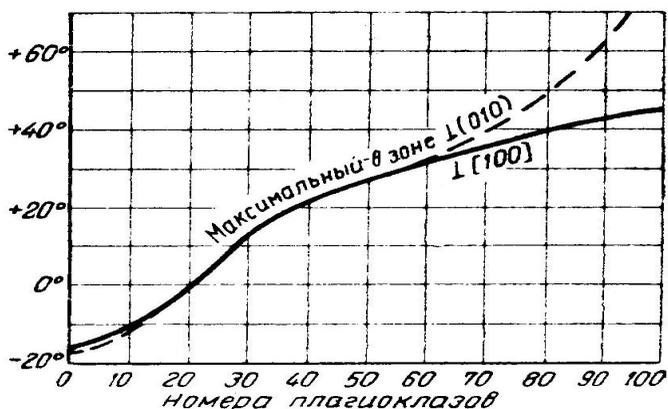


Рис. 22. Диаграмма углов погасания плагиоклазов на ориентированных разрезах в зоне (010)

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусова О.Н., Михина В.В. Общий курс петрографии. М. Недра, 1972, 343 с.
2. Белянкин Д.С., Петров В.П. Кристаллооптика. М. Государственное издательство геологической литературы, 1951, 128 с.
3. Оникиенко С.К. Методика определения породообразующих минералов в прозрачных шлифах. М. Недра, 1971, 125 с.
4. Стойнбер Р., Морзе С. Определение кристаллов под микроскопом. М. Мир, 1974, 280 с.
5. Хэтч Ф., Уэллс А., Уэллс М. Петрология магматических пород. М. Мир, 1975, 509 с.

ПОРЯДОК ИЗУЧЕНИЯ МИНЕРАЛОВ В ШЛИФЕ

Приступая к определению минералов в шлифе, рекомендуется соблюдать некоторую последовательность в проводимых наблюдениях.

Устанавливается по сумме легко определяемых признаков (цвету, рельефу, форме и т. д.) количество различных минералов, которые входят в состав исследуемой породы.

Изучается каждый минерал отдельно по совокупности всех его свойств, определяемых при одном поляризаторе, в скрещенных николях и в сходящемся свете:

при одном поляризаторе определяют форму зерен, характер спайности, величину углов между трещинами спайности, цвет и плеохроизм, относительный показатель преломления (по рельефу, шагреновой поверхности, световой полоске), отмечают наличие псевдоабсорбции, если последняя имеется.

при скрещенных николях дополняют наблюдения о форме зерен, что особенно необходимо для бесцветных минералов, не имеющих четко выраженного рельефа (показатель преломления которых близок к показателю преломления бальзама).

при скрещенных николях определяют, изотропный минерал или анизотропный. Если минерал анизотропный, то устанавливают примерно силу двупреломления (на основании порядка цветов интерференции), характер погасания, угол погасания, знак удлинения. Все эти определения делаются в ориентированных разрезах, параллельных плоскости оптических осей для оптически двусосных минералов, или в разрезах, параллельных оптической оси одноосных минералов. Указанные разрезы находят по максимальным цветам интерференции.

в сходящемся свете на разрезах, перпендикулярных к оптической оси, которые узнаются по отсутствию двупреломления, устанавливают осьность минерала, оптический знак и для двусосных минералов — примерную величину угла оптических осей.

3. Когда каждый минерал легко узнается, определяют размеры зерен.

В заключение оценивают количественные соотношения минералов в шлифе.

**ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНЫХ ШЛИФОВ ГОРНЫХ ПОРОД,
ИСПОЛЗУЕМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

№	Описание	№	Описание
1	2	3	4
1	Апатит, нефелин, эгирин	43	Антофиллит
2	Апатит, нефелин, эгирин	44	Дистен, кварц
3	Апатит с включениями	45-46	
4	Мрамор	47	Клинохлор (хлориты)
5	Барит	48	Биотит, гранат, кварц, пироксены
6	Лабрадор, пироксены	49	Накрит (каолинит)
7	Доломит	50	Пегматит
8	Олигоклаз	51	Пегматит
9	Альбит, плагиоклаз	52-53	
10	Амазонит с альбитом	54	Ультраосновная горная порода (оливин, серпентин)
11	Кальцит	55	Диабаз
12	Гранат, кварц	56	Гранит
13	Микроклин, биотит	57	Лепидолит
14	Магнезит	58	Сланец хлоритизированный
15	Магнезит	59	Пироксен, плагиоклаз
16	Гипс	60	Сиенит-порфир
17	Рутил	61	Базальт миндалекаменный
18	Гипс	62	Доломит оолитовый с гипсом
19	Сфен, роговая обманка, кварц	63	Кварцит
20	Дамурит	64	Яшма
21	Гранат, везувиан	65	Доломит
22	Родохрозит	66	Доломит глинистый
23	Турмалин, кварц	67	Натролит
24	Нефрит	68	Натролит
25	Целестин, карбонаты	69	Анальцим (группа лейцита)
26	Содалит, фельдшпатоиды	70	Сланец кварцево-слюдястый
27	Цеолиты	71	
28	Натролит	72	Мрамор
29	Волластонит	73	Известняк
30	Лепидолит	74	Доломит

1	2	3	4
31	Лепидолит	75-76	
32	Боксит	77	Песчаник
33	Ильменит	78	
34	Кварц, роговая обманка	79	
35	Роговая обманка	80	Халцедон
36	Гранат, пироксен, амфибол	81	
37	Конкренит (вторичный по нефелину)	82	Базальт
38	Агальматолит	83	
39	Эгирин, астрофилит	84	
40	Эгирин	85	
41	Скаполит (полевой шпат)	86	
42	Антофилит (амфибол)	87	Туф вулканический

Примечание: пропущенные номера будут заполнены по мере дальнейшей комплектации и восстановления коллекции учебных шлифов.

ПЕРЕЧЕНЬ СИМВОЛОВ ОСНОВНЫХ МИНЕРАЛОВ

Индекс		Название	Индекс		Название
латин-ский	рус-ский		латин-ский	рус-ский	
Ab	Аб	альбит	Plm	Илм	ильменит
Adl	Адл	адуляр	Kaol	Каол	каолинит
Act	Акт	актинолит	Ky	Ки	кианит
Acs	Акц	акцессорные	Law	Лавс	лавсонит
Amf	Ам	амфибол	Mt	Мгн	магнетит
Alm	Алм	альмандин	Mu	Му	мусковит
And	Анд	андалузит	Mo	Мо	молибденит
An	Ан	анортит	Mikr	Мкр	микроклин
Ank	Анк	анкерит	Ne	Не	нефелин
Ant	Ант	антофиллит	Ol	Ол	оливин
Av	Авг	авгит	OPx	Рп	ортопироксен
Bi	Би	биотит	Ort	Орт	ортоклаз
Bt	Бт	брусит	Pl	Пл	плагиоклаз
Cc	Ка	кальцит	Px	Пи	пироксен
CPx	КлПи	мон. пироксен	Py	Прп	пироп
Cor	Крд	кордиерит	Phl	Флг	флогопит
Crn	Крн	корунд	Q	Кв	кварц
Chl	Хл	хлорит	Ru	Рут	рутил
Dol	Дол	доломит	Shl	Ше	шеелит
Di	Ди	диопсид	Sdr	Сидт	сидерит
En	Эн	энстатит	Ser	Сер	серицит
Erz	н.опр	рудный минерал	Sf	Сф	сфен
Ep	Эп	эпидот	Sill	Силл	силлиманит
Fa	Фа	фаялит	Spur	Спурр	спуррит
Fl	Фл	флюорит	Sk	Ск	скаполит
Fo	Фо	форстерит	St	Ствр	ставролит
Fsp	КПШ	калишпат	Stp	Стп	стильномелан
Gl	Глф	глаукофан	Sp	Серп	серпентин
Gr	Гр	гранат	Spl	Шп	шпинель
Gros	Грос	гроссуляр	Ta	Та	талък
Hb	Ро	роговая обманка	Tr	Топ	топаз
Hyp	Гип	гиперстен	Vs	Вз	везувиан
Hem	Гем	гематит	Wol	Вол	волластонит
Jd	Жд	жадеит	Zo	Цзт	цоизит

Учебное издание

**Круковская Ольга Евгеньевна
Круковский Юрий Борисович**

ПЕТРОГРАФИЯ С ОСНОВАМИ КРИСТАЛЛООПТИКИ

**Практическое пособие
для студентов 2 курса специальности I – 51 01 01
«Геология и разведка месторождений полезных иско-
паемых»**

Лицензия № 02330/0133208 от 30.04.04
Подписано в печать . Формат 60x84 1/16
Бумага писчая № 1. Гарнитура «Таймс». Усл. п. л.
Уч. изд. л. Тираж 10 экз. Заказ №

Отпечатано с оригинала-макета на ризографе
учреждения образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»
Лицензия № 02330/0056611 от 16.02.04.
246019, г. Гомель, ул. Советская, 104