

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ В ШЛИФАХ В СКРЕЩЕННЫХ НИКОЛЯХ

1. Общие сведения

При микроскопическом исследовании минералы диагностируются в скрещенных николях (анализатор включен) в параллельном (А) и сходящемся свете (Б).

А. В параллельном свете (объективы 3,5^x, 8^x, 20^x) определяются:

1. Оптический характер минерала (изотропный или анизотропный).
2. Интерференционная окраска и сила двойного лучепреломления.
3. Характер погасания и угол угасания.
4. Знак удлинения (знак главной зоны).
5. Схема абсорбции.
6. Двойникование, зональность.

1. Изотропные (однопреломляющие) минералы от анизотропных (двупреломляющих) можно отличить при скрещенных николях путем вращения столика микроскопа. *Изотропные минералы* (а это минералы кубической сингонии), а также аморфные вещества имеют оптические свойства одинаковые во всех направлениях, поэтому поступающая из нижнего николя плоско поляризованная волна света будет проходить через любой их разрез, не меняя своего направления, а затем поглощаться верхним николем, и минерал (или аморфное вещество) при вращении столика микроскопа все время будет оставаться затемненным.

В разрезах *анизотропных минералов*, относящихся ко всем другим сингониям, при повороте их на столике микроскопа на 360° будет наблюдаться четырехкратное погасание в момент, когда направления, по которым в нем совершаются световые колебания, установлены параллельно главным сечениям николей (параллельно кресту нитей в окуляре). Если направления колебания в кристалле не совпадают с направлениями колебаний в николях, кристалл будет освещенным. Сечения анизотропных минералов, перпендикулярные оптической оси, всегда остаются затемненными, поэтому для определения оптического характера минерала следует просматривать несколько его зерен.

Таким образом, если все зерна данного минерала в шлифе в скрещенных николях темные, минерал изотропный, если же наравне с темными сечениями наблюдаются светлые – минерал анизотропный.

2. Интерференционная окраска и сила двойного лучепреломления минералов. В анизотропных минералах две волны света (обыкновенный и необыкновенный луч), выходящие из нижнего николя, проходят с различными скоростями, в результате чего между ними возникает некоторая разность хода Δ , которая прямо пропорциональна толщине кристаллической пластинки (d) и

разнице показателей преломления ($n_g - n_p$) этих волн, колебания которых совершаются в данном сечении минерала, т.е. $\Delta = d \cdot (n_g - n_p)$. Разность хода выражается в *нм*.

Каждой разности хода в кристалле соответствует некоторая определенная *интерференционная окраска*. Она возникает в результате сложения колебательных движений, соответствующих двум световым волнам, прошедшим через кристаллическую пластинку. Всю гамму интерференционных цветов можно наблюдать, постепенно вводя в тубус микроскопа кварцевый клин – клинообразную пластинку кварца, закрепленную между стеклами, вмонтированными в металлическую оправу. От тонкой части клина к толстой наблюдается смена интерференционных цветов I, II, III, IV порядков, границей между которыми является красный цвет.

Сила двойного лучепреломления ($n_g - n_p$) может быть приблизительно определена на основании интерференционной окраски минерала путем разделения цветов интерференции на ряд групп (табл. 6) или по таблице Мишель-Леви.

Таблица 6

Разделение цветов интерференции на группы, по В.Б. Татарскому

№ п/п	Двупреломление	$n_g - n_p$	Интерференционная окраска
1	Очень слабое	$< 0,005$	Не выше светло-серой I порядка
2	Слабое	$0,005-0,010$	Не выше светло-желтой I порядка
3	Среднее	$0,010-0,025$	Не выше синей II порядка (нет зеленой)
4	Сильное	$0,026-0,101$	Есть зеленые, нет перламутровых
5	Очень сильное	$0,100-0,180$	Перламутровые, нет белого цвета выс-
6	Исключительно сильное	$0,180$	Только белые цвета высших порядков

Чтобы определить, какого порядка интерференционная окраска минерала, при большом увеличении в скрещенных николях наблюдают его край, где видна тончайшая каемка со спектрами более низких порядков, чем основная интерференционная окраска минерала.

3. Характер погасания и угол угасания минералов. Погасание минералов при вращении столика микроскопа наступает в тот момент, когда главные оси n_g (n_g^1) и n_p (n_p^1) его индикатрисы (воображаемого эллипсоида вращения, построенного на оптических осях) приходят в совпадение с направлениями колебаний в николях (с нитями креста окуляра). Таким образом, положение нитей окулярного креста в момент погасания указывает на расположение в разрезе главных геометрических осей индикатрисы. Если при этом ребра, трещины или ребра фигур травления кристалла в момент его погасания также оказываются параллельными нитям окуляра, это указывает на совпадение кристаллографических направлений (ребер, трещин спайности и т.д.) с геометрическими осями индикатрисы кристалла. В этом случае кристалл имеет прямое погасание. Если же ребра или трещины спайности в момент погасания кри-

сталла расположены косо к нитям окуляра, погасание кристалла называется КОСЫМ.

При косом погасании его кристаллографические оси расположены косо к геометрическим осям индикатрисы. В случае косоугольного погасания определяют *угол погасания* – между одной из геометрических осей индикатрисы [n_g (n_g'), n_p (n_p')] и каким-либо геометрическим элементом (ребром, трещиной спайности, ребром фигуры травления и т.д.). Для одного и того же минерала видимые углы погасания будут различны в зависимости от сечения и от того, между какими именно направлениями измеряется угол. При замере угла погасания необходимо указывать, относительно какой геометрической оси индикатрисы этот угол замерен. Обычно выбирают сечения с максимальным двупреломлением, где геометрическими осями будут n_g и n_p .

4. Знак удлинения. В сечении любого анизотропного минерала проявляются два направления колебаний, которые располагаются перпендикулярно друг к другу. Для определения характера направления колебаний, пропускаемых кристаллом (n_g или n_p), используется *компенсационная пластинка (компенсатор)*, в которую вмонтирован кристалл кварца, ориентированный так, что в направлении длинной стороны пластинки он пропускает колебания луча n_g , а в поперечном направлении – n_p . Компенсатор вставляется в прорезь в нижней части тубуса микроскопа, ориентированную под углом 45° к кресту нитей окуляра, и в зависимости от оптической ориентировки минерала увеличивает или уменьшает разность хода световых волн, что и позволяет определить направления колебаний (n_g или n_p) в исследуемом зерне.

Определение производят следующим образом. Из зерен одного минерала выбирают зерно с наиболее высокой интерференционной окраской и четкими трещинами спайности и ставят его на погасание. Затем поворачивают столик микроскопа против часовой стрелки на 45° и вводят компенсатор. Если при этом происходит увеличение интенсивности интерференционной окраски, следовательно с данным направлением в минерале совпадает ось n_g , при понижении окраски – ось n_p . Соответственно перпендикулярно им располагаются оси n_p и n_g .

5. Схема абсорбции является показателем интенсивности окраски минерала в проходящем свете (при выключенном анализаторе) вдоль той или иной оптической оси. Определив при включенном анализаторе положение осей охарактеризованным выше способом (п. 4), поворачивают столик микроскопа и ориентируют зерно минерала так, чтобы его ось n_g , а затем n_p , совместились с вертикальной нитью, выключают анализатор и записывают соответствующую окраску минерала. Если окраска минерала по оси n_g более интенсивная, чем по оси n_p , схема абсорбции имеет вид $n_g > n_p$ и называется *прямой*, если же соотношения обратные – $n_p > n_g$ (*обратная* схема абсорбции). В двухосных кристаллах помимо направлений n_g и n_p в круговых сечениях, перпендикулярных оптической оси, наблюдаются колебания по оси n_m , одинаковые во всех направлениях. Поэтому минералы в таком сечении не плеохроируют, а в скрещенных николях кажутся изотропными. Интенсивность

окраска их обычно промежуточная между окрасками по $n_p > n_g$, т.е. $> n_m > n_p$ или $n_p > n_m > n_g$.

Для большинства минералов схема абсорбции имеет вид $n_g > n_p$. Например, для роговой обманки окраска варьирует от зеленой по n_g , бурозеленой по n_m до светло-желтой по n_p ; т.е. роговая обманка плеохроирует в зелено-буро-желтых тонах, а схему абсорбции ее $n_g > n_m > n_p$.

6. Двойникование, зональность. *Двойники* обнаруживаются по одновременному погасанию сростшихся индивидов при вращении столика микроскопа. Это происходит вследствие различной ориентировки оптической индикатрисы относительно плоскости срастания в различных индивидах двойника. След плоскости срастания (двойниковой плоскости) называется *двойниковым швом*. При одновременном срастании нескольких или большого количества индивидов образуются *сложные* или *полисинтетические* двойники (рис. 22). В скрещенных николях они имеют полосчатую структуру, причем при вращении столика наблюдается поочередное погасание одновременно четных и нечетных составляющих двойника.



Рис. 22. Двойники под микроскопом: а) простой двойник, б) полисинтетический двойник, в) система пересекающихся двойников.

Различная ориентировка разрезов индикатрисы относительно двойникового шва позволяет измерить углы погасания каждого индивида двойника. В случае симметричного погасания величина этих углов одинакова; при асимметричном погасании наблюдается различия в величинах углов. Так как сечения минералов в шлифе носят произвольный характер, измерение углов и определение степени их симметричности следует производить на нескольких разрезах.

От двойников следует отличать *сферолиты*, которые представляют собой радиально-лучистые сростки игольчатых или волокнистых кристаллов. Если игольчатые кристаллы, слагающие такой сросток, то он имеет в целом прямое крестообразное погасание с положением ветвей креста, параллельно нитям окуляра, при косом погасании наблюдается поворот креста от них на некоторый угол.

Зональность выражается в одновременном погасании отдельных, концентрически расположенных зон минерала, которая может быть резкой или нечеткой с постепенным изменением погасания от центра к краю зерна.

Б. В сходящемся свете (объективы 40^x , 60^x) определяются:

1. Осность минералов (одноосные или двуосные).
2. Оптический знак (положительный или отрицательный).
3. Углы между оптическими осями (для двуосных минералов).

1. Осность минералов. Оптически одноосные и двуосные минералы различаются в сходящемся свете при включенной линзе Бертрана по характерным для них интерференционным фигурам.

Одноосные минералы в сечении, перпендикулярном к оптической оси (или близком к нему) дают *темный крест*, центр которого соответствует месту выхода оптической оси, а ветви параллельны главным сечениям николей (рис. 23, 1–3). Эта фигура может быть осложнена цветными изохроматическими кольцами, число которых тем больше, чем выше сила двупреломления минерала.

Оптически двуосные минералы в разрезе, перпендикулярном к острой биссектрисе, дают черный крест, образованный двумя взаимно перпендикулярными балками, одна из которых тонкая и длинная, другая – широкая и короткая. На тонкой балке намечается две точки – места выхода оптических осей, окруженные цветными кольцами (рис. 23, 4а). При большом угле оптических осей выходы их не видны, и при вращении столика микроскопа темный крест распадается на *две гиперболы*, вершины ветвей которых совпадают с выходом оптических осей (рис. 23, 4б).

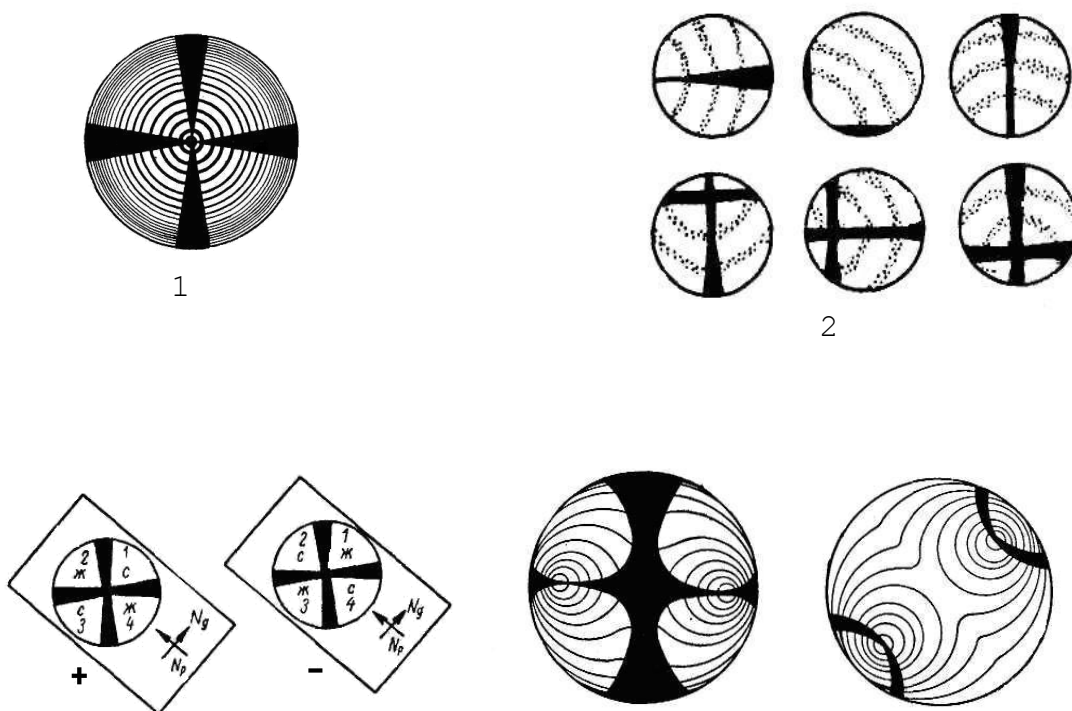


Рис. 23. Интерференционные фигуры одноосных и двуосных минералов.

1 – одноосный кристалл в разрезе, перпендикулярном оптической оси; 2 – косые разрезы одноосного кристалла; 3 – определение оптического знака одноосного кристалла компенсатором; 4 – двуосный кристалл в разрезе, перпендикулярном острой биссектрисе (4а – малый и 4б – большой угол оптических осей).

2. Оптический знак минерала устанавливается с помощью компенсатора. Для одноосного кристалла, интерференционная фигура которого имеет вид креста, крест окрашивается в красно-фиолетовый цвет, а у его основания появляются окраски: у положительного кристалла параллельно длинному ребру кварцевой пластинки – два желтых пятна, а перпендикулярно к нему – два синих; у отрицательного кристалла параллельно длинному ребру – два синих пятна, а перпендикулярно ему – два желтых. Для двuosного положительного кристалла интерференционная фигура которого имеет вид гипербол, на выпуклой стороне гиперболы появляется синяя окраска, а на вогнутой – желтая, у отрицательного кристалла – синяя окраска на вогнутой, а желтая – на выпуклой стороне.

3. Углы между оптическими осями определяются в двuosных минералах путем измерения окулярной линейкой расстояния между вершинами веток интерференционных фигур гиперболы.

2. Порядок выполнения работы

1. Получение коноскопической фигуры. При малом и среднем увеличении (объективы 3^x ; 8^x ; 20^x) в параллельном свете в скрещенных николях выбрать изотропный или слабо двупреломляющий разрез минерала (с серой интерференционной окраской). Желательно, чтобы зерно было по возможности большим и не содержать включений других минералов. Установить зерно на крест нитей. Сменить объектив на более сильный (40^x или 60^x), сфокусировать и тщательно центрировать микроскоп. Последний должен быть центрирован настолько, чтобы исследуемое сечение кристалла при вращении столика не смещалось с центра креста нитей. Полностью открыть диафрагму, ввести линзу Лазо и линзу Бертрана.

Проверить освещение. Поле зрения должно быть равномерно ярко освещенным. При наличии же в поле зрения теней необходимо от них избавиться перемещением зеркальца. Если затемнены края поля зрения, то необходимо поднять или опустить осветительную систему с конденсором. Добившись равномерного яркого освещения поля зрения микроскопа, ввести анализатор. Вращая столик микроскопа, наблюдают коноскопическую фигуру.

2. Определение оптического знака кристалла. По характеру коноскопической фигуры определяют осность минерала – одноосный или двuosный, а затем, введя компенсатор, оптический знак – положительный или отрицательный (см. рис. 23, 3). Результаты определений записать в таблицу (продолжить таблицу работы № 7)

№ п/п	Оптические характеристики кристаллов и зерен минералов	Исследуемые минералы	
		1	2
1	Форма преобладающих кристаллов или зерен		
2	Цвет		
3	Размер, мм		
4	Плеохроизм и характер измерения окраски		
5	Характер спайности		
6	Угол между системами спайности		
7	Показатель преломления минерала		
8	Количественное содержание, %		
Предварительное определение минерала (название)			
9	Оптический характер минерала		
10	Интерференционная окраска		
11	Характер погасания и угол погасания		
12	Знак удлинения		
13	Схема абсорбции		
14	Наличие двойников и сферолитов		
15	Осность минерала		
16	Оптический знак		
Диагностируемый минерал (название)			

Контрольные вопросы

1. Как отличить изотропное оптическое вещество от анизотропного?
2. Что такое двойное лучепреломление и чем определяется его величина?
3. Что такое погасание минералов и как оно определяется?
4. Как определить знак удлинения минералов?
5. Для чего используются компенсаторы? Какой знак их главной зоны?
6. Как определяется схема абсорбции минерала?
7. Какие коноскопические фигуры наблюдаются для одноосных и двуосных минералов?
8. Как определить оптический знак минерала?
9. Какие типы двойников бывают, и как они разнятся под микроскопом?