

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Н.Ф. Столбова

ВВЕДЕНИЕ В ОПТИЧЕСКУЮ МИНЕРАЛОГИЮ

*Допущено УМО по образованию в области
прикладной геологии в качестве учебного пособия
по дисциплине «Петрография магматических
и метаморфических пород. Петрология»
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 130300 «Прикладная геология»*

4-е издание

Издательство
Томского политехнического университета
2010

УДК 548.0:543.135:549.1
ББК 24.7
С81

Столбова Н.Ф.

С81 Введение в оптическую минералогию: учебное пособие / Н.Ф. Столбова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 4-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 57 с.

ISBN 5-98298-485-5

В пособии дана принятая в петрографии систематика главных породообразующих минералов, выделены характерные особенности наиболее важных групп минералов в их ассоциациях, представлены в табличной форме оптические и морфологические свойства минеральных индивидов и рекомендована последовательность их изучения с использованием поляризационного микроскопа.

**УДК 548.0:543.135:549.1
ББК 24.7**

Рецензенты

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент ТГУ

О.В. Бетхер

Кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник

Н.И. Смирнова

ISBN 5-98298-485-5

© Томский политехнический университет, 2006

© Столбова Н.Ф., 2006

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МИНЕРАЛЫ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД.....	5
1.1. ОБЩИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ И ИХ СИСТЕМАТИКА, ПРИНЯТАЯ В ПЕТРОГРАФИИ	5
1.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЩИХ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ МИНЕРАЛОВ ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП.	8
1.2.1. Фемические минералы	8
1.2.2. Силикатные минералы	14
1.2.3. Вторичные минералы	24
1.2.4. Акцессорные минералы	30
2. МИНЕРАЛЫ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД	36
3. МИНЕРАЛЫ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД	42
4. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ МИНЕРАЛОВ	43
4.1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ МИНЕРАЛОВ	43
4.2. ВИЗУАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕРЕН	50
4.3. ВИЗУАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА МИНЕРАЛОВ.	50
ФОТОГРАФИИ МИНЕРАЛОВ В ПОЛЯРИЗОВАННОМ СВЕТЕ (приложение) ..	52
УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ	63
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	65

ВВЕДЕНИЕ

Из общего числа минеральных видов, известных современной минералогии, а их более 3000, в горных породах постоянно встречается лишь немногим более ста. Их принято объединять под общим названием – *породообразующие минералы*. Сравнительно редко они образуют визуально диагностируемые крупнозернистые ассоциации. Чаще они слагают породы в виде мелкозернистых агрегатов, образуя ассоциации с усложненными структурными сочленениями минералов. Все это затрудняет диагностику минералов и представленных ими пород и заставляет использовать в петрографии знания об оптических свойствах минералов и кристаллооптических методах их исследования.

Диагностика минералов, а также особенностей их состава и строения, с использованием кристаллооптических методов, достаточно трудоемкий вид анализа. Однако, приобретенный опыт изучения минералов и накопленные в последние десятилетия методические приемы обучения диагностической методике педагогами – петрографами зарубежных и отечественных высших учебных заведений позволили выработать определённый методический подход, облегчающий освоение этого вида анализа. Наибольшее влияние на его формирование оказали В.Н.Лодочников (1955, 1974), В.Е.Трёгер (1958), В.В.Зубков (1962), А.М.Даминова (1963), У.Н.Дир, Р.А.Хауи, Дж.Зусман (1965–1966), О.Н.Белоусова и В.В.Михина, (1972), Р.Н.Кочурова (1977) и многие их последователи, частично указанные в списке литературы.

В основе используемого методического подхода лежит систематизация породообразующих минералов по происхождению слагаемых ими пород, петрографическим особенностям, морфологическим, физическим и оптическим свойствам. В соответствии с такой систематизацией выделены группы минералов магматических, метаморфических и осадочных пород и проведено их разделение по петрографическим особенностям. Для выделенных подразделений разработаны таблицы оптических свойств отдельных минералов или их изоморфных рядов. В таблицах приведены зарисовки их основных кристаллических форм, указаны оптические свойства, наблюдаемые при одном, двух скрещенных николях и в сходящемся свете. В таблицах приведены диагностические признаки минералов. Таблицы сопровождаются цветными фотографиями минералов с наиболее чётко выраженными их морфологическими и оптическими признаками. Если приведённые ниже сведения окажутся недостаточными для диагностики того или иного минерала, следует обратиться к литературе, указанной в конце методического пособия.

1. МИНЕРАЛЫ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

К этой группе отнесены минералы, которые образуют устойчивые ассоциации именно в магматических породах, хотя встречаются и в метаморфических, и в осадочных породах.

1.1. ОБЩИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ И ИХ СИСТЕМАТИКА, ПРИНЯТАЯ В ПЕТРОГРАФИИ

Минералы, слагающие магматические породы разделены на *первичные* и *вторичные*, а также *главные*, *второстепенные* и *акцессорные* (табл. 1).

Преобладающая их часть – прозрачные в поляризованном свете микроскопа кристаллические вещества.

Первичные минералы образуются в процессе кристаллизации магматического субстрата на начальных стадиях формирования магматических пород и узнаются по определенным взаимоотношениям, структурным особенностям, по сохранившимся и на более поздних стадиях их формирования физическим и оптическим признакам.

Вторичные минералы образуются по первичным в результате эволюции термодинамических и физикохимических условий существования магматических пород. Они обычно заимствуют ряд морфологических и химических особенностей тех минералов, по которым развиваются.

Главные (породообразующие) минералы – это минералы, которые, и количественно, и качественно определяют их ассоциации в породах. Они учитываются вместе с развитыми по ним, вторичными минералами. Их состав и количественные соотношения используются в классификации пород.

Второстепенные минералы не определяют ассоциации и классификации пород. Их количество в породах менее 5%.

Акцессорные минералы – это минералы, встречаемые в породах в виде единичных или достаточно редких включений и, лишь в отдельных случаях, образующие скопления. Для различных ассоциаций главных породообразующих минералов характерен определенный набор акцессорных минералов.

Непрозрачные минералы и вещества.

Непрозрачные минералы и непрозрачные вещества обычно хорошо наблюдаются на фоне прозрачных минералов. Они задерживают поляризованный свет и под микроскопом, приспособленным для изучения

прозрачных веществ, выглядят черными, не пропускающими свет или слабо просвечивающими по краям. Их часто называют «рудными» и, как правило, специально не изучают, указывая, в лучшем случае, их содержание и структурные взаимоотношения в минеральных ассоциациях.

В то же время современные методы исследования – минераграфия (микроскопическое изучение минералов в отраженном свете), электронное зондирование, спектроскопия и прочие методы позволяют выявить среди них самородные элементы (золото, серебро, медь и др.), оксиды (магнетит, ильменит, хромит и пр.), разнообразные сульфиды и другие химические соединения. Среди последних встречаются продукты, содержащие углерод (графит, шунгит, возможно фуллерены, керогены) и твердые углеводороды (асфальтены, кериты, антраксолиты). В связи с необычностью состава и свойств непрозрачных продуктов, а также слабой изученностью, требуется повышенное внимание и тщательные исследования, для получения дополнительной информации о происхождении и условиях формирования пород. Пренебрежение ею обедняет петрологию.

Главные минералы по химическим особенностям, отображающимся в их оптических свойствах, делятся на **фемические** и **салические** (табл. 1).

Фемические минералы – это силикаты, содержащие железо (Fe^{++} , Fe^{+++}) и (или) магний (Mg). Они обычно окрашены, имеют различные цвета, часто темные тона и, в связи с этим, имеют дополнительные названия – «темные», «темноцветные», «меланократовые», мафические минералы. Они хорошо выделяются по цвету на фоне слабоокрашенных силикатов и алюмосиликатов. Их количество в породе называют **мафическим** числом и обозначают буквой **М**. К ним относятся: оливины (Ol)*, пироксены (Px), амфиболы (Am) и слюды (Ms).

Салические минералы – это кремний (Si) и алюминий (Al) содержащие минералы. Они имеют светлые тона окрасок. Среди них много белых, светло-серых, розовых и желтоватых, но нередко встречаются виды с довольно густыми зеленоватыми, синими и красными цветовыми оттенками. Все они в петрографических шлифах бесцветны. К салическим минералам относятся: кварц (Q), и фельдшпатоиды (фойды – F), нефелин (Ne) и лейцит (Lc), полевые шпаты – щелочные (Fsp), содержащие K и Na и плагиоклазы (Pl), содержащие Ca .

* – здесь и далее используются, принятые в петрографии условные обозначения минералов.

Таблица 1

Петрографическая систематика минералов

Главные		Вторичные	Акцессорные
Фемические	Салические		
Оливины – <i>Ol</i> форстериты фаялиты Пироксены – <i>Px</i> РОМБИЧЕСКИЕ (<i>OPx</i>) энстатит гиперстен МОНОКЛИННЫЕ (<i>CPx</i>) диопсид (<i>Di</i>) авгит (<i>Aug</i>) эгирин (<i>Alg</i>) Амфиболы – (<i>Am</i>) роговая обманка обыкновенная (<i>Hbl</i>) роговая обманка базальтическая (<i>bHbl</i>) арфведсонит (<i>Arf</i>) Слюды – (<i>Ms</i>) биотит (<i>Bt</i>) мусковит (<i>Mus</i>)	Фельдшпатоиды - F кварц – <i>Q</i> нефелин – <i>Ne</i> лейцит – <i>Lc</i> Полевые шпаты ЩЕЛОЧНЫЕ полевые шпаты - <i>Fsp</i> ортоклаз(<i>Or</i>) микроклин (<i>Mk</i>) ПЛАГИОКЛАЗЫ (<i>Pl</i>) альбит (<i>Al</i>) олигоклаз (<i>Olg</i>) андезин (<i>And</i>) лабрадор (<i>Lab</i>) битовнит (<i>Bi</i>) анортит (<i>An</i>)	Сerpентины по <i>Ol, OPx</i> Актинолиты по <i>CPx, Am</i> Серициты по <i>Mus, Alb, Olg</i> Хлориты по <i>Bi, Am</i> Эпидоты по границам <i>Px, Am, Fsp</i> и <i>Pl</i> Пелиты агрегаты глини- стых минера- лов, по щелоч- ным <i>Fsp</i> Соссюрит – агрегат альбита, цоизита, каль- цита по сред- ним и основным плагиоклазам – <i>Lab, Bit, An.</i>	Хромшпинелиды (<i>Chr</i>) Магнетит (<i>Mt</i>) Титаномагнетит (<i>Tmt</i>) Циркон (<i>Zr</i>) Гранаты (<i>Gr</i>) Сфен (<i>Sf</i>) Апатиты (<i>Ap</i>) Турмалины (<i>Tur</i>)

1.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЩИХ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ МИНЕРАЛОВ ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП.

Представленные в петрографической систематике группы минералов имеют ряд важных морфологических и оптических признаков, которые позволяют выделять их из общей минеральной массы и определять групповую принадлежность.

1.2.1. Фемические минералы

Изучаемые фемические минералы принадлежат ромбической и моноклинной сингониям.

Минералы ромбической сингонии – оливины и ромбические пироксены – имеют формы ромбических призм, чаще укороченных (оливины, энстатит) и, реже, относительно удлиненных (гиперстены).

Минералы моноклинной сингонии в ряду: цепочечные (пироксены) – ленточные (амфиболы) – слоевые (слюды) силикаты – закономерно меняют свою форму. Она изменяется от призматической (диопсид, авгит) через удлиненно–призматическую (эгирин, амфиболы) до таблитчато–чешуйчатой (слюды).

Фемические минералы обычно окрашены. В них довольно закономерно, от оливина к слюдам, увеличивается степень абсорбции света и интенсивность плеохроизма, которые в целом зависят от кристаллической решетки минералов и особенностей их химизма. Слабо окрашенные минералы обладают малозаметным плеохроизмом и его необходимо наблюдать при разных, в том числе значительных, увеличениях микроскопа.

К фемическим минералам относится и бесцветный мусковит, но и он меняет интенсивность своей серо–белой окраски, возникающей за счет эффекта псевдоабсорбции (смене светлой слабо выраженной шагреновой поверхности по n_p , на резко выраженную серую – по n_g).

Все *Fe* и *Mg* содержащие минералы имеют положительный рельеф и меняют свои показатели преломления в пределах VII – IV групп таблицы В.Н.Лодочникова. Уменьшение показателей преломления также закономерно в ряду оливины – пироксены – амфиболы – слюды (рис.1). При этом у последних минералов этого ряда, у мусковитов, наименьший показатель преломления близок к n канадского бальзама, что и определяет исчезновение оптического эффекта «рельеф и шагреновая поверхность» и обуславливает проявление псевдоабсорбции.

В рассматриваемом ряду фемических минералов (оливины – пироксены – амфиболы – слюды) закономерно увеличивается и степень совершенства спайности. Она несовершенная у оливинов, у пироксенов

– хорошая и совершенная в двух направлениях под углом $\sim 90^\circ$ (ромбические пироксены – OP_x) и 87° (моноклинные пироксены – CP_x). Совершенная и весьма совершенная спайность имеется у амфиболов под углом 56° и 124° и весьма совершенная – у слюд в одном направлении. Спайность у пироксенов сопровождается редкой поперечной отдельностью (рис.1).

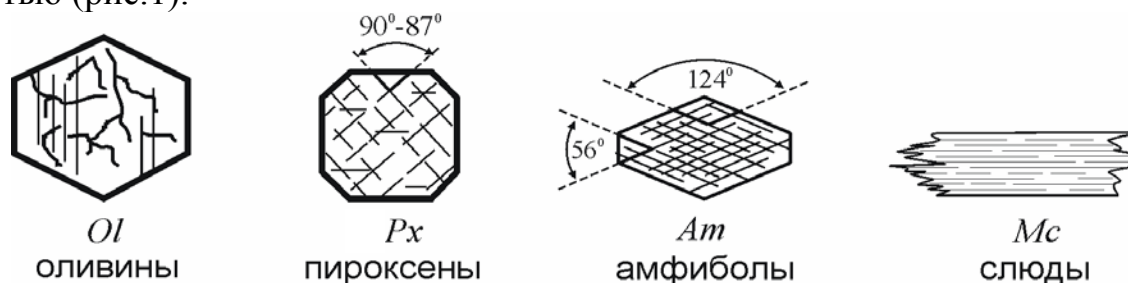


Рис. 1 Характер рельефа и спайности фермических минералов

В скрещенных николях фермические минералы обнаруживают интерференционные окраски всех порядков.

I	I - II	II - III	III - IV
ортопироксены	- амфиболы	- клинопироксены	- оливины
			- слюды

Легко выделить среди фермических минералов ромбические пироксены, $n_g - n_p$ которых не превышают 0,013, а также слюды, высокая интерференционная окраска которых близка к перламутровой приобретает «искристость», из-за сколов и неровностей на плоскостях весьма совершенной спайности.

Углы погасания фермических минералов меняются в широких пределах. У ромбических пироксенов (энстатит) и оливинов, минералов этой же сингонии, они равны 0° , а у минералов моноклиной сингонии (пироксены – амфиболы – слюды) они закономерно уменьшаются от 56° до 9° (рис.2).

Знак удлинения фермических минералов преимущественно положительный. На этом фоне хорошо выделяются эгирин, имеющий отрицательный знак зоны, а также некоторые клинопироксены.

Систематизированные морфологические и оптические свойства фермических минералов представлены в табл. 2.

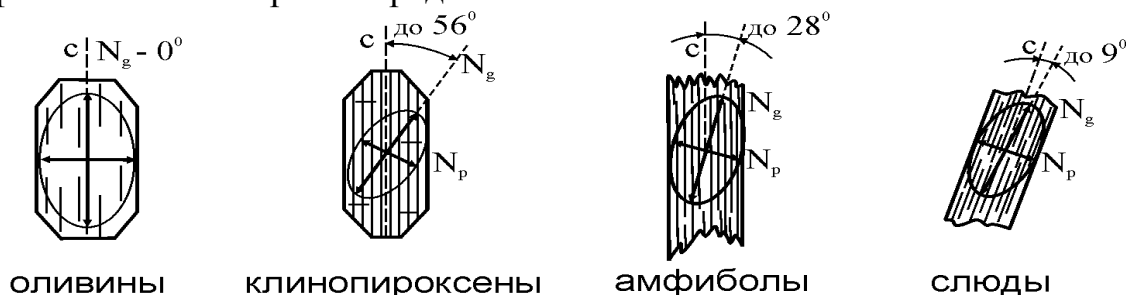


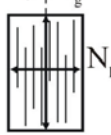
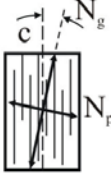
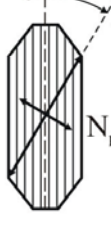
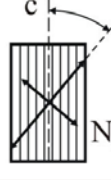
Рис. 2. Углы погасания фермических минералов

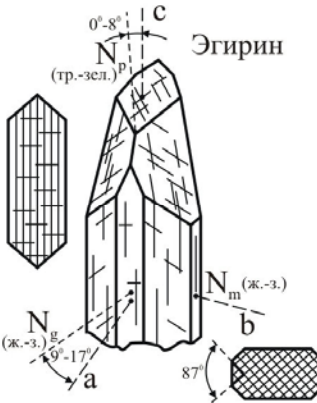
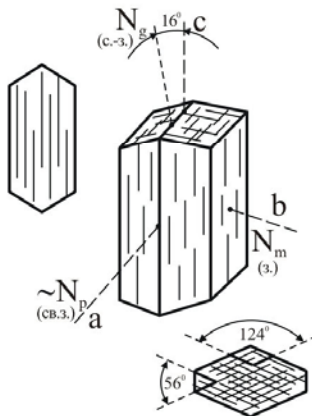
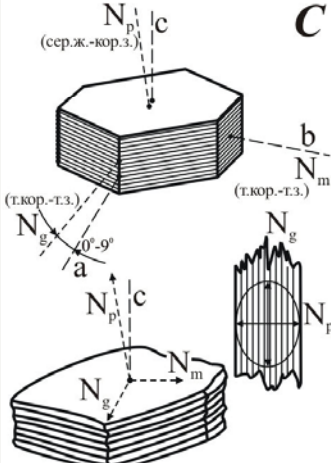
ФЕМИЧЕСКИЕ

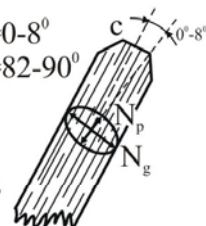
№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним николем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
1.	Оливины Форстерит Mg_2SiO_4 Фаялит Fe_2SiO_4 сингония ромбическая		несоверш. по (010), есть трещины разных направлений.	бесцветный	форстерит $n_p \sim 1,65$ $n_g \sim 1,69$ VI-VII гр. фаялит $n_p \sim 1,82$ $n_g \sim 1,87$
2.	Энстатит $Mg_2[Si_2O_6]$	Р о м б и ч е с к и е			
3.	Гиперстен $(Fe, Mg)_2[Si_2O_6]$				
4.	Авгит $(Ca, Mg, Fe, Al)_2[(Si, Al)_2O_6]$	М о н о к л и н н ы е			
5.	Диопсид $Ca, Mg[Si_2O_6]$				

Таблица 2

МИНЕРАЛЫ

Свойства, набл. с двумя николями			Осность, $\angle 2V$, опт. знак	Продукты разложения	Диагностические признаки
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны			
0,033- -0,048	 погасание прямое равномерное $c : N_g = 0^\circ$ $c : N_p = 90^\circ$	+	форсте- рит $2V_{N_g} = 88^\circ$ фаялит $2V_{N_p} = 47^\circ$	серпентин (петельчатая структура), талек, хло- рит, кальцит, магнетит	Высокий показатель прелом- ления, бесцветность, трещи- новатость, продукты разложе- ния-серпентин, иддингсит. От моноклинных пироксенов отличается несовершенной спайностью и трещиноватос- тью, более высоким n и $n_g - n_p$, прямым углом погасания, про- дуктами разложения.
п и р о к с е н ы					
0,008	 погасание прямое $c : N_g = 0^\circ$ $c : N_p = 90^\circ$	+	$2V_{N_g} =$ $= > 54^\circ$	серпентин	Форма сечения, совершен- ная спайность, угол спайнос- ти, угол погасания. Между собой отличаются по цвету, по $n_g - n_p$.
0,015	 иногда $c : N_g$ от 0° до 10° $c : N_g = 0^\circ$ $c : N_p = 90^\circ$	+	$2V_{N_p} =$ $= < 54^\circ$	талек, кар- бонаты, маг- нетит	От оливина отличаются со- вершенной спайностью, бо- лее низкой $n_g - n_p$. От моноклинных пироксе- нов отличаются прямым или малым углом погасания, ин- терф. окраской I порядка.
п и р о к с е н ы					
0,020- -0,033	 погасание косое, большое $c : N_g = 32-56^\circ$	$\pm$	$2V_{N_g} =$ $= -56 - 63^\circ$	уралит, акти- нолит, хло- рит, кальцит	Между собой при одном нико- ле отличаются цветом и пока- зателем преломления. От оливина отличаются со- вершенной спайностью, ко- сым погасанием, меньшими n и $n_g - n_p$.
0,020- -0,030	 погасание косое $c : N_g = 38-48^\circ$	$\pm$			От ромбических пироксенов отличаются косым большим погасанием, интерф. окраской II порядка.

№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним николем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
Моноклинные					
6.	Эгирин (Na, Fe ⁺³)[Si ₂ O ₆]		совершенная в двух на- правлениях, под углом 87°, отдельность П(001)	N _p -травяно- зелёный; N _g -желтова- тый, плеохро- изм резкий	n _p ~1,77 n _g ~1,83
7.	Эгирин - авгит (Na,Ca)(Mg,Al,Fe)[Si ₂ O ₆]			N _p -зелено- ватый; N _g -желтова- тый, плеохро- изм слабый	VII-гр. n _p ~1,76 n _g ~1,81
8.	Роговая обманка Ca ₂ Na(Mg,Fe) ₄ (Al,Fe) _x x[(SiAl) ₄ O ₁₁] ₂ [OH,F] ₂		совершенная в двух на- правлениях, под углом 56°	А м ф и буровато- зелёный, плеохроизм резкий	n _p ~1,63 n _g ~1,75
9.	Актинолит Ca ₂ (Fe ²⁺ ,Mg) _{5x} x[Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH,F) ₂			голубовато- зелёный, плеохроизм резкий	n _p ~1,64 n _g ~1,66
10.	Арфведсонит Na ₃ (Fe,Mg) ₄ (Fe,Al) _x x[Si ₄ O ₁₁] ₂ [OH,F] ₂ СИНГОНΙΑ МОНОКЛИННАЯ			N _g -сине- зелёный, плеохроизм резкий	n _p ~1,693 n _g ~1,700
С л ю д ы					
11.	Биотит K ₂ (Mg,Fe) ₃ [Al Si ₃ O ₁₀] _x x(OH,F) ₂		совершенная в одном направлении	красновато- бурый, плеохроизм резкий	n _p ~1,57 n _g ~1,61
12.	Мусковит K Al ₂ [Al Si ₃ O ₁₀](OH) ₂ СИНГОНΙΑ МОНОКЛИННАЯ			бесцветный, обладает псевдоаб- сорбцией	V-гр. n _p ~1,55 n _g ~1,58

Свойства, набл. с двумя николями			Осность, ∠ 2V, опт. знак	Продукты разложения	Диагностические признаки	
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны				
щелочные пироксены						
0,048- -0,060	$c : N_p = 0-8^\circ$ $c : N_g = 82-90^\circ$ 	—	$2V_{Np} = 60-70^\circ$	окислы Fe	Между собой отличает: характер плеохроизма, интенсивность окраски, величины $c : N_p$, $2V_{Np}$, $n_g - n_p$. От пироксенов других отличаются резким плеохроизмом в зелёных и желтых тонах, $c : N_p$-малым ($0-30^\circ$). От амфиболов отличаются - углом спайности (87°), отрицательным знаком зоны, интерф. окраской III порядка.	
0,034- -0,048	$0^\circ-30^\circ$  косое погасание $c : N_p = 0-30^\circ$ $c : N_g = 60-90^\circ$	—	$2V_{Np} = 70^\circ$ богатый эгирином $2V_{Ng} = 80^\circ$ богатый диопсидом			
б о л ы						
~0,014 -0,026	 $c : N_g = 12-25^\circ$	+	$2V_{Np} = \sim 80^\circ$	хлорит, эпидот, кальцит	Между собой отличаются: по цвету и характеру плеохроизма, по показателю преломления, по ассоциации с другими минералами. От эгирина отличаются совершенной спайностью под углом 124°, удлинением, меньшим $n_g - n_p$.	
0,020	$c : N_g = 11-17^\circ$ (до 28°)	+	$2V_{Np} = 75-85^\circ$	гидроокислы Fe		
0,005- -0,010	$c : N_p = 16-20^\circ$	—	$2V_{Np} = 50^\circ - 100^\circ$			
С л ю д ы						
0,040- -0,080	$c : N_g = 0-9^\circ$ 	+	$2V_{Np} = 0-35^\circ$	хлорит, эпидот, кальцит, магнетит	Между собой отличаются по цвету, плеохроизму, минеральным ассоциациям. От амфиболов отличаются $c : N_g$-близким к прямому, чешуйчатой формой зёрен, резким плеохроизмом (биотит), псевдоабсорпцией (мусковит).	
0,035- -0,055	 $c : N_p = 35-50^\circ$	+	$2V_{Np} = 35-50^\circ$	серицит		

1.2.2. Салические минералы

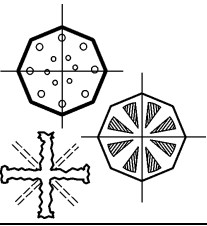
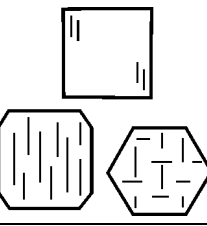
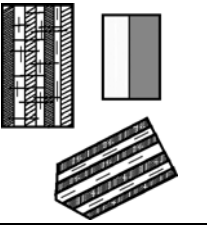
Салические минералы характеризуются бесцветностью и, следовательно, отсутствием плеохроизма. Их показатели преломления, в отличие от n фемических минералов, лежат в пределах I и IV групп таблицы В.Н. Лодочникова. Они часто близки к показателю преломления канадского бальзама и потому слабо проявляют оптические эффекты рельефа, шагреновой поверхности, отражения характера спайности и трещиноватости. В связи с этим, в основной своей массе они выглядят светлыми, прозрачными. Исключение составляют индивиды, замещенные вторичными минералами, которые придают первичным сероватые и буроватые окраски. Исключением также является фельдшпатоид – лейцит. Он имеет резко выраженный отрицательный рельеф (I группа по n) и резко выраженную шагреновую поверхность, которые четко выделяют его на фоне других салических минералов.

Несмотря на первоначально кажущееся однообразие бесцветных минералов при одном никеле, рекомендуется присмотреться к их оптическим и морфологическим характеристикам. При внимательном просмотре в потоке параллельных лучей света (увеличение 20х, прикрытая диафрагма и приспущенный конденсор) минералы обнаруживают разные формы и идиоморфизм сечений кристаллов, не одинаковую отчетливость проявления спайности, рельефа, шагреновой поверхности и дисперсионного эффекта В.Н.Лодочникова, а также различия в продуктах замещения последующими процессами.

В скрещенных николях все салические минералы имеют интерференционные окраски I порядка. Величины их двупреломления меняются от 0 (изотропный лейцит) до 0,013 (анортит). Они возрастают в ряду: псевдолейцит – 0–0,003, нефелин – 0,003–0,005, ортоклаз – 0,006, микроклин – 0,007, кварц – 0,009, альбит–анортит – 0,007–0,013.

В скрещенных николях хорошо проявляется характер погасания салических минералов. Он служит прекрасным их диагностическим признаком: у кварца – часто нарушенное погасание (облачное, волнистое, мозаичное и др.), у псевдолейцита и микроклина – решетчатое двойниковое, у плагиоклазов – двойниковое полисинтетическое, иногда сложное; у ортоклаза – простое двойниковое, часто нарушенное пертитовыми вростками альбита (табл.3).

Таблица 3

Характерные свойства Минералы	Кварц	Лейцит	Нефелин	Полевые шпаты
Форма сечений кристаллов				
Кристаллы и их форма	чаще неправильные	Изометричные, Восьмигранные, редко скелетные	короткопризматические, Четырёхгранные, шестигранные	Таблитчатые, призматические
Идидоморфизм	ксеноморфен	идиоморфен	идиоморфен гипидиоморфен	гипидиоморфен идиоморфен
Рельеф и шагреновая поверхность	почти не просматриваются	резко выраженные отрицательные	слабо различимые	отчетливые – от отрицательных до положительных
Спайность	отсутствует	отсутствует	несовершенная	весьма совершенная, совершенная
Вторичные минералы	отсутствует	эпидейцит (сложный зернистый агрегат ортоклаза, серицита, альбита, нефелина)	тонкочешуйчато–волокнистый агрегат слюдки либнерита	Пелит, Серицит, соссорит
Характер погасания	однородный, часто нарушенный (облачный, волнистый, пятнистый, мозаичный)	однородный, иногда слабый решётчатый	однородный	Обычно двойниковый (простой, полисинтетический, решётчатый), рябоватый за счёт пертитовых вростков

Среди силикатных минералов наибольшую роль в породах играют полевые шпаты. Они очень важны для систематики и диагностики пород, т.к. составляют > 60% состава пород.

Полевые шпаты представлены двумя изоморфными рядами: щелочными полевыми шпатами ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8$) и плагиоклазами ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Альбит является крайним членом обоих рядов (рис.3).

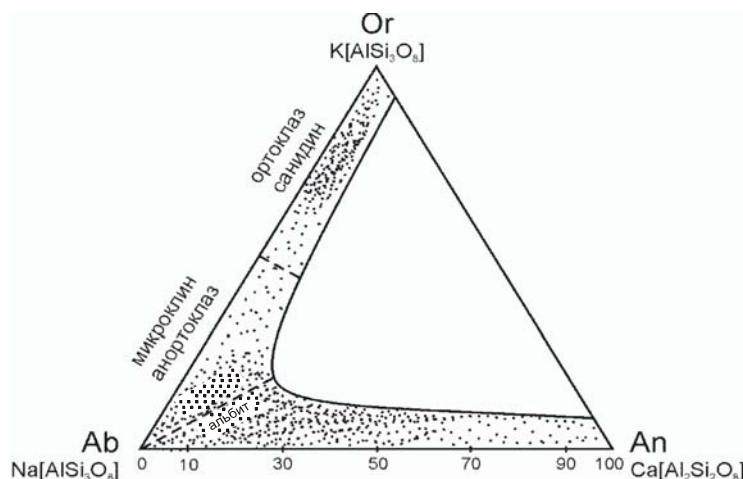


Рис. 3 Диаграмма колебаний химического состава полевых шпатов

Большую группу полевых шпатов объединяют их кристаллографические свойства. Хотя они кристаллизуются в двух сингониях – моноклинной и триклинной, но образуют близкие по формам кристаллы, обычно ограниченные двумя хорошо развитыми пинакоидами и слабо развитой призмой, это придаёт кристаллам таб-

личатопластинчатую форму с совершенной спайностью под углом 90^0 (моноклинная сингония) или около 93^0 (триклинная сингония).

Плаггиоклазы

По процентному содержанию анортитовой молекулы ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) в альбитовой ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) определяются минеральные виды и номер плаггиоклаза (рис.3):

Альбит.....	№ 0–10	}	кислые плаггиоклазы
Олигоклаз...	№ 10–30		
Андезин.....	№ 30–50	}	средние плаггиоклазы
Лабрадор.....	№ 50–70		
Битовнит.....	№ 70–90	}	основные плаггиоклазы
Анортит.....	№ 90–100		

Номер плаггиоклаза необходимо знать для классификации и номенклатуры горных пород. Его указывают, обозначая минерал и процентное количество в нём анортитового (An) компонента. Например, состав плаггиоклазов с 25% анортитовой молекулы обозначают так: олигоклаз №25 или олигоклаз – An_{25} .

Содержание SiO_2 в плаггиоклазах изменяется от 68,8% в чистом альбите, до 43,3% – в чистом анортите. В соответствии с количеством SiO_2 альбит и олигоклаз относят к плаггиоклазам кислым, андезин – средним, а лабрадор, битовнит и анортит – к основным.

Все плаггиоклазы легко диагностируются по характерной для них низкой интерференционной окраске I порядка – от серой (0,007) до желтоватой (0,013), а, главное, по характеру погасания – двойниковому полисинтетическому. Он несколько меняется у плаггиоклазов разной ос-

новности, что отражено на рис.4. Изменение основности плагиоклазов накладывает отпечаток и на их оптические свойства.



Рис. 4 Характер погасания некоторых плагиоклазов

С увеличением основности плагиоклазов закономерно увеличиваются: показатели преломления (от 1,52 – у альбита до 1,58–1,59 – у анортита); сила двойного лучепреломления – (0,007 – 0,013); углы максимального симметричного погасания в зоне $\perp OIO$. Все указанные оптические константы используются для определения степени кислотности – основности плагиоклазов и уточнения их номера. Так, кислые плагиоклазы (An 0-20) имеют показатели преломления ниже канадского бальзама, некоторые из них имеют и более низкое двупреломление: например, минимальное двупреломление (0,007) характерно для олигоклаза (An 10–30).

Для более точного определения плагиоклазов и их номера используют ряд методов. В частности, используются методы измерения углов погасания в различных сечениях минерала – метод Мишель–Леви и метод Бекке–Беккера.

Одним из наиболее простых методов является метод Мишель–Леви – метод измерения угла симметричного погасания минерала в зоне перпендикулярной второму пинакоиду ($\perp OIO$) плагиоклазов. Этот метод является статистическим и требует измерений углов погасания в нескольких зернах.

Метод Мишель–Леви

Определение номера плагиоклаза этим методом рекомендуется производить в следующем порядке.

1. Выбрать зерно, sdвойникованное по альбитовому закону и перпендикулярное (OIO). Для таких зерен характерны четкие двойниковые швы и тонкие трещинки спайности, а также исчезновение двойниковой структуры (т.е. одинаковая интерференционная окраска обеих систем двойников) при положении шва параллельно нитям окуляра и под $\angle 45^\circ$ к ним. В таких зёрнах при вращении на столике микроскопа на 360° , 8 раз исчезает двойниковая структура.

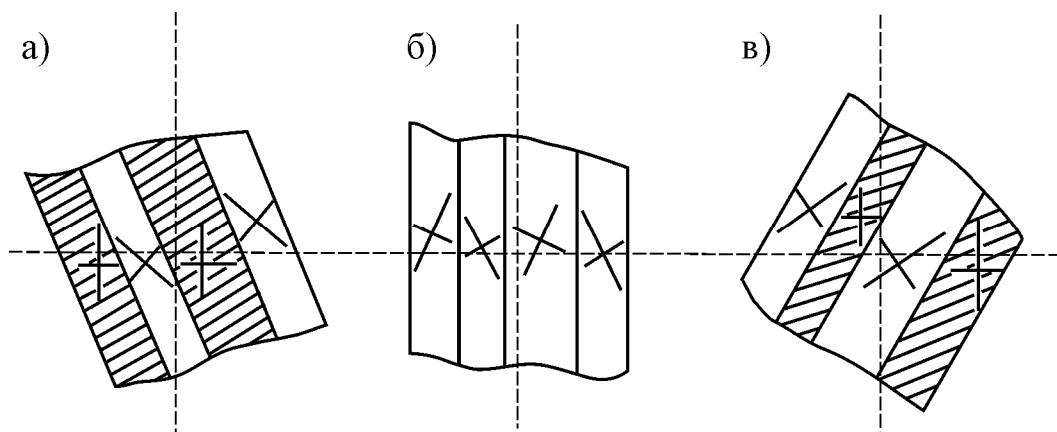


Рис. 5 Схема определения угла симметричного погасания альбитовых двойников плагиоклазов. Заштрихованы индивиды, находящиеся на погасании.

2. В выбранном сечении поставить двойниковый шов параллельно вертикальной нити и взять отсчет по лимбу столика микроскопа (рис. 5,б).
3. Повернуть столик до погасания одной системы двойников (например, первой, как на рис. 5,а. взять отсчет. Разница первого и второго отсчетов покажет угол погасания ($N_p':OIO$) одной системы двойников.
4. Повернуть столик в противоположную сторону до погасания другой системы двойников (рис. 5,в). Взять отсчет. Разница первого и третьего отсчетов покажет угол погасания второй системы. Разница в полученных углах погасания не должна превышать $4-6^\circ$. Определить средний угол погасания в данном сечении.
5. Аналогичным путем выбрать новые разрезы и определить в них углы $N_p':OIO$. Из всех средних углов взять максимальный и по соответствующей кривой диаграммы Фёдорова–Никитина определить состав плагиоклаза. Например, если были получены углы $18, 15, 16, 25, 19, 20^\circ$, то для определения номера плагиоклаза нужно взять угол 25° , как максимальный, отбросив все остальные.
6. Величину угла следует отложить на оси ординат диаграммы, затем провести горизонтальную линию до пересечения с кривой Фёдорова–Никитина и внизу прочесть №Pl. Для более точного определения необходимо измерить как можно больше сечений, особенно если значения углов заметно различаются.
7. Если угол погасания минерала имеет величину $0^\circ-18^\circ$, необходимо дополнительно определить показатель его преломления. В случае, если он ниже канадского бальзама, то его величину нужно отложить вниз от 0° на оси ординат диаграммы, если больше – вверх. Также следует провести горизонтальную линию до пересечения с кривой диаграммы Фёдорова–Никитина и под или над точкой пересечения, прочесть №Pl.

Щелочные полевые шпаты

К ним относятся ортоклаз, санидин, микроклин, анортклаз. Первые два кристаллизуются в моноклинной сингонии, последние - в триклинной. Все минералы имеют низкий показатель преломления в пределах второй группы таблицы В.Н. Лодочникова. Их рельеф и шагреновая поверхность, а также весьма совершенная спайность почти не заметны. Возникающий в параллельном свете дисперсионный эффект на границе минералов с окружающей средой окрашивает их в слабые желтовато-розовые или голубовато-зеленые тона.

Сила двойного лучепреломления у щелочных полевых шпатов обычно мала: у ортоклаза – 0,006, у микроклина – 0,007, у анортклаза и санидина – до 0,009–0,011. Интерференционная их окраска тёмно-серая, серая (ортоклаз, микроклин), до белой, водяно-прозрачной - у санидина.

У ортоклаза обычно проявляются простая двойниковая структура, отличающая его от однородного нефелина и от плагиоклазов, имеющих, в основном, полисинтетические двойники. Легко диагностируется и микроклин: он сдвойникован по двум законам (альбитовому и микроклиновому), дающим неделимые структурные части, пересекающиеся между собой почти под прямым углом. В результате получается очень чёткая и своеобразная, так называемая «микроклиновая» решётка.

Известно, что щелочные полевые шпаты имеют различное распределение ионов алюминия и кремния в кристаллической решётке – упорядоченное и неупорядоченное. Наименее упорядоченным является санидин, наиболее – микроклин.

Микроскопическое изучение щелочных полевых шпатов показывает, что многие из них содержат примесь альбита в виде включений разных размеров, форм и количеств. Их называют пертитовыми вростками. Причину явления видят в том, что из магматического субстрата кристаллизуется такой минерал, который в процессе эволюции распадается на два – ортоклаз и альбит. Иногда последнего может быть и больше, чем ортоклаза. Такое минеральное образование называют «антипертитом». Пертиты и антипертиты имеют структуру «ряби», перемежаемости ортоклаза с тёмно-серой интерференционной окраской ($n_g - n_p = 0,006$) и альбита, имеющего более высокие ($n_g - n_p$ до 0,013) интерференционные окраски. Наличие пертитовых структур в щелочных полевых шпатах указывает на высокую щёлочность исходного субстрата.

Все полевые шпаты легко подвергаются вторичным изменениям - появлению каолинита и серицита. Последние окрашивают минералы в буроватые и сероватые окраски.

Систематизированные морфологические и оптические свойства щелочных минералов представлены в табл. 4.

САЛИЧЕСКИЕ

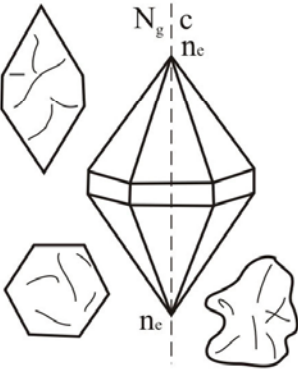
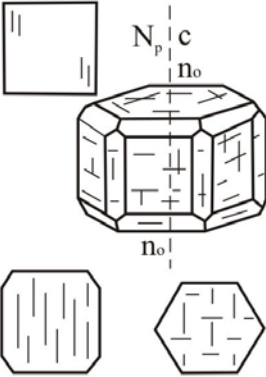
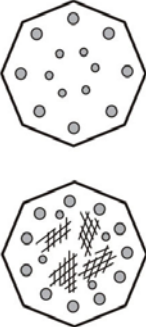
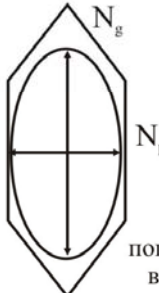
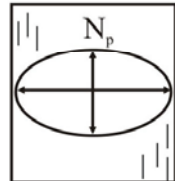
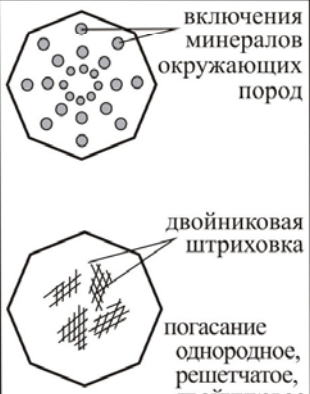
№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним николем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
1.	Кварц SiO_2 сингония α - гексагональная β - тригональная		н е с о в е р ш е н н а я	б е с ц в е т н ы е	III гр. $n_e \geq 1,553$ $n_o = 1,544$ рельеф слабый
2.	Нефелин $\text{Na}_3\text{K}[\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}]$ сингония гексагональная				II гр. $n_o \sim 1,532$ $n_e \sim 1,529$ слабый рельеф отрицат.
3.	Лейцит $\text{K}[\text{Al}, \text{Si}_2\text{O}_6]$ сингония псевдокубическая тетрагональная				I гр. $n = 1,500$ рельеф резкий отрицат.

Таблица 4

МИНЕРАЛЫ

Свойства, набл. с двумя николями			Оснoсть, $\angle 2V$, опт. знак	Продукты разложения	Диагностические признаки
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны			
0,009	 погасание: волнистое, облачное, мозаичное, нарушенное	+	1-осн. (+)	нет характерна прозрач- ность, чисто- та	Отсутствие продуктов раз- ложения, часто нарушен- ное погасание, отсутствие спайности. Отличия от нефелина: чист- ота, прозрачность, поло- жительный оптический знак.
0,003- -0,005	 погасание однородное	—	1-осн. (—)	серицит, со- далит, кан- кринит, цео- литы	Низкая величина $n_g - n_p$. Отличия от ортоклаза: фор- ма ограничений, своеобраз- ные продукты разложения, несовершенная спайность, одноосность, ассоциация со щелочными темноцвет- ными минералами.
редко 0,001				каолинит, псевдолей- цит (нефе- лин+альбит+ ортоклаз)	Характерны: форма огра- ничения, низкая величина $n_g - n_p$, несовершенная спай- ность, продукты разложе- ния, включения по пери- метру, решетчатое двойни- кование, если они прояви- лись

№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним николем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
Г р у п п а к а л и е в ы х					
4.	Ортоклаз $K, Na(Si_3AlO_3)$ сингония моноклинная		по (001) и (010) под углом ~ 90°	бесцветные, но при заме- щении вто- ричным пели- том приобре- тают бурова- тые оттенки	II гр. $n_p=1,518$ $n_g=1,524$
5.	Микроклин $K, Na(Si_3AlO_3)$ сингония триклинная				II гр. $n_p=1,514$ $n_g=1,521$
Г р у п п а					
6.	основные кислые $Na, Ca(Al_{1-2}Si_{3-2}O_8)$ сингония триклинная Альбит 0 - 10% Олигоклаз 10 - 30% Андезин 30 - 50% Лабрадор 50 - 70% Битовнит 70 - 90% Анортит 90 - 100%		по (001) и (010) под углом ~ 86°	бесцветные, при разруше- нии бурова- тые бесцветные, но при раз- рушении и приобрета- ют серова- тую окраску.	II гр. min $n_p=1,527$ $n_g=1,538$
7.					III гр. $n_p=1,540-$ $-1,552$ $n_g=1,552-$ $-1,561$
8.					IV гр. $n_p=1,577$ $n_g=1,590$ max
9.					
10.					
11.					

Продолжение табл.4

Свойства, набл. с двумя николями			Осноть, $\angle 2V$, опт. знак	Продукты разложения	Диагностические признаки
n_g-n_p	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны			
п о л е в ы х ш и п а т о в					
0,006		не характерен	$2V_{Np} = \sim 70^\circ$	пелит	Для ортоклаза характерно простое двойникование. От нефелина он отличается весьма совершенной спайностью, двуосностью и, пелитизацией и пертитизацией, если они проявились.
серые интер- ференционные окраски			$2V_{Np} = 71-84^\circ$	каолинит, кальцит, эпи- дот	
0,007				пелит	Характерно решётчатое двойникование.
п л а г и о к л а з о в					
серые интерференц. окраски		чаще отрицательный	$2V_{Ng} \geq 78^\circ$	глинистое ве- щество, сери- цит	Характерно полисинтетическое двойникование. Между собой Pl отличаются: показателем преломления, углами погасания, вторичными минералами, ассоциациями. Отличия альбита: от кварца - по наличию двойников; от нефелина - по наличию совершенной спайности, двуосности; от ортоклаза - по больше- му n_g-n_p .
0,007- -0,013			$2V_{Ng} = 75-90^\circ$	серицит, эпи- дот, цоизит	
серые, желтоватые интерференц. окраски			$2V_{Np} = 90-77^\circ$	кальцит, цоизит, альбит, эпидот, преимущест- венно, на контак- тах с окружа- ющими мине- ралами)	

1.2.3. Вторичные минералы

Название группы минералов отражает их происхождение – они развиваются по первичным, как об этом было сказано ранее. Их возникновение стимулируется движением флюидов. Флюиды могут подниматься из глубин земной коры и даже мантии в процессах их эволюции. Они могут проникать и с поверхности, продолжая мигрировать по более глубоким горизонтам, трещинам и тектонически ослабленным зонам в породах.

Флюиды имеют самый разнообразный химизм, который определяется составом вод, газов, окружающих пород. Они могут менять температурный режим и режим давления. Движение флюидов создаёт новые физико–химические условия среды существования минералов и предопределяет возникновение вторичных минералов и проявление некоторых их особенностей.

Новообразованные вторичные минералы обычно имеют мелкие размеры зёрен, укрупняющиеся в условиях наиболее активного воздействия флюидов. Развиваются они на фоне первичных минералов, но тяготеют к их ослабленным участкам - к спайности, отдельности, трещиноватости, зонам дробления (фото 1). Обильнее они развиваются в межзерновых промежутках, на контактах минералов, в зонах дислокаций. Среди вторичных минералов преобладают слоистые силикаты. Они редко идиоморфны и среди них много волокнистых, чешуйчатых, листоватых форм.

Химический состав новообразованных минералов несёт черты того минерала, по которому развивается, но содержит элементы и компоненты привнесённых флюидами веществ. В частности, новообразованные минералы интенсивнее обводнены и имеют в своём химическом составе или группу (ОН) или nH_2O . Как правило, имеется и газовая составляющая, которая не всегда может быть установлена в новых минералах оптически, но обнаруживается рядом других методов. Стоит подчеркнуть, что начавшиеся процессы новообразований затрагивают обычно всю минеральную массу породы. Увидев, например, серицитизированный плагиоклаз (фото 2), стоит обратить внимание на щелочные полевые шпаты, не пелитизированы ли они и не хлоритизированы ли тёмноцветные минералы.

Наибольшая часть новообразований вызвана движением флюидов с CO и CO₂ и обусловлена их диссоциацией в воде и проявлением углекислотного метасоматоза.

Систематизированные морфологические и оптические свойства вторичных минералов приведены в табл. 5.

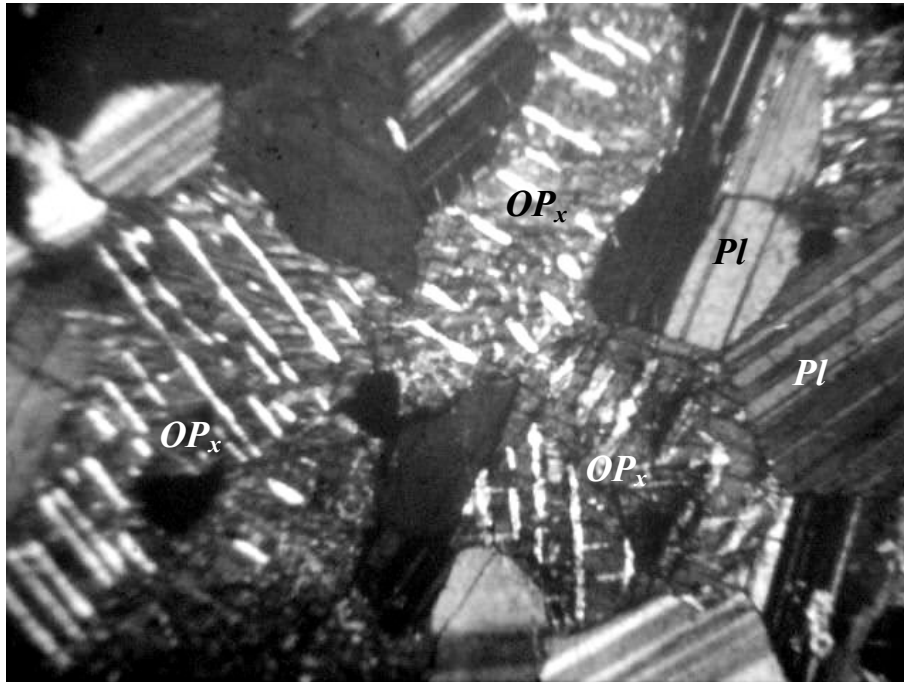


Фото 1. Ромбический пироксен. Николи +. Видны закономерные белые включения клинопироксена. Они выкристаллизовались при изменении термодинамических параметров окружающей среды. В ассоциации видны плагиоклазы с полисинтетическими двойниками.

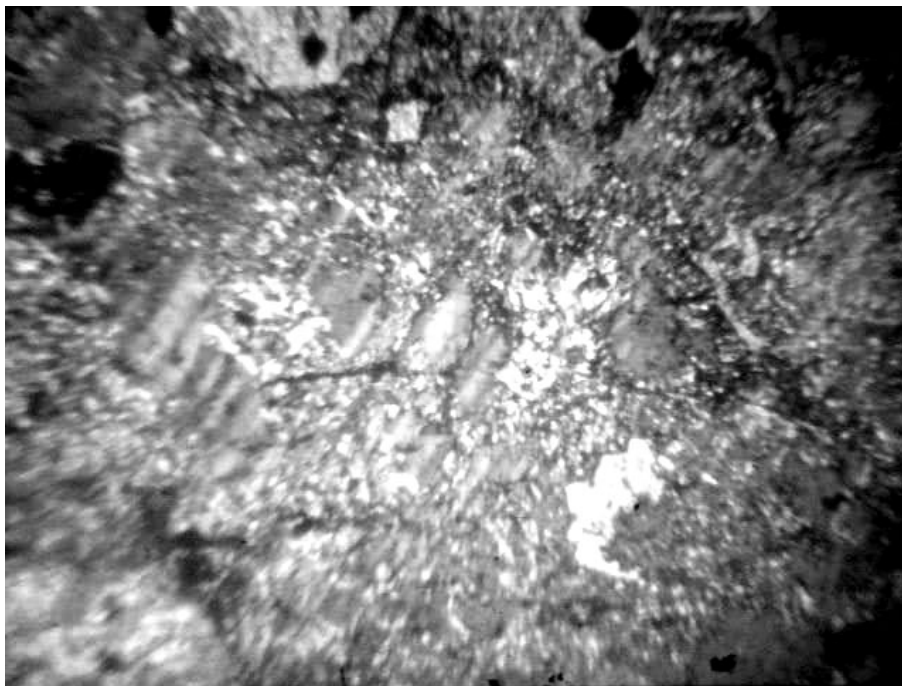


Фото 2. Плагиоклаз серицитизированный. Николи +. На фоне двойниковой структуры первичного минерала просматривается рассеянный, разной степени уплотнения, агрегат вторичных чешуек серицита (белое).

ВТОРИЧНЫЕ

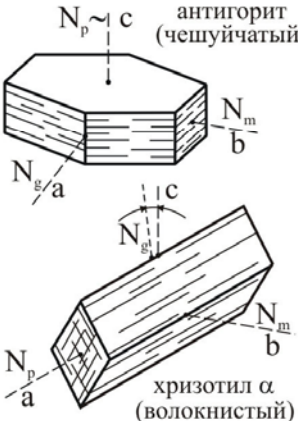
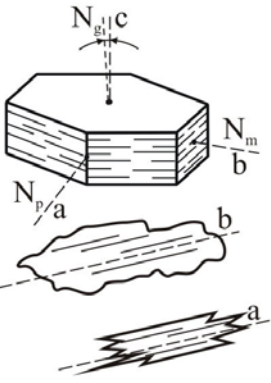
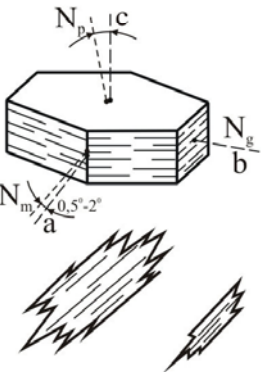
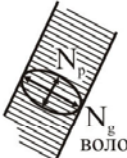
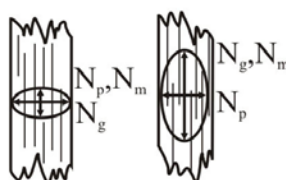
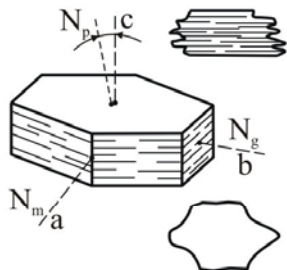
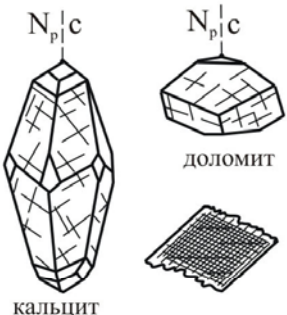
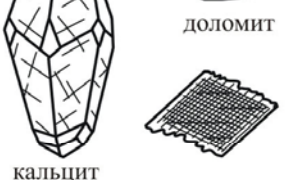
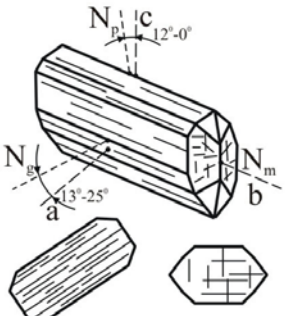
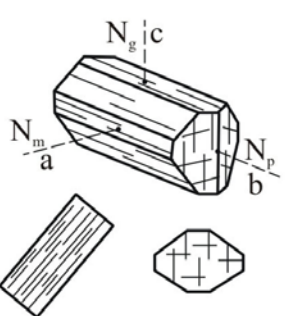
№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним николем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
1.	Серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}][OH]_8$ сингония моноклинная, ромбическая	 антигорит (чешуйчатый) хризотил α (волокнистый)	слабая, чешуйчатости, волокнистости	Минерал бес- цветный, зе- леноватый, желтоватый, буроватый с незаметным или очень слабым пле- охроизмом	$n = 1,54-1,60$
2.	Хлориты $nMg_6[Si_4O_{10}][OH]_8x$ $mMg_4Al_2[Al_2Si_2O_{10}][OH]_8$ (часть Mg может заме- щаться Fe) сингония моноклинная		совершенная по (001)	Окрашенные разности пле- охроируют от зеленого до бесцвет- ного, имеют- ся плеохро- ичные двой- ники	max $n_p=1,56$ $n_g=1,65$
3.	Серицит $KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$ сингония моноклинная		совершенная по (001)	Минерал бес- цветный, ре- же зеленова- тый или буро- ватый с псев- доабсорбци- ей	$n_p=1,56$ $n_g=1,59$

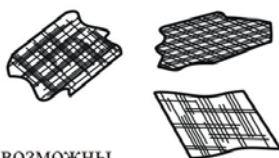
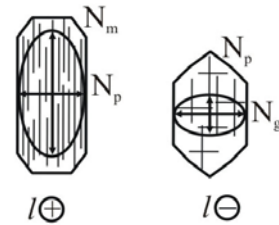
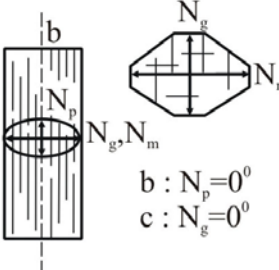
Таблица 5

МИНЕРАЛЫ

Свойства, набл. с двумя николями			Оснoсть, $\angle 2V$, опт. знак	Продукты разложения	Диагностические признаки
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны			
0,004-0,006 режe 0,010-0,014	 волокна, перпендикулярные стенкам трещин, обнаруживают ориентировку оптической индикатрисы $c : N_g, N_p = 0$	+	$2V_{N_p} = 0-90^0$	серпентины - продукты разложения оливина и пироксенов (по ОРх-бастит)	Псевдоморфозы по оливину, волокнистые агрегаты, низкое $n_g - n_p$, серые интерференционные окраски, ассоциации с оливином и магнезиальными пироксенами.
аномальные цвета интерфер. $n_g - n_p = 0,002-0,011$	погасание прямое или под $\angle 8-9^0$, агрегаты чешуйчатые, режe радиальнолучистые  $l : N_g = 90^0$ $l : N_p = 90^0$ $l (-)$ $l (+)$	+	$2V_{N_p} = \pm 0-45^0$	хлориты - продукты разложения биотита, роговой обманки, пироксенов и других темноцветных минералов	Чешуйчатые агрегаты, псевдоморфозы по биотитам и амфиболам, низкие, часто аномальные (индигово-синие и красно-бурые) интерференционные окраски.
0,034-0,042 0,004-0,006 $\perp$ (001)	 $l N_g (+)$ $c : N_g = 0^0$	+	$2V_{N_p} = 20-50^0$	серициты - продукты разложения полевых шпатов	Чешуйчатая форма, псевдоабсорбция, прямое погасание, $l (+)$, интерференционные окраски, в основном, II-порядка.

№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним николем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
4.	Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2$ сингония моноклинная		весьма совершенная по (001)	Минерал бес- цветный, сла- бо зеленова- тый	$n_p=1,54$ $n_g=1,59$
5.	Кальцит $CaCO_3$		весьма совершенная по ромбоэдру (101)	Минерал бес- цветный с за- метной псев- доабсорбци- ей	$n_p=1,486$
6.	Доломит $Ca, Mg[CO_3]_2$ сингония тригональная				$n_p=1,502$
7.	Эпидот $Ca_2(Al, Fe)_3[Si_3O_{12}][OH]$ сингония моноклинная		совершенная по (001), (100); $\angle 65^\circ$	Минерал пле- охроирует от желтовато- зеленого до бесцветного	$n_p=1,78$ $n_g=1,71$
8.	Цоизит $Ca_2Al_3[Si_3O_{12}][OH]$ сингония ромбическая		редко по (001), совершенная по (100)	Минерал бесцветный	$n_p=1,700$ $n_g=1,706$

Продолжение табл.5

Свойства, набл. с двумя николями			Осноть, $\angle 2V$, опт. знак	Продукты разложения	Диагностические признаки
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны			
интерференционные окраски близки к перламутровым $0,042-0,050$	 а, b N_g, N_m прямое погасание	+	$2V_{N_p} = -0-30^\circ$ 2-осн.	Тальк - продукт разложения оливинов, пироксенов и магнезиальных минералов	Высокое двупреломление, характерная ассоциация с магнезиальными минералами.
перламутровые интерференционные окраски $\sim 0,170$	косое погасание к спайности  возможны двойниковые полисинтетические и решетчатые двойники	не характерен	1-осн. (-)	Карбонаты - продукты разложения пироксенов, амфиболов, биотитов, полевых шпатов и	Спайность весьма совершенная по ромбоэдру, псевдоабсорбция, высокое двупреломление - перламутровые интерференционные окраски.
аномальные яркие интерференционные окраски $\sim 0,050$	косое погасание к удлинению 	+	$2V_{N_g, N_p} = -65-90^\circ$	Эпидоты - развиваются по амфибололам, биотитам, полевым шпатам и др.	Высокие показатели преломления, аномальная яркая интерференционная окраска.
аномальные синие цвета интерференции $0,003-0,007$	прямое погасание к удлинению  b : $N_p = 0^\circ$ c : $N_g = 0^\circ$	-	$2V_{N_g} = +0-60^\circ$	Цоизиты - развиваются по плагиокла-	Аномальные синие интерференционные цвета и большие n -отличия от апатита.

1.2.4. Акцессорные минералы

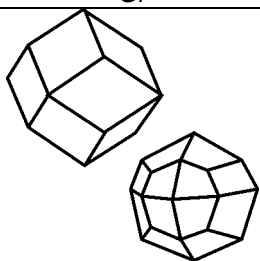
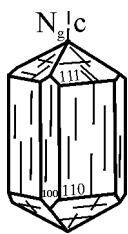
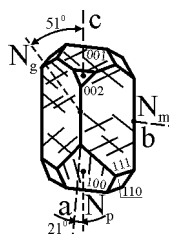
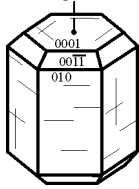
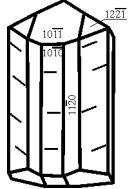
К акцессорным минералам, в соответствии с их определением, следует относить все редко встречаемые минералы. Однако в петрографии к ним относят те, которые наиболее часто сопровождают распространённые в природе минеральные ассоциации. Традиционно среди них выделяют прозрачные минералы, а также слабопрозрачные и непрозрачные.

Прозрачные акцессорные минералы – это алмаз, шпинель, многие оксиды (корунд, периклаз, касситерит, перовскит и др.), минералы группы гранатов, цирконов, апатитов, турмалинов, а также титансодержащих минералов, минералы редких земель и др. Наиболее распространённые из них представлены в табл. 6 и 7.

Анализ морфологических и оптических свойств акцессорных минералов, представленных в таблицах, а также опыт работы с ними, позволяет сделать вывод о том, что часто для диагностики достаточны такие признаки как форма кристаллов (по совокупности сечений), показатели преломлений и сила двойного лучепреломления (табл.6).

Таблица 6

Яркие диагностические признаки прозрачных акцессорных минералов

Минералы	Гранат <i>Gr</i>	Циркон <i>Zr</i>	Сфен <i>Sf</i>	Апатит <i>Ap</i>	Турмалин <i>Tur</i>
Формы					
Показатели преломления	VII группы таблицы В.Н.Лодочникова Очень резко выраженный рельеф и шагреневая поверхность			V группа таблицы В.Н.Лодочникова Ясный рельеф, отчетливая шагреневая поверхность	
$n_g - n_p$	0 – 0,005	~ 0,050	~ 0,150	~ 0,005	$0,025 \pm 0,015$

Слабопрозрачные акцессорные минералы – это оксиды титана (рутил, анатаз, брукит), титансодержащий ильменит (FeTiO_3), некоторые шпинели и шпинелиды (фото 5).

Непрозрачные акцессорные минералы – магнетит, хромит, титаномагнетит, гематит, пирит, а также металлоорганические соединения (например, тухолит), метамиктные образования (мелакон, циртолит).

Изучая породы в прозрачных шлифах, предварительное определение непрозрачных минералов проводят в отраженном свете, направляя свет на шлиф сверху. Если в проходящем свете непрозрачные минералы все одинаковы (чёрные), то в отражённом они имеют разные цвета или оттенки, что и позволяет различать их. Магнетит в отражённом свете чёрный с металлическим блеском, иногда с красновато-коричневым оттенком; ильменит, особенно лейкоксенизированный, выглядит серовато-белым со слегка желтоватым оттенком и обычно окружённым белым ватоподобным продуктом разрушения – лейкоксеном; титаномагнетит в отражённом свете выглядит серым и очень похожим на магнетит, но, в отличие от него при изменении замещается лейкоксеном; гематит – стально-серый, с сильно выраженным металлическим блеском, с тонкими пластинками этого минерала, которые просвечивают кроваво-красным цветом; пирит – светло-желтый или золотисто-желтый с металлическим блеском. Свежий ильменит походит на магнетит, но, как правило, не магнитен и лишь имея структуру распада с включениями магнетита, становится магнитным.

Общей особенностью акцессорных минералов является их высокая кристаллизационная способность. Этой особенностью минералов обусловлен их идиоморфизм и склонность к формированию кристаллов высокой степени симметрии высшей и средней категорий (фото 3, 4, 5). С нею же связаны и большой удельный вес минералов, высокая их твёрдость и прочность, а также устойчивость к внешним механическим воздействиям и химическим изменениям (истирание, растворение, замещение вторичными минералами).

Перечисленные особенности способствуют сохранению акцессорных минералов в условиях гидротермально-метасоматических и гипергенных преобразований пород и определяют их последующее перемещение в более молодые осадочные породы, а затем, возможно, в метаморфические и метасоматические комплексы пород. Детальное изучение акцессориев способствует более точной интерпретации генезиса пород.

Высокая сила кристаллизации акцессорных минералов отражается и в их сильном блеске – нередко металловидном, металлическом, алмазном, а также в проявлении высоких показателей преломления света в них. Последнее обстоятельство обуславливает интерес к акцессорным минералам, как минералам ювелирного производства.

Большое внимание к акцессорным минералам привело к разработке специальных методов их выделения и диагностики. В основе методов лежит выделение и разделение минералов по удельному весу, магнитности, показателю преломления, а также по целому ряду оптических и морфологических признаков. При этом используются тяжелые жидкости, бинокулярная микроскопия, магниты и магнитные сепараторы, иммерсионный метод анализа. Последний сопровождается определением морфологических особенностей и точных оптических констант минералов (табл.7).

Для уточнения химического состава минералов и их строения применяются методы рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализов, методы локального микроанализа с применением электронного микрозонда.

В цирконах с помощью ионного микроанализатора можно определять абсолютный возраст урано–свинцовым методом, что даёт существенную информацию для фундаментальных исследований в петрологии.

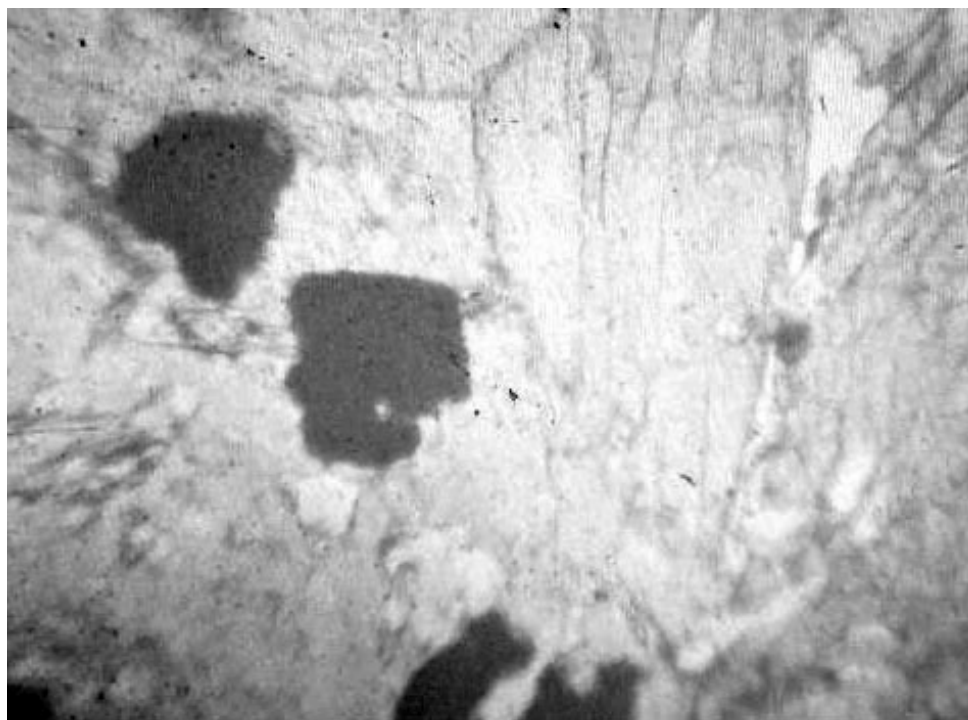


Фото 3. Перовскит. Без анализатора. Непрозрачный акцессорный минерал изометричной формы часто с идиоморфными очертаниями. Виден высокий рельеф кристаллов и слабо-просвечивающая кайма.

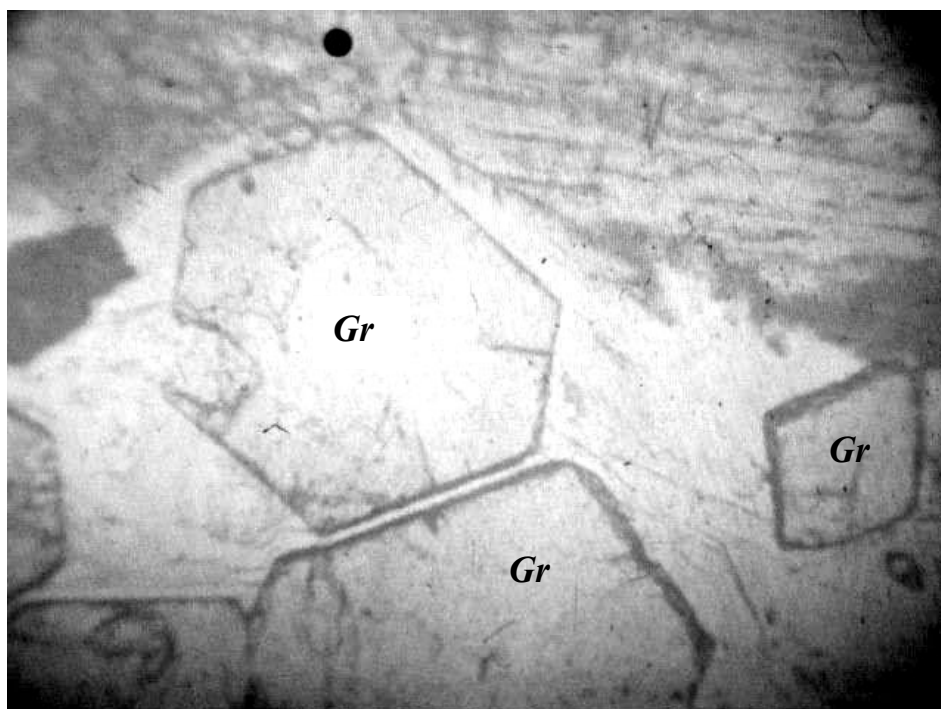


Фото 4. Гранаты. Без анализатора. Видны идиоморфные кристаллы изометричной формы, с высоким рельефом и резко выраженной шагреневой поверхностью.

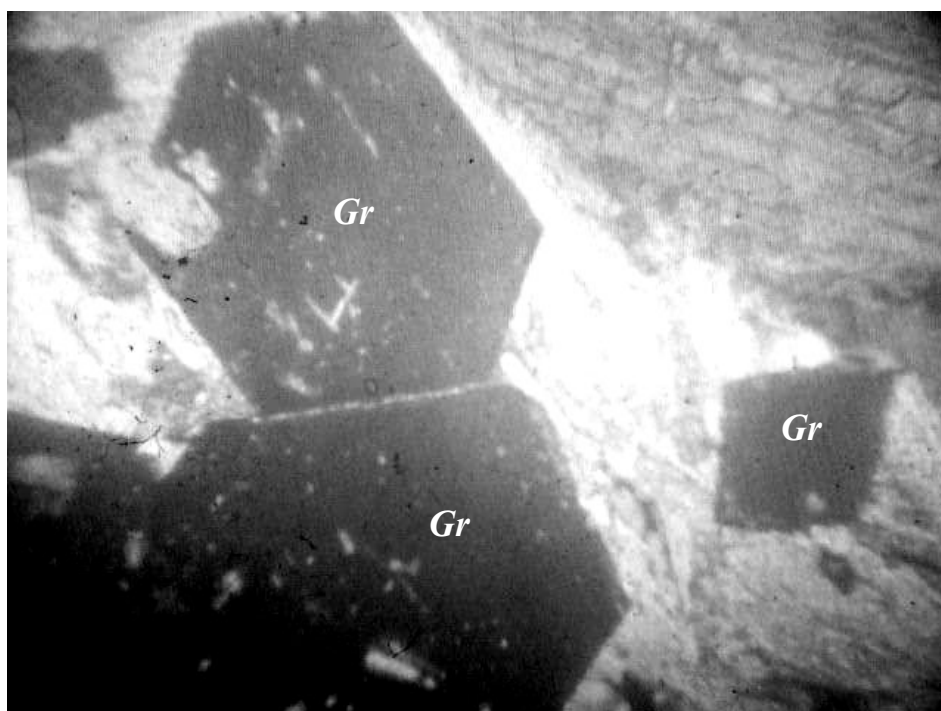


Фото 5. Гранаты. Николи +. Как кристаллы кубической сингонии они изотропны, не имеют двойного лучепреломления и выглядят чёрными.

АКЦЕССОРНЫЕ

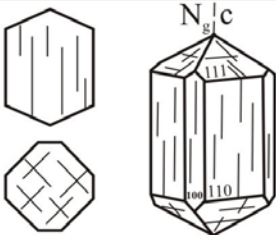
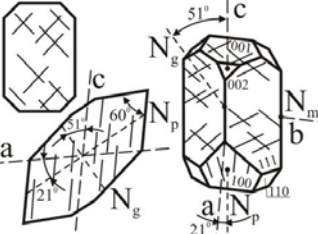
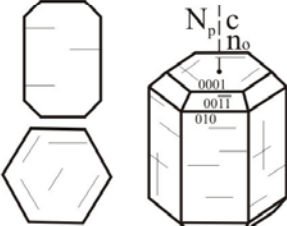
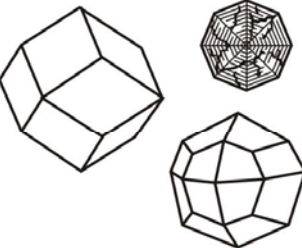
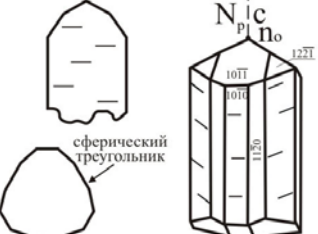
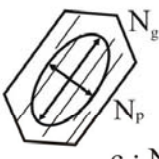
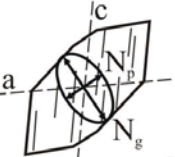
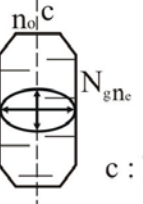
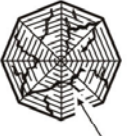
№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним николем			
		Форма кристалла, его сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
1.	Циркон $Zr Si O_4$ сингония тетрагональная		ясная по (ΠΟ)	бесцветный, желтоватый, оранжевый, розоватый, ха- рактерны пле- охроичные дворики вок- руг кристал- лов в биотите	$n_g=1,994$ $n_p=2,015$
2.	Сфен $Ca Ti Si O_5$ сингония моноклинная		ясная по (ΠΟ)	Минерал бес- цветный, серо- ватый, бурова- тый, оранже- вый, со сла- бым плеохро- измом	$n_g=2,01$ $n_p=1,89$
3.	Апатит $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$ сингония гексагональная		отдельность по (0001)	Минерал бес- цветный, в вулканитах ок- рашен в розо- ватые или бу- роватые цве-	$n \sim 1,63-$ $-1,65$
4.	Гранат $R_3^{+2}R_2^{+3}[Si O_4]_3$ $R^{+2} - Mg, Fe^{++}, Mn^{++}, Ca^{++}$ $R^{+3} - Al, Fe^{+++}, Cr$ сингония кубическая		несовершенная по (ΠΟ), трещиноватость	бесцветный или окрашен- ный в зелено- ватые, желто- ватые, розова- тые и бурова- тые тона	$n=1,71-$ $-2,01$
5.	Турмалин $Na(Mg, Fe^{+2}, Fe^{+3}, Li, Al)_6 x$ $x[Al_3 B_3 Si_6 O_{24}][OH, F, O]_6$ сингония тригональная		поперечные трещины отдельности	бесцветный, бурый, сине- ватый, плеох- роирует по схе- ме: N_p - темный; N_g - светлый. $N_p > N_g$	$n=1,64-$ $-1,66$

Таблица 7

МИНЕРАЛЫ

Свойства, набл. с двумя николями			Осн. $\angle 2V$, опт. знак	Продукты разложения	Диагностические признаки
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны			
интерф. окраска III-порядка 0,044-0,062	 с : $N_g = 0^\circ$ с : $N_p = 90^\circ$	+	1-осн. (+)	стойкий	Высокое двупреломление, высокий показатель преломления (n -VII гр.), высокий рельеф, идиоморфные призматические формы сечений, плеохроичные двойники.
перламутр. интерф. окраска IV-порядка $\sim 0,150$	 с : $N_g = 51^\circ$ с : $N_p = 39^\circ$	—	2-осн. $2V_{Ng} = +20-32^\circ$	лейкоксен	Конвертообразные формы сечений, высокий рельеф и резкая шагреневая поверхность, перламутровая интерференционная окраска ($n_g - n_p$ - высокое).
0,002-0,005	 с : $N_{p(ne)} = 0^\circ$	—	1-осн. (-)	стойкий	Низкое двупреломление (только серые интерференционные окраски), идиоморфные призматические и шестигранные сечения, поперечная отдельность.
изотропный, редко анизотропный	 в анизотропных кристаллах наблюдается секторность и зональность			хлорит, эпидот, кальцит и др.	Высокий рельеф, изотропность, секторальные двойники и зональность (при анизотропии), изометричные формы ограничений, отсутствие плеохроизма.
0,011-0,040	 с : $N_p = 0^\circ$ с : $N_g = 90^\circ$	—	1-осн. (-)	стойкий	Формы сечений удлиненно-призматические и в виде сферических треугольников, окраски бурые, синеватые, плеохроизм по обратной схеме абсорбции.

2. МИНЕРАЛЫ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Минералообразование в метаморфических породах связано с изменением температуры и давления, а также физико-химических параметров среды формирования минералов. При изменении только температуры и давления в закрытых геохимических системах в породах происходят реакции изохимического метаморфизма. При этом минералы меняют только кристаллическую решетку, не изменяя свой химический состав. Например, ромбический андалузит (Al_2SiO_5) преобразуется в триклинный дистен (Al_2SiO_5).

В природе минералообразование чаще протекает в открытых флюидных системах с меняющимися химическими составами, фазовыми состояниями компонентов, режимами Eh и pH. Наиболее интенсивные минеральные преобразования возникают там, где к поверхности земной коры поднимаются из ее глубоких горизонтов флюиды и особенно флюиды, содержащие углеводороды. Последние, окисляясь до CO и CO₂, переходят в новое фазовое состояние, способствуют повышению давления в области флюидомиграции и часто вызывают формирование высокобарических минералов.

Насыщая водоносные горизонты, флюиды вступают в реакции диссоциации и вызывают падение pH. Изменение pH среды приводит к нарушению геохимического равновесия компонентов и способствует миграции многих из них и, в первую очередь, катионов щелочных и щелочноземельных элементов. В кислой среде из широко распространенных полевых шпатов выносятся K, Na, слабее Ca. При этом полевые шпаты в породах замещаются каолинитом, серицитом, соссюритом. В щелочной среде подвижным становится даже кремнезем. Минералы кварца в таких условиях корродируются и растворяются. При выносе SiO₂ в породах образуются поры, каверны, крупные полости. Заполнение их подвижным кремнеземом может в последствии приводить к формированию агатов, занорышей, друз кварца.

В то же время тектонические нарушения могут приводить к раскрытию геохимических систем и выбросу газообразных компонентов в атмосферу или в природные резервуары по ослабленным зонам. Это приводит к снижению давления в системе, в том числе парциального давления CO₂ и резкому изменению pH. При этом происходит сбрасывание многих металлов из растворов и кристаллизация карбонатных минералов. Изменение Eh также оказывает существенное влияние на процессы вторичного минералообразования.

В целом, любые изменения температуры, давления, состава, фазового состояния флюидов ведут к нарушению равновесия в системе, а

при достижении некоторых критических состояний – к перекристаллизации пород. Новые минералы при этом образуются в виде зародышей стабильной, обычно твердой, кристаллической фазы. Они первоначально представляют собой мельчайшие частицы, которые играют роль центров последующей кристаллизации минералов.

До недавнего времени считалось, что наиболее важными факторами метаморфизма являются температура и давление. Однако, с уточнением представлений о закономерностях развития земной коры и роли захороненного органического вещества, с осознанием многообразия фазовых преобразований во флюидных системах с углеводородами, акцент сместился в сторону большей значимости фактора смены физико-химических параметров среды.

Многообразие условий формирования минеральных ассоциаций в метаморфических породах, а также разнообразие исходных пород приводит к появлению большого количества новообразованных минералов. Среди них встречаются минералы, характерные для осадочных и магматических пород, но есть и минералы, которые встречаются, в основном, в метаморфических породах. Их перечень, с характерными для них кристаллохимическими, морфологическими и оптическими свойствами приведен в табл. 8.

При рассмотрении табличных данных нельзя не обратить внимание на большое количество минералов глинозема и минералов, содержащих его в значительных количествах. Таких минералов в таблице 75% . Их обилие указывает на благоприятность условий формирования метаморфических минералов за счет алюмосиликатных высокоглиноземистых и первую очередь темных глинистых исходных пород, обогащенных водой и органическими веществами. При анализе таблицы следует также обратить внимание на кристаллизацию многих минералов в ромбической сингонии, что указывает на довольно совершенную их кристаллическую решетку среди прочих алюмосиликатов, низшей категории симметрии.

Из минералов не ромбической сингонии, типичных для метаморфических пород и приведенных в таблице, можно отметить достаточно большой процент принадлежности их к сингониям высшей и средней категории симметрии. Это свидетельствует о сравнительно высокой кристаллизационной силе минералов. Она отражается и на структурных особенностях тех минералов, которые в процессе активного роста включают в себя и окружающие породы, и минералы, и захороненное органическое вещество. Так для ряда минералов - кордиерита, андалузита, граната и д.р. - характерны ситовые, диабластовые, пойкилобластовые структуры, симплектитовые прорастания. Для андалузита, например, весьма характерны включения тонкорассеянного органического вещества.

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ

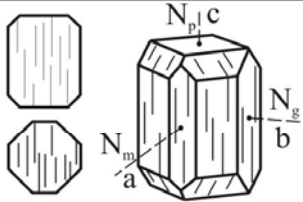
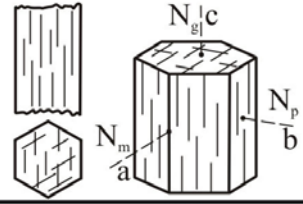
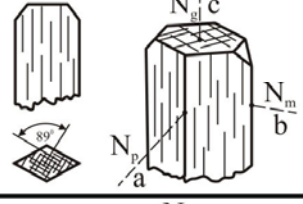
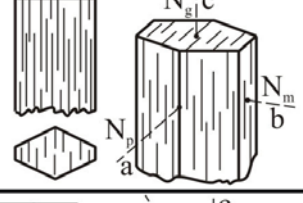
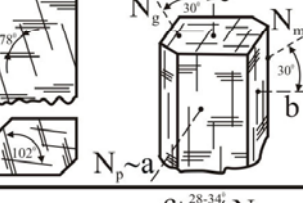
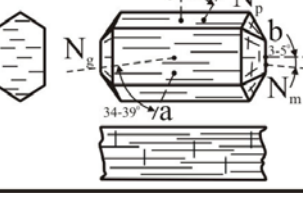
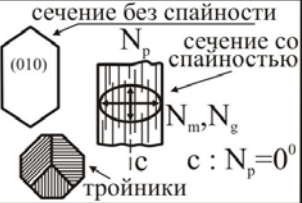
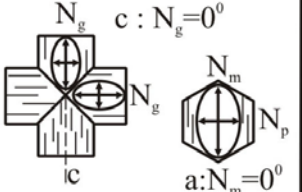
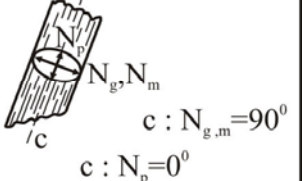
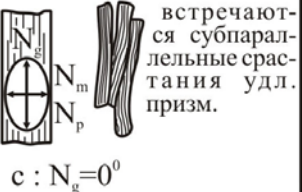
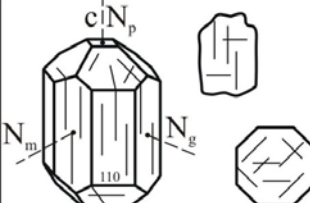
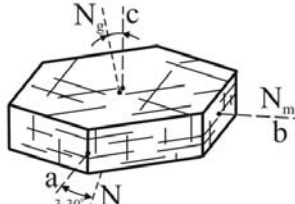
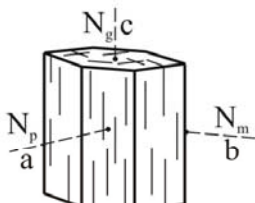
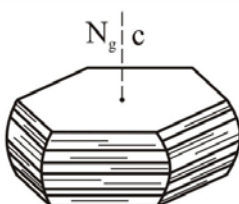
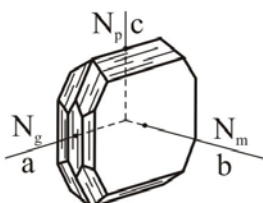
№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним никелем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
1.	Кордиерит $(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ сингония ромбическая		слабая по (010)	бесцветный, сла- бо плеохроиру- ющий от желто- го до сине- фиолетового цвета, плеохро- ичные двойни- ки лимонно- желтого цвета	$n \approx 1,54$
2.	Ставролит $2\text{Al}_2\text{SiO}_5\text{Fe}[\text{OH}]_2$ сингония ромбическая		слабая по (010) и (110)	соломенно- желтый; $N_{g,m}$ - золотисто- желтый; N_p - бесцветный или желтый	$n \approx 1,75$
3.	Андалузит Al_2SiO_5 сингония ромбическая		хорошо по (110) угол 89°	бесцветный или пятни- сто-розовый, слабо плеох- роирующий ($N_{g,c}$ - бесцвет- ный, N_p - розо- вый)	$n \approx 1,64$
4.	Силламанит Al_2SiO_5 сингония ромбическая		совершенная по (010)	бесцветный, сероватый, пятнистый, коричнева- тый	$n \approx 1,67$
5.	Дистен (кианит) $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$ сингония триклинная		совершенная по (100), (010), (001)	бесцветный, иногда слабо плеохроиру- ющий до си- него	$n \approx 1,73$
6.	Волластонит $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]=\text{Ca Si O}_3$ сингония триклинная		по (100) и (001) под углом 84°	бесцветный	$n \approx 1,63$

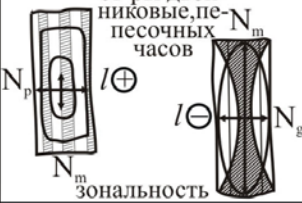
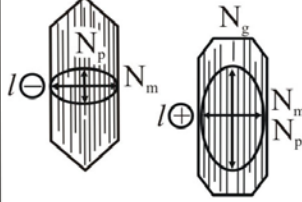
Таблица 8

МИНЕРАЛЫ

Свойства, набл. с двумя николями			Осность, $\angle 2V$, опт. знак	Продукты разложения	Диагностические признаки
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны			
0,009- -0,011	 сечение без спайности (010) сечение со спайностью N_p N_m, N_g $c : N_p = 0^\circ$ тройники	—	$2V_{N_p} = 40-80^\circ$	серицит, серпентин, хлорит, тальк	Тройники, плеохроичные дворики, двуосность, включения окружающих минералов, структура прорастания.
0,010- -0,015	 N_g $c : N_g = 0^\circ$ N_m N_p $a : N_m = 0^\circ$	+	$2V_{N_g} = 80-87^\circ$	стойкий, имеются включения окружающих пород	Окраска, формы ограничения, двойники.
0,007- -0,011	 N_g, N_m $c : N_p = 0^\circ$ $c : N_{g,m} = 90^\circ$	—	$2V_{N_p} = 80^\circ$	серицит, мусковит	Формы ограничения, окраска, спайность, прямое погасание. Походит на гиперстен - отличие - $I \oplus$
0,020- -0,025	 встречаются субпараллельные сращения удл. призм. N_m N_p $c : N_g = 0^\circ$	+	$2V_{N_g} = 25-30^\circ$	стойкий	Характеры формы ограничения, от мусковита отличается показателями преломления. От дистена и андалузита - большим $n_g - n_p$, от дистена - прямым погасанием.
0,012- -0,016	 $c : N_g = \sim 30^\circ$ погасание косое N_g N_p	+	$2V_{N_p} = 82^\circ$	стойкий, иногда серицит	Резкий рельеф, 3 системы спайности направлений отдельности.
0,014	 $\angle c : N_p = 28-34^\circ$ $\angle c : N_g = 56-62^\circ$ N_m - по удлинению N_g N_p N_m досчатый шпат	$\pm$	$2V_{N_g} = 40^\circ$	стойкий	Поперечное сечение характеризуется наиболее высокими цветами интерференции.

№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним никелем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
7.	Везувиан $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{OH}]$ сингония тетрагональная		не совершенная по (100) и (110)	бесцветный, зеленоватый, коричневый, желтоватый	$n \approx 1,72$
8.	Хлоритоид $\text{Fe}_2\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}][\text{OH}]_4$ сингония моноклинная, триклинная		совершенная по (001)	N_p - светложел- то-зеленый, N_m - синесерый, N_g - бесцветный, го- л у б о в а т ы й $N_p < N_m > N_g$, зона- льность и струк- тура песочных часов в окраске	$n \approx 1,72$
9.	Антофиллит $(\text{Mg}, \text{Fe})_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}][\text{OH}]_2$ сингония ромбическая		совершенная по (110)	бесцветный	$n \approx 1,63$
10.	Брусит $[\text{Mg}, \text{Fe}][\text{OH}]_2$ сингония тригональная		совершенная по (0001)	бесцветный	$n \approx 1,57$
11.	Корунд Al_2O_3 сингония тригональная		спайности нет, отдельность по (0001)	бесцветный, синеватый, розоватый, характерна пятнистость окраски	$n \approx 1,76$
12.	Диаспор H Al O_2 сингония ромбическая		совершенная по (010)	бесцветный, коричнева- тый	$n \approx 1,72$

Продолжение табл. 8

Свойства, набл. с двумя николями			Осность, $\angle 2V$, опт. знак	Продукты разложения	Диагностические признаки
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны			
0,001-0,006 аномал.интерф. окраски	$N_p \parallel c$ погасает участками; зоны нарастания оптически неоднородны 	—	1- осн. (-) иногда $\angle 2V = -17-30^\circ$	эпидот, каль- цит и др.	Аномальные цвета интер- ференции, окраска, ос- ность, зональное погаса- ние. От цоизита отличается осностью, оптическим зна- ком, несовершенной спай- ностью.
0,006- -0,016	ст-ры двой- никовые, пе- сочных часов  зональность	$\pm$	2- осн. $\angle 2V = -40-60^\circ$	хлорит	Встречается в филлитах, хлоритовых и слюдяных сланцах в виде порфироб- ластов. У хлорита $< n$, у би- отита $> n_g - n_p$.
0,017- -0,026	$c : N_g = 0^\circ$ веерные агрегаты  $c : N_p = 90^\circ$	+	2- осн. (-) $\angle 2V = \sim 90^\circ$	тальк	Встречается в контакто- вых породах. Отличается от похожих прямым погаса- нием, большим отриц. опти- ческ. знаком, волокнисти- ми, стебельчатыми, лучис- тыми агрегатами.
0,019-0,021 аномал.интерф. окраски	прямое погасание, листоватый, волокнистый  розетковидные, веерные агрегаты	—	1 - осн. ча с т о а н о мально дву о с ный		Встречается в контактово- метаморфизованных известняках. Отличается от похожих тус- клыми аномальными синева- тыми и бурыми интерферен- ционными окрасками. От мус- ковита отличается оптичес- ким знаком.
0,007-0,008 часто аномал. интерф.окраски	 бочонковид- ные формы кристаллов, по- пер е ч н а я отдельность, пятнистое рас- пределение окрасок	—	а н о мально дву о с ный $\angle 2V = 0-32^\circ$		Отличается от похожих ми- нералов формами ограни- чения, окраской, высоким показателем преломления.
0,048		$\pm$	2- осн. $\angle 2V = 84-85^\circ$		Встречается в бокситах и метаморфических породах. Отличается от силлиmani- та $> n$, $> n_g - n_p$; от корунда - $< n$ и $> n_g - n_p$.

3. МИНЕРАЛЫ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

В осадочных породах около 30% составляют минералы магматического и метаморфического происхождения.

В отличие от эндогенных минералов минералы осадочных пород формируются в зоне гипергенеза, на поверхности Земли или в близповерхностных условиях. Здесь велико влияние атмосферы, гидросферы, биосферы и энергии солнца. Оно отражается во многих особенностях минералов осадочных пород (табл.9).

Кристаллизуются минералы осадочных пород обычно в виде мелких зёрен и часто слагают тонкодисперсные агрегаты сложного состава. В то же время, они легко перекристаллизуются и укрупняются под воздействием меняющихся физикохимических параметров окружающей среды или мигрирующих флюидов.

Минералы содержат значительное количество воды, которая находится в виде группы (ОН), $n \cdot \text{H}_2\text{O}$, а также воды плёночной, поровой, межзерновой. Их химическая формула часто предельно проста, т.к. является результатом длительной дифференциации вещества.

В то же время, многие минеральные формы осадочных пород являются продуктами сложнейших биохимических процессов в живых и отмерших организмах. Это, прежде всего, минеральные остатки организмов, строящих карбонатные, силикатные и фосфатные скелеты и раковины. Исходным материалом для них, и частично сохранившимся в минералах, были органоминеральные соединения, содержащие не только кальций, кремний и фосфор, но и сложные соединения водорода, углерода и биохимических веществ. Как правило, углеводородные и биохимические вещества в раковинах и скелетах способствуют их быстрому преобразованию – перекристаллизации, укрупнению, очищению, переходу в другие органические и минеральные формы.

Минералы в осадочных породах формируются часто совместно с разлагающимся органическим веществом. Образующийся сложный спектр органических веществ влияет на формирование минералов, особенно в условиях диагенеза, в специфических, обычно восстановительных, геохимических обстановках.

В таких условиях возникает сложное многообразие минеральных видов, обычно в виде мелкозернистых агрегатов. Оно сопровождается примесью различных органических остатков, продуктов их разложения, образующихся углеводородных твёрдых, жидких и газообразных продуктов. Их присутствие в минералах изменяет и их многие свойства: цвет, морфологию, удельный вес, показатель преломления и др.

Интенсивно разлагающееся органическое вещество в осадках может быть вовлечено и в реакции полимеризации. В присутствии катализаторов оно может вступать и в органический, и металлоорганический синтез, образуя керогены, самые химически устойчивые в природе вещества.

Эволюция керогенов в меняющихся термобарических и физико-химических условиях приводит к появлению газообразных, жидких и твёрдых углеводородных продуктов. Чёткие правильные структурные связи в них заставляют рассматривать многие из них как минеральные индивиды. Так, есть данные о кристаллизации парафинов в моноклинной сингонии а также о перекристаллизации керогена типа II в тухолит и урановые слюдки.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ МИНЕРАЛОВ

4.1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ МИНЕРАЛОВ

Породообразующие минералы в петрографической практике определяют по их морфологическим признакам и оптическим свойствам (константам). Определение констант, описание свойств и диагностику минералов проводят обычно в следующем порядке.

1. Отмечают наличие в шлифе прозрачных, полупрозрачных и непрозрачных минералов. Для проверки вводят линзу Лазо, так как некоторые сильноокрашенные минералы могут казаться непрозрачными. Однако, при введении линзы они будут просвечивать, и особенно отчетливо по краям зёрен.
2. Определяют количество окрашенных фемических минералов в шлифе, учитывая явление плеохроизма и псевдоабсорбции. После уточнения записывают мафическое число, соответствующее процентному содержанию фемических минералов, например, М – 35, число, соответствующее 35% содержанию тёмноцветных фемических минералов в породе.
3. Определяют количество бесцветных минералов. Для этого прикрывают диафрагму, ставят объектив $\times 20$, и шлиф просматривают изменяя фокусировку. При этом между различными бесцветными минералами возникает полоска Бекке – дисперсионный эффект В.Н. Лодочникова, более четко выявляются их разницы, рельеф и шагреневая поверхность. При этом необходимо улавливать особенности спайности, описывать их, обращать внимание на формы развития минералов и отмечать продукты их изменения.

МИНЕРАЛЫ

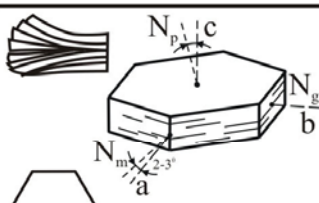
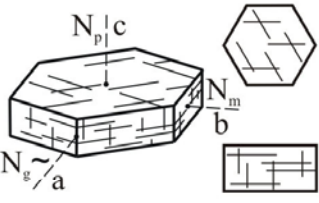
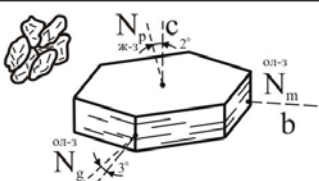
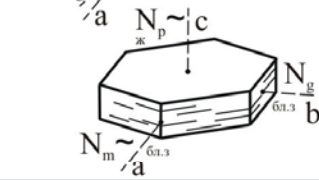
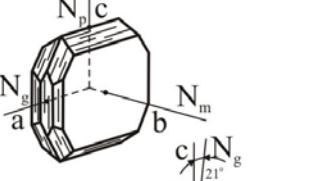
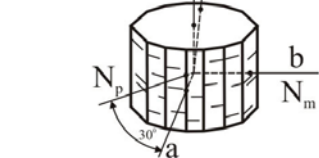
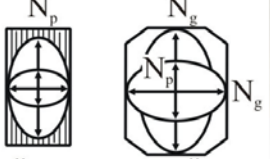
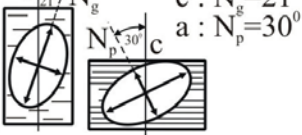
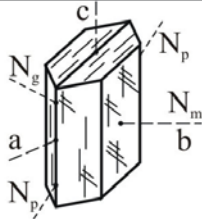
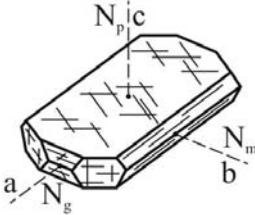
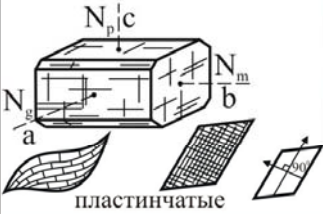
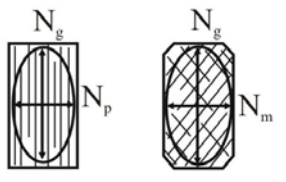
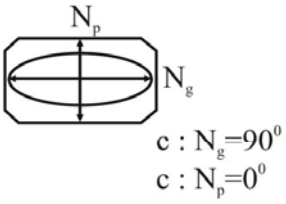
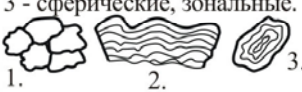
№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним николем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
1.	Каолинит $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ сингония триклинная, моноклинная		со вер шен ная	бесцветный	$n \sim 1,56$ - -1,57
2.	Гидрослюда $\text{K}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_3 \times$ $\times [(\text{Si}_3\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ сингония моноклинная			бесцветный, зеленоватый, бурый и жел- товатый	$n \sim 1,54$ - -1,67
3.	Монтмориллонит $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_3 \times$ $\times [(\text{Si} \text{ Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ сингония моноклинная			бесцветный, желтоватый	$n \sim 1,48$ - -1,64
4.	Глауконит $(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})_i(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_j \times$ $\times [(\text{Si}_3\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ сингония моноклинная		со вер шен ная	зеленова- то-голубо- ватый и желто-ва- то-корич- невый	$n = 1,59$ - -1,64
5.	Шамозит $\text{Fe}^{3+}_{3,6} \text{Al}(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_{0,8} \times$ $\times [(\text{Si} \text{ Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ сингония моноклинная			желтоватый, бледно- зеленый, бес- цветный	$n = 1,62$ - -1,66
6.	Диаспор H Al O_2 сингония ромбическая		весьма совер- шенная	бесцветный, коричне- ватый	$n = 1,70$ - -1,75
7.	Гидраргиллит $\text{Al}(\text{OH})_3$ сингония моноклинная			бесцветный	$n = 1,58$

Таблица 9

ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Свойства, набл. с двумя николями			Осность, $\angle 2V$, опт. знак	Д и а г н о с т и ч е с к и е п р и з н а к и
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны		
0,006- -0,007	1) червеобразные агрегаты 	+	$2V_{Np} = 24-50^\circ$	Походит на гидрослюды и монтморилло-нит - отличается меньшим $n_g - n_p$ и средним n_p, n_g .
~0,030	2) сферолитовые агрегаты 	+		Отличается от каолинита и монтморилло-нита более четкими чешуйчатыми формами с острыми окончаниями.
0,025- -0,040	3) чешуйчатые агрегаты 	+	$2V_{Np} = \begin{cases} 7-25^\circ \\ 25-68^\circ \end{cases}$	Походит на хлорит и каолинит - отличается большим $n_g - n_p$ и меньшим n_p, n_g .
0,014- -0,030	зернистые агрегаты  овальной формы	+	$2V_{Np} = 10-24^\circ$	Походит на хлорит - отличается большим $n_g - n_p$; зернистостью агрегатов.
0,005- -0,006	аномальные окраски  чешуйчатые агрегаты	+	$2V_{Np} \sim 0^\circ$	Диагенетический в осадочных Fe - рудных месторождениях. Встречается вместе с сидеритом. Походит на глауконит, отличается меньшими $n_g - n_p$; чешуйчатостью агрегатов, буроватыми оттенками.
0,048	 спайность нет спайности	$\pm$	$2V_{Ng} = 84-85^\circ$	Встречается часто в бокситах. Походит на корунд - отличается меньшими n и большей $n_g - n_p$. Отличается от силлиманита большими n и $n_g - n_p$.
0,021	 $c : N_g = 21^\circ$ $a : N_p = 30^\circ$	+		Походит на каолинит, отличается большей $n_g - n_p$. От полевого шпата отличается большей $n_g - n_p$.

№ п/п	Название минерала, его кристалло- химическая формула, сингония	Свойства, наблюдаемые с одним николем			
		Форма кристалла, сечения	Спай- ность	Цвет, плеохроизм	Показате- ли прело- мления
8.	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ сингония моноклинная		совершенная в 2 ^х плоскостях	бесцветный	$n=1,52-$ $-1,53$
9.	Барит BaSO_4 сингония ромбическая		соверш. по (010) слаб. по (201) и (001)	бесцветный	$n=1,63-$ $-1,65$
10.	Ангидрит CaSO_4 сингония ромбическая		совершенная в 2 ^х плоскостях	бесцветный	$n=1,57-$ $-1,61$
11.	Халцедон SiO_2 скрытокристаллический	агрегаты волокнисто- кристаллические	трещиноватые, хрупкие	бесцветный, молочно- голубой, жел- товатый, зо- нально- окрашенный	$n \sim 1,54$
12.	Опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ аморфный			бесцветный, мутно- желтоватый или красно- ватый	$n \sim 1,40$
13.	Фосфатное вещество $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{F, Cl, OH}$ аморфный	агрегаты бесформенные, нередко зернистые		бесцветный, а также бу- рый, черный - за счет рассе- янного орга- нического ве- щества	$n \sim 1,66$

Свойства, набл. с двумя николями			Осность, $\angle 2V$, опт. знак	Диагностические признаки
$n_g - n_p$	Характер погасания, угол погасания	Знак зоны		
0,010	 таблички волокна "ласточкин хвост" с : $N_g = 52^\circ$ с : $N_p = 38^\circ$	—	$2V_{N_g} = 58^\circ$	Образуется из ангидрита при поглощении воды; в глинах и мергелях при выветривании.
0,012		+	$2V_{N_g} = 36-38^\circ$	Походит на целестин, отличается слабой растворимостью в воде.
0,040	 с : $N_g = 90^\circ$ с : $N_p = 0^\circ$	—	$2V_{N_g} = 51^\circ 15'$	Походит на барит, но $> n_g - n_p$.
0,008- -0,010	 агрегаты сферолитовые, волокнистые	$\pm$	$2V_{N_g} = 0-25^\circ$	Походит на цеолиты, отличается большим n и часто большим $n_g - n_p$.
0,000	Агрегаты: 1 - изотропные; 2 - коллоидные; 3 - сферические, зональные.  1. 2. 3.			Походит на анальцим, содалит, стекло, канадский бальзам, но отличается меньшим n .
0,000- -0,003	1-изотропные 2-микросферолитовые 3-оолитовые 4-зерна, пеллеты 			Походит на опал, отличается большим n .

4. После установления количества минералов не только фемических, но и салических, определения всех морфологических и оптических констант при одном поляризаторе для каждого из них, приступают к определению остальных констант для каждого минерала в скрещенных николях. Начинают обычно с преобладающего в шлифе.
5. Выбирают сечение с наивысшей интерференционной окраской для данного минерала. Желательно выбор сечения проверить коноскопически: это должно быть сечение, параллельное оптической оси или плоскости оптических осей.
6. В выбранном сечении определяют силу двойного лучепреломления ($n_g - n_p$), устанавливают характер погасания и знак зоны (удлинения), увязывают окраску минерала с осями оптической индикатрисы N_g и N_p составляют схему абсорбции, отмечают наличие двойников, особенности погасания минерала, описывают характер погасания.
7. Выбирают сечение с наинизшей интерференционной окраской для данного минерала, учитывая его двупреломление. Если минерал окрашенный, то в этом сечении определяют окраску по оси N_m .
8. Ставят объектив с большим увеличением ($40\times$ или $60\times$) и с использованием метода Лазо или метода Бертрана получают в этом сечении коноскопическую фигуру. По ее характеру определяют осность минерала, его оптический знак, а для двuosных минералов оценивают и величину угла оптических осей.
9. После определения и записи оптических констант одного минерала обращаются к соответствующим таблицам или справочникам, чтобы дать ему определенное название. Затем приступают к выявлению оптических свойств следующего минерала. Попутно обращают внимание на взаимоотношения минералов: включения одного в другом, развитие одних минералов по другим и т.п.

Нередко в шлифе какой-либо минерал представлен несколькими зернами случайных сечений. В таком случае учитывают, что константы, определенные в этих сечениях, не характерны для данного минерала. Так, например, если при исследовании пироксена в шлифе не оказалось сечения $N_g - N_p$ (что проверено коноскопически), надо отметить, что измеренные в имеющемся сечении $N_g' - N_p'$ и $c : N_g'$ меньше истинных.

Для минералов с изометрическими или неправильными формами развития и не обладающими спайностью некоторые константы ($c : N_g$, знак зоны) не определяют.

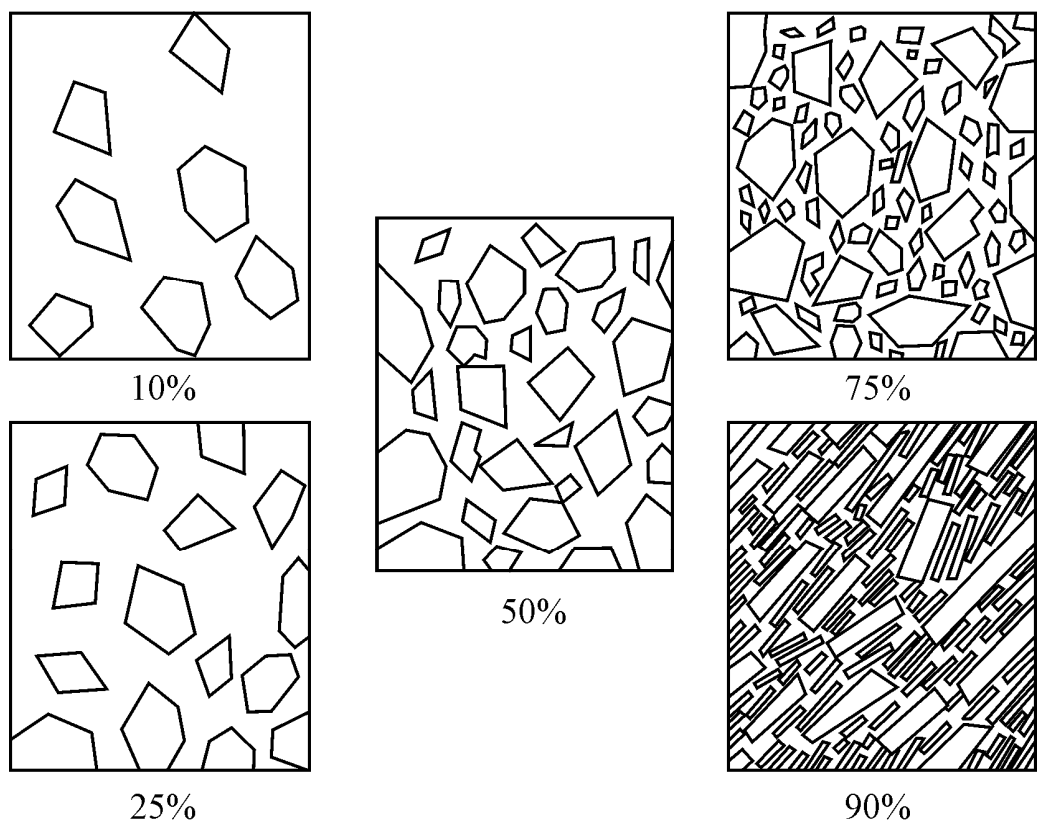


Рис.6. Относительное количество вкрапленников в разных типах порфировых структур (Заварицкий, 1961)

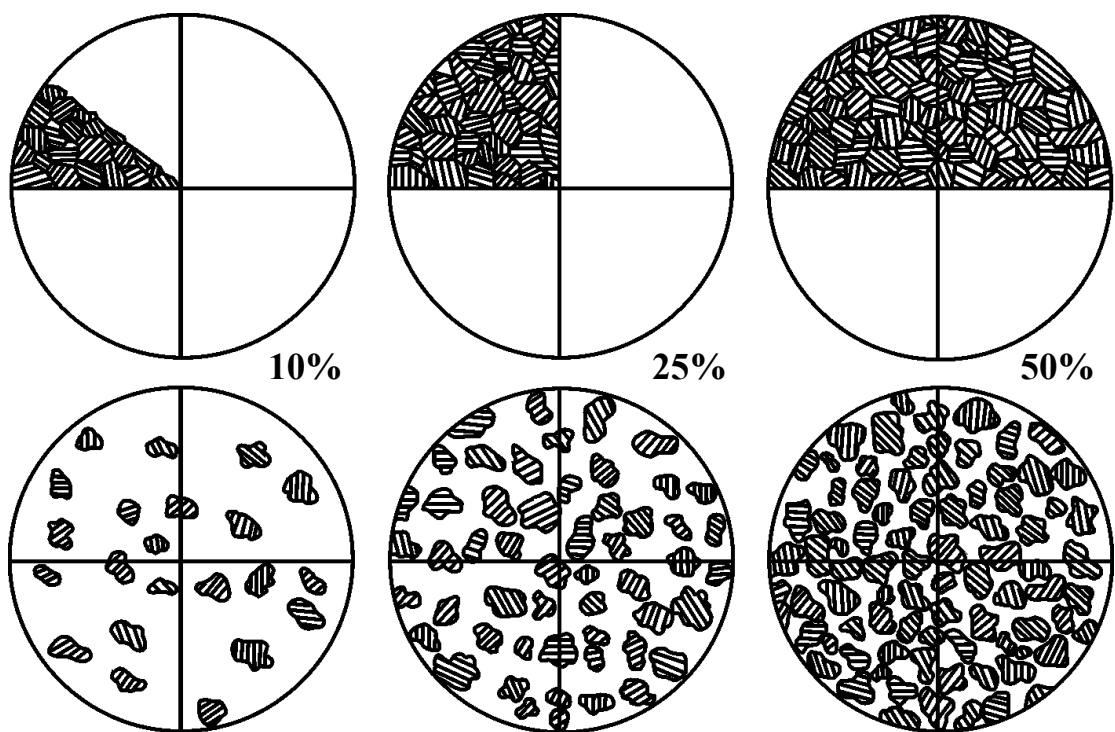


Рис.7. Эталон для определения количества минерала (заштрихован) в породе (Чернов, Лин, 1963)

4.2. ВИЗУАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕРЕН

При общей петрографической характеристике пород размер составных частей можно определять приблизительно. Для этого нужно знать лишь диаметр поля зрения микроскопа при разных сочетаниях окуляров и объективов, которые подбирают так, чтобы измеряемое зерно полностью находилось в поле зрения.

Перемещением зерна добиваются, соприкосновения его края с вертикальной нитью окуляра (если зерно меньше радиуса поля зрения) или с краем поля зрения (если оно больше радиуса). Затем визуально («на глаз») определяют, какую часть радиуса (или диаметра) поля зрения занимает данное зерно (его поперечник или длина). Например, если при окуляре 8× и объективе 8× диаметр поля зрения равен 2,0 мм, а поперечник зерна занимает половину радиуса поля зрения, то его размер составляет 0,50 мм.

При определении размера зерен в равномернозернистых породах достаточно подсчитать, сколько зерен размещается по диаметру поля зрения. Например, на диаметре в 2,0 мм располагается 10 зерен; следовательно, размер одного зерна равен приблизительно 0,2 мм.

Такой метод определения размера зерен очень удобен при исследовании крупнозернистых и порфировидных пород. Основным удобством метода является возможность измерения размера зерен без специальных приспособлений, в ходе обычного петрографического описания.

4.3. ВИЗУАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА МИНЕРАЛОВ.

Количественные соотношения минералов в породе нередко определяют визуально («на глаз»), а также делают подсчеты при описании каждого шлифа. Они необходимы для правильного определения названия породы, выяснения закономерностей изменения состава, выбора характерного шлифа, используемого при точных количественно-минералогических подсчетах.

Прежде чем начать количественные подсчеты под микроскопом, рекомендуется, посмотрев шлиф на свет (без микроскопа), оценить общее содержание темноцветных минералов в породе и наличие в ней вкрапленников. При изучении пород с порфировидными структурами очень полезно по штуфу предварительно определить, какую часть составляют вкрапленники, так как нередко они не попадают в шлиф.

Визуальные количественные подсчеты под микроскопом производят с обычным окуляром попутно с определением оптических свойств минералов. Чтобы избежать повторных подсчетов в одном поле зрения,

нужны определённые передвижения шлифа. Сущность подсчета заключается в оценке той части поля зрения, которую занимает данный минерал. Произведя подсчеты каждого минерала по площади всего шлифа, вычисляют количественные соотношения минералов в нем.

Крест нитей окуляра делит поле зрения на четыре равные части. Поэтому иногда (особенно при изучении мелкозернистых пород) удобно определить количество данного минерала не сразу во всем поле зрения, а поочередно в каждой его четверти. Вычисление же процентного состава можно производить сразу относительно всего поля зрения, учитывая, что каждая четверть его составляет 25%. Например, если минерал занимает приблизительно половину четверти поля зрения, то содержание его в данном случае равно 12,5%, а если $\frac{1}{4}$ – то $\sim 6\%$ и т.д.

Полученные в одном поле зрения количественные соотношения записывают и аналогичным путем, передвигая шлиф рукой, подсчитывают соотношение минералов в остальных частях поля зрения по всей площади шлифа. Из общих данных вычисляют среднее арифметическое. На рис. 6 и 7 представлены эталоны, отражающие разное содержание компонентов в породе. Ими можно пользоваться для сравнения при подсчетах.

Такое, на первый взгляд очень приблизительное, определение количественного соотношения минералов в породе при некотором навыке дает довольно точные (до 1–3%) и, главное, очень быстрые результаты, которые необходимы в повседневной петрографической практике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для наглядного представления морфологических и оптических свойств наиболее распространенных минералов по тексту и в приложении даны их фотографии (рис. 3-5, 8-27). Сделаны фотографии минералов в петрографических шлифах при восьмидесятикратном увеличении поляризационного микроскопа Полам Л-211. Съёмки осуществлялись с одним и (или) с двумя скрещенными поляризаторами (николи +).

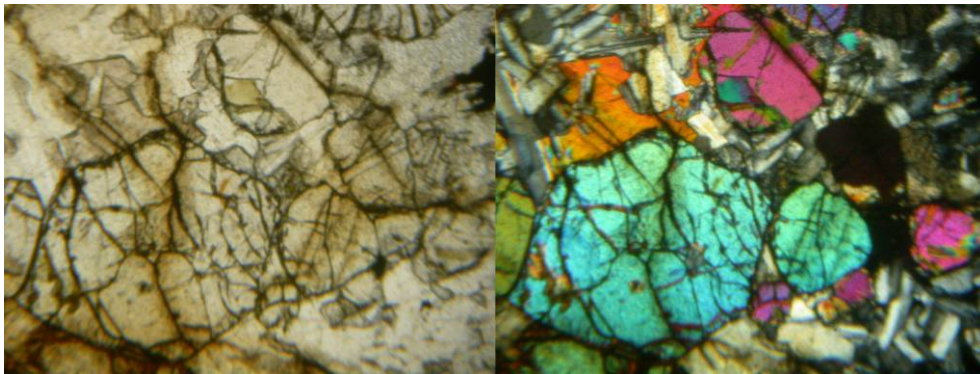
В современной практике микроскопического изучения минералов широко используются микроскопы отечественных и зарубежных марок с цифровыми видеокамерами и передачей изображения на компьютер. При изучении определённых характеристик минералов применяются специальные программы.

ФОТОГРАФИИ МИНЕРАЛОВ

УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

№ п/п	Название минерала	№ таблицы
1	Авгит	Таблица 2
2	Актинолит	Таблица 2
3	Альбит	Таблица 4
4	Ангидрит	Таблица 9
5	Андалузит	Таблица 8
6	Андезин	Таблица 4
7	Анортит	Таблица 4
8	Антофиллит	Таблица 4
9	Апатит	Таблица 7
10	Арфведсонит	Таблица 2
11	Барит	Таблица 9
12	Биотит	Таблица 2
13	Битовнит	Таблица 4
14	Брусит	Таблица 4
15	Везувиан	Таблица 4
16	Волластонит	Таблица 8
17	Гидраргиллит	Таблица 9
18	Гидрослюда	Таблица 9
19	Гиперстен	Таблица 2
20	Гипс	Таблица 9
21	Глауконит	Таблица 9
22	Гранат	Таблица 7
23	Диаспор	Таблица 4
24	Диопсид	Таблица 2
25	Дистен (кианит)	Таблица 8
26	Доломит	Таблица 5
27	Кальцит	Таблица 5
28	Каолинит	Таблица 9
29	Кварц	Таблица 4
30	Кордиерит	Таблица 8
31	Корунд	Таблица 4
32	Лабрадор	Таблица 4
33	Лейцит	Таблица 4
34	Микроклин	Таблица 4
35	Монтмориллонит	Таблица 9
36	Мусковит	Таблица 2
37	Нефелин	Таблица 4
38	Оливины	Таблица 2
39	Олигоклаз	Таблица 4
40	Опал	Таблица 9
41	Ортоклаз	Таблица 4
42	Роговая обманка	Таблица 2
43	Серицит	Таблица 5

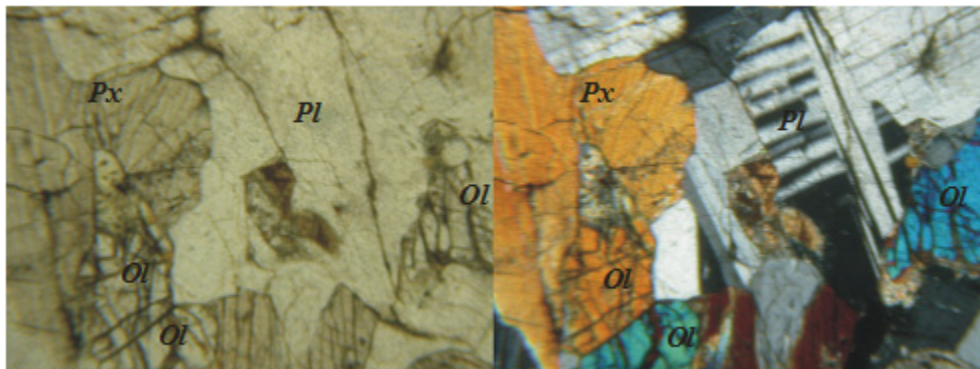
44	Серпентин	Таблица 5
45	Силлиманит	Таблица 8
46	Ставролит	Таблица 8
47	Сфен	Таблица 7
48	Тальк	Таблица 5
49	Турмалин	Таблица 7
50	Фаялит	Таблица 2
251	Форстерит	Таблица 2
52	Фосфатное вещество	Таблица 9
53	Халцедон	Таблица 9
54	Хлоритоид	Таблица 4
55	Хлориты	Таблица 5
56	Циркон	Таблица 7
57	Цоизит	Таблица 5
58	Шамозит	Таблица 9
59	Эгирин	Таблица 2
60	Эгирин-авгит	Таблица 2
61	Энстатит	Таблица 2
62	Эпидот	Таблица 5



а

б

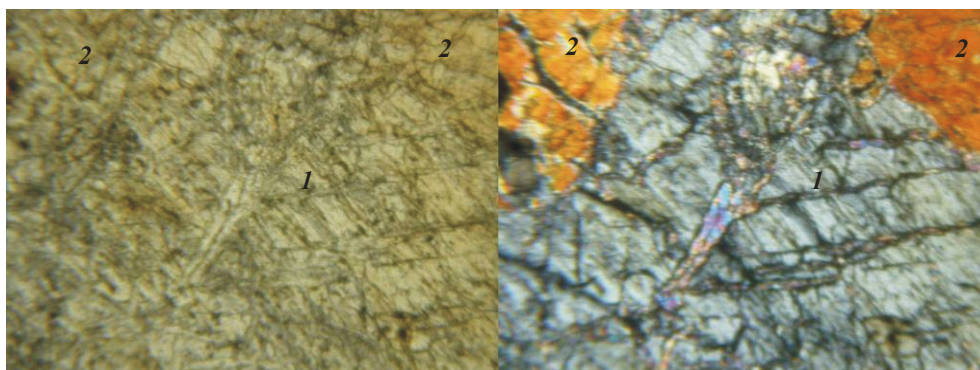
Рис. 8. Оливин. Буроватый цвет, близкая к изометричной форма зерен, высокий рельеф, несовершенная спайность, трещиноватость (а). Интерференционная окраска III порядка, максимальная $n_g - n_p = 0,037$ (б).



а

б

Рис. 9. Оливин в контакте с моноклинным пироксеном. Оливин имеет более изометричную форму, более высокий рельеф, более светлую окраску, несовершенную спайность и трещиноватость (а). Интерференционная окраска, близкая к III порядку (б).



а

б

Рис. 10. Энстатит (1) в ассоциации с гиперстеном (2). Короткопризматическая форма зерен, слабая окраска, высокий рельеф (VI группа), совершенная спайность, редкие трещины, отдельности, сходство с гиперстеном (а). Максимальная интерференционная окраска серая – $n_g - n_p \sim 0,008$ (б).

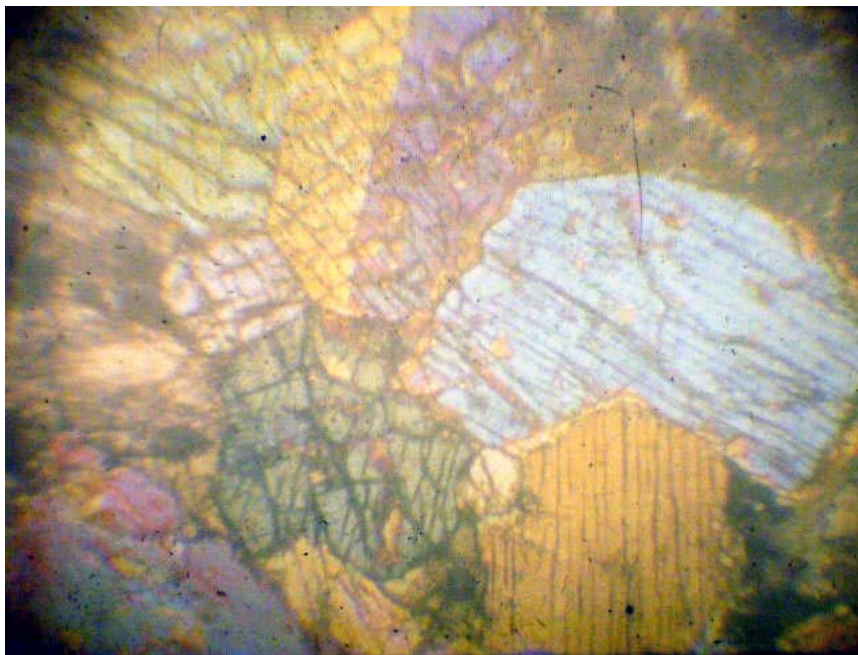


Рис. 11. Пироксен диопсид. Николи +. Короткопризматическая форма, идиоморфные очертания, простой двойник в поперечном сечении. Максимальная интерференционная окраска зеленовато-желтая II порядка – $n_g - n_p = 0,030$.

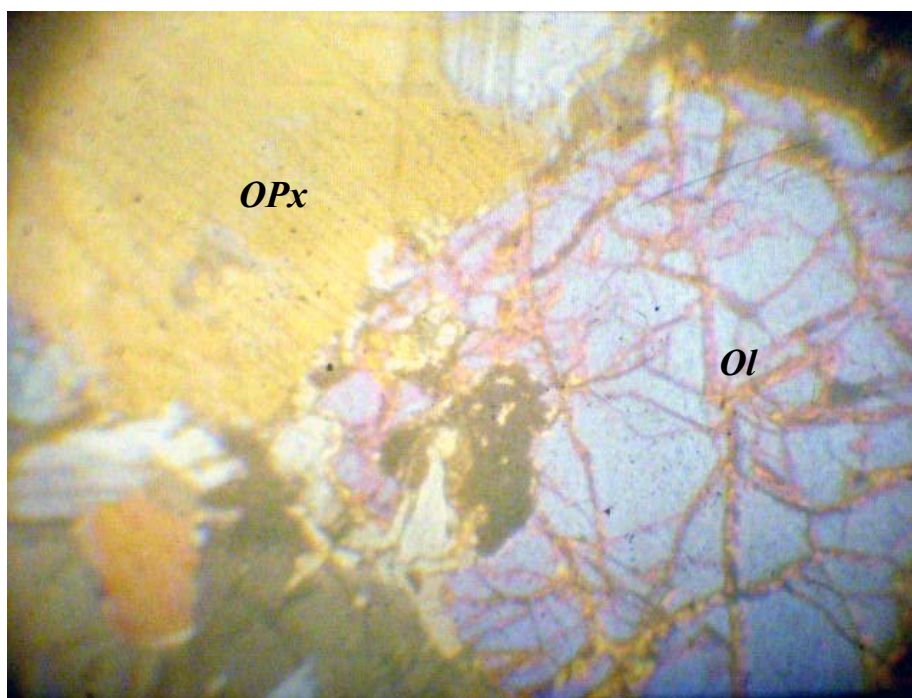


Рис. 12. Оливин и гиперстен (OPx). Николи +. Оливин имеет форму, близкую к изометричной, трещиноватость, высокий рельеф, интерференционную окраску II порядка. Гиперстен имеет призматическую форму, весьма совершенную спайность по призме, меньший, чем у оливина рельеф, максимальную оранжевую интерференционную окраску – $n_g - n_p = 0,013$.

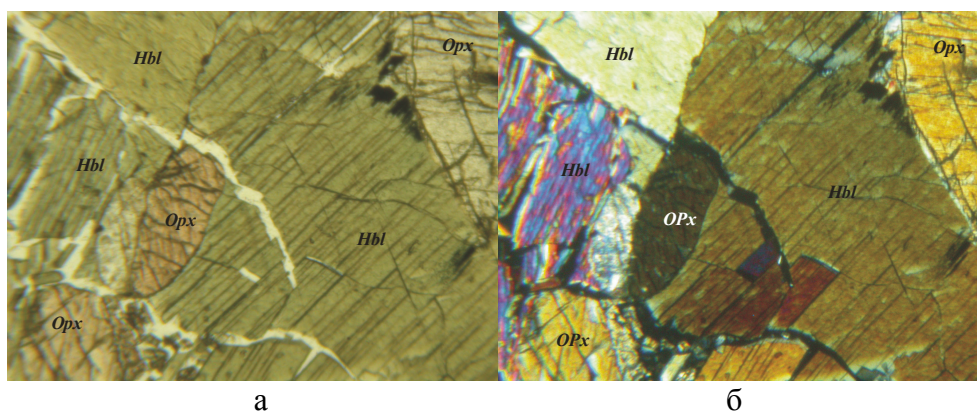


Рис. 13. Гиперстен в ассоциации с роговой обманкой. Цвет гиперстена розовый, меняющийся до зеленоватого, форма кристаллов призматическая, совершенная спайность в двух направлениях и редкие трещины отдельности (а). Максимальная интерференционная окраска – 0,015 (б).

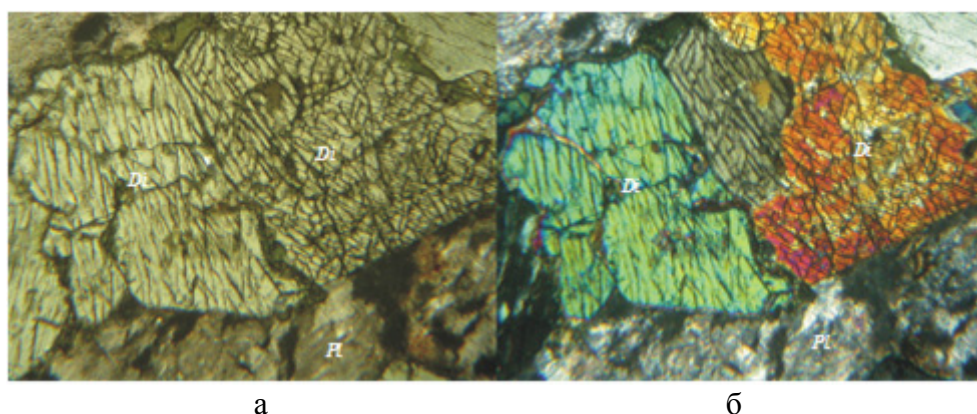


Рис. 14. Диопсид среди измененного плагиоклаза. Цвет зеленоватый, весьма совершенная спайность в двух направлениях под углом 87° , показатель преломления VI группы (а). $n_g - n_p$ достигает 0,030, угол погасания $\sim 45^{\circ}$ (б).

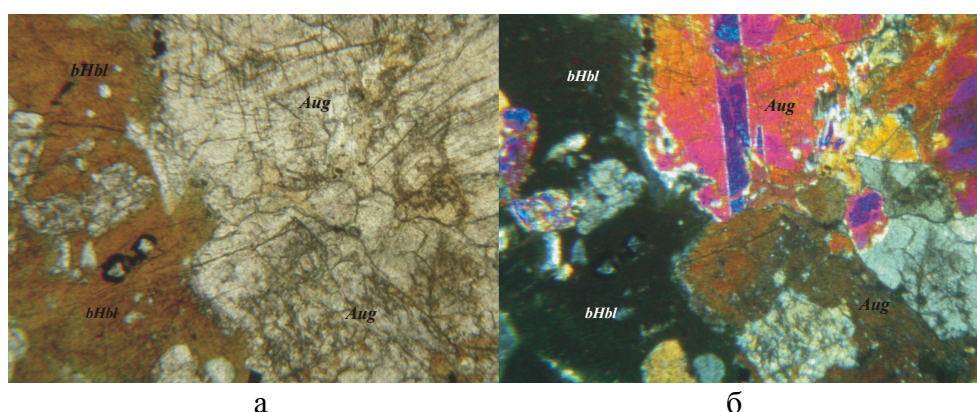
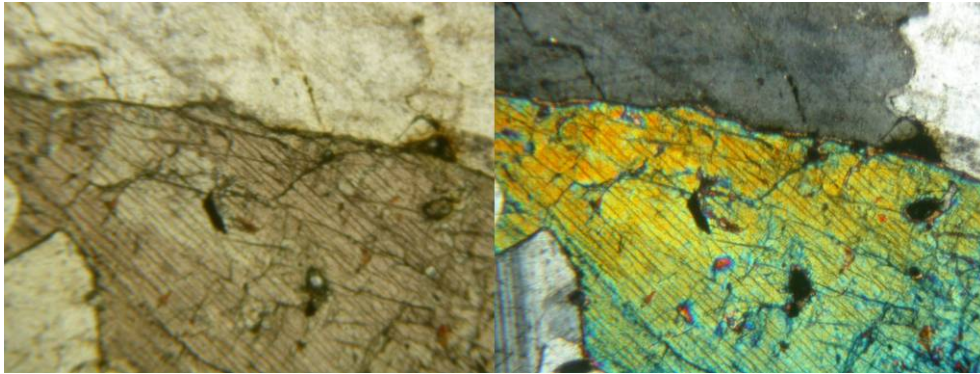


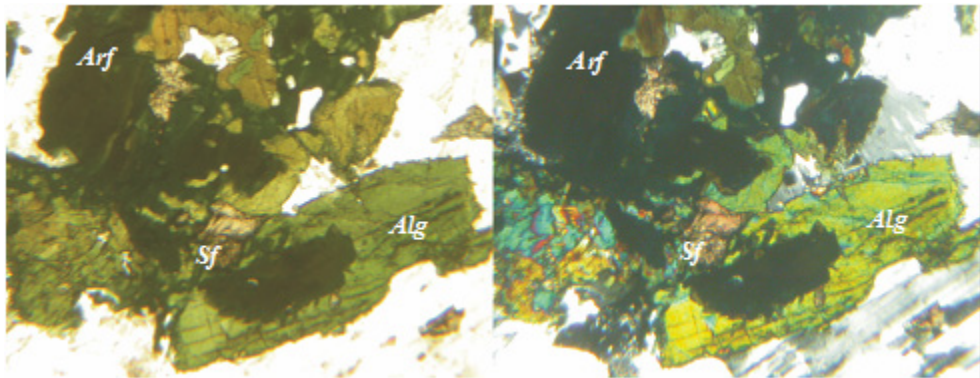
Рис. 15. Авгит в ассоциации с базальтической роговой обманкой. Цвет буроватый, рельеф (VI группа) более высокий, чем у роговой обманки (а). Максимальная интерференционная окраска конца II порядка, угол погасания до 56° (б).



а

б

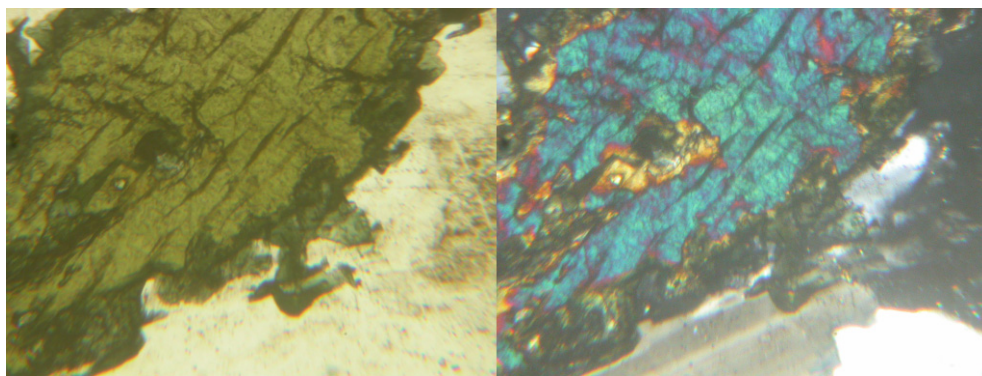
Рис. 16. Титан-авгит. Цвет розовато-бурый, показатель преломления VI группы, спайность весьма совершенная (а). Сила двойного лучепреломления – 0,032 (б).



а

б

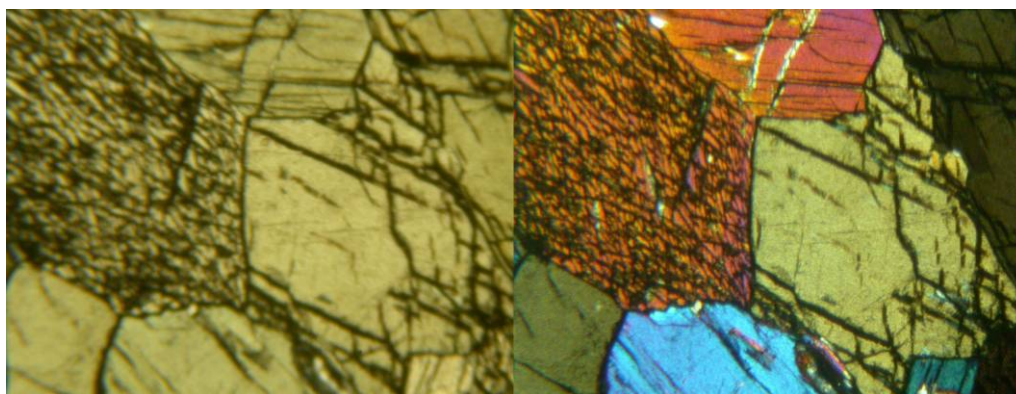
Рис. 17. Эгирин, арфведсонит, сфен. У эгирина травяно-зеленый цвет, резкий плеохроизм, призматическая форма зерен, совершенная спайность, интерференционная окраска III порядка, угол погасания до 12^0 . У арфведсонита густая зеленовато-синяя окраска (а), забивающая слабую интерференционную (б).



а

б

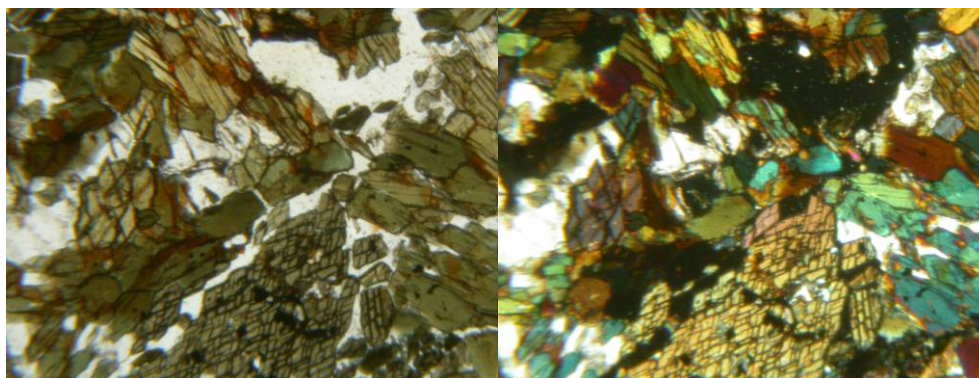
Рис. 18. Эгирин. Густая травяно-зеленая окраска, весьма совершенная спайность (а). Высокая интерференционная окраска (в данном случае $n_g - n_p = 0,025$) (б). Кристалл окаймляет синевато-зеленый арфведсонит.



а

б

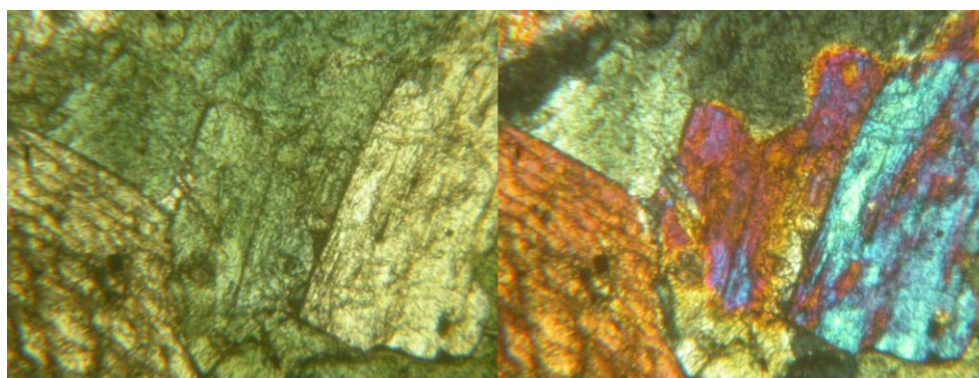
Рис. 19. Обыкновенная роговая обманка. Виден плеохроизм в зеленоватых тонах, ромбовидное поперечное сечение с весьма совершенной спайностью под углом 124° (а). Максимальная сила двойного лучепреломления 0,024 (б).



а

б

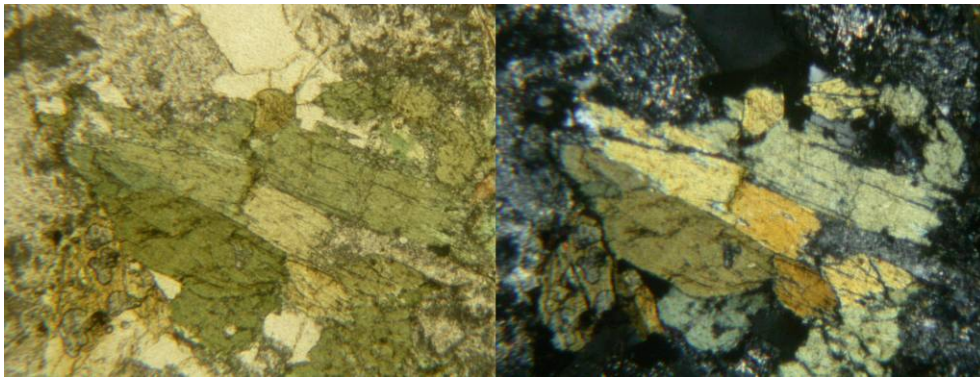
Рис. 20. Роговая обманка. Густая зеленовато-бурая окраска, резкий плеохроизм, показатель преломления VI группы, спайность весьма совершенная под углом 124° в поперечном сечении (а). Сила двойного лучепреломления достигает 0,031 (б).



а

б

Рис. 21. Роговая обманка. Резкий плеохроизм в буроватых, зеленых и желтых тонах, спайность весьма совершенная, в поперечном сечении – под углом 124° (а). Интерференционная окраска II порядка, с максимальной $n_g - n_p - 0,030$ (б).

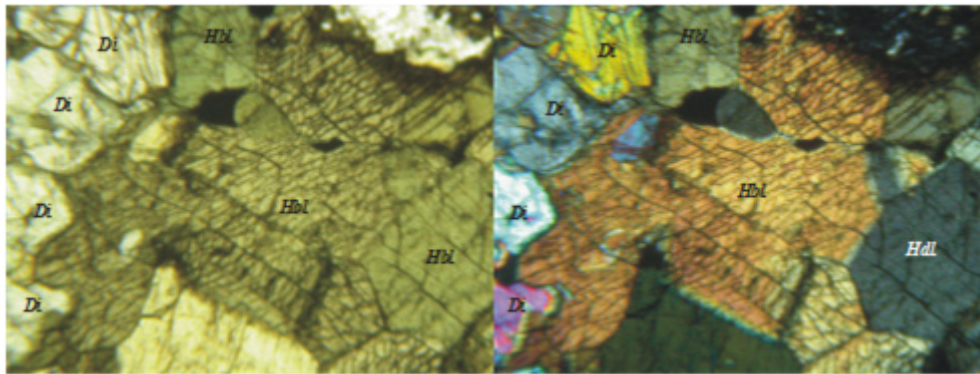


а

б

Рис. 22. Роговая обманка. Плеохроизм в зеленовато-бурых тонах, высокий рельеф на фоне салических минералов (а).

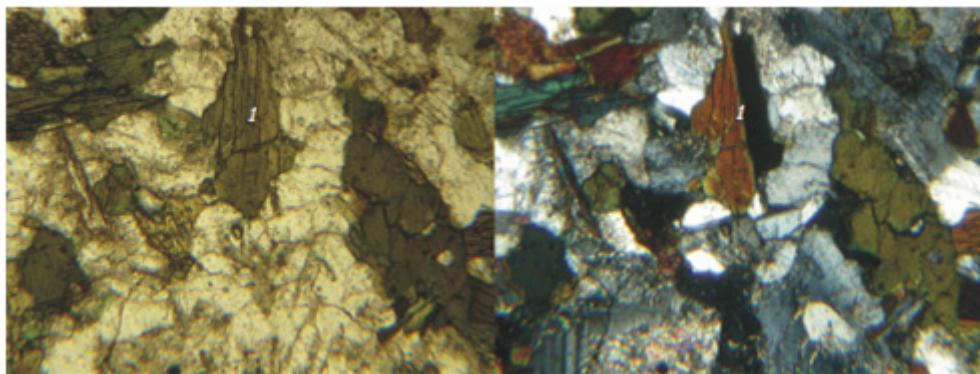
Сила двойного лучепреломления – 0,015, виден двойниковый шов и ромбовидное поперечное сечение со спайностью под углом 124° (б).



а

б

Рис. 23. Роговая обманка и диопсид. Зеленовато-бурая окраска и плеохроизм, более низкий рельеф, более совершенная спайность (а) и меньшая сила двойного лучепреломления (б) роговой обманки хорошо видны на фоне диопсида.



а

б

Рис. 24. Зеленовато-бурая роговая обманка на фоне салических минералов. Резкий плеохроизм в зеленовато-бурых тонах, высокий рельеф (VI группа на фоне IV группы), весьма совершенная спайность, двойниковая (1) структура (а). Максимальная интерференционная окраска сине-зеленая – $n_g - n_p \sim 0,023$ (б).

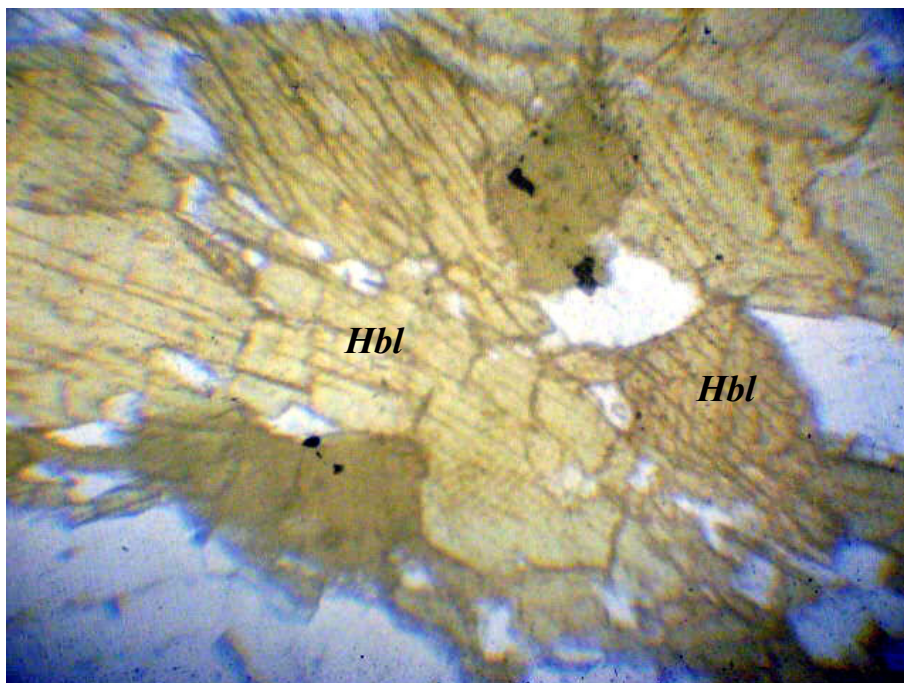


Рис. 25. Обыкновенная роговая обманка. Без анализатора виден зеленовато-бурый цвет с резким плеохроизмом (от зеленовато-бурого до жёлтого).

В продольном сечении видна весьма совершенная спайность, а в поперечном сечении – два направления спайности под углом 124° .

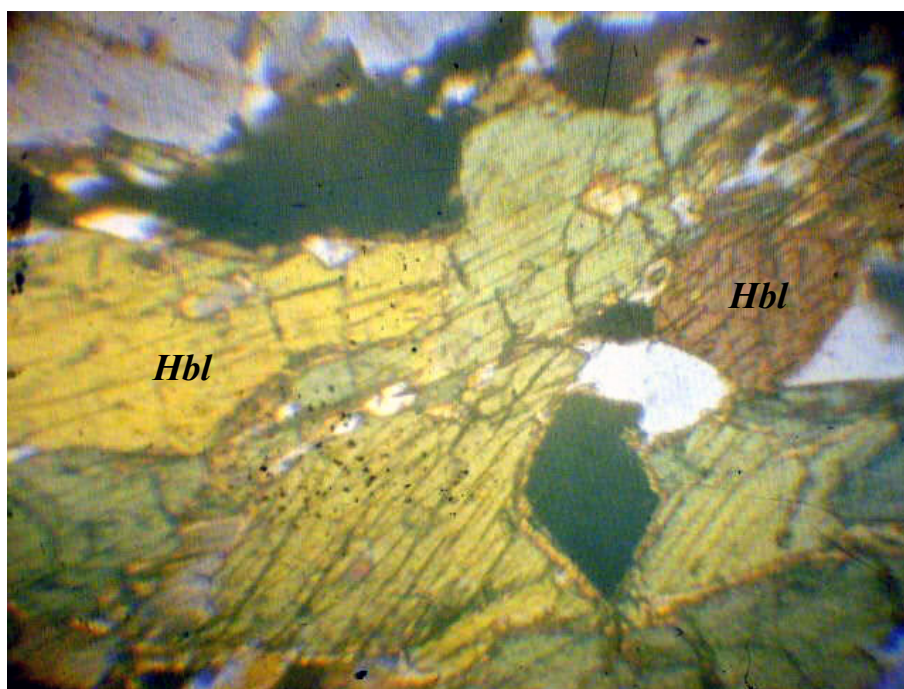


Рис. 26. Обыкновенная роговая обманка. Николи +. Максимальная интерференционная окраска зеленовато-жёлтая II порядка ($n_g - n_p$ – достигает 0,032). Видно поперечное сечение с красноватой интерференционной окраской I порядка.

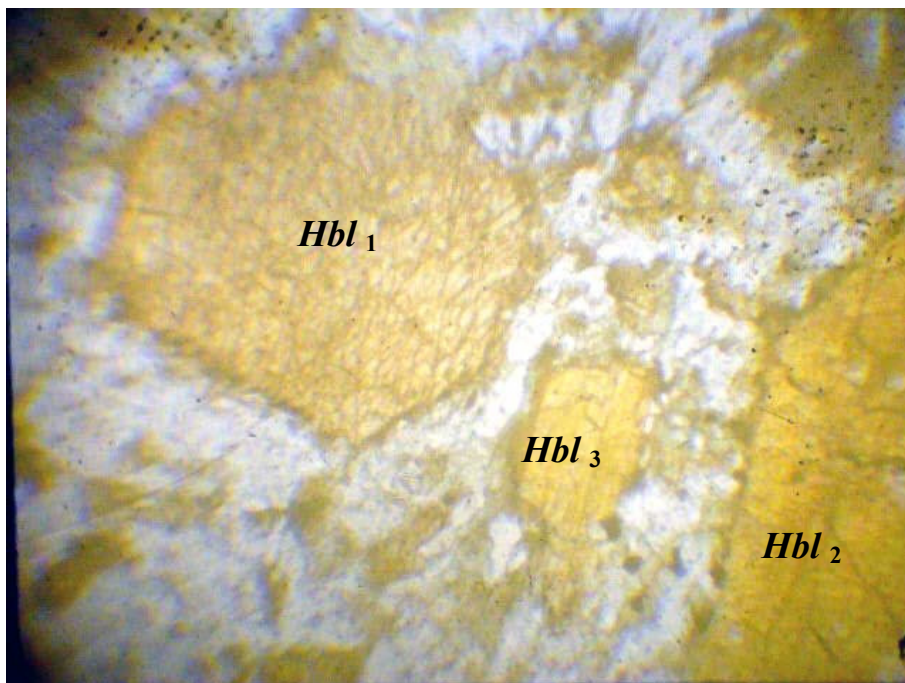


Рис. 27. Роговая обманка. Без анализатора видна бурая окраска с плеохроизмом до жёлтой (Hbl 2, 3). Кристаллы призматические идиоморфные. В поперечном сечении спайность в двух направлениях под углом 124° и 56° – Hbl (1).

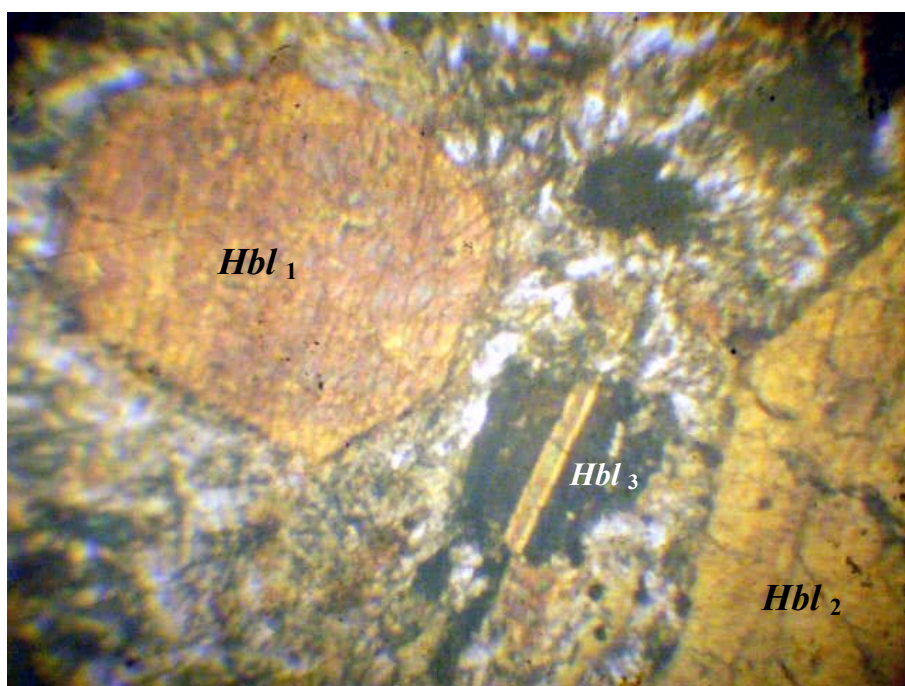


Рис. 28. Роговая обманка. Николи +. Интерференционная окраска оранжево-красная до синей I порядка ($n_g - n_p = 0,020$). Видна двойниковая структура – тонкий окрашенный индивид между двумя другими, стоящими на погасании – (Hbl 3).

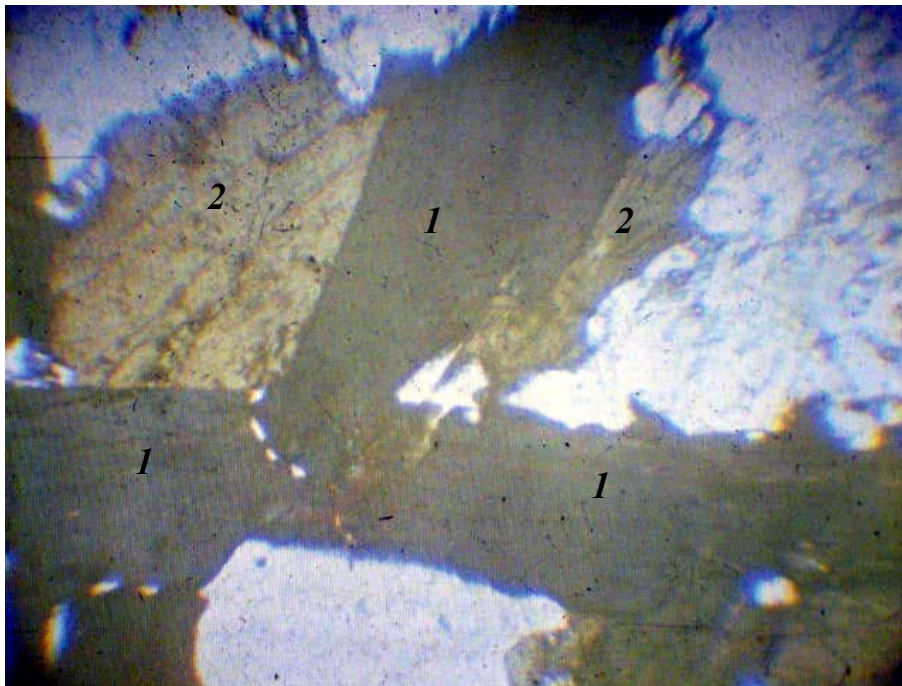


Рис. 29. Арфведсонит. Без анализатора видна зеленовато-фиолетовая густая окраска в продольных сечениях (1) кристаллов и светло-бурая – в поперечных (2).

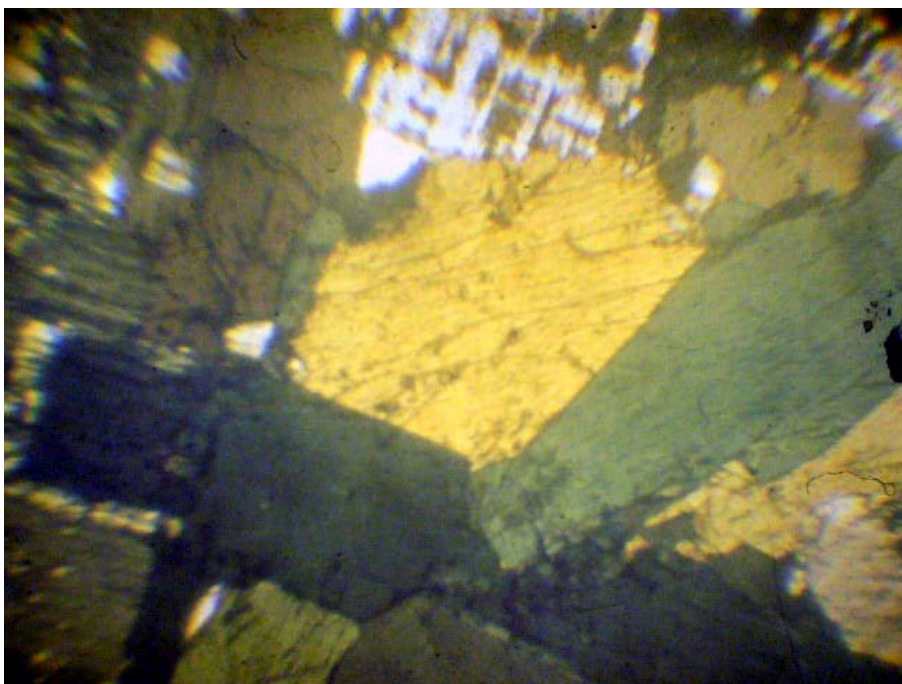


Рис. 30. Арфведсонит. Николи +. У минерала интерференционная окраска I порядка. Густая собственная зелёная окраска минерала в продольном сечении накладывается на светло-жёлтую интерференционную, делая её зеленовато-жёлтой.

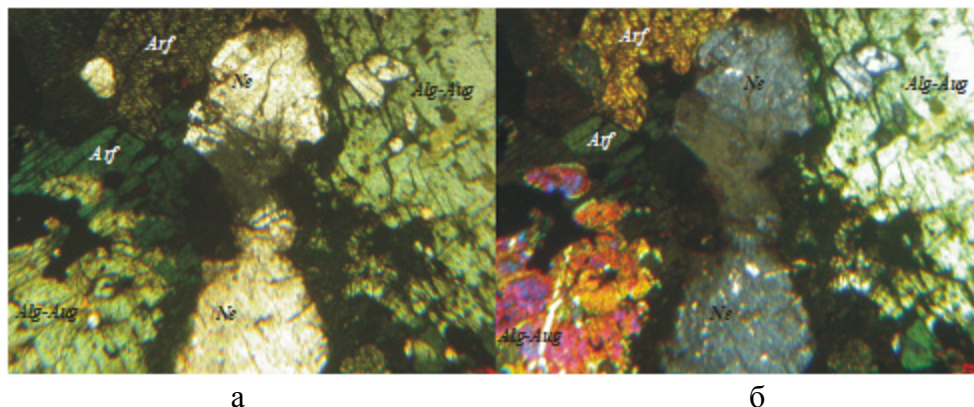


Рис. 31. Арфведсонит в ассоциации с эгирин-авгитом и нефелином. Густая зеленовато-синяя окраска, весьма совершенная спайность, рельеф ниже, чем у эгирин-авгита и выше, чем у нефелина (а). Интерференционная окраска I порядка (б).

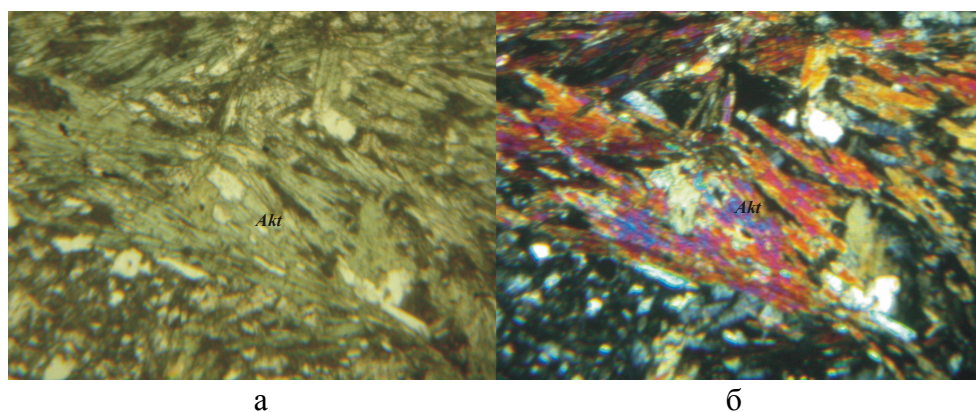


Рис. 32. Актинолит. Зеленовато-голубоватая, плеохроирующая до желтой, окраска, удлиненно-призматические и игольчатые формы зерен, радиально-лучистые агрегаты, весьма совершенная спайность (а). Максимальная интерференционная окраска синяя – 0,023, углы погасания до 28° . (б).

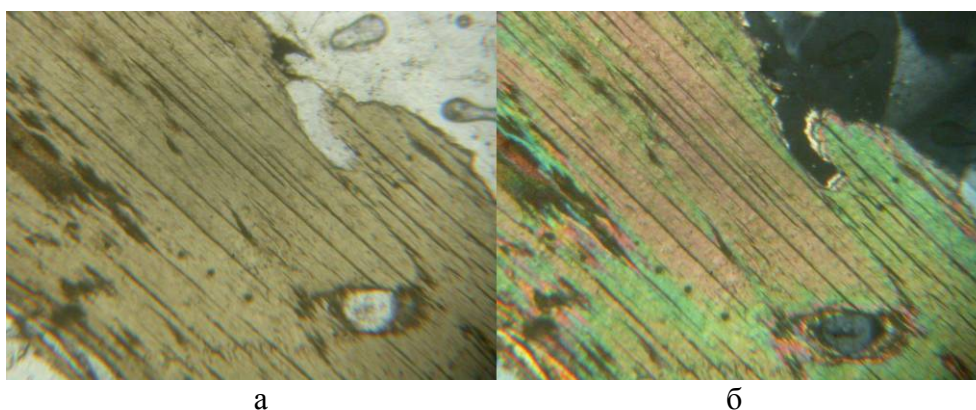


Рис. 33. Биотит. Бурый цвет, весьма совершенная спайность в одном направлении (а). Интерференционная окраска III порядка (см. каемку), видны эффекты «искристости» и «перламутровости» (б).

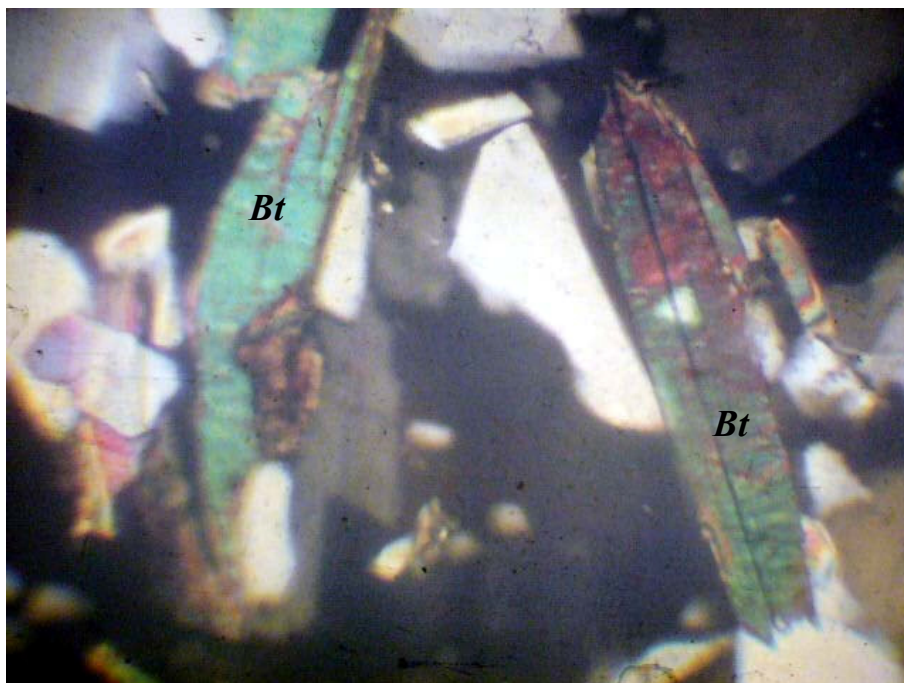


Рис. 34. Биотит в ассоциации с кварцем и полевыми шпатами. Николи +.
Биотит чешуйчатый, гипидиоморфный с весьма совершенной спайностью,
параллельной базовым пинакоидом. Интерференционная окраска III порядка.
Видна «искристость» на изломах спайности.

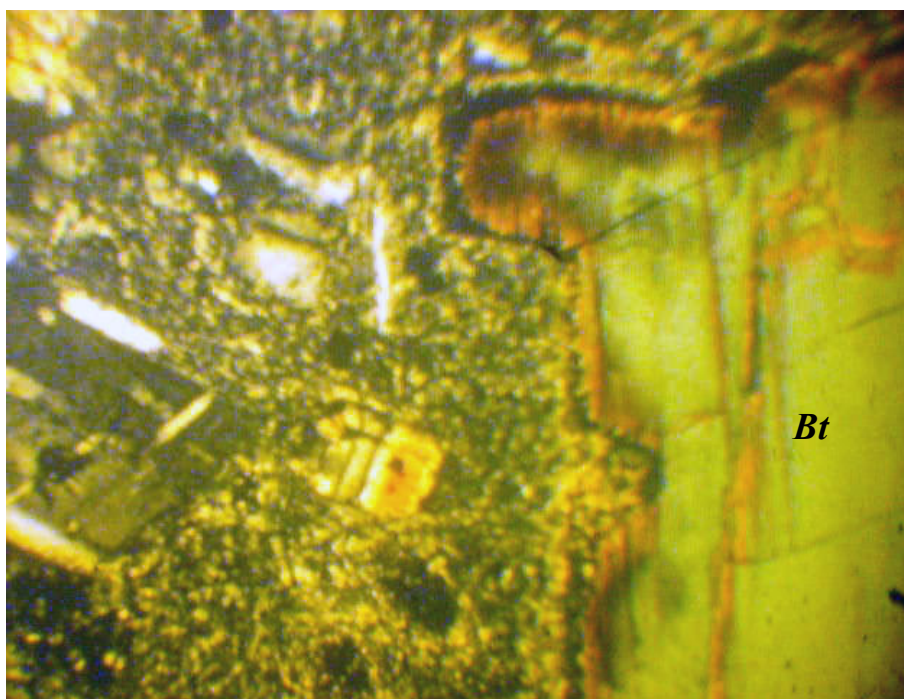


Рис. 35. Биотит в порфировых выделениях вулканической породы. Николи +.
Пластинчатая форма, идиоморфные очертания.
Интерференционная окраска близка к перламутровой.

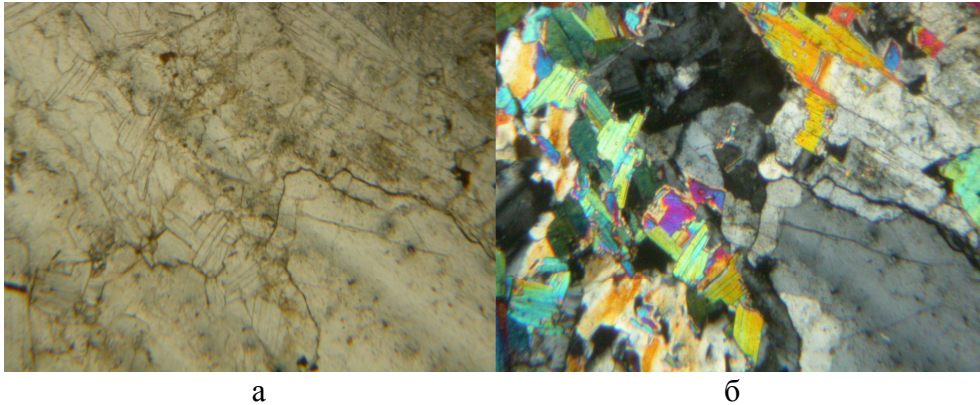


Рис. 36. Мусковит в ассоциации с салическими минералами. Бесцветный, чешуйчато-таблитчатый с весьма совершенной спайностью в одном направлении (а). Яркие интерференционные окраски с максимальной $n_g - n_p = 0,033$ (б).

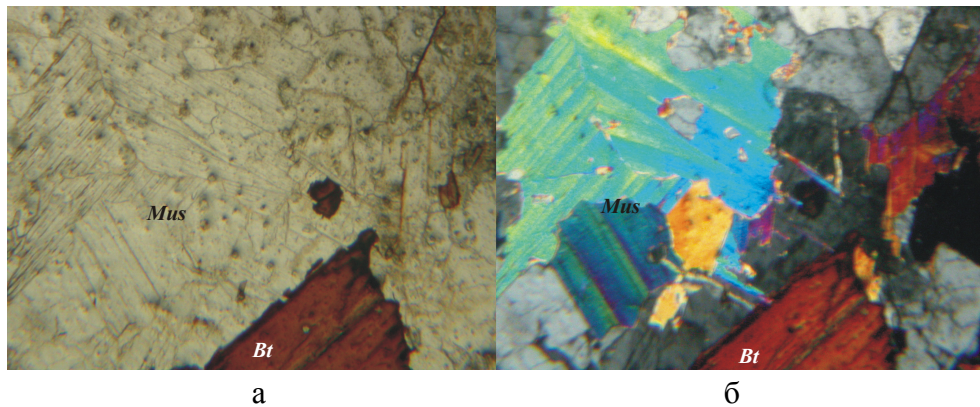


Рис. 37. Мусковит и биотит. Биотит окрашен в бурые тона, а мусковит бесцветен. Спайность весьма совершенная вдоль удлинения чешуйчатых и таблитчатых форм зерен слюдястых минералов (а). Собственная окраска бурого биотита затушевывает интерференционную, у мусковита она чистая и яркая – $n_g - n_p = 0,031$ (б).

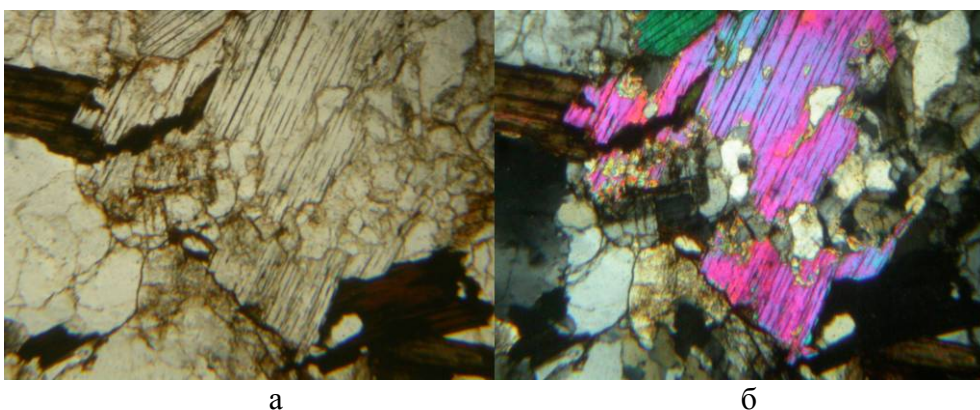


Рис. 38. Биотит и мусковит. Биотит окрашен в темно-бурые тона, мусковит – в светлые, спайность весьма совершенная вдоль удлинения таблитчатых форм зерен (а). Собственная окраска бурого биотита затушевывает интерференционную, а у мусковита она чистая и яркая – $n_g - n_p = 0,031$. Погасания минералов близки к прямым (б).

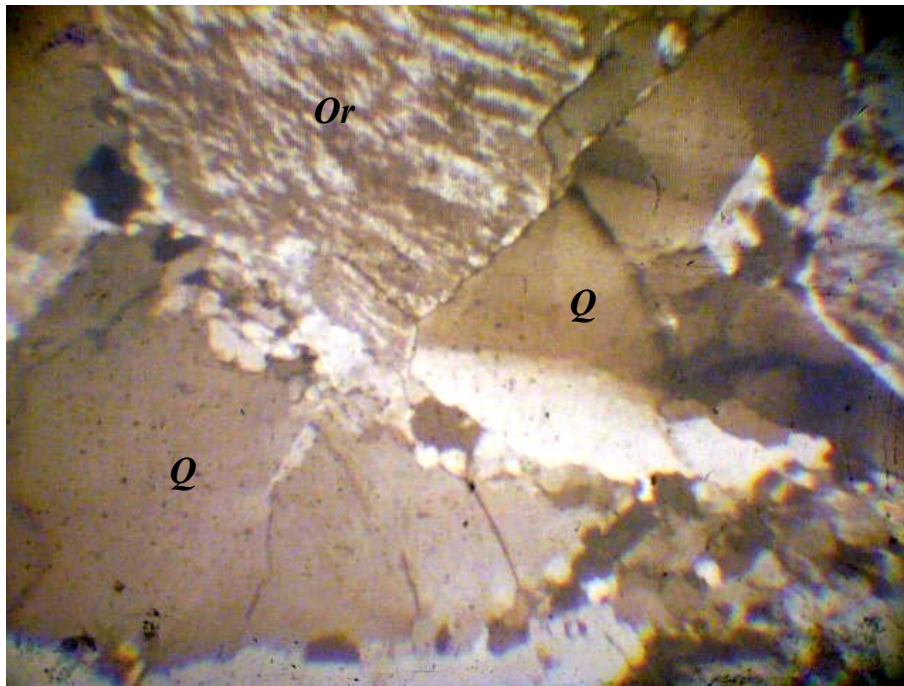


Рис. 39. Кварц в ассоциации ортоклаз-пертитом. Николи +. Минерал ксеноморфен, спайность несовершенная, интерференционные окраски I порядка с максимальными белыми ($n_g - n_p = 0,009$). Погасание мозаичное и волнистое.

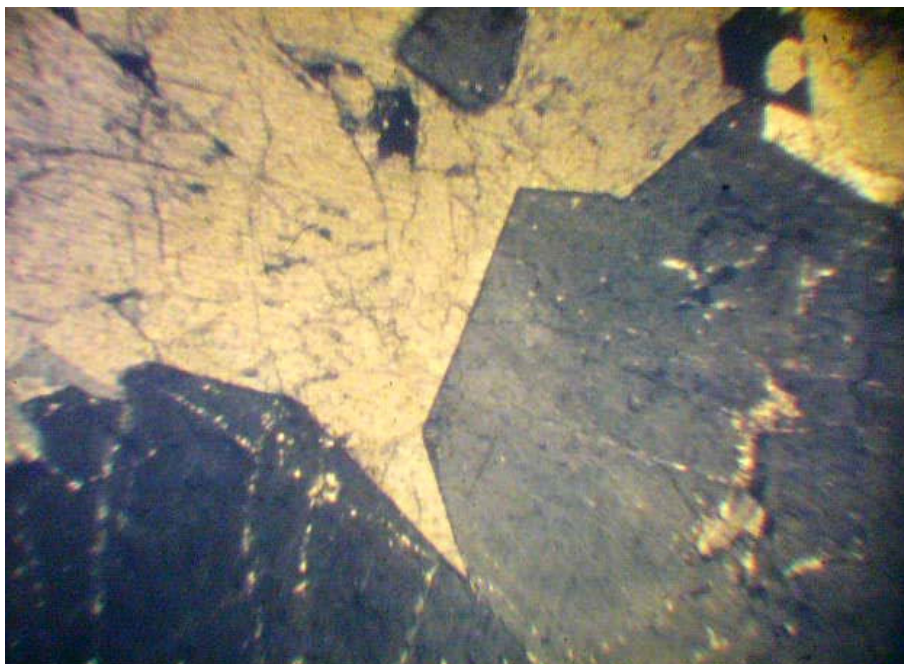


Рис. 40. Нефелин на фоне авгита. Николи +. Видны идиоморфные короткопризматические формы кристаллов, темно-серые интерференционные окраски ($n_g - n_p = 0,006$), несовершенная спайность и трещиноватость, заполненная вторичными продуктами.

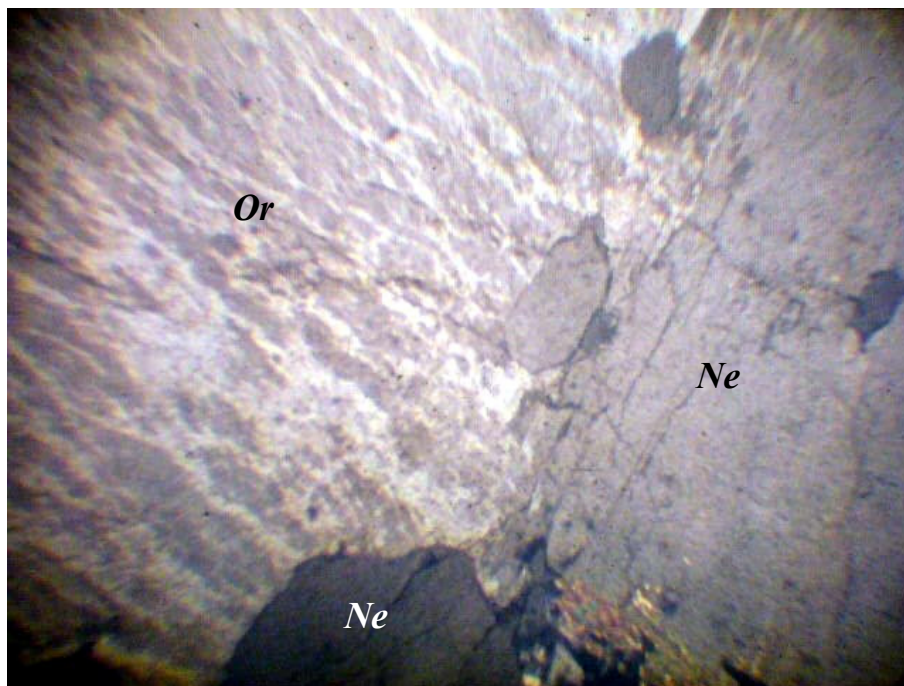


Рис. 41. Нефелин и ортоклаз–пертит. Николи +. Нефелин имеет гипидиоморфные очертания, короткопризматические формы, рельеф более высокий (III группа), чем у ортоклаза (II группа). Сила двойного лучепреломления 0,006. Погасание однородное. Ортоклаз серый с пертитовыми вростками альбита (белое).

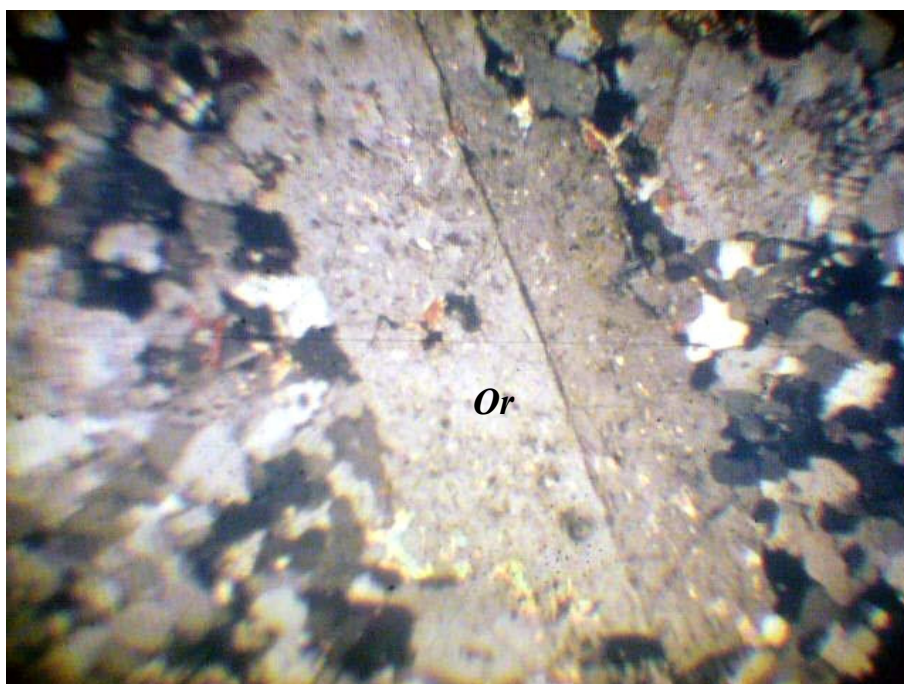
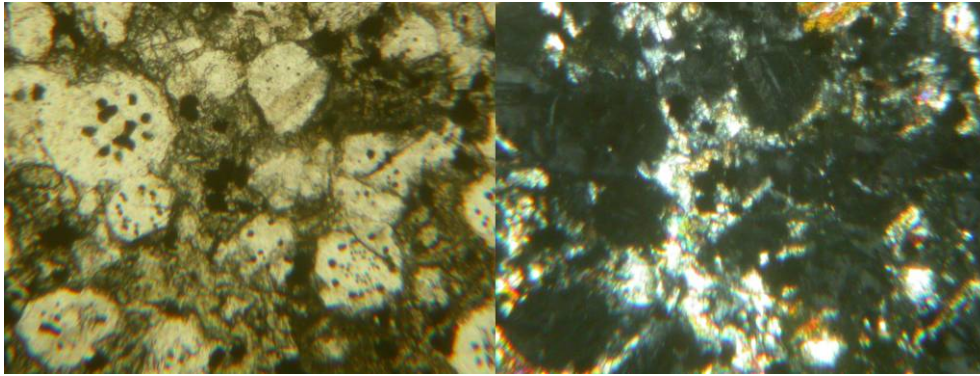


Рис. 42. Ортоклаз. Николи +. Таблитчатая форма, гипидиоморфные очертания, интерференционная окраска серая I порядка ($n_g - n_p = 0,006$). Погасание двойниковое и однородное в отдельных индивидах двойника.



а

б

Рис. 43. Лейцит. Бесцветен и имеет изометричные формы зерен, резкий отрицательный рельеф, темные включения вмещающих пород по зонам роста минерала (а). Изотропен (б).

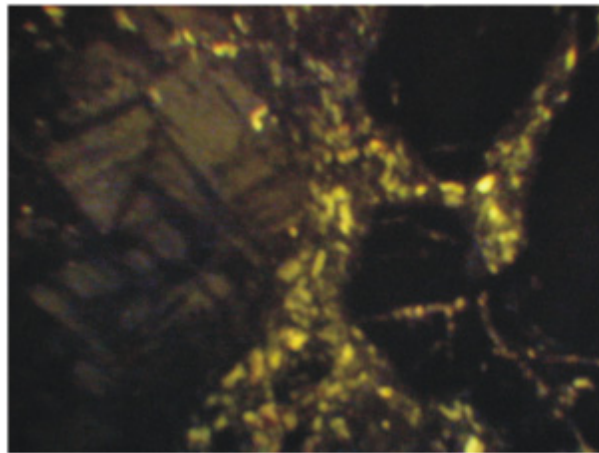


Рис. 44. Лейцит. Николи +. Изометричные формы зерен, изотропия, в отдельных кристаллах (1) слабопросматриваемая анизотропия и выявляемое решетчатое строение минерала.

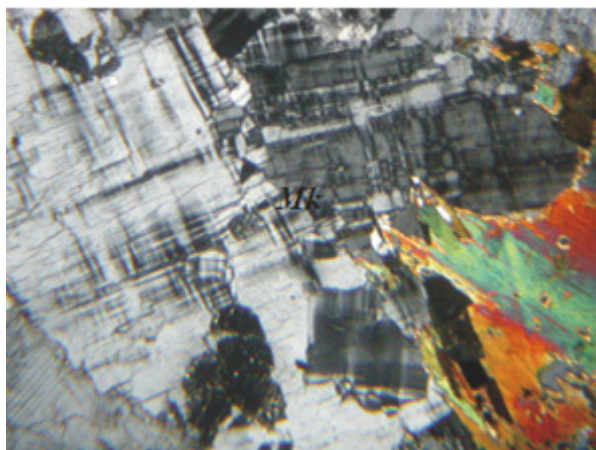


Рис. 45. Микроклин. Николи +. Таблитчатые формы зерен, тонкое решетчатое двойникование, мелкие трещины катаклаза, сила двойного лучепреломления $\sim 0,007$.

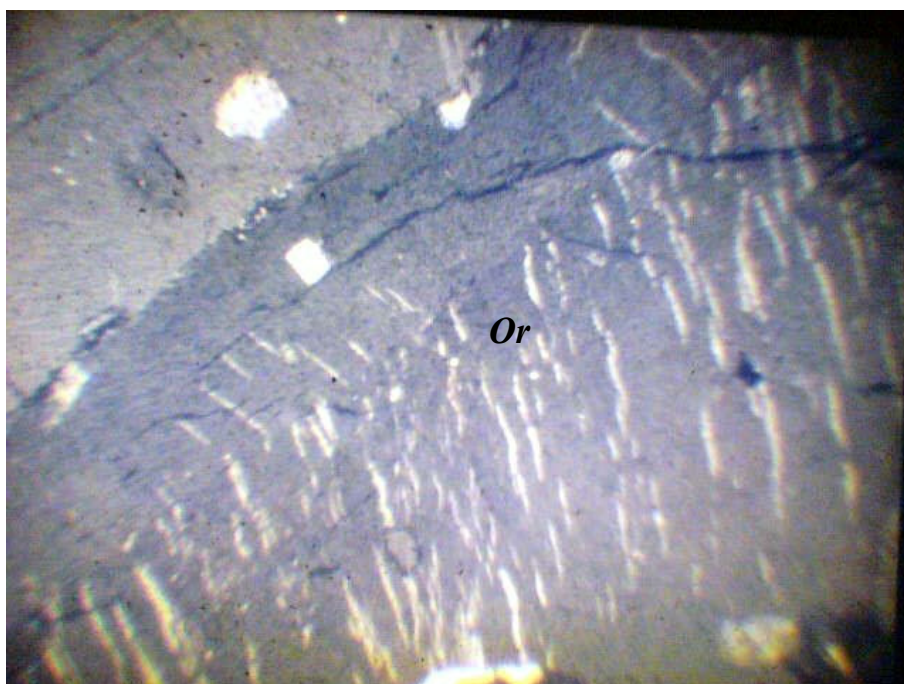


Рис. 46. Ортоклаз. Николи +. Изогнутая таблитчатая форма. Виден двойниковый шов, пертитовые вроски (светлое), ориентированные под одним углом к двойниковому шву («перистая» рябь). Сила двойного лучепреломления – 0,006.



Рис. 47. Микроклин. Николи +. Форма близка к изометричной. Характер погасания решётчатый. Сила двойного лучепреломления ~ 0,007.

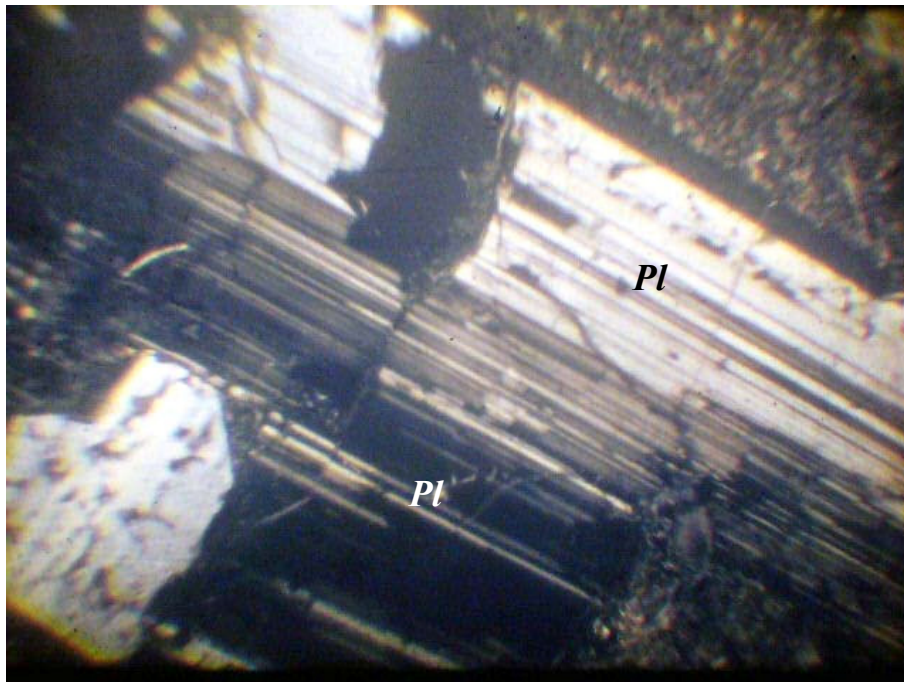


Рис. 48. Плагиоклаз. Николи +. Форма таблитчатая.
Характер погасания двойниковый полисинтетический.
Максимальная интерференционная окраска белая – $n_g - n_p \sim 0,009$.

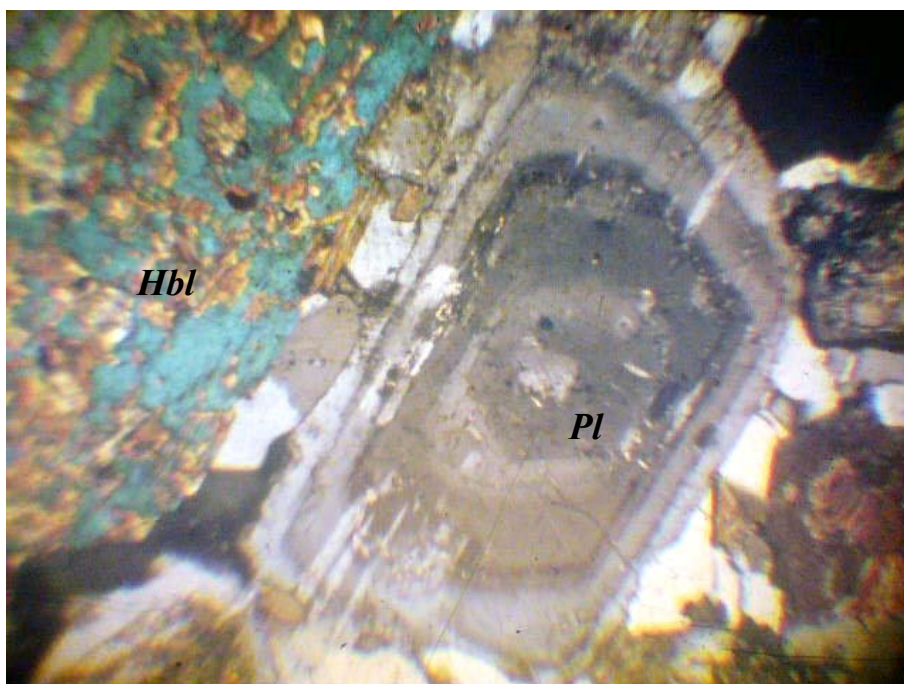


Рис. 49. Плагиоклаз. Николи +. Форма таблитчатая.
Характер погасания зональный, выявляющий соответствующую
внутреннюю структуру минерала. Ассоциация с кварцем и роговой обманкой.

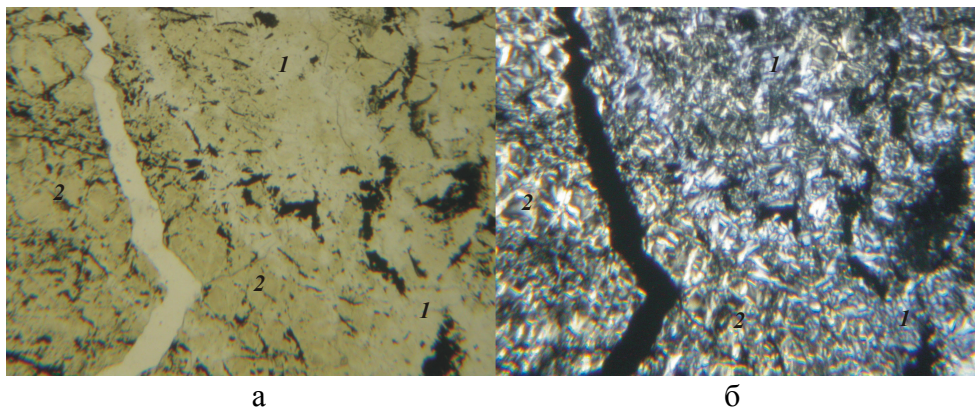


Рис. 50. Серпентин ряда антигорит-дженкинсит. Антигорит (1) светлый, дженкинсит (2) зеленовато-бурый (а). Минералы чешуйчатые с низкой силой двойного лучепреломления: у антигорита – 0,006, у дженкинсита – 0,010. Погасание прямое (б).

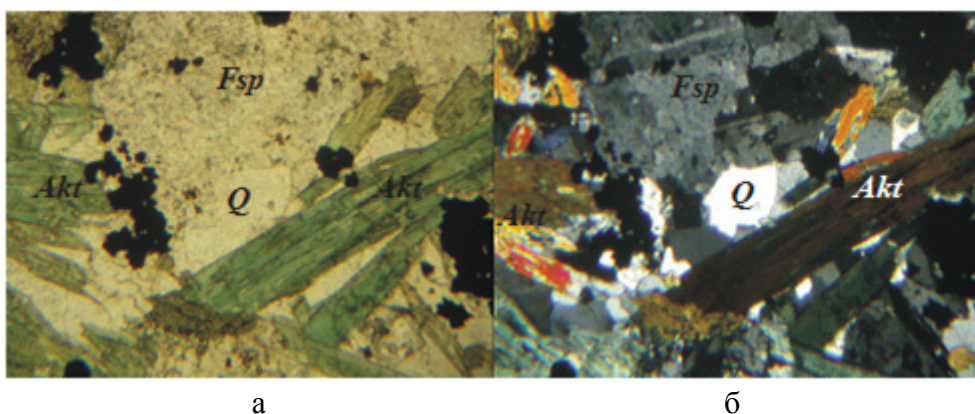


Рис. 51. Актинолит в ассоциации с кварцем и щелочными полевыми шпатами. Актинолит зеленовато-голубоватый, удлиненно-призматический (а), с углом погасания до 28° (б).

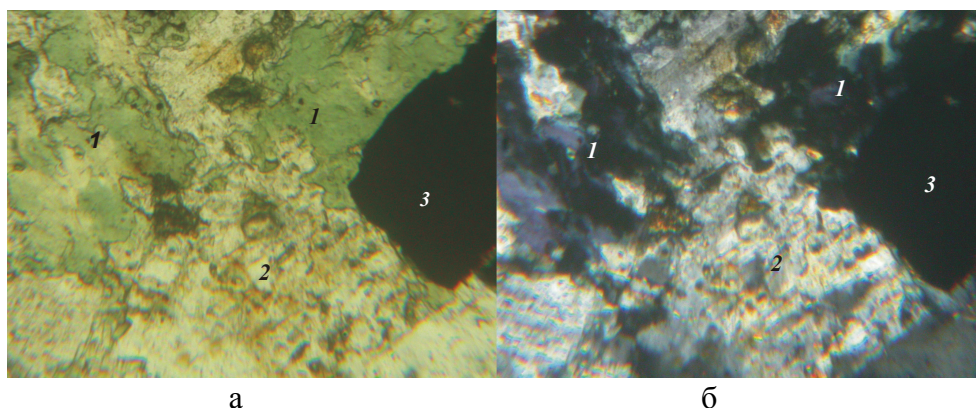


Рис. 52. Хлорит (1) в ассоциации с измененными полевыми шпатами (2) и магнетитом (3). Цвет хлорита зеленый, плеохроирующий до желтоватого, форма зерен чешуйчатая (а). Цвета интерференции низкие ($n_g - n_p$ до 0,006) с проявлениями аномальных индигово-синих окрасок (б).

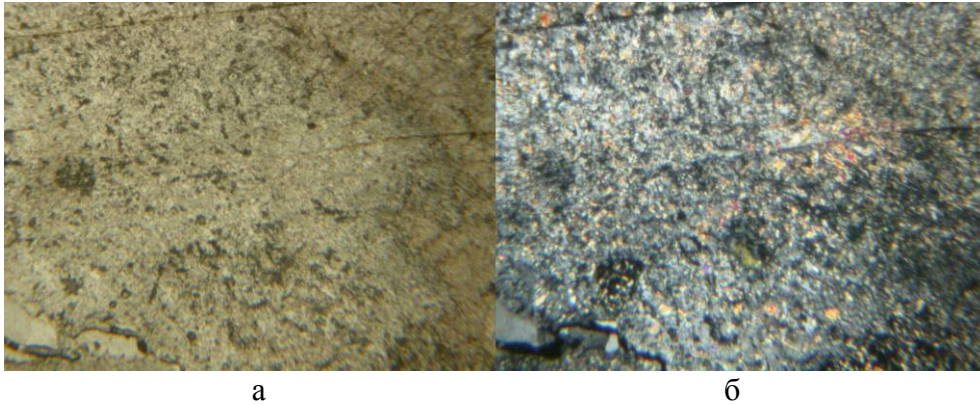


Рис. 53. Серицит в плагиоклазе. Тонкочешуйчатый агрегат с низким рельефом (а) и интерференционной окраской I порядка (б).

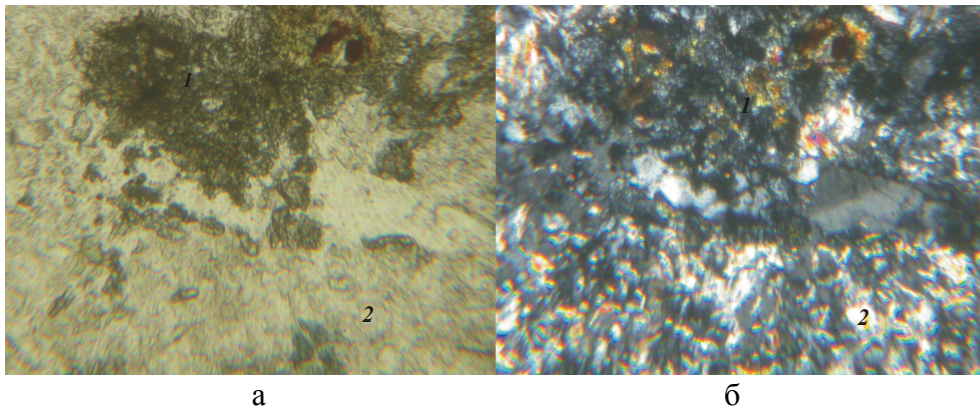


Рис. 54. Агрегат соссюрита (1) и серицита (2) в полевых шпатах. В соссюрите входят высокопреломляющие минералы: цоизит, клиноцоизит и карбонаты, придающие агрегату темный цвет. Низкопреломляющий агрегат серицита выглядит светлым (а). В соссюрите просматриваются аномальные интерференционные окраски (б).

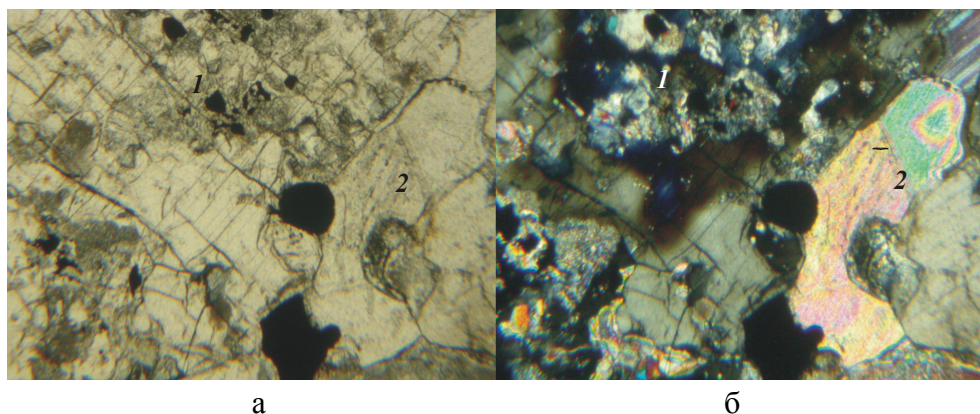
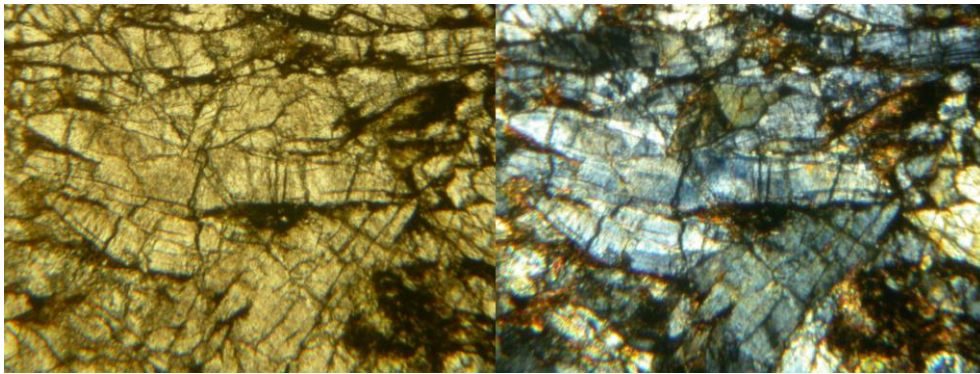


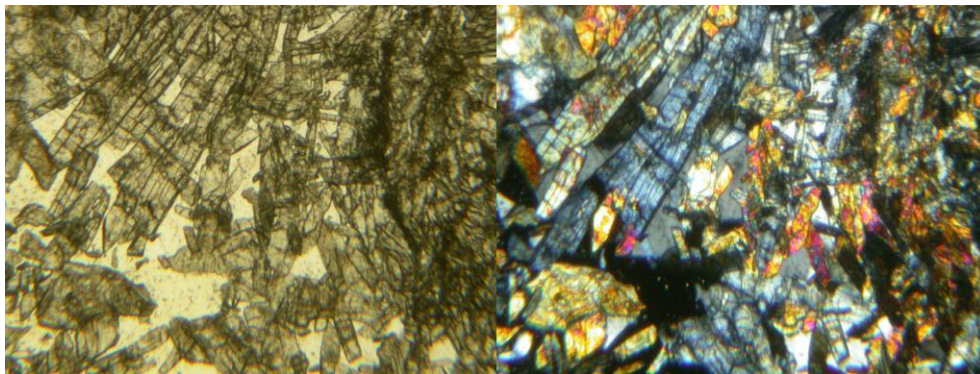
Рис. 55. Цоизит (1) с кальцитом (2). Светлый, призматический, с совершенной спайностью и поперечными трещинами отдельности (а). Сила двойного лучепреломления $n_g - n_p = 0,007$. Видны аномальные индигово-синие интерференционные окраски (б).



а

б

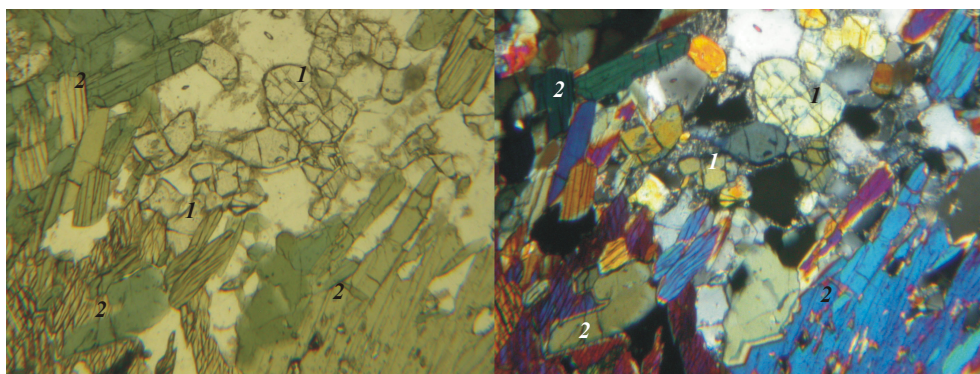
Рис. 56. Цоизит. Слабоокрашенный, призматический, с совершенной спайностью и поперечными трещинами отдельности (а). Сила двойного лучепреломления $n_g - n_p = 0,007$. Видны аномальные индигово-синие интерференционные окраски (б).



а

б

Рис. 57. Клиноцоизит. Удлиненно-пластинчатые формы зерен, желтоватые окраски, спайность совершенная (а). Интерференционные окраски аномальные I порядка $n_g - n_p = 0,005-0,020$ (б).



а

б

Рис. 58. Клиноцоизит (1) в ассоциации с актинолитом (2). Короткопризматические кристаллы, слабая желтоватая окраска, спайность совершенная по призме, резко выраженный рельеф и шагреневая поверхность (а). Максимальная $n_g - n_p = 0,015$, угол погасания близок к прямому (б).

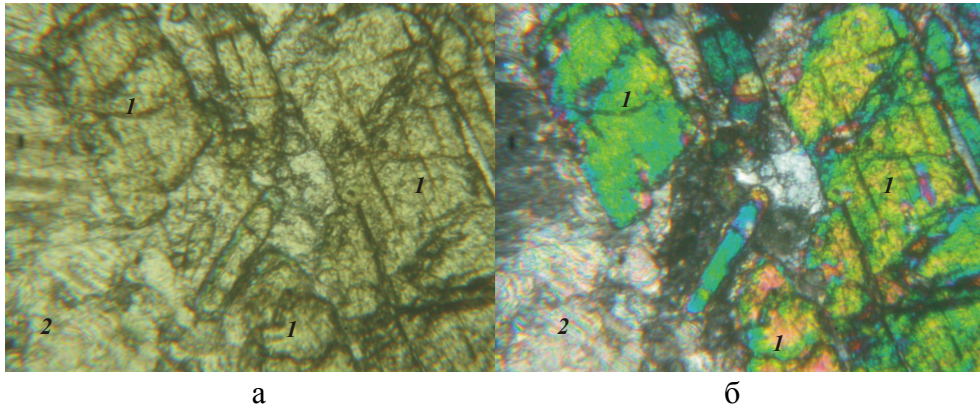


Рис. 59. Эпидот (1) в ассоциации с кальцитом (2). Минерал зеленовато-желтый с совершенной спайностью по удлинению кристаллов (а). Сила двойного лучепреломления до 0,050, углы погасания косые (б).

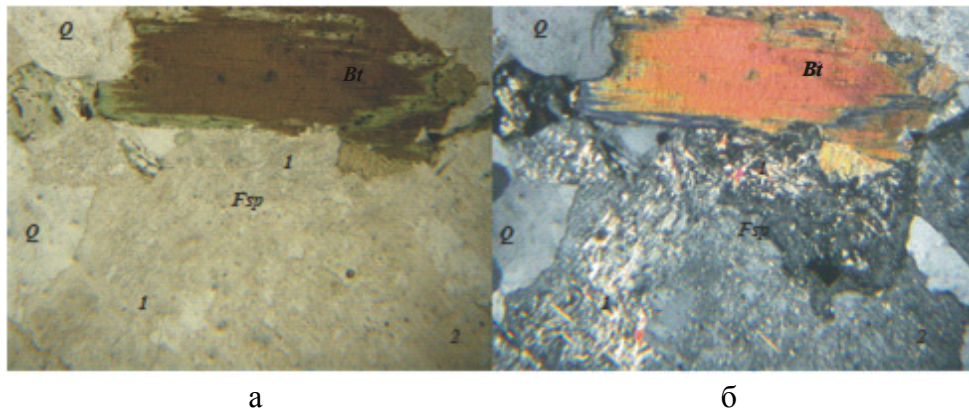


Рис. 60. Серицит и пелит в полеовом шпате в ассоциации с кварцем и хлоритизированным биотитом. Пелит имеет буровато-серые цвета, тонкочешуйчатые агрегаты (а). Серицит имеет интерференционные окраски желтые до красных (1), а пелит (2) имеет серые интерференционные окраски (б).

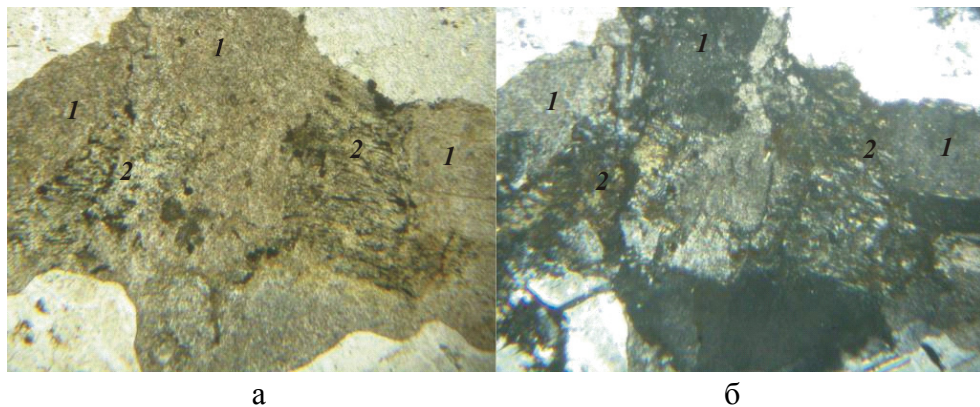


Рис. 61. Пелит (1) и соссюрит (2) в полевых шпатах. Пелит буроватый образует тонкодисперсный налет по щелочным полевым шпатам. Соссюрит образует сероватый мелкозернистый агрегат по плагиоклазам.

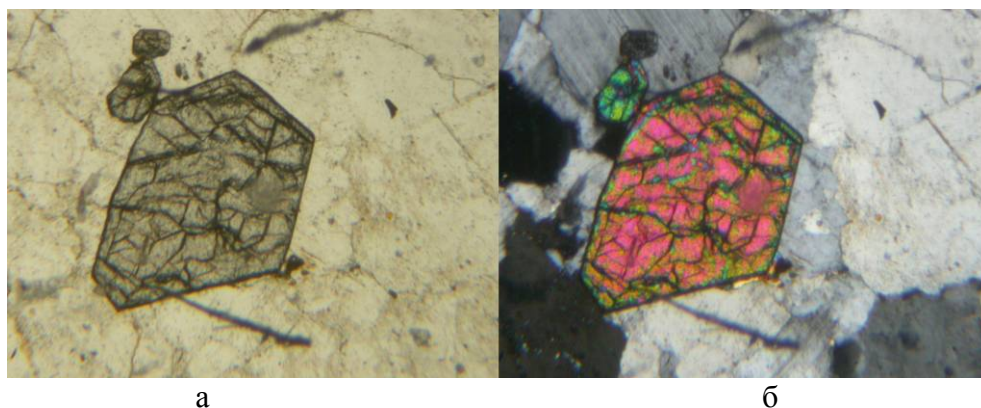


Рис. 62. Циркон. Дипирамидально-призматический, с высоким показателем преломления (1,92–2,02), с ясной спайностью (а). Интерференционная окраска высокая $n_g - n_p$ до 0,055, погасание прямое (б).

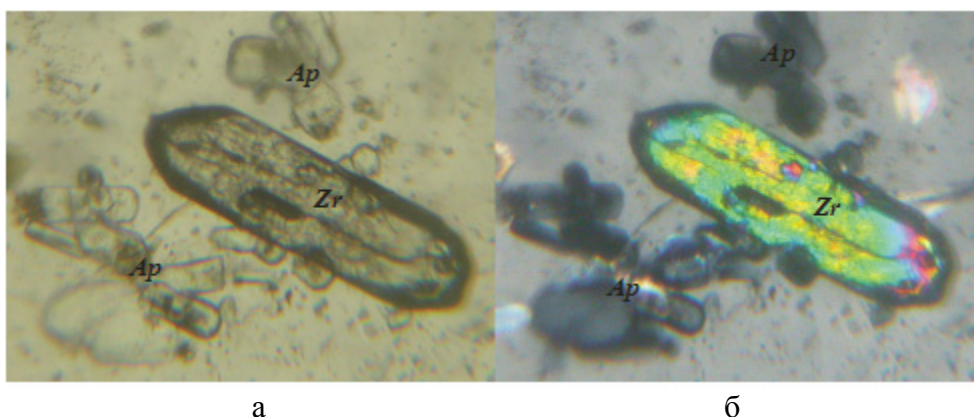


Рис. 63. Циркон в ассоциации с апатитом. Циркон дипирамидально-призматический, с резко выраженным рельефом и ясной спайностью по призме (а). Интерференционные окраски II порядка – $n_g - n_p \sim 0,039$ (б). Апатит бесцветный, короткопризматический, с отчетливым рельефом (а). С максимальной силой двойного лучепреломления 0,005 (б).

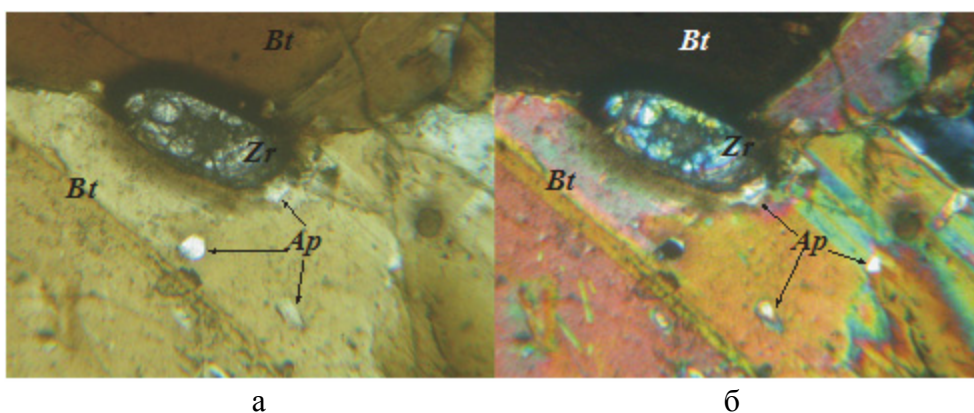


Рис. 64. Циркон и апатит в биотите. Вокруг зерен циркона видны темные ореолы – «плеохроичные дворники» (а, б).

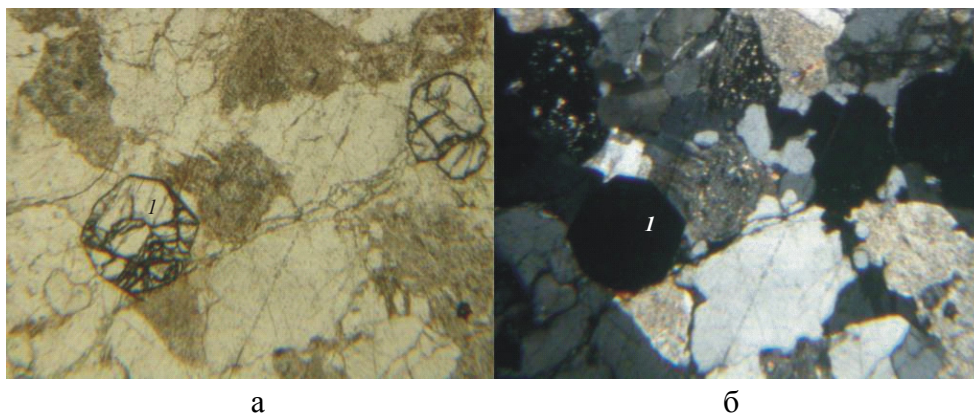


Рис. 65. Гранат на фоне салических минералов. Изометричная форма зерен, очертания изометричные и тетрагонтриоктаэдрические (1), резко выраженный рельеф и шагреневая поверхность, несовершенная спайность (а). Минерал изотропен (б).

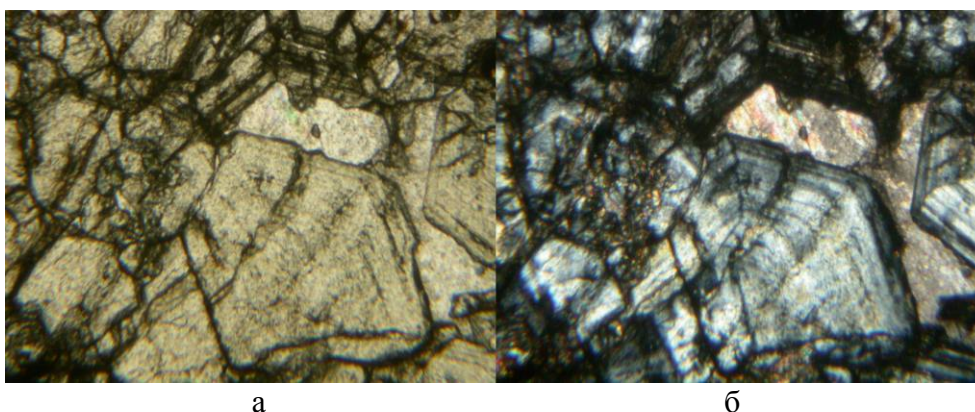


Рис. 66. Гранат зональный. Зеленовато-бурая окраска, резко выраженный рельеф и шагреневая поверхность, слабо выраженная зональность, несовершенная спайность, наличие трещиноватости (а). Анизотропия ($n_g - n_p$ до 0,009), зональность в интерференционной окраске (б). В межзерновых промежутках гранатов – кальцит.

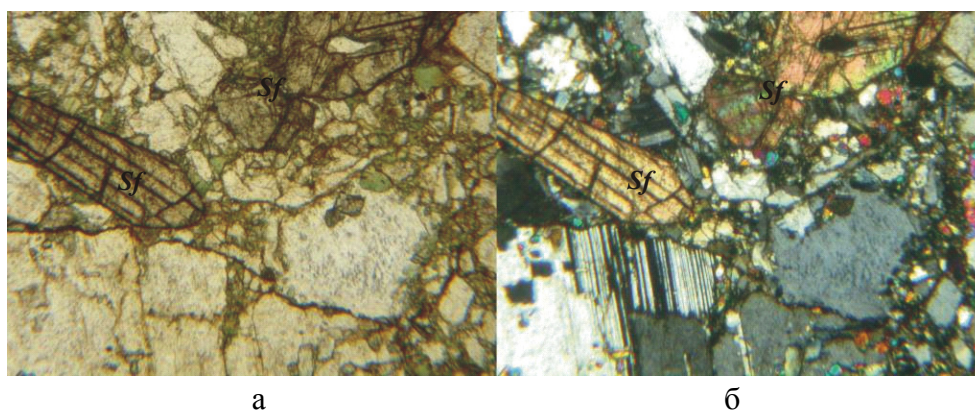


Рис. 67. Сфен. Буроватые, призматические, ромбовидные идиоморфные кристаллы с совершенной спайностью, резко выраженным рельефом и шагреновой поверхностью (а). Перламутровая интерференционная окраска, $n_g - n_p$ более 0,100 (б).

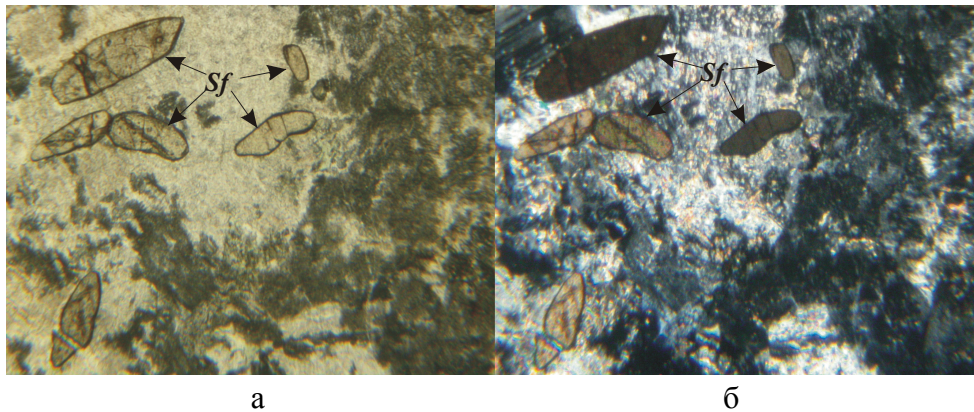


Рис. 68. Сфен в сосюритизированном плагиоклазе. Буроватые, призматические, ромбовидные идиоморфные кристаллы, резко выраженным рельефом и шагреновой поверхностью (а). Перламутровая интерференционная окраска, $n_g - n_p$ более 0,100 (б).

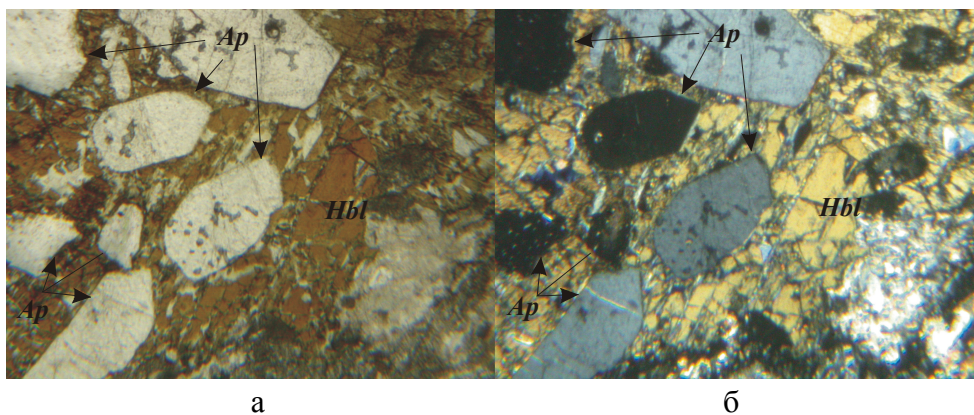


Рис. 69. Апатит в роговой обманке. Бесцветные призматические кристаллы с шестигранным поперечным сечением. Видна поперечная отдельность, рельеф (VI группа) сопоставим с рельефом роговой обманки (а). Интерференционные окраски серые, погасание прямое, $n_g - n_p$ до 0,006 (б).

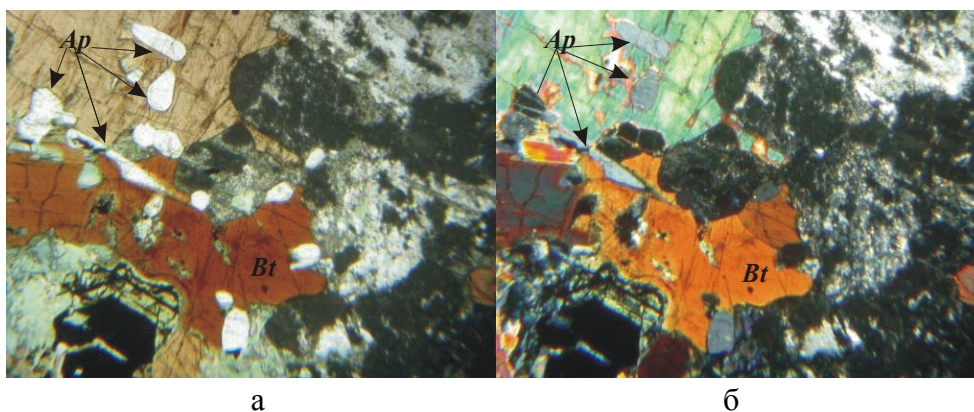


Рис. 70. Апатит в биотите. Бесцветные призматические кристаллы с шестигранным поперечным сечением. Видна поперечная отдельность, рельеф (VI группа) выше, чем у биотита (а). Интерференционные окраски серые, погасание прямое, $n_g - n_p$ до 0,006 (б).

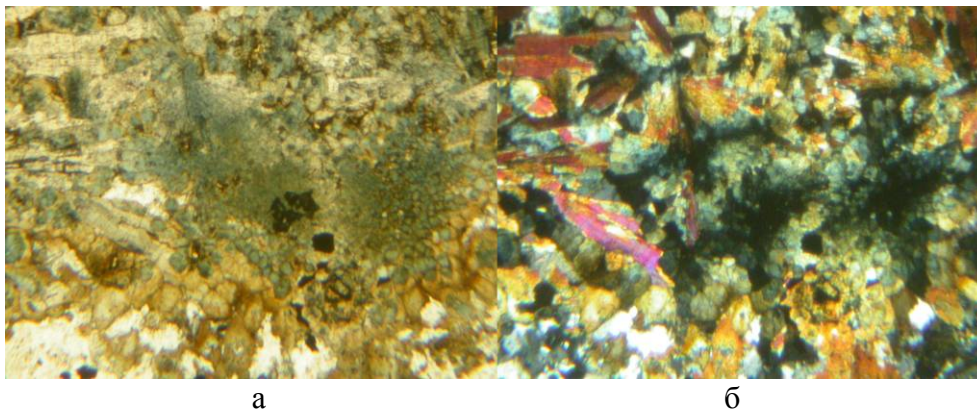


Рис. 71. Турмалин зеленый. Веерные, радиально-лучистые агрегаты, удлинённо-призматические формы зерен, плеохроизм в голубовато-зеленых и желтых тонах, резкий рельеф и шагреневая поверхность (а). Сила двойного лучепреломления 0,020, угол погасания прямой (б).

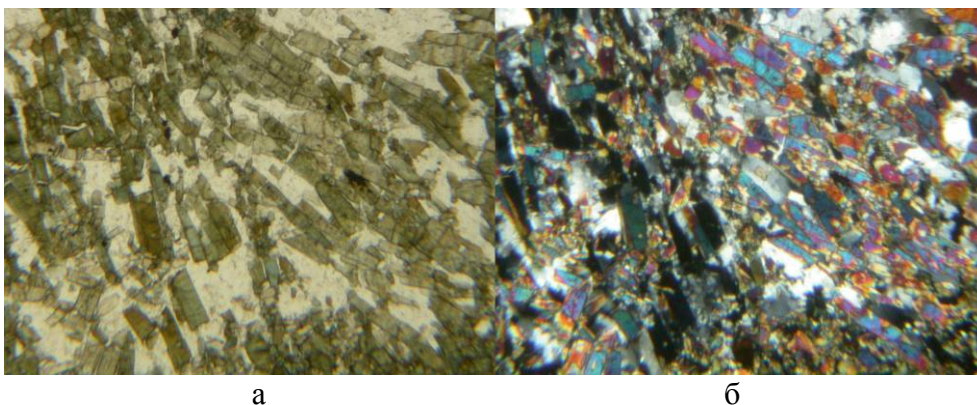


Рис. 72. Турмалин. Зеленовато-бурый, плеохроирующий, удлинённо-призматический, без спайности, с поперечной отдельностью, с отчетливым (VI группа) рельефом (а). Прямое погасание, $n_g - n_p = 0,023$ (б).

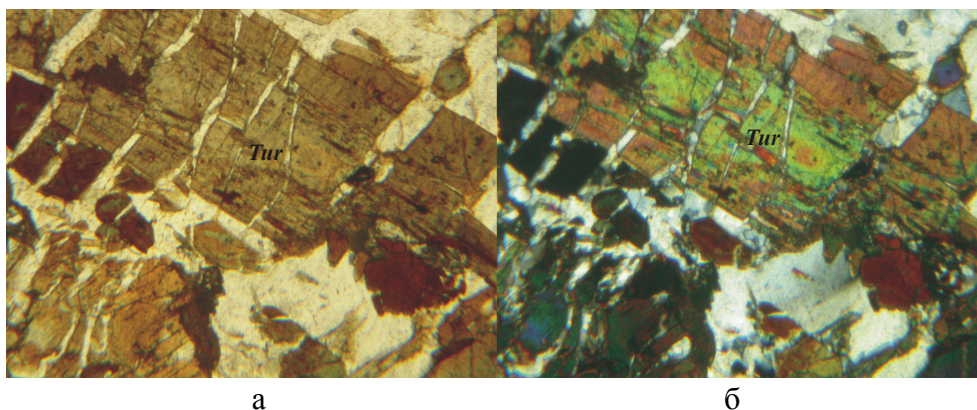


Рис. 73. Турмалин. Коричневый, плеохроирующий, удлинённо-призматический, хрупкий, без спайности с поперечной отдельностью, рельеф отчетливый (VI группа) (а). Прямое погасание, $n_g - n_p = 0,030$ (б).

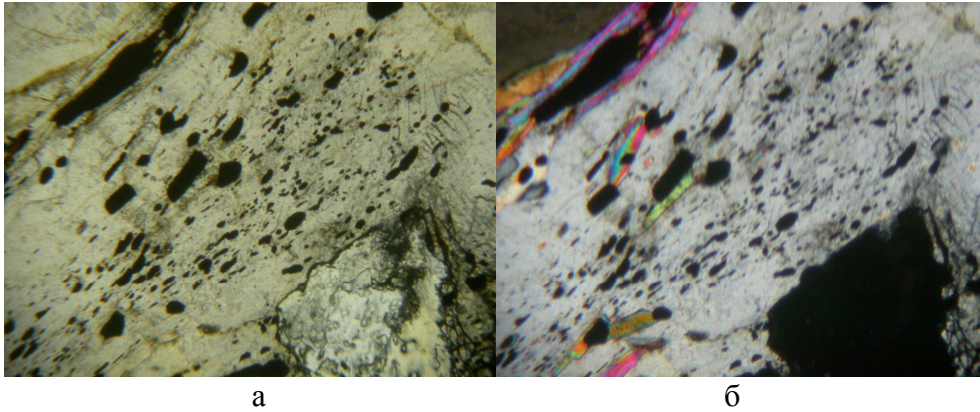


Рис. 74. Кордиерит. Слабоокрашенный, призматический, с плоховыраженной спайностью, с вростками минералов окружающих пород (а). Сила двойного лучепреломления 0,009, угол погасания прямой (б).

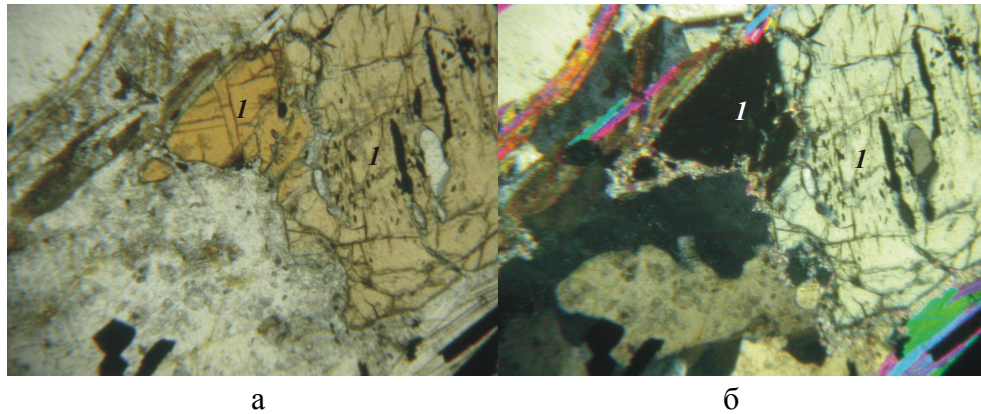


Рис. 75. Ставролит (1). Окраска плеохроирующая в желтовато-бурых тонах, призматическая форма зерен, отчетливая спайность в двух направлениях, резко выраженный рельеф и шагреньевая поверхность, $n - 1,75$ (а). Интерференционная окраска I порядка, прямые углы погасания. Видны включения захороненного органического вещества и окружающих минералов, $n_g - n_p - 0,010-0,015$ (б).

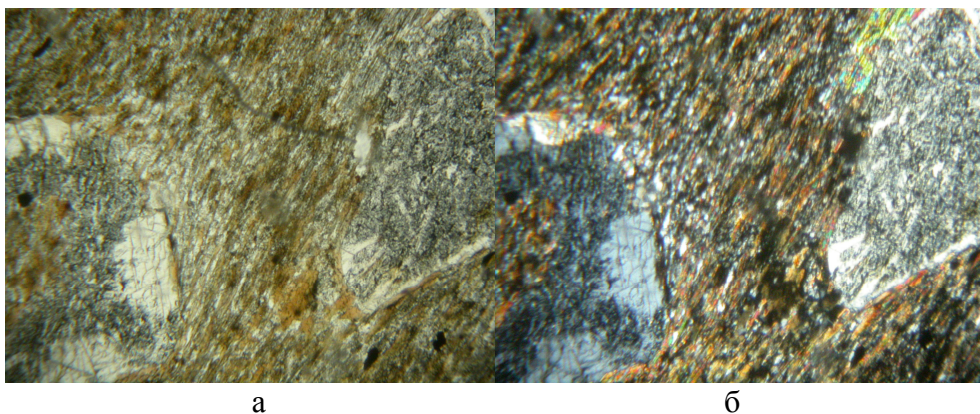


Рис. 76. Андалузит. Порфиробласты андалузита имеют призматическую форму с ромбовидным сечением. Внутренняя часть кристаллов содержит включения компонентов окружающих пород. Спайность отчетливая (а), интерференционная окраска I порядка, $n_g - n_p$ до 0,011.

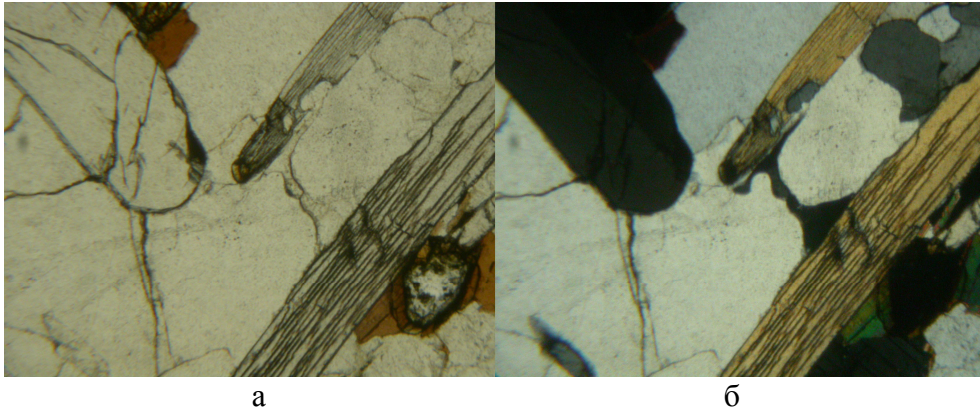


Рис. 77. Дистен. Призматическая форма зерен, резкий рельеф и шагреновая поверхность, совершенная спайность, пластинчатость (а). Сила двойного лучепреломления до 0,016, угол погасания до 32° (б).

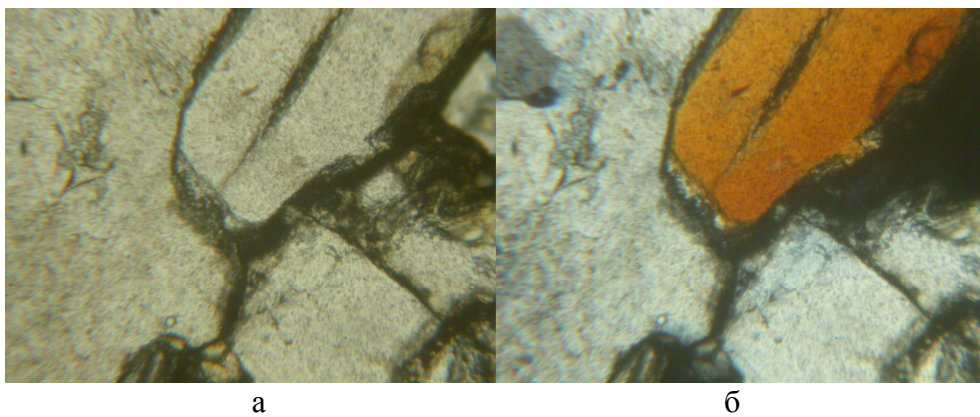


Рис. 78. Дистен. Призматическая форма зерен, идиоморфные очертания, резкий рельеф и шагреновая поверхность (VII группа), пластинчатость (а). Сила двойного лучепреломления 0,015, угол погасания до 32° (б).

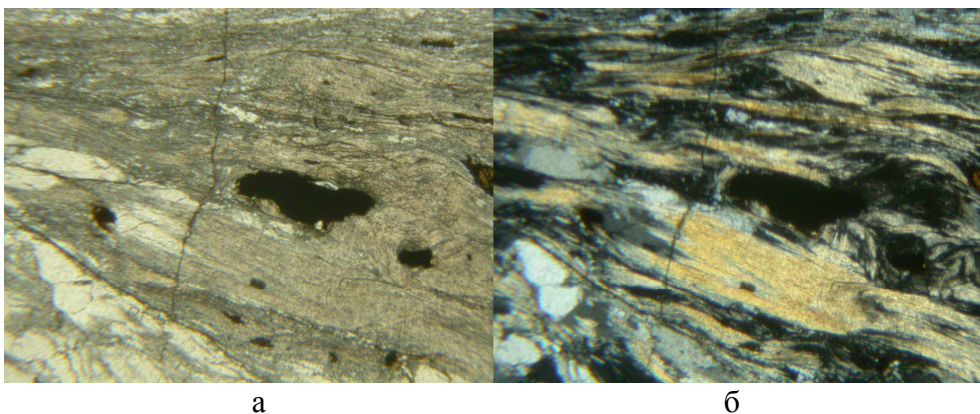


Рис. 79. Силлиманит. Игольчато-волокнистая форма зерен, буроватая окраска, кустистые агрегаты, веретенообразные скопления кристаллов, спайность совершенная, резко выраженный рельеф и шагреновая поверхность (а). Сила двойного лучепреломления до 0,022, погасание прямое (б).

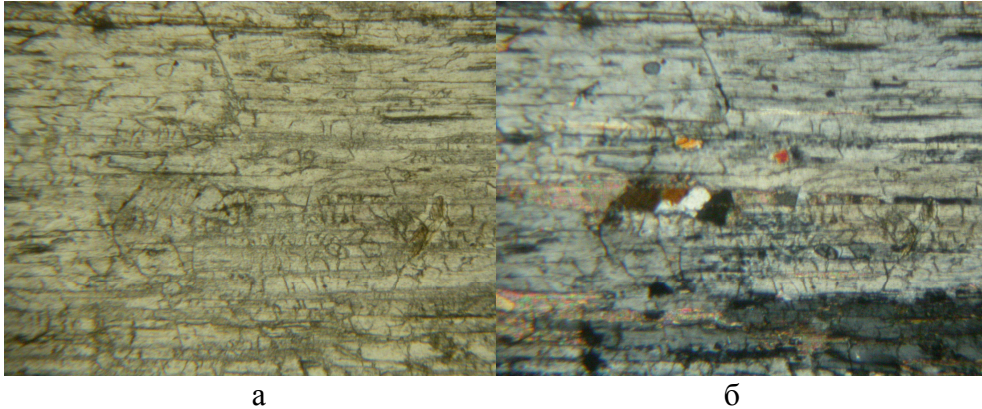


Рис. 80. Волластонит. Бесцветный, пластинчатый («дощатый шпат»), с отчетливым рельефом и шагреновой поверхностью (а). Интерференционная окраска серая до желтой ($n_g - n_p \sim 0,014$), угол погасания до 39° (б).

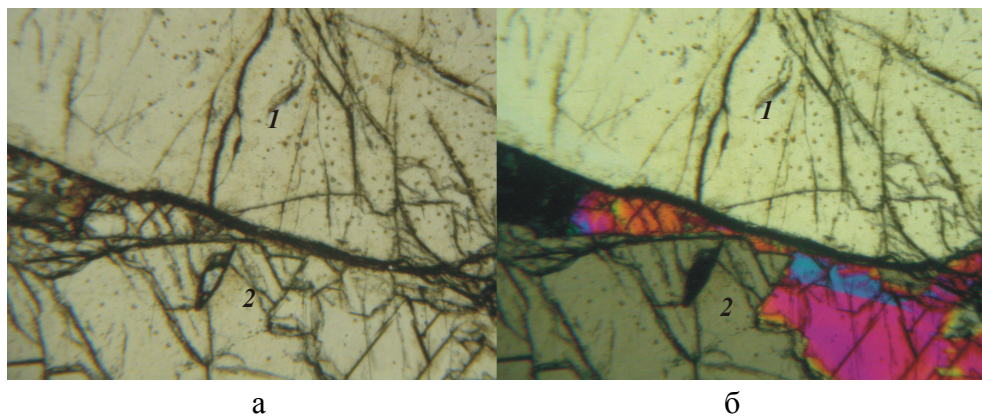


Рис. 81. Волластонит (1) с везувианом (2). Волластонит бесцветный, пластинчатый, с хорошей спайностью, с отчетливым рельефом и шагреновой поверхностью (а). Интерференционная окраска серая до желтой (б). Везувиан бесцветный, зернистый, с резко выраженным рельефом ($n > 1,700$) и шагреновой поверхностью, спайность плохо выраженная (а). Характерны аномальные интерференционные окраски, $n_g - n_p = 0,006$, угол погасания прямой (б).

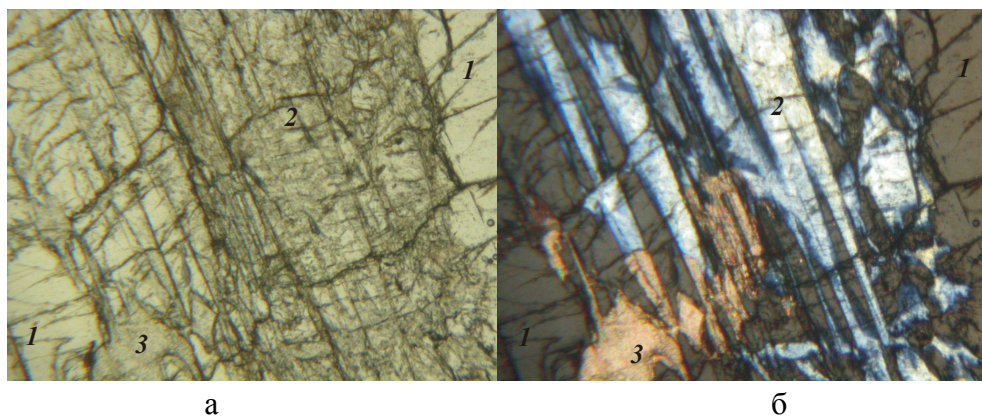
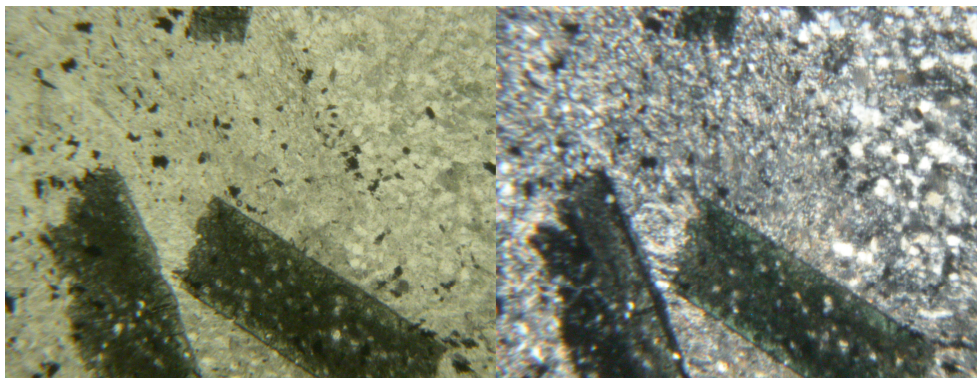


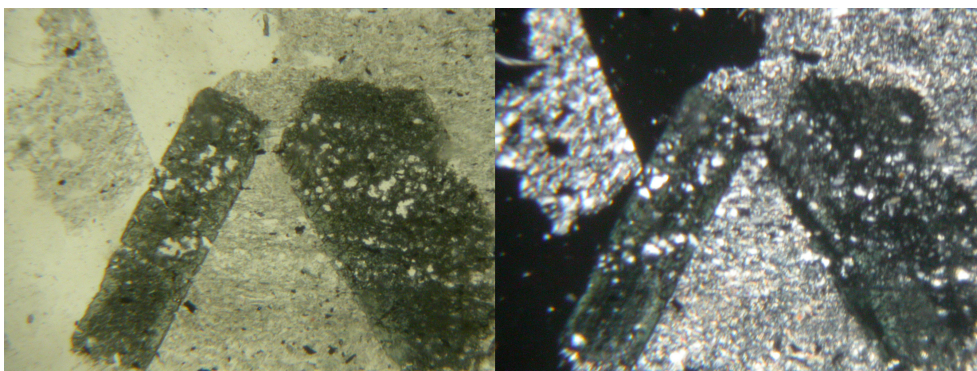
Рис. 82. Волластонит (1) с везувианом (2) и кальцитом (3). Волластонит пластинчатый, дощатый, с хорошей спайностью (а). Максимальная интерференционная окраска серая (б). Везувиан бесцветный, зернистый, с резко выраженным рельефом ($n > 1,700$) (а). Характерны аномальные индигово-синие интерференционные окраски (б).



а

б

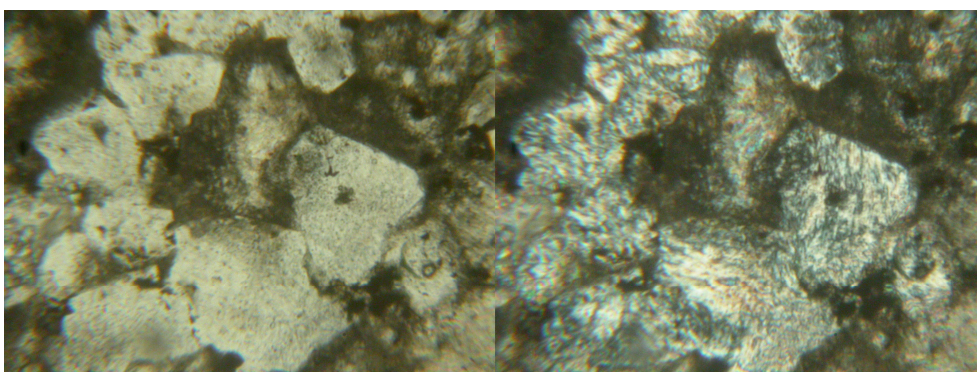
Рис. 83. Хлоритоид – оттрелит. Пластинчато-таблитчатые формы зерен, зеленый цвет, резкий рельеф и шагреневая поверхность ($n > 1,700$), спайность совершенная (а). Видна внутренняя структура песочных часов, интерференционная окраска ($n_g - n_p \sim 0,006$) затушевана собственной зеленой окраской (б).



а

б

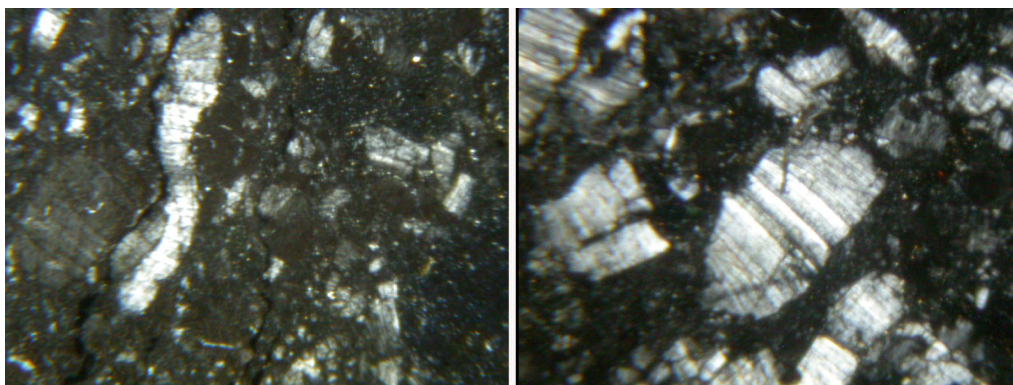
Рис. 84. Хлоритоид – оттрелит. Идиоморфные-таблитчатые формы зерен, зеленый цвет (а). Видна внутренняя структура песочных часов, интерференционная окраска низкая, скрытая под собственной зеленой окраской (б).



а

б

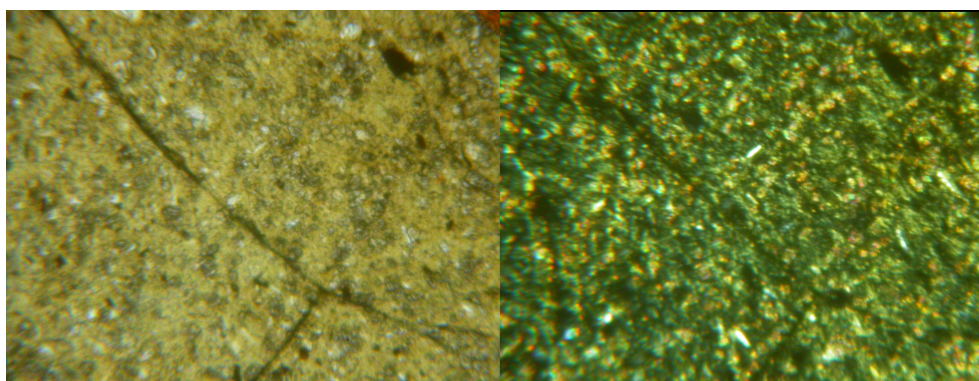
Рис. 85. Брусит. Бесцветный, листовато-волокнистый, в розетковидных агрегатах (а). Максимальная $n_g - n_p \sim 0,021$ (б).



а

б

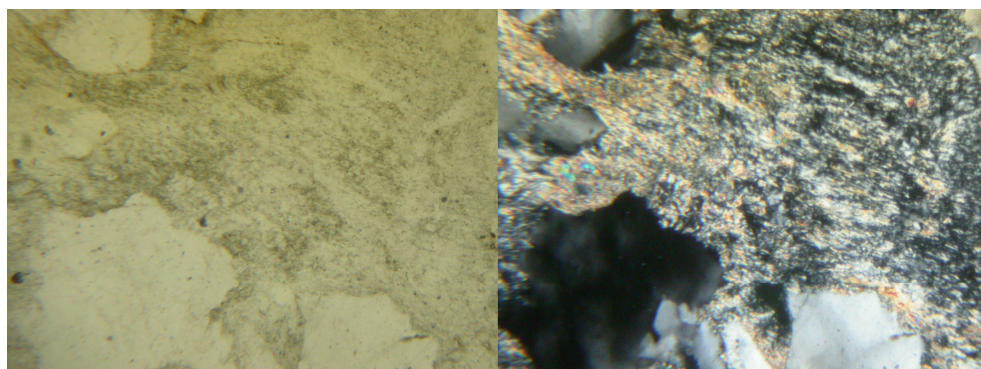
Рис. 86. Каолинит. Короткостолбчатые (б), червеобразные (а) агрегаты. Серая интерференционная окраска, поперечная спайность и отдельность. Прямые углы погасания.



а

б

Рис. 87. Шамозит. Тонкозернистый бурый агрегат (а) с низкой интерференционной окраской (б).



а

б

Рис. 88. Гидрослюда. Слаборельефные мелкочешуйчатые агрегаты (а), с интерференционной окраской до 0,025 (б).

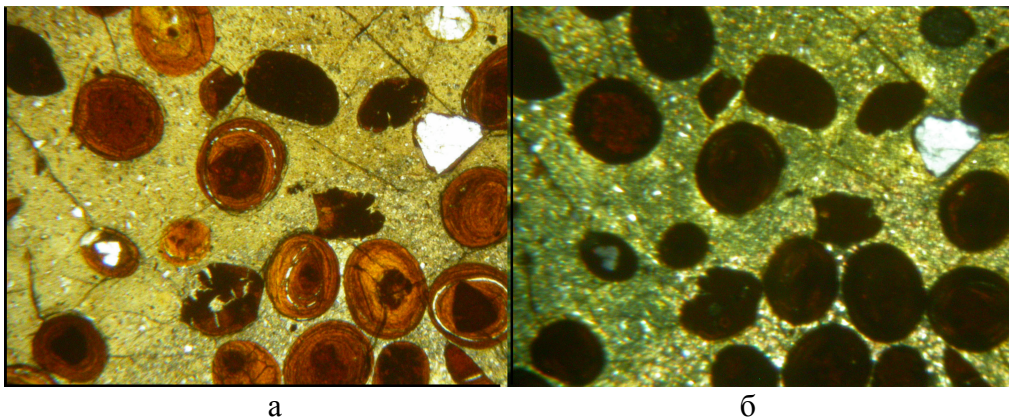


Рис. 89. Шамозит с оолитами железисто-глиноземистых минералов. Тонкозернистый агрегат лептохлорита имеет зеленовато-бурый цвет (а), низкую интерференционную окраску начала I порядка (б).

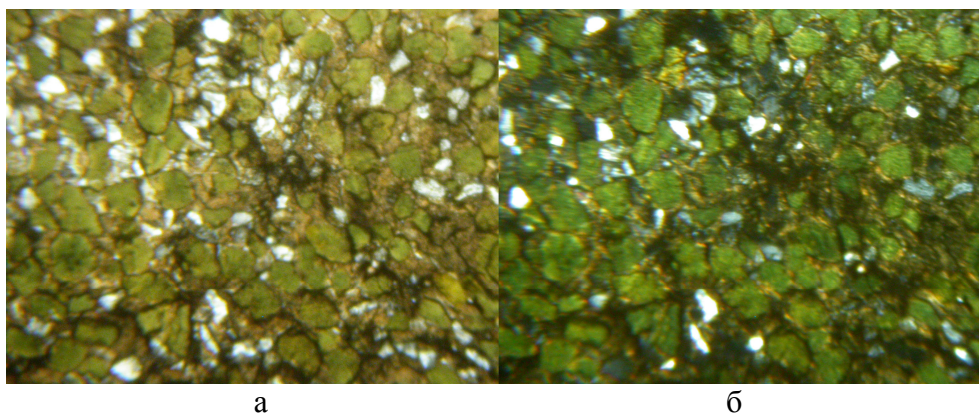


Рис. 90. Глауконит. Зернистые стяжения мелкочешуйчатых минералов. Яркие зеленовато-бурые цвета (а) и низкая интерференционная окраска I порядка (б).

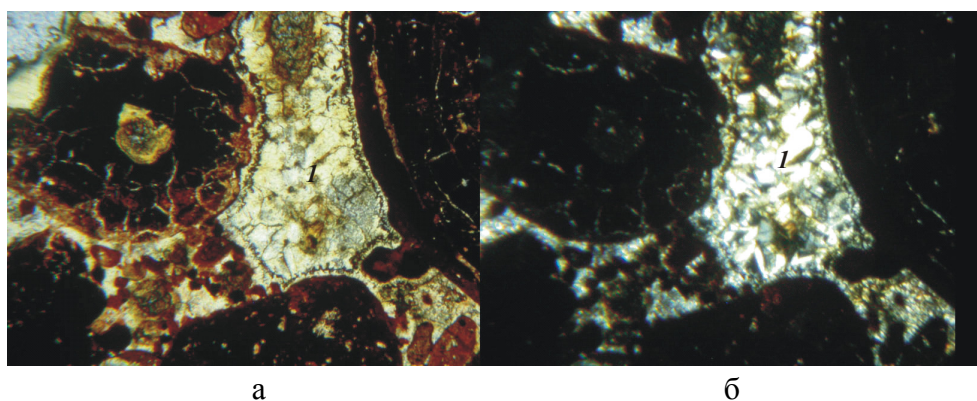


Рис. 91. Гидраргиллит (1). Друзовидные агрегаты на глиноземисто-железистых оолитах. Минерал бесцветный, призматически-зернистый, идиоморфный, с совершенной спайностью, слабым рельефом (а). Углы погасания до 30^0 и $n_g - n_p$ до 0,021 (б).

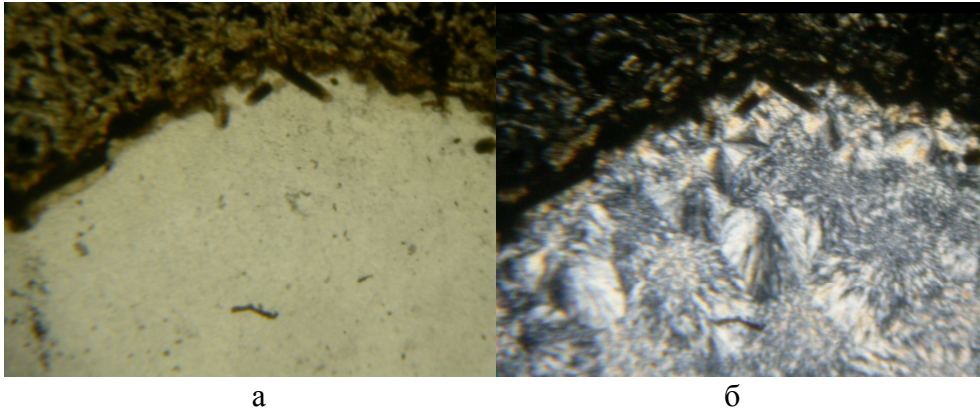


Рис. 92. Халцедон. Буроватая окраска (а), сферолитовые и ветвистые агрегаты мелких кристаллов кварца, $n_g - n_p = 0,009$ (б).

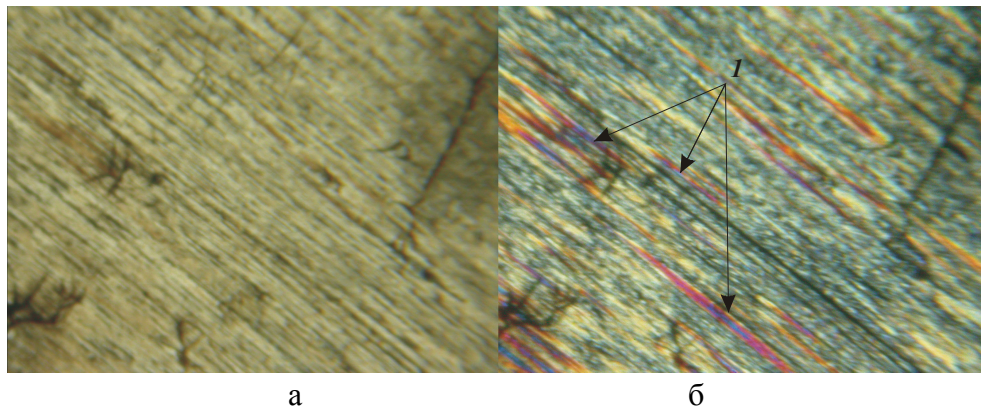


Рис. 93. Гипс. Весьма совершенная спайность (а), интерференционная окраска I порядка (б). Видны элементы замещения ангидритом (проявления с более высокой интерференционной окраской – 1).

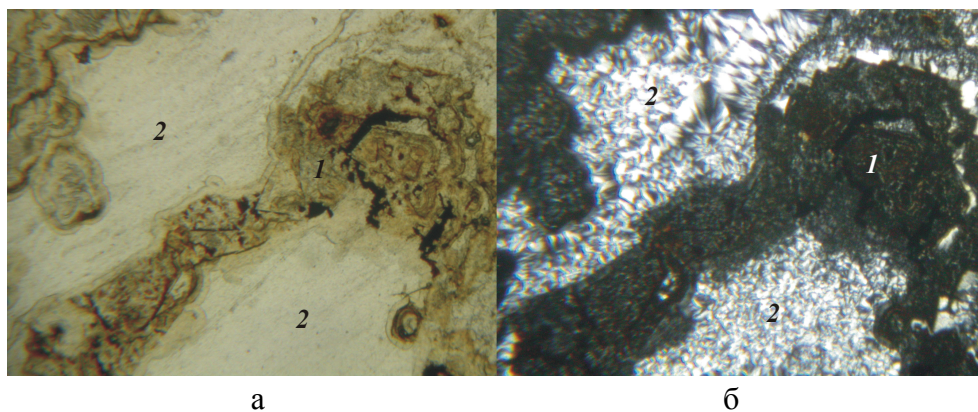
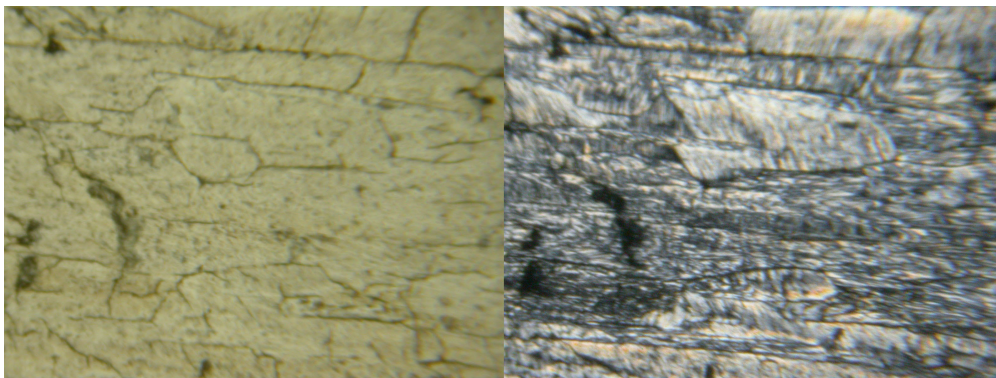


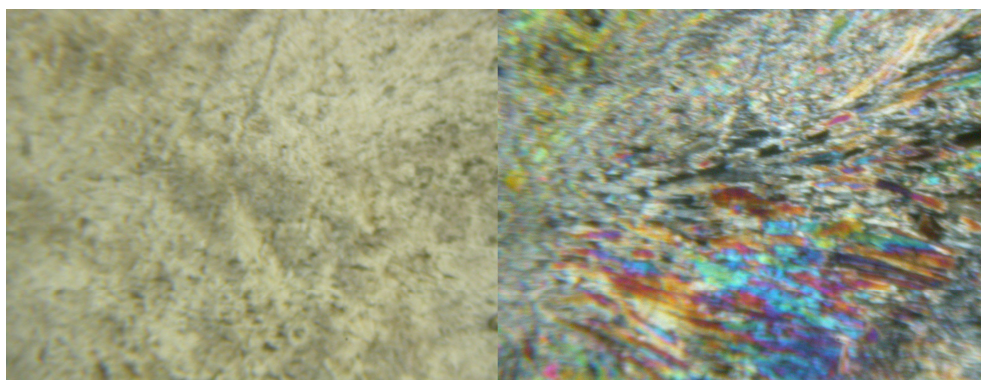
Рис. 94. Опал (1) и халцедон (2). Опал имеет буроватый цвет, резкий отрицательный рельеф (а), изотропию (б). Халцедон – более светлый (а) образует волокнистые анизотропные агрегаты, $n_g - n_p$ до 0,010 (б).



а

б

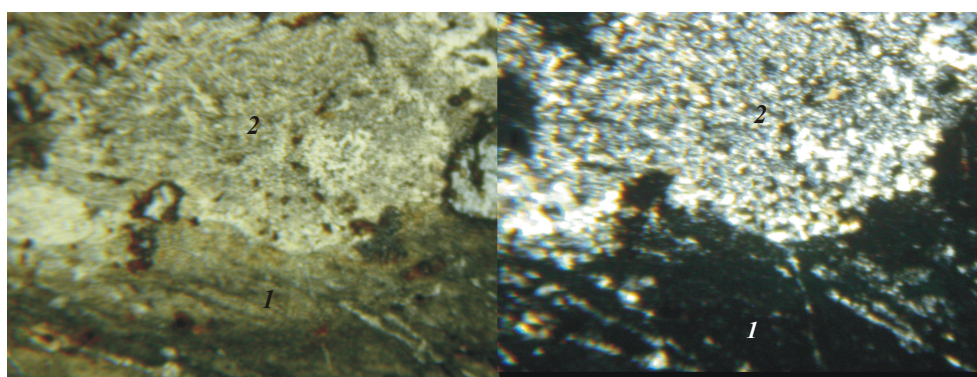
Рис. 95. Гипс. Весьма совершенная спайность (а), высокая степень дислоцированности, интерференционная окраска I порядка (б).



а

б

Рис. 96. Ангидрит. Выраженный рельеф, буроватый цвет, обусловленный примесью битуминозного вещества (а). Яркая интерференционная окраска II порядка. Удлиненно-призматическая и волокнистая форма зерен (б).



а

б

Рис. 97. Фосфатное вещество (1) в кремнистой породе (2). Высокий рельеф, буроватые оттенки (а), полная изотропия (б).

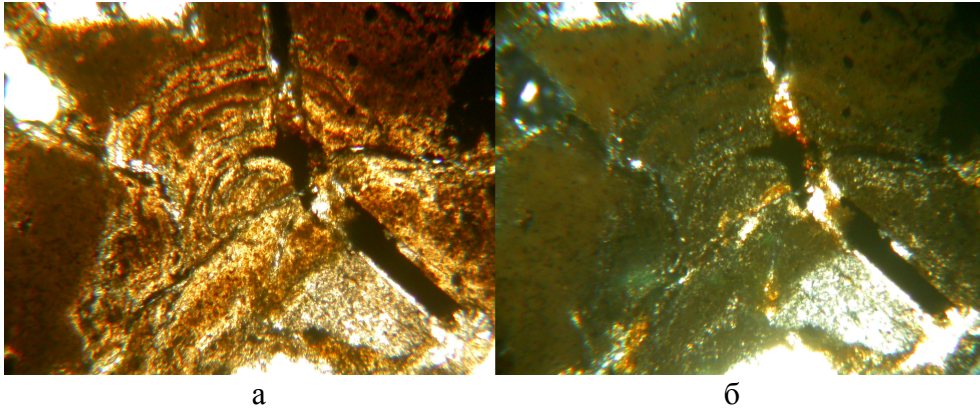


Рис. 98. Фосфатное вещество.

Концентрически-зональное строение, высокий рельеф и примесь красно-бурого битуминозного вещества (а). Изотропия (б).

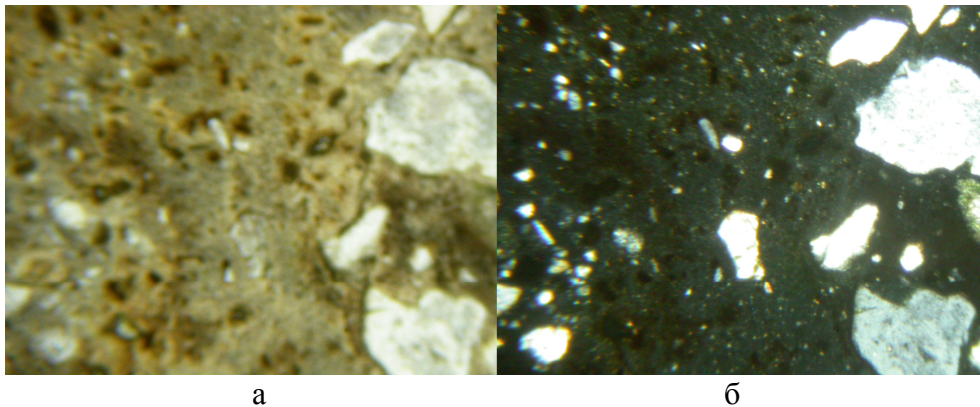


Рис. 99. Фосфатное вещество с обломками кварца. Высокий рельеф, включения буровато-черного битуминозного ОВ (а).

Фосфатное вещество изотропно (б).

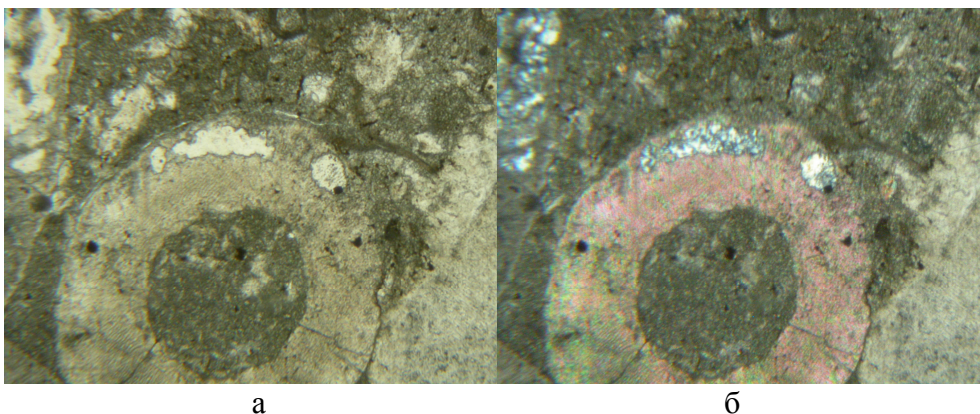
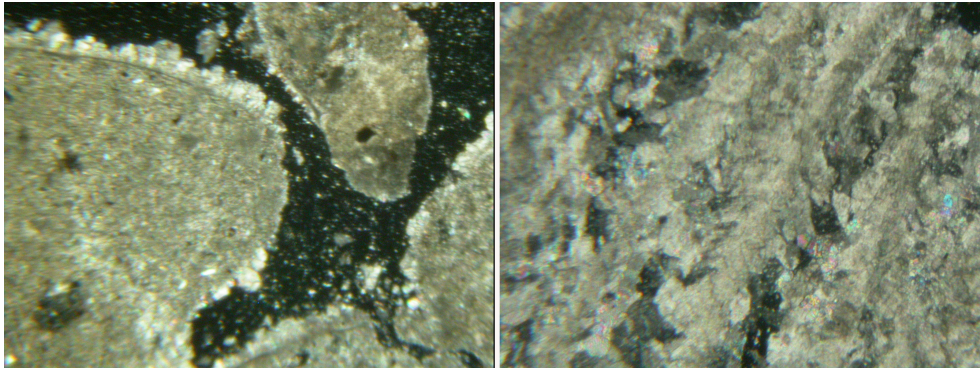


Рис. 100. Арагонит. Псевдоморфозы по карбонатным скелетам организмов.

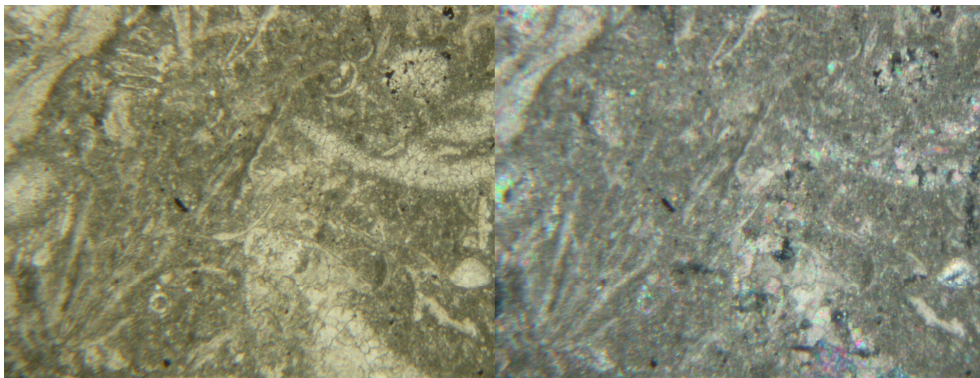
Бесцветный, со слабопроявленной спайностью (а), с перламутровой интерференционной окраской (б).



а

б

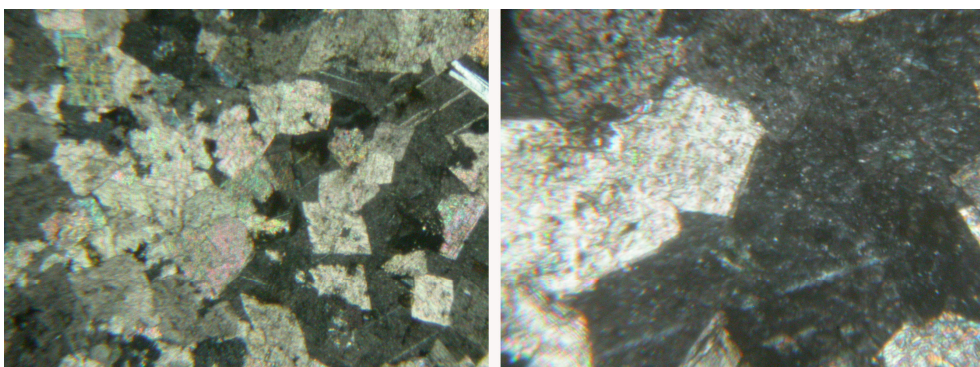
Рис. 101. Кальцит. Бесцветный, друзовидный, призматический (а), замещающий органическое вещество водорослей (б).
Характерный признак – перламутровая интерференционная окраска.



а

б

Рис. 102. Кальцит. Бесцветный и серый, содержащий рассеянное органическое вещество. Образует псевдоморфозы по остаткам различных организмов.
Характерные признаки – низкий рельеф – III - V групп (а) и перламутровая интерференционная окраска (б).



а

б

Рис. 103. Доломит (а), родохрозит (б). Идиоморфные, ромбовидные формы зерен и перламутровая интерференционная окраска. При одном николе доломит бесцветен или слабо буроват, а родохрозит окрашен в розоватые тона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусова О.Н., Михина В.В. Общий курс петрографии. – М.: Недра, 1972. – 344 с.
2. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 1–5. – М.: Мир, 1965.
3. Зубков В.В. Краткий курс общей петрографии. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 239 с.
4. Князев В.С., Кононова И.Б. Руководство к лабораторным занятиям по общей петрографии: учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1991. – 128 с.
5. Кочурова Р.Н. Основы практической петрографии. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1977. – 176 с.
6. Ларсен Э., Берман Г. Определение прозрачных минералов под микроскопом. – М.: Недра, 1965. – 465 с.
7. Лодочников В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. – М.: Недра, 1955.
8. Мурхауз В. Практическая петрография. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
9. Трёгер В.Е. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов. – М.: Госгеолтехиздат, 1958. – 185 с.
10. Флейшер М., Уилкокс Р., Матуко Дж. Микроскопическое определение прозрачных минералов. – М.: Недра, 1987. – 644 с.
11. Наумов В.В. Оптическое определение компонентов осадочных пород. Справочное пособие. – М.: Недра, 1989. – 347 с.
12. Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 480 с.

Учебное издание

СТОЛБОВА Нэля Фёдоровна

ВВЕДЕНИЕ В ОПТИЧЕСКУЮ МИНЕРАЛОГИЮ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Научный редактор *доктор геолого-минерал. наук,*
профессор А.Г. Бакиров
Компьютерная верстка *В.М. Христолюбова*
Дизайн обложки *О.Ю. Аршинова*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 31.03.2010. Формат 60х84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 3,32. Уч.-изд. л. 3,0.
Заказ 462-10. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО



ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru