

Главные породообразующие
минералы магматических
горных пород
Сазонова Л.В.

Минеральный состав горных пород

Определяется:

- 1) Составом расплава;
- 2) Условиями кристаллизации

Минералы магматических горных пород делятся:

1) **ПО ГЕНЕЗИСУ**: а) первичные (кристаллизуются непосредственно из магмы или при реакциях магма-расплав); б) вторичные (формируются в постмагматическую стадию); в) ксеногенные (чуждые);

2) **ПО КОЛИЧЕСТВУ** в породе (для первичных): а) главные (>5%); б) второстепенные (<5%); в) акцессорные (лат. – дополнительные) – редкие минералы

Салические
(фельзические
– (Si-Al-ые)

Кварц, полевые
шпаты,
фельдшпатоиды

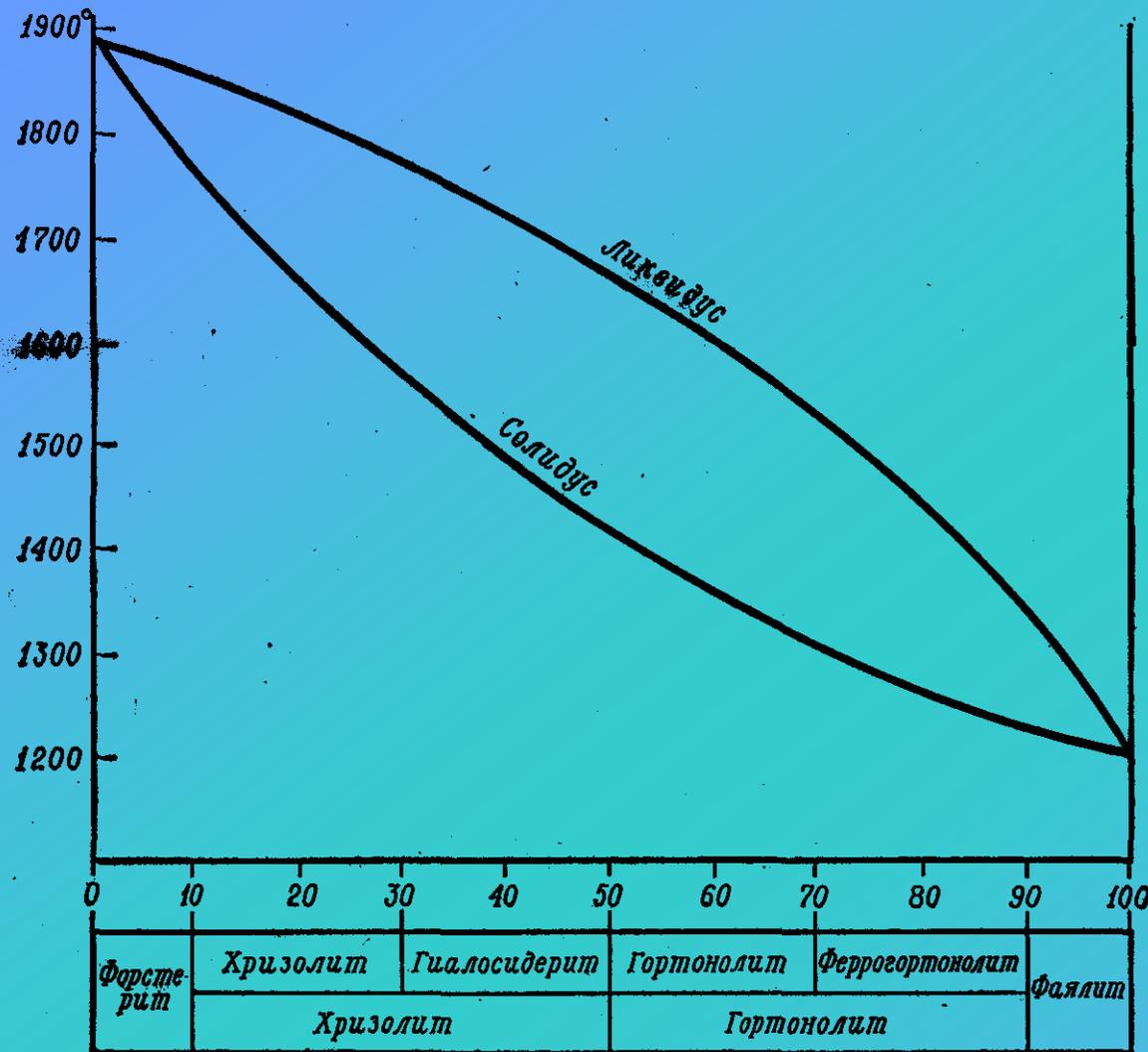
Фемические
(мафические,
цветные) -

(Fe-Mg-ые)

Оливин,
пироксены,
амфиболы, слюды

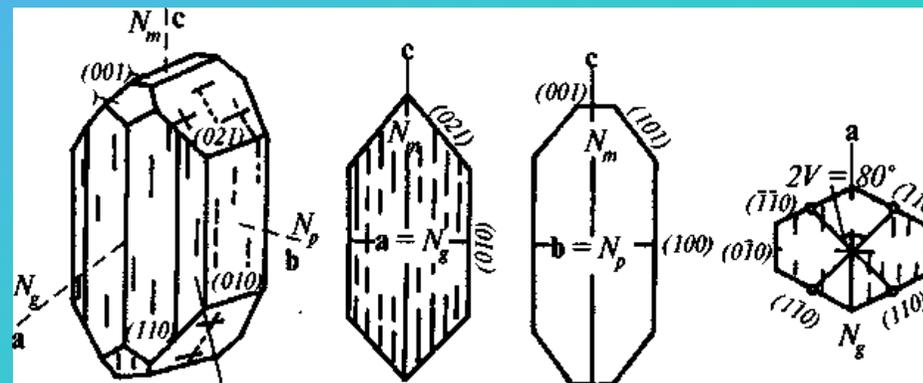
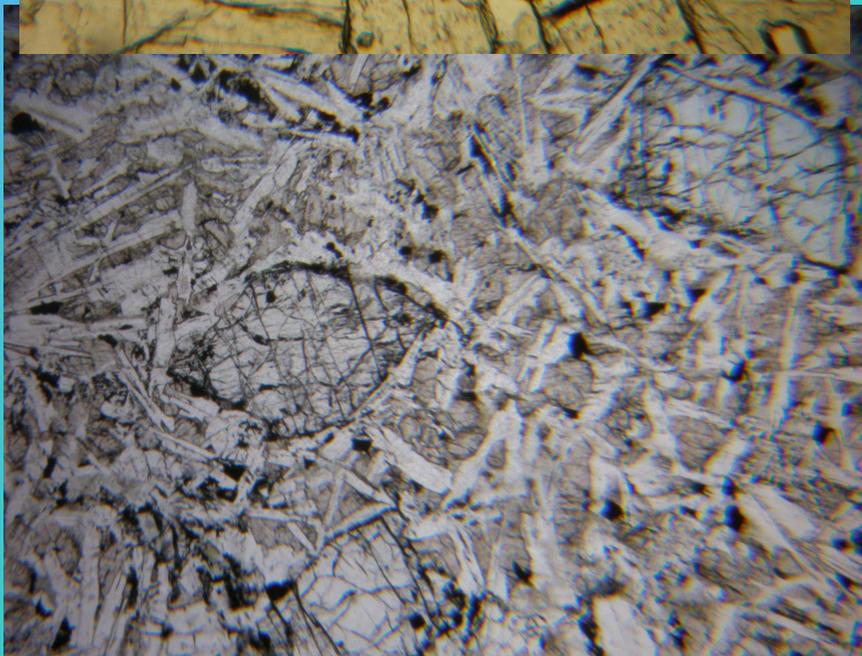
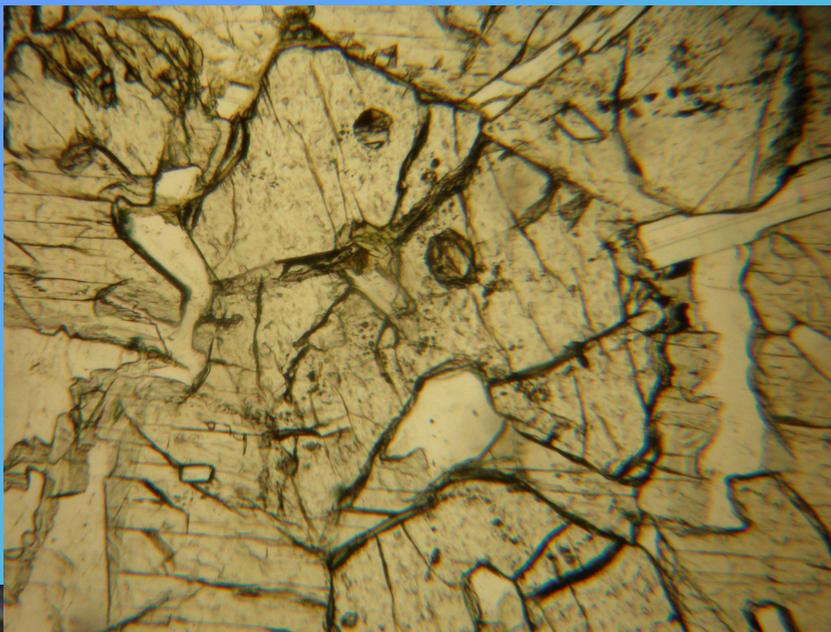
ОЛИВИН

Минералы группы оливина кристаллизуются в ромбической сингонии и относятся к ортосиликатам с изолированными кремнекислородными тетраэдрами $[\text{SiO}_4]^{4-}$ и представляют собой непрерывный ряд твердых растворов, крайними членами которого являются форстерит Mg_2SiO_4 и фаялит Fe_2SiO_4 . Состав оливина обычно обозначают так: Fo_{85} , Fo_{70} и т.д.

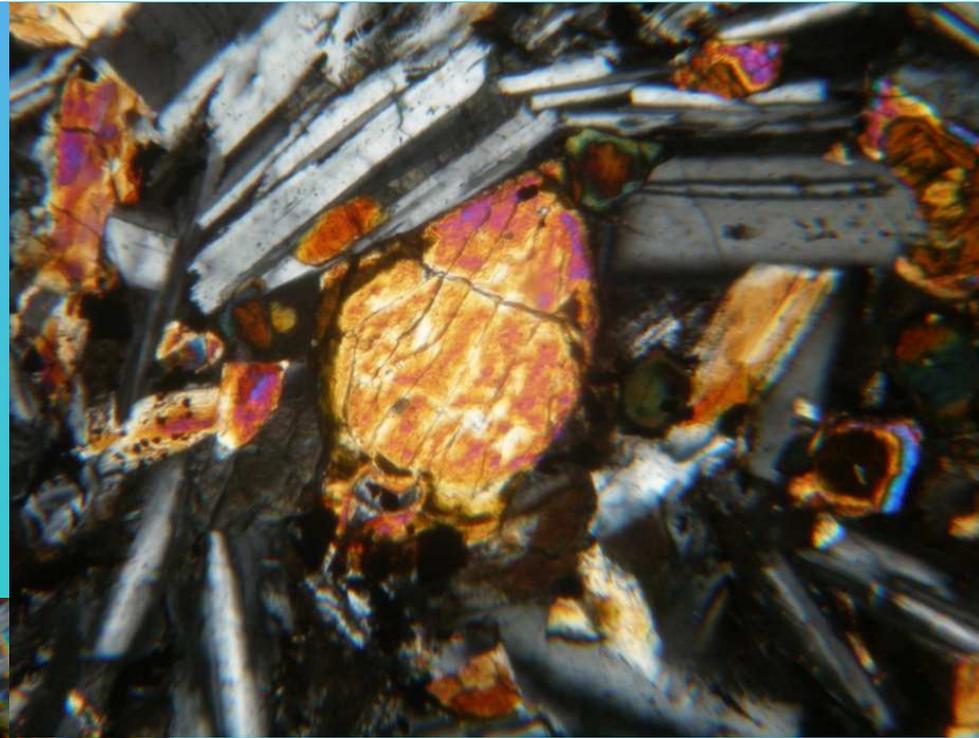
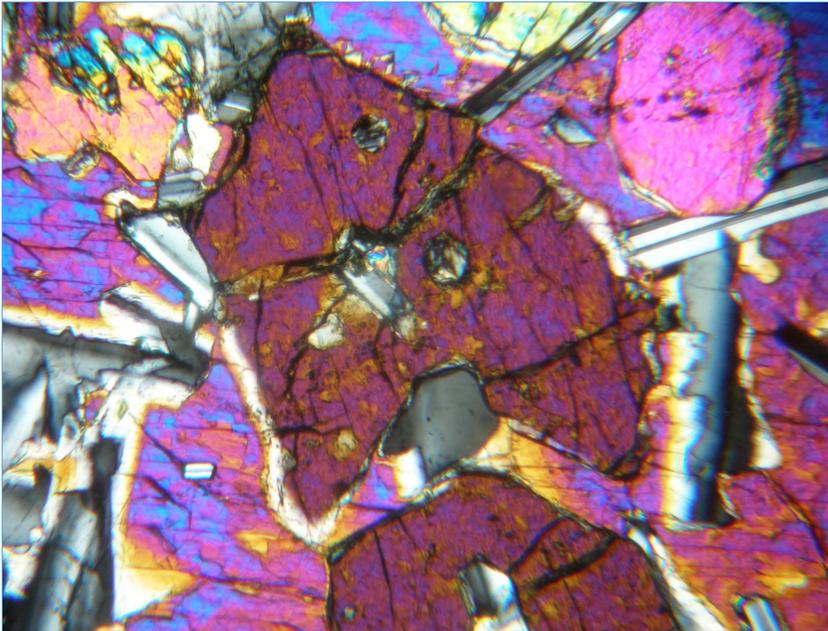


Кривые плавления и кристаллизации составов серии форстерит — фаялит. В нижней части диаграммы даны два варианта номенклатуры оливинов: верхний - по Уэйджеру и Диру; нижний - по Томкееву.

Диагностика

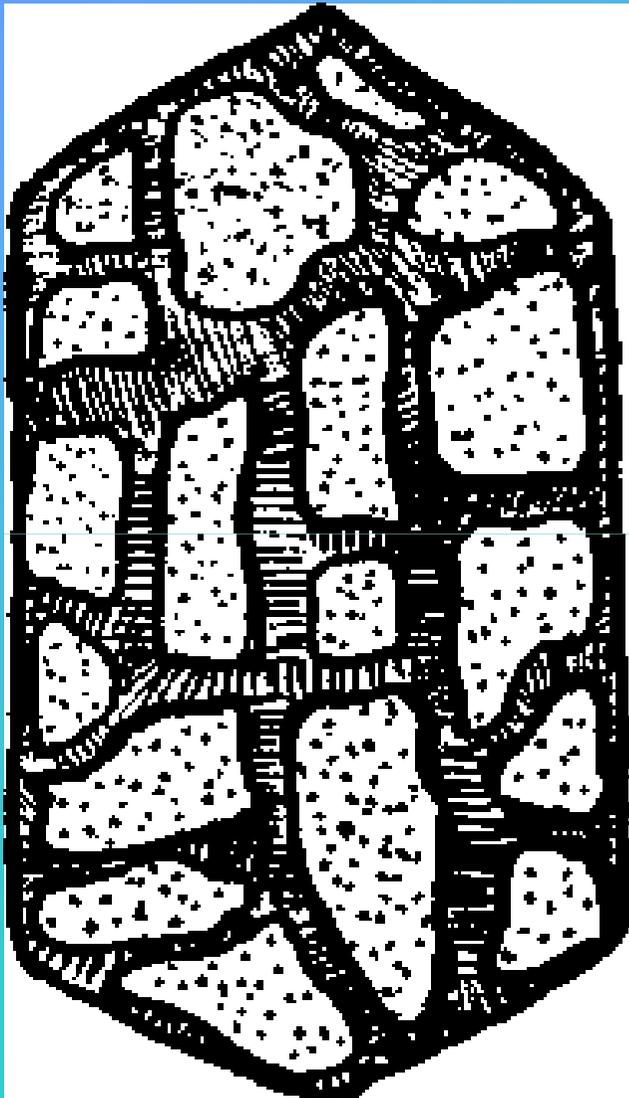


Под микроскопом оливин можно узнать по характерным продольным и поперечным сечениям кристаллов, отсутствию собственной окраски, высокому показателю преломления, что определяет высокий положительный рельеф, и резкую шагреневую поверхность,

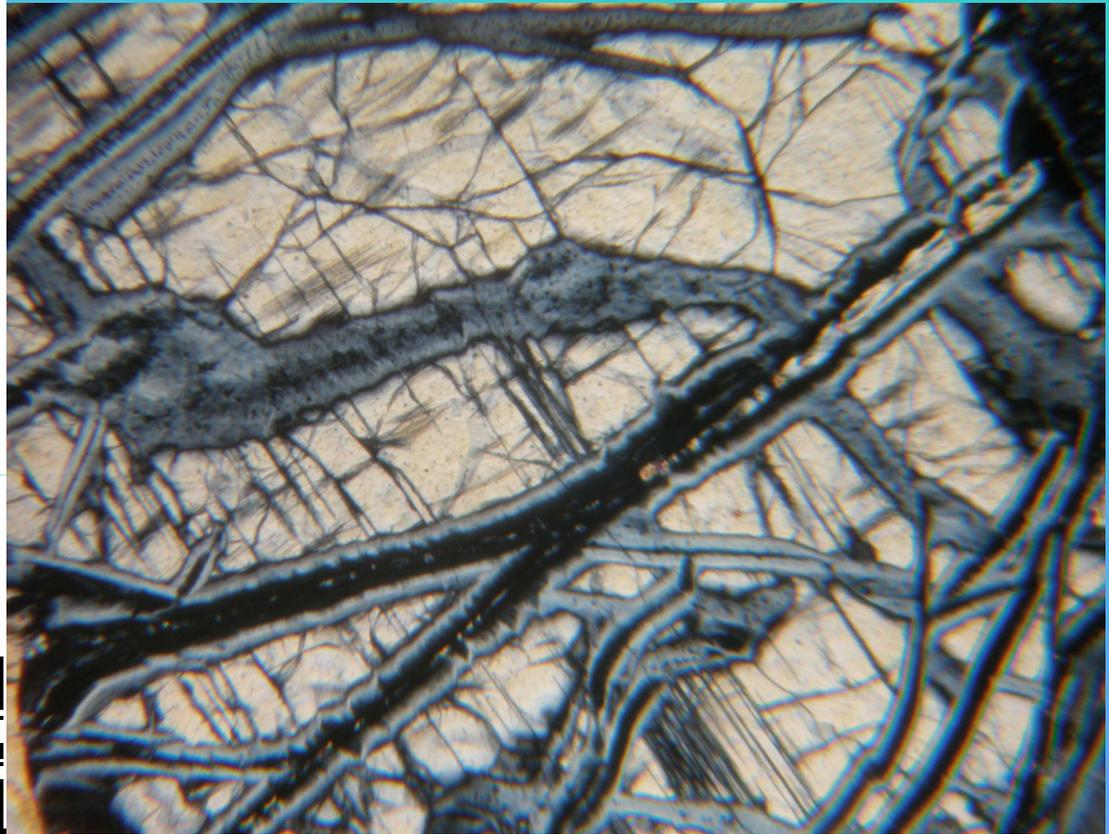


по высокому
двупреломлению
(интерференционная
окраска до красной II
порядка, иногда выше),
прямоугольному угасанию
относительно граней
кристаллов и трещин
спайности.

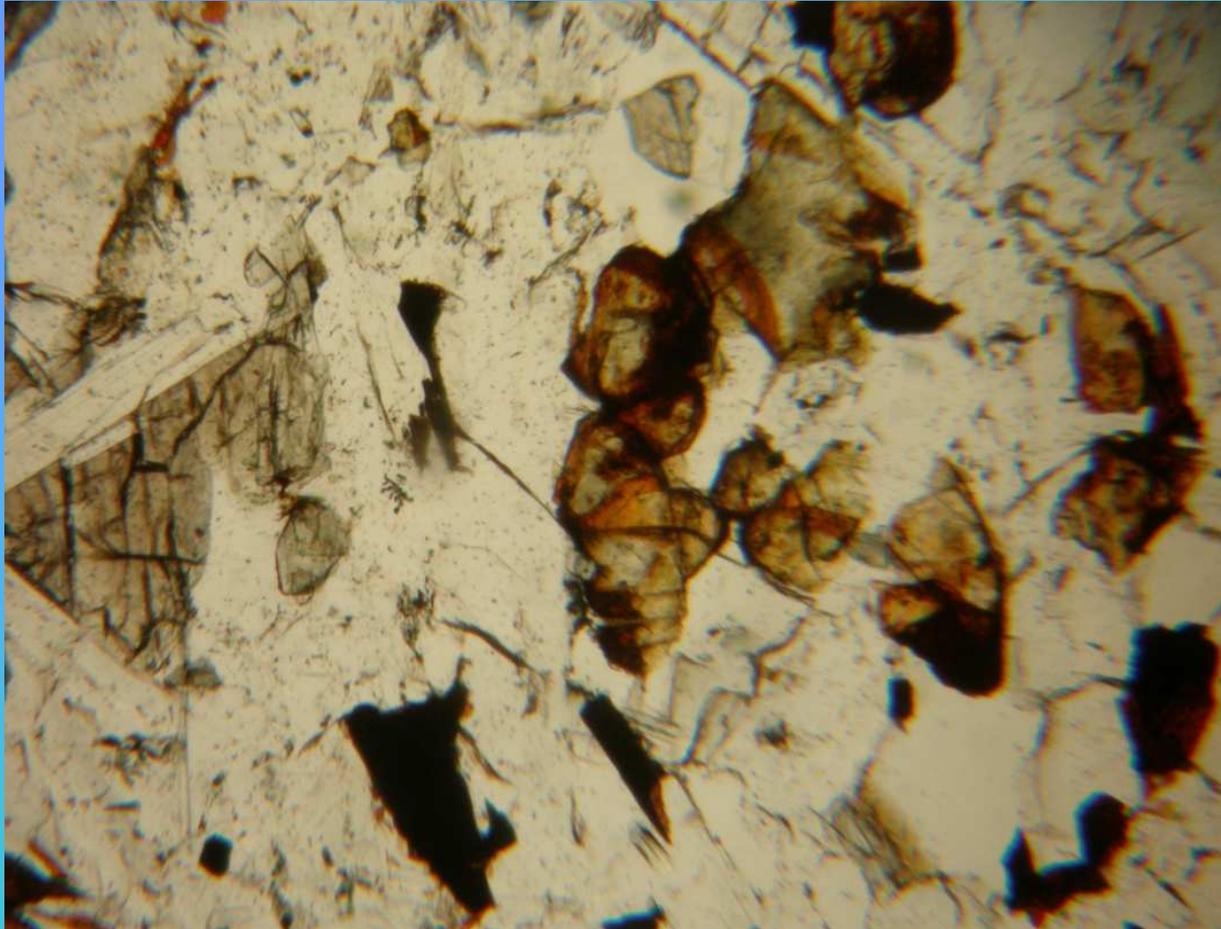
Вторичные изменения.



Оливин легко гидратируется и магнезиальные разности легко замещаются минералами группы серпентина: $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, тальком.



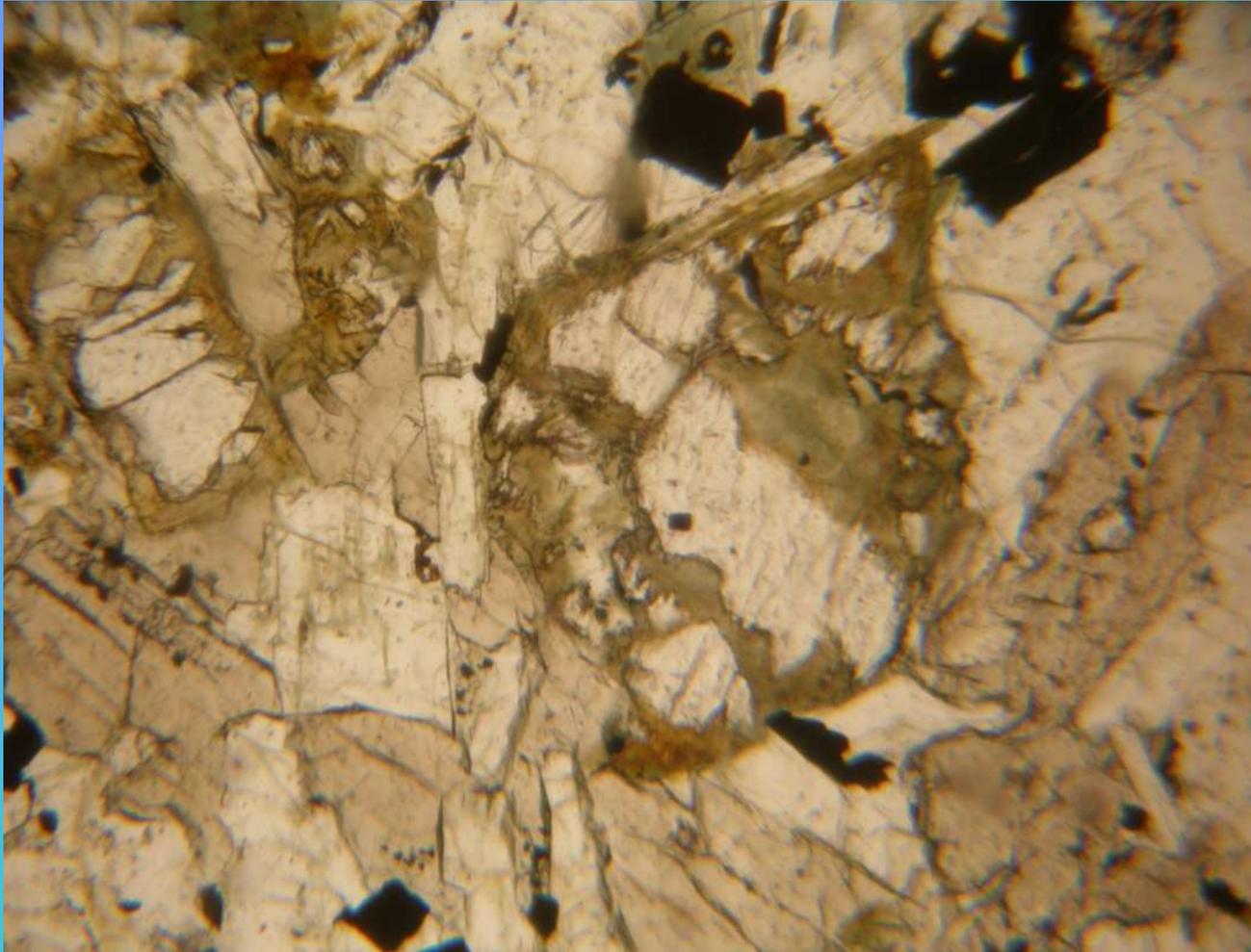
Петельчатая структура частично серпентинизированного кристалла оливина



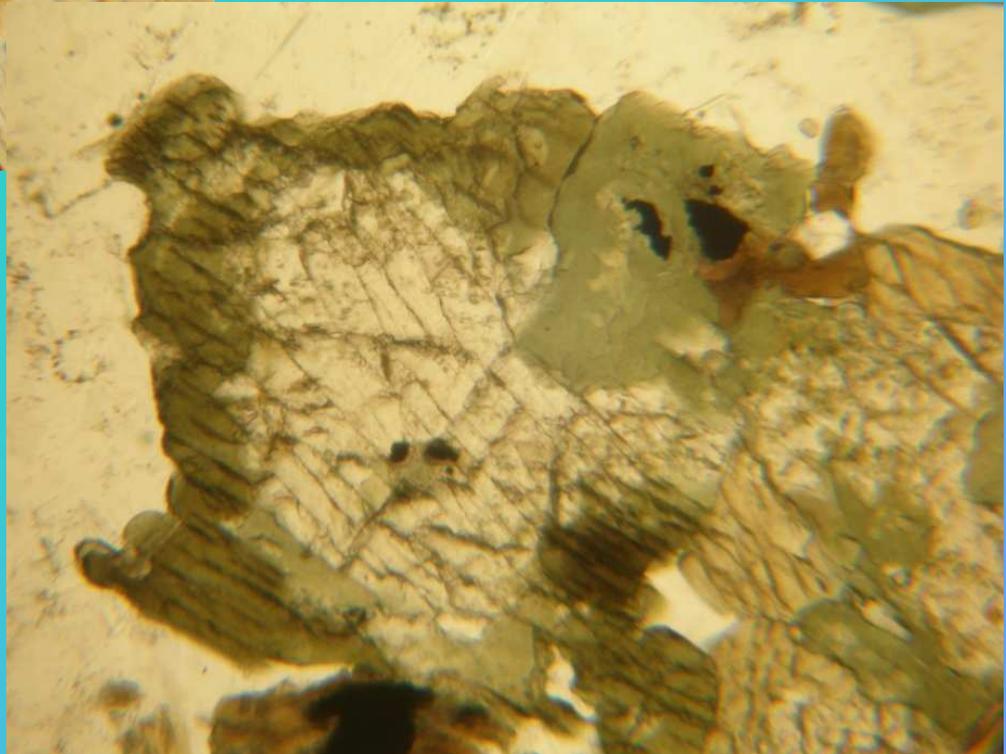
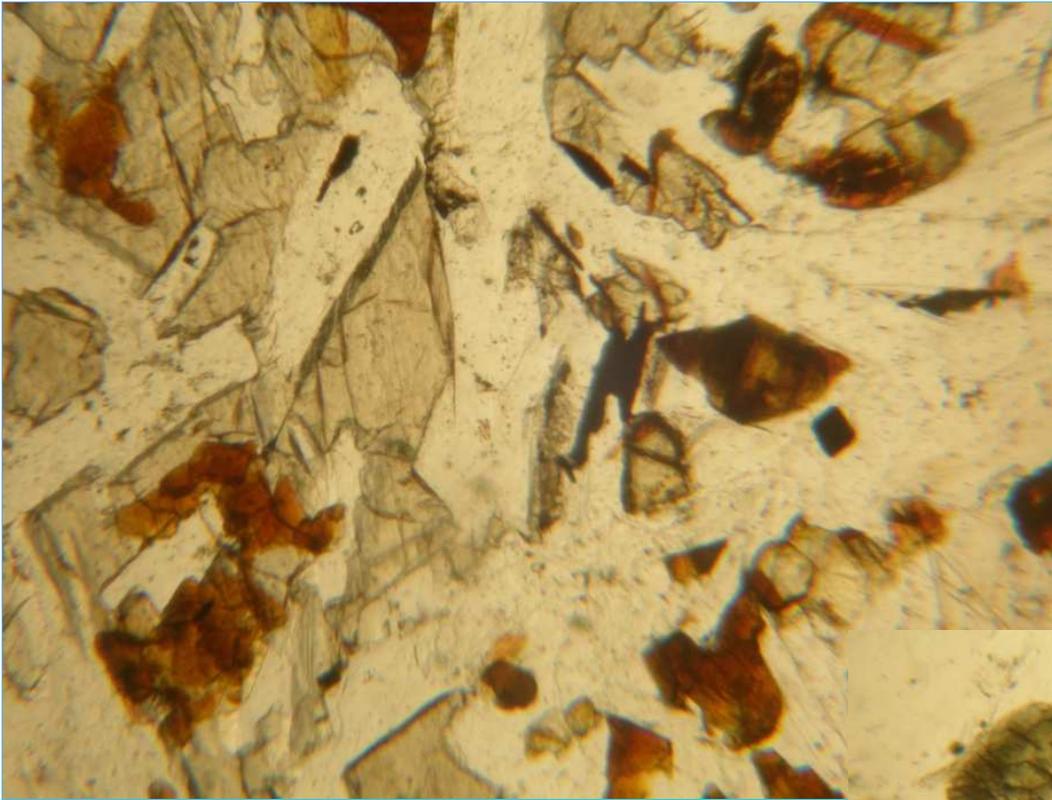
Среди продуктов изменения железистого оливина широко распространен, *иддингсит* — красновато-коричневое или оранжевое кристаллическое вещество с высоким показателем преломления ($n = 1.60-1.90$) и высоким, но непостоянным двупреломлением.



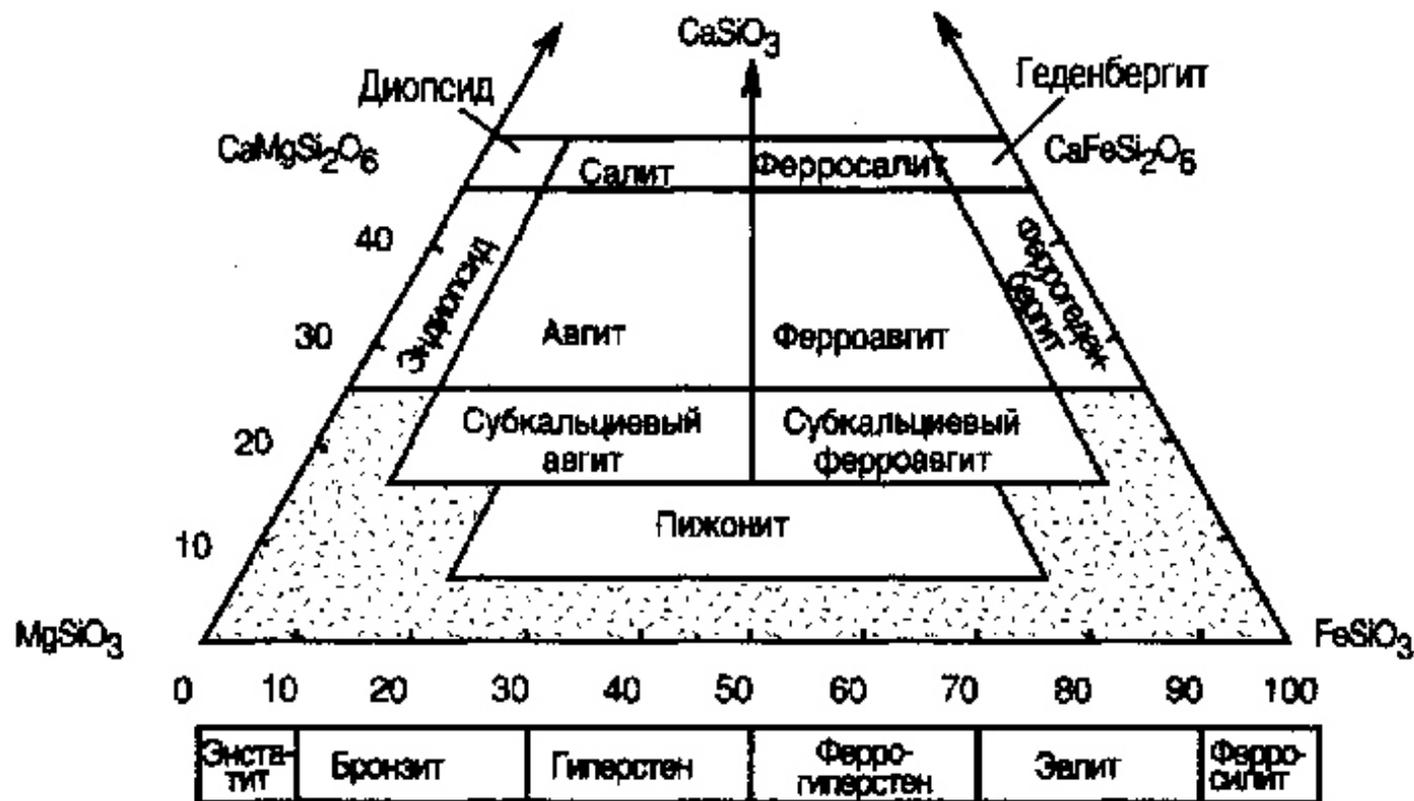
Иддингсит представляет собой смесь смектита (Mg-содержащего глинистого минерала из группы монтмориллонита), хлорита, серпентина и гетита. Последний минерал, вероятно, и определяет яркую окраску иддингсита.



Смесь
сметита,
хлорита и
серпентина
зеленого цвета
с более низким
показателем
преломления
($n = 1.50—$
 1.60) и слабым
двупреломлен
ием получила
название
болингит



Группа пироксенов

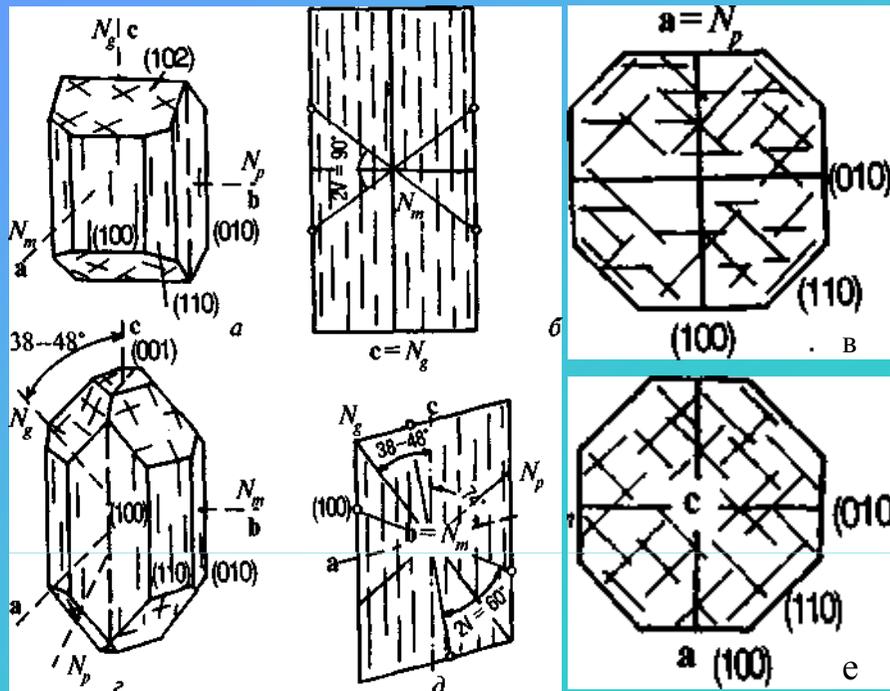


Химический состав. Пироксены относятся к метасиликатам с непрерывными цепочками кремнекислородных тетраэдров. Общая формула пироксенов

$W_t(X,Y)_{1+r}Z_2O_6$, где W -Ca,Na; X -Mg,Fe²⁺,Mn,Ni; Y -Al,Fe³⁺,Cr,Ti; Z - Si, Al.

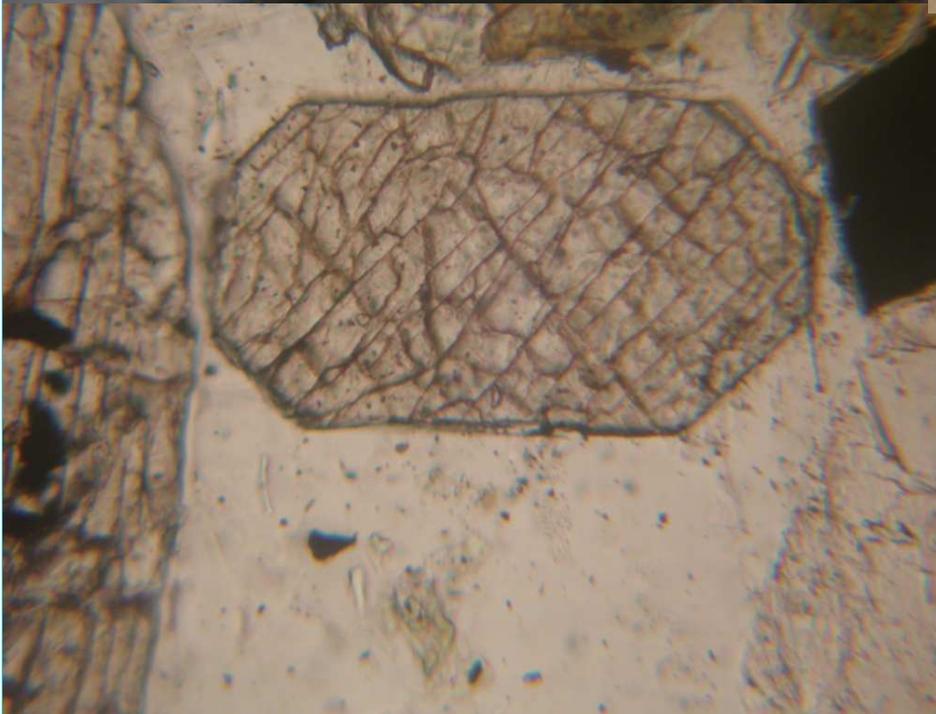
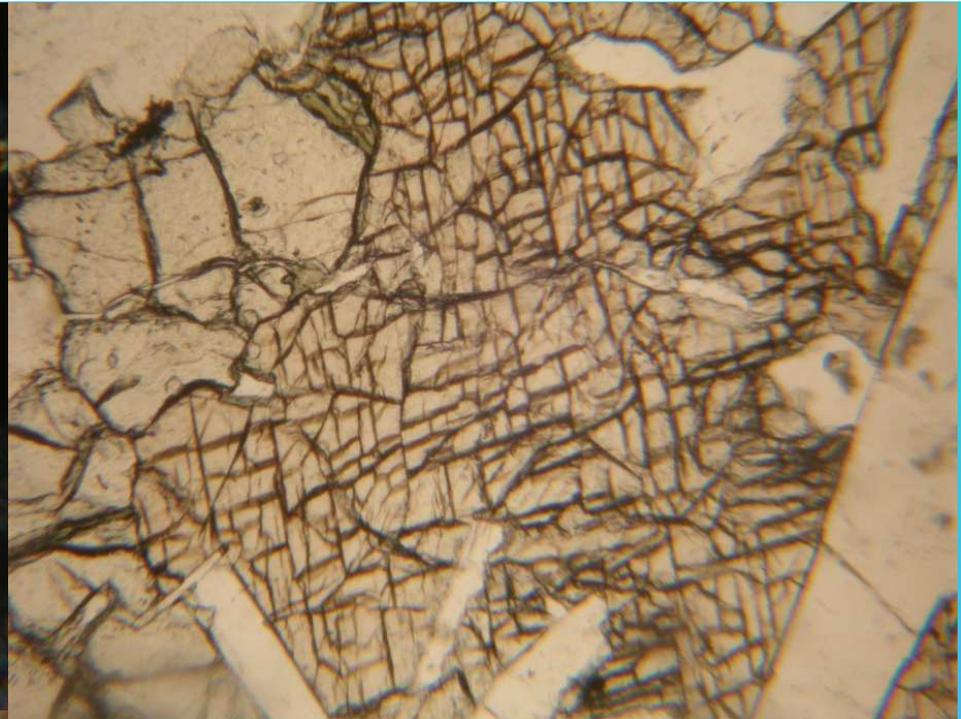
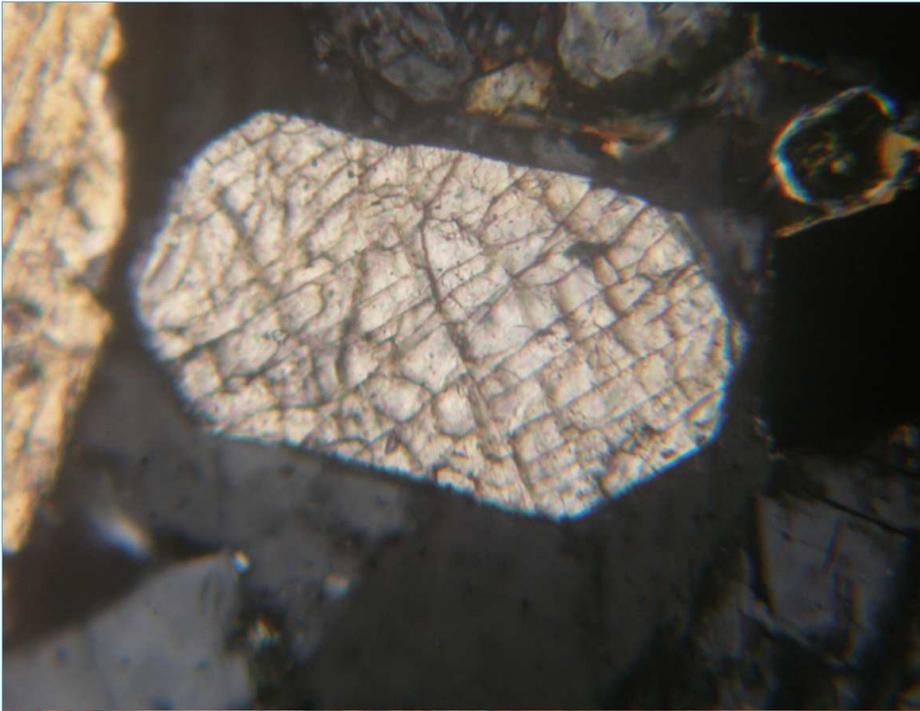
Пироксены, в которых $p = 1$, а $X = \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}$, кристаллизуются в ромбической сингонии; пироксены, в которых $0 < p < 1$, относятся к моноклинной сингонии.

Диагностика



Ориентировка оптической индикатрисы в кристаллах ромбического (a - v) и моноклинного (z - e) пироксенов: a , z — общий вид кристаллов, b , d — продольные разрезы, v , e — поперечные разрезы

Все пироксены имеют характерную форму и две системы спайности, которые на поперечных разрезах пересекаются почти под прямым углом. В восьмиугольных разрезах с гранями призмы (110) видно, что трещины спайности параллельны этим граням. К граням пинакоидов (100) и (010) трещины спайности подходят под углом, близким к 45° .



Показатели преломления, равные 1.65—1.80, определяют высокий положительный рельеф и резкую шагреневую поверхность пироксенов.

Ромбические пироксены (ортопироксены) представляют собой непрерывный ряд твердых растворов, крайними членами которых являются энстатит (En) $Mg_2Si_2O_6$ и ферросилит (Fs) $Fe_2Si_2O_6$.

А.Полдерваарт и Х.Хесс выделили в этом ряду разновидности по содержанию En (мол.%):

энстатит (100-88),

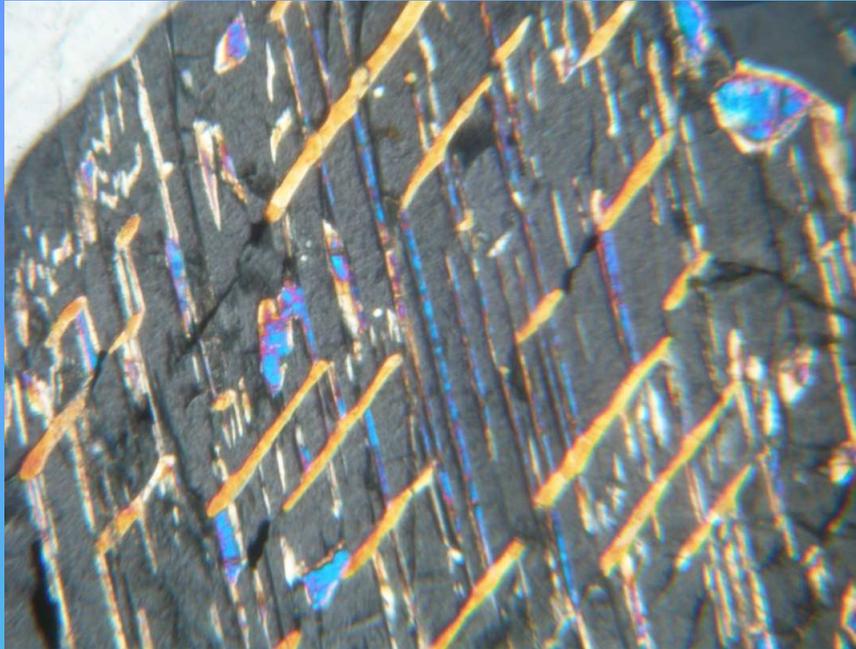
бронзит (88-70),

гиперстен (70-50),

феррогиперстен (50-30),

эвлит (30-10),

ферросилит(10-0).

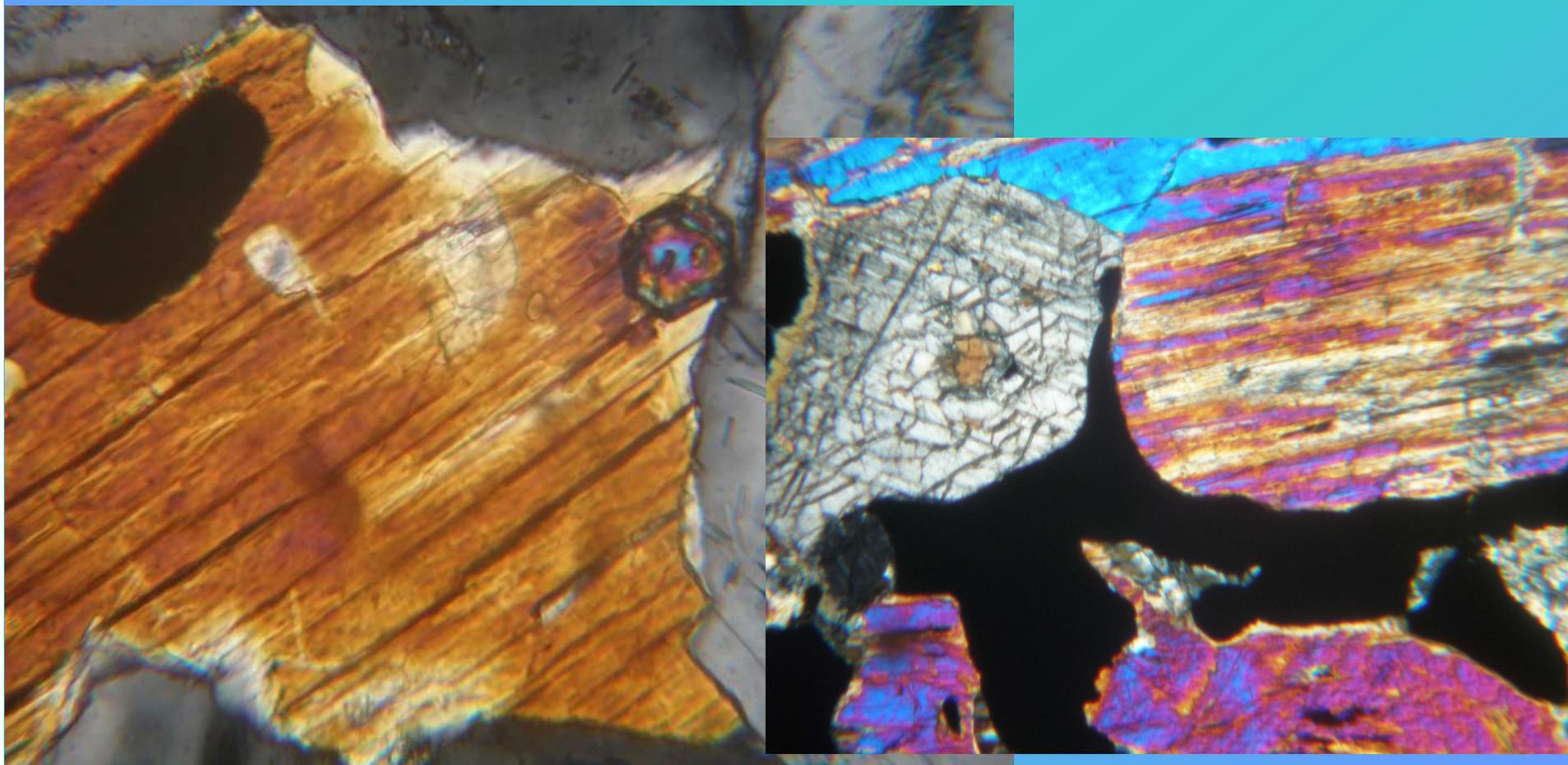


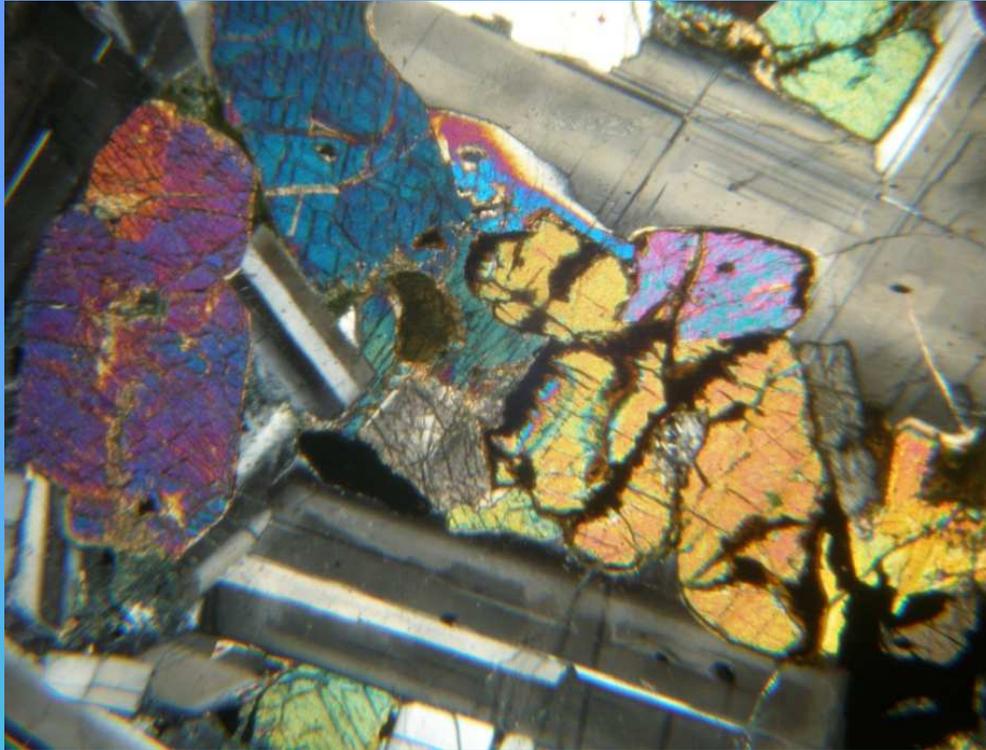
Ромбические пироксены
обладают не очень высоким
двупреломлением, прямым угасанием,
положительным удлинением

Иногда ромбические пироксены обнаруживают и косое угасание ($c: N_g$ до 10°) из-за наличия субмикроскопических вростков моноклинного пироксена. Иногда тонкие вростки моноклинного пироксена в ромбическом.

Магнезиальные разновидности ортопироксенов бесцветны, а гиперстен окрашен в бледные зеленоватые и розоватые тона и сла-бо плеохроирует.

Моноклинные пироксены (клинопироксены) обладают более высоким двупреломлением и косым угасанием, причем максимальные углы угасания c : N_g в плоскости оптических осей у Са—Fe—Mg-пироксенов составляют около 45° , а у авгита достигают $50—55^\circ$.

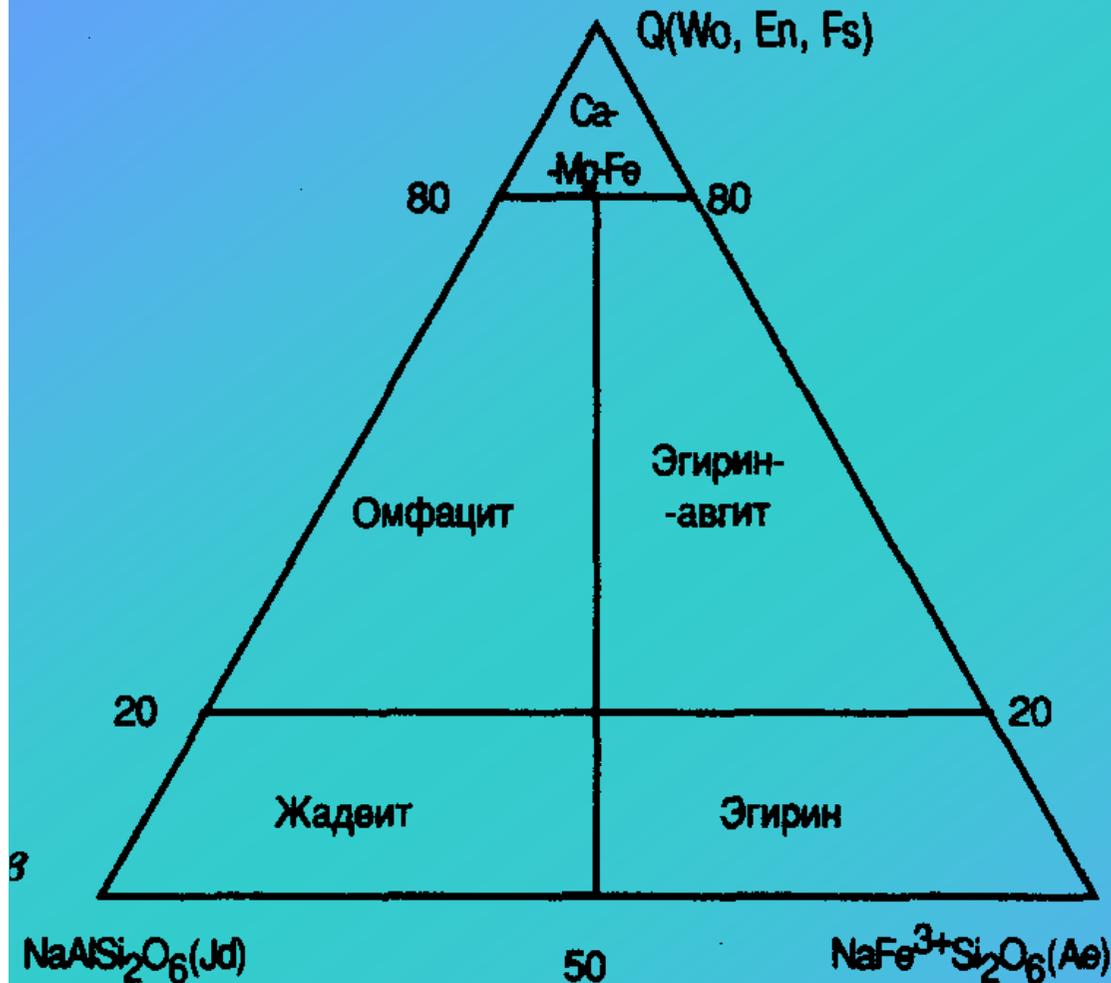




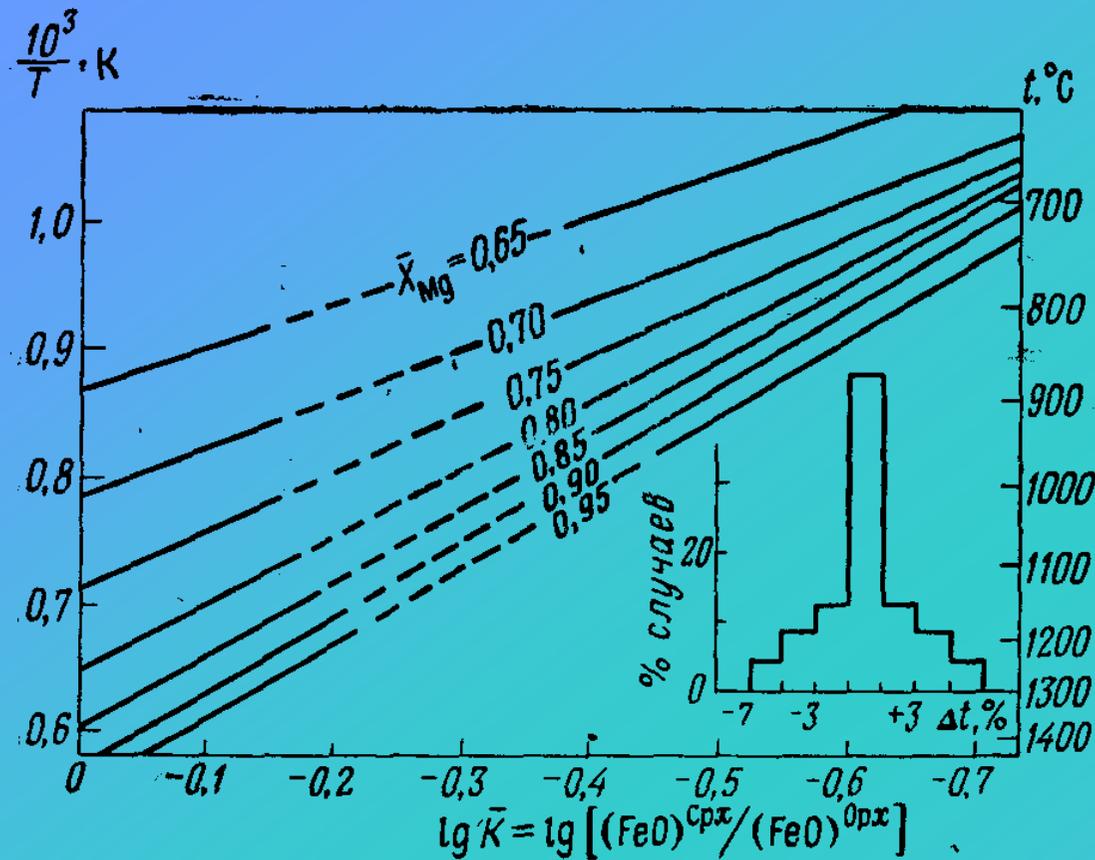
Пижонит, авгит, диопсид бесцветны либо имеют слабый буроватый (авгит) или зеленоватый оттенок. Для клинопироксенов ряда диопсид—салит—геденбергит характерна зеленоватая окраска, интенсивность которой возрастает по мере увеличения содержания железа.

Щелочные моноклинные пироксены представлены твердыми растворами жадеита $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ и эгирина $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$, к которым добавляется то или иное количество En, Fs, Wo.

представлены твердыми растворами жадеита $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ и эгирина $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$, к которым добавляется то или иное количество En, Fs, Wo.

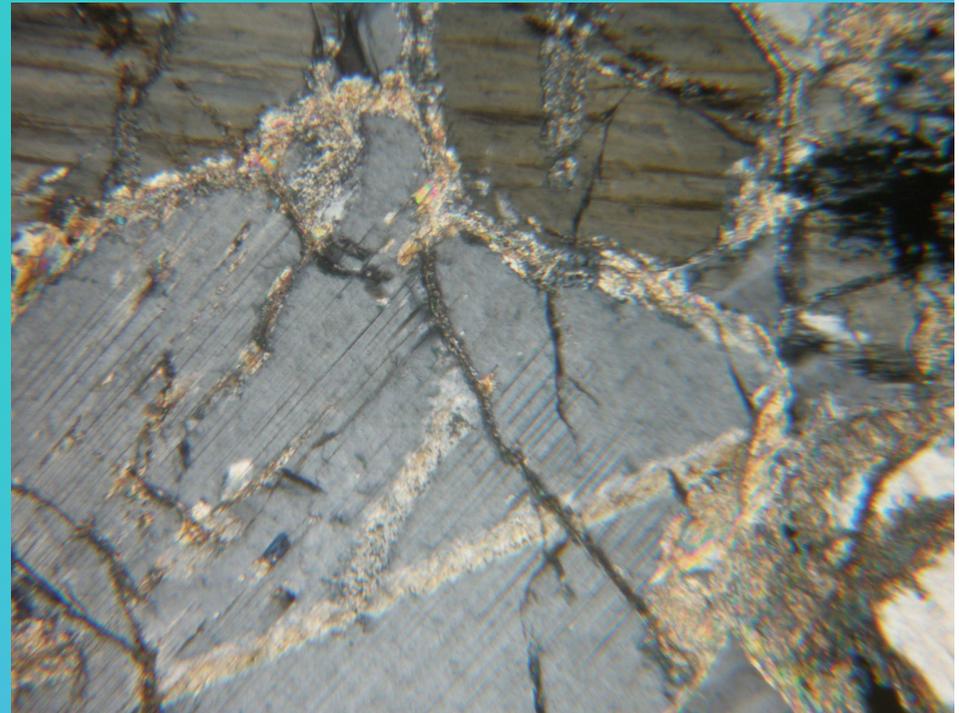
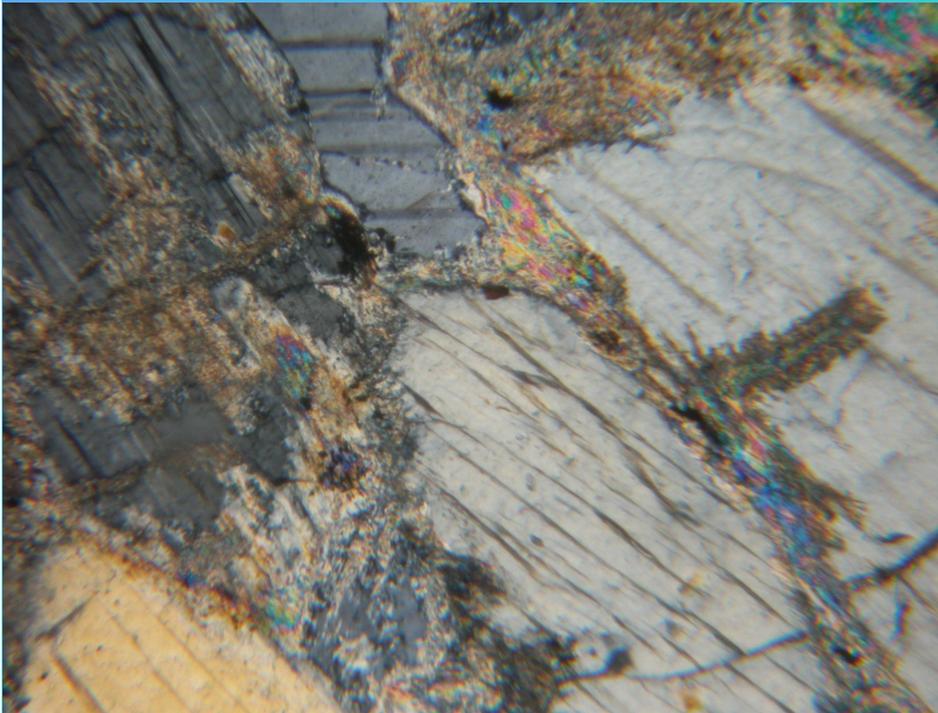


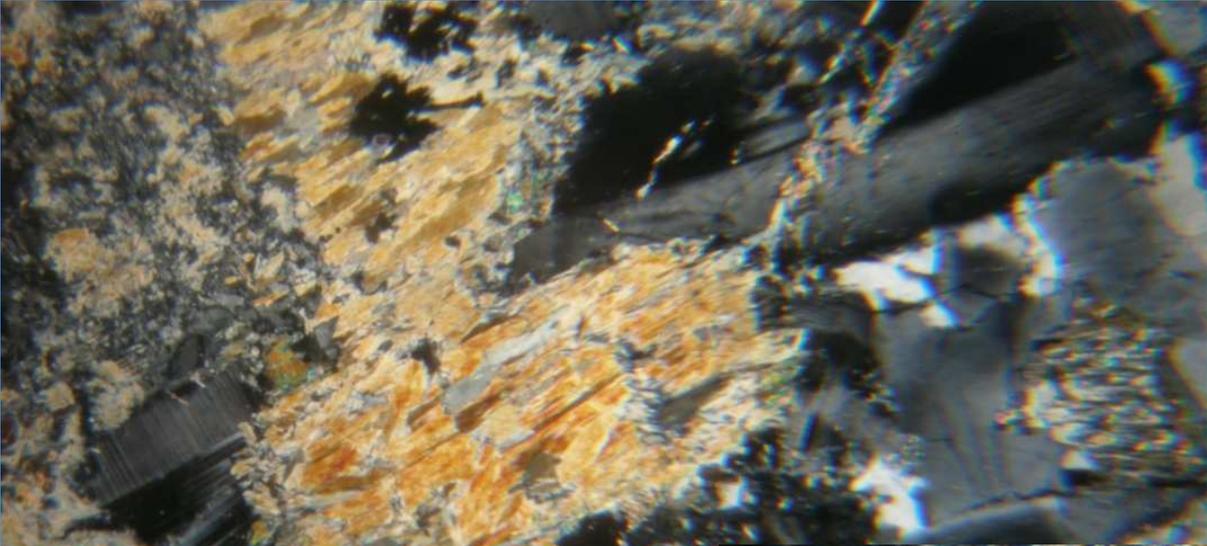
Для эгирина типичны яркие зеленые окраски и резкий плеохроизм. В отличие от других клинопироксенов эгирин оптически отрицателен и имеет отрицательное удлинение.



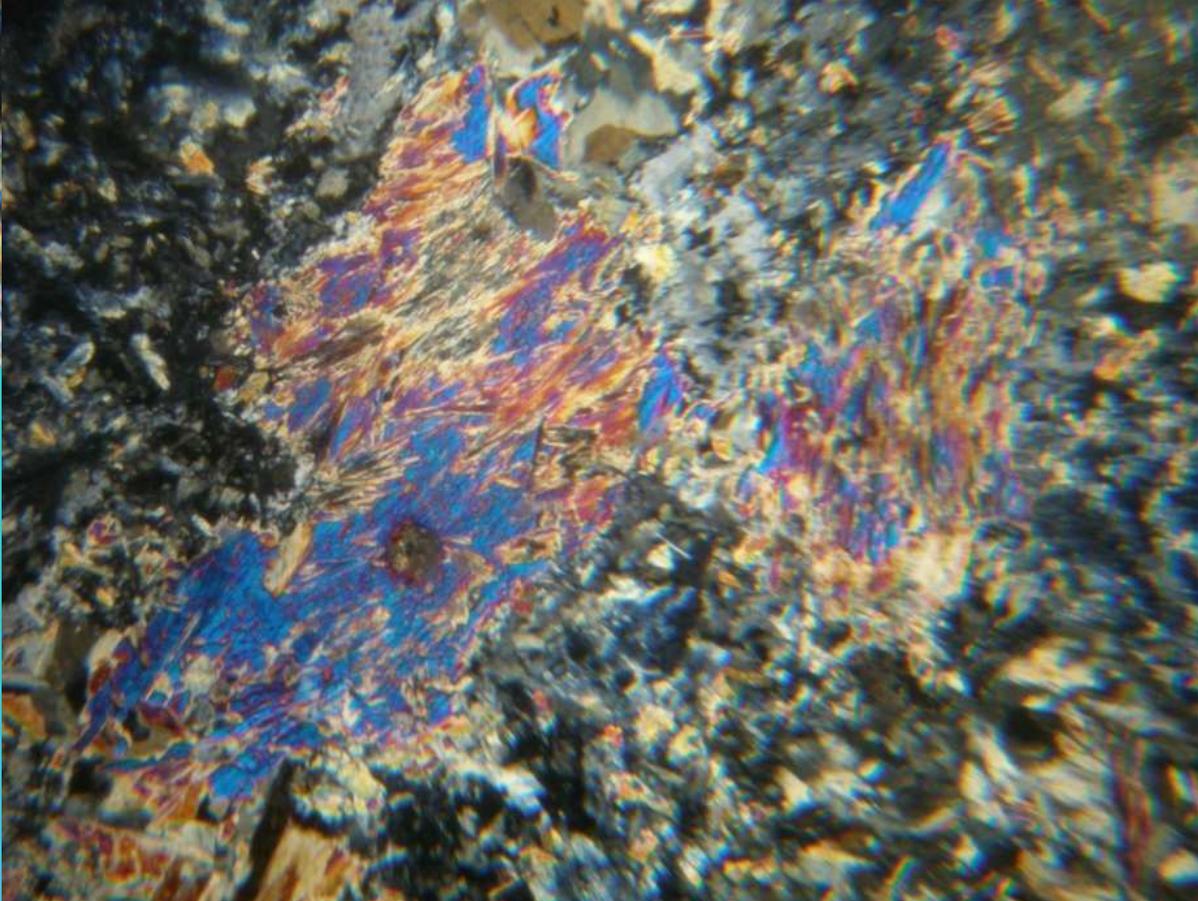
Распределение Fe и Mg между сосуществующими пироксенами является функцией температуры и может использоваться как геотермометр для оценки условий образования магматических и метаморфических горных пород.

Вторичные изменения. Магнезиальные ромбические пироксены обычно замещаются пластинчатой разновидностью серпентина с образованием полных псевдоморфоз, которые получили название *бастита*. Реже по ромбическим пироксенам развиваются тальк, минералы из группы амфиболов, хлорит.





Моноклинные Са—Mg—Fe-пироксены замещаются волокнистым зеленым амфиболом (уралитом), хлоритом, эпидотом, карбонатами.

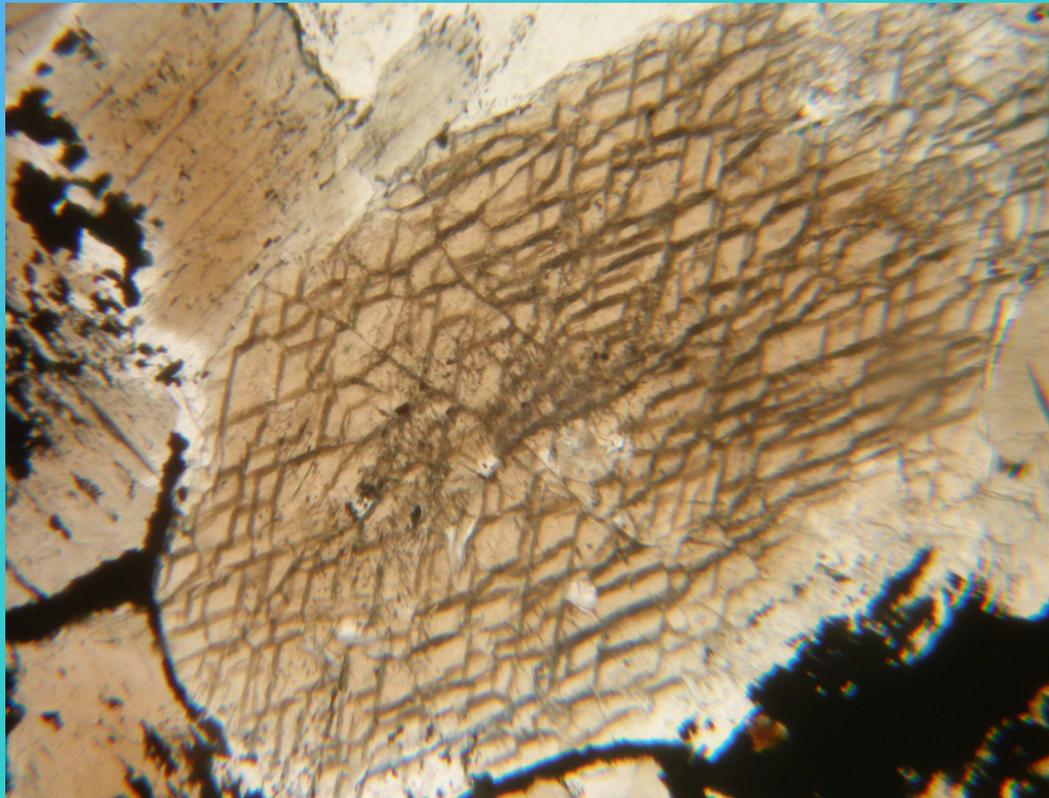


По диопсиду могут развиваться тремолит и актинолит. Богатые железом пироксены, например, эгирин, замещаются гематитом или лимонитом.

Группа амфиболов

Химический состав. Амфиболы образуют сложную группу метасиликатов с непрерывными двойными цепочками (лентами) кремнекислородных тетраэдров. Общая формула амфиболов

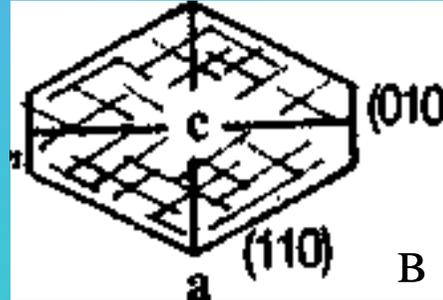
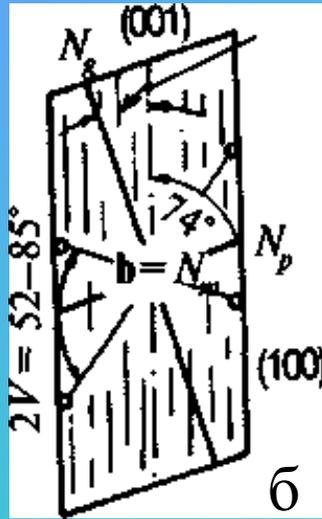
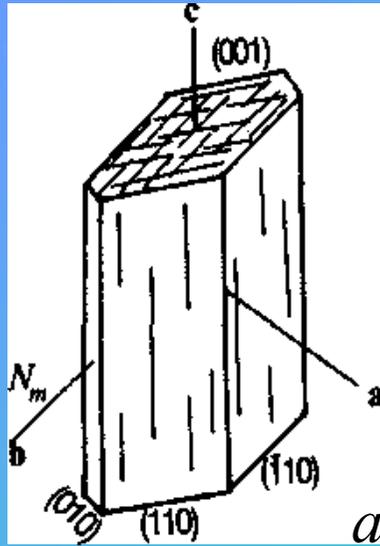
$A_{0-1}X_2Y_5Z_8O_{22}(OH, F, Cl)_2$, где: A - Na, K; X - Ca, Na, Fe^{2+} , Mg, Mn, Li; Y - Al, Cr, Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg, Mn, Ti; Z - Si, Al, Cr, Fe^{3+} , Ti.



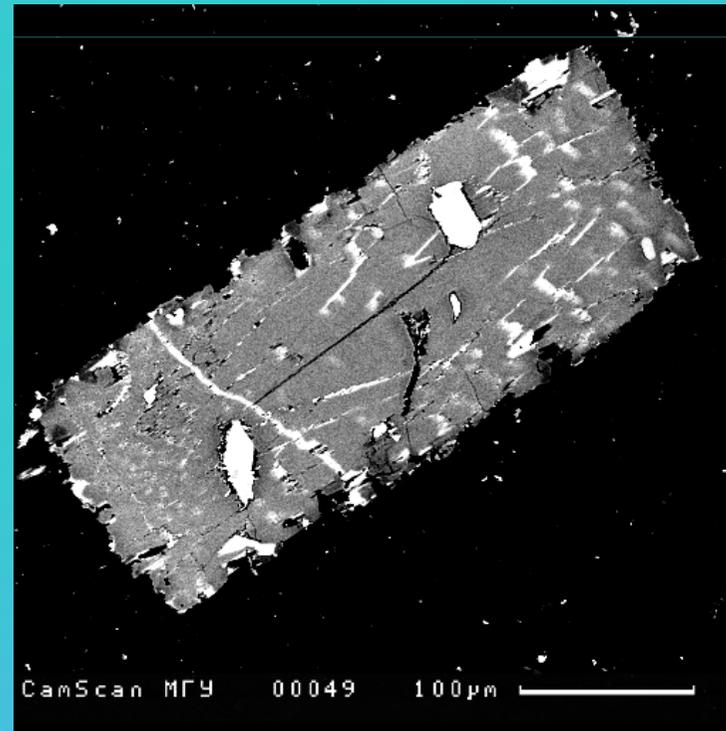
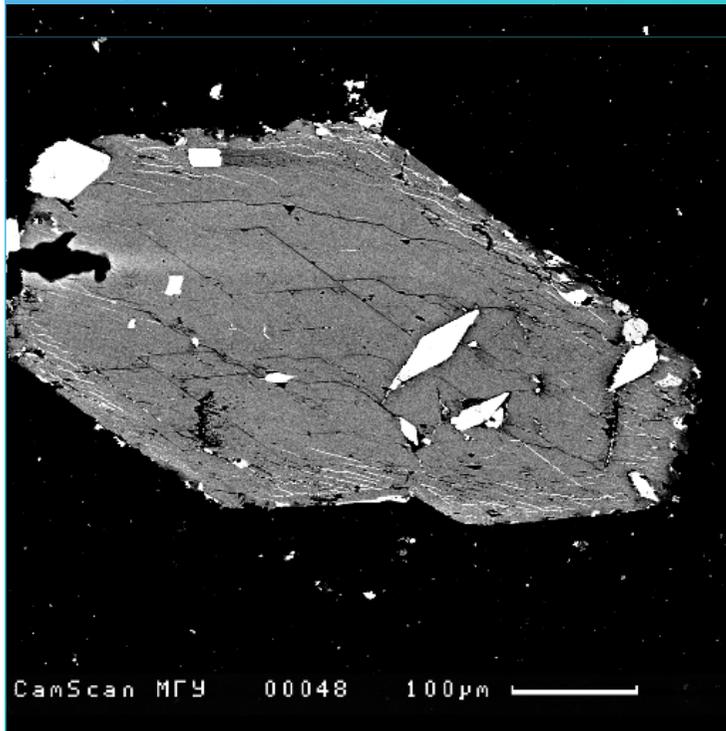
Наиболее распространенные амфиболы

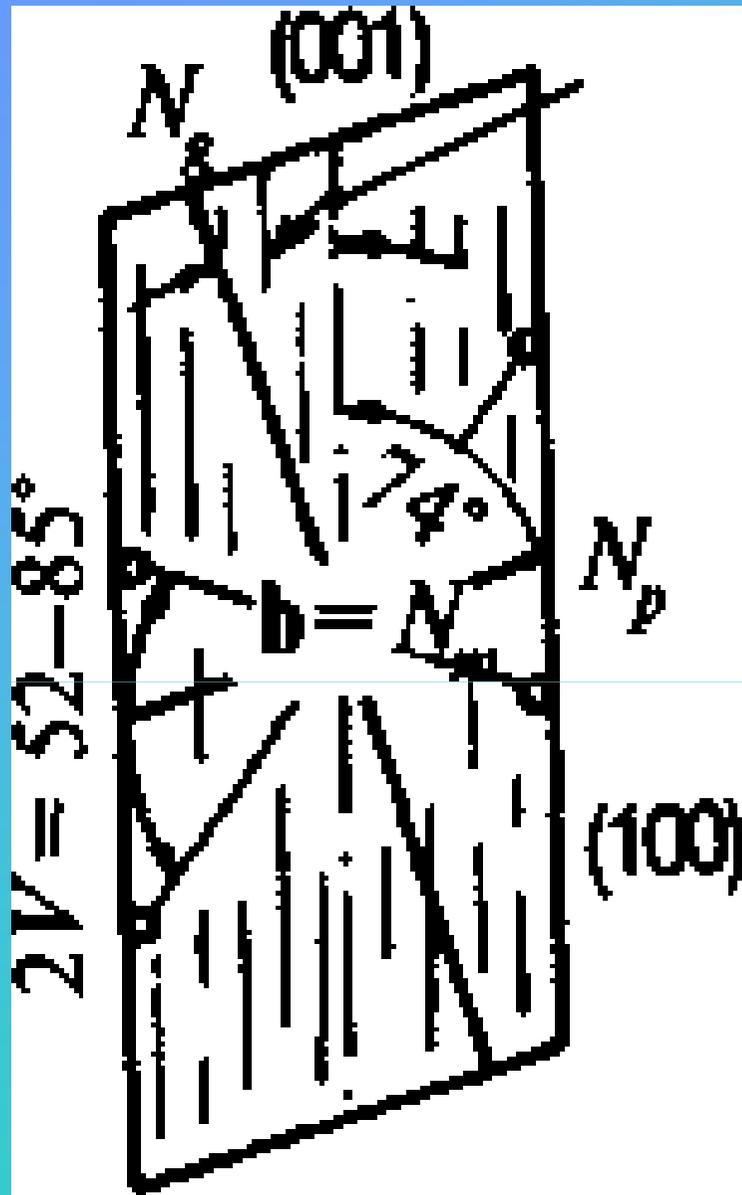
Минералы	A	X	Y	Z	Mg/ (Mg + Fe)
<i>Fe-Mg амфиболы</i>					
Антофиштит		(Mg, ₅)	(Mg, Fe) ₅	Si ₈	
Жедрит		(Mg, ₅)	(Mg, Fe) ₃ Al ₂	Si ₆ Al ₂	
Куммингтонит		(Mg, ₅)	(Mg, Fe) ₅	Si ₈	>0.3
Грюнерит		(Mg, ₅)	(Mg, Fe) ₅	Si ₈	<0.3
<i>Ca-амфиболы</i>					
Тремолит		Ca, ₅	(Mg, Fe) ₅	Si ₈	>0.9
Актинолит		Ca, ₅	(Mg, Fe) ₅	Si ₈	<0.9
Роговая обманка		Ca, ₅	(Mg, Fe) ₄ Al	Si ₇ M	
Паргасит	Na	Ca, ₅	(Mg, Fe) ₄ Al	Si ₆ Al ₂	
Гастингсит	Na	Ca, ₅	(Mg, Fe) ₄ Fe ³⁺ Al	Si ₆ Al ₂	
Керсутит	Na	Ca, ₅	(Mg, Fe) ₄ TiAl	Si ₆ Al ₂	
<i>Na-амфиболы</i>					
Арфведсонит	Na	Na, ₅	(Mg, Fe) ₄ Fe ³⁺	Si ₈	
Глаукофан		Na, ₅	(Mg, Fe) [^]	Si ₈	
Рибекит		Na, ₅	(Mg, Fe) ₃ Fe ₂ ³⁺	Si ₈	

ДИАГНОСТИКА



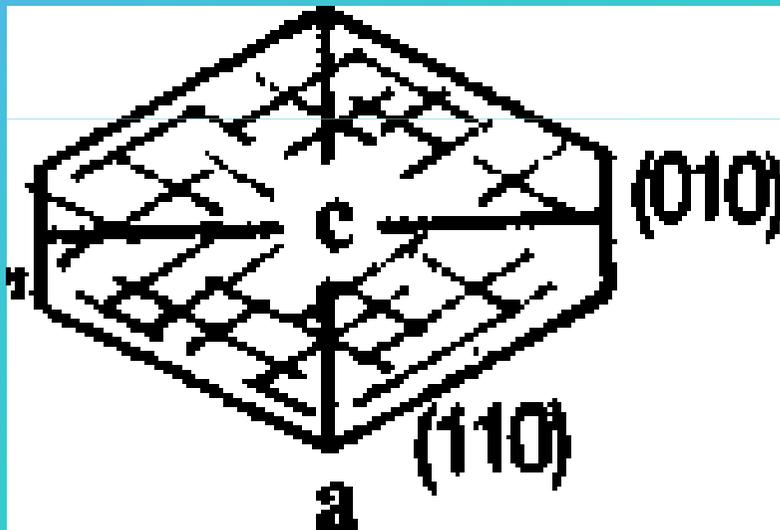
Ориентировка
оптической
индикатрисы в
кристалле роговой
об-манки: *a* — общий
вид кристалла; *б* —
продольный разрез; *в*
— поперечный разрез

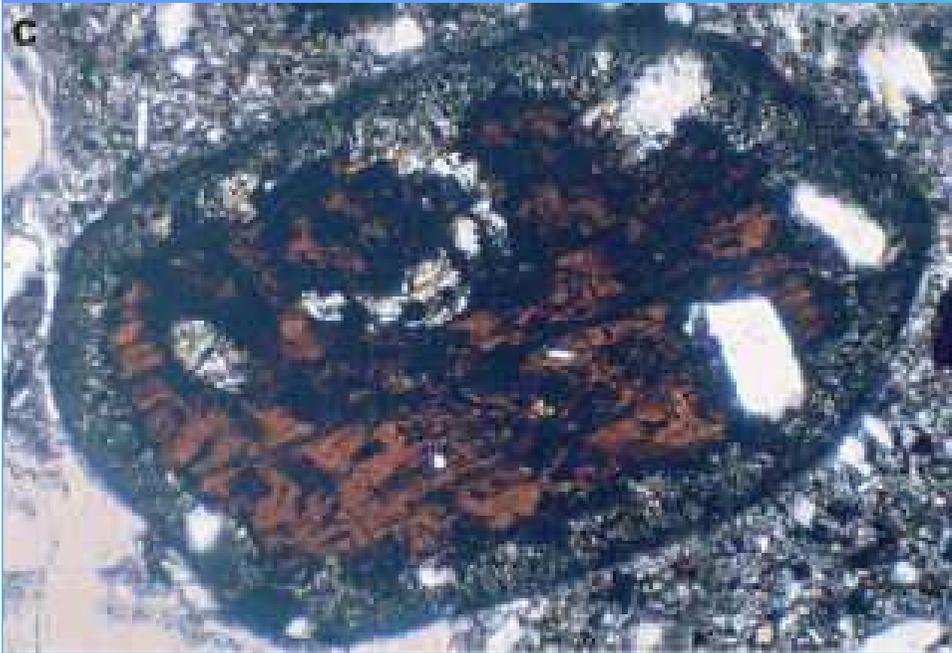




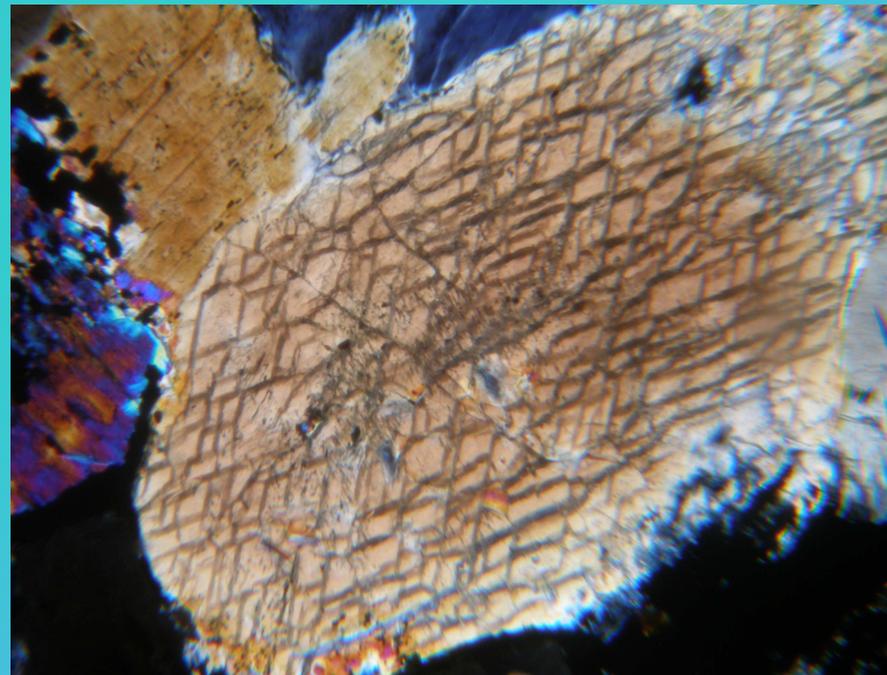
На всех разрезах
моноклинных амфиболов,
кроме, перпендикулярных
(010), на-блюдается косое
угасание, причем углы
угасания с: N_g не
превыша-ют 30°

Для амфиболов характерны кристаллы с двумя системами трещин спайности, пересекающихся под углом 56° , которые хорошо видны на поперечных сечениях.

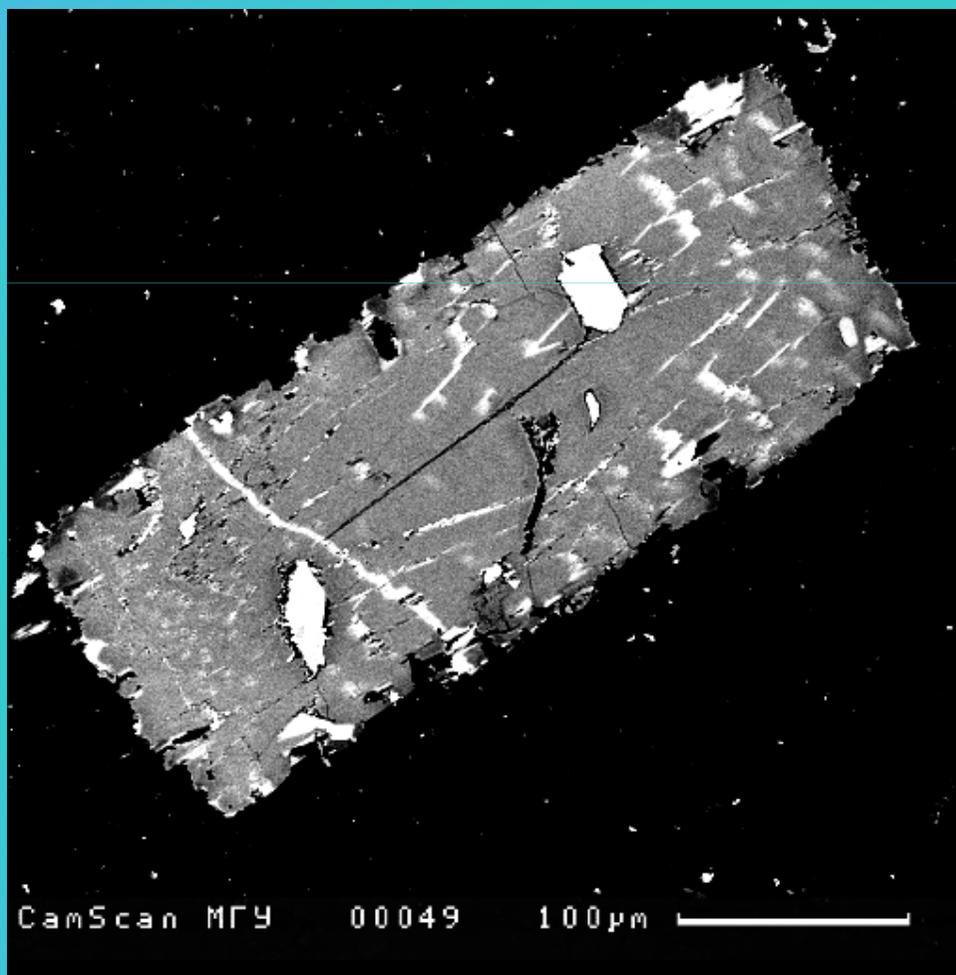


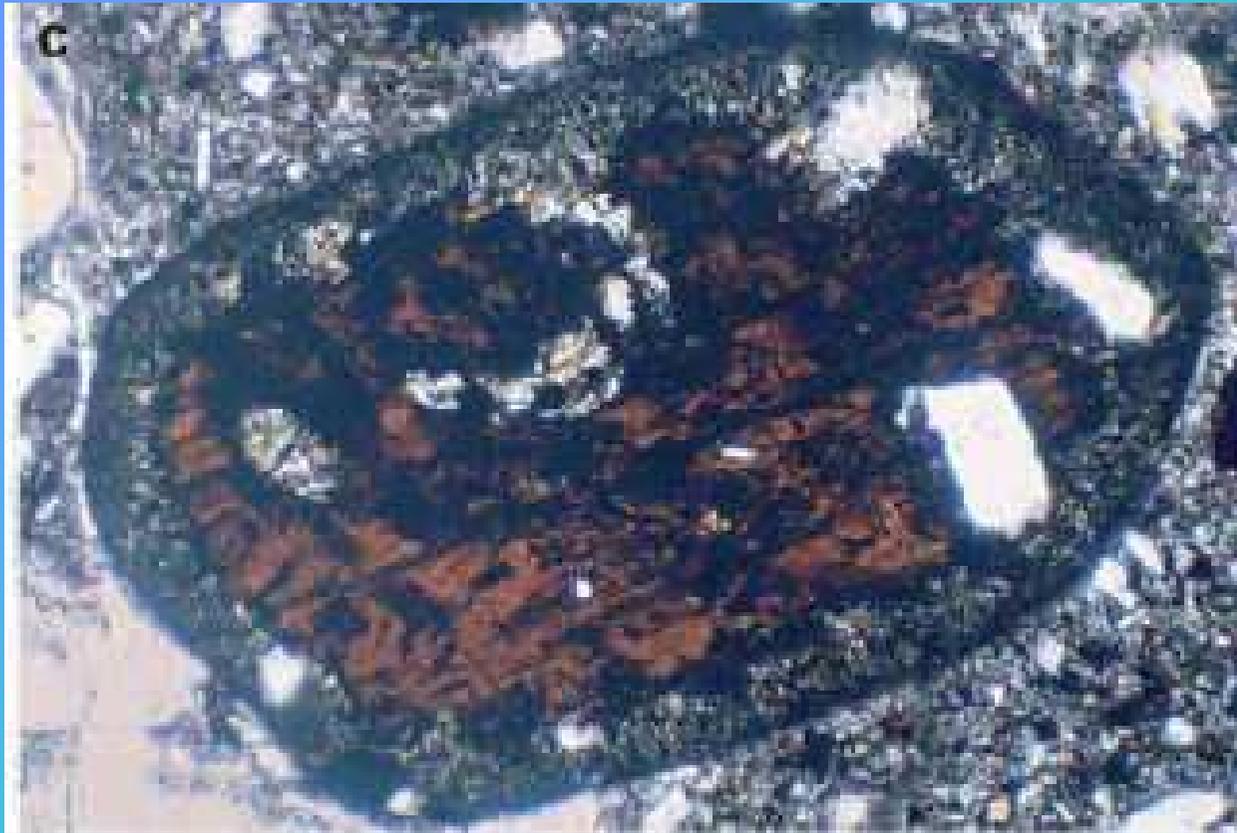


Все наиболее распространенные амфиболы, кроме тремолита, который почти бесцветен, окрашены в зеленые или бурые тона и обнаруживают отчетливый плеохроизм.



Вторичные изменения. Наиболее распространенными продуктами изменения роговой обманки являются актинолит, хлорит, эпидот, карбонат, магнетит. При изменении амфибола, содержащего титан, появляются сфен и лейкоксен.





Опацитовая кайма вокруг кристалла роговой обманки из андезитов вулкана Соуфриере Хиллс (Soufriere Hills), Малые Антилы. Фотография в проходящем свете, взята из [Buckley et al., 2006].

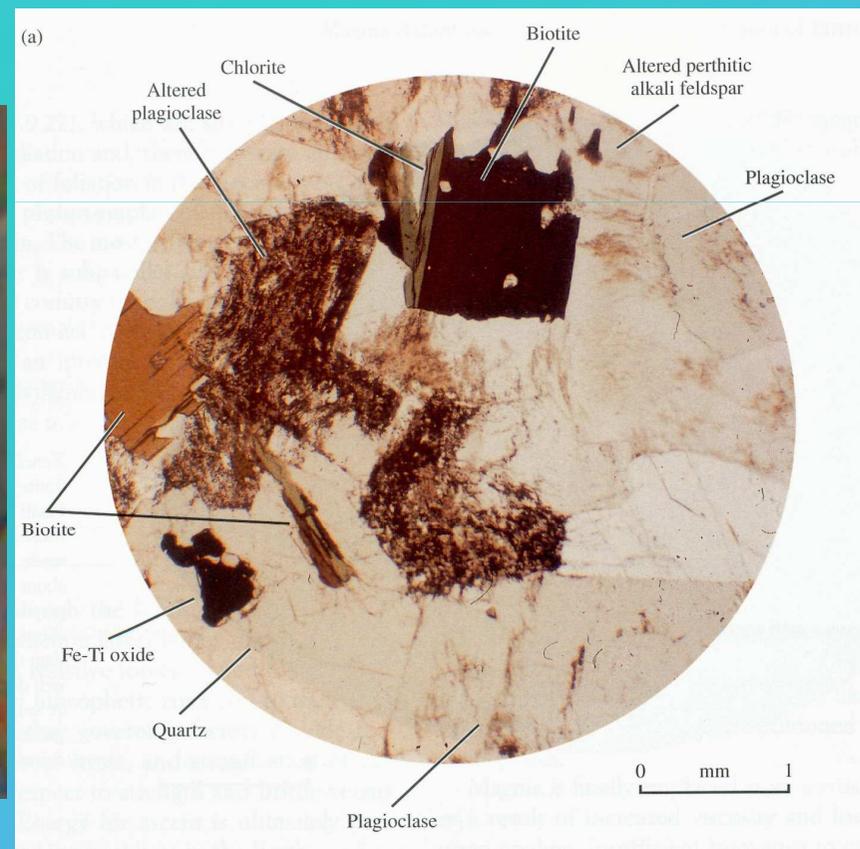
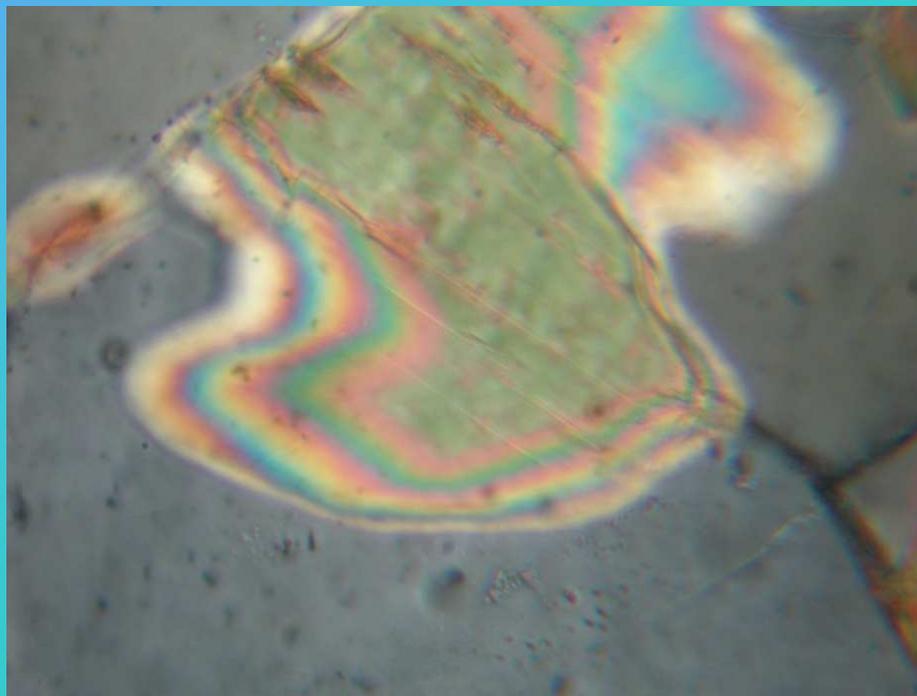
Группа слюд

Химический состав. Слюды относятся к листовым алюмосиликатам и имеют общую формулу $XY_{2-3}Z_4O_{10}(OH, F)_2$, где

X - K, Na;

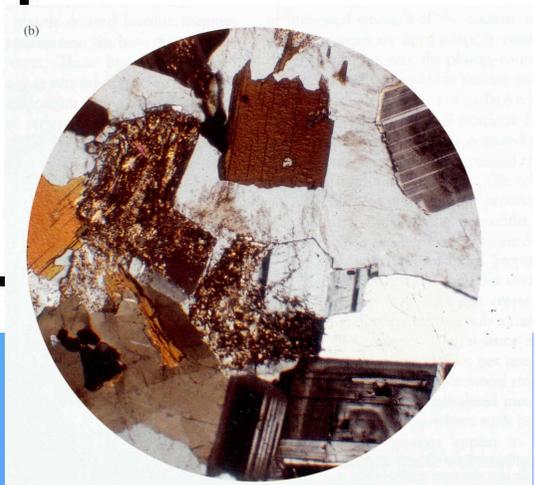
Y - Fe^{2+} , Mg, Mn, Li, Fe^{3+} , Al;

Z - Si, Al.

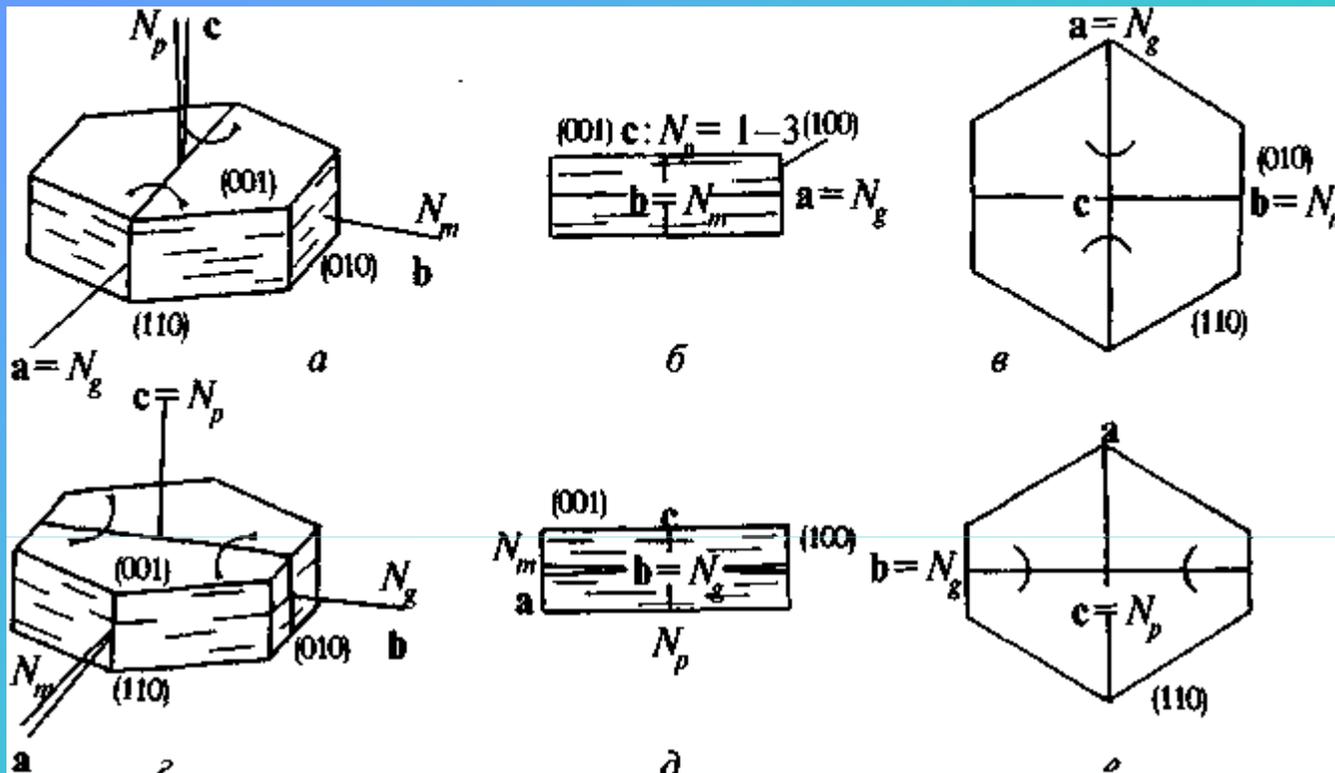


Наиболее распространенные слюды

Крайние члены изоморфных рядов	X	Y	Z	Промежуточные разновидности
Аннит	K	FeГ	AlSi ₄	Биотит
Флогопит	K	Mg ₃	AlSi ₃	
Сидерофиллит	к	Fe,ГAlO ₃	Al _{3,5} Si ₂	
Истонит	к	м,в,и,Ч ₃	Al _{3,5} Si ₂	
Лепидомелан	к	Рe, Г, Ч ₃	Al _{3,5} Si _{3,5}	
Мусковит	к	Al ₂	AlSi ₃	
Парагонит	Na	Al ₂	AlSi ₃	Серицит (смесь мусковита и иллиита — минерала из группы гидрослюд)
Полилитнионит, лепидолит	K	Li/d	Si ₄	
Протолитнионит, циннвальдит	K	LiFe ²⁺ Al	AlSi ₃	



Диагностика



Листоватая форма кристаллов и оптические свойства позволяют уверенно находить слюды под микроскопом.

Ориентировка оптической индикатрисы в кристаллах биотита

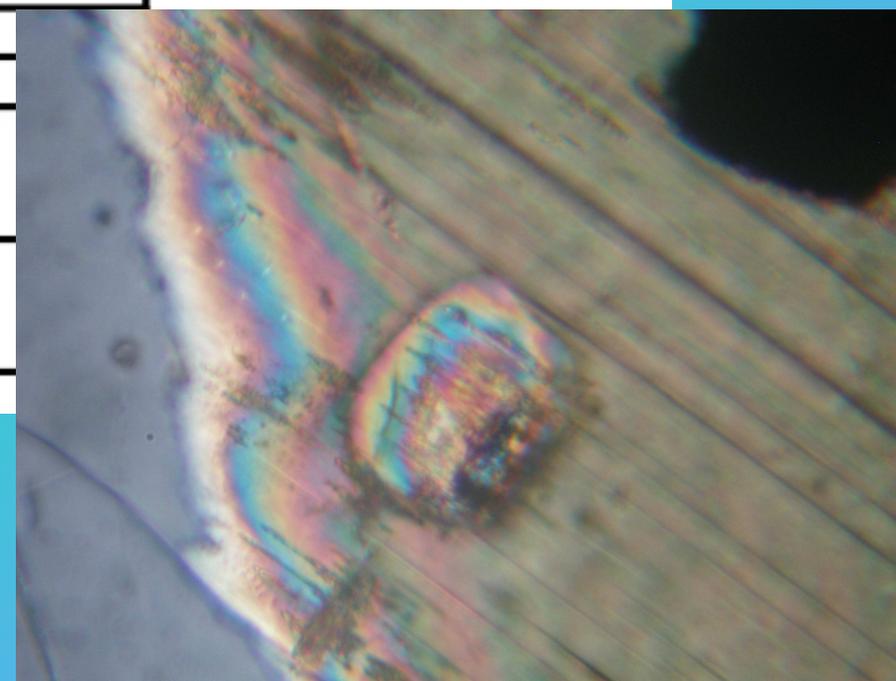
($a—в$) и мусковита ($г—е$):

$a, г$ — общий вид кристаллов; $б, д$ — продольные разрезы; $в, е$ — поперечные разрезы

Оптические свойства биотита и мусковита

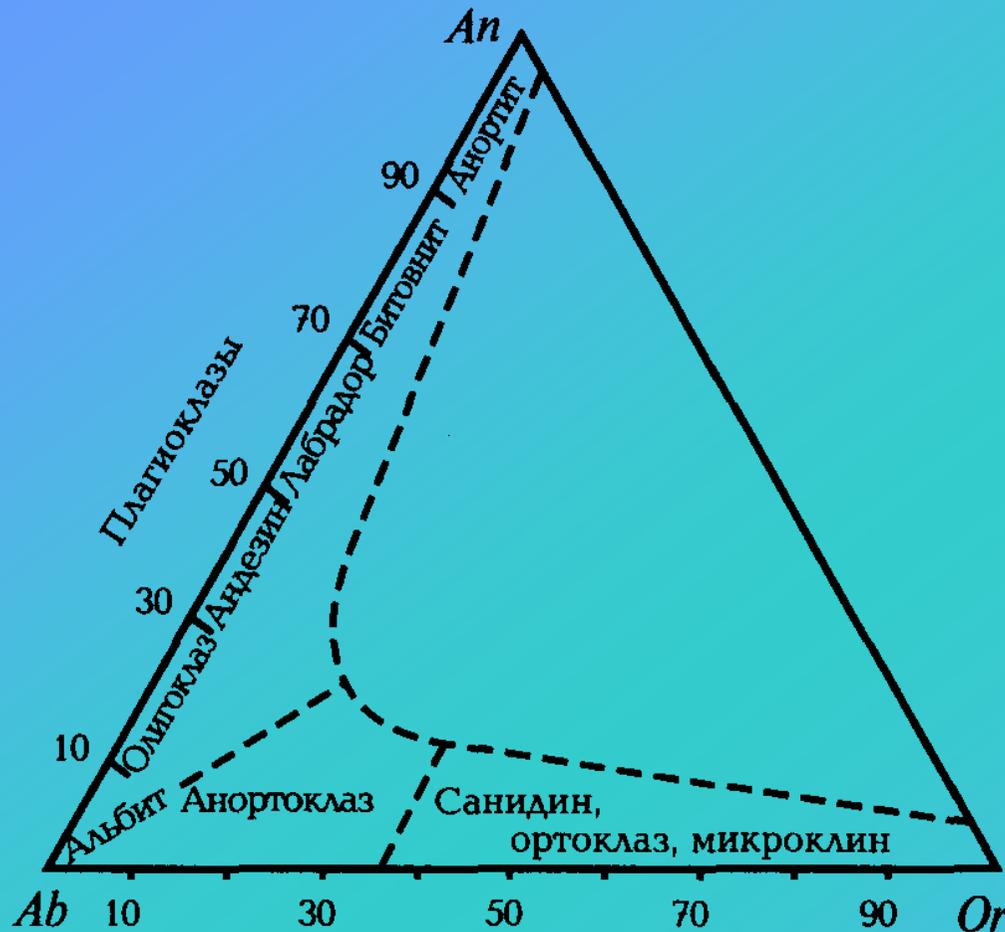
Свойства	Биотит	Мусковит
Форма кристаллов	Листочки, чешуйки	
Ориентировка индикатрисы	$a=7V - b=N; c:N=Q-3^\circ$ <i>S</i> <i>I</i> <i>P</i>	$c=N \cdot d$ $a=N, b=1-3^\circ$
Цвет	Коричневый	Бесцветный, иногда бледно-зеленый
Спайность	Весьма совершенная по (001)	
Показатели преломления	1.60-1.66	1.55-1.60
Угол оптических осей, $2V$	$-(0-10)^\circ$	$-(25-50)^\circ$
Величина двупреломления, $n - n$	0.040-0.060	0.037-0.041
Угасание	Прямое	
Удлинение	Положительное	
Плеохроизм и формула абсорбции	N — темно-коричневый, N_m — коричневый, N — желтовато-коричневый $TV > N_m > N$	Нет

(b)



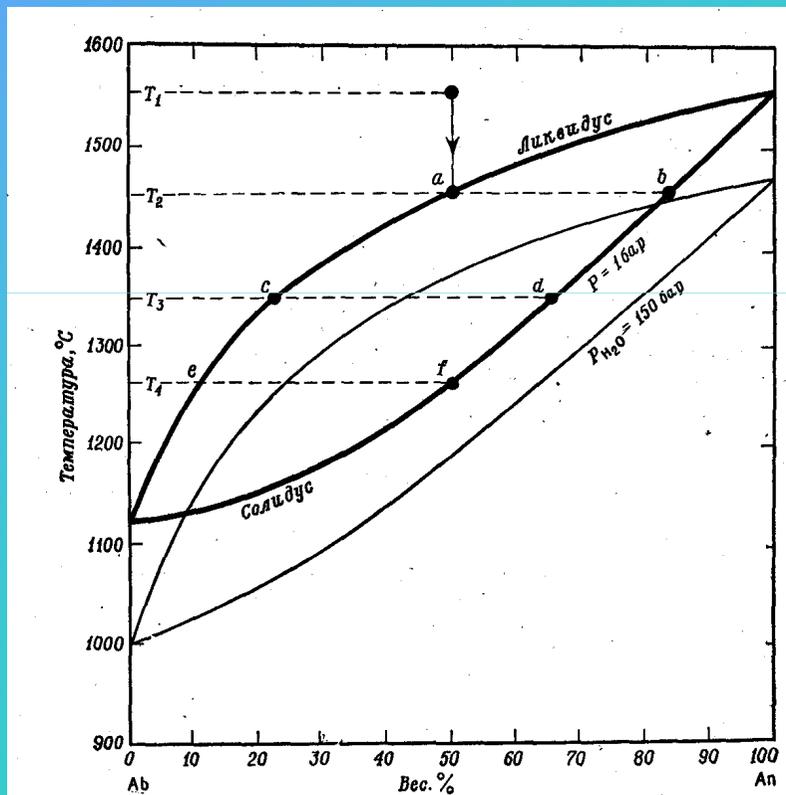
Вторичные изменения. В процессе гидротермального изменения биотит обесцвечивается за счет выноса железа, которое скапливается в виде магнетита или гематита, а также легко замещается хлоритом или мусковитом. Вдоль трещин спайности биотита бывает развит эпидот. Продуктом вторичного изменения флогопита может быть тальк. При изменении биотита, содержащего примесь титана, выделяются игольчатые кристаллы рутила, образующие характерный агрегат — сагенитовую решетку. Светлые слюды могут замещаться гидрослюдой или глинистыми минералами.

ПОЛЕВЫЕ ШПАТЫ



относятся к алюмосиликатам с непрерывными трехмерными каркасами тетраэдров (Si, Al)O₄ и кристаллизуются в триклинной и моноклинной сингониях. Полевые шпаты представлены двумя рядами: плагиоклазами (NaAlSi₃O₈—CaAl₂Si₂O₈) и щелочными полевыми шпатами (NaAlSi₃O₈—KAlSi₃O₈).

Плагиоклазы (триклинная сингония)
представляют собой непрерывный ряд твердых
растворов альбита ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) и анортита
($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)

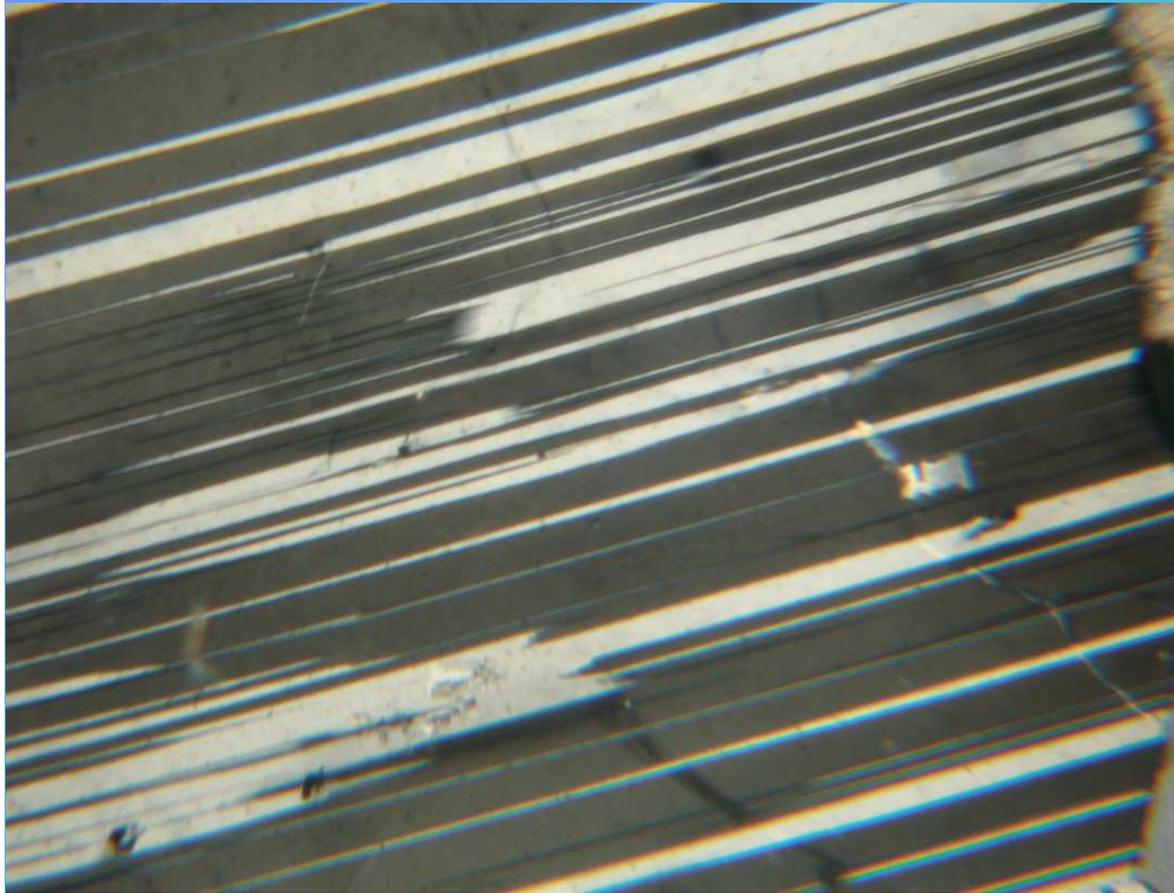


По содержанию
анортита (An в мол. %)
выделяют следующие
минеральные виды:

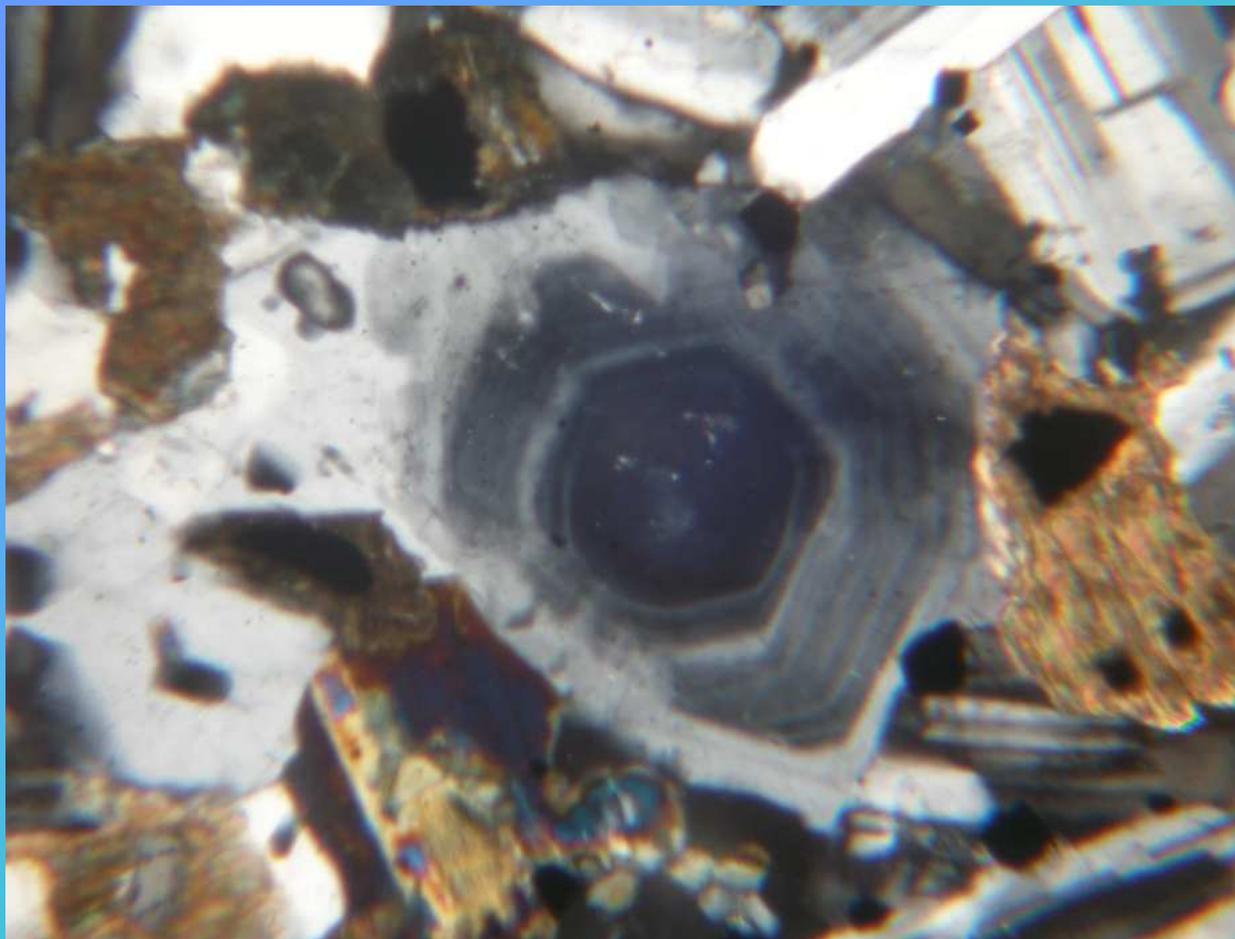
Альбит	0-10
Олигоклаз	10-30
Андезин	30-50
Лабрадор	50-70
Битовнит	70-90
Анортит	90-100.



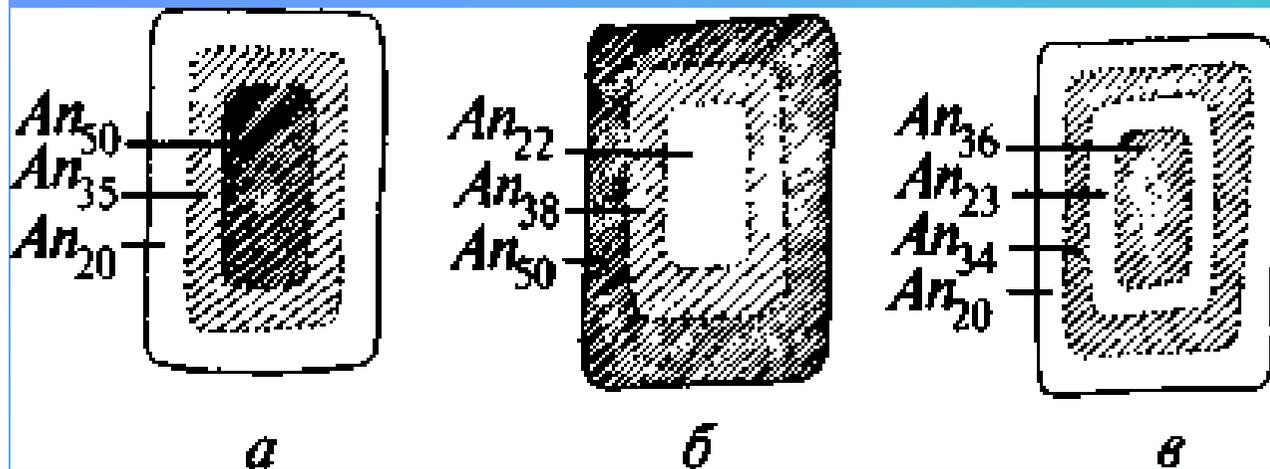
Плагиоклазам свойственны *двойники* — закономерные срастания кристаллов, имеющих общую кристаллографическую плоскость (плоскость срастания) и общее кристаллографическое направление, вокруг которого один кристалл повернут относительно другого на 180° (двойниковая ось). Плагиоклазы образуют либо простые двойники, состоящие из двух индивидов, либо полисинтетические двойники, которые состоят из нескольких индивидов



Все четные индивиды имеют одну ориентировку, а нечетные — другую. Вследствие этого четные индивиды гаснут в одном положении, а нечетные — в ином.

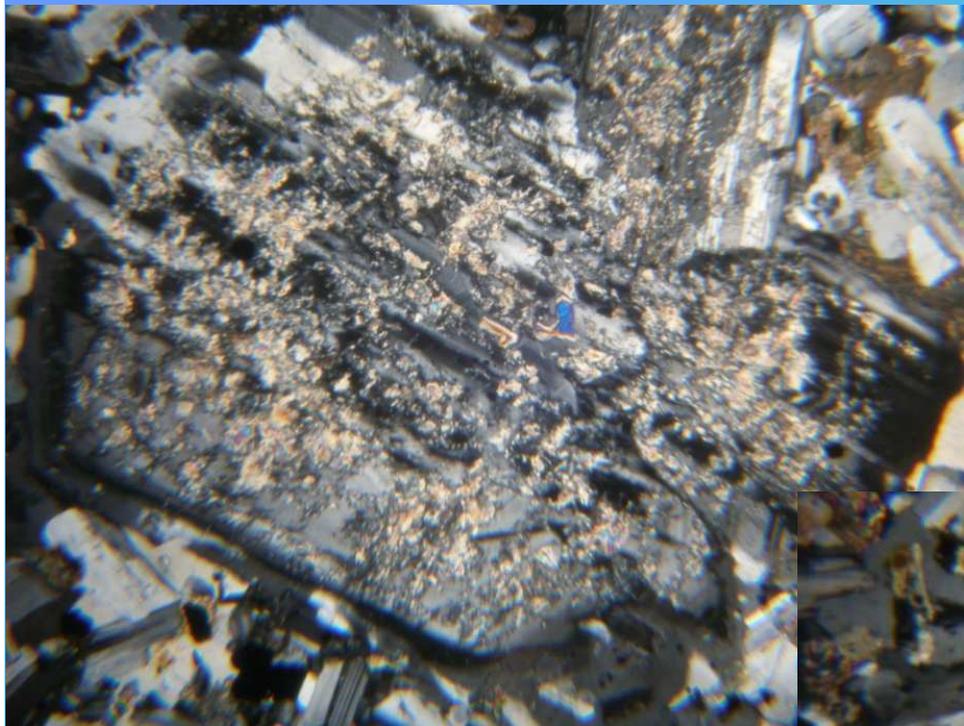


Плагиоклазы
магматических
пород часто
имеют зональное
стро-ение,
которое
выражается в
изменении
состава
кристаллов от
цен-тра к
периферии

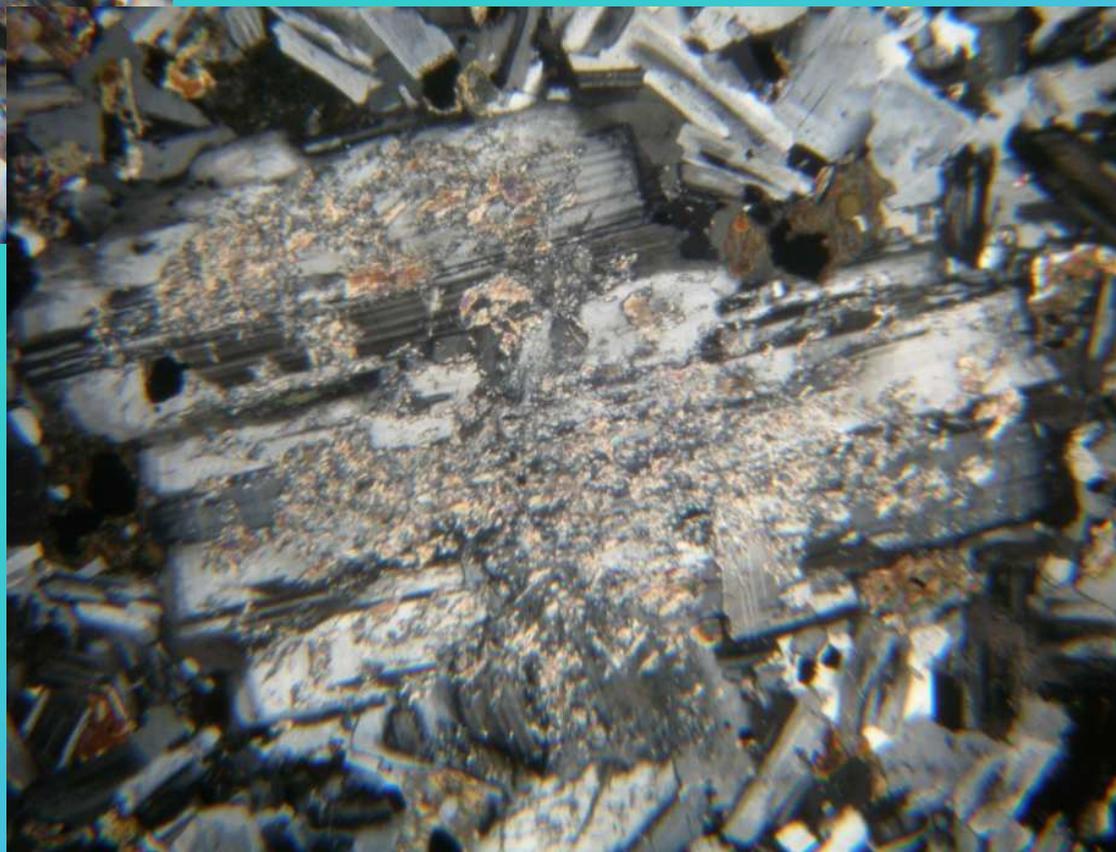


Различают прямую, обратную и ритмически повторяющуюся (осциллярную, рекуррентную) зональность.

Зональность кристаллов плагиоклаза: *a* — прямая; *б* — обратная; *в* — рекуррентная

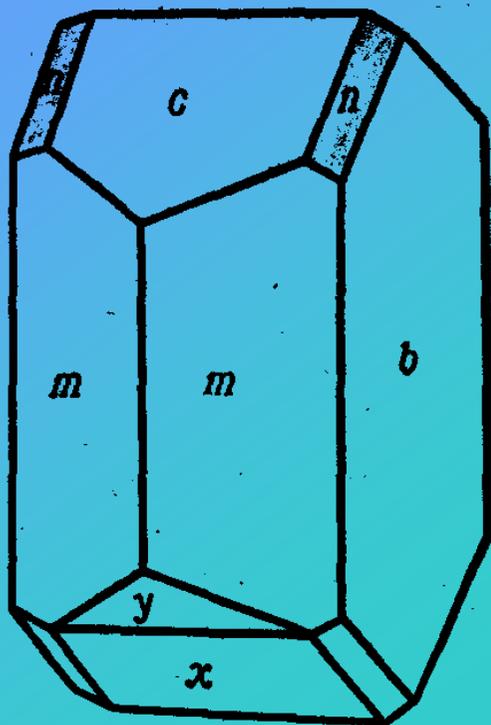


По плагиоклазам
развивается
соссюритовый
агрегат —
тонкозернистая смесь
альбита, серицита и
минералов группы
эпидота.



Щелочные полевые шпаты

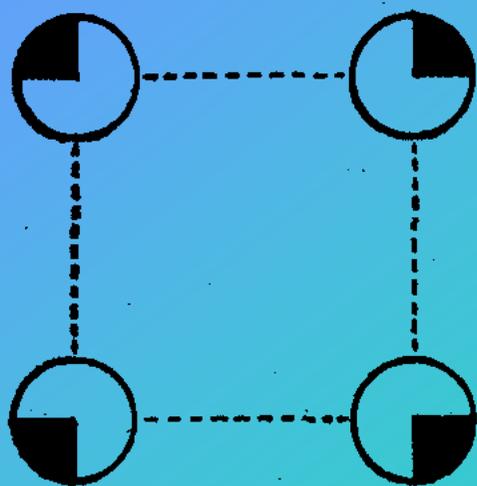
представляют собой серию твердых растворов альбита ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) и калиевого полевого шпата (KAlSi_3O_8), которые различаются степенью упорядоченности кристаллической решетки и степенью трюклинности, а также их сростки, обычно называемые пертиами.



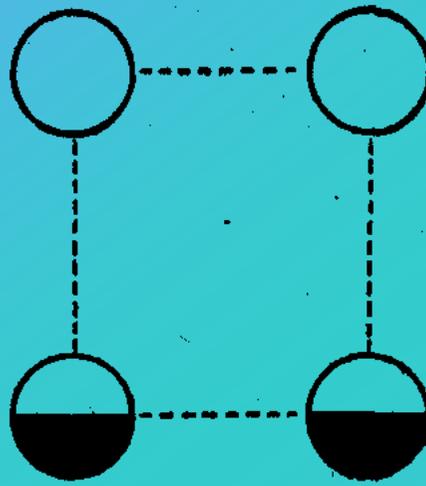
Кристалл ортоклаза карлсбадского габитуса.

Калиевые полевые шпаты. Существует несколько разновидностей калиевых полевых шпатов, имеющих один и тот же состав $\text{KA1Si}_3\text{O}_8$, но несколько различающихся по положениям ионов в атомной структуре в зависимости от температуры кристаллизации. *Санидин, ортоклаз* имеют мрноклинную сингонию, тогда как *микроклин* обладает триклинной симметрией.

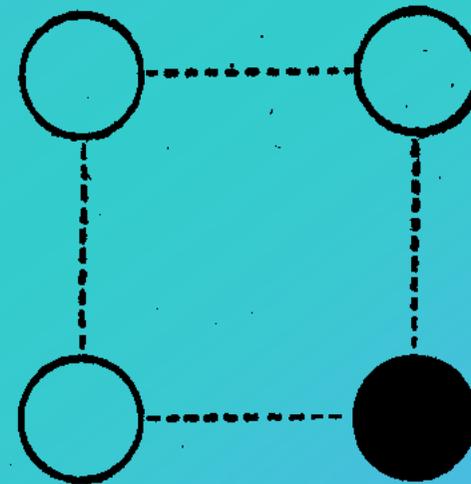
c — пинакоид (001) ; b — пинакоид (010) ; m — ромбическая призма (110) ; x и y — пинакоиды $(20\bar{1})$ и $(10\bar{1})$; o — ромбическая призма $(1\bar{1}\bar{1})$ в зоне x и b ; n — ромбическая призма (011) .



Санидик

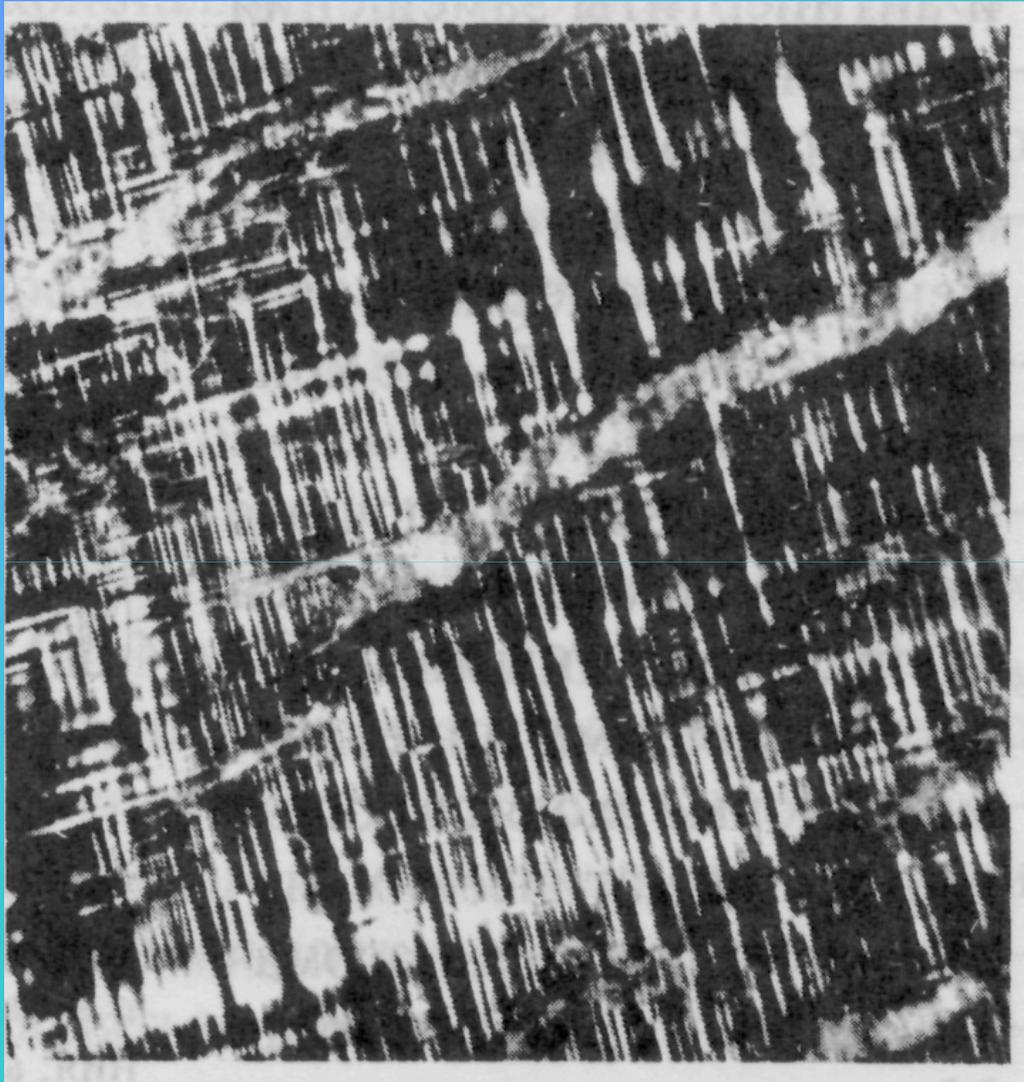


Ортоклаз



Микроклин

Схема статистического распределения ионов Al в эквивалентных положениях атомной структуры полевых шпатов



Полисинтетические двойники в микроклине, пересеченные пертитными замещениями.

Николи скрещены, поле зрения 1 x 1мм

Типы пертитовых вростков в КПШ



a



б



в

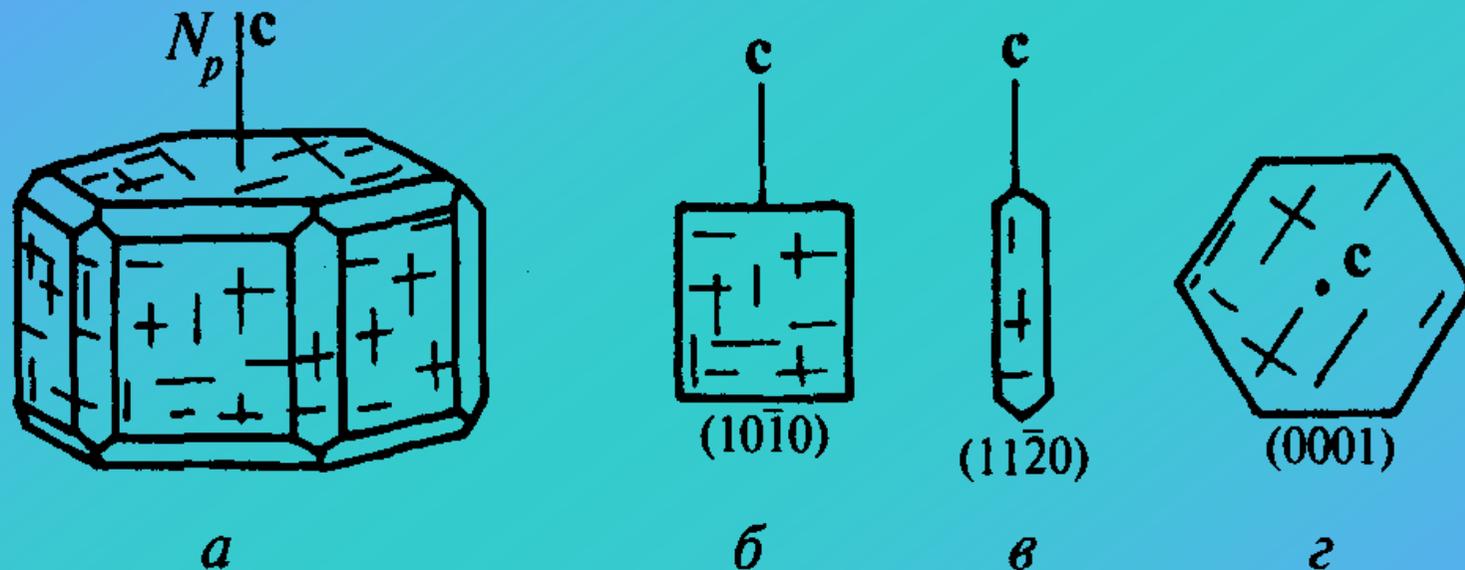
a — пертиты распада; *б* — пертиты замещения; *в* — пертиты распада со следами последующего замещения калиевого полевого шпата альбитом. Вростки альбита выделены точками

Группа фельдшпатоидов

Фельдшпатоиды (фельдшпатиды, фонды) — алюмосиликаты Na и K, которые отличаются от щелочных полевых шпатов меньшей насыщенностью кремнеземом. Если в полевых шпатах отношения Si/Na и Si/K равны 3, то в фельдшпатоидах лишь 2 или 1. Наиболее распространенными фельдшпатоидами являются *нефелин* и *лейцит*.

НЕФЕЛИН - $(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$

Доля KAlSi_3O_8 (кальсилита) обычно составляет около 25 мол.%. Сингония гексагональная.

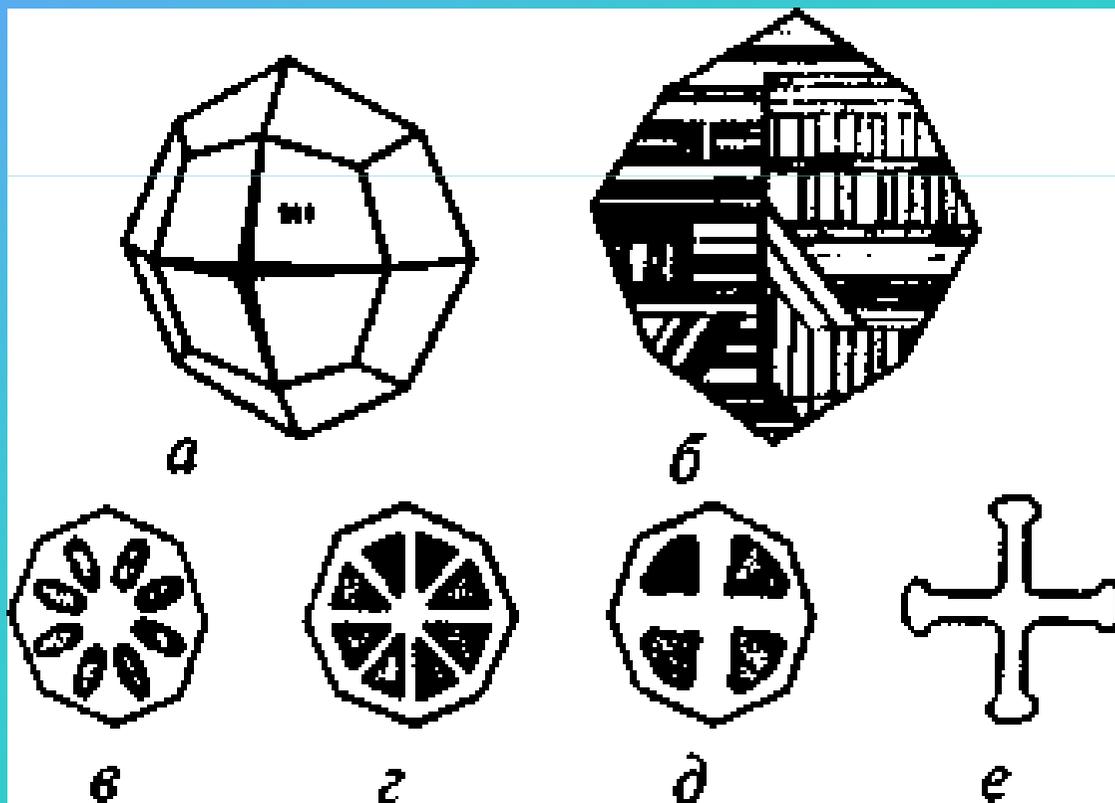


Форма кристаллов нефелина:

а — общий вид; б, в — продольные сечения; г — поперечное сечение

ЛЕЙЦИТ - $KAISi_2O_6$

Сингония тетрагональная (псевдокубическая).



Форма кристаллов лейцита, по А. А. Годовикову, 1985г.: *а* — общий вид; *б* — полисинтетические двойники; *в—д* — включения, ориентированные по направлениям роста; *е* — скелетный кристалл