

Главные пороодообразующие
минералы магматических
горных пород-2
Сазонова Л.В.

Распространенность в природе пироксенов

➤ В магматических породах

Вулканические (эффузивные): кимберлиты (алмазоносные породы), коматииты (древние высокотемпературные лавы), базальты, андезиты, дациты, риолиты.

Плутонические (интрузивные): габброиды, диориты, граниты.

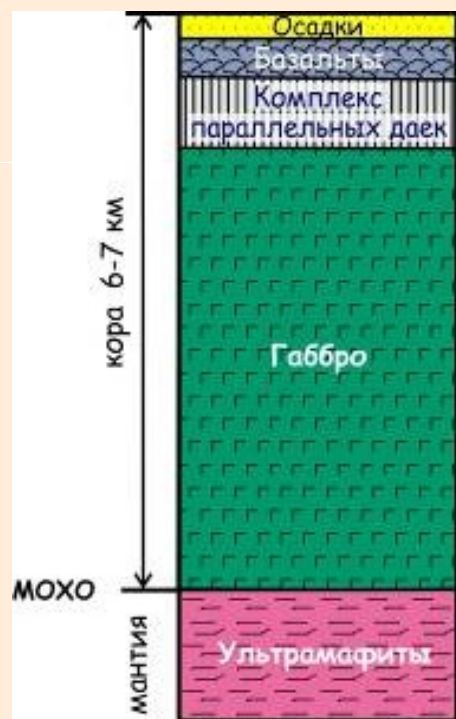
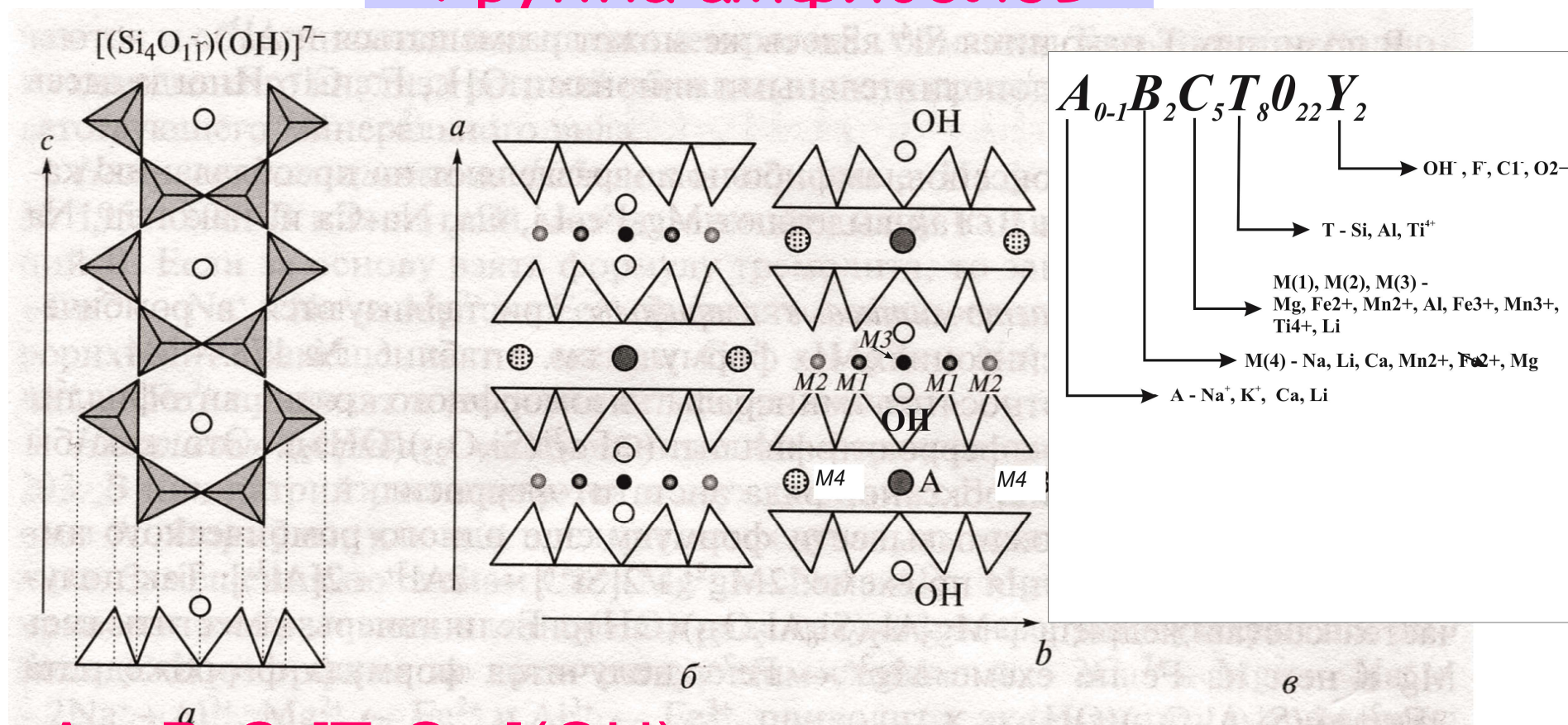


Схема строения океанической коры:
пироксены – главные минералы пород
разреза.

Группа амфиболов



Международная **классификация амфиболов** (Leake et al., 1997; 2003) насчитывает 79 миналов, которые по содержанию катионов в позиции **B** разделяются на 5 подгрупп.

где **A** = $[K, Na, \square^*]$;

B = $[Na, Ca, Mg, Fe^{2+}, Mn]$

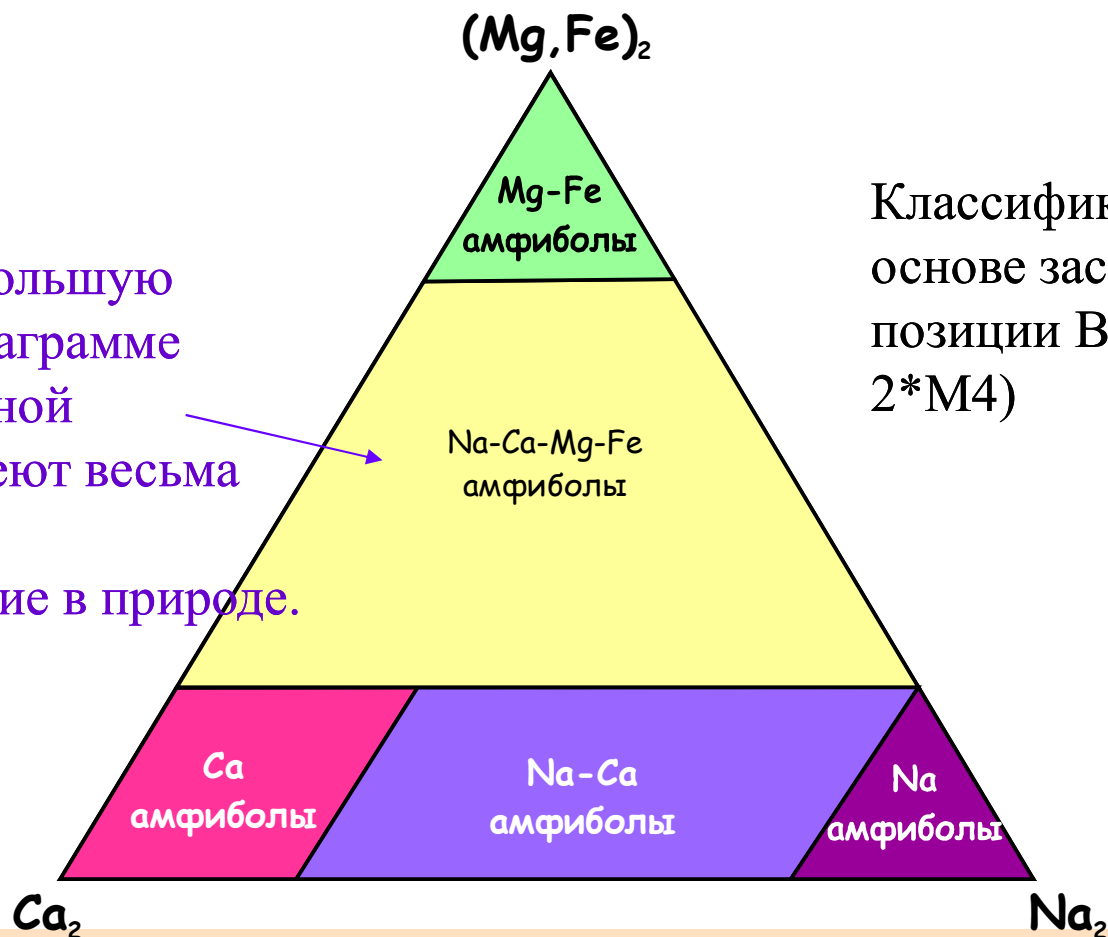
C = $[Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al, Cr \text{ и } Ti]$

T = $[Si, Al, Ti]$.

* - вакансия

Основные подгруппы амфиболов*

Несмотря на большую площадь на диаграмме амфиболы данной подгруппы имеют весьма ограниченное распространение в природе.

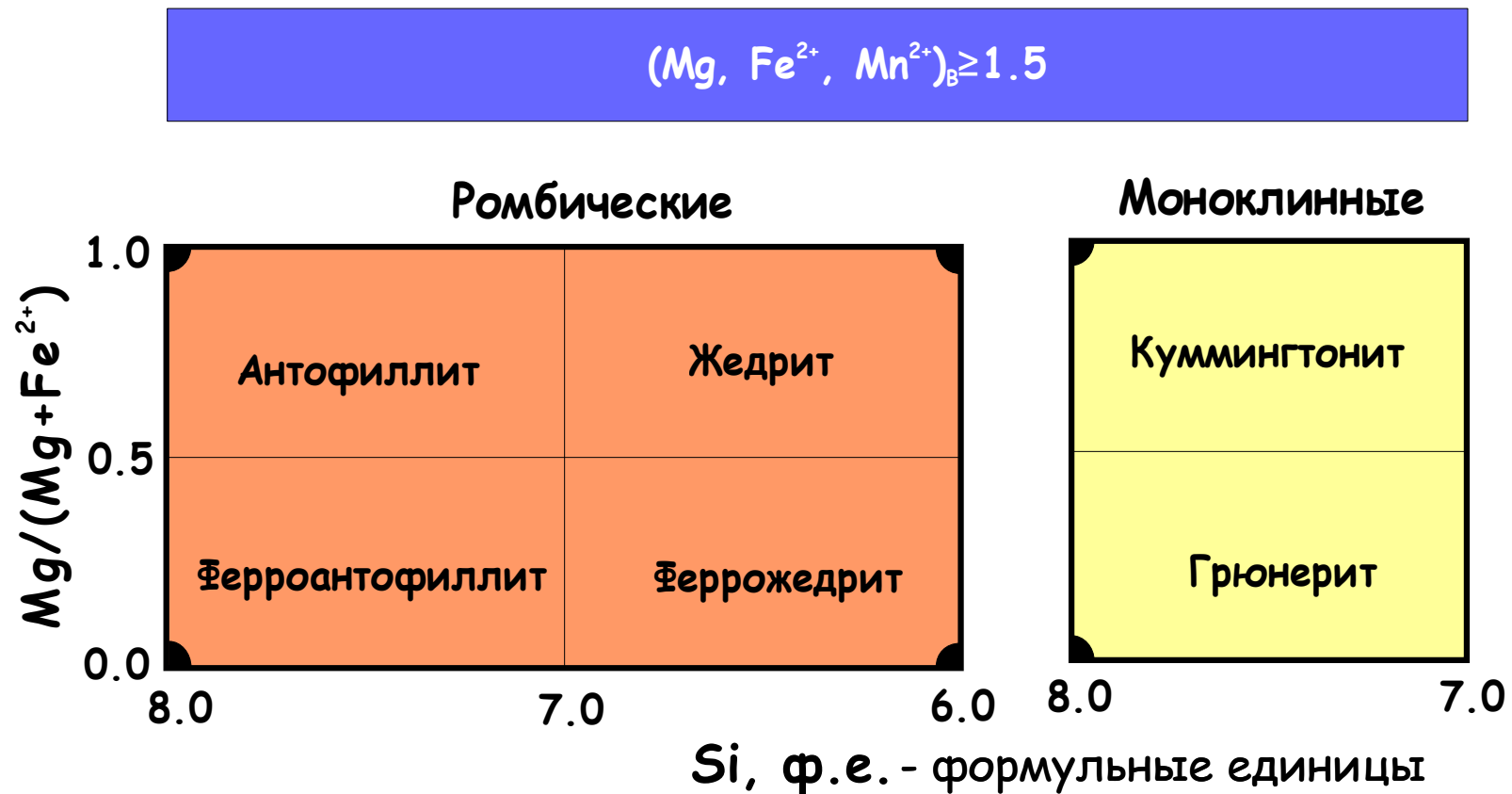


Классификация на основе заселенности позиции В (точнее $2 \cdot M_4$)

- Mg-Fe амфиболы: $(Mg, Fe)_B \geq 1.5$
- Ca амфиболы: $(Mg, Fe)_B \leq 0.5$, $(Ca+Na)_B \geq 1.5$ и $Na_B < 0.5$
- Na-Ca амфиболы: $(Mg, Fe)_B \leq 0.5$, $(Ca+Na)_B \geq 1.5$ и $0.5 < Na_B < 1.5$
- Na амфиболы: $(Mg, Fe)_B \leq 0.5$, $Na_B \geq 1.5$
- Na-Ca-Mg-Fe : $0.5 < (Mg, Fe)_B < 1.5$ и $0.5 \leq (Ca, Na)_B < 1.5$

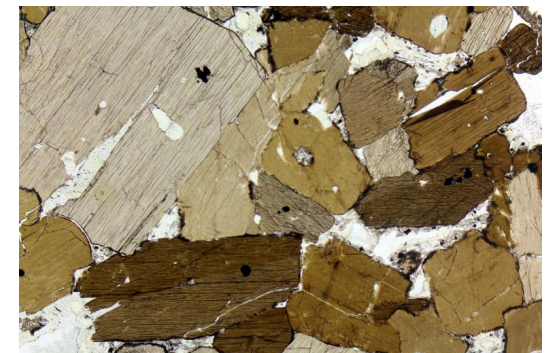
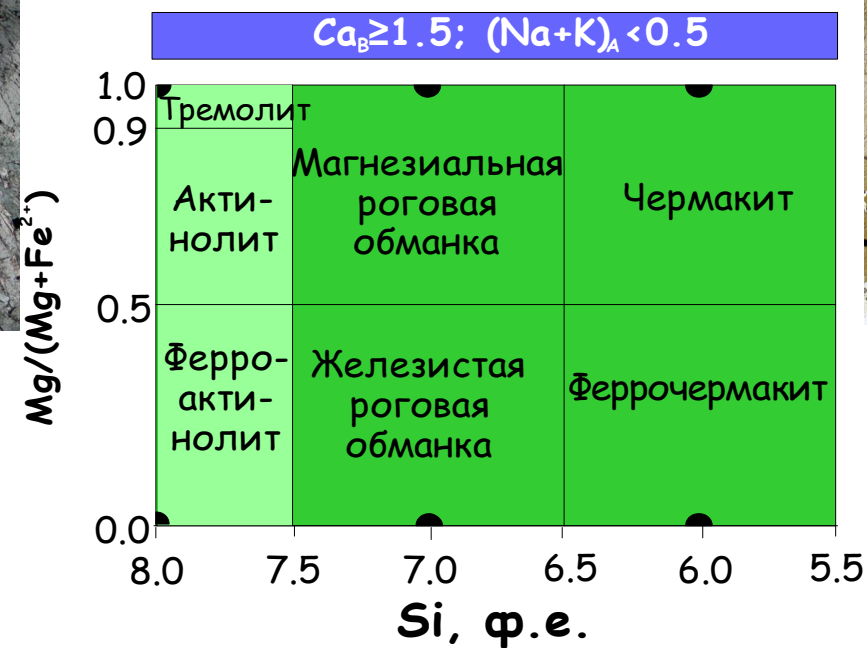
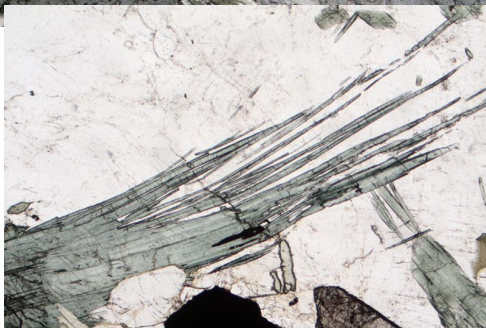
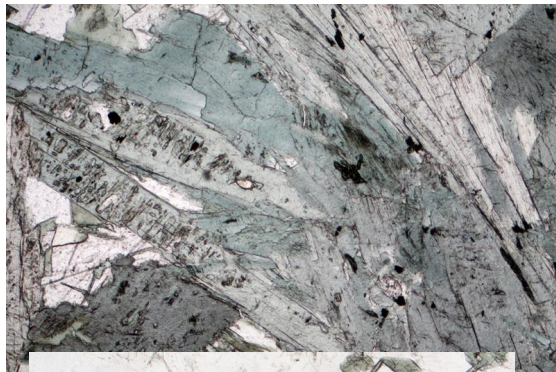
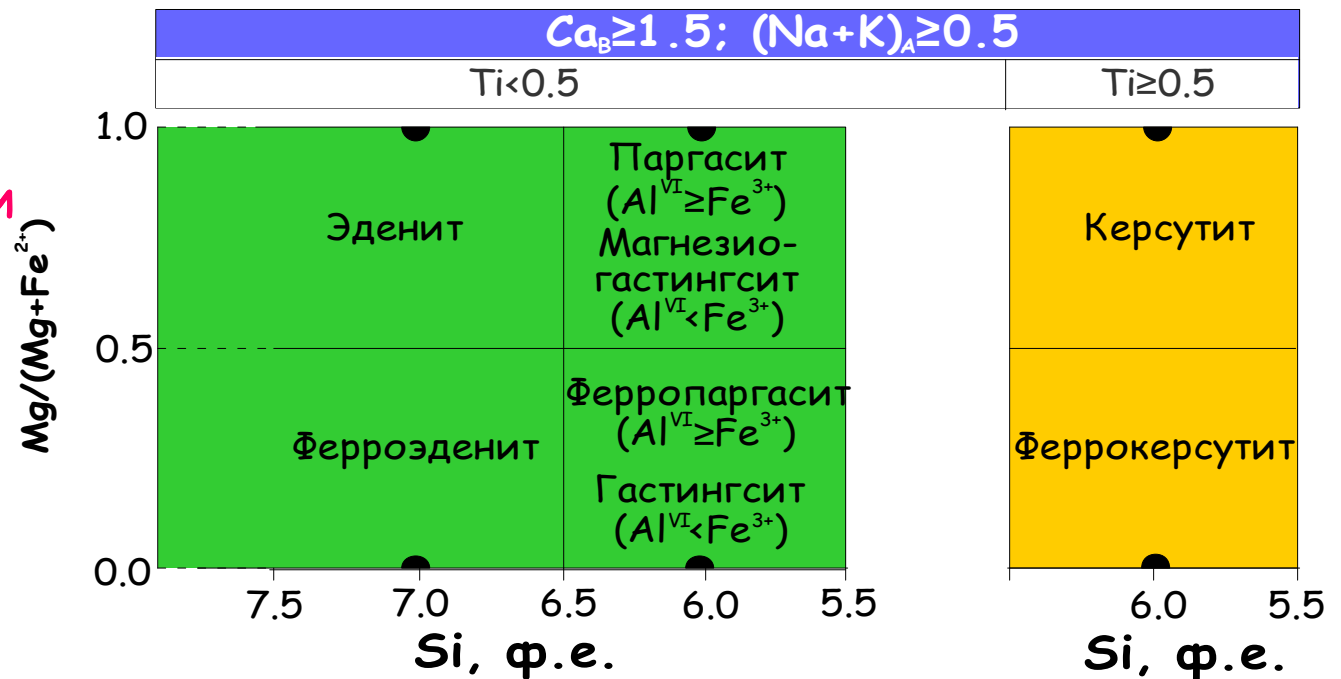
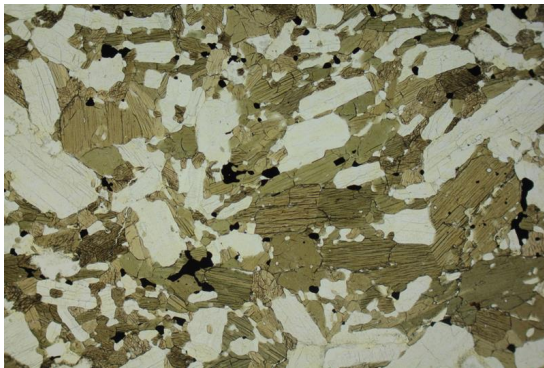
* Для упрощения исключены малораспространенные Li и Mn составляющие амфиболов.

Mg-Fe амфиболы



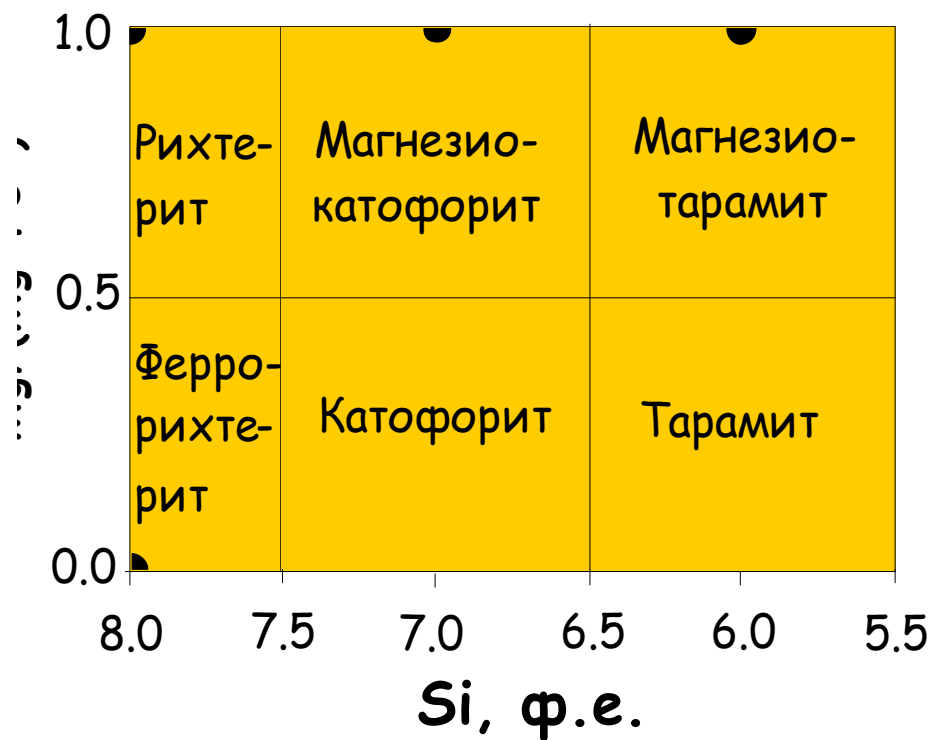
Встречаются в бескальциевых или бедных кальцием породах: перидотиты и метаперидотиты.

Ca Амфиболы.
Раньше все эти
амфиболы назывались
«роговыми обманками»
(кроме Tr-Act)

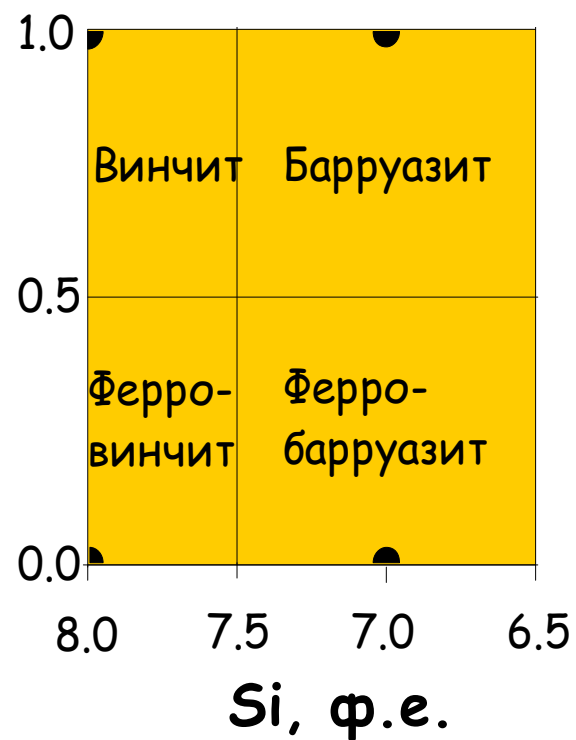


Ca-Na амфиболы

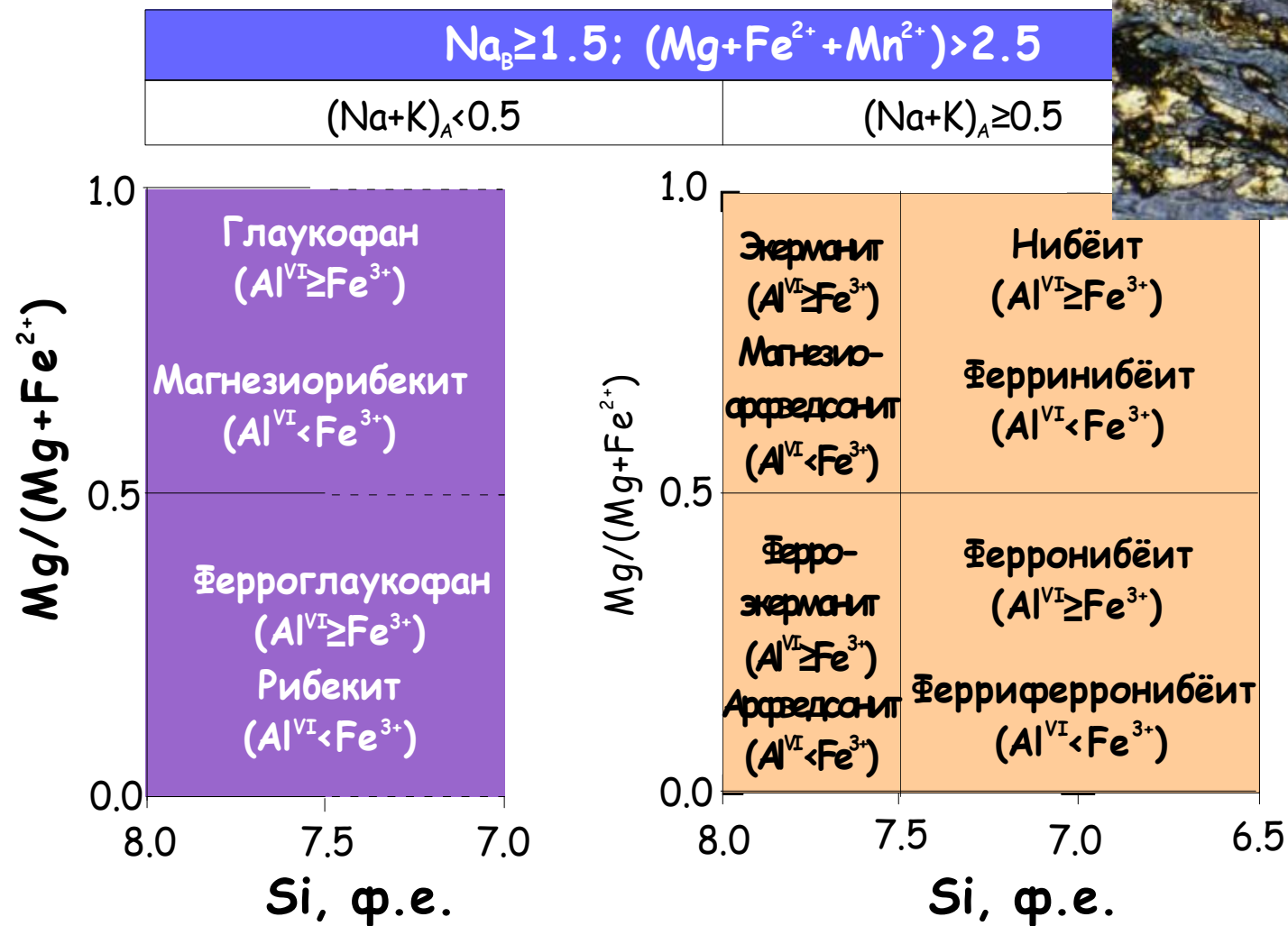
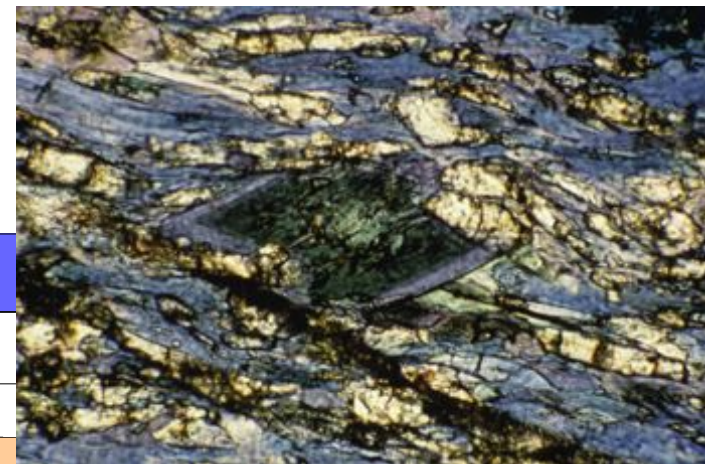
$(Na+K)_A \geq 0.5$; $(Ca+Na_B) \geq 1.5$; $0.5 < Na_B < 1.5$



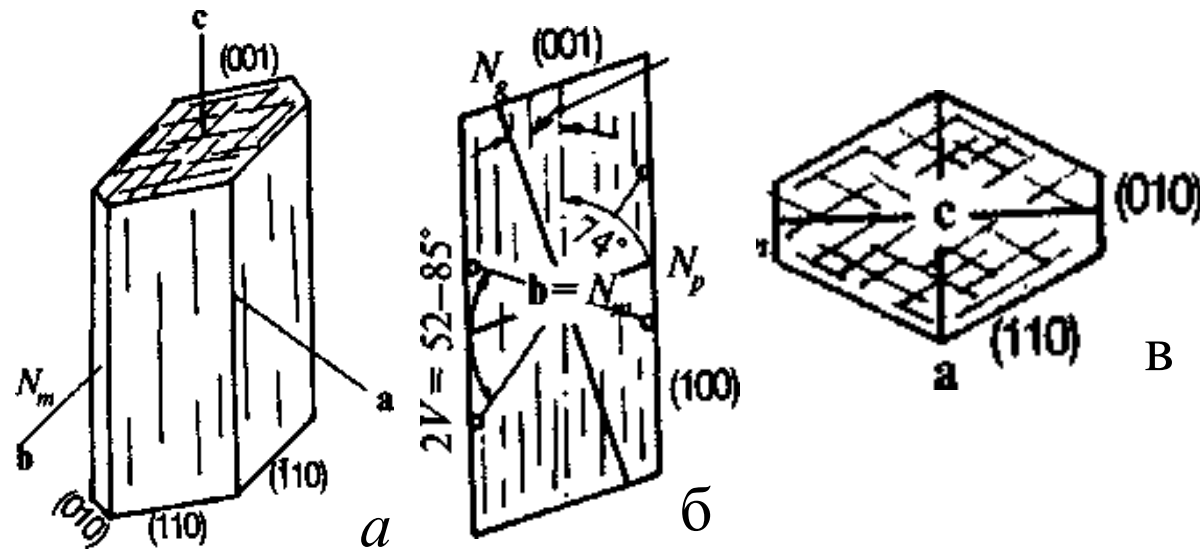
$(Na+K)_A < 0.5$; $(Ca+Na_B) \geq 1.5$; $0.5 < Na_B < 1.5$



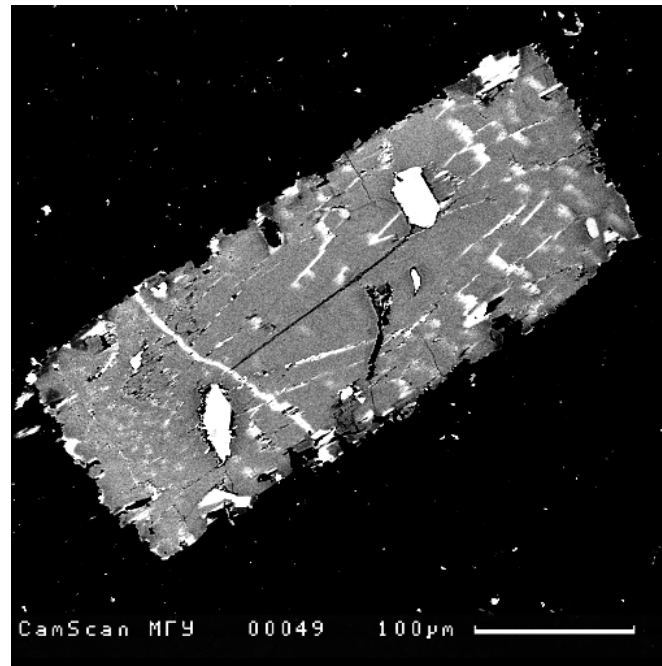
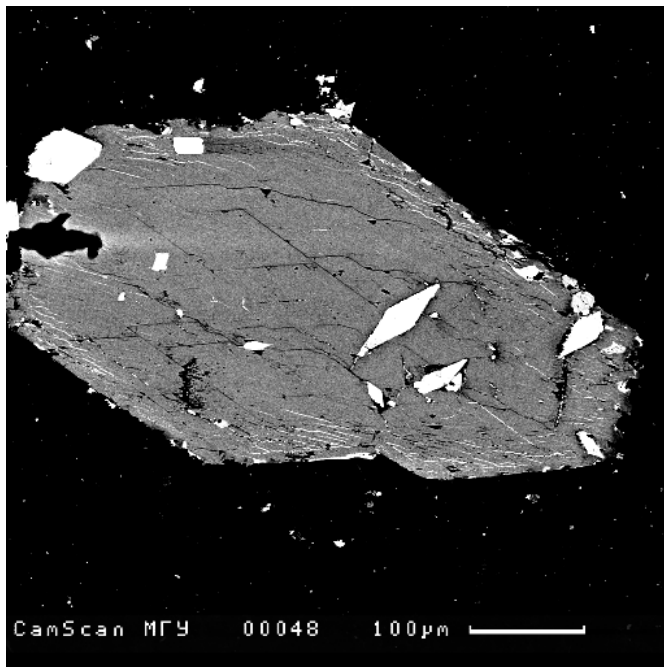
Щелочные амфиболы

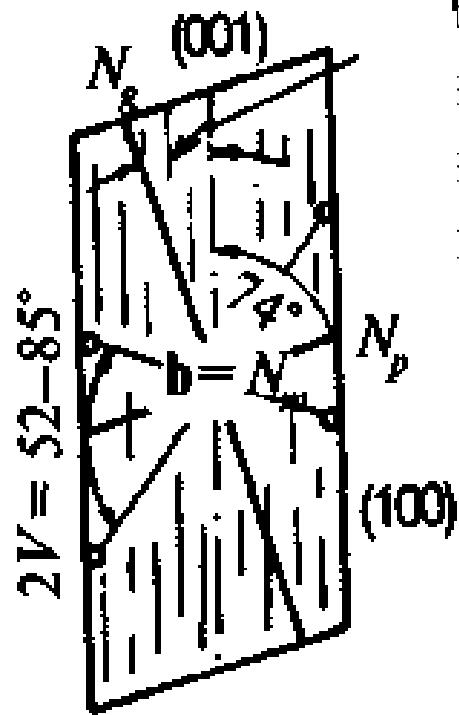


ДИАГНОСТИКА



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





На всех разрезах моноклинных амфиболов, кроме, перпендикулярных (010), наблюдается косое угасание, причем углы угасания с:Ng не превышают 30°

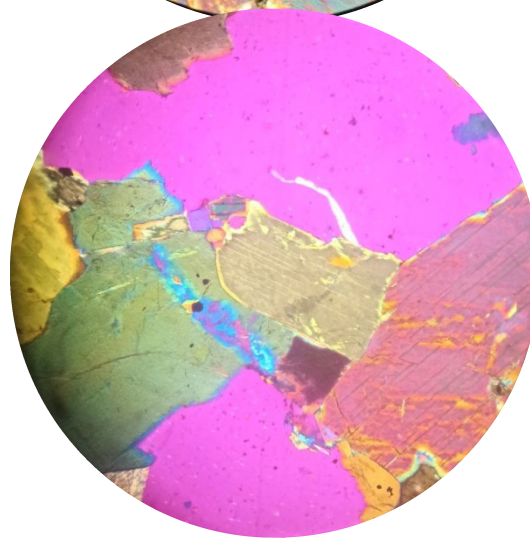
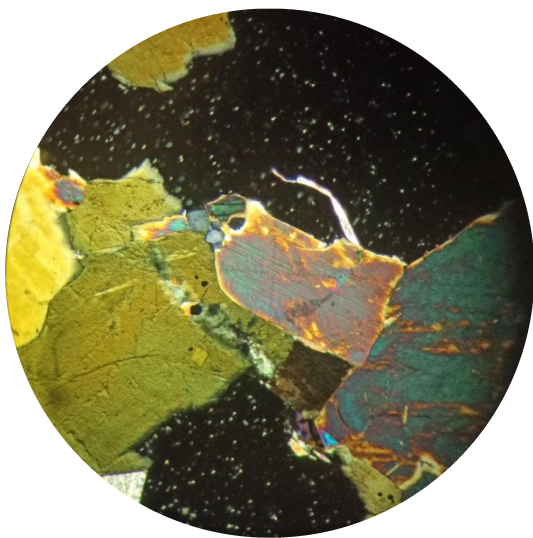
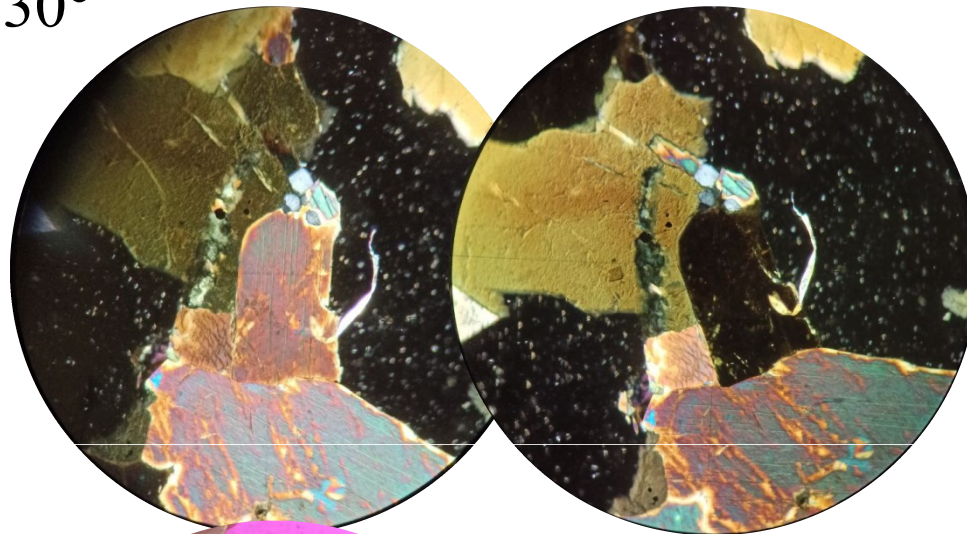
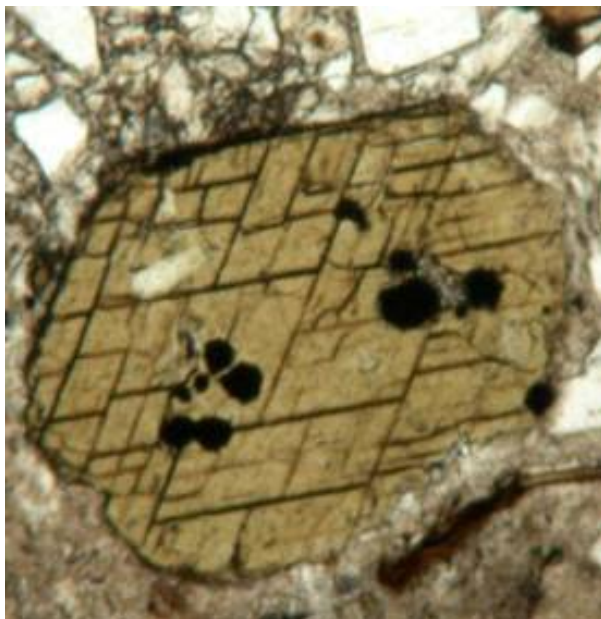
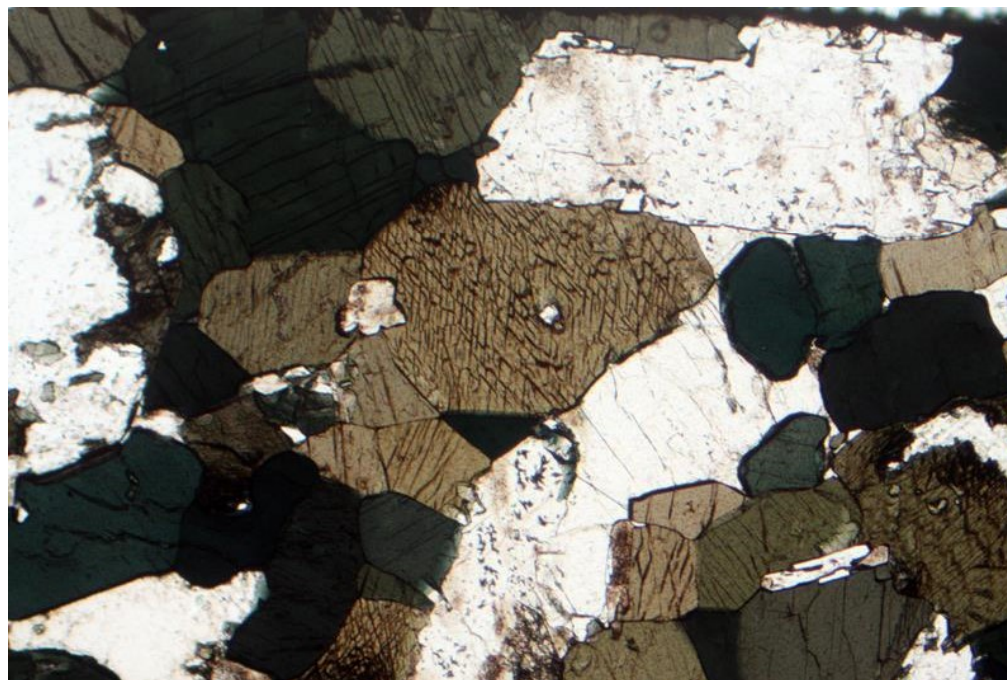
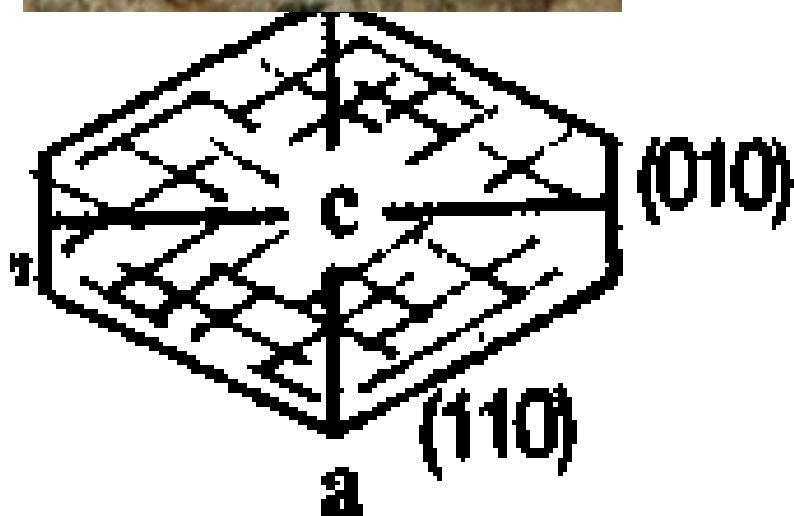


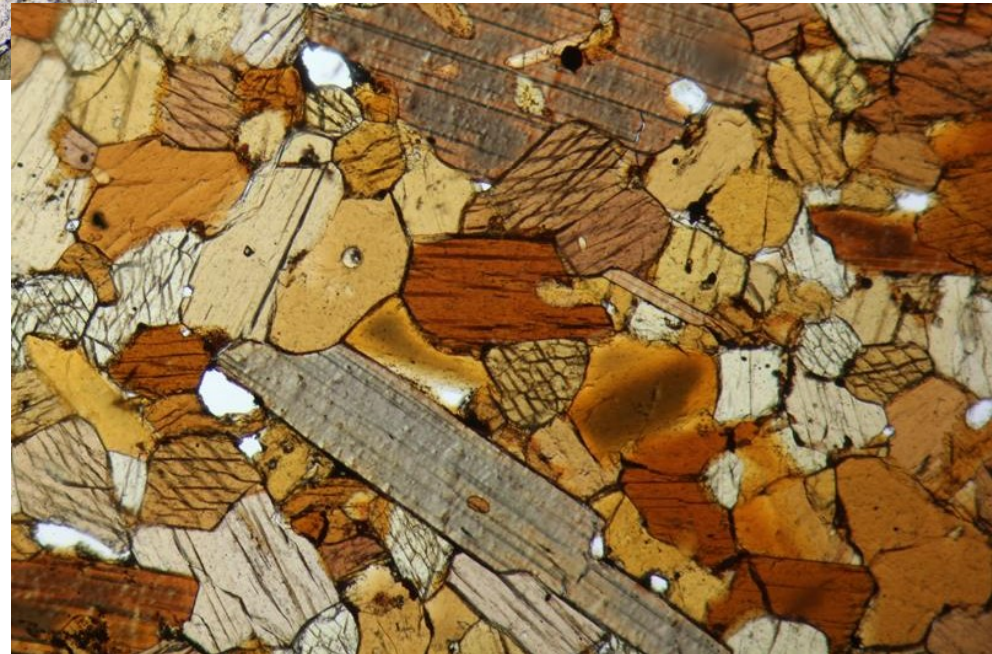
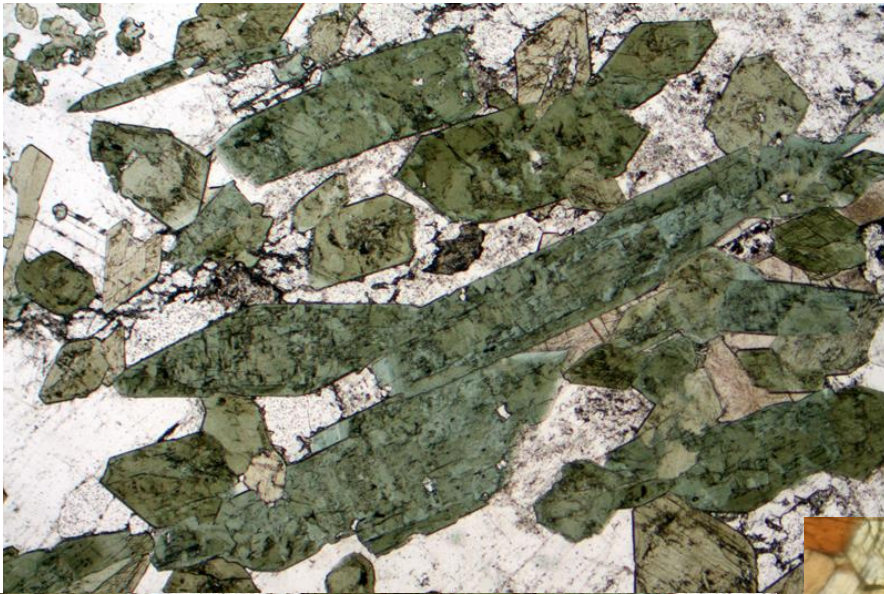
Фото А. Тихоненко



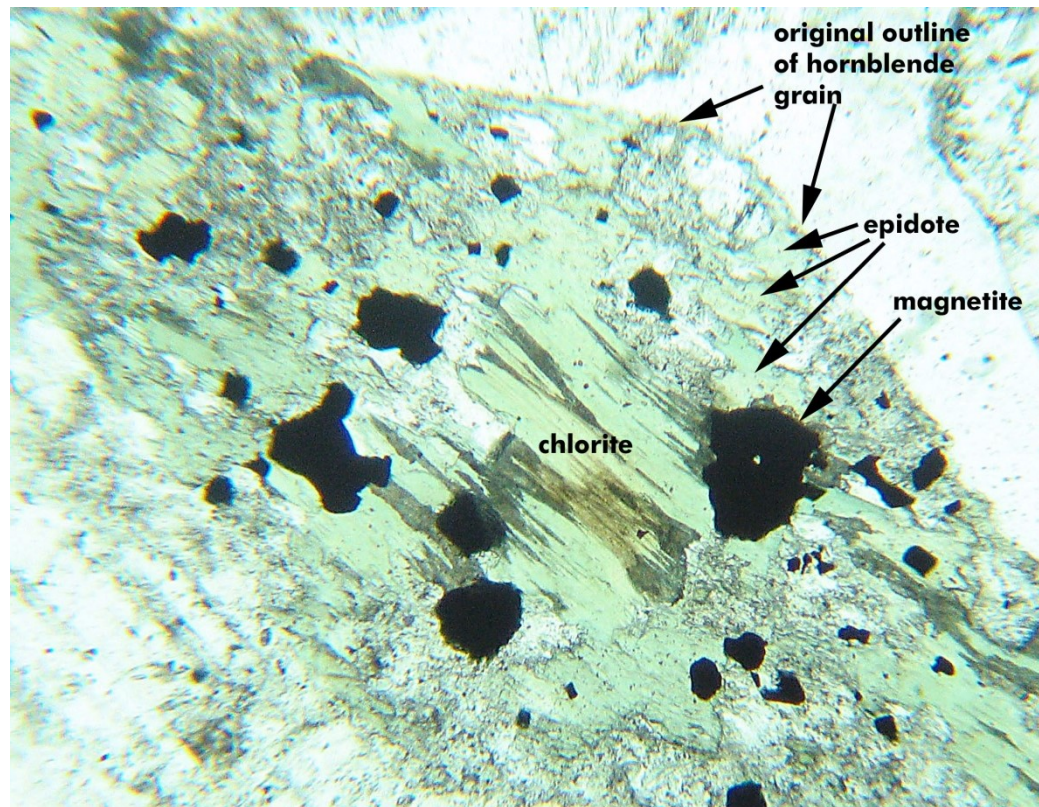
Для амфиболов характерны кристаллы с двумя системами трещин спайности, пересекающихся под углом 56° , которые хорошо видны на **поперечных** сечениях.

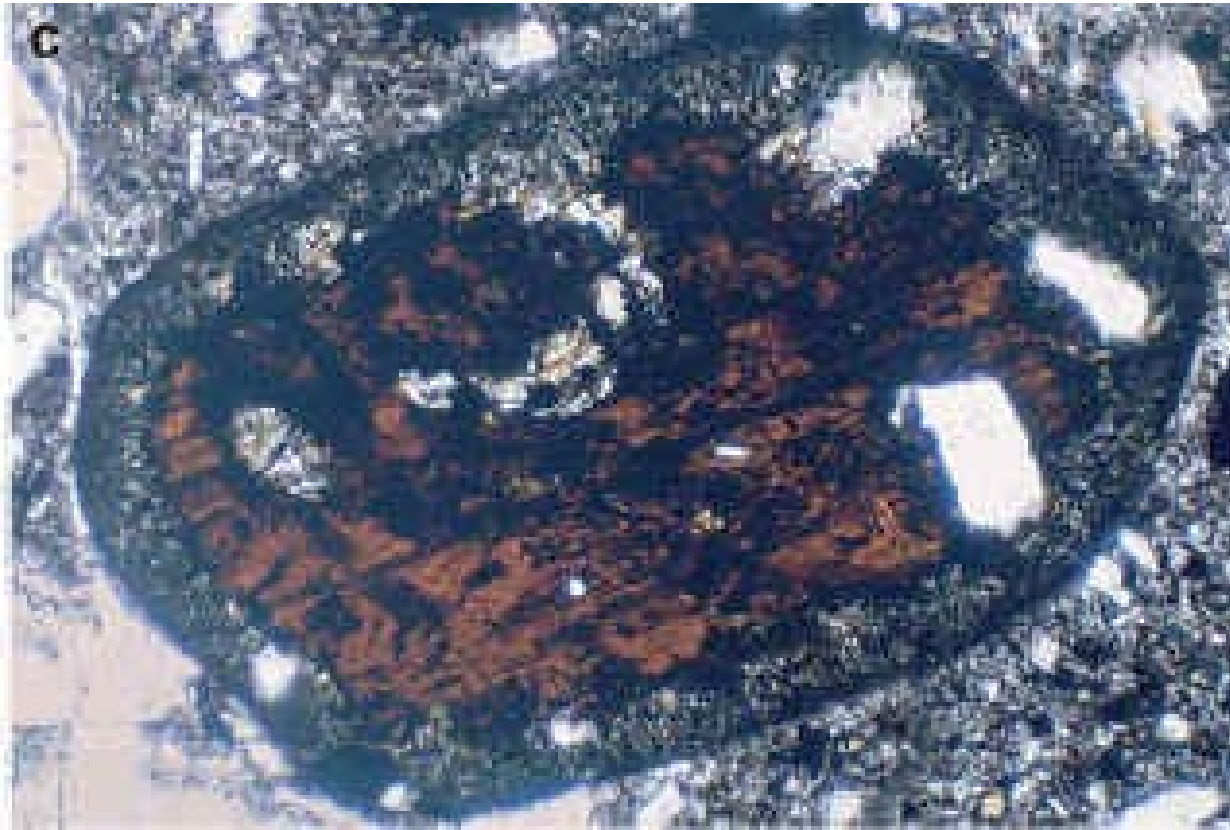


Все наиболее распространенные амфиболы, кроме тремолита, который почти бесцветен, окрашены в зеленые или бурые тона и обнаруживают отчетливый плеохроизм.



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].

Распространенность в природе

Благодаря многообразию изоморфных замещений амфиболы встречаются во многих литологических типах магматических и метаморфических горных пород земной коры и верхней мантии.

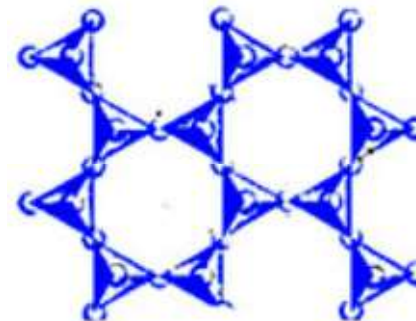
Группа слюд



где $A = K, Na, Ca$

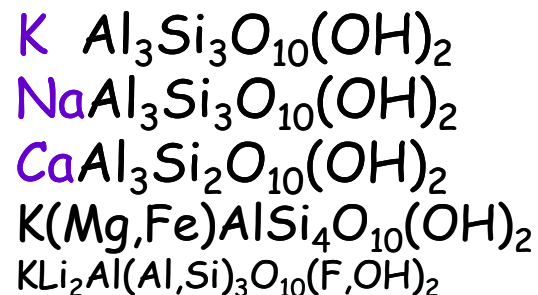
$M = Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al, Ti,$

$T = Si, Al$



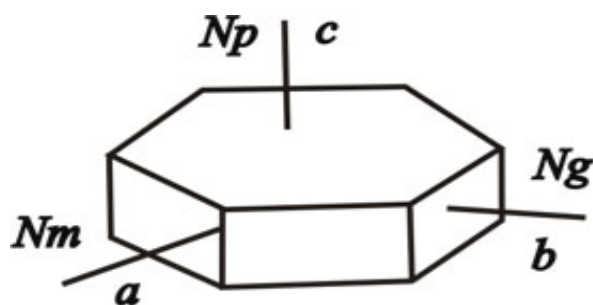
Номенклатура слюд

Светлые мусковит (Mu)
парагонит (Par)
маргарит (Mrg)
селадонит (Cel)
лепидолит



Темные **БИОТИТ** - твердый р-р 4 миналов

флогопит	(Phl)	$KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$
аннит	(Ann)	$KFe_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$
истонит	(Ist)	$KMg_2Al_3Si_2O_{10}(OH)_2$
сидерофиллит	(Sid)	$KFe_2Al_3Si_2O_{10}(OH)_2$



Биотит $K_3(Mg,Fe)$

$_3(Si_3AlO_{10})(OH,F)_2$

Флогопит $KMg_3(Si$

$_3AlO_{10})(OH,F)_2$

Мусковит $K_3Al_2(Si$

$_3AlO_{10})(OH)_2$

Из минералов группы слюд в магматических горных породах наиболее широко распространен **биотит**.

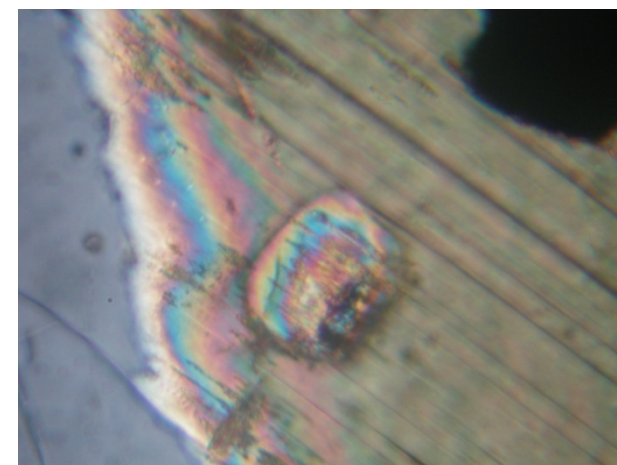
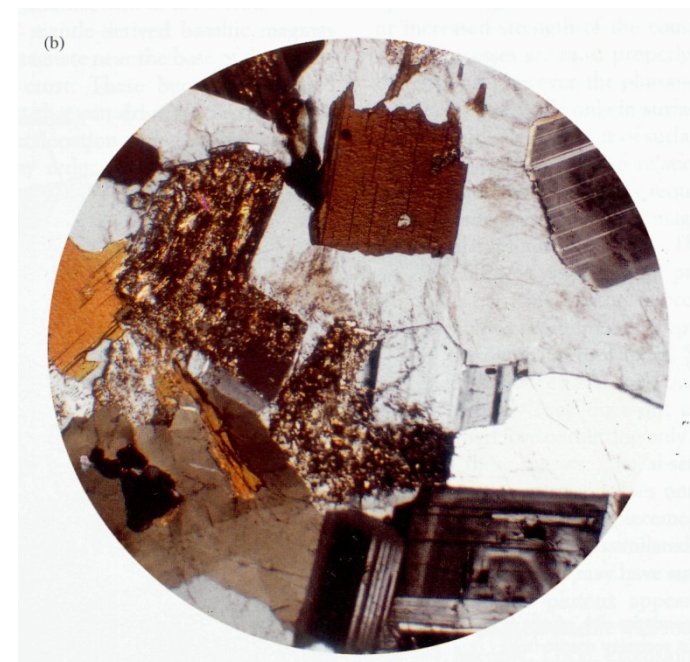
Мусковит первично магматический только в пегматитах и гранитах, сильно обогащенных калием и легколетучими компонентами. Появление мусковита в магматических горных породах свидетельствует о наложении на них процесса грейзенизации. Часто имеет гидротермальное происхождение. И мусковит, и серицит (мелкочешуйчатый мусковит) типичны для метаморфических пород.

В соответствии с изменением состава меняется и окраска биотитов.

Красноватый оттенок биотиту придает повышенное содержание в нем **титана**. **Титанистые** биотиты являются более высокотемпературными.

Зеленый оттенок плеохроизма свидетельствует о высокой степени **окисления железа (Fe^{3+})**. Одновременное присутствие титана и трехвалентного железа в значительных количествах обуславливает зелено-красно-бурую окраску биотита со своеобразным плеохроизмом.

- Минералы группы слюд относятся к числу широко распространенных, играющих роль породообразующих минералов в кислых интрузивных породах и кристаллических сланцах соответствующего состава. Для кристаллизации слюд необходимо присутствие щелочных металлов. Из расплава они, как правило, выделяются позже других цветных минералов. Слюды принадлежат к листовым алюмосиликатам и кристаллизуются в моноклинной сингонии. В минералах этой группы широко развиты катионные замещения, вследствие чего колеблются их оптические константы.



диагностика

	Биотит	Флогопит	Мусковит
Форма кристаллов	таблицы, пластинки, листочки, чешуйки, розетки, веерообразные агрегаты		
Цвет и плеохроизм, схема абсорбции	коричневый $N_g \sim N_m > N_p$ $N_g \sim N_m$ – бурый, красно-коричневый, N_p – темно-желтый, коричнево-зеленый	бесцветный или слабо буроватый $N_g > N_m \gg N_p$ N_g – желтый, коричн. N_m – красн.-бурый, N_p – бесцветный	бесцветный, слабо зеленоватый или желтоватый <u>псевдоабсорбция</u>
Показатель преломления, рельеф	$n_g=1,697$, $n_p=1,616$	$n_g=1,597$, $n_p=1,550$	$n_g=1,588$, $n_p=1,552$
Спайность, двойники	весьма совершенная по (001), редко простые		
Величина двупреломления	0,040-0,081	0,038-0,047	0,036-0,042

Диагностика

Знак зоны (удлинение)	знак зоны +	знак зоны +	знак зоны +
Оптический знак, $2V$	$2V = -(0-15)^\circ$	$2V = -(0-20)^\circ$	$2V = -(20-47)^\circ$
Угол погасания $c:N_g$,	$c:N_g = 0^\circ$, редко до $8-10^\circ$		
Характерные признаки	прямое погасание, осность и $2V$, схема абсорбции <u>биотитовая</u>	цвет, $(N_g - N_p)$, погасание, ассоциации	цвет, псевдоабсорб-ция, $(N_g - N_p)$, прямое погасание
Вторичные минералы	хлорит, эпидот, сфен, карбонаты, сагениит, мусковит	талек, хлорит	альбит, серицит-продукт разрушения полевых шпатов
Происхождение	магматический, особенно в кислых породах, пегматитовый, контактово-метаморфический, гнейсы и сланцы	распространен в метаморфических породах, в магматических характерен для ультраосновных пород	первичный в магматических кислых породах, пегматитах, в гнейсах, сланцах, чаще гидротермальный

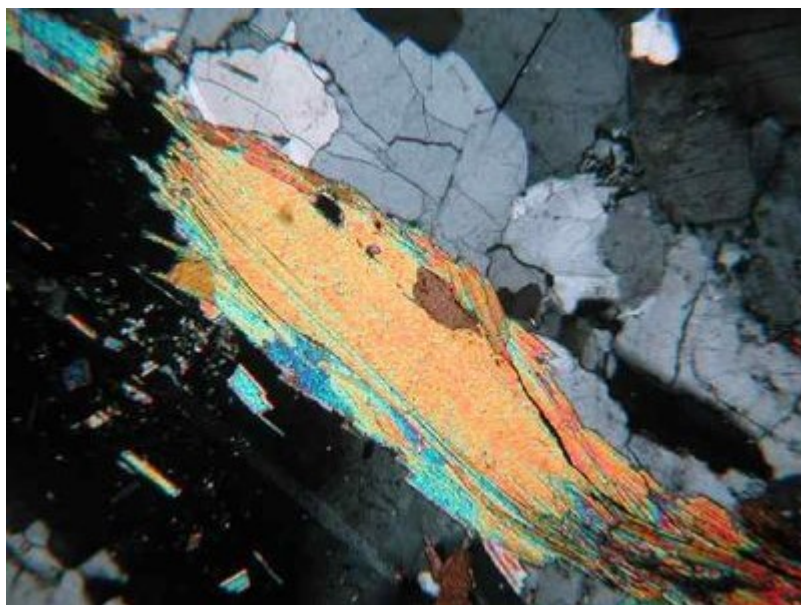
МУСКОВИТ



а

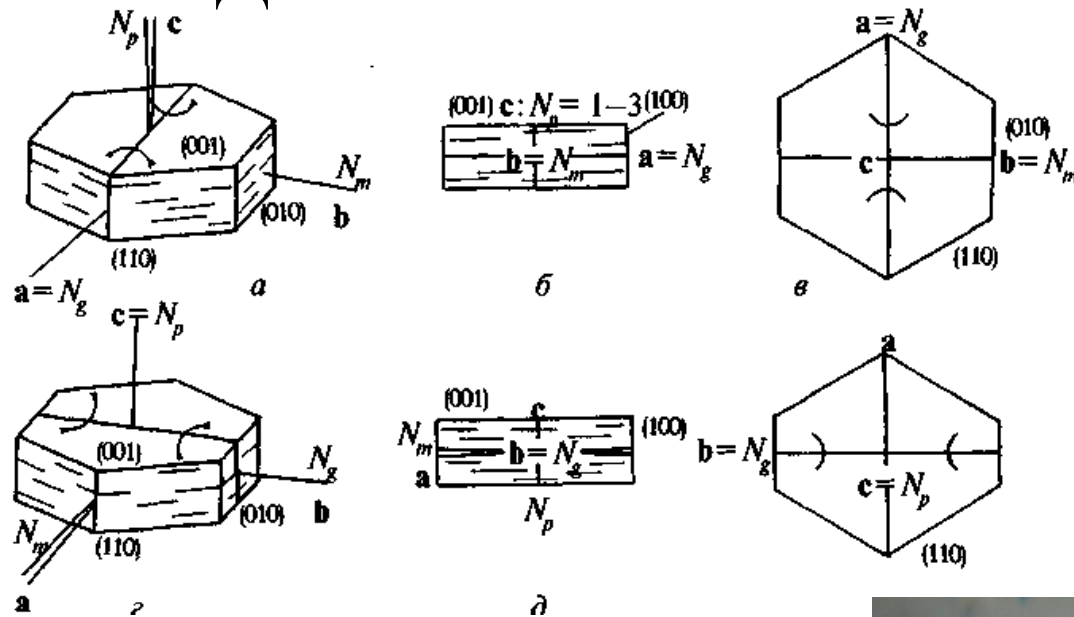


б



Псевдоабсорбция в мусковите (а,б). Для минерала характерна весьма совершенная спайность, Прямое погасание и высокие цвета интерференции

Диагностика

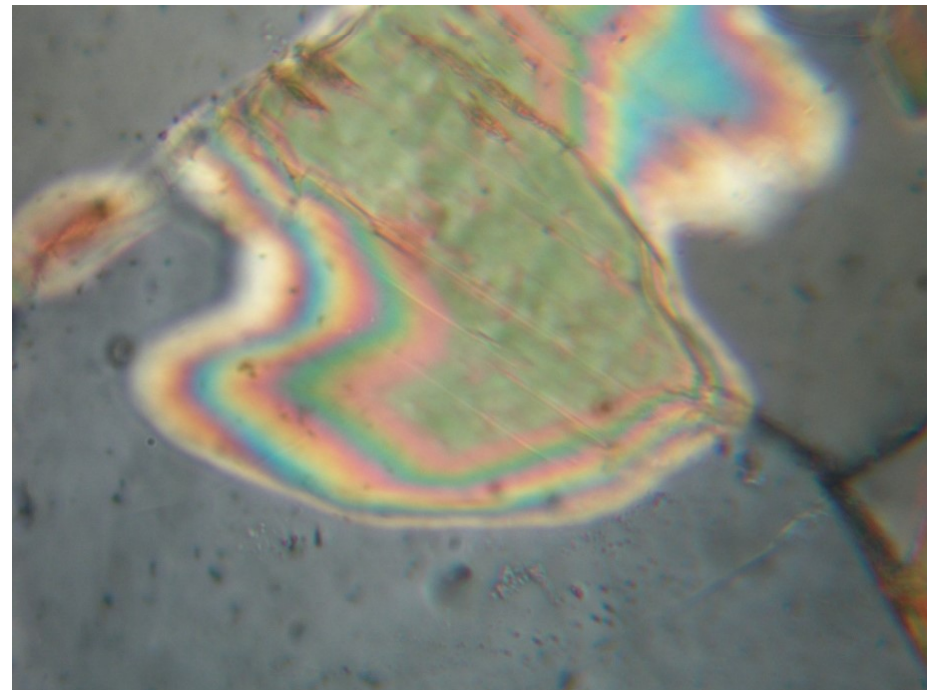
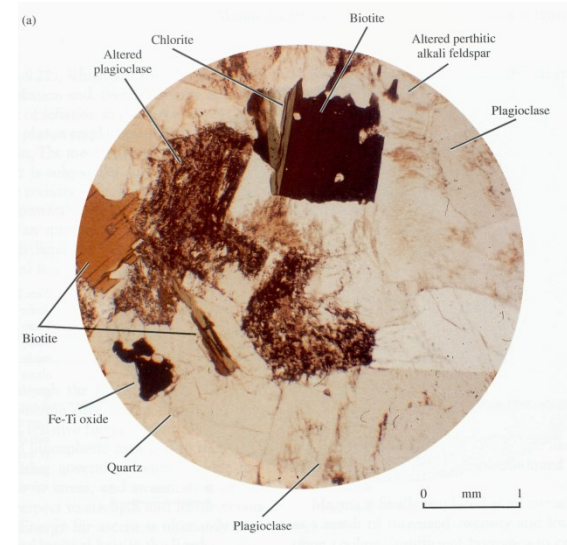


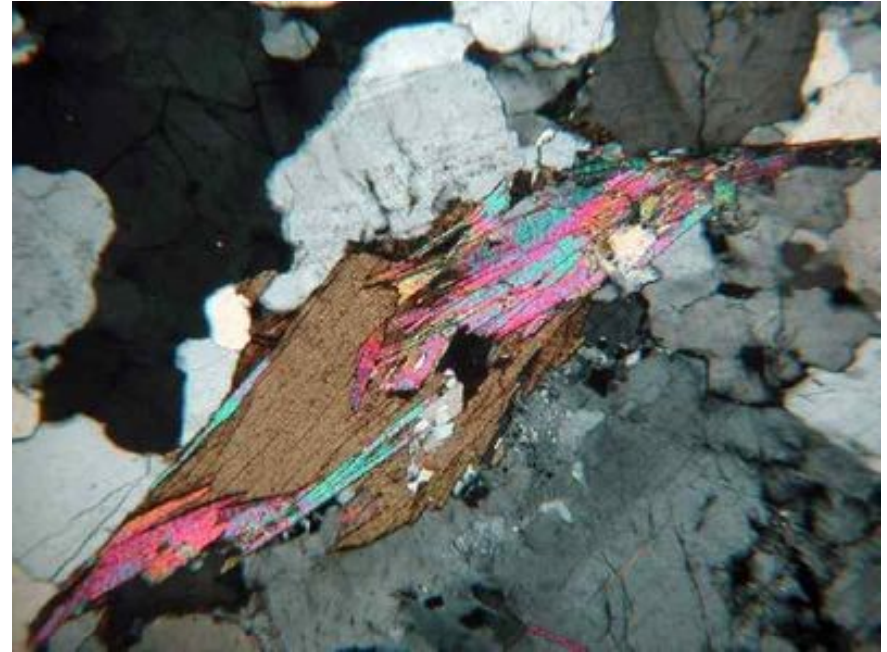
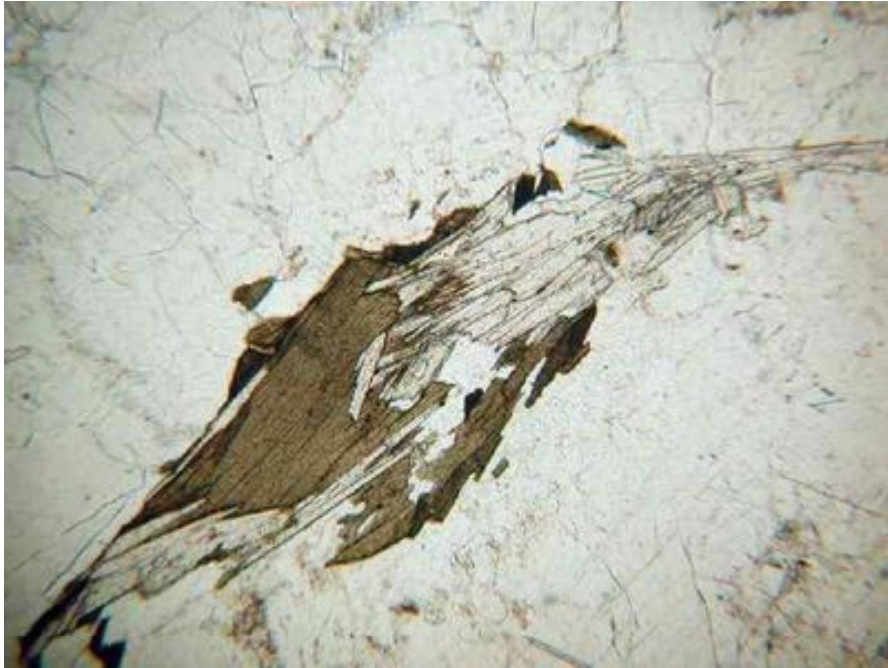
Ориентировка оптической индикатрисы
в кристаллах биотита

(а—в) и мусковита (г—е):

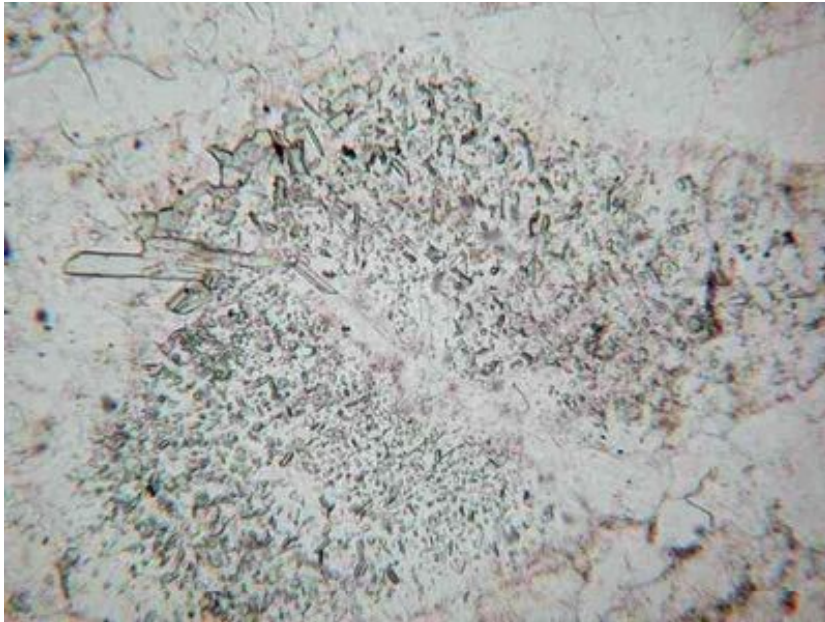
а, г — общий вид кристаллов; б, д —
продольные разрезы; в, е — поперечные
разрезы

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





Мусковит и биотит в граните

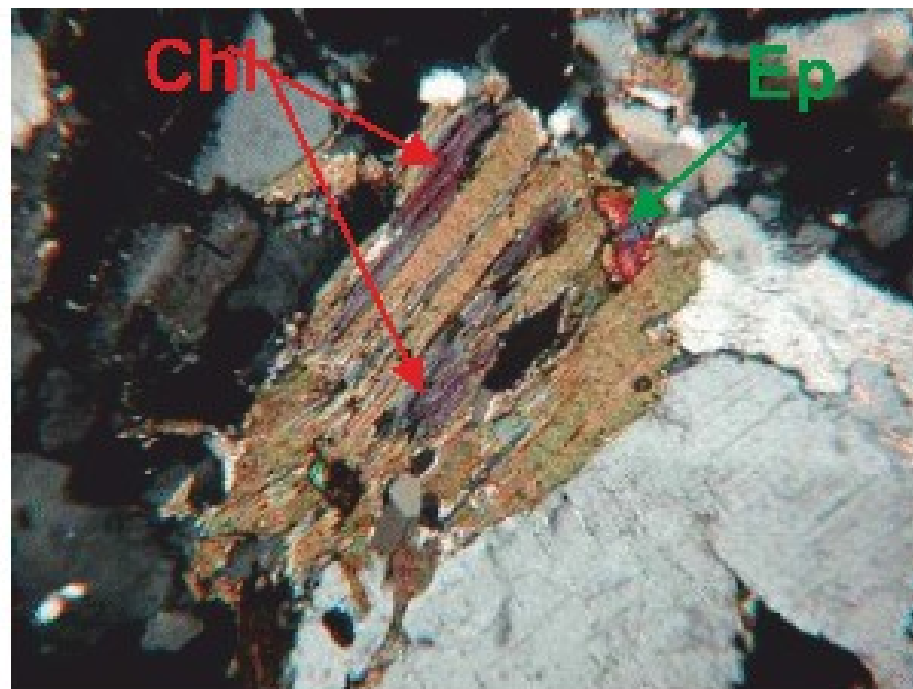
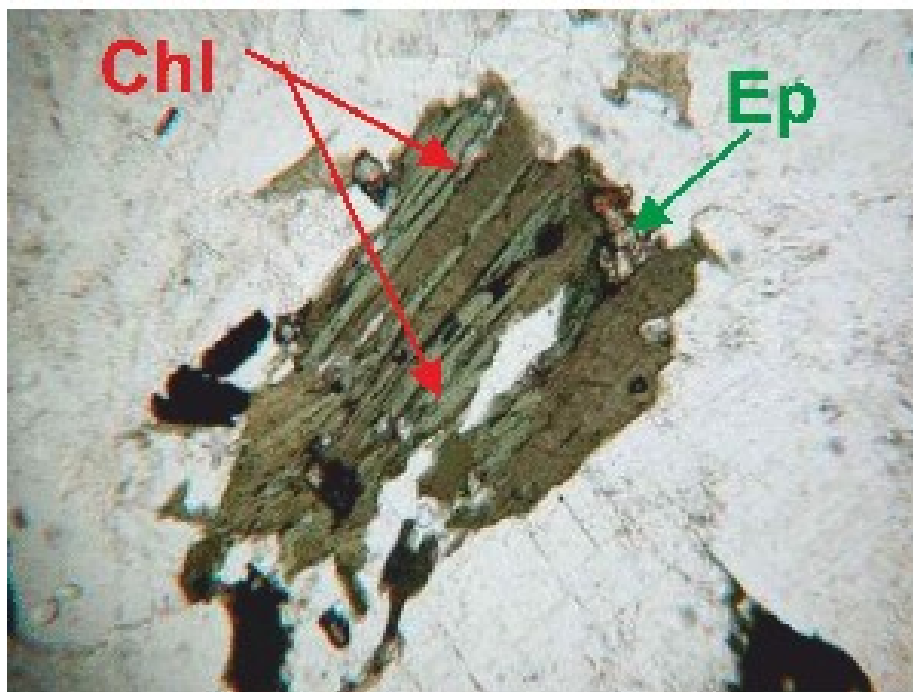


Развитие серицита (мелкодисперсная разновидность мусковита) по плагиоклазу в граните. Серицит – мелкие чешуйки в крупных зернах плагиоклаза

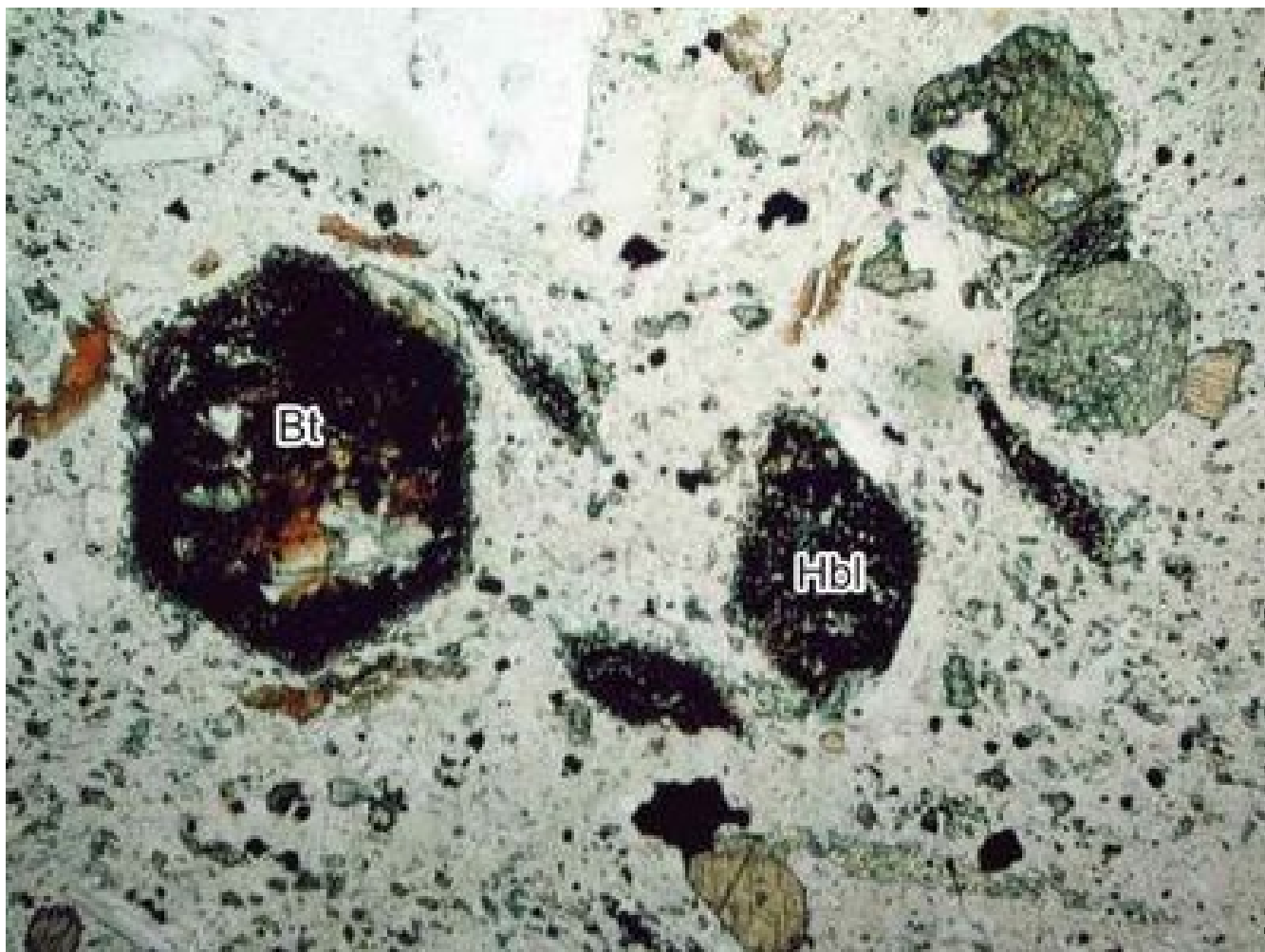
Вторичные изменения. В процессе гидротермального изменения биотит обесцвечивается за счет выноса железа, которое скапливается в виде магнетита или гематита, а также легко замещается **хлоритом** или мусковитом. Вдоль трещин спайности биотита бывает развит **эпидот**. При изменении биотита, содержащего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



Черные игольчатые кристаллы рутила образуются в результате выноса титана из биотита, развиваются по определенным кристаллографическим направлениям и образуют, так называемую сагенитовую решетку



Развитие хлорита и эпидота по биотиту



Так же как и для амфибола, для биотита (в лавах) характерна
опацитизация (не только в виде каемок, но и по всей площади минерала),
27

Распространенность в природе

Слюды широко распространены в метаморфических, метасоматических и магматических породах: от низкотемпературных гипабиссальных до высокотемпературных $>900^{\circ}\text{C}$, образованных на глубине более 60 кбар (кимберлиты).

Группа полевых шпатов



где $X = K, Na, Ca$, реже Rb, Cs, Ba, Sr

Три главных компонента твердого раствора

анортит (An)	$CaAl_2Si_2O_8$	изоморфизм $(Ca+Al) \Leftrightarrow (Na+Si)$
альбит (Ab)	$NaAlSi_3O_8$	
калиевый полевой шпат (Kfs)	$KAlSi_3O_8$	изоморфизм $Na \Leftrightarrow K$



Увеличение температуры образования и степени разупорядоченности Al и Si в тетраэдре

Плаггиоклаз - твердый раствор

An-Ab

Щелочной полевой шпат - тв. р-р

Ab-Fsp

Номенклатура полевых шпатов

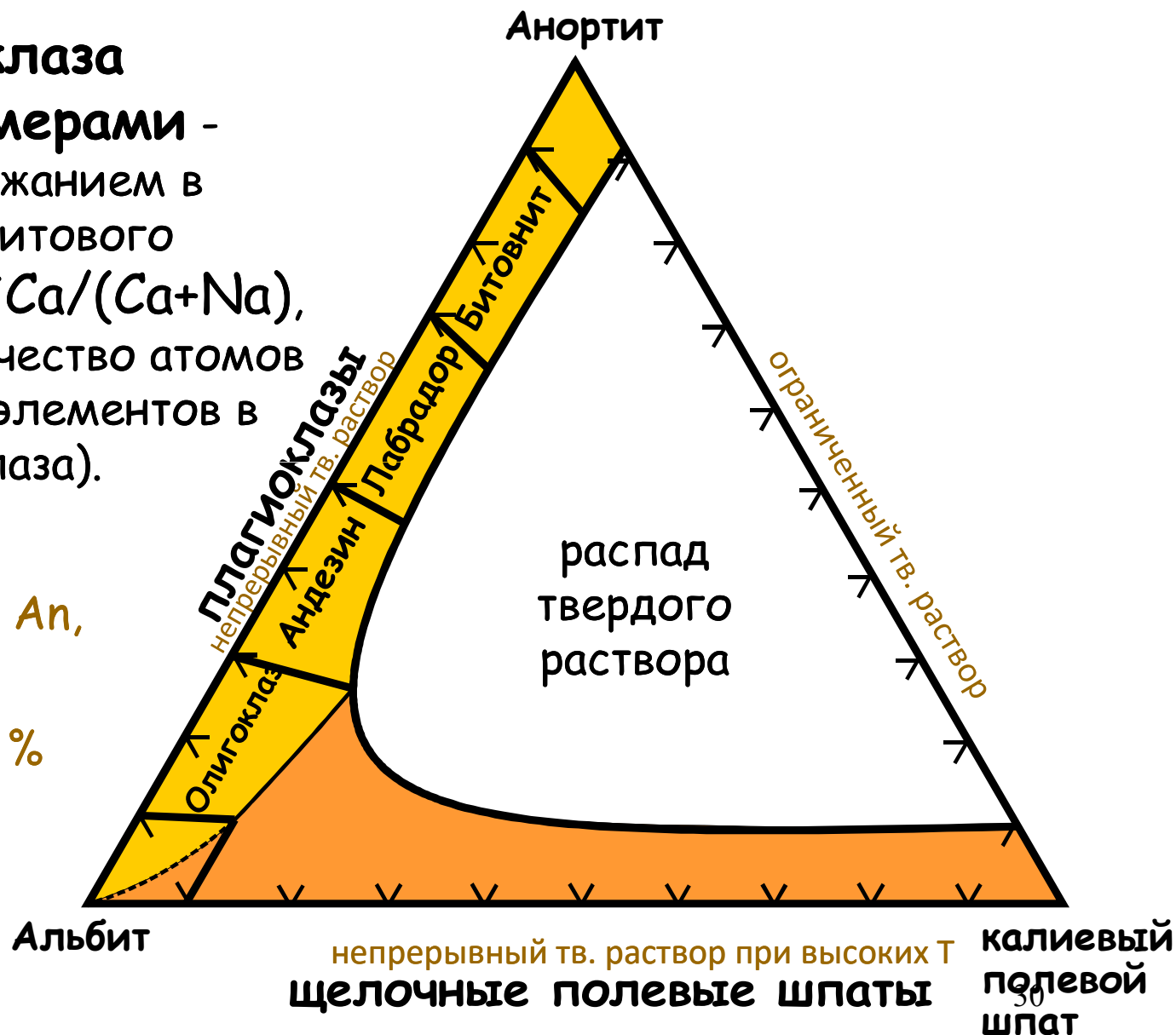
Состав плагиоклаза обозначают номерами - процентным содержанием в плагиоклазе анортитового компонента: $100 \cdot \text{Ca} / (\text{Ca} + \text{Na})$, где Ca и Na - количество атомов соответствующих элементов в формуле плагиоклаза).

Плагиоклазы (Pl)

кислые* - 0-30 % An,

средние - 30-50

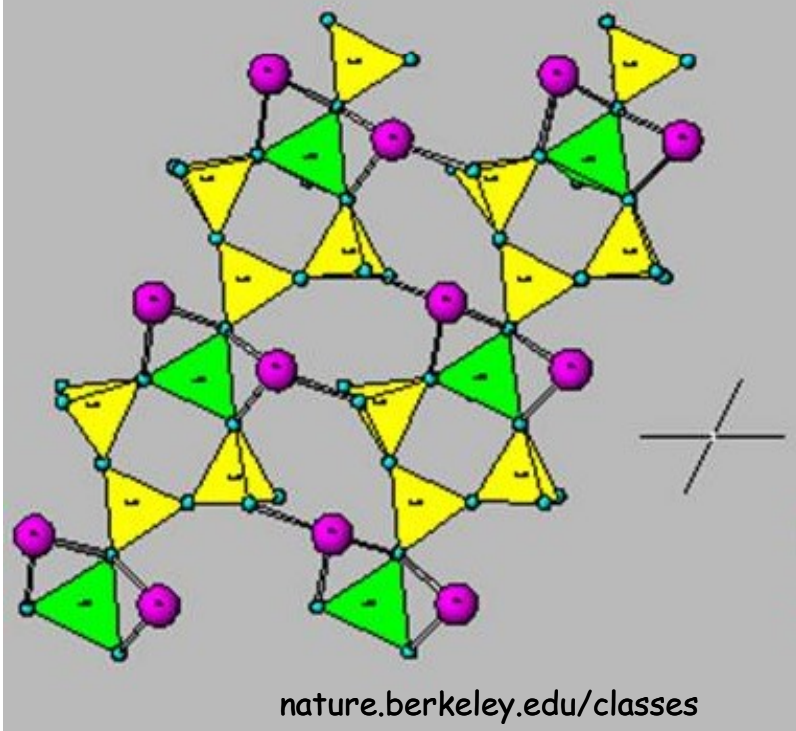
основные - 50-100 %



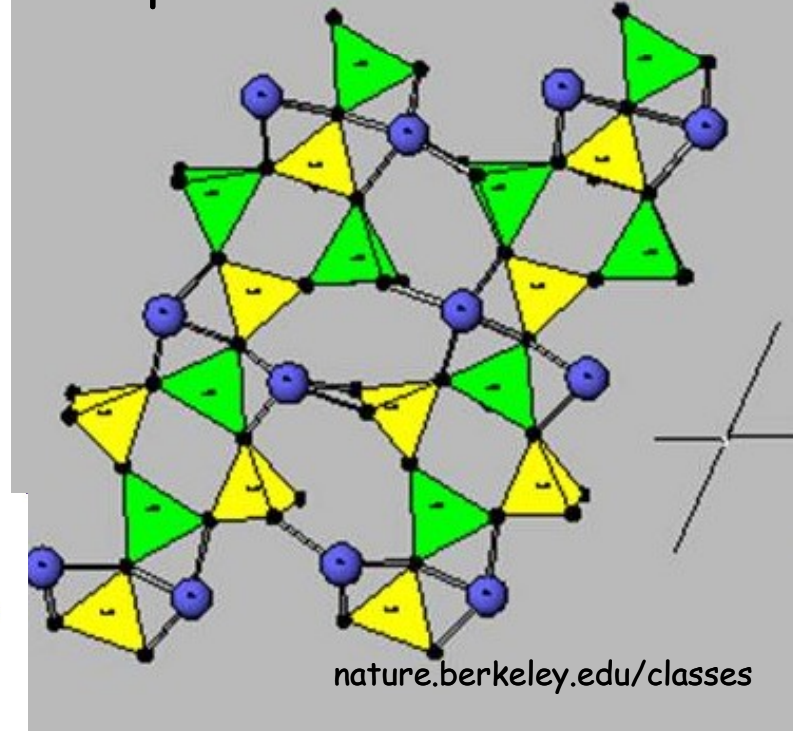
Структура

Основой структуры всех полевых шпатов является трёхмерный каркас, состоящий из тетраэдрических групп $(Al, Si)O_4$, в которых от одной трети до половины атомов Si замещено Al. В крупных пустотах этого каркаса располагаются одновалентные катионы K^+ и Na^+ (при отношении $Al: Si = 1:3$) или двухвалентные катионы Ca^{2+} (при $Al: Si = 1: 2$).

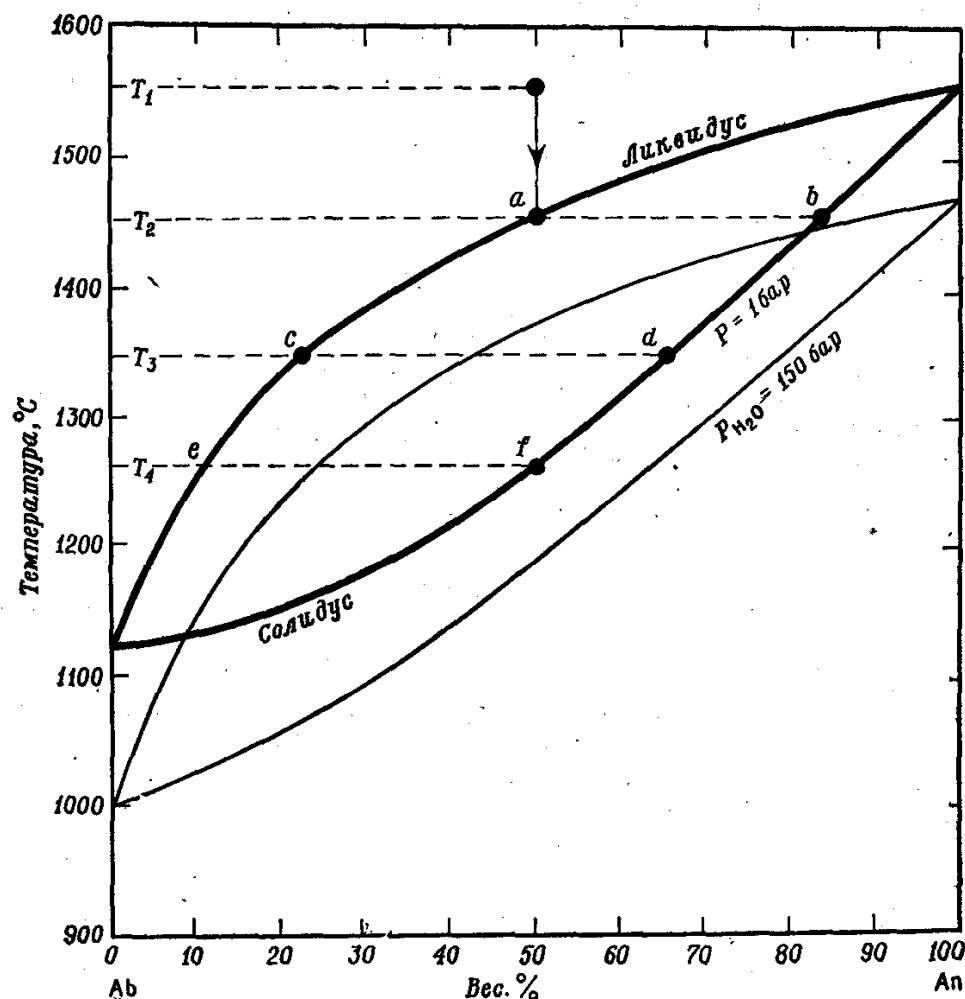
Альбит



Анортит



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

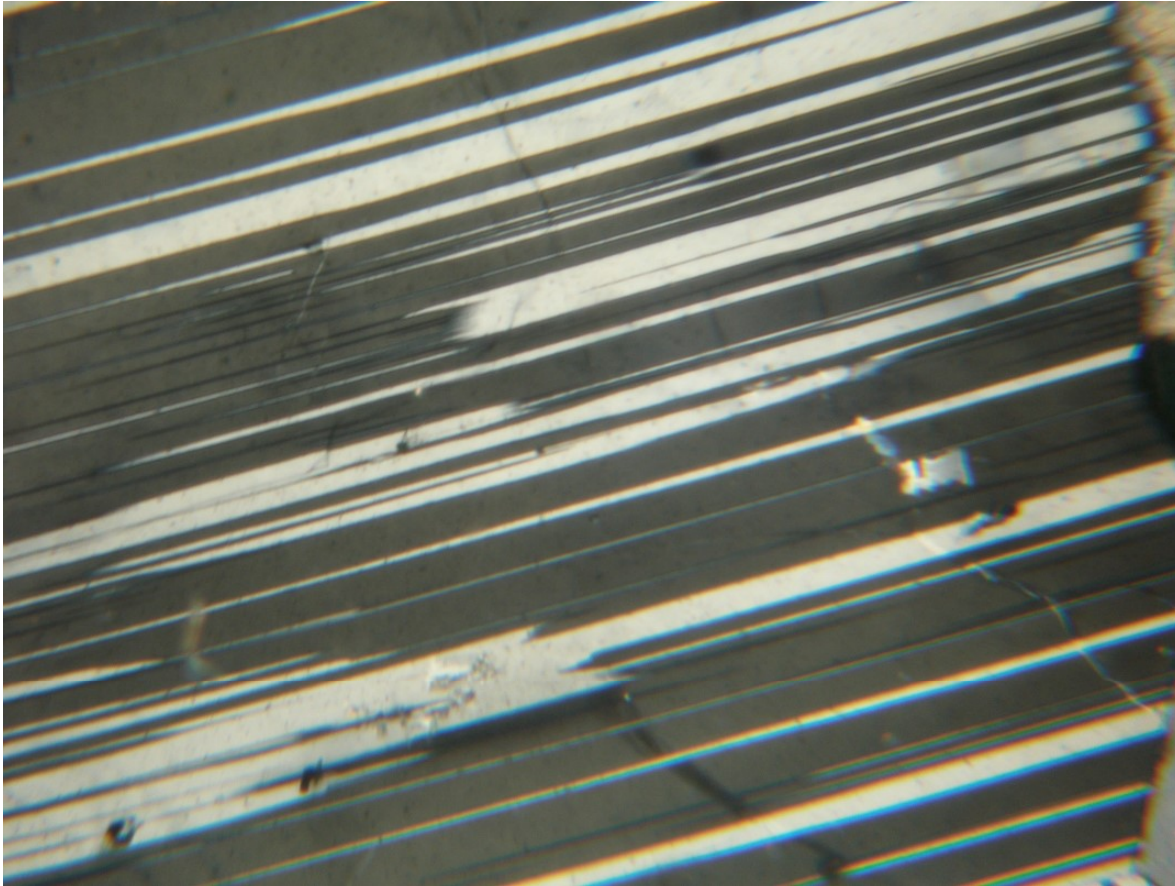


По содержанию анортита (An в мол. %) выделяют следующие минеральные виды:

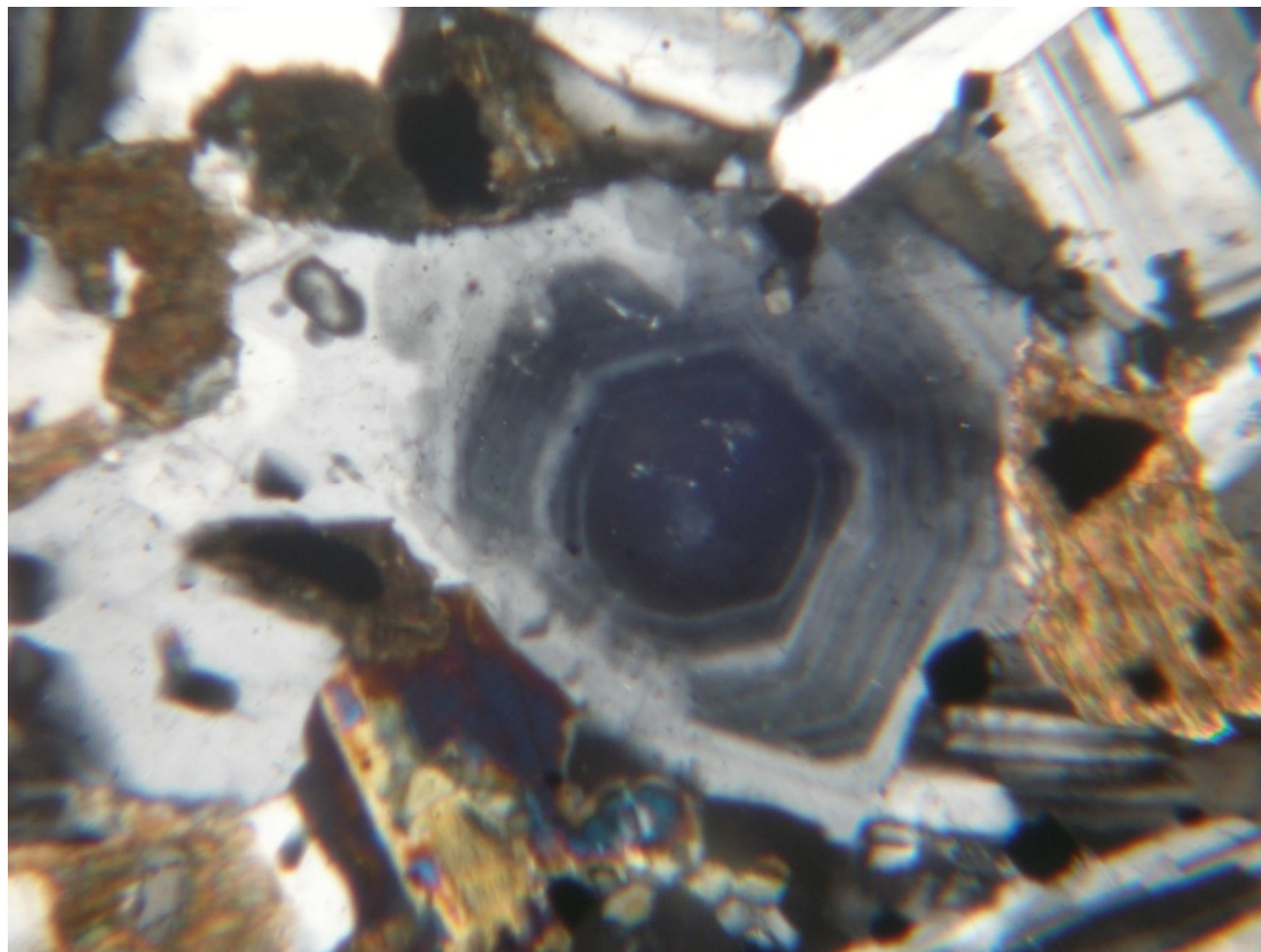
Альбит	0-10
Олигоклаз	10-30
Андезин	30-50
Лабрадор	50-70
Битовнит	70-90
Анортит	90-100.



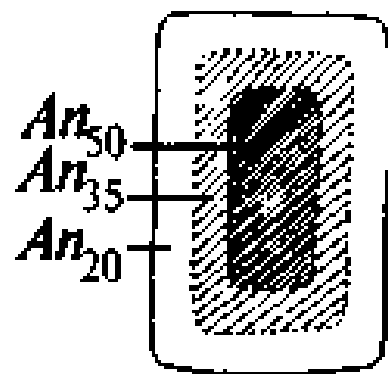
Плагинклазам свойственны *двойники* — закономерные срастания кристаллов, имеющих общую кристаллографическую плоскость (плоскость срастания) и общее кристаллографическое направление, вокруг которого один кристалл повернут относительно другого на 180° (двойниковая ось). Плагинклазы образуют либо простые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



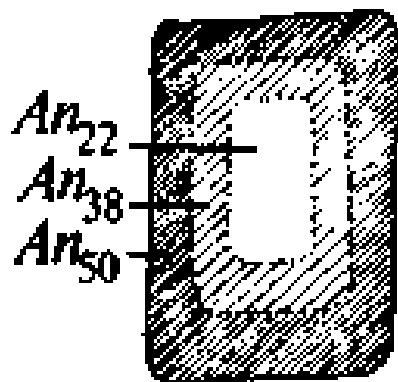
Все четные индивиды
имеют одну
ориентировку, а
нечетные — другую.
Вследствие этого
четные индивиды
гаснут в одном
положении, а
нечетные — в ином.



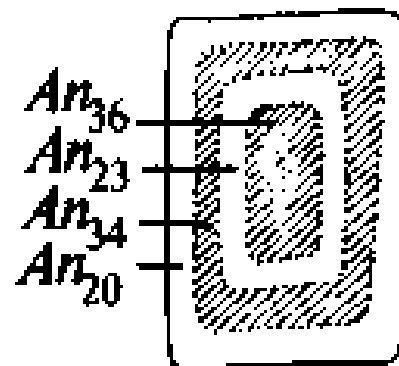
Плагиоклазы
магматических
пород часто
имеют зональное
строение,
которое
выражается в
изменении
состава
кристаллов от
центра к
периферии



a



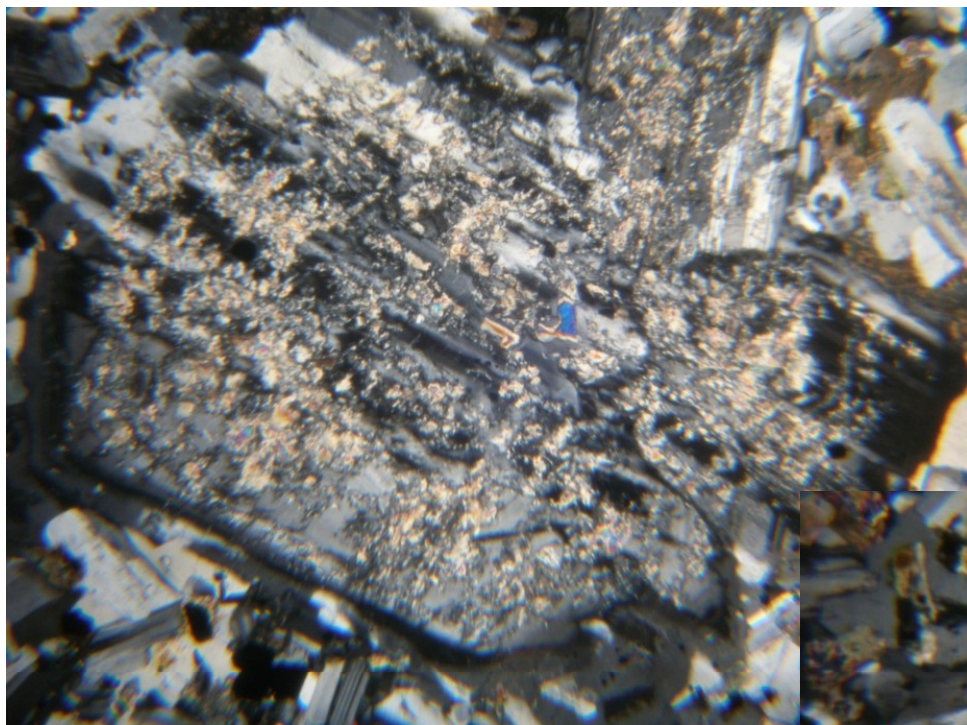
b



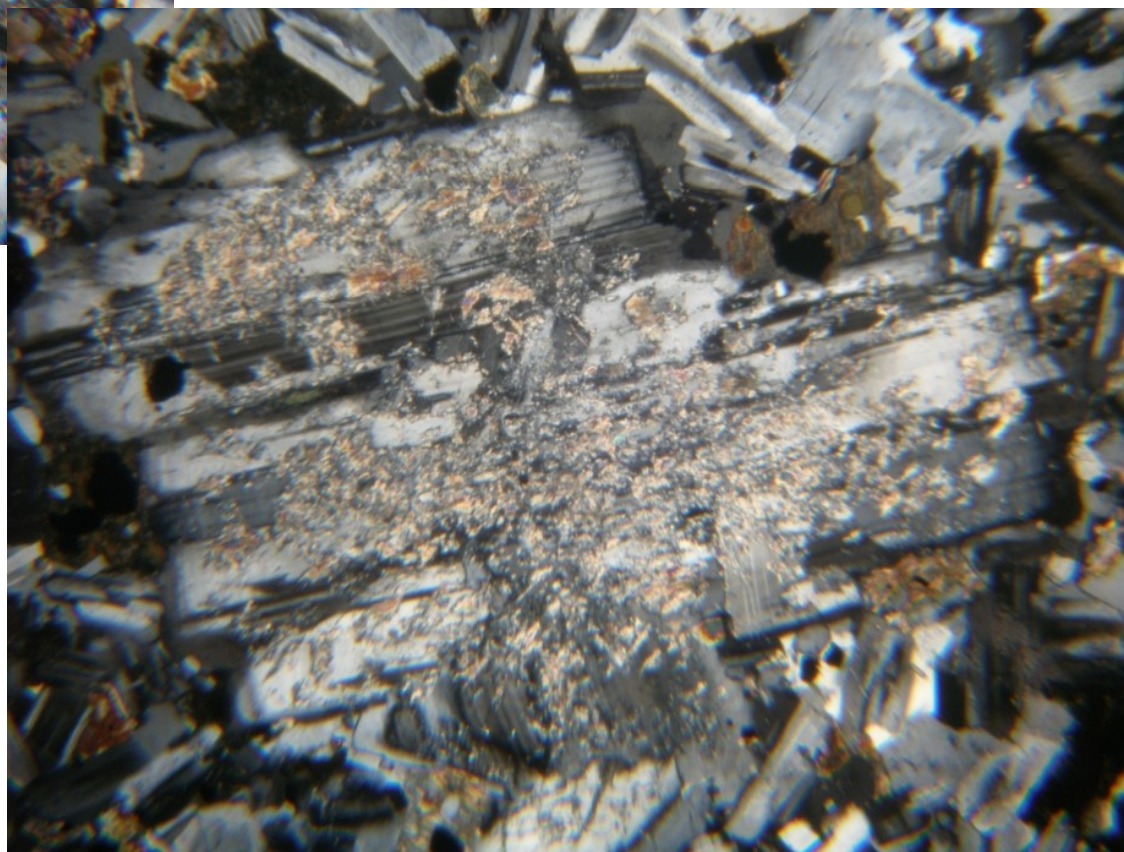
v

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

Зональность кристаллов плагиоклаза: *a* — прямая; *b* — обратная; *v* — рекуррентная

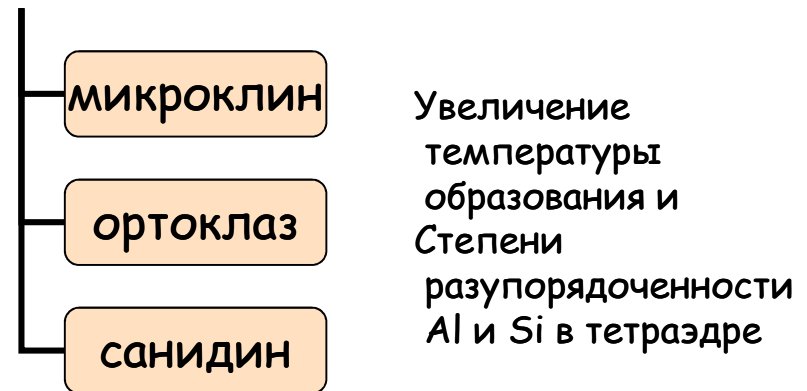


По плагиоклазам
развивается
соссюритовый
агрегат —
тонкозернистая смесь
альбита, серицита и
минералов группы
эпидота.



Щелочные полевые шпаты

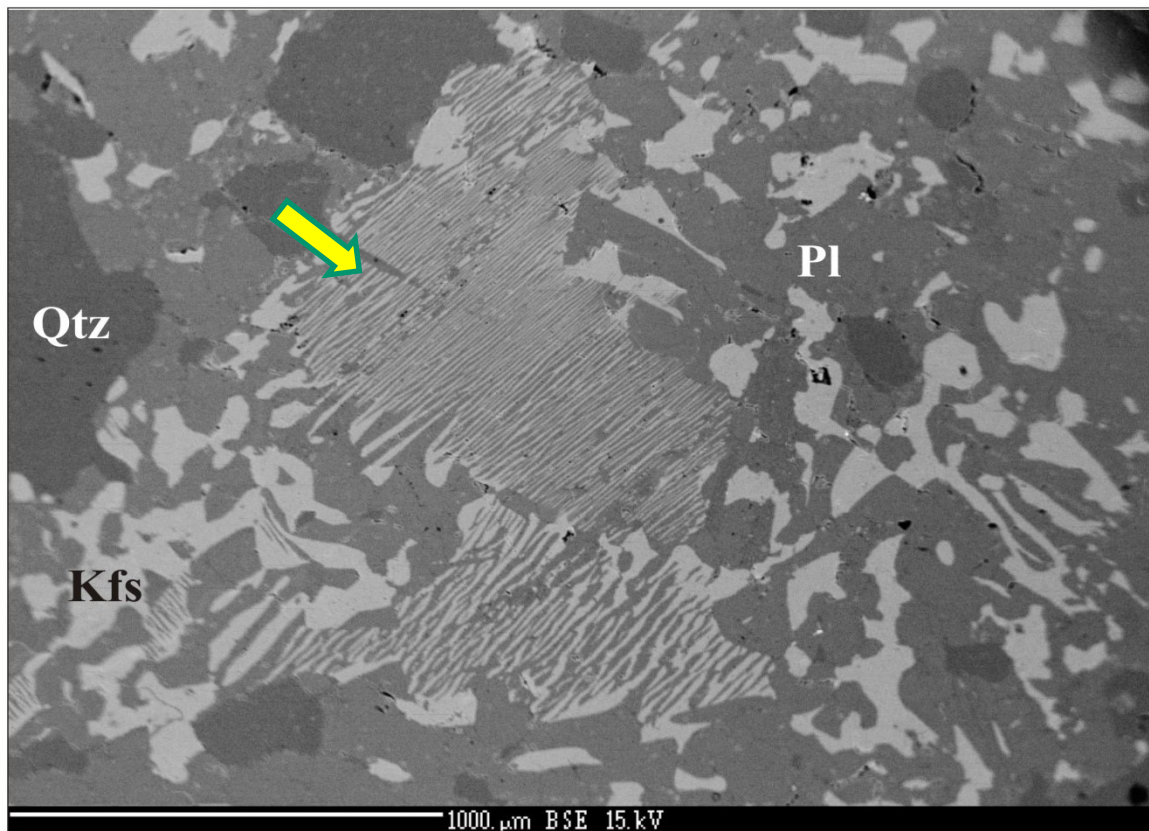
представляют собой серию твердых растворов альбита ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) и калиевого полевого шпата (KAlSi_3O_8), которые различаются степенью упорядоченности кристаллической решетки, а также их сростки, обычно называемые пертиами.



Полисинтетические двойники в микроклине, пересеченные пертитами замещения. Николи скрещены, поле зрения 1 x 1 мм

Структуры распада в полевых шпатах

Пертиты - (от названия г. Перт в Канаде) – ламеллеобразные ориентированные **вроски плагиоклаза в калиевом полево шпате**.



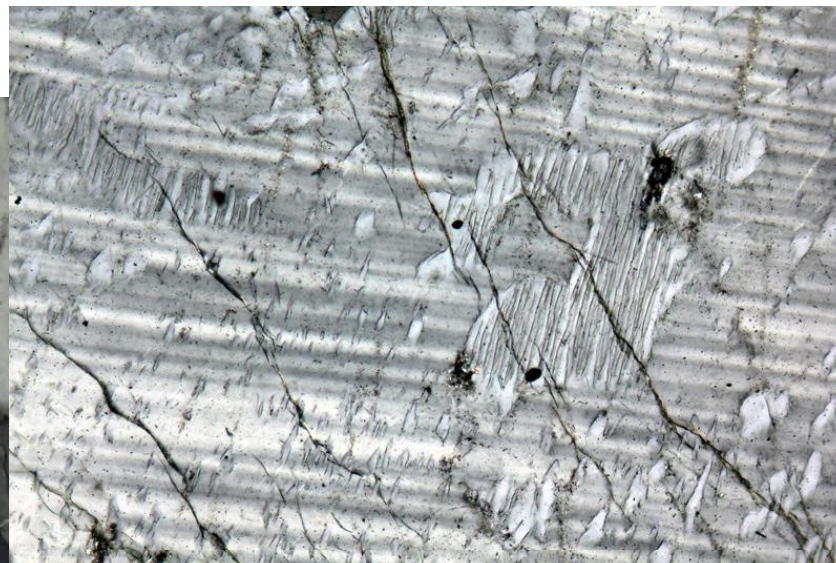
Механизм образования

❖ Распад твердого раствора щелочного полевого шпата на богатые К и богатые Na составляющие при снижении температуры (**пертиты распада**).

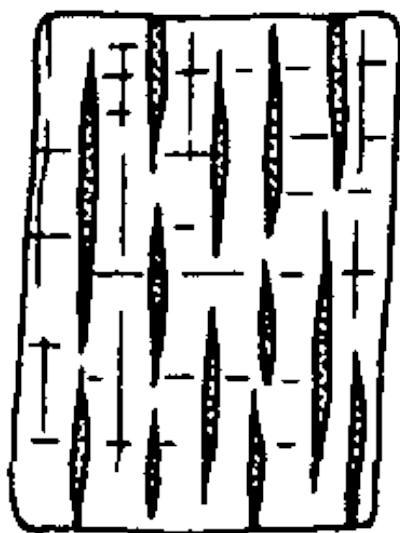
❖ Альбитизация калиевого полевого шпата (**пертиты замещения**).

Антипертиты - ламеллеобразные ориентированные **вроски калиевого полевого шпата в плагиоклазе**.

Антипертиты - ламеллеобразные ориентированные **вроски**
калиевого полевого шпата в плагиоклазе.



Типы пертитовых вростков в КПШ



a



б

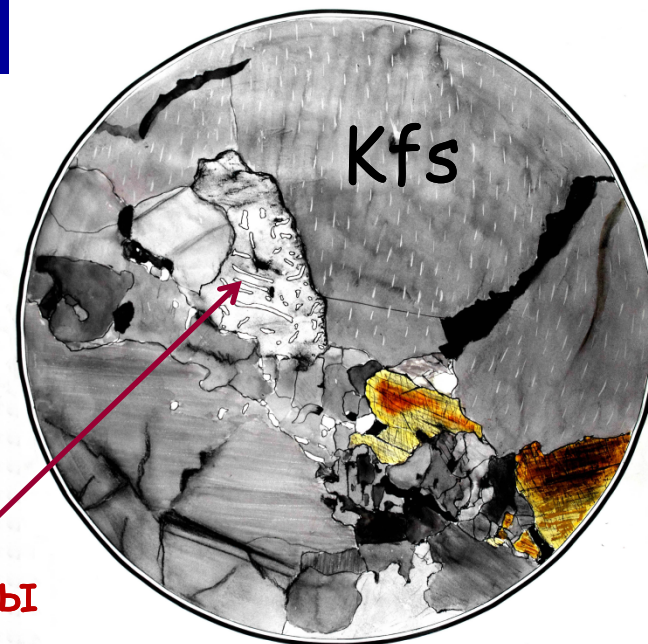


в

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

Структуры замещения в полевых шпатах

Мирмекиты (от греч. "мирмекиа" - муравейник) - червеобразные и веретенообразные сращения кварца и кислого плагиоклаза, замещающие зерна калиевого полевого шпата.



мирмекиты

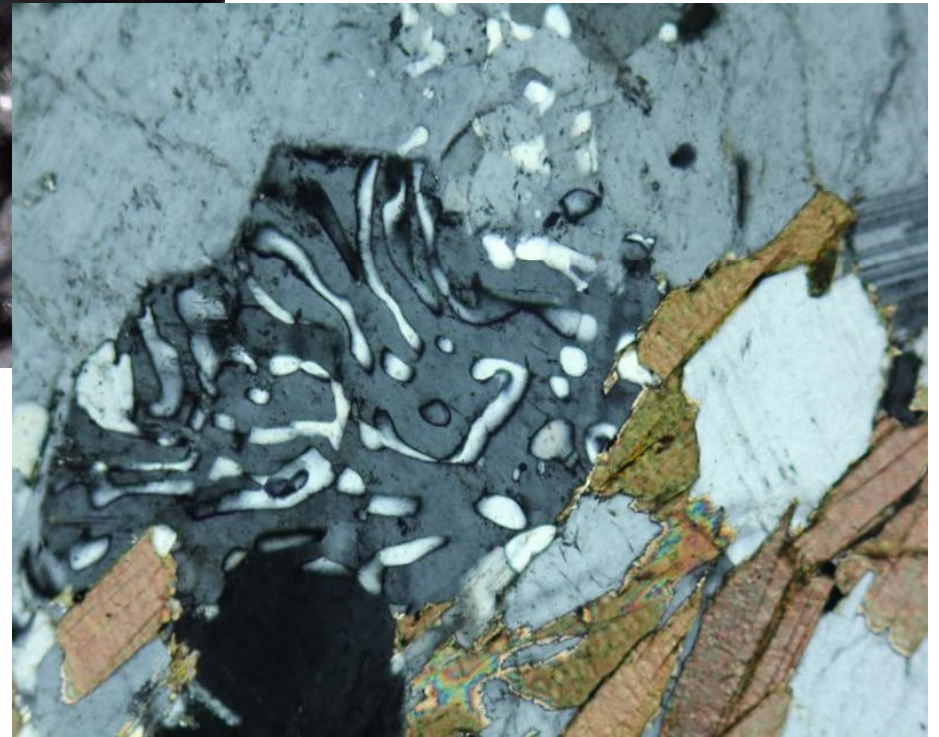
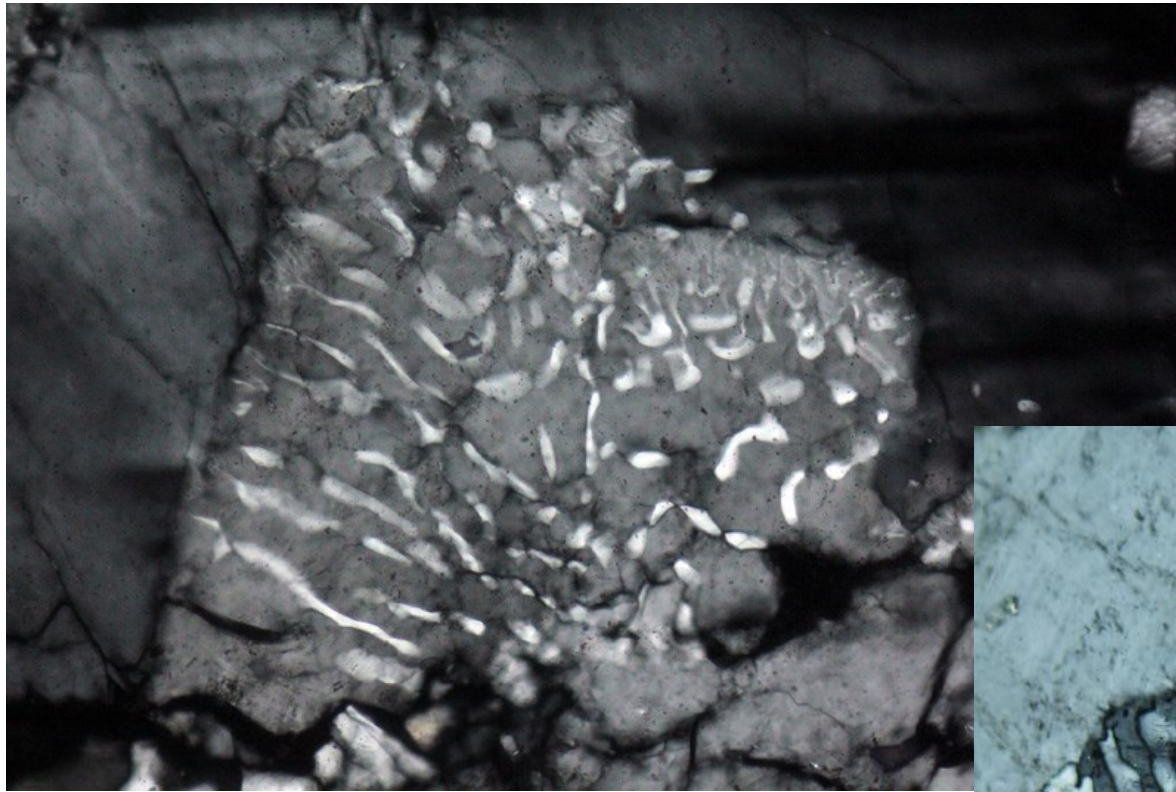
Механизм образования

Взаимодействие калиевого полевого шпата с наиболее поздними расплавами (растворами) по реакции:



где CaO , Na_2O и K_2O - компоненты флюида или расплава.

Выделение кварца связано с тем, что исходный калиевый полевой шпат богаче кремнеземом, чем замещающий его плагиоклаз.



Распространенность в природе

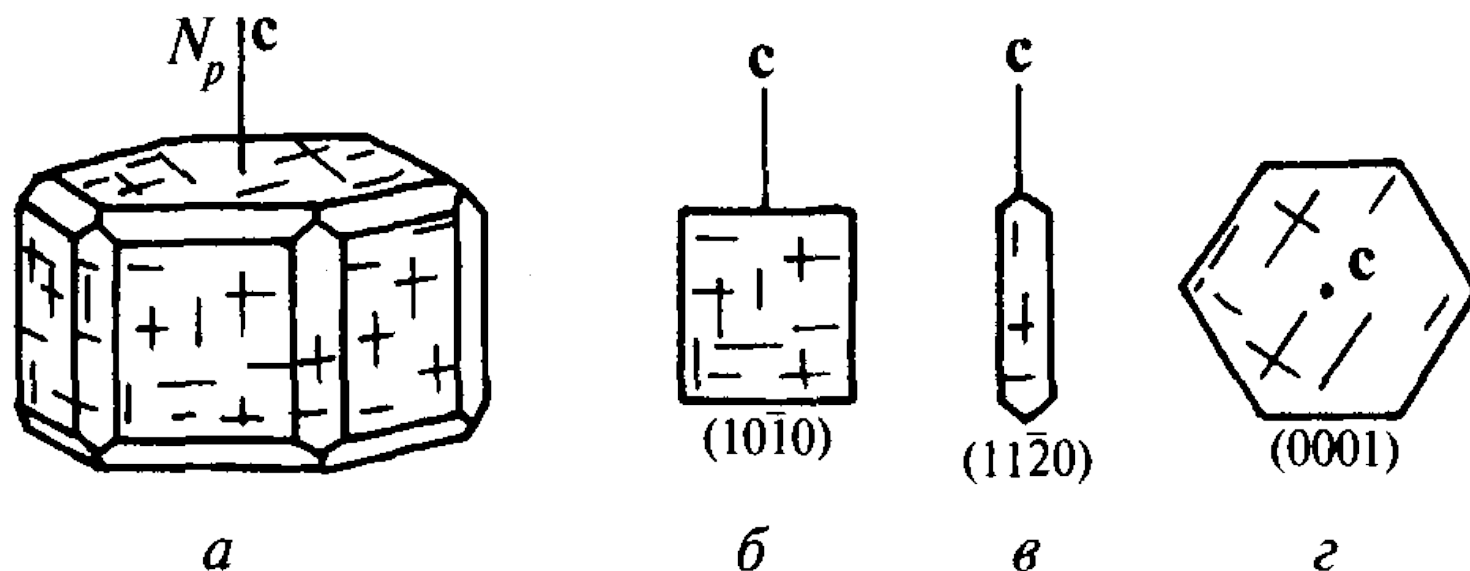
Полевые шпаты являются главными породообразующими в Бердяушского и Сыростанского минералами многих метаморфических, метасоматических и магматических пород земной коры. Реже эти минералы можно встретить в перидотитах верхней мантии.

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 - $(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$

Доля KAlSiO_4 (кальсилита) обычно составляет около 25 мол.%. Сингония гексагональная.

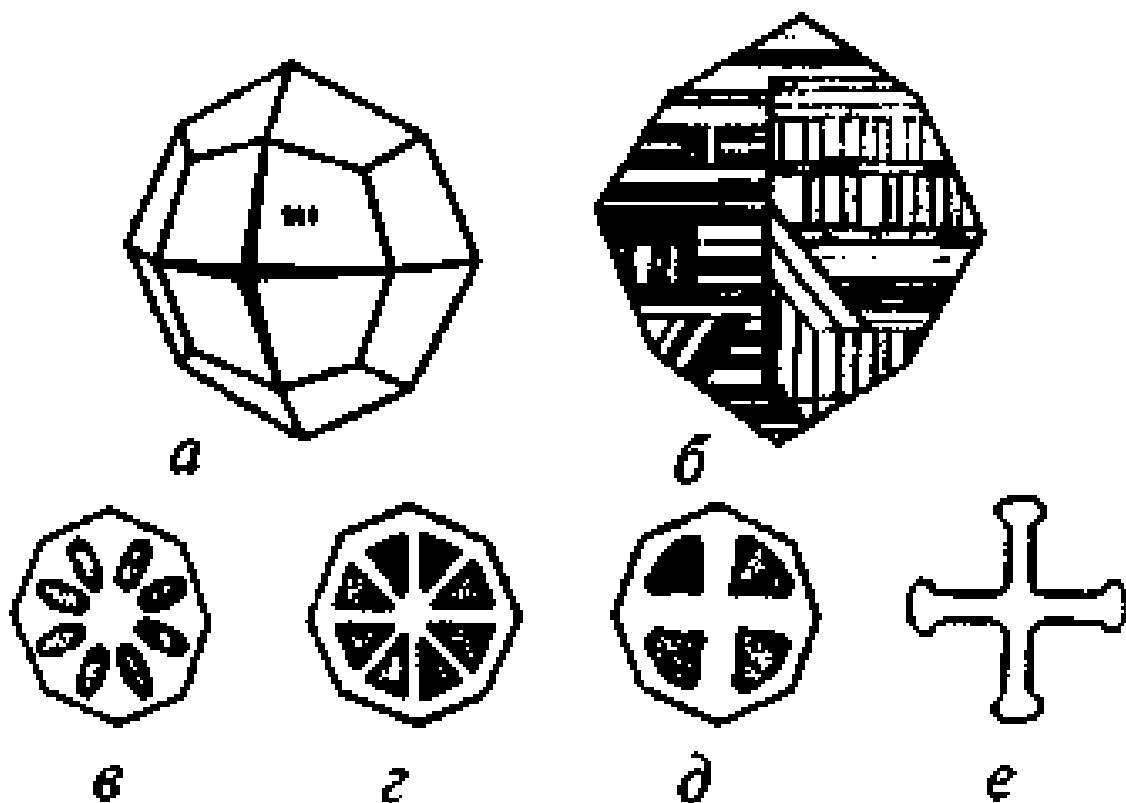


Форма кристаллов нефелина:

a — общий вид; $б, в$ — продольные се-чения; $г$ — поперечное сечение

ЛЕЙЦИТ - KAlSi_2O_6

Сингония тетрагональная (псевдокубическая).



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