

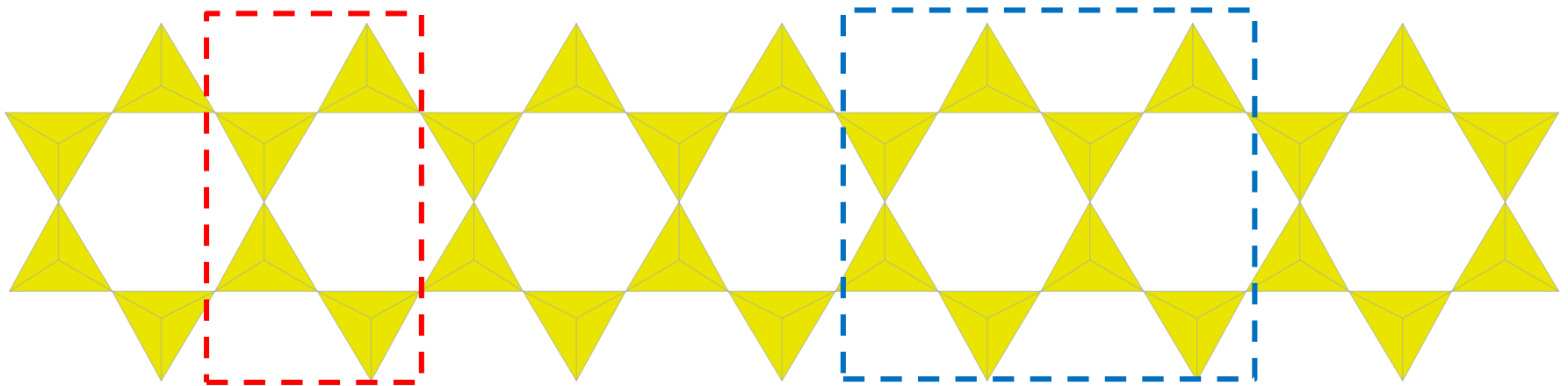
Главные породообразующие минералы

магматических горных пород
(ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Ленточные силикаты Амфиболы

Анионный радикал – $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$, (6-)

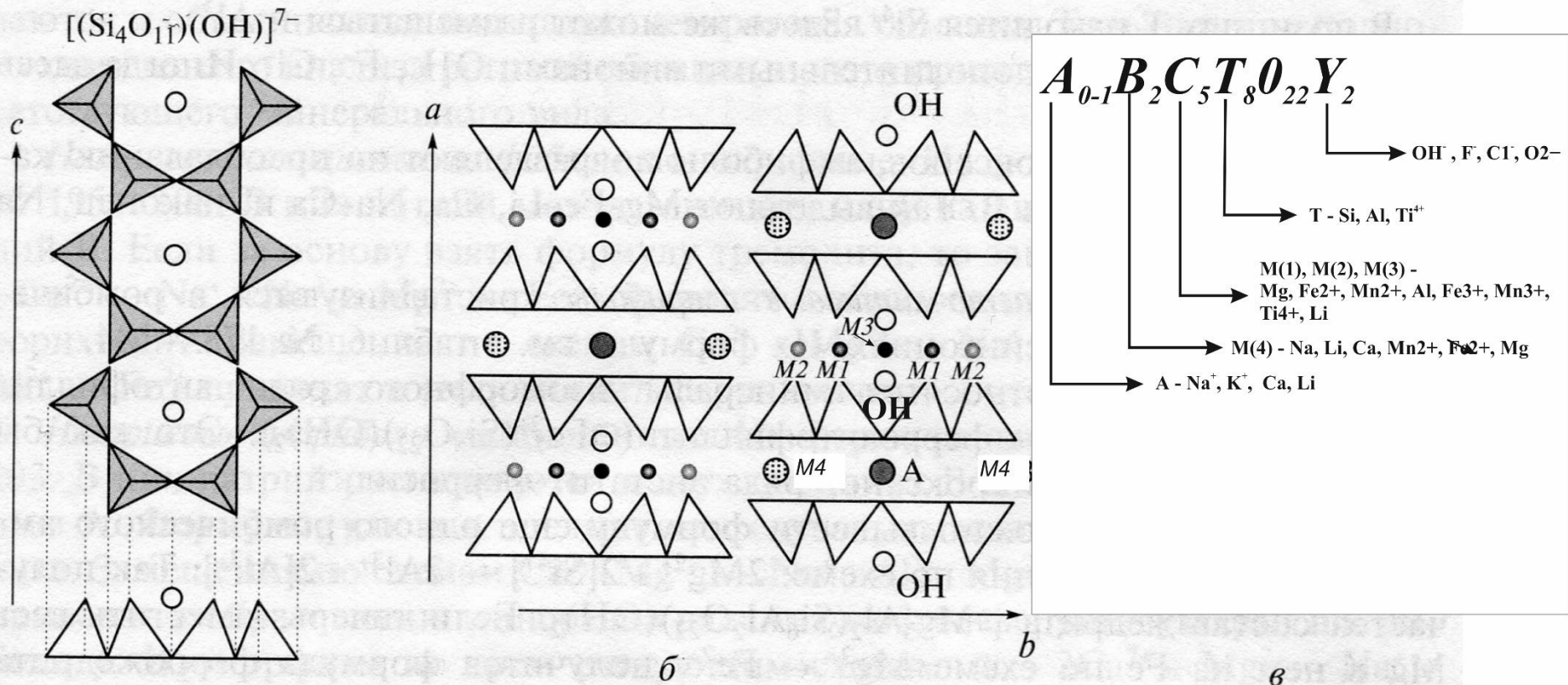
часто указывается как $[\text{Si}_8\text{O}_{22}]$, (12-)





Амфиболовый диорит-порфирит карьера Школьный (Крым): слева образец породы, справа – аншлиф.

Группа амфиболов



где **A** = [K, Na, □*];

B = [Na, Ca, Mg, Fe²⁺, Mn]

C = [Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Al, Cr и Ti]

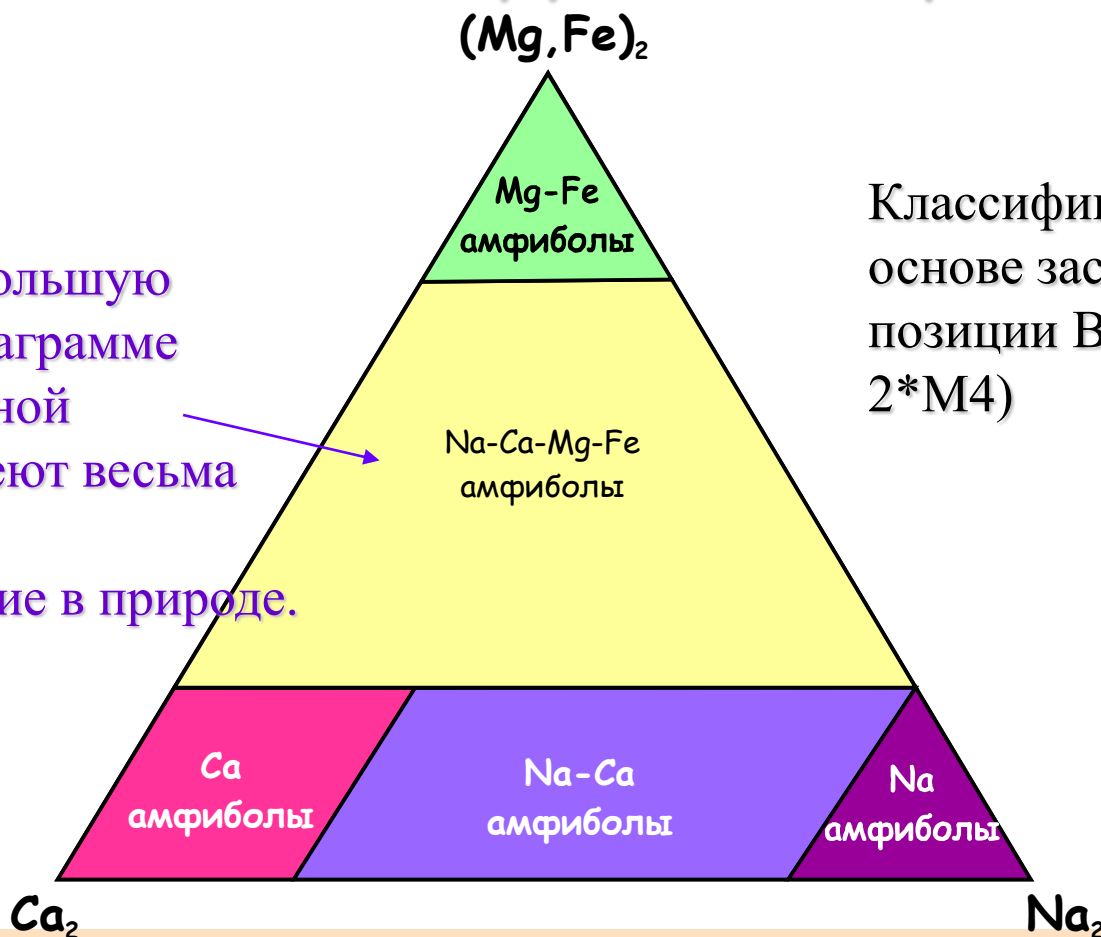
T = [Si, Al, Ti].

* - вакансия

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

Основные подгруппы амфиболов*

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



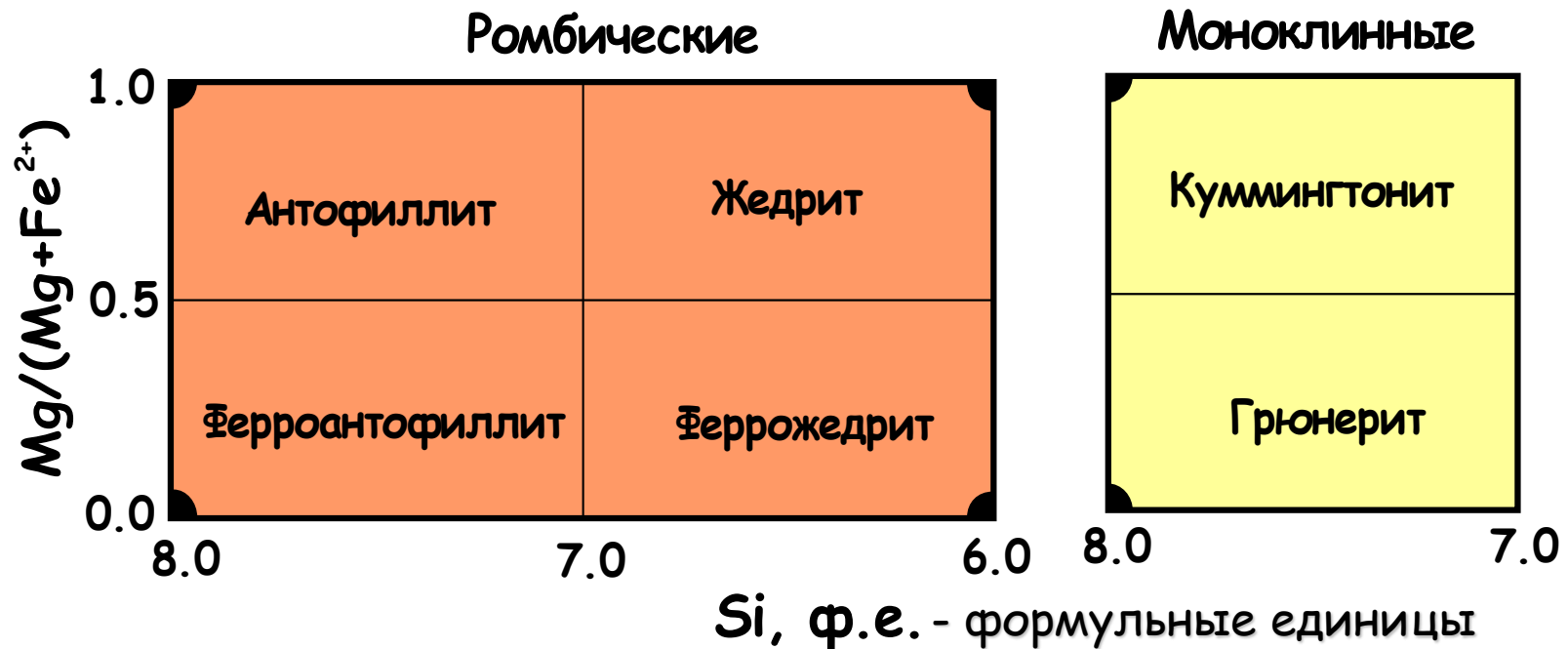
Классификация на основе заселенности позиции В (точнее $2 \cdot M4$)

- 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.

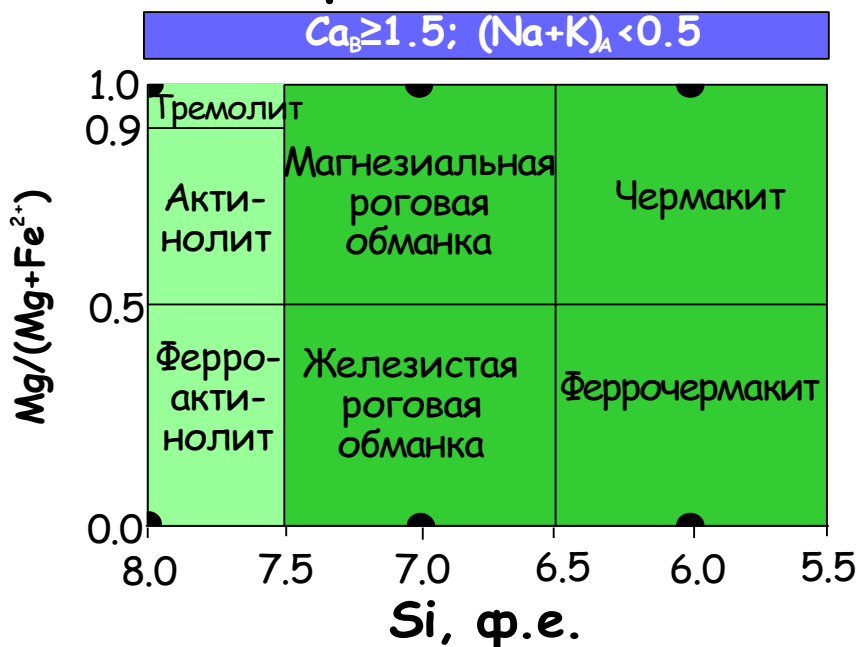
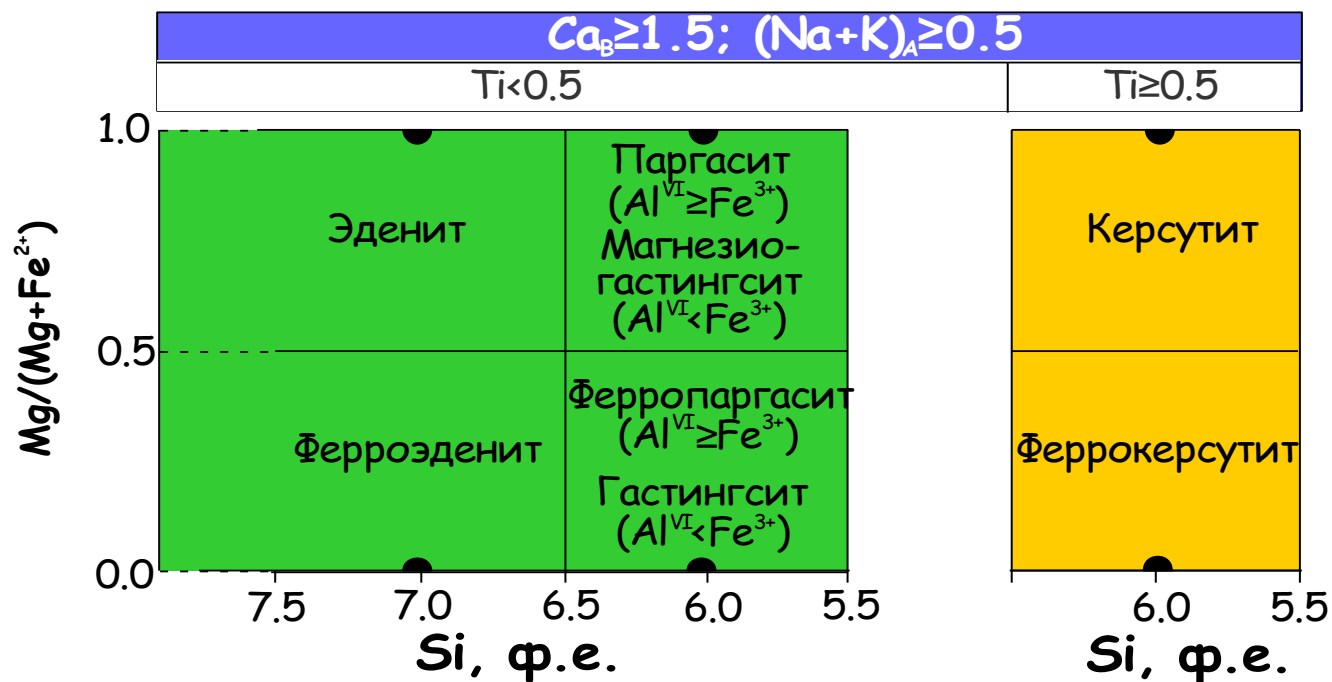
Mg-Fe амфиболы

$$(Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+})_B \geq 1.5$$



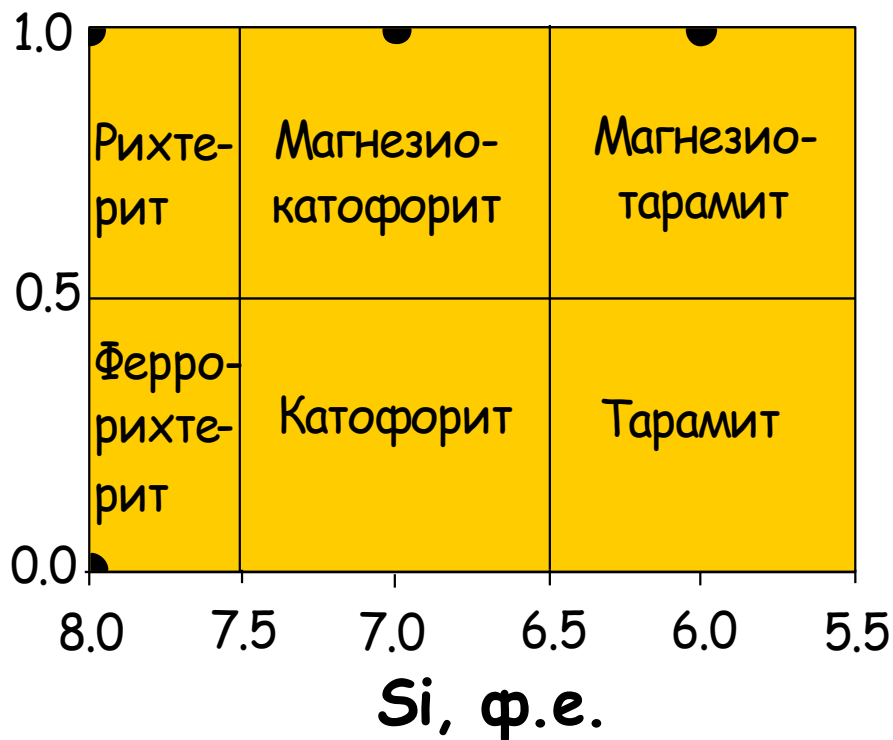
Встречаются в бескальциевых или бедных кальцием породах: перидотиты и метаперидотиты.

Ca
Амфиболы.
Раньше все
эти
амфиболы
назывались
«роговыми
обманками»

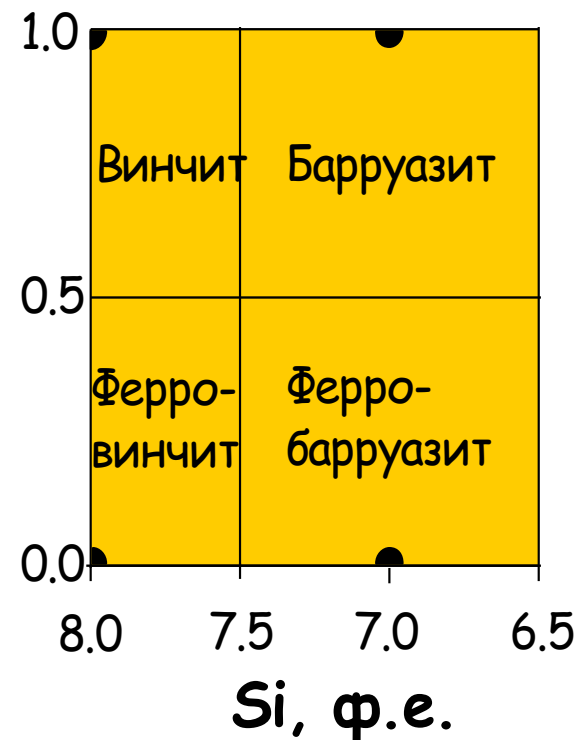


Ca-Na амфиболы

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

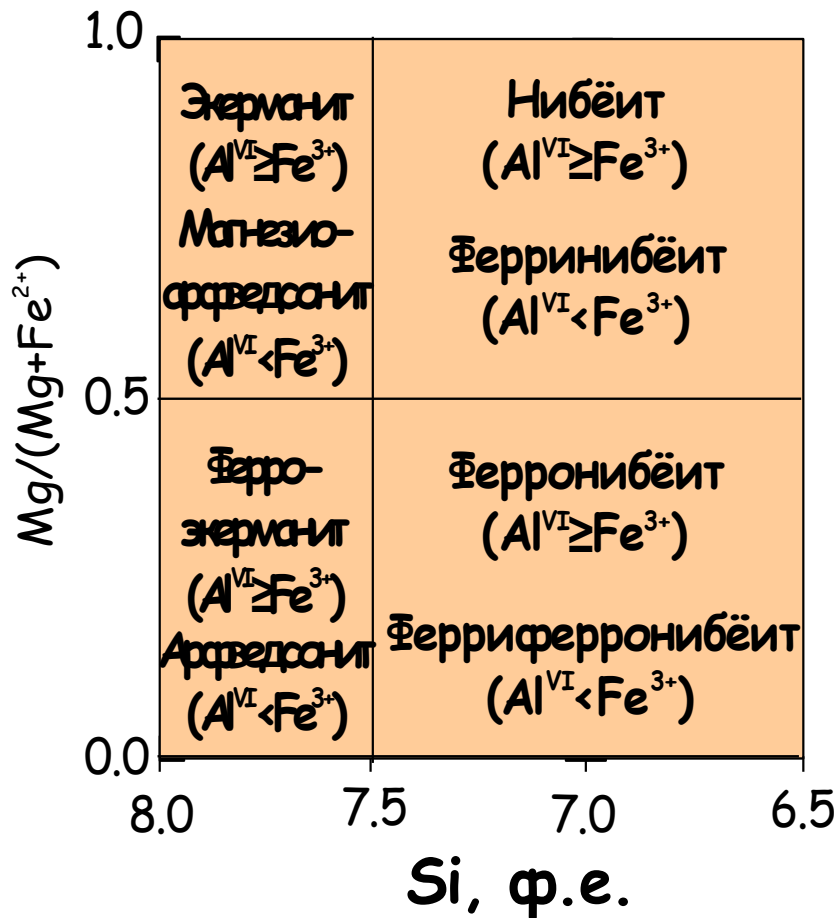
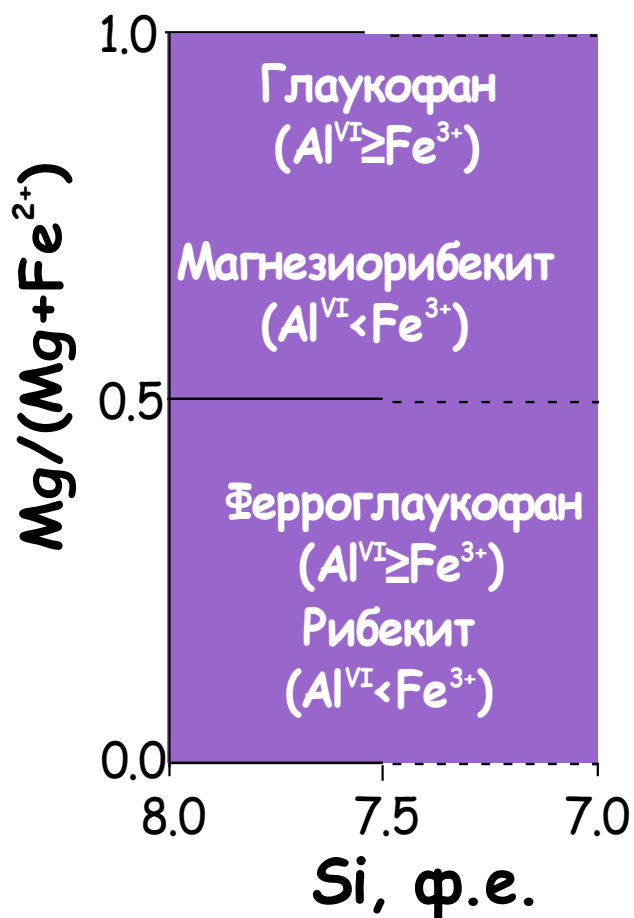


$(Na+K)_A < 0.5$; $(Ca+Na_B) \geq 1.5$; $0.5 < Na_B < 1.5$

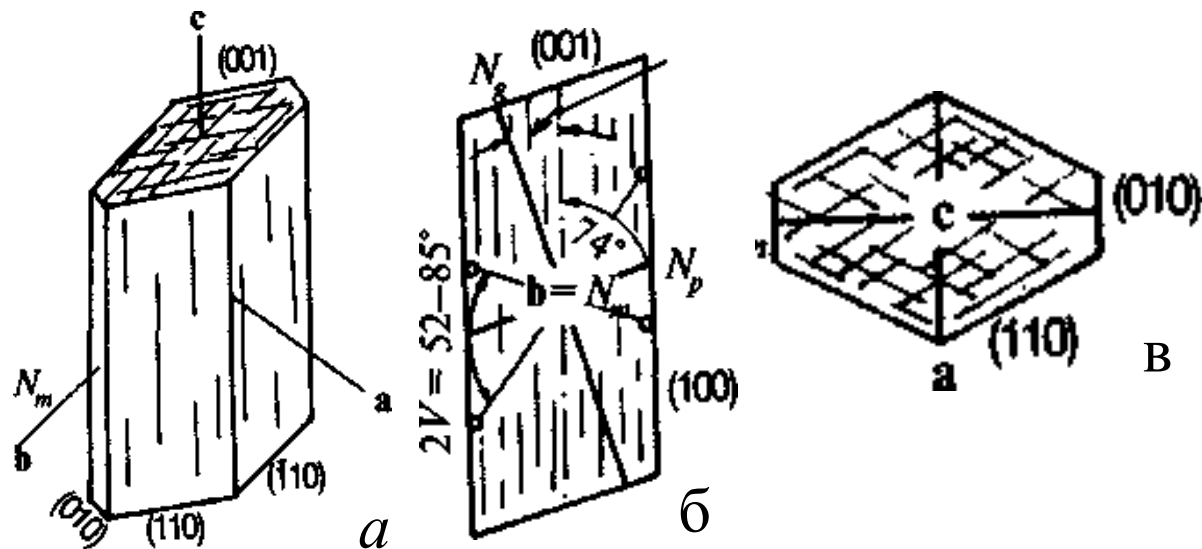


Щелочные амфиболы

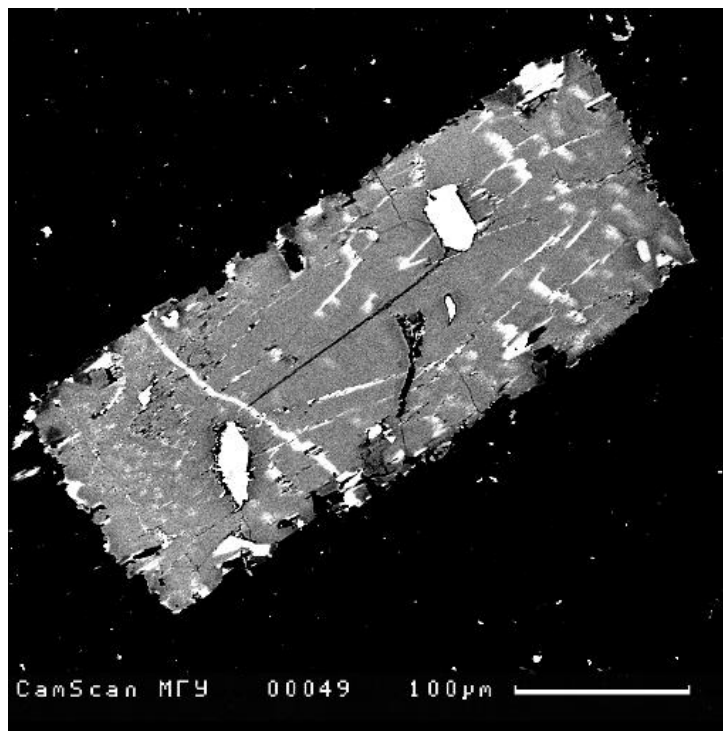
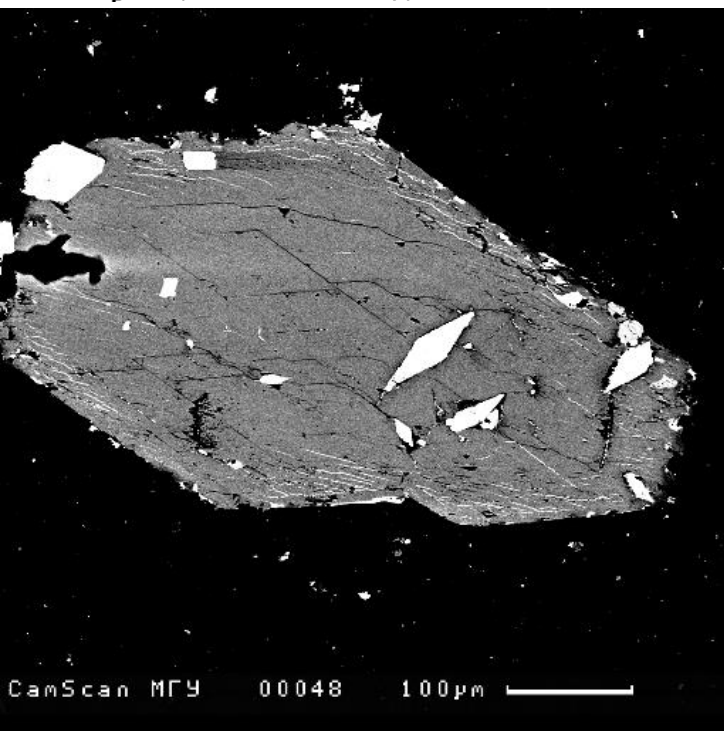
$\text{Na}_B \geq 1.5; (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}^{2+}) > 2.5$	
$(\text{Na} + \text{K})_A < 0.5$	$(\text{Na} + \text{K})_A \geq 0.5$

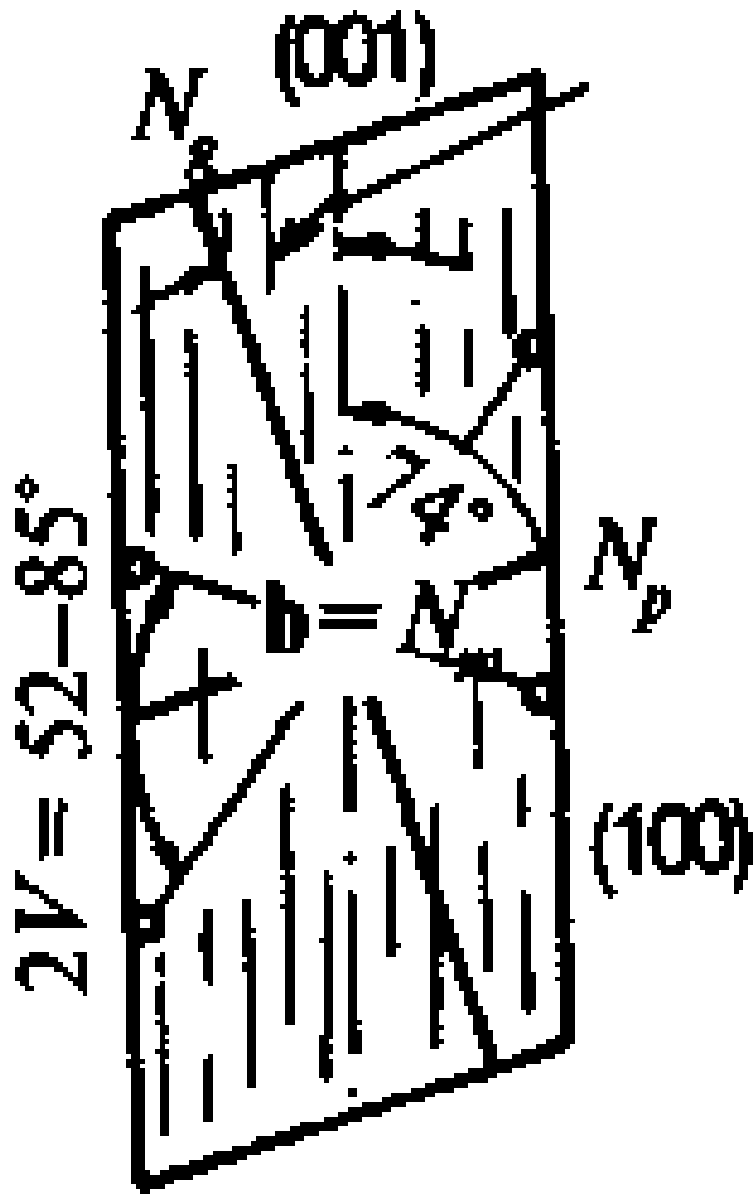


ДИАГНОСТИКА



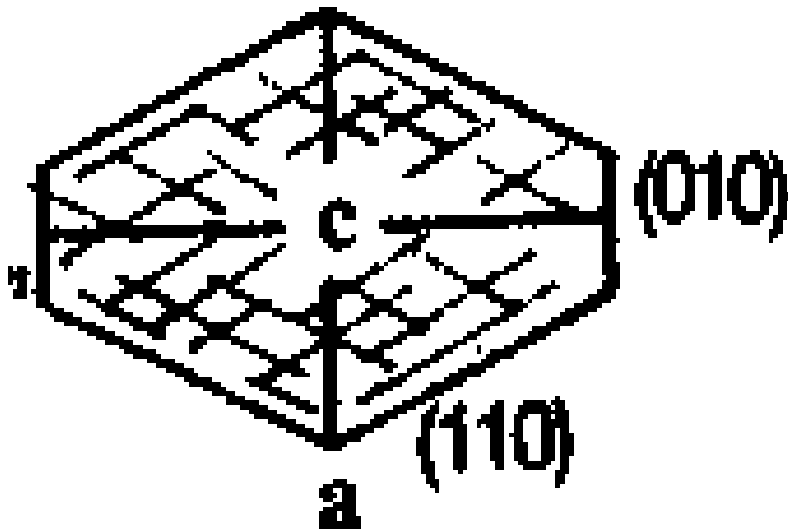
Ориентировка
оптической
индикатрисы в
кристалле роговой
обманки: *a* — общий
вид кристалла; *б* —
продольный разрез; *в* —
поперечный разрез





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

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



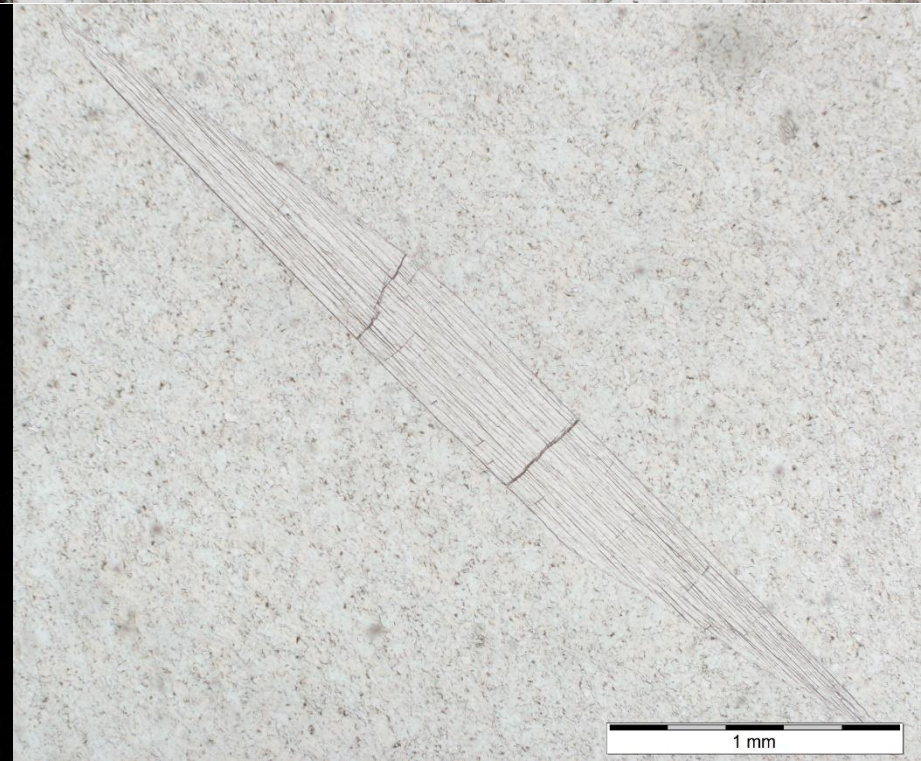
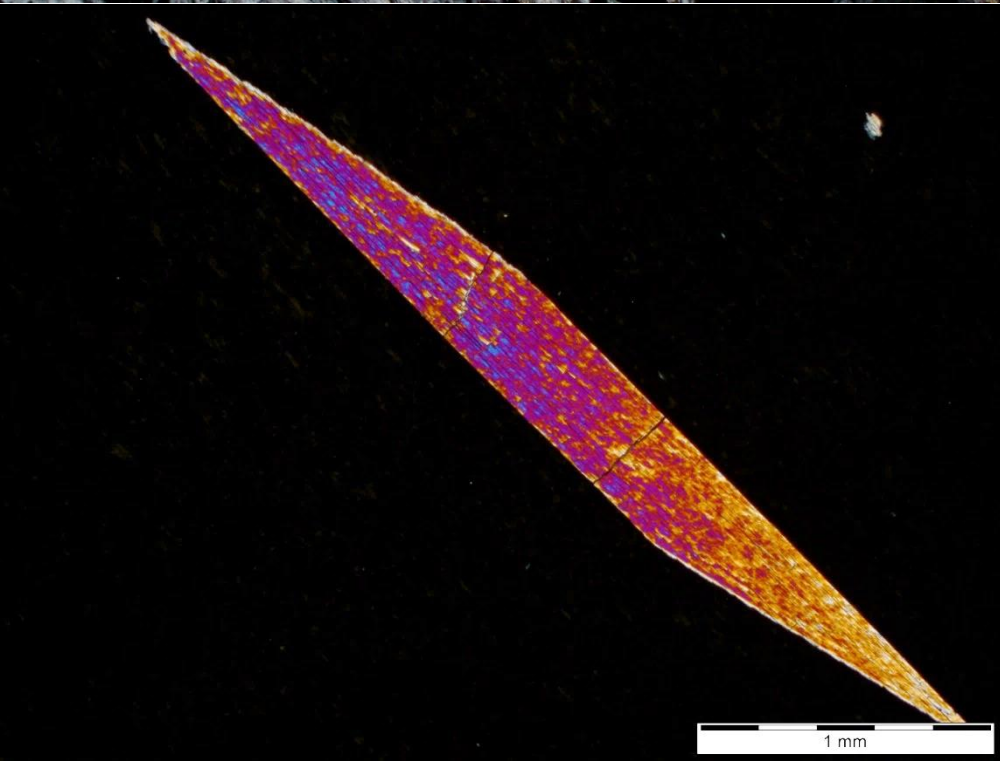
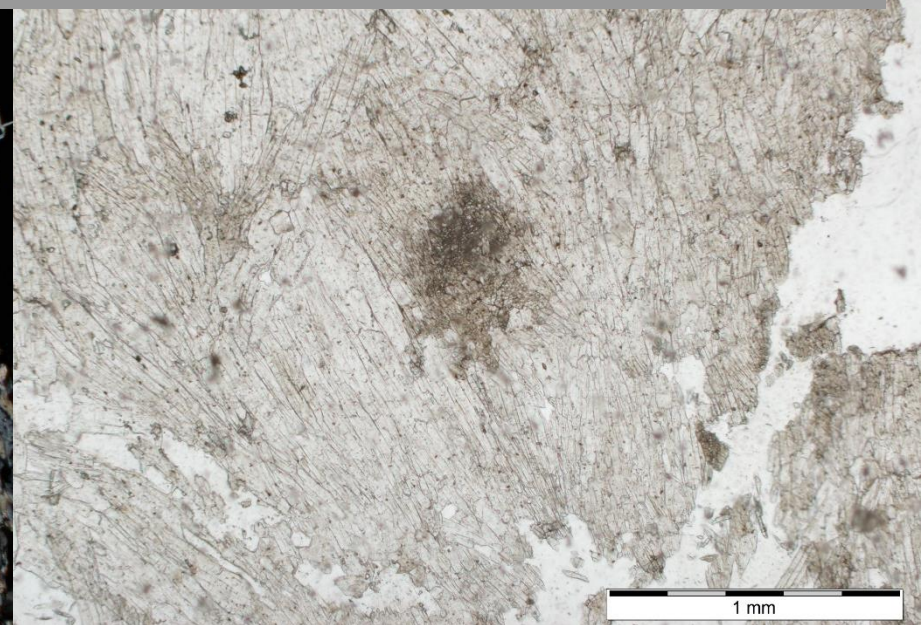
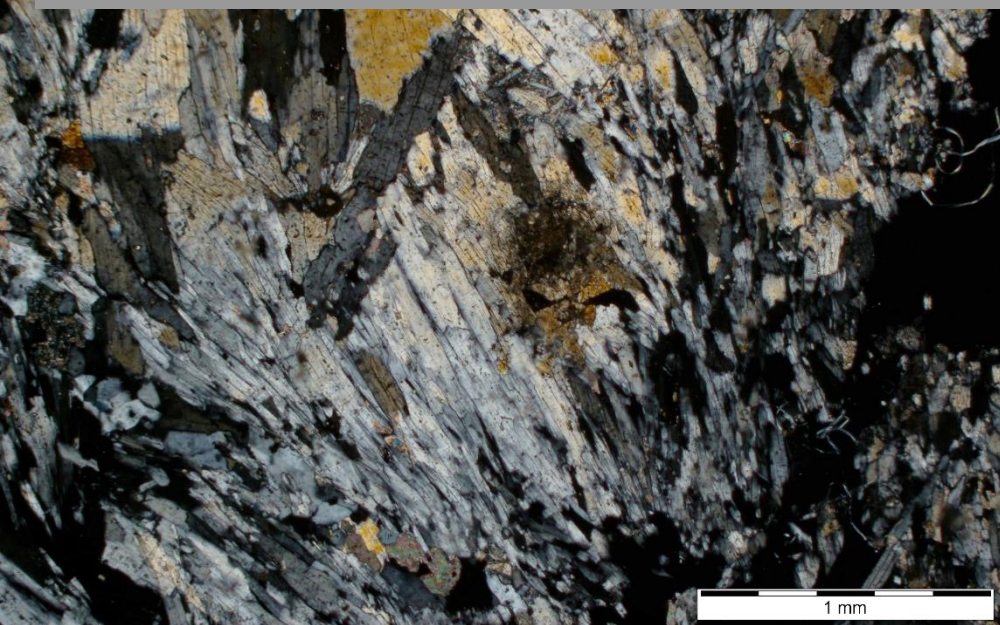
Кальциевые амфиболы. Минералы ряда тремолит-актинолит

- Непрерывный изоморфный ряд
 $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ – тремолит (Tr) – бесцветный
 $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ – актинолит (Act) – плеохроирует в нежно-зеленых тонах.
- Максимальное двулучепреломление – 0.023- 0.026
- Максимальная интерференционная окраска 2 порядка

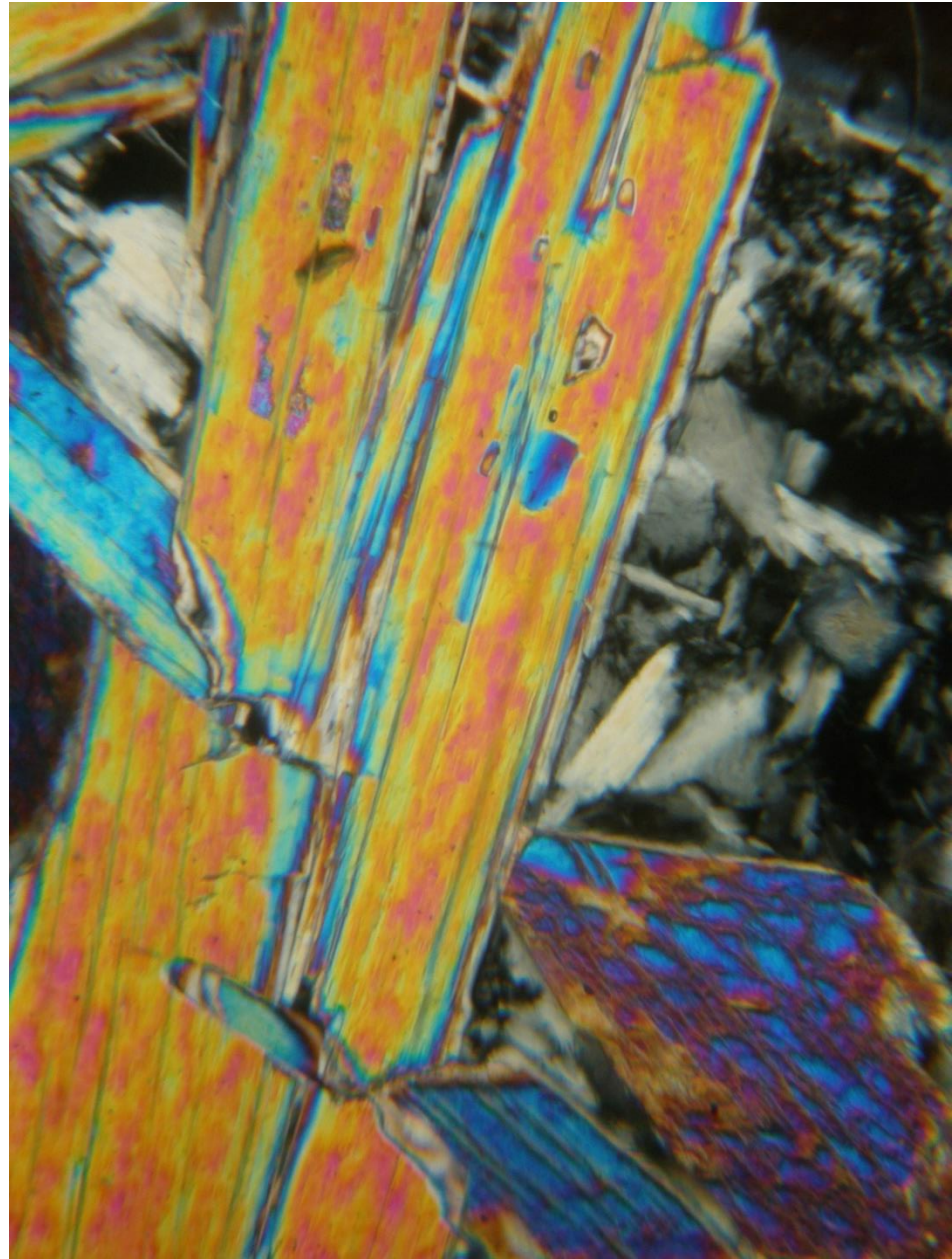
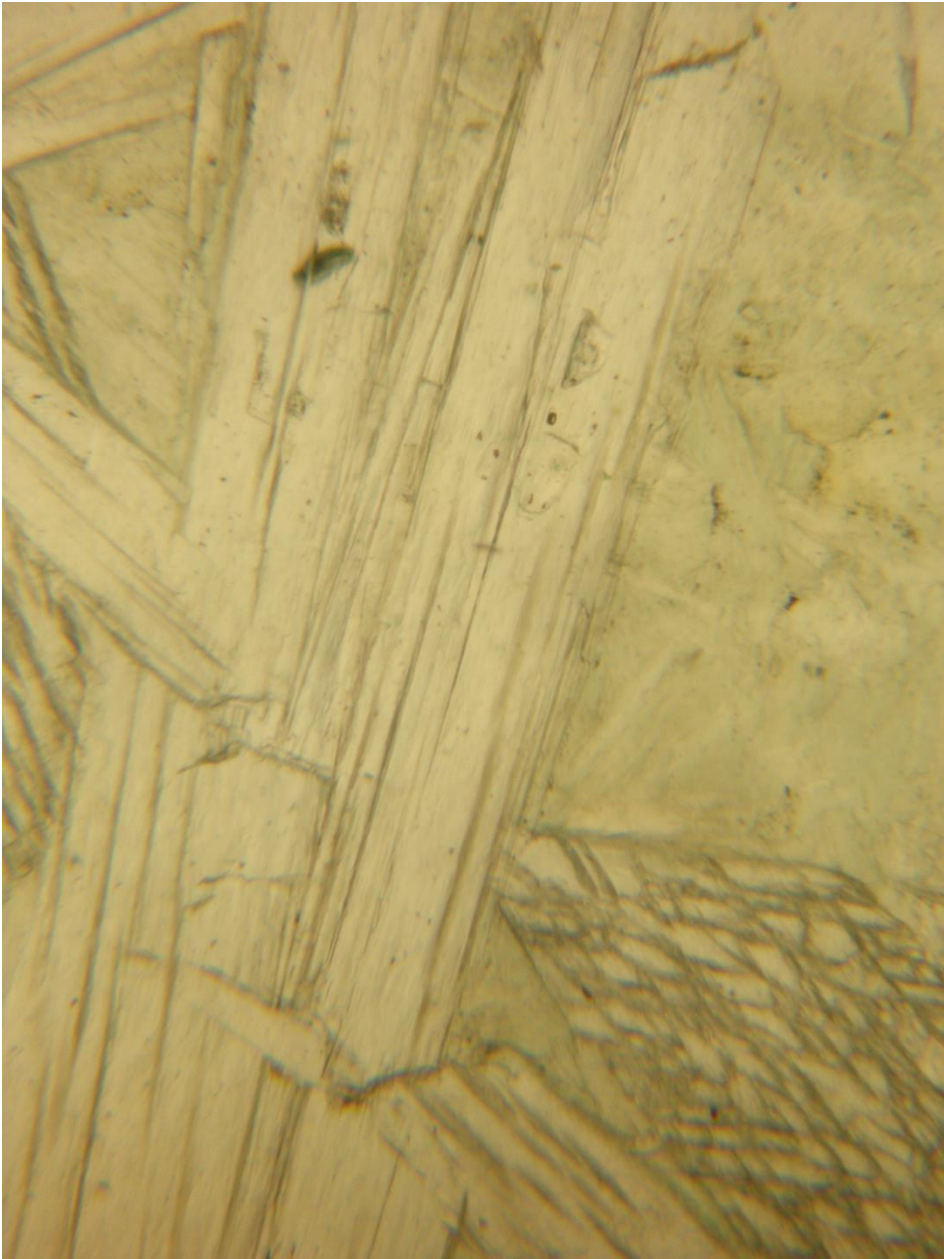
Характерны для метаморфических (низкие ступени метаморфизма) и ряда метасоматических пород.

Тремолит замещается тальком по определенным кристаллографическим направлениям иногда до образования полных псевдоморфоз; реже антигоритом или хризотилом; агрегатом кальцита, слюды и кварца; скаполитом

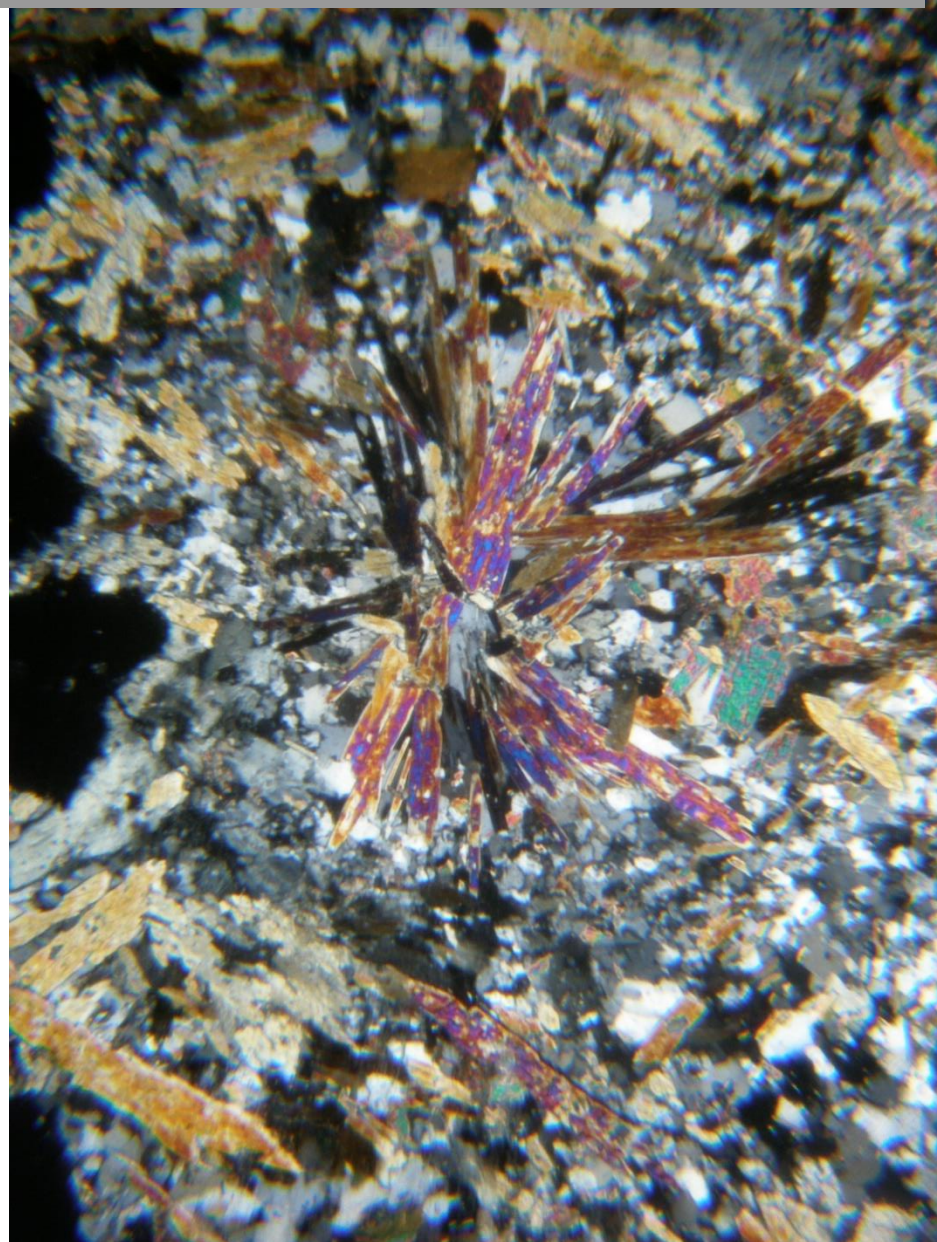
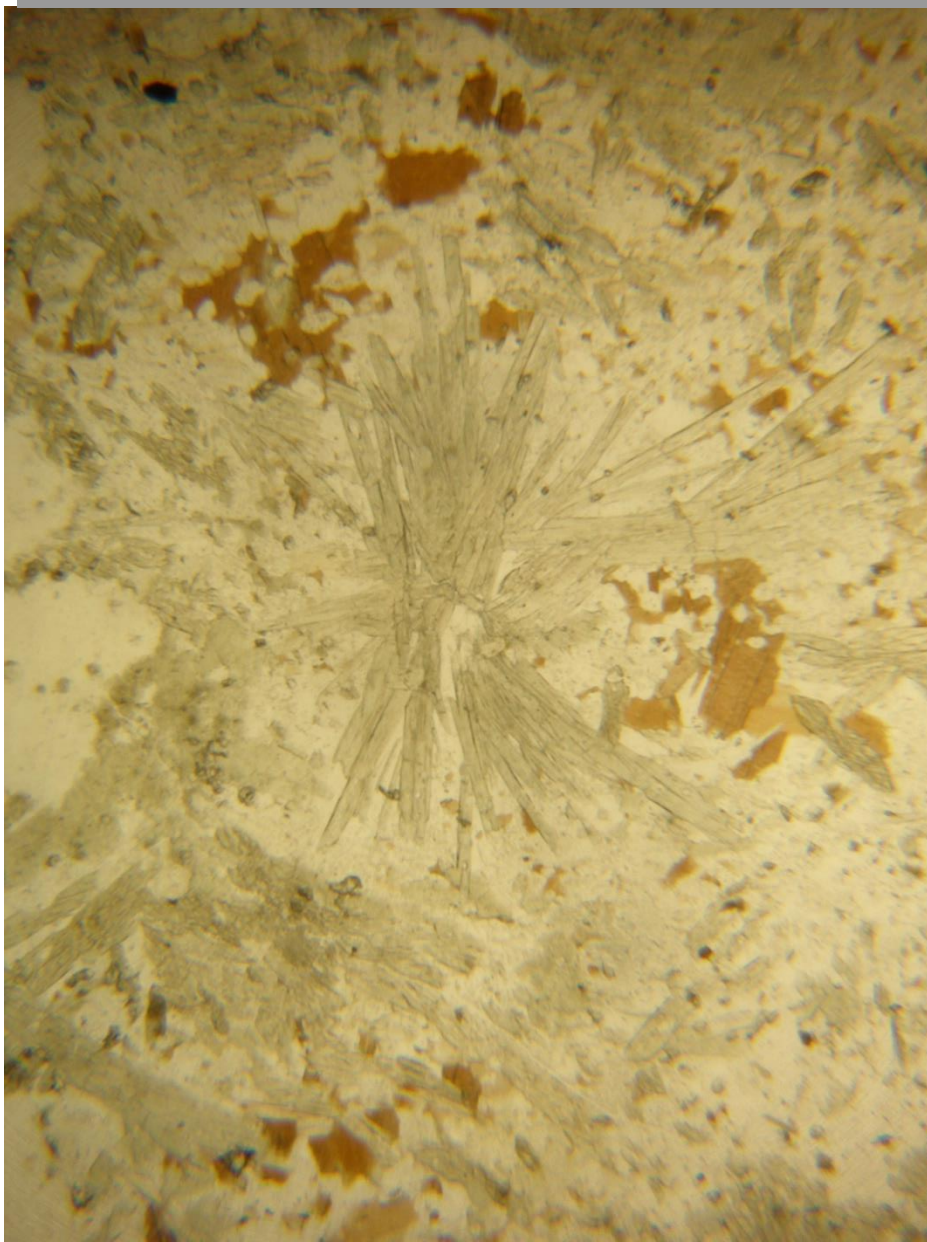
Кристаллы тремолита в породах: слева фото с анализатором, справа – без него.



Кристаллы тремолита: слева фото без анализатора, справа – с анализатором.



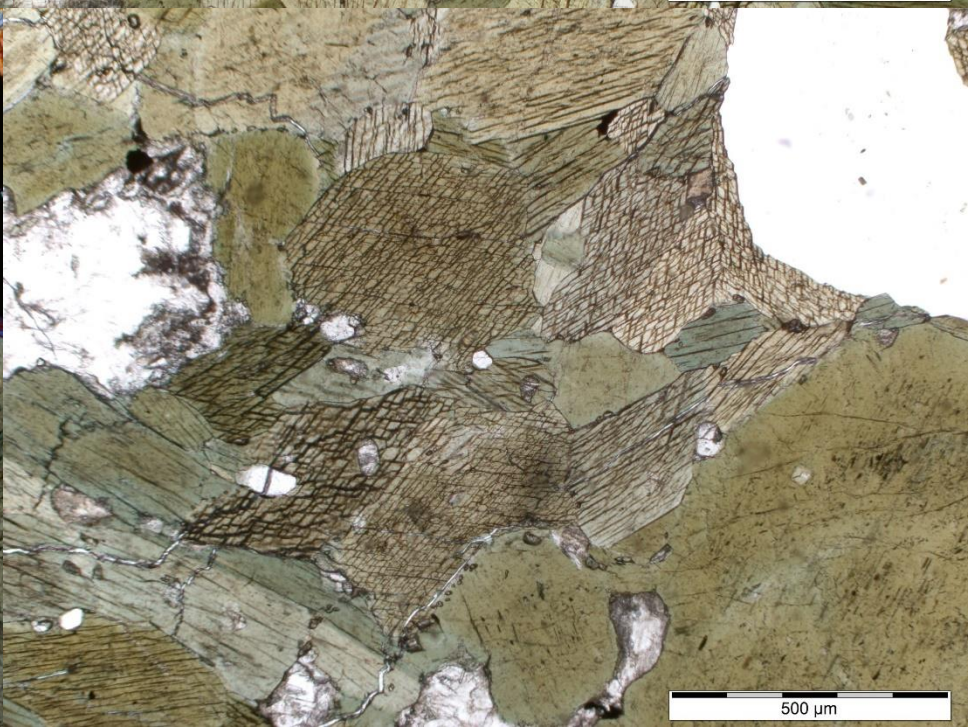
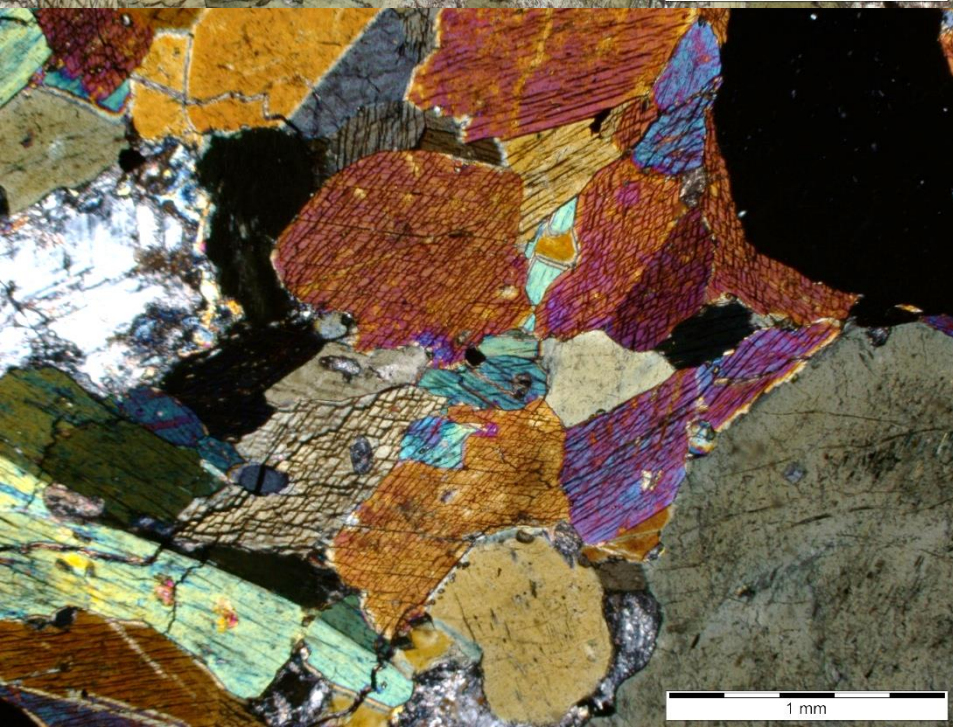
Кристаллы актинолита: слева фото без анализатора, справа – с анализатором.



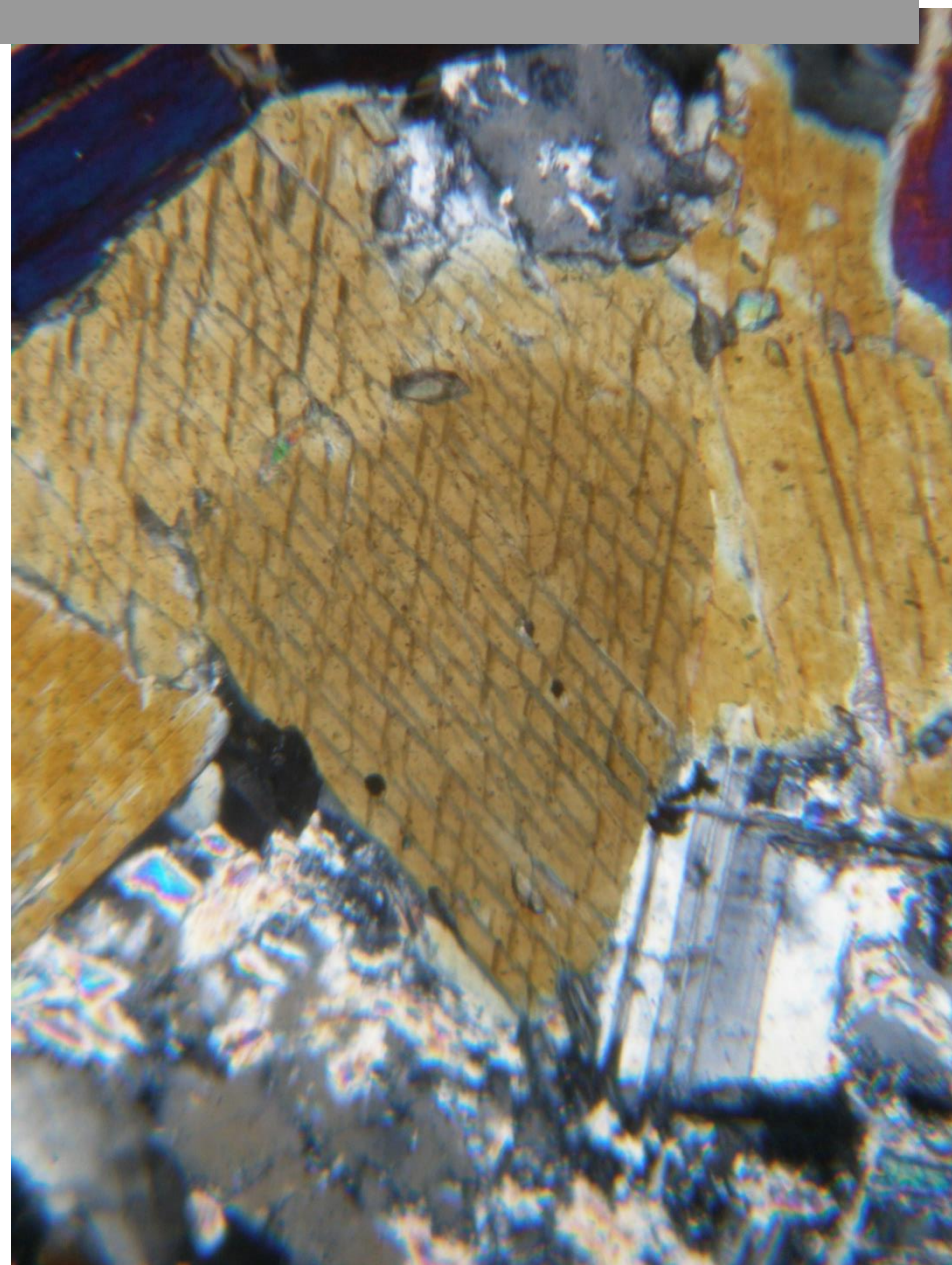
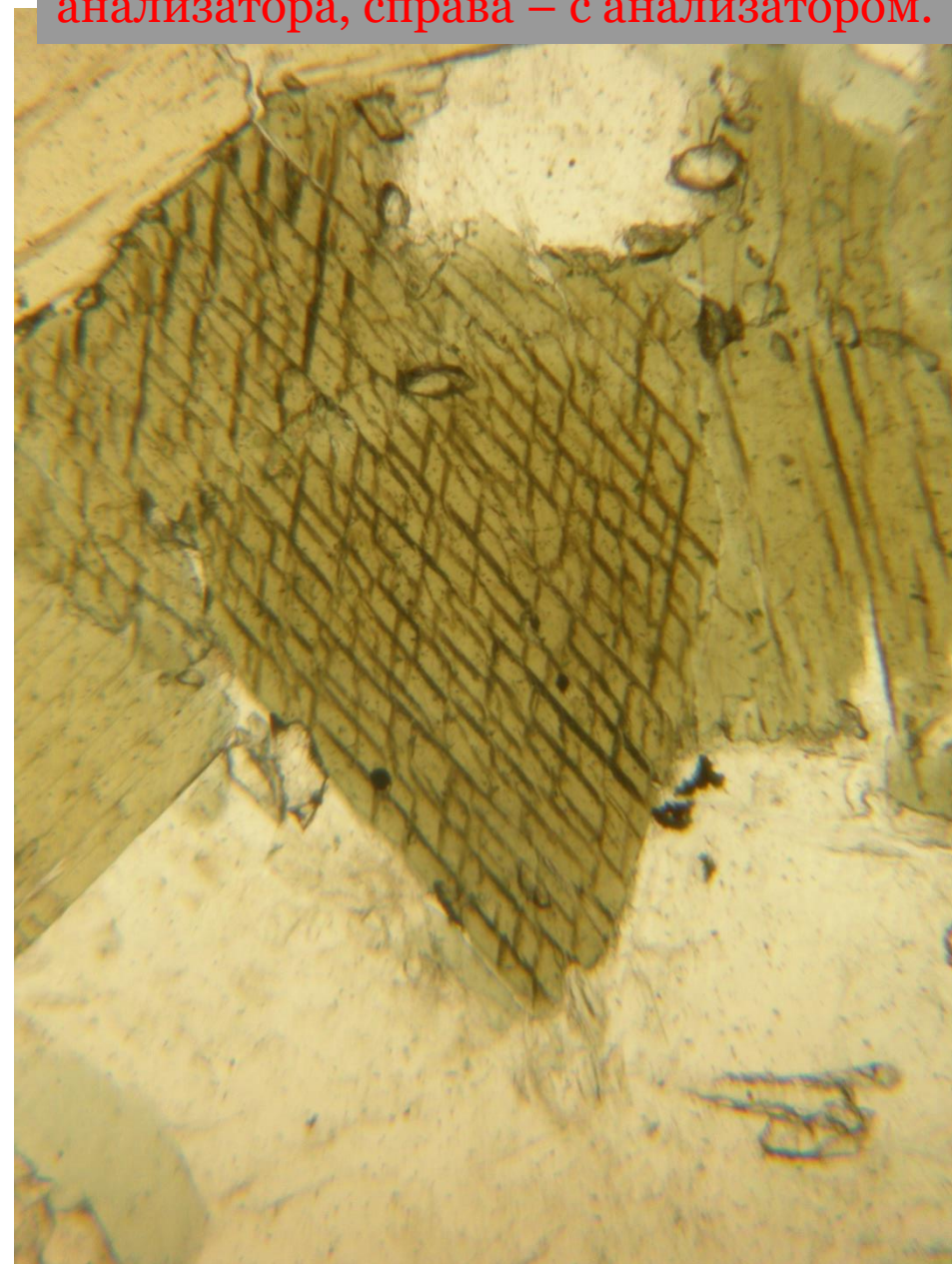
Кальциевые амфиболы.

«Роговая обманка» – общее название для ряда минералов

- Говоря формально, такого минерала не существует, как и биотита. Это общее название для нескольких минералов. Например, минералы эденит, парагасит, магнезиогастингсит, керсутит и др. – мы с вами будем называть роговыми обманками.
- Традиционное сокращение – Hbl
- Форма – более-менее отвечает разным сечением приведенных кристаллов. Очень характерно шестиугольное сечение со спайностью в двух направлениях (и его вариации).
- Большинство разновидностей роговой обманки обладают отчетливым плеохроизмом в бурых и зеленых тонах.
- Средний положительный рельеф
- Совершенная спайность в двух направлениях под углом ~56 градусов
- У большинства –интерференционные окраски не выше 2 порядка, угол погасания – 12-18 градусов.

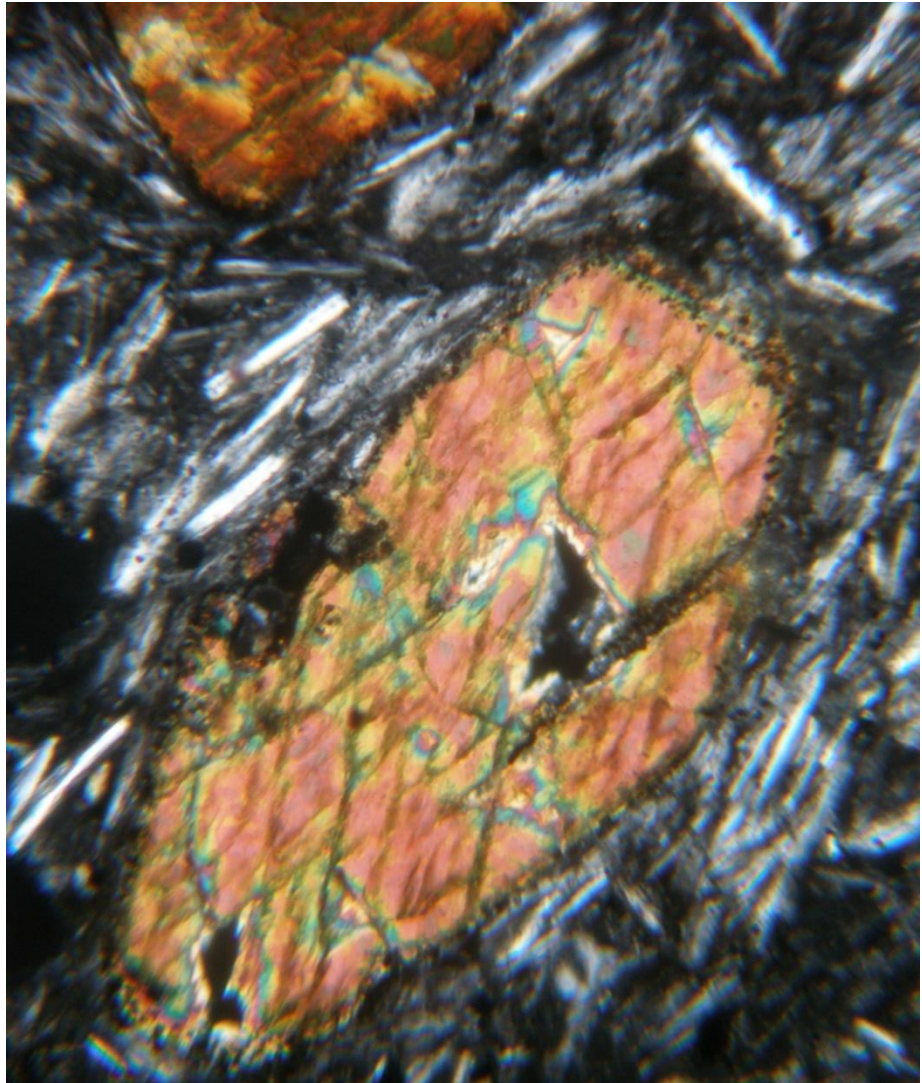


Сечение роговой обманки с 2-мя направлениями спайности: слева фото без анализатора, справа – с анализатором.



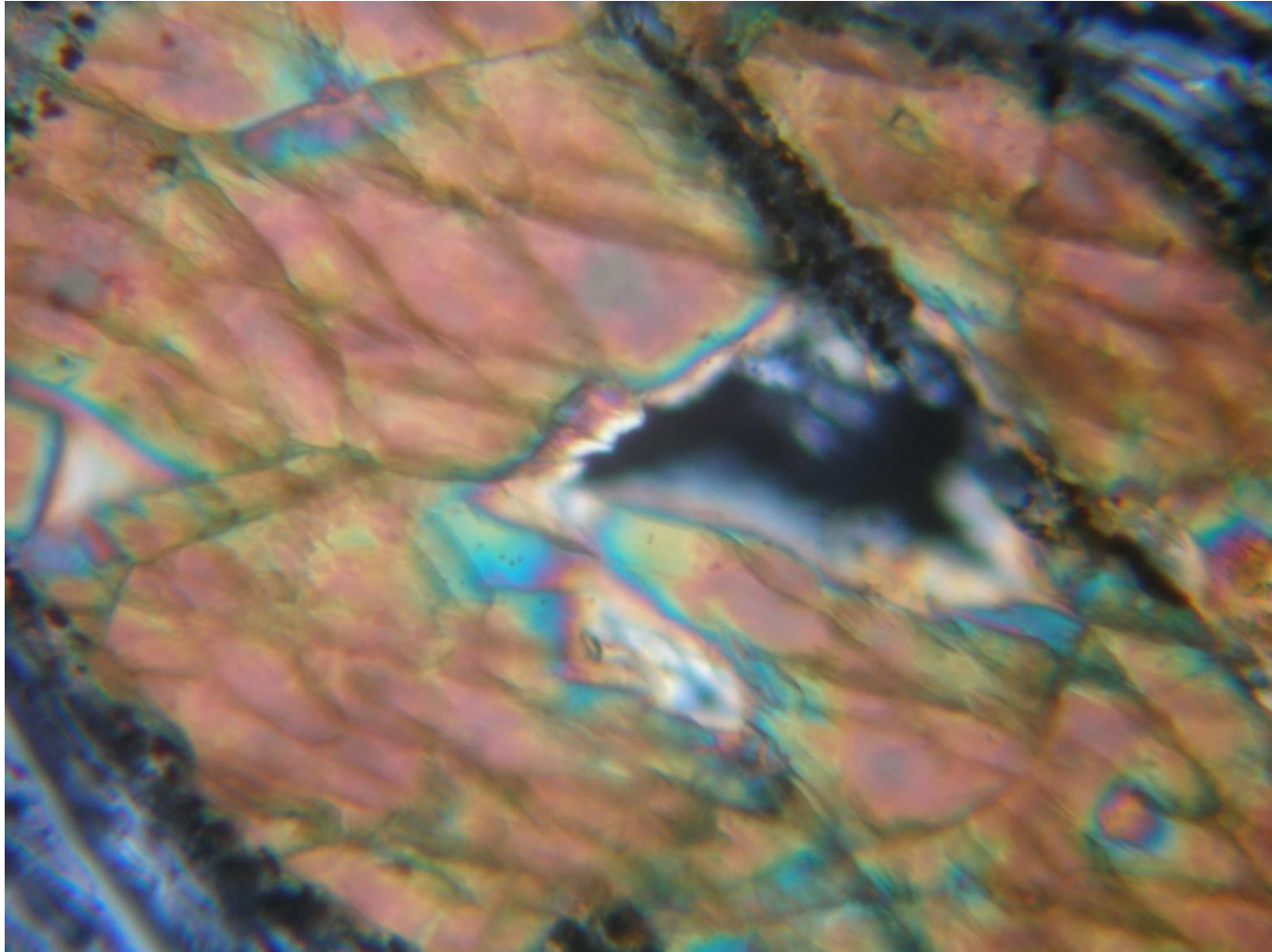
Базальтическая роговая обманка

По составу аналогична обычной, но все железо окислено

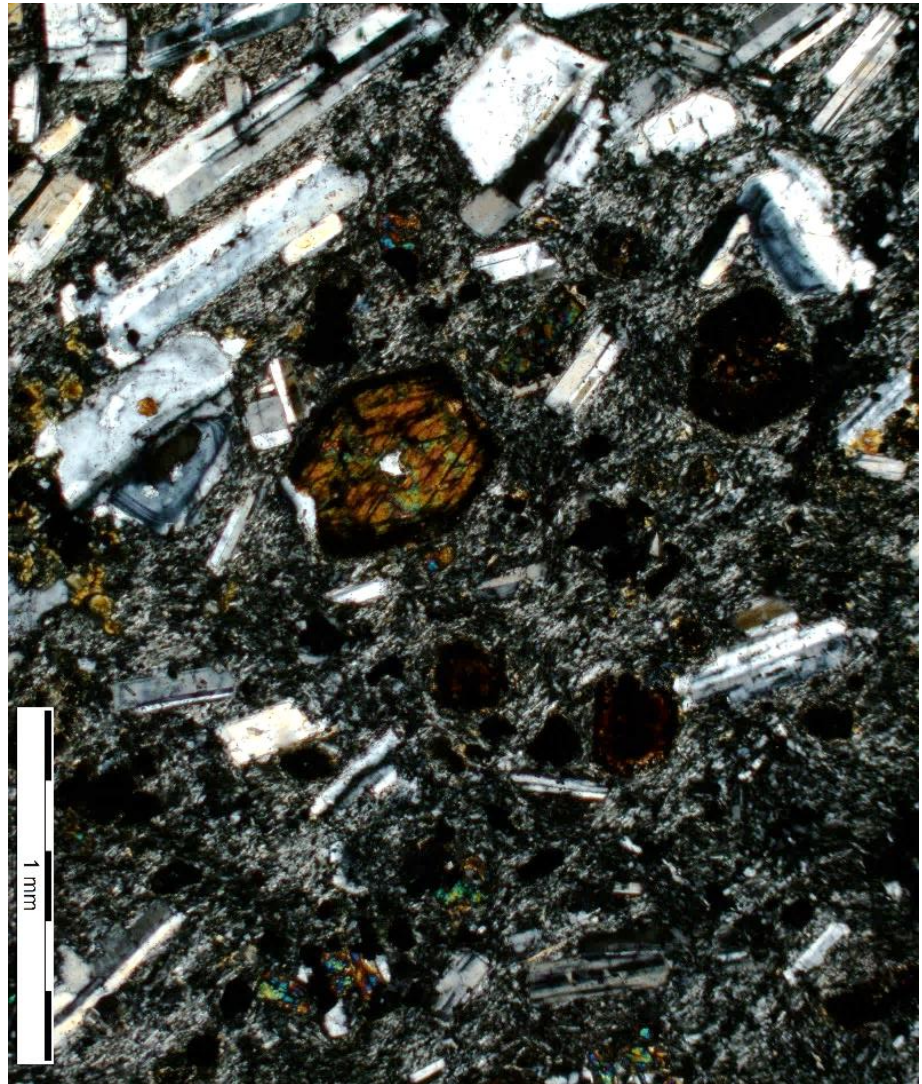
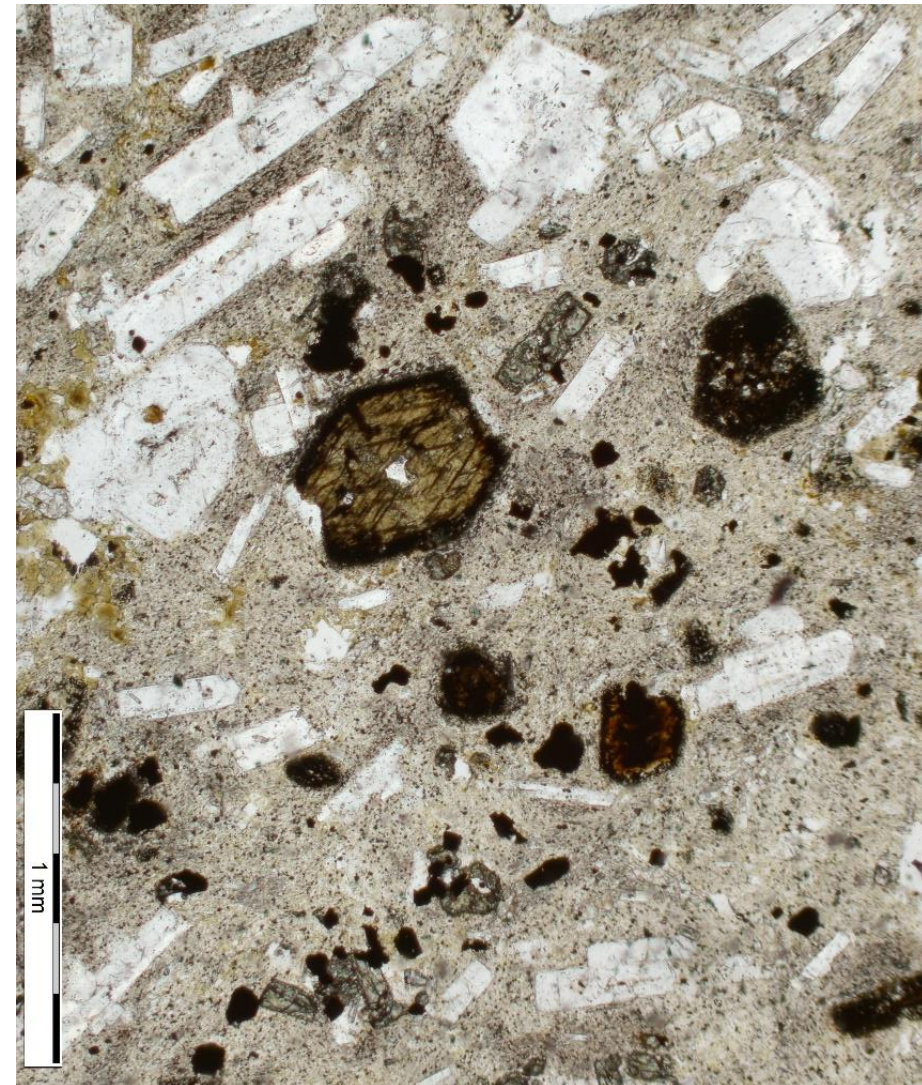


Кристаллы базальтической роговой обманки в андезите: слева фото без анализатора, справа – с анализатором.

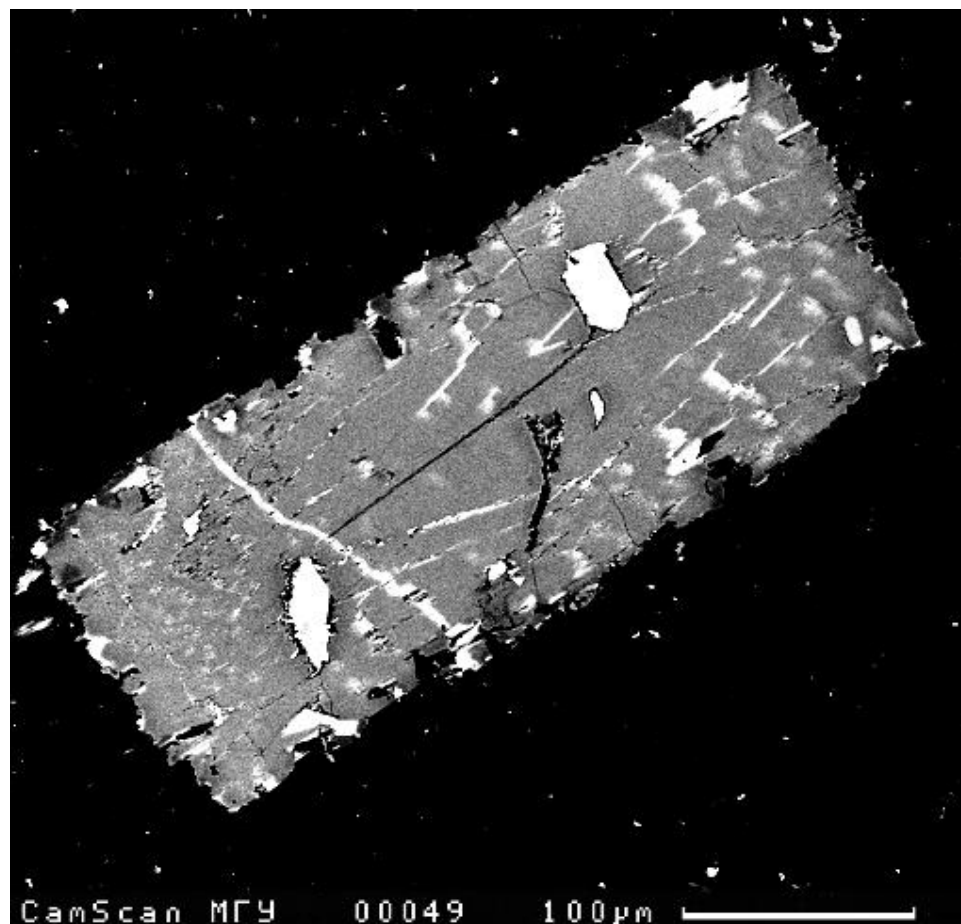
Кристалл базальтической роговой обманки: фото с анализатором, видна красная II порядка интерференционная окраска.



У базальтических роговых обманок (и не только) часто встречаются каймы опацизации. Опацизация – разложение водосодержащего минерала, когда магма поднимается из богатого водой очага в относительно сухой. Опацит представляет собой тонкозернистый агрегат пироксена, плагиоклаза и магнетита, из-за которого кайма выглядит черной и непрозрачной.



Вторичные изменения. Роговая обманка - относительно устойчивый минерал. Но по ней также бывают вторичные минералы, наиболее распространенными из которых являются актинолит, хлорит, эпидот, карбонат, магнетит. При изменении амфибола, содержащего титан, появляются сфен и лейкоксен.



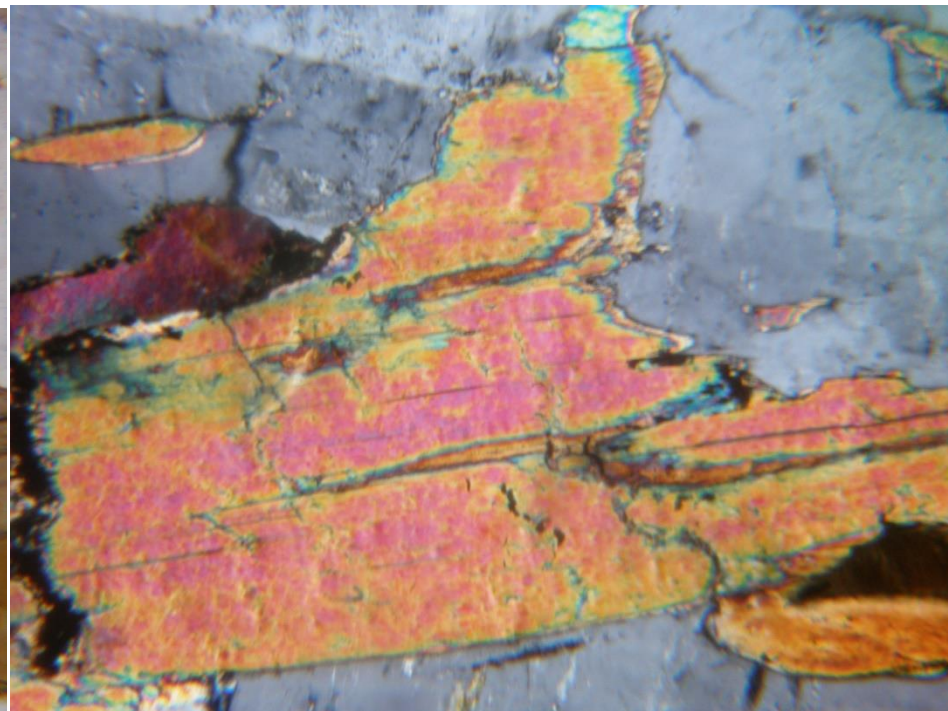
Распространенность в природе

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

СЛЮДЫ

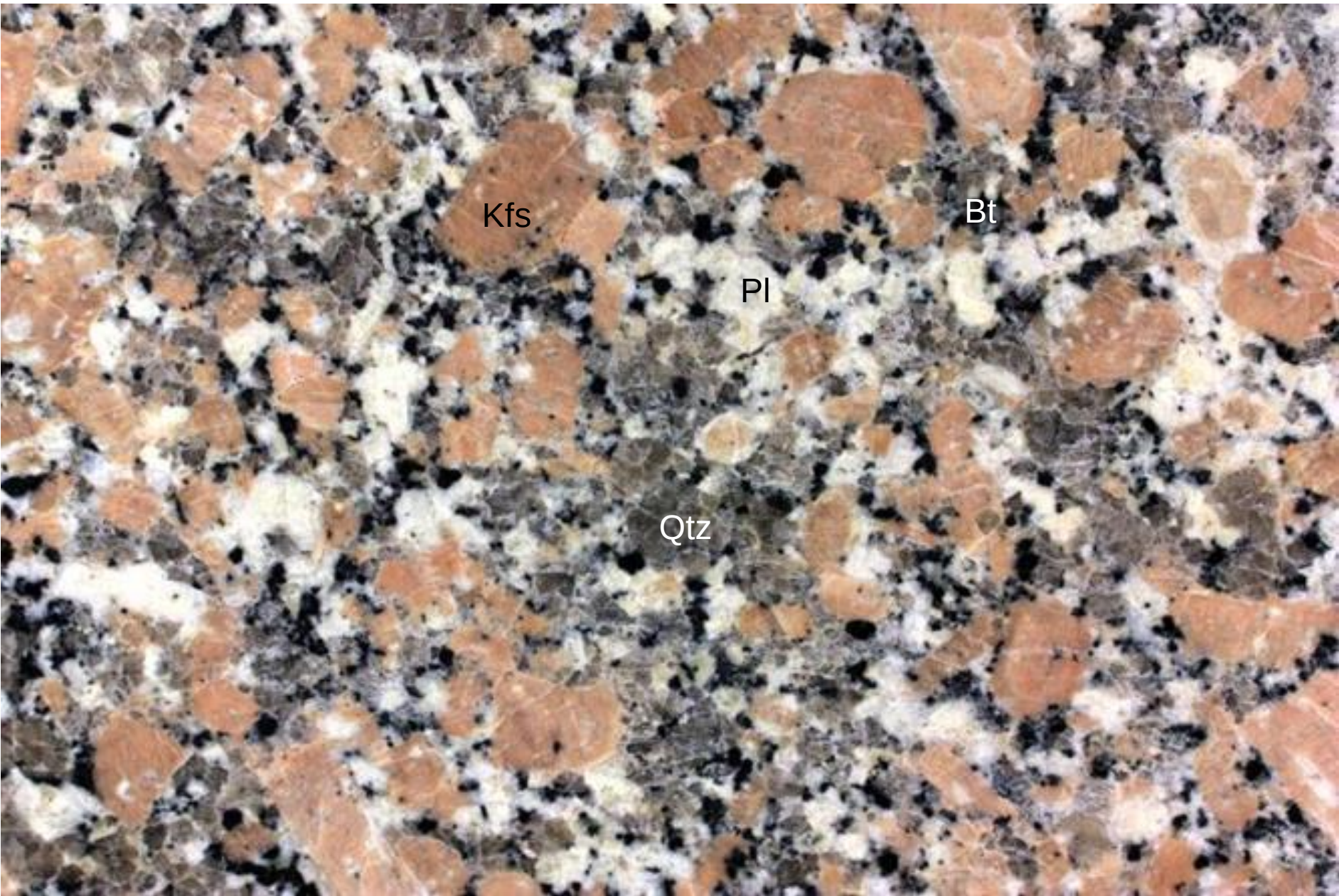


Фото без Анализатора



Биотит в граните
длина фото 1,5 мм

Фото с Анализатором



Гранит
(фото полированного образца)

Основные подклассы силикатов

Ol

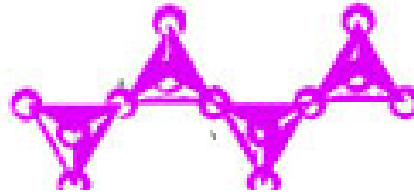
Островные



Изолированные тетраэдры

Px

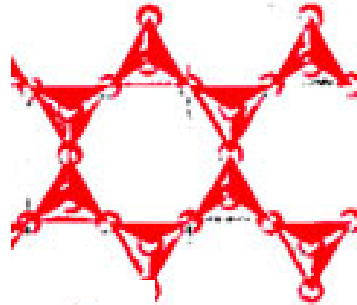
Цепочечные



Цепочки тетраэдров,

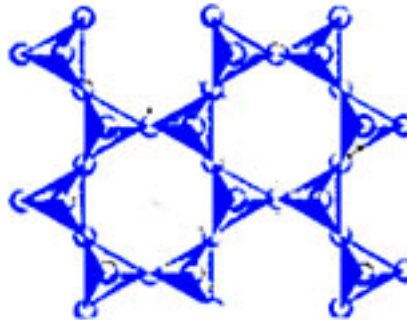
Amph

Ленточные



Ленты из 2 цепочек

Слюда
Слоистые



Слои из лент

Р
Кпш
Кварц
Каркасные

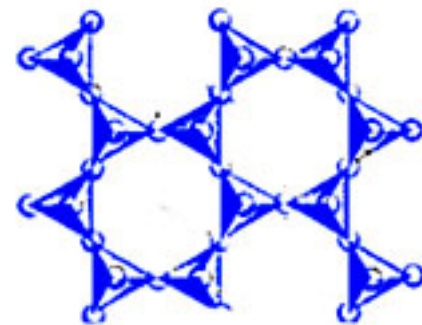


3D каркас,

Группа слюд



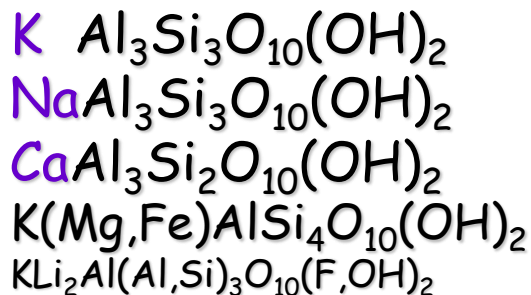
где $A = K, Na, Ca$
 $M = Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al, Ti,$
 $T = Si, Al$



Номенклатура слюд

Светлые

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

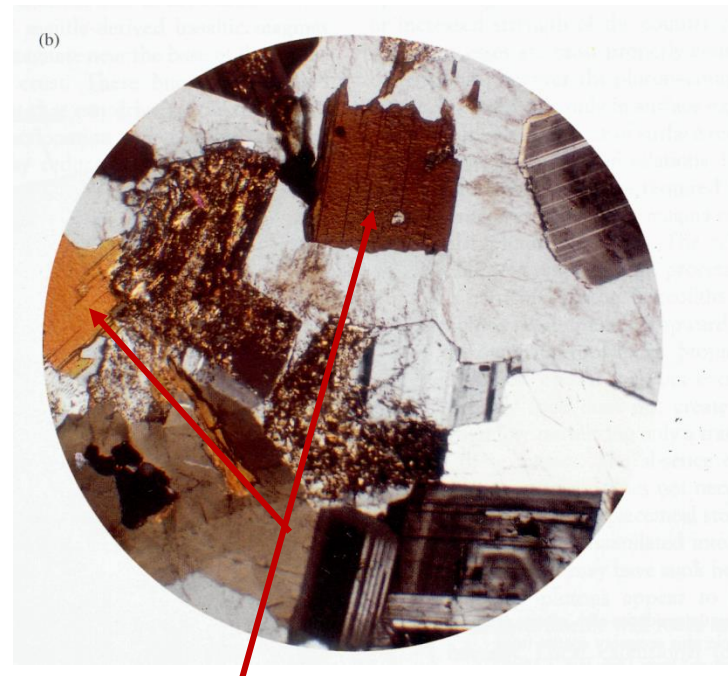


Темные

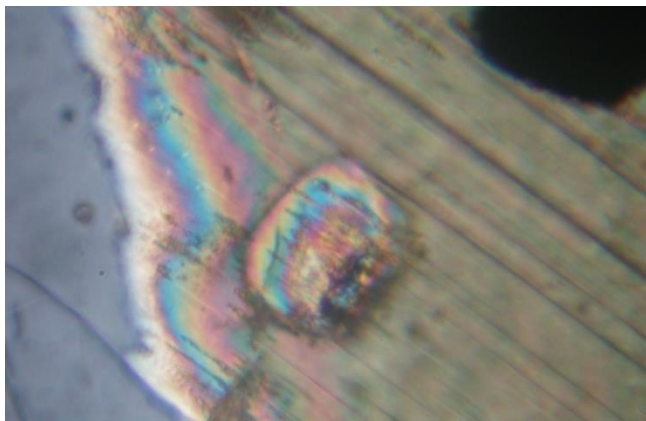
БИОТИТ - твердый р-р 4 миналов

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)	$KFe_2Al_3Si_2O_{10}(OH)_2$

- Минералы группы слюд относятся к числу широко распространенных, играющих роль породообразующих минералов в кислых интрузивных и в метаморфических породах. Для кристаллизации слюд необходимо присутствие щелочных металлов. Из расплава они, как правило, выделяются позже других цветных минералов. В минералах этой группы широко развиты катионные замещения, вследствие чего колеблются их оптические константы.
- Листоватая форма кристаллов и характерные оптические свойства позволяют уверенно находить слюды под микроскопом.

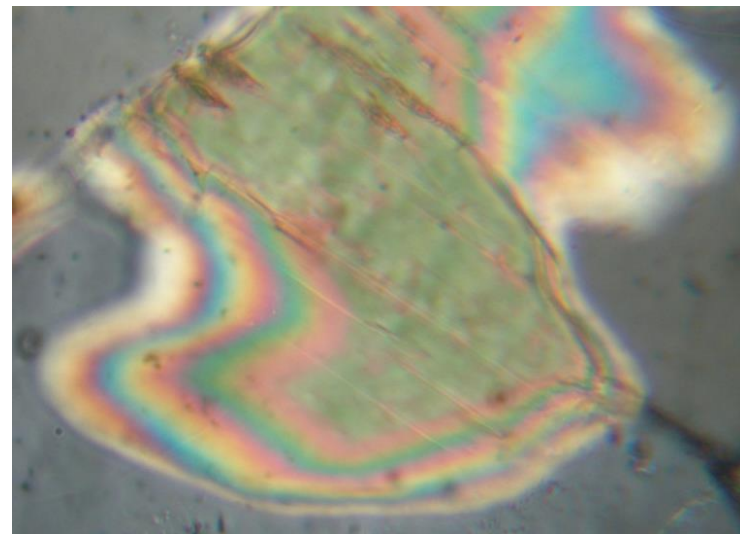


Биотит в граните.
Фото с Анализатором



Биотит

Фото с Анализатором
Видна высокая
интерференционная
окраска (зеленая IV
порядка)

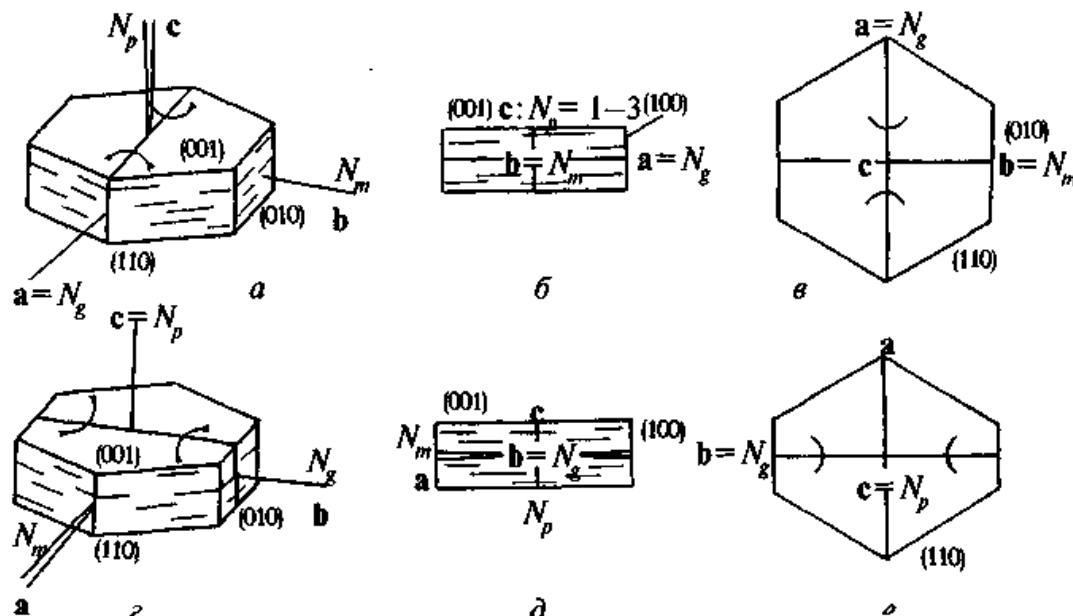


Для всех слюд характерны некоторые общие свойства, которые определяются их структурой:

- Моноклинная сингония;
- Облик кристаллов таблитчатый, псевдогексагональный;
- Агрегаты – пластинчатые, чешуйчатые;
- Весьма совершенная спайность по (001);
- Высокое двупреломление ;
- Прямое погасание;
- Искристое погасание (пояснение термина на следующем слайде) ;
- Положительное удлинение;
- Отрицательный оптический знак;

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





Искристое погасание – образное название того, что в положении погасания в кристаллах слюд остаются светлые точки - «искры». В непогасшем состоянии чешуек слюд это проявляется в некоторой «переливчатости» их интерференционных окрасок.

Биотит в граните. Фото с Анализатором.
Длина 3 мм

Самыми распространенными минералами группы слюд являются **биотит** и **мусковит**. При этом биотит – это собирательное название изоморфной смеси 4-х миналов. Часто используют его упрощенную формулу $K(Mg,Fe)_3(Si_3AlO_{10})(OH,F)_2$, иногда рассматривая **флогопит** как отдельный минерал $KMg_3(Si_3AlO_{10})(OH,F)_2$

В магматических горных породах чаще всего встречаются **биотит** и **флогопит**. Первично магматический **мусковит** бывает только в пегматитах и гранитах, сильно обогащенных калием и легколетучими компонентами. Появление мусковита в магматических горных породах свидетельствует о наложении на них процесса грейзенизации. Мусковит часто имеет гидротермальное происхождение. И мусковит, и серицит (мелкочешуйчатый мусковит) типичны для метаморфических пород.

Биотит

Характерной особенностью биотита является появление в нем вокруг включений радиоактивных минералов (чаще всего циркона) так называемых «плеохроичных двори́ков» - ореолов метамиктного распада, имеющих черный цвет, интенсивность которого меняется при повороте столика микроскопа.

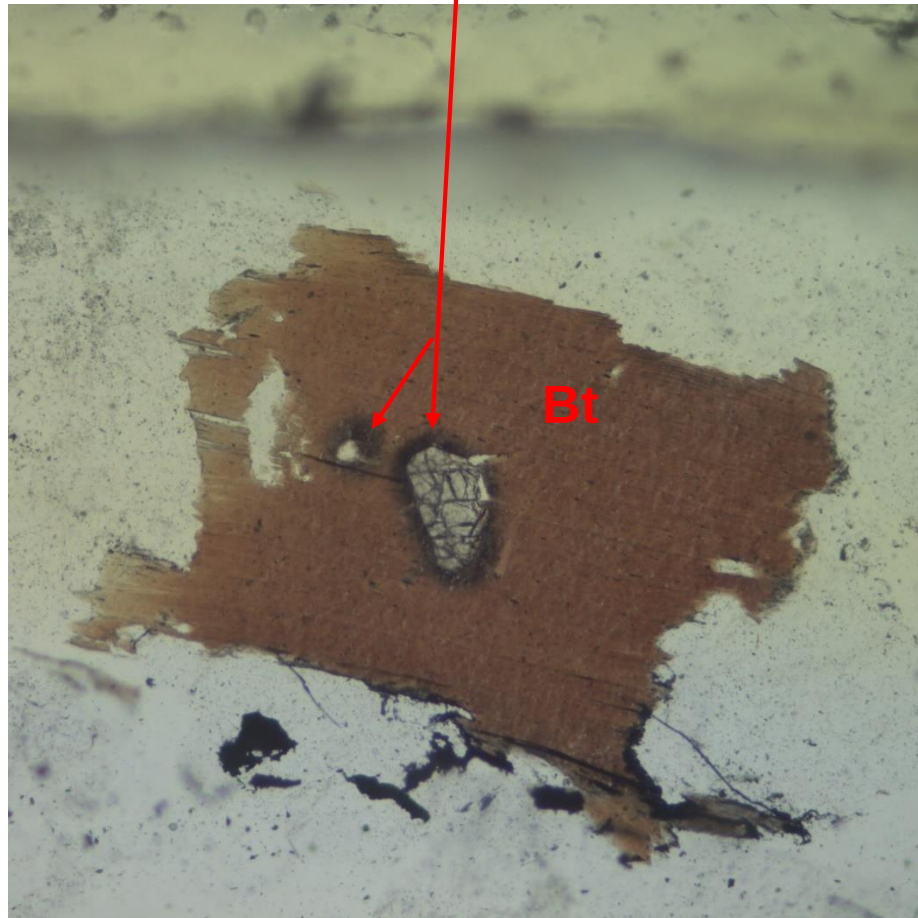


Фото без Анализатора

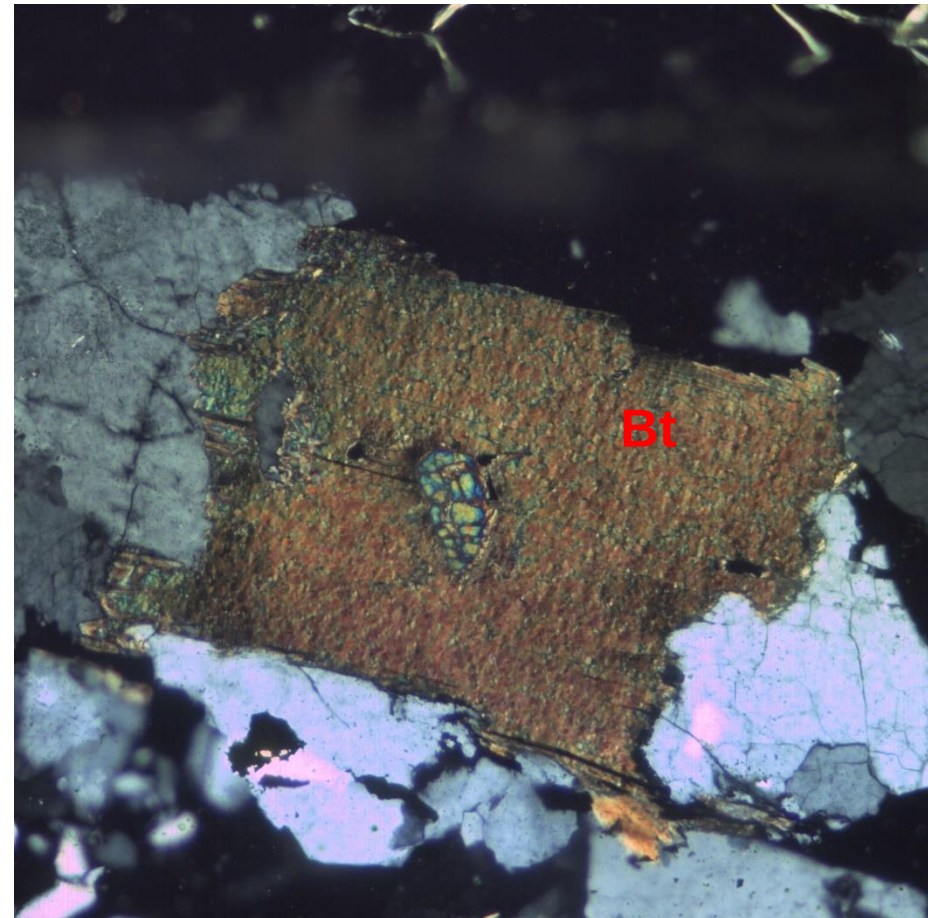


Фото с Анализатором

Биотит

сторона фото 3 мм

Биотит

В зависимости от изменения состава, меняется и окраска биотитов. **Красноватый** оттенок биотиту придает повышенное содержание в нем **титана**. **Титанистые** биотиты являются более высокотемпературными.

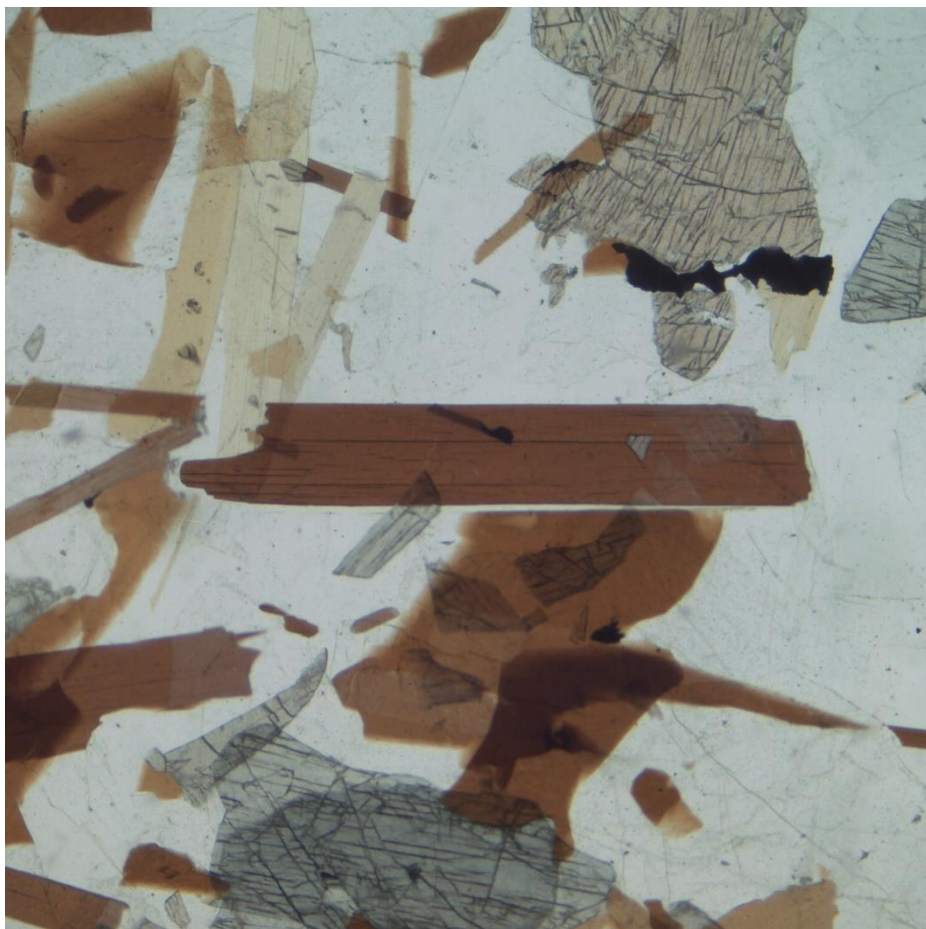
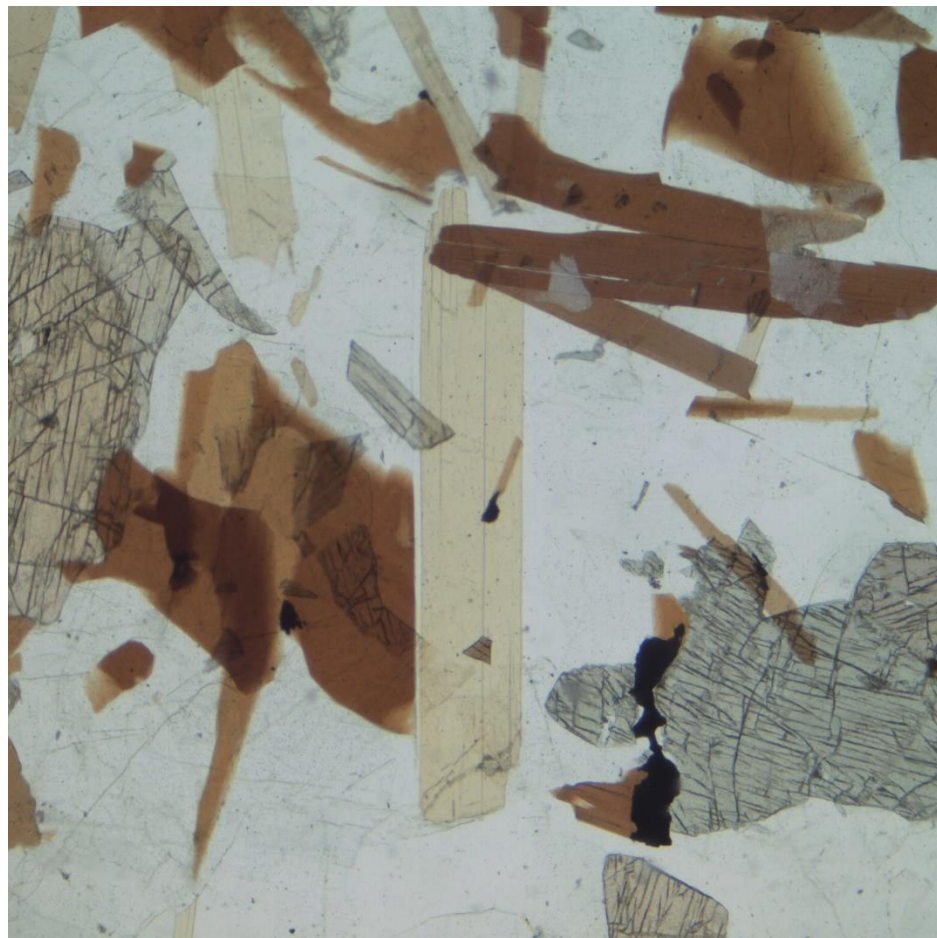


Фото без Анализатора



Биотит

сторона фото 3 мм

Фото без Анализатора

Биотит

Флогопит имеет светлые окраски, часто почти бесцветные или слегка оранжеватые

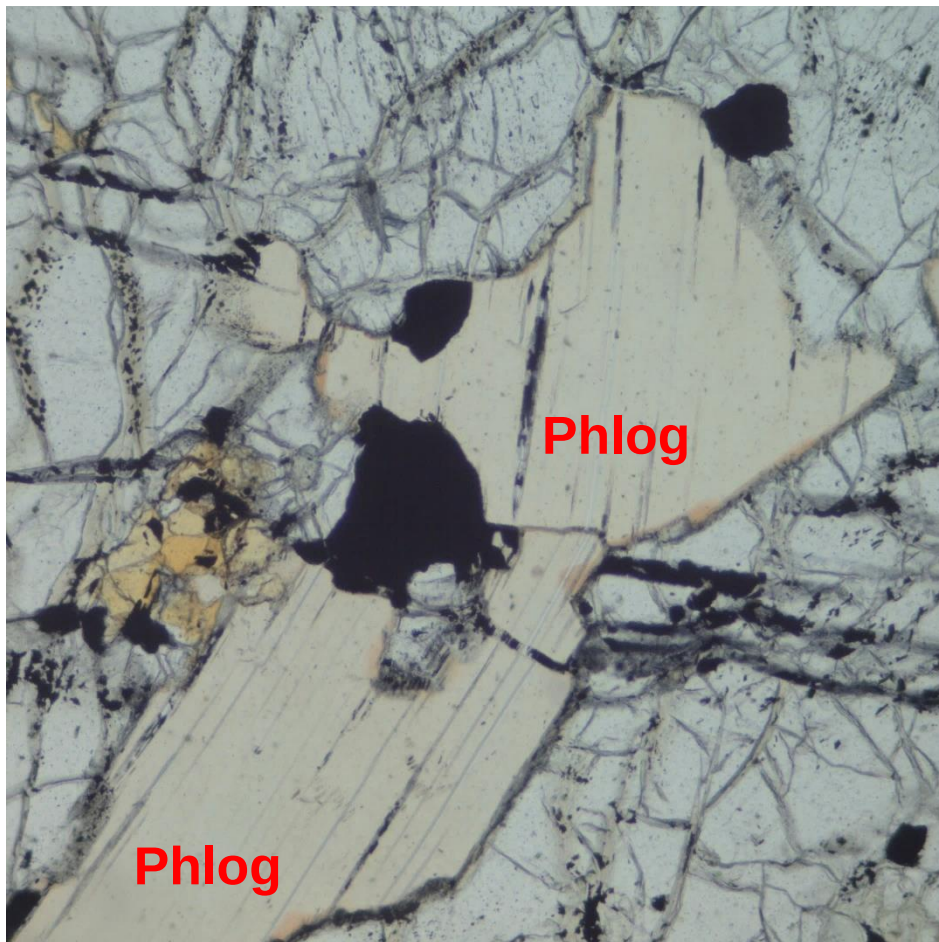
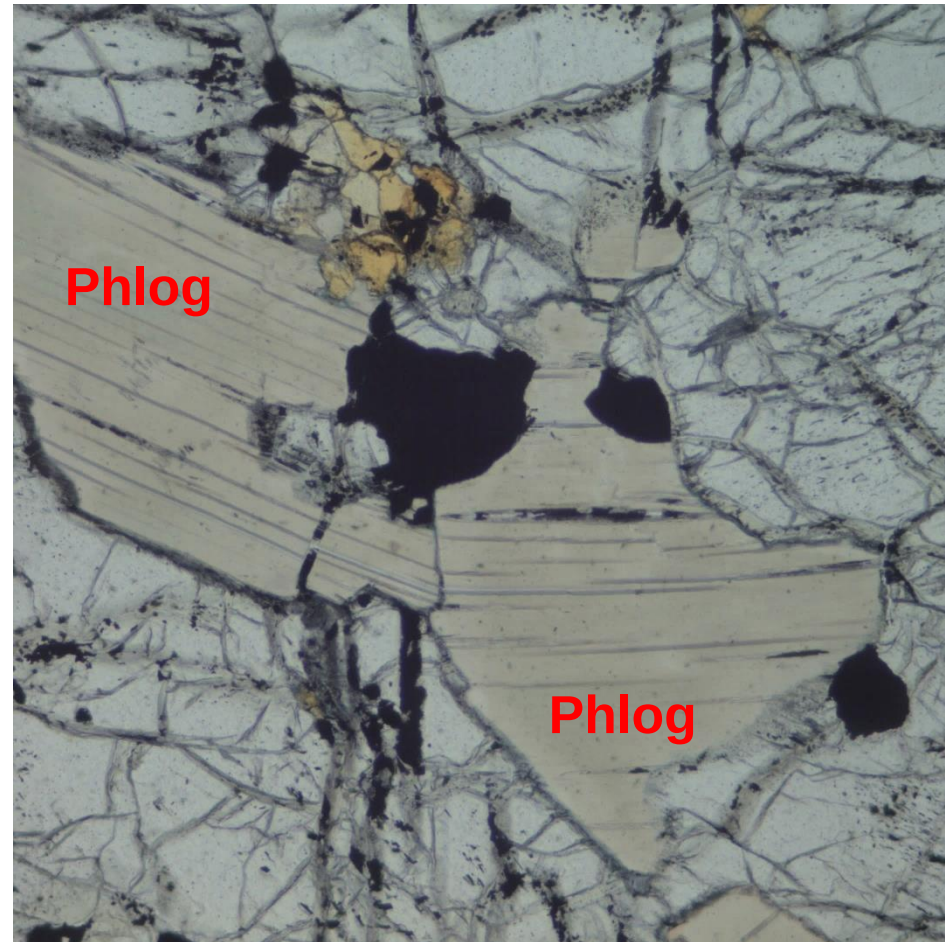


Фото без Анализатора

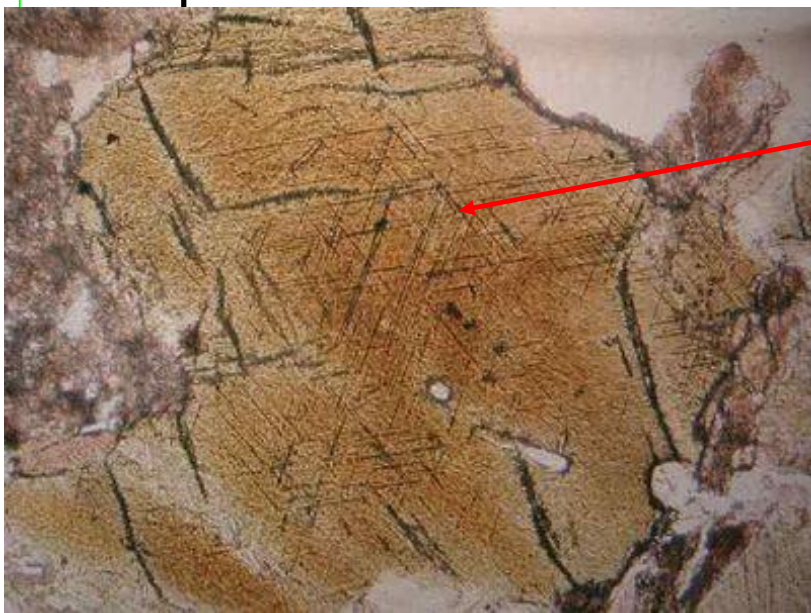


Флогопит

сторона фото 3 мм

Фото без Анализатора

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

Биотит:

Начальная стадия вторичного замещение биотита хлоритом. Происходит образование хлорита вдоль трещин спайности.

Хлорит имеет светло-зеленую окраску, низкий рельеф и низкие с аномальными голубоватыми или фиолетовыми оттенками интерференционные окраски.

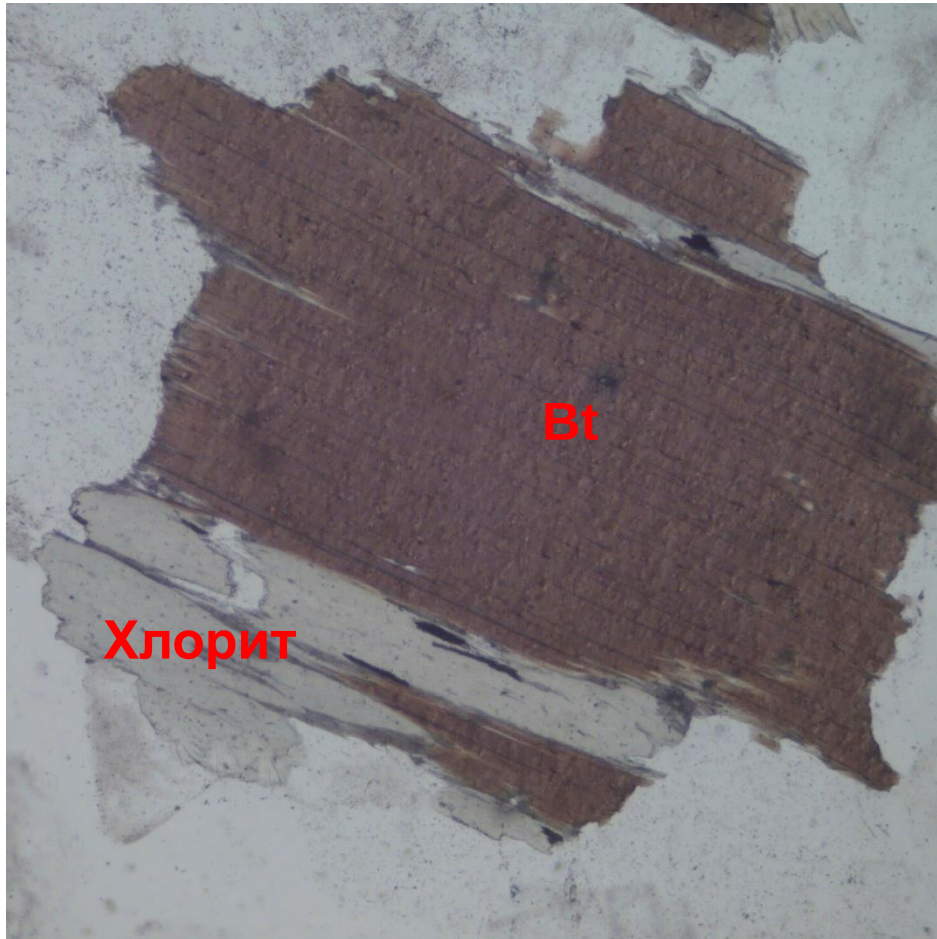
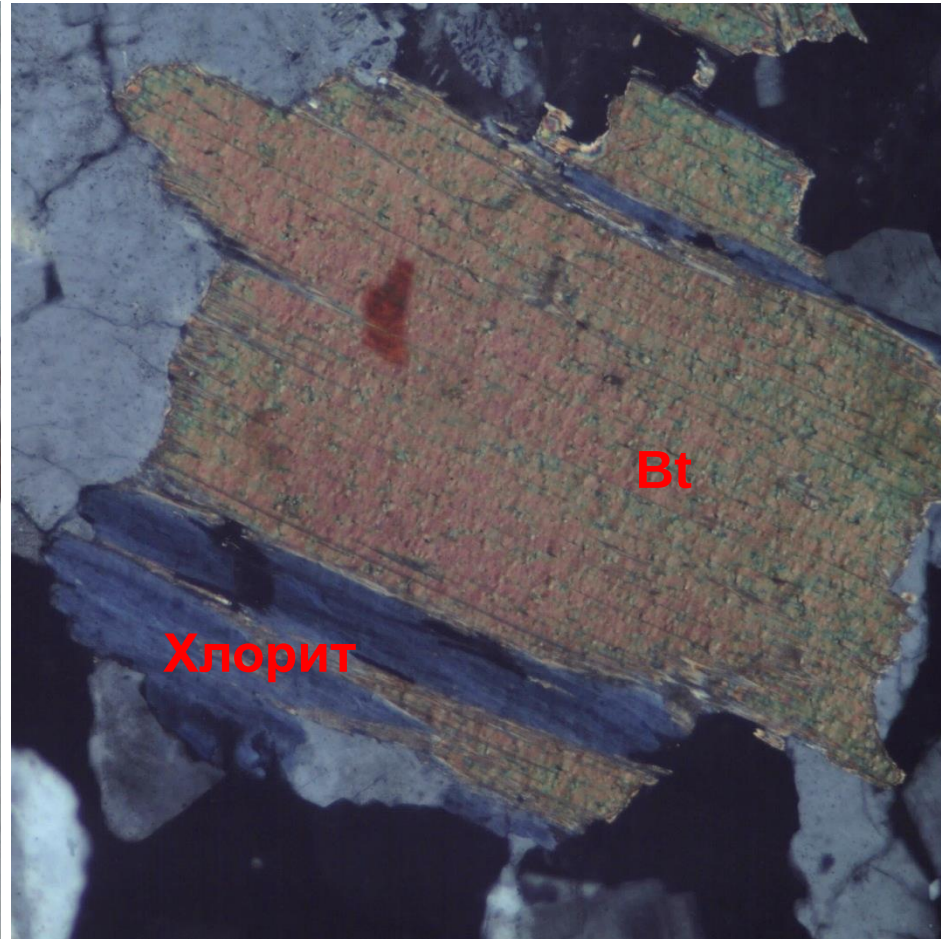


Фото без Анализатора



Биотит с хлоритом
сторона фото 3 мм

Фото с Анализатором

Биотит

Полное замещение кристалла биотита хлоритом и эпидотом (образование псевдоморфоз хлорита по биотиту).

Хлорит имеет светло-зеленую окраску, низкий рельеф и низкие с аномальными голубоватыми или фиолетовыми оттенками интерференционные окраски.

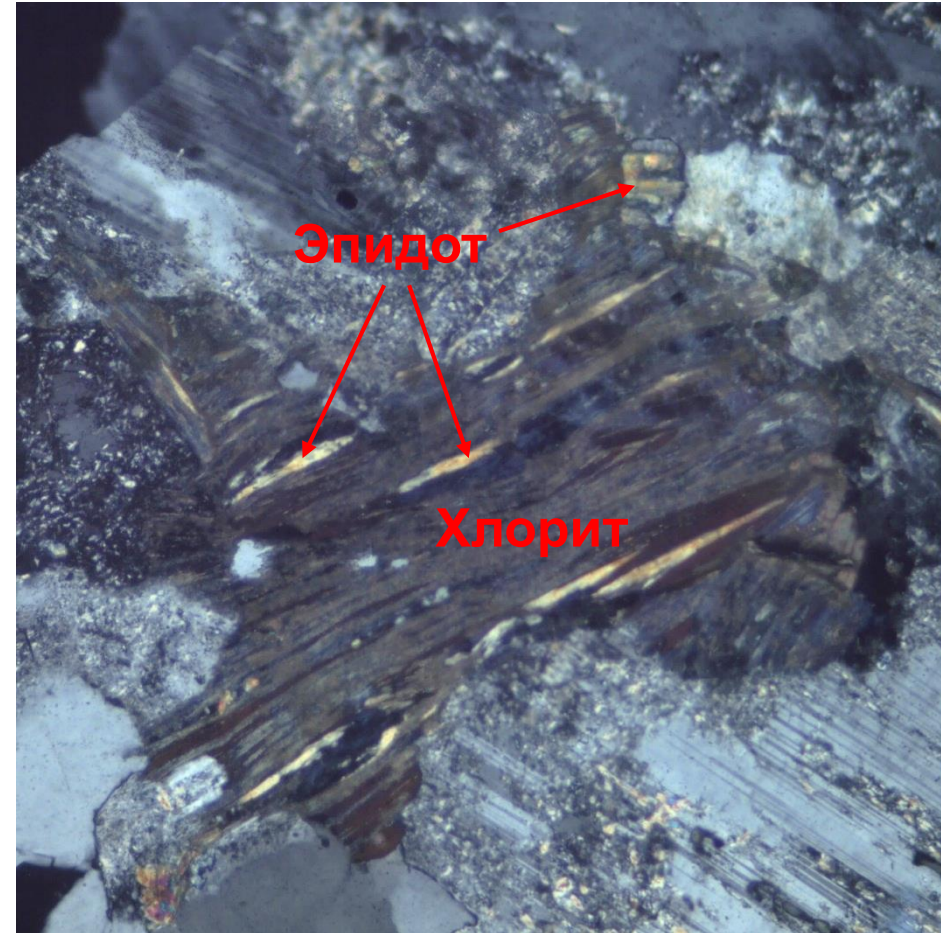
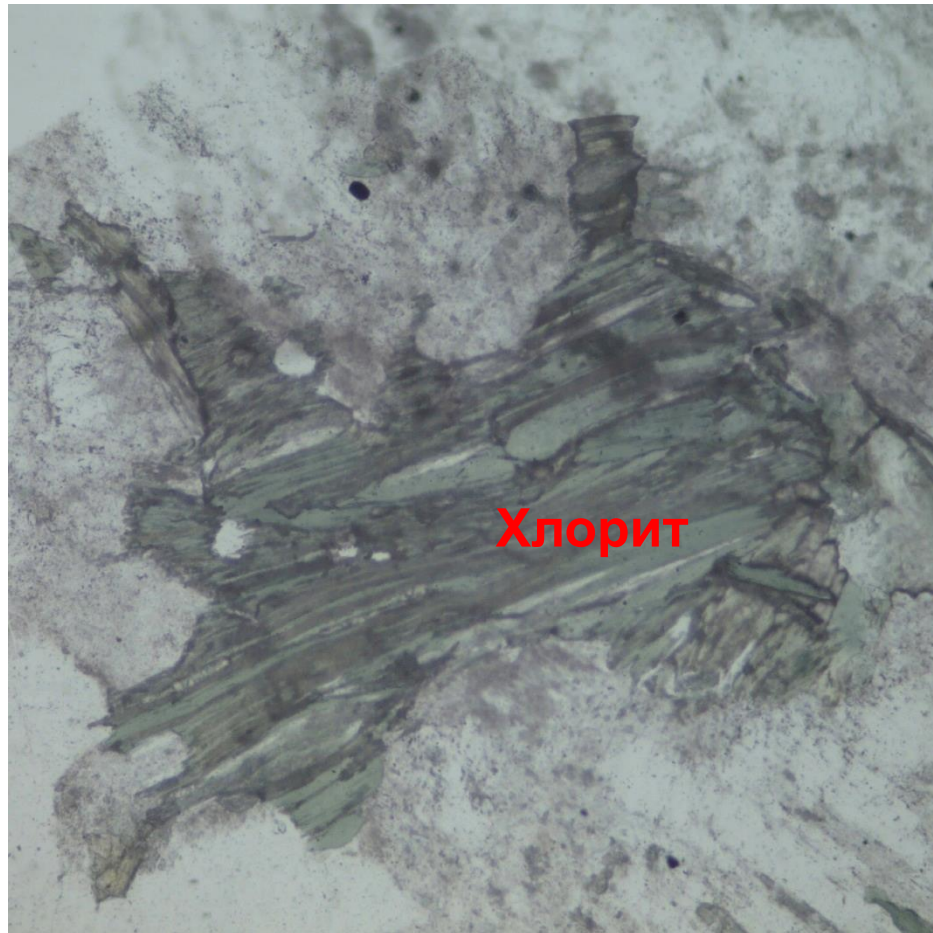
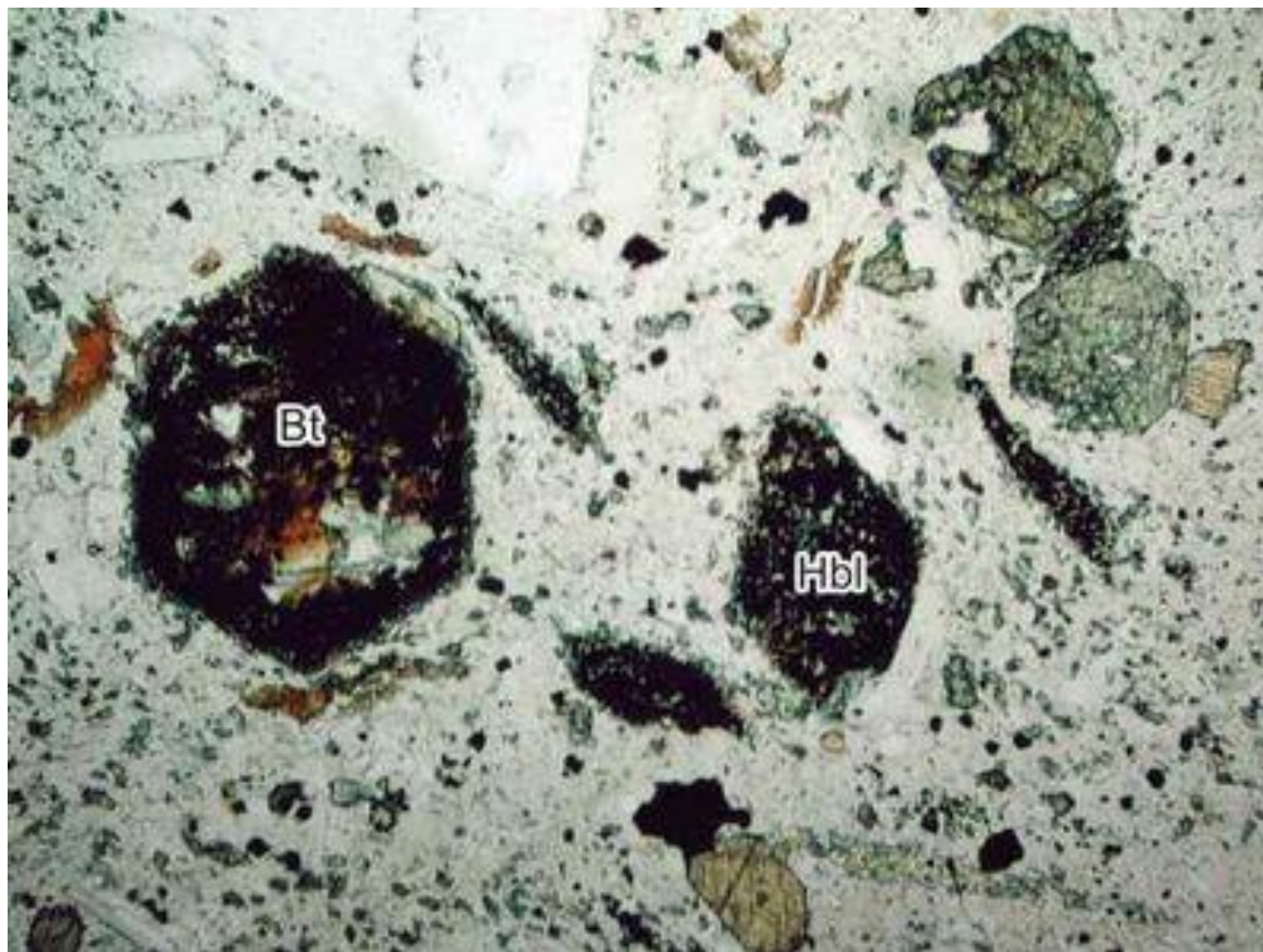


Фото без Анализатора **Псевдоморфоза хлорита по биотиту** Фото с Анализатором
сторона фото 3 мм

Биотит



Опацитизация –
распад минерала на
ансамбль рудных
минералов
+полевые шпаты+
другие силикаты,
при резком
повышении
температуры, потере
воды и изменении
окислительно-
восстановительных
условий

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

Мусковит

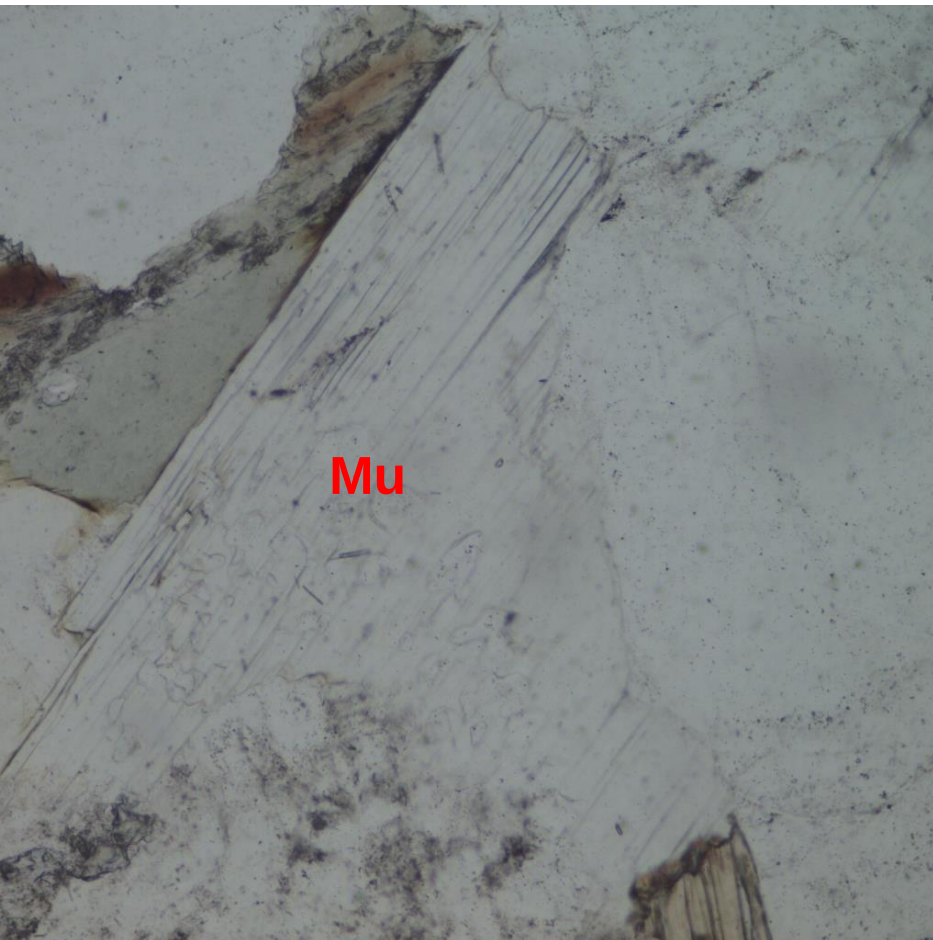
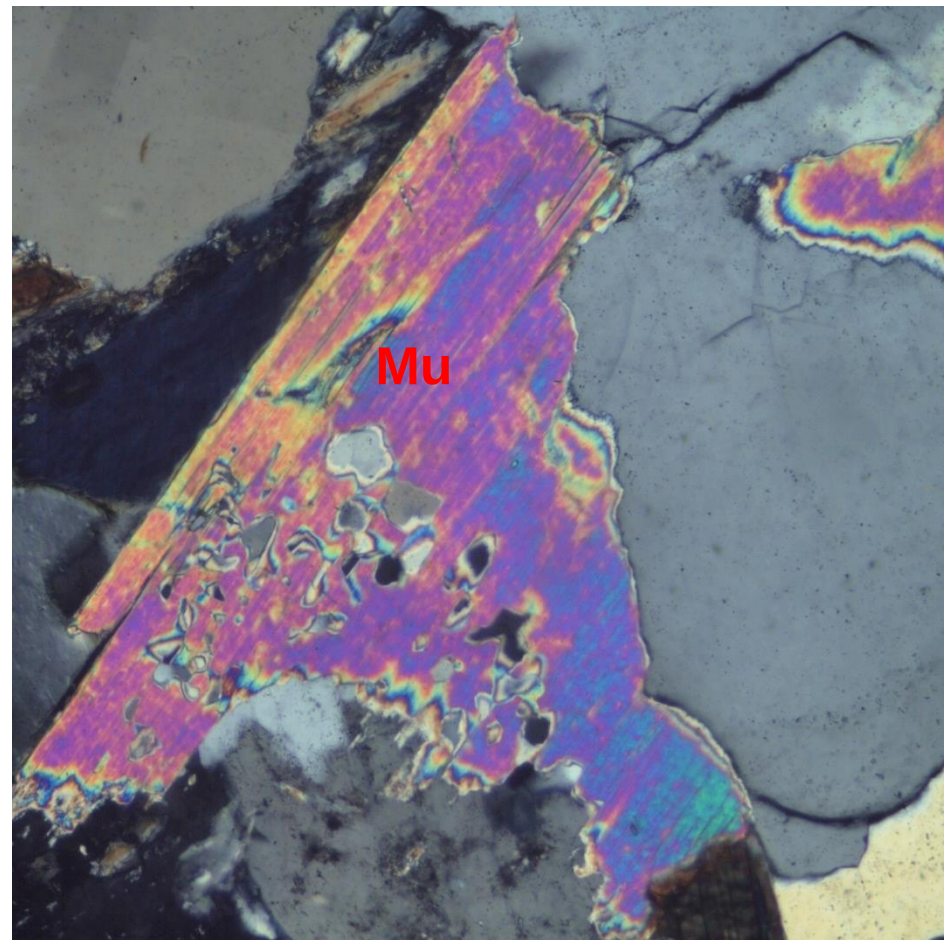


Фото без Анализатора



Мусковит

сторона фото 3 мм

Фото с Анализатором³⁹

Мусковит

Мусковит в шлифах обладает **псевдоабсорбцией** – изменением рельефа при повороте столика микроскопа. Когда спайность параллельна направлению пропускания поляризатора – трещины спайности и границы зерен хорошо видны, при повороте на 90 градусов – почти полностью пропадают, т.к. меньший показатель преломления мусковита почти равен $n_{к.б.}$.

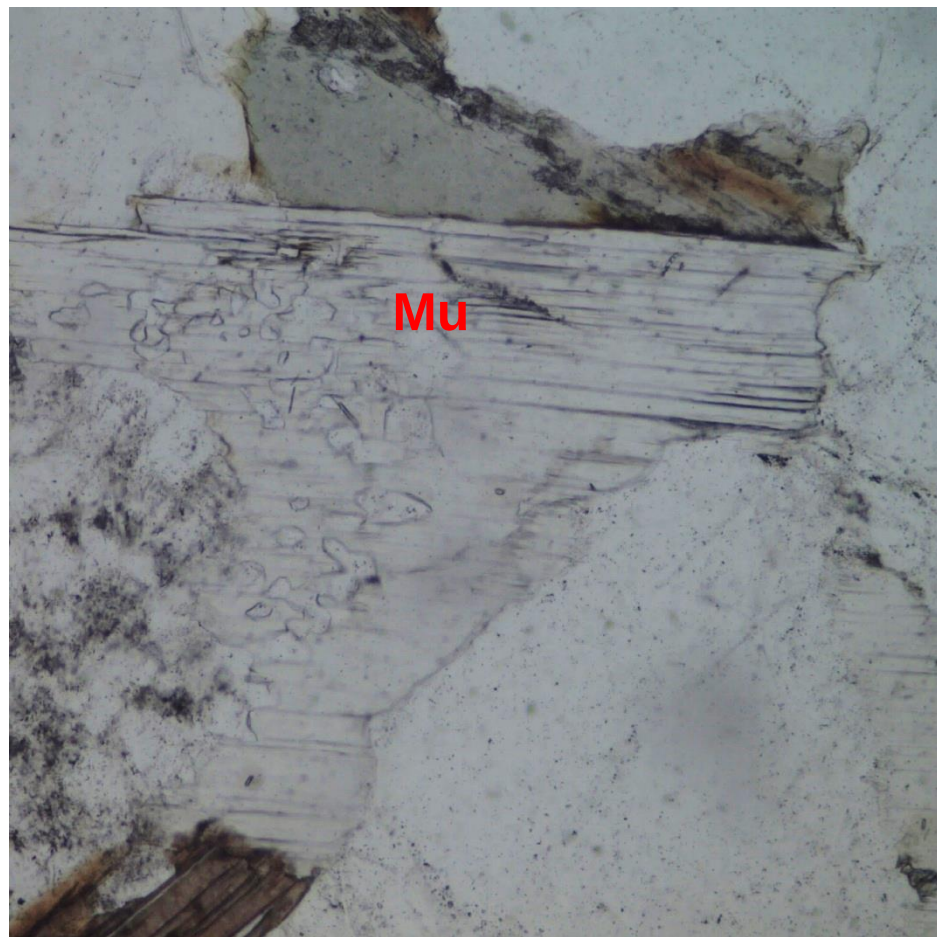


Фото без Анализатора

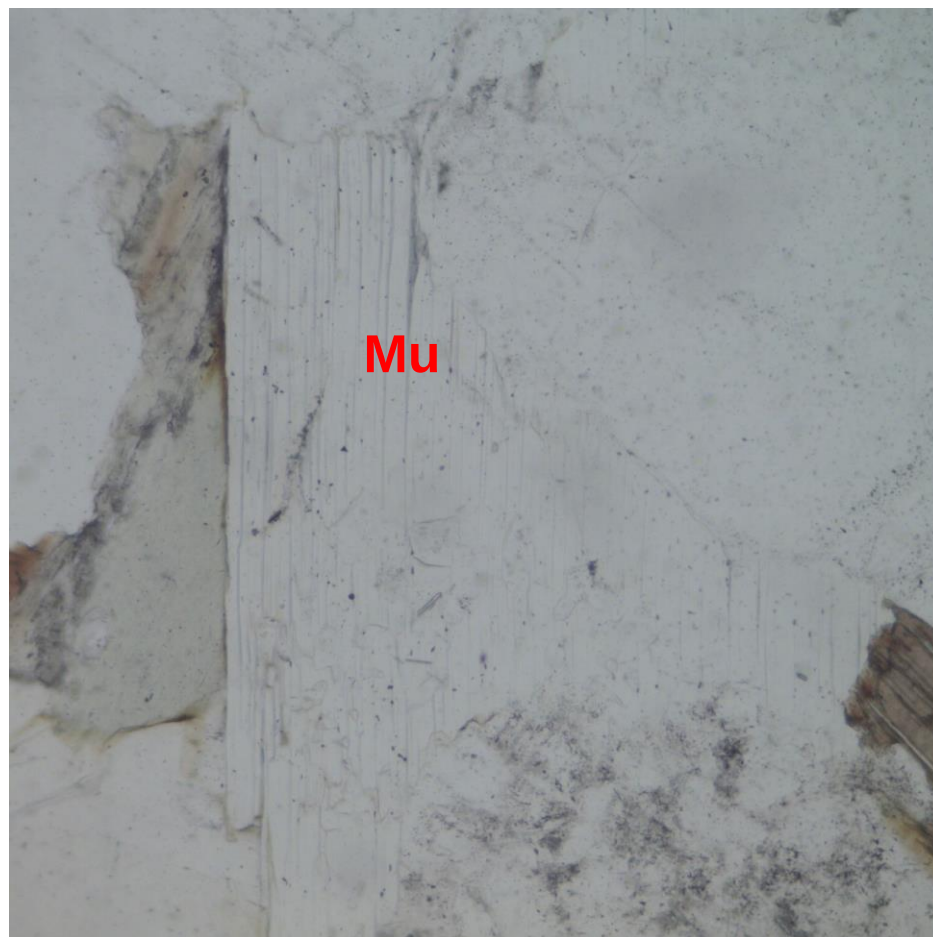


Фото без Анализатора

Мусковит

сторона фото 3 мм

Мусковит

Мелкодисперсная разновидность мусковита называется **серицит**.

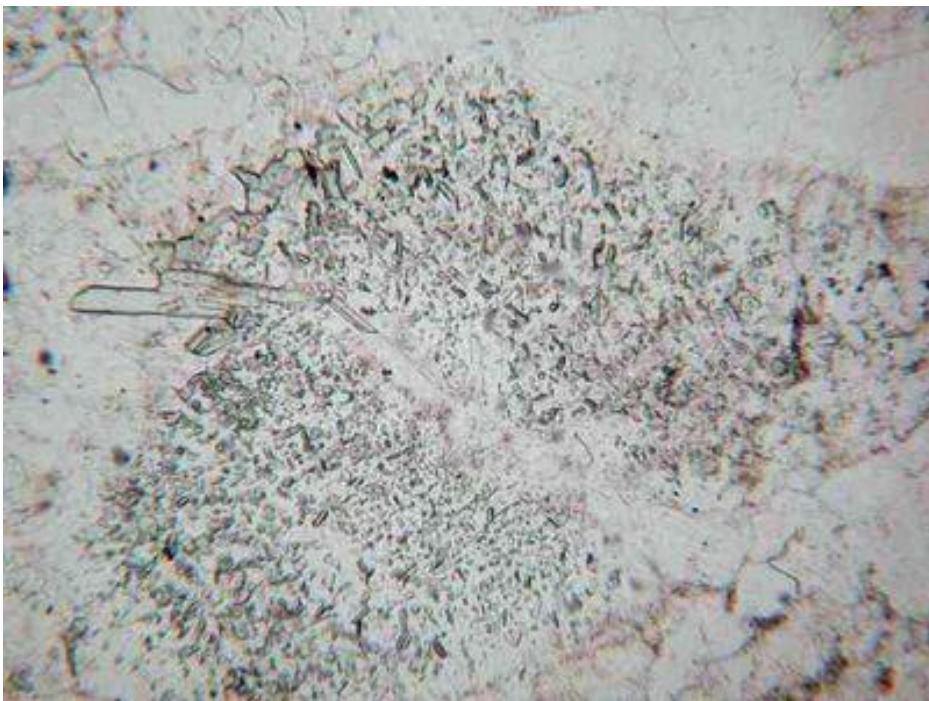
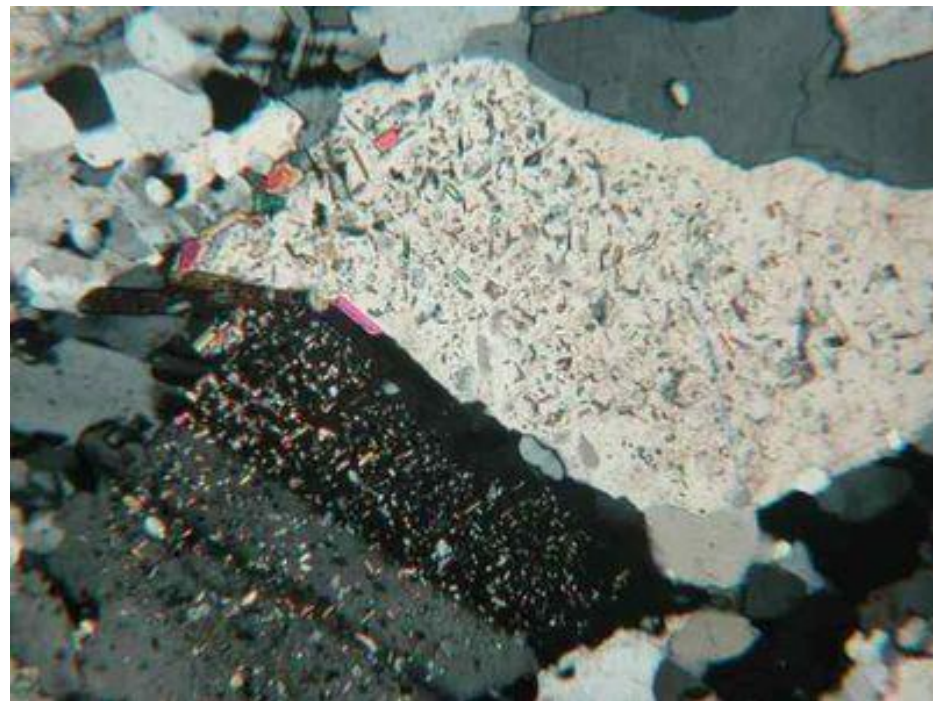


Фото без Анализатора



Серицит по плагиоклазу
длина фото 2 мм

Фото с Анализатором

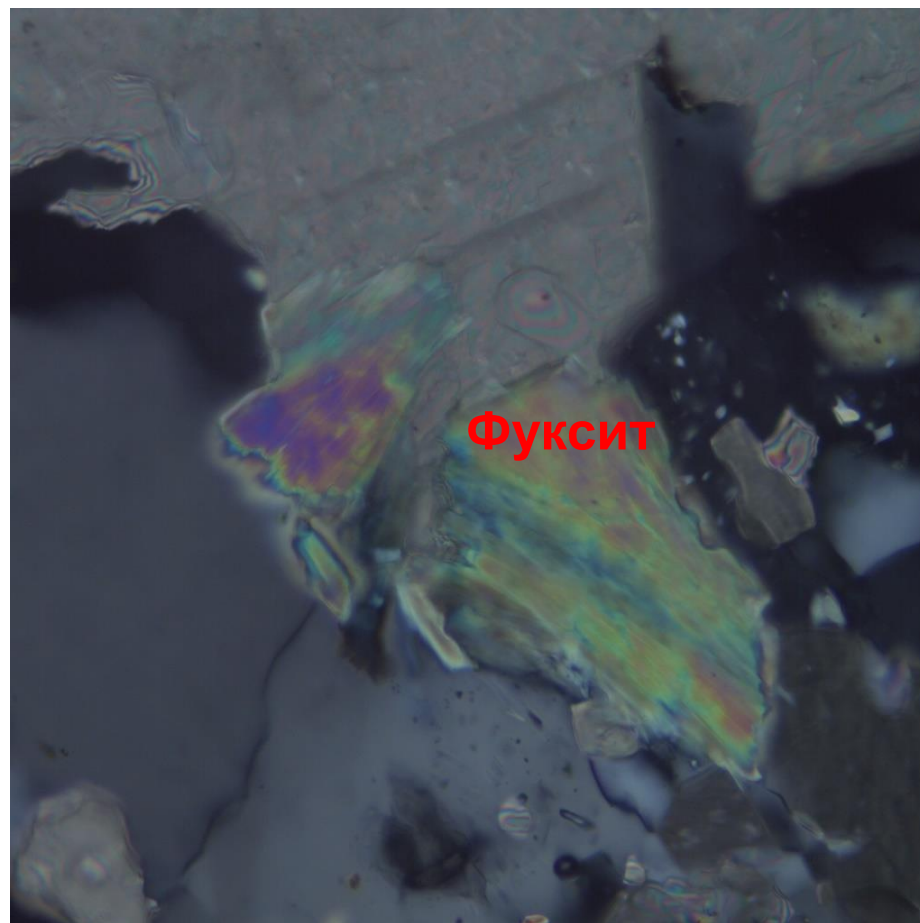
Развитие серицита по плагиоклазу в граните. Серицит – мелкие чешуйки в крупных зернах плагиоклаза

Мусковит (фуксит)

Хромсодержащая разновидность мусковита называется **фуксит**. Фуксит, в отличие от мусковита, не бесцветен, а заметно плеохроирует в зеленых тонах.



Фото без Анализатора



Фуксит
сторона фото 3 мм

Фото с Анализатором

Биотит и мусковит

Во многих породах биотит и мусковит встречаются одновременно. При этом интерференционные окраски мусковита всегда выглядят ярче, хотя и являются более низкими, чем у биотита. Это связано с тем, что темная окраска биотита, накладываясь на цвета интерференции, делает их более темными и тусклыми.

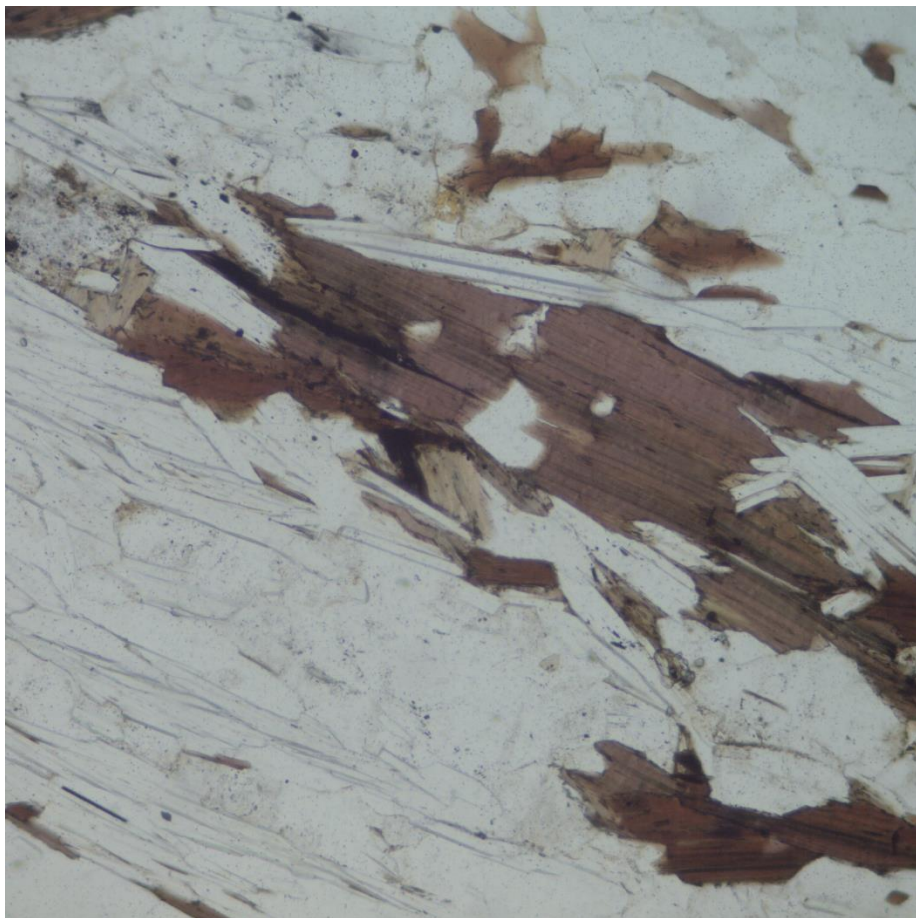
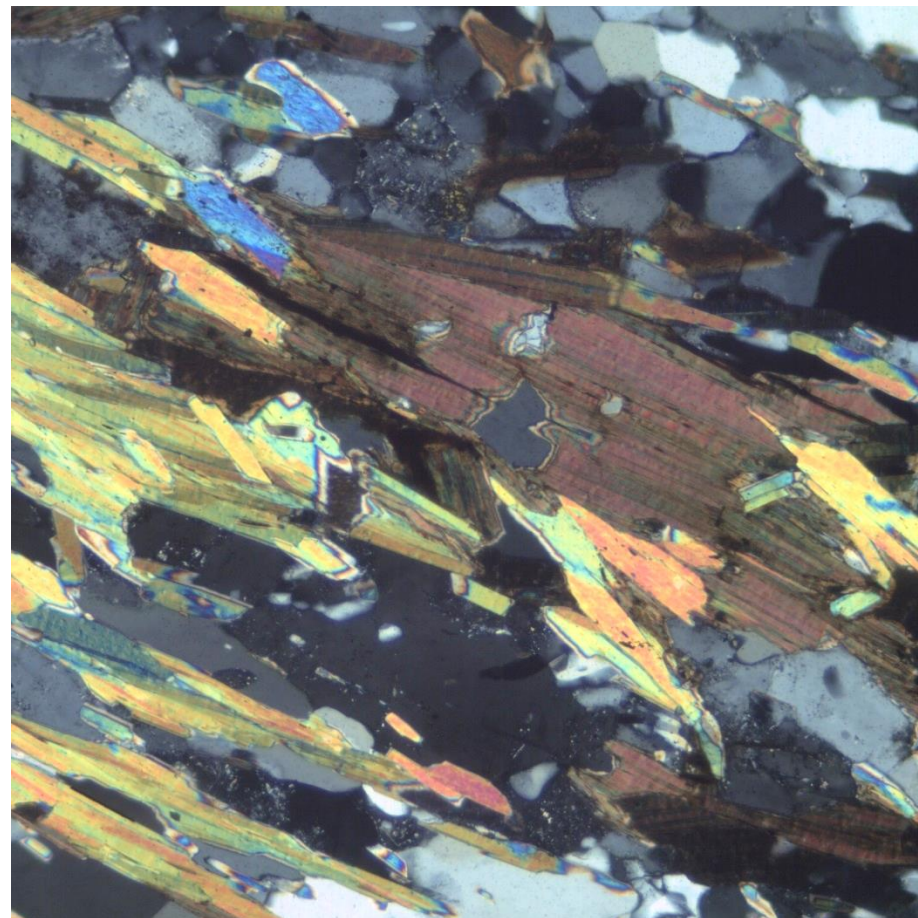


Фото без Анализатора



Мусковит и биотит
сторона фото 3 мм

Фото с Анализатором

Главные породообразующие минералы:

группа **ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ**



Олигоклаз (Сев. Карелия)

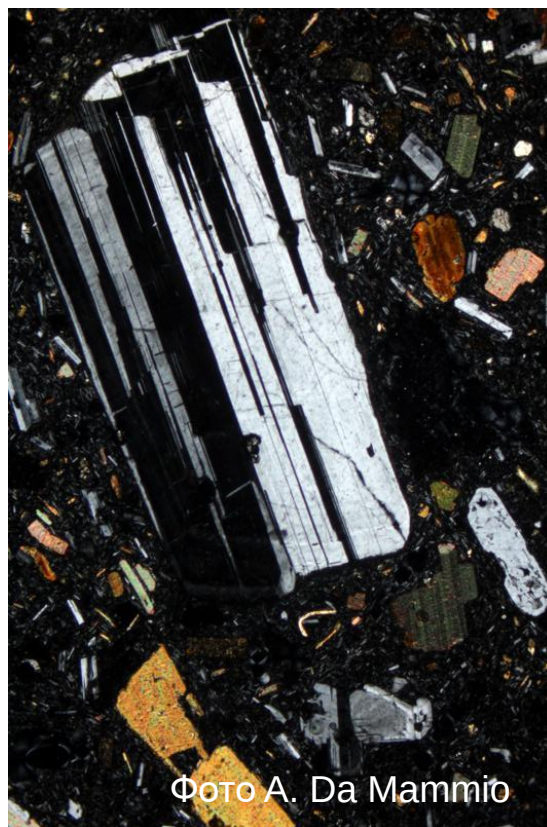


Фото А. Da Mammio

Плагиоклаз в риолите
высота фото 7 мм



Микроклин (Сев. Карелия)

Группа полевых шпатов



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

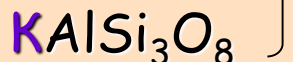
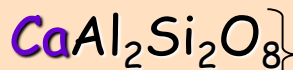
Три главных компонента твердого раствора

анортит (An)

альбит (Ab)

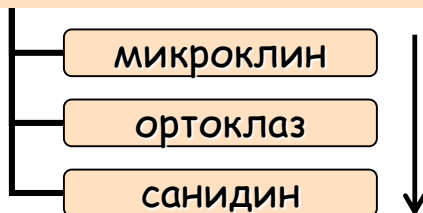
калиевый

полевой шпат (Kfs)



изоморфизм $(Ca+Al) \Leftrightarrow (Na+Si)$

изоморфизм $Na \Leftrightarrow K$



Увеличение температуры образования и степени разупорядоченности Al и Si в тетраэдре

Плаггиоклаз - твердый раствор

Щелочной полевой шпат - тв. р-р

An-Ab

Ab-Fsp

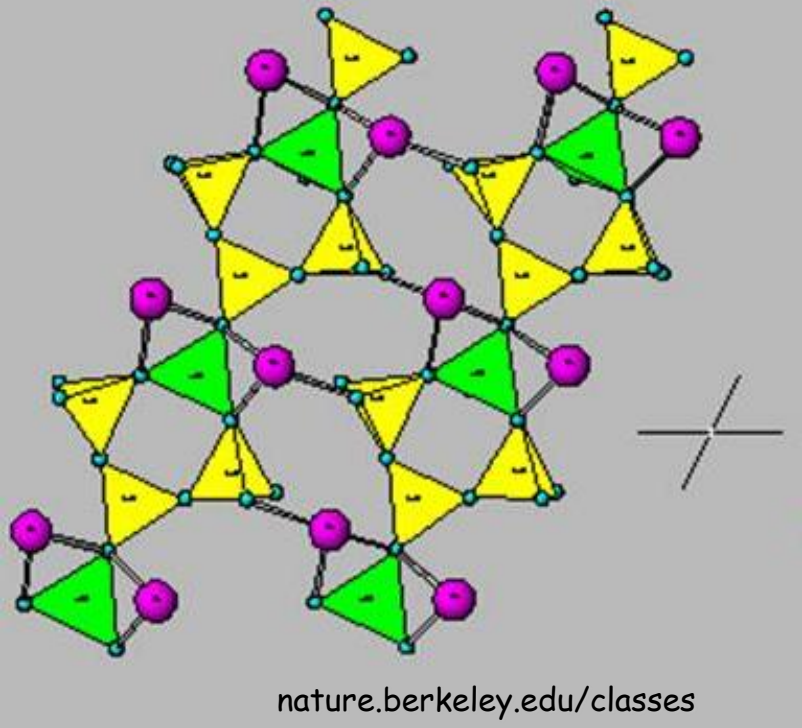
Полевые шпаты



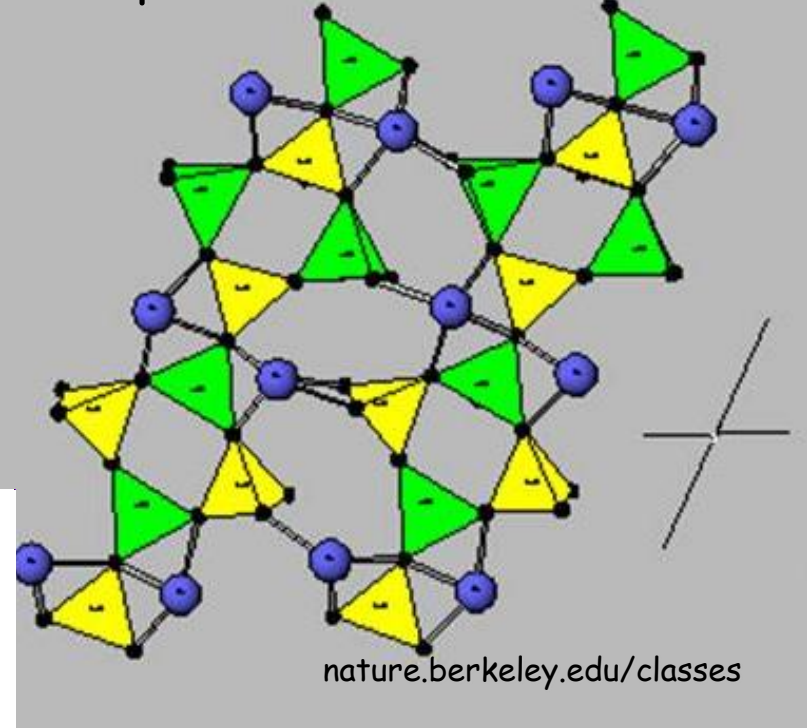
Структура

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

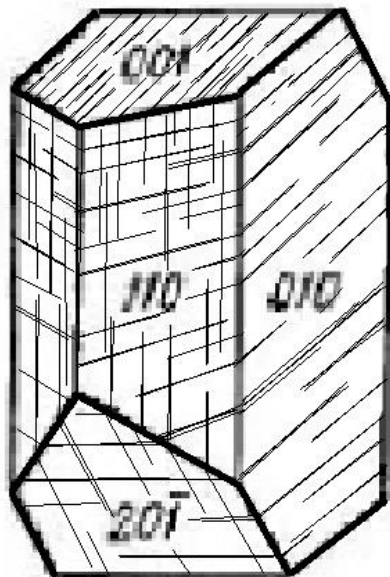


Анортит



Для всех ПШ характерны многие общие черты, которые определяются их составом и структурой:

- **Отсутствие** цвета (в шлифах);
- **Низкий рельеф**;
- Низкое $\Delta n \leq 0,011 \rightarrow$ интерференц. окраски **до белой I порядка**;
- Наличие **двух совершенных спайностей** под 86-90°;
- **Двойникование** и (или) внутренняя **неоднородность** весьма типичны для большинства ПШ, но могут не проявиться, или не наблюдаться.



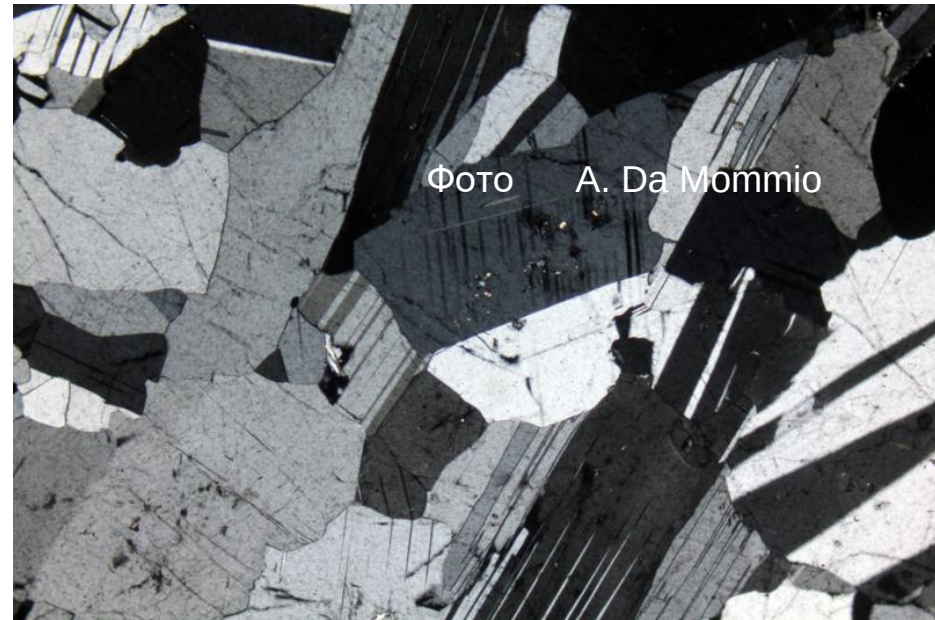
Совершенная спайность по второму {010} и третьему {001} пинакоидам ПШ

Ряд плагиоклазов

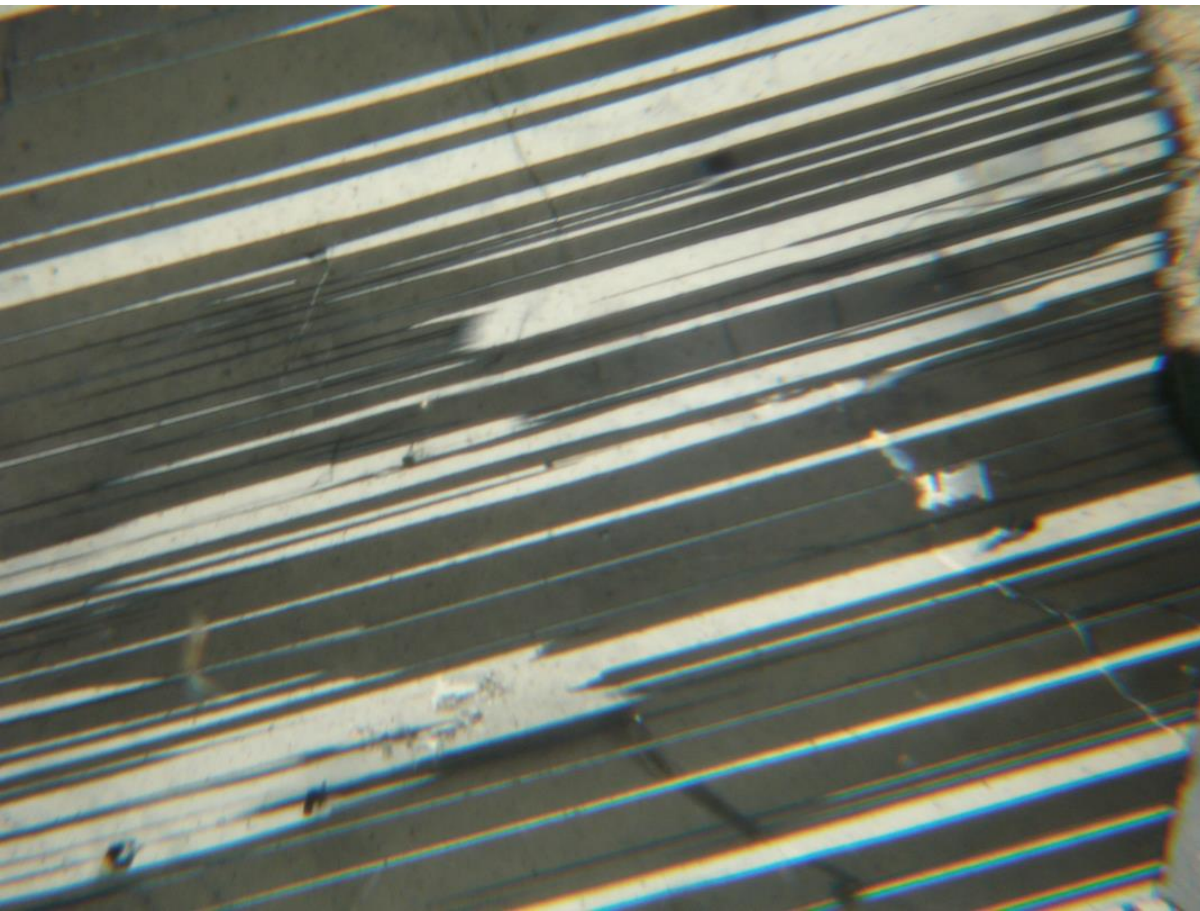
Плагиоклазы распространены от осадочного чехла до верхней мантии

Разновидность **An**

• Альбит	0-10	} кислые
• Олигоклаз	10-30	
• Андезин	30-50	
• Лабрадор	50-70	} средние
• Битовнит	70-90	
• Анортит	90-100	
		} основные



Комплексные полисинтетические двойники основного Pl в анортозите. С анал. Длина 7 мм.



Плагиоклазам
свойственны *двойники*
— закономерные
срастания кристаллов,
имеющих общую
кристаллографическую
плоскость (плоскость
срастания)

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

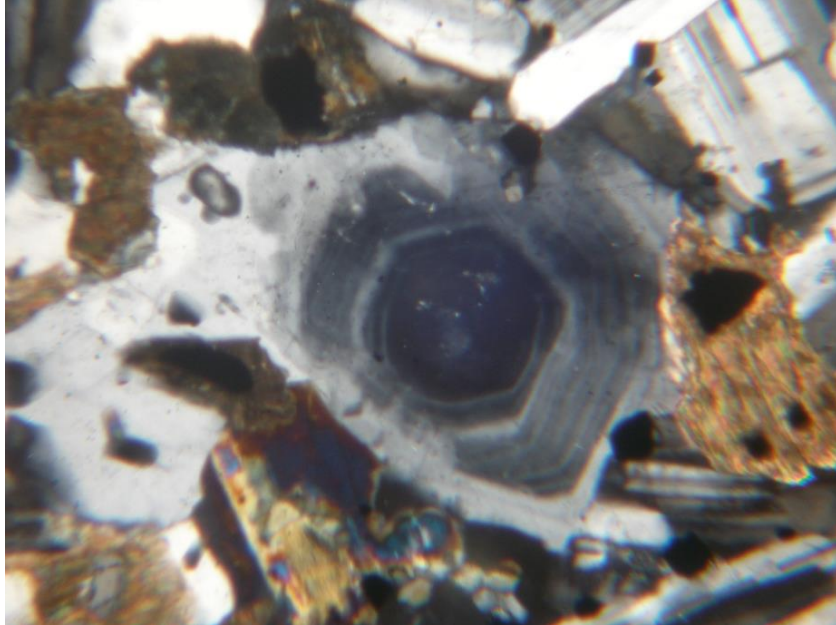
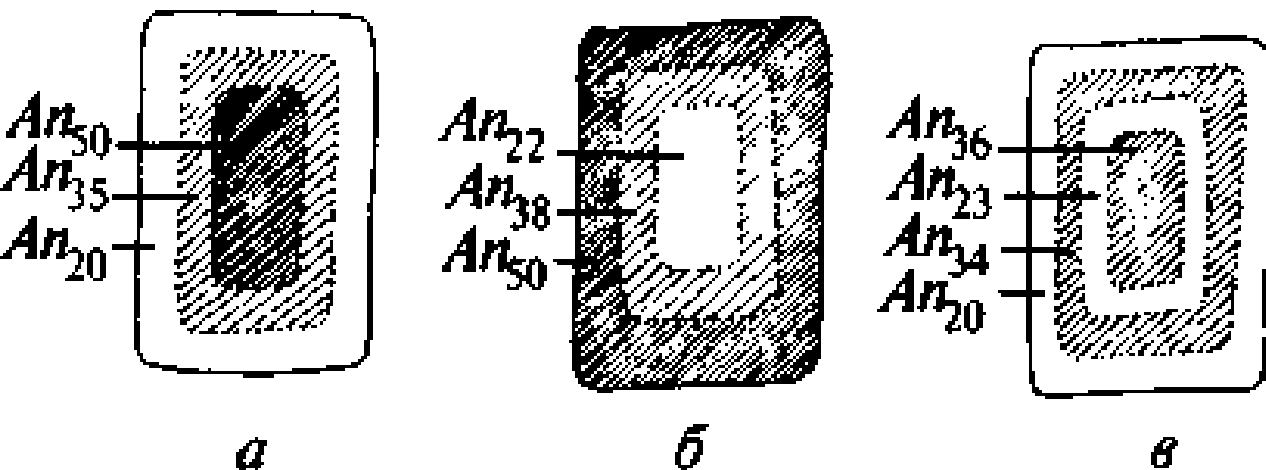


Фото А. Да Моттио



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



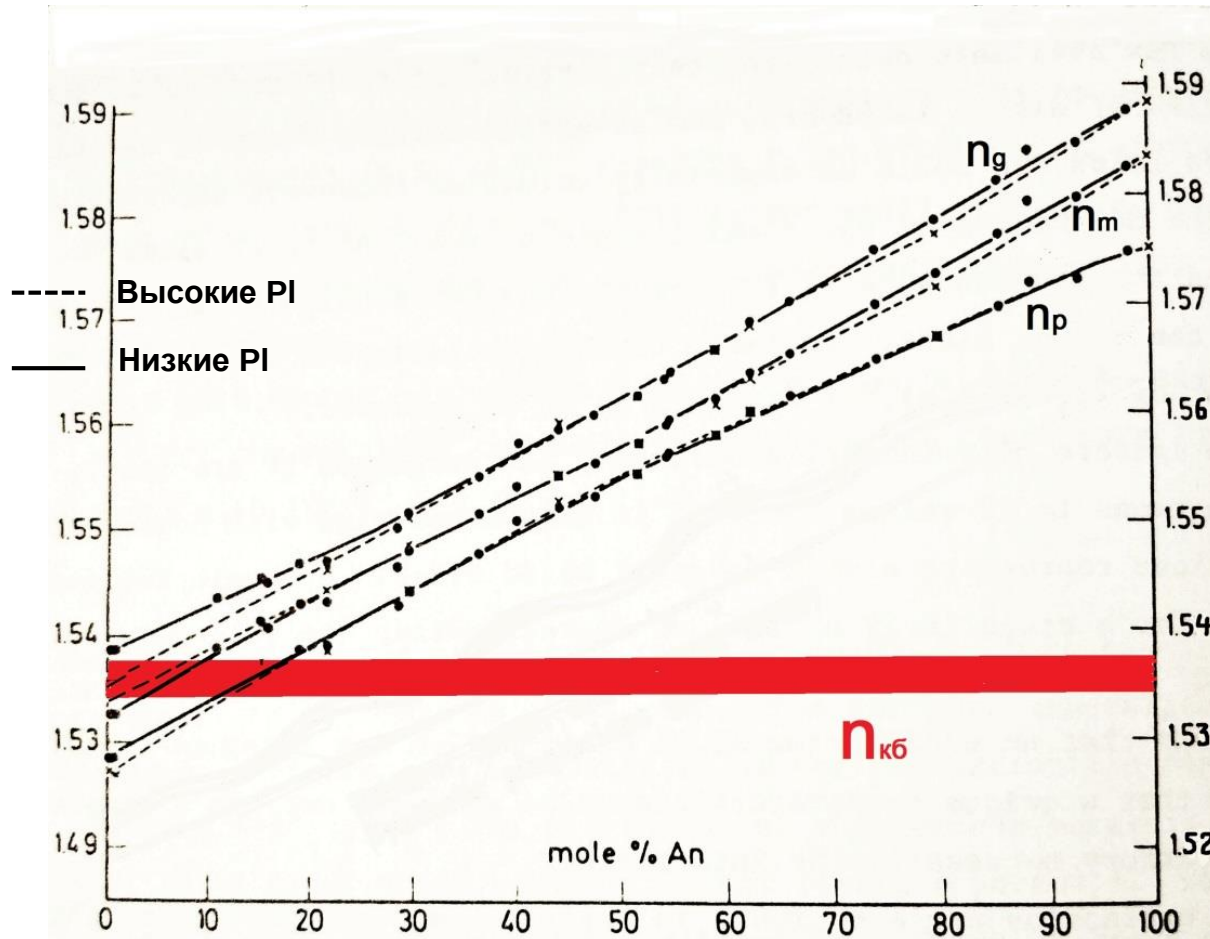
Различают прямую, обратную и ритмически повторяющуюся (осциллярную, рекуррентную) зональность.

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

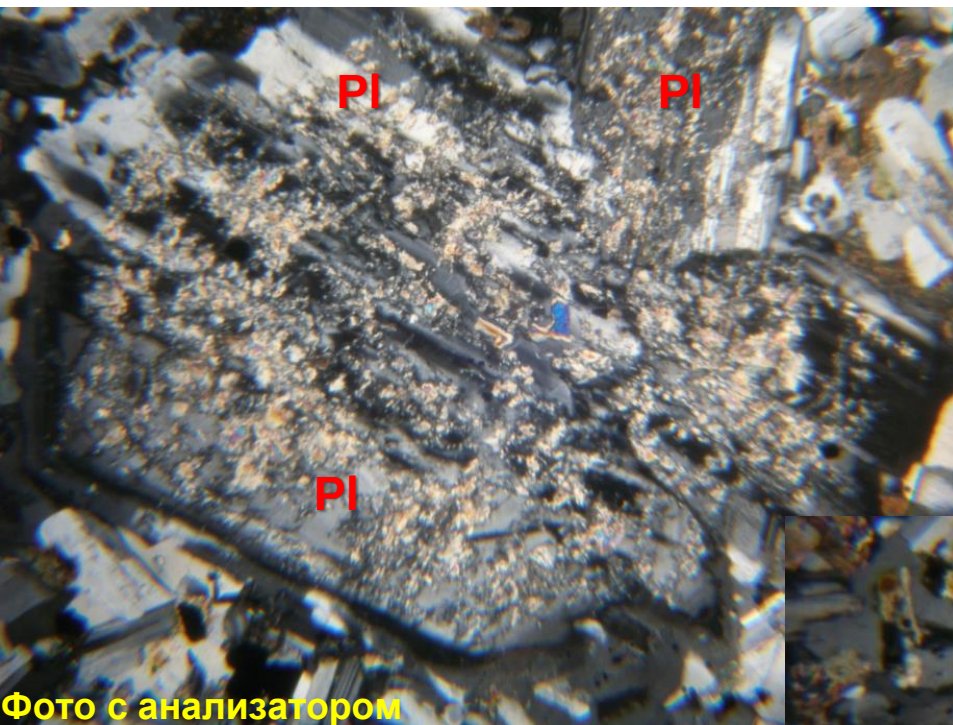
Кристаллооптические характеристики Pl

Показатели преломления в ряду от Ab к An возрастают, так что уже при составе до **An₂₀** рельеф меняет знак с «-» на «+»;

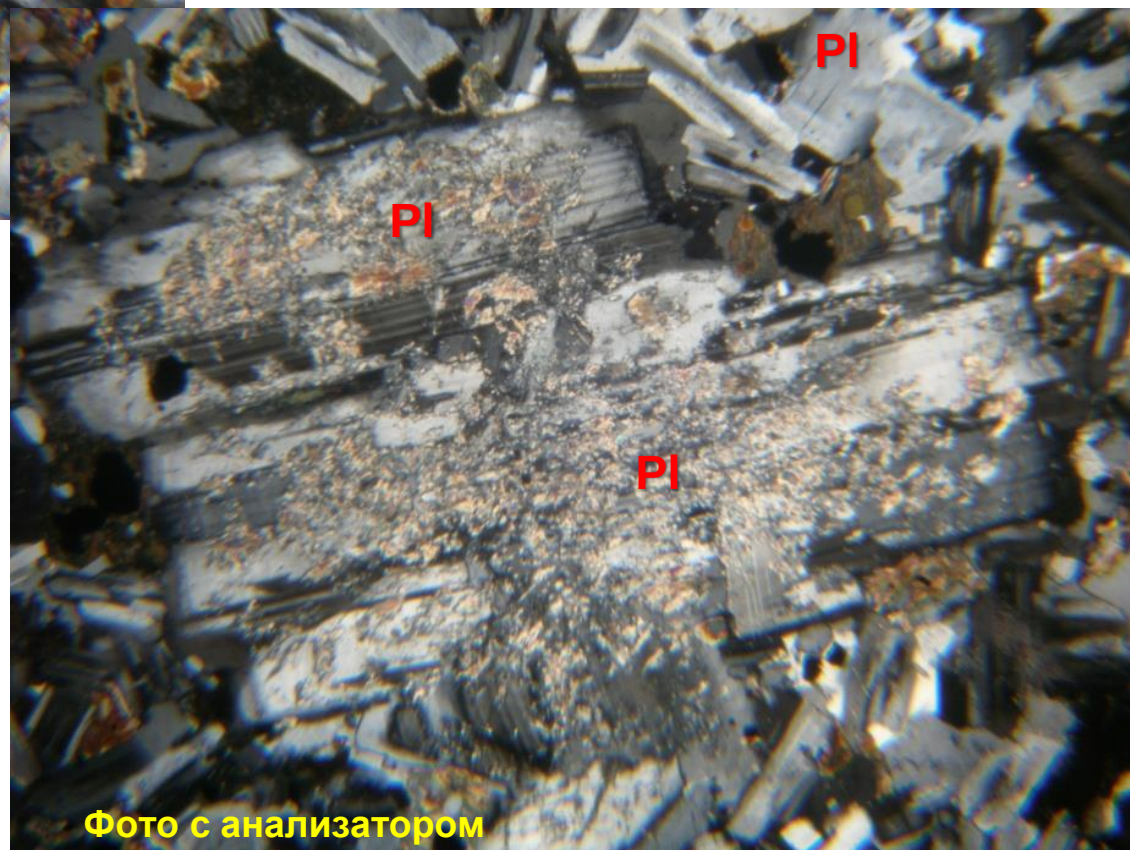
Δn в ряду от Ab к An сначала убывает от 0,010 до 0,009 у олигоклаза-андезина, а потом медленно возрастает до 0,011 у An₁₀₀;



Зависимости главных показателей преломления от содержания An в высоких и низких PI (Stewart & Ribbe, 1983).



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



Главные породообразующие минералы:

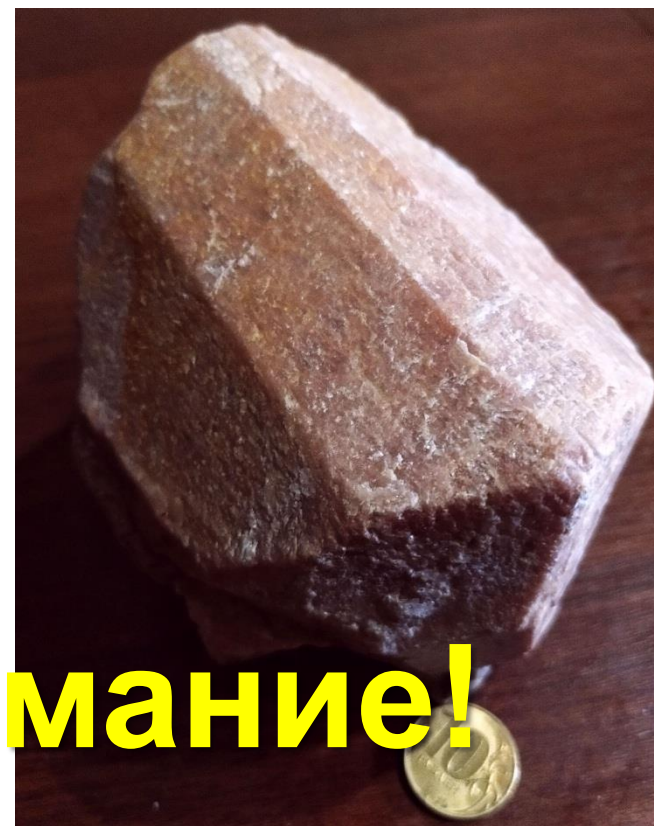
группа **ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ**



Олигоклаз (Сев. Карелия)



Плагиоклаз в риолите
высота фото 7 мм



Микроклин (Сев. Карелия)

Спасибо за внимание!