

# Петрохимическая систематика метаморфических пород

Используется для определения **протолита** (исходной породы, подвергшейся метаморфизму).

**Парапороды** – продукты метаморфизма осадочных пород;

**ортопороды** – продукты метаморфизма магматических пород.

- ☐ метапелиты **(П)**;
- ☐ metabазиты **(О + П)**;
- ☐ метакарбонатные породы **(П)**;
- ☐ метаультрамафиты **(О?)**;
- ☐ метасилицитолиты **(П)**;
- ☐ кварц-полевошпатовые породы **(О)**;
- ☐ высокоглиноземистые породы **(П)**.

## Критерии выявления протолита:

- ☐ петрографические;
- ☐ минералогические;
- ☐ геохимические;
- ☐ геологические

# Лекция № 30

---

## Метапелиты

---

**Метапелиты** – продукты метаморфизма глинистых отложений (пелитов), суглинков и кварцевых песчаников с примесью глинистого материала, а также сходных с ними по составу алевролитовых и других пород.

Из приведенного определения следует, что метаморфические образования метапелитового ряда являются **парапородами**. Вместе с тем, метаморфизм ряда пород магматического происхождения (например, кислых вулканических и плутонических образований) может приводить к образованию минеральных ассоциаций, сходных с метапелитовыми. По этой причине важной задачей в изучении таких пород является *реконструкция протолита*.

# Состав метапелитов

Контуры химического состава пород (определяются особенностями состава протолита (мас.‰):

47–75  $\text{SiO}_2$  (вариации глинистого и кремнистого материала);

13–26  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;

**<5 CaO;**

$\leq 7 \text{ K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$

( $\text{K}_2\text{O} \gg \text{Na}_2\text{O}$ ).

Главными минералами **глин** являются каолинит  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  и кварц, а главными примесями – оксиды, гидроксиды железа (гематит, магнетит, лимонит, гетит и др.), придающие глинам желтоватый и красноватый цвет, а также пирит, хлорит, калиевые гидрослюда, разнообразные минералы титана, фосфора, карбонаты, сульфаты, углистое вещество и др.

# Диаграмма состав–парагенезис

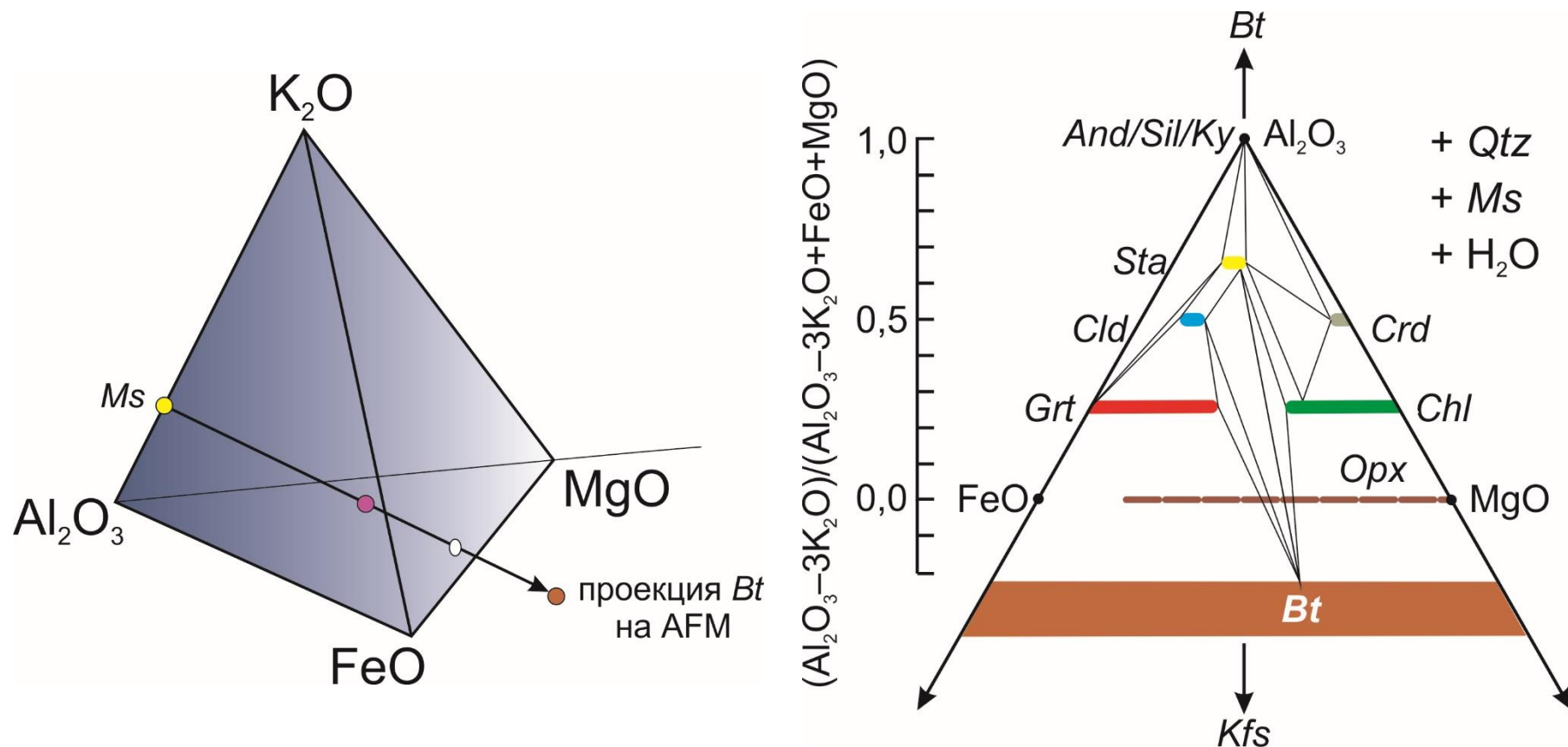


Диаграмма (AFM) представляет собой проекцию минералов метапелитов, иллюстрируемых тетраэдром  $K_2O$ – $Al_2O_3$ – $MgO$ – $FeO$  на плоскость  $Al_2O_3$ – $MgO$ – $FeO$ . Бóльшая часть минералов находится на этой плоскости.

# Диаграмма состав–парагенезис

**And/Sil/Ky** – андалузит/  
силлиманит/кианит  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ;

**Ms** – мусковит  $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ;

**Bt** – биотит

$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ;

**Sta** – ставролит

$(\text{Mg,Fe})\text{Al}_4[\text{SiO}_4]_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ ;

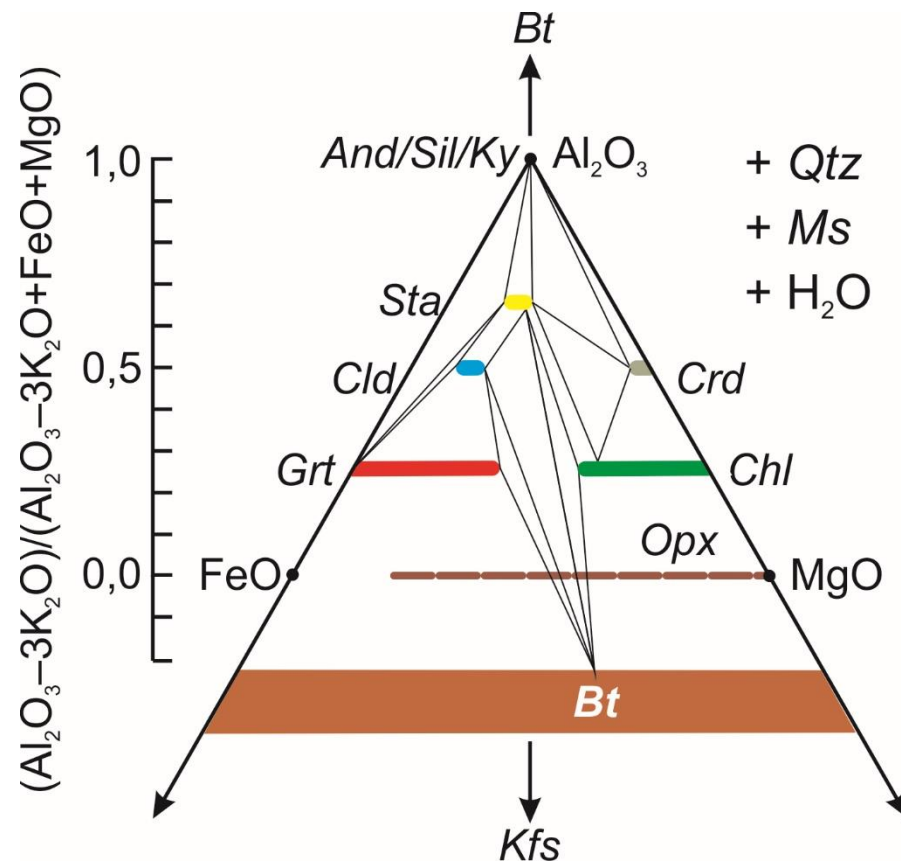
**Cld** – хлоритоид

$(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})$ ;

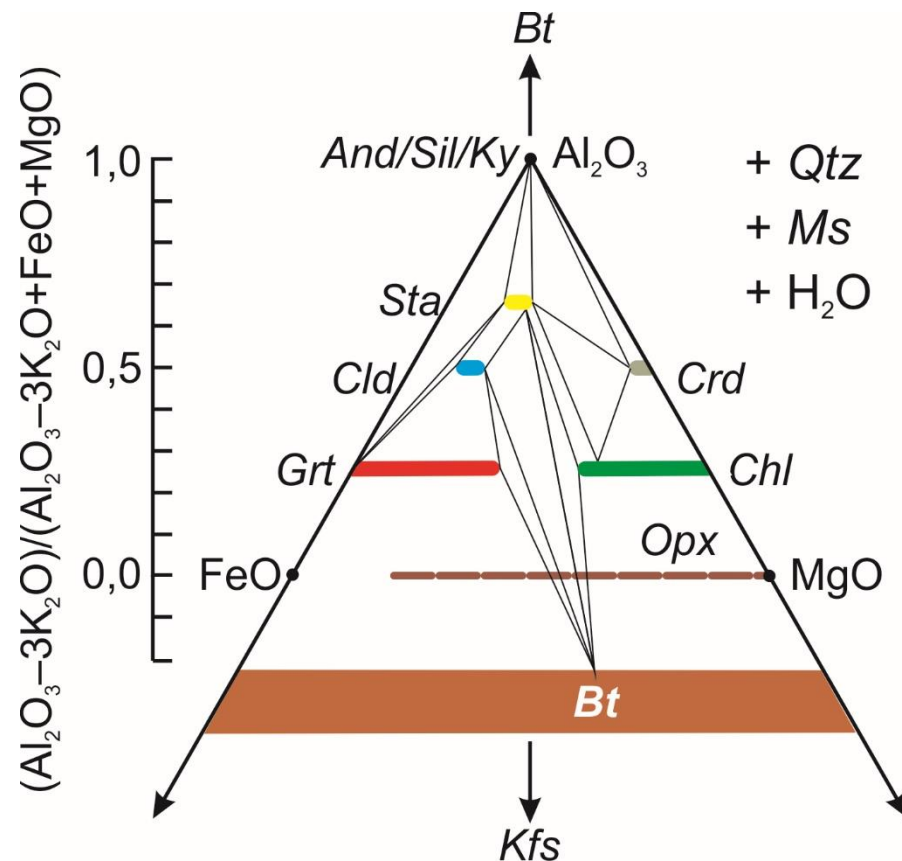
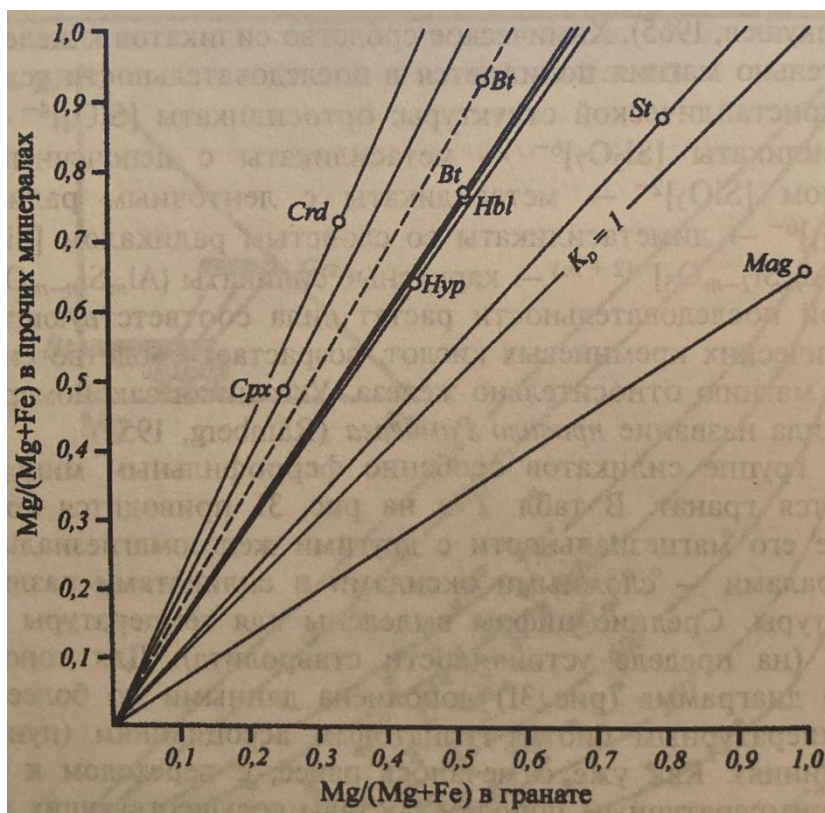
**Crd** – кордиерит  $(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{12}$ ;

**Grt** – гранат пироп-альмандинового ряда  $(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  с примесью спессартина (Mn); **Chl** – хлорит  $(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$  (клинохлор);

**Opx** – ортопироксен  $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$  (гиперстен).



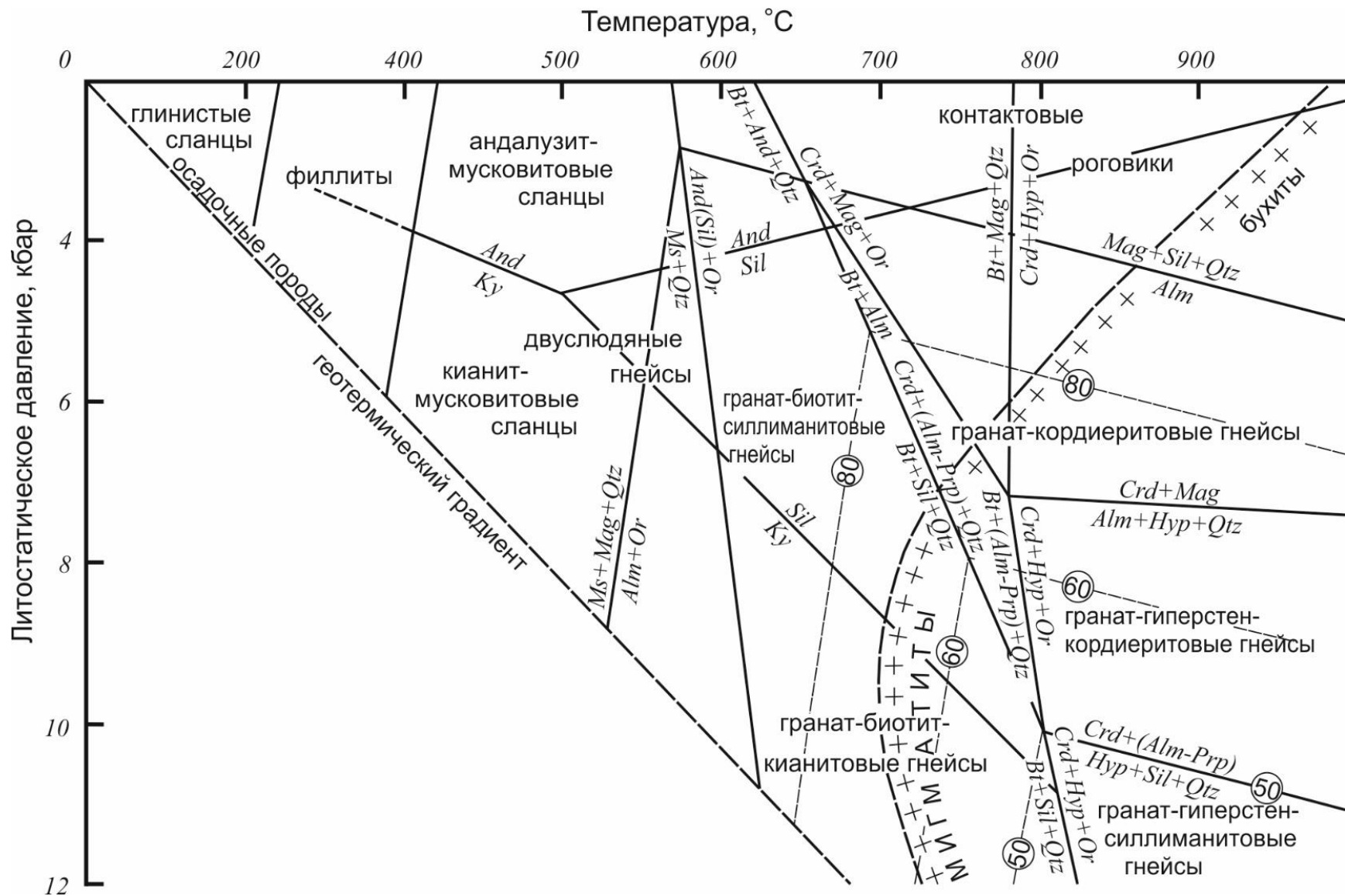
# Магнезиальность минералов метapelитов



Сродство минералов к магнию: ***Crd*** (макс.)  $\leftarrow$  ***Chl***  $\leftarrow$  ***Bt***  $\leftarrow$  ***Opx***  $\leftarrow$  ***Sta***  $\leftarrow$  ***Cld***  $\leftarrow$  ***Grt***  $\leftarrow$  ***Mag*** (мин.).



# Схема минеральных фаций метapelитов



---

# Метapelиты низшей и средней ступени

---

К породам **низшей ступени метаморфизма** относятся глинистые сланцы, филлиты и мусковитовые (хлорит-слюдяные) сланцы.

**Средняя ступень метаморфизма** представлена двуслюдяными и гранат-биотитовыми сланцами и гнейсами. Для всех пород по присутствию полиморфных модификаций  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  выделяются *андалузитовая* (наименее глубинная), *силлиманитовая* (промежуточная) и *кианитовая* (самая глубинная) **субфации**.



# Глинистые сланцы

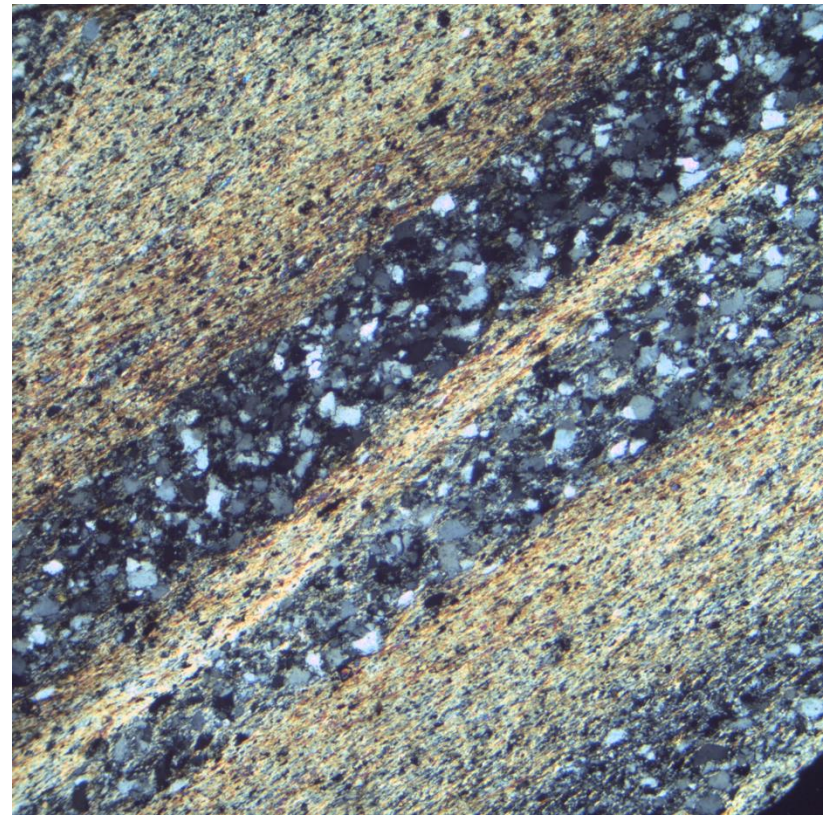
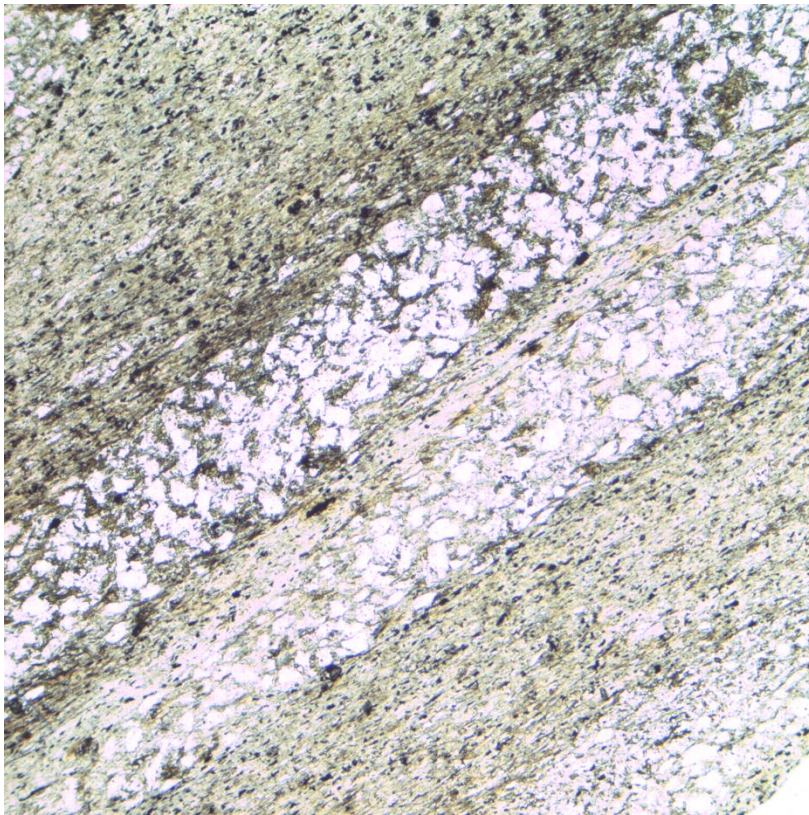
На схеме минеральных фаций А.А. Маракушева эти породы занимают самую низкотемпературную область. В них часто содержатся первичные минералы (каолинит и др.) глинистых осадочных пород. Понижение содержания воды (дегидратация) на переходе от осадочных пород к глинистым сланцам коррелируется с *понижением степени окисления железа* (отношения  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ ), что обусловлено появлением в них силикатов, главным образом, хлорита, в котором железо находится в *двухвалентном состоянии*.



В отличие от осадочных пород, глинистые сланцы обладают отчетливой метаморфической *сланцеватостью*. Породы, легко раскалывающиеся на тонкие пластины, раньше называли *кровельными сланцами*. В них появляется светлая слюда — *серицит*.

# ФИЛЛИТЫ

**Филлиты** можно охарактеризовать как слюдистые микросланцы, состоящие из **серицита, хлорита и кварца**. Эти породы наследуют *неоднородность* глинистых отложений в вулканогенно-осадочных толщах, отдельные слои которых обогащены песчанистым, туфогенным или карбонатным материалом.





# Состав филлитов

Кроме главных минералов (серицита, хлорита и кварца), в богатых железом породах присутствует **хлоритоид** (черная разновидность — оттрелит). В низкотемпературных разностях нередко присутствует **каолинит**. Довольно часто встречается **пирофиллит**  $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ . Андалузит и кианит довольно редки.



В качестве порфиробластов (чаще всего *посткинематического типа*) можно встретить ставролит, **биотит** (грязно-зеленую низкотемпературную разность) и *спессартиновый* **гранат**. Их появление можно интерпретировать как результат **прогрессивного** метаморфизма, в том числе за пределами филлитовой фации.

# Гондиты

**Гондиты** – метаморфические породы, относящиеся преимущественно к нижней ступени метаморфизма и возникшие в результате преобразования морских осадков, богатых марганцем.

Впервые описаны в 1909 году фермером из Индии. Название происходит от названия древнего индийского племени **ГОНДОВ**.



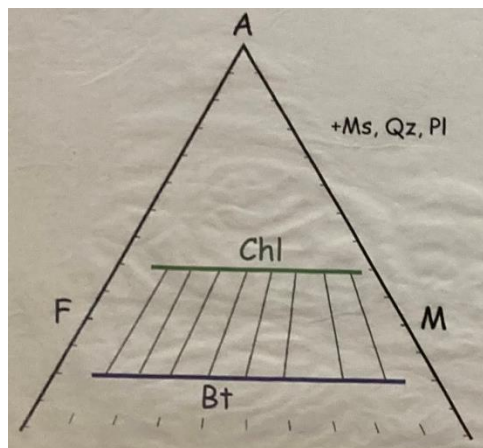
Состоят из спессартина  $\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ , заключенного в кварце, иногда небольшого количества апатита, амфибола, магнетита, родохрозита, плагиоклаза, гематита, родонита.

При выветривании гондиты образуют высококачественные железо-марганцевые руды.

# Мусковитовые (хлорит-слюдяные) сланцы

От филлитов эти породы отличаются бóльшим размером зерен.

Светлая слюда в них представлена **мусковитом**, который в низкотемпературной части фации входит в ассоциацию с **хлоритом**. С повышением температуры хлорит начинает вытесняться **биотитом** по следующей схеме:



Исчезновение хлорита связывается с тем, что его магнезиальность выше по сравнению с биотитом.

$Ms + \text{Chl}_{45} = \text{Bt}_{35} + \text{Chl}_{55} + H_2O$  – реакция смещенного равновесия.

**«Биотитовая зона»**

В мусковитовых сланцах встречаются также **гранат** (альмандин с примесью Mn, **альбит-олигоклаз**, **хлоритоид** (с повышением температуры сменяется **ставролитом**, **андалузит** (хиастолит) и **кианит**).



# Хиастолит

Это разновидность андалузита  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  с включениями углистого вещества, которое располагается по определенным (диагональным) направлениям.



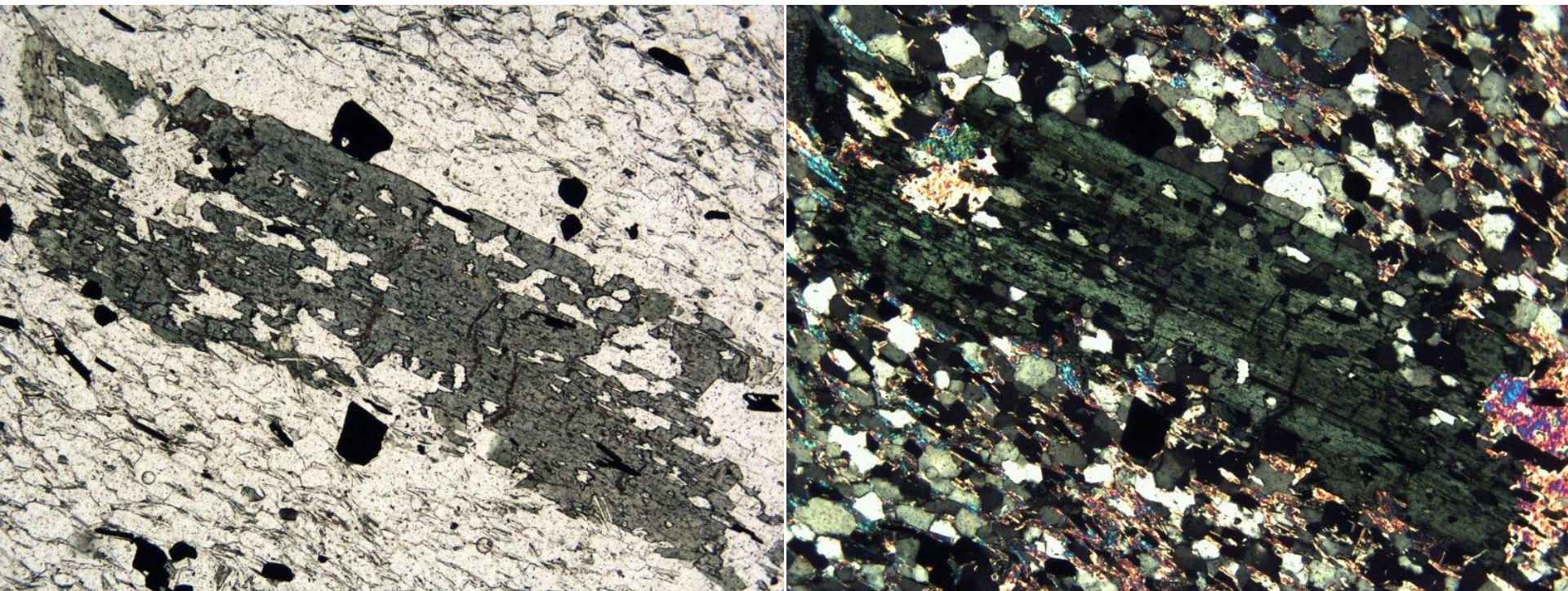
[https://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/atlas/metmins/#andalusite\\_pm19-18.jpg](https://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/atlas/metmins/#andalusite_pm19-18.jpg)



Слюдяные сланцы с  
порфиروбластами хиастолита



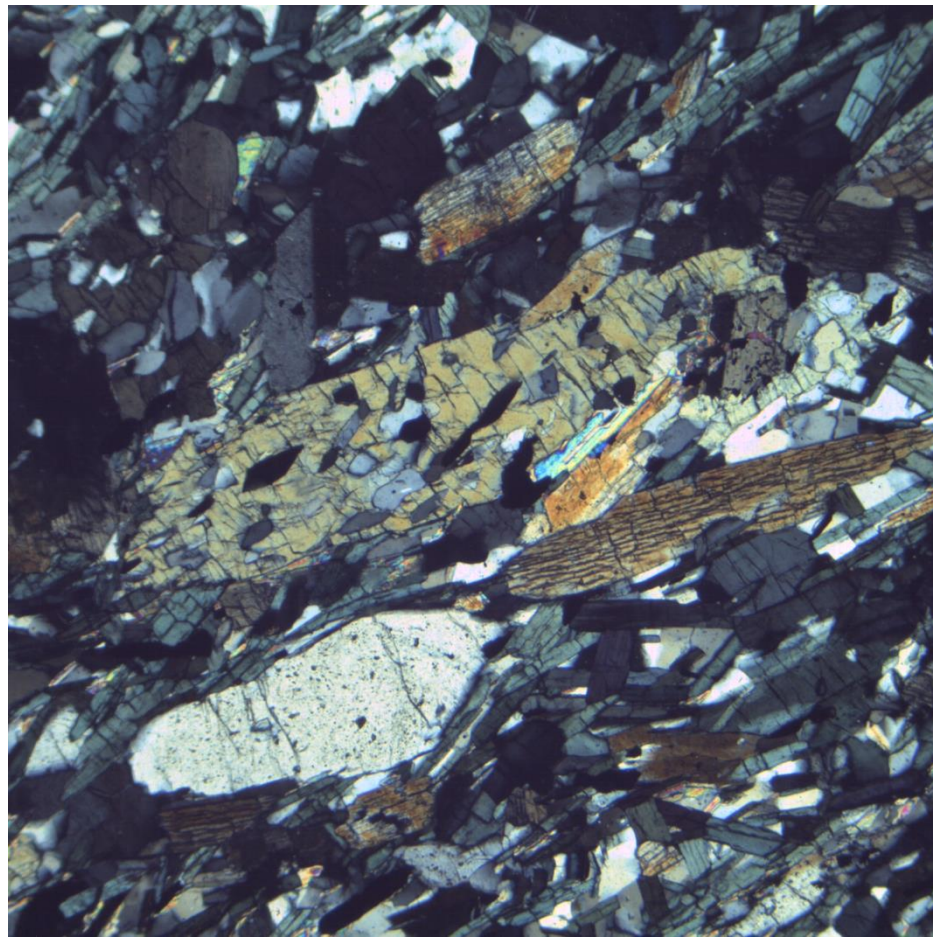
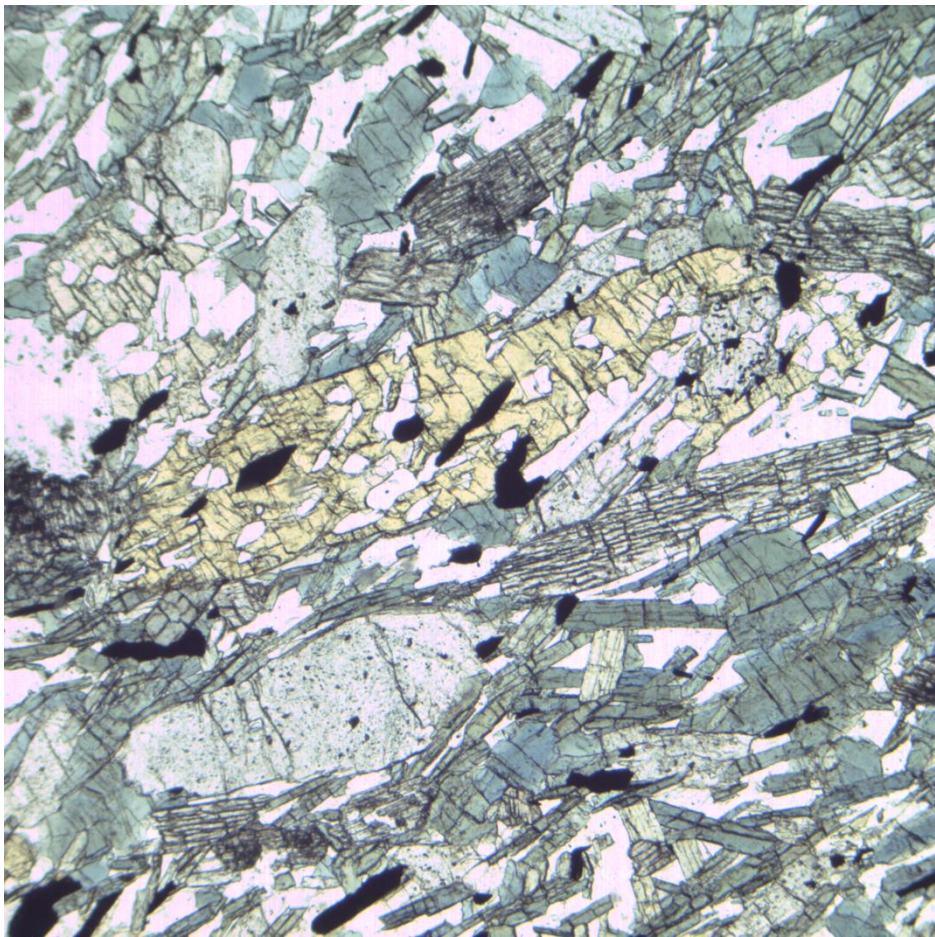
# Хлоритоид



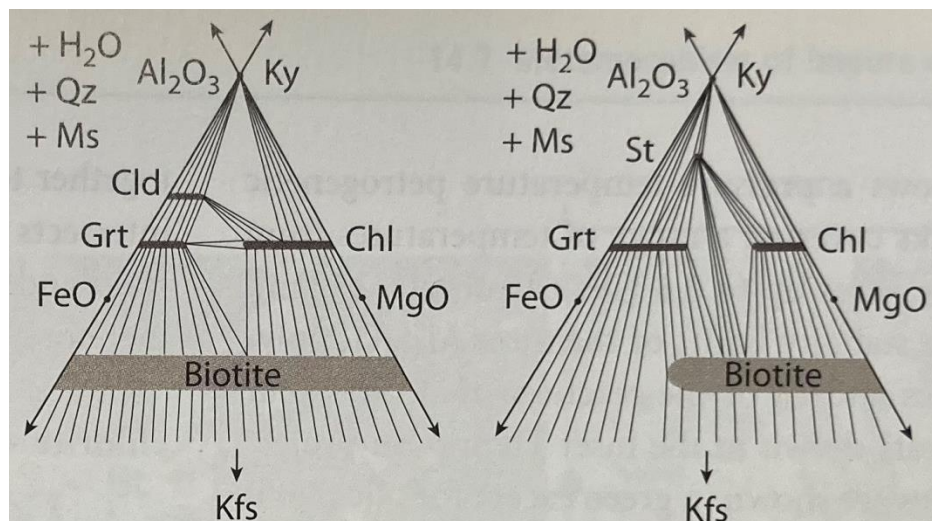
$(\text{Fe, Mg, Mn})_2\text{Al}_4[\text{SiO}_4]_2\text{O}_2\text{OH}$ . Обычен в порфировобластах в кристаллических сланцах, где представлен пластинчатыми кристаллами и их агрегатами. Встречается в ассоциации с хлоритом, мусковитом, кварцем и другими минералами в слюдяных и глинистых сланцах, иногда в столь существенных количествах, что сланцы называются хлоритоидными.



# Ставролит-хлоритоидный сланец с кианитом



# Двуслюдяные сланцы и гнейсы



«Гранатовая  
зона»

«Ставролитовая  
зона»

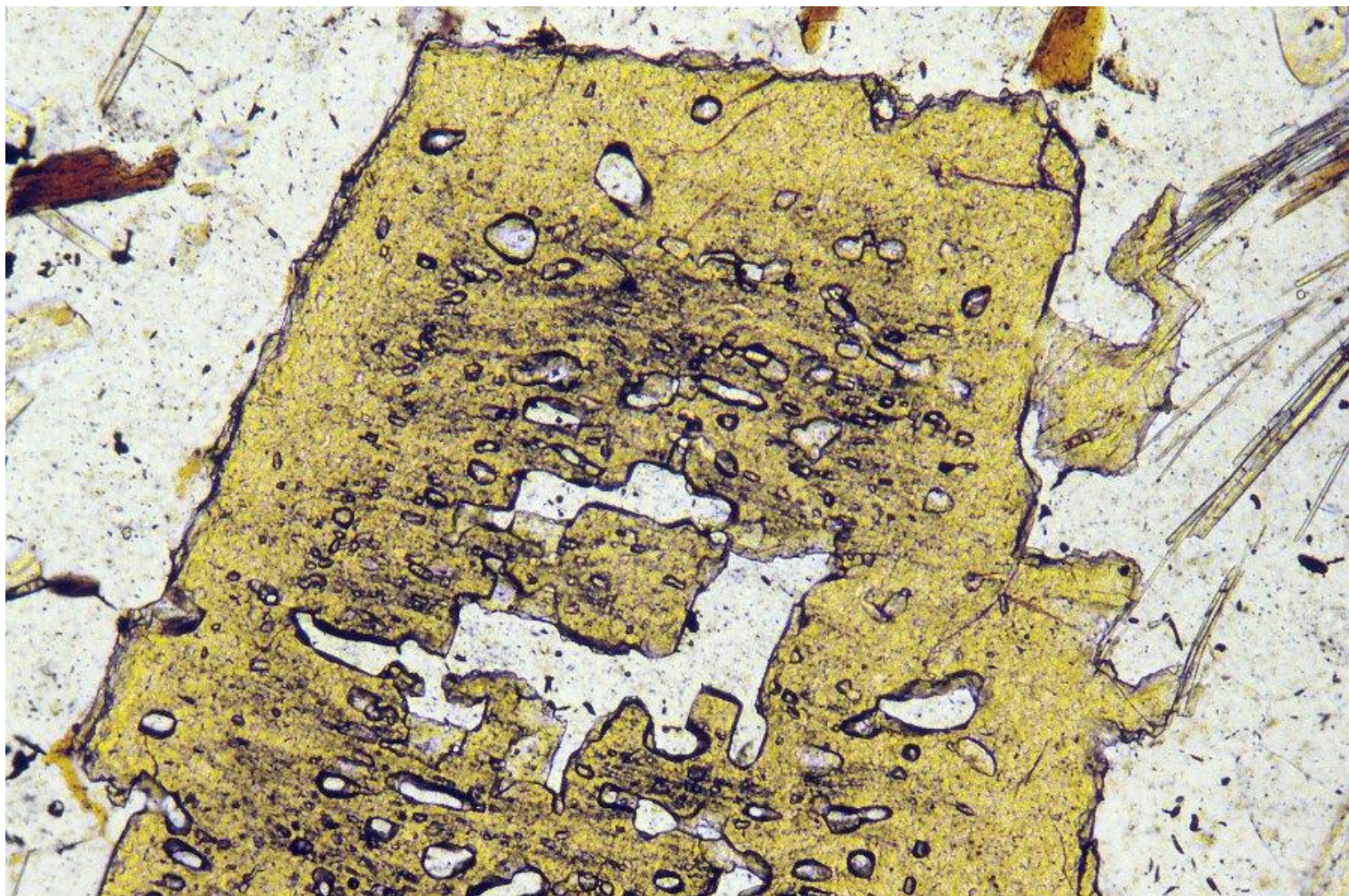
Ключевой минеральный парагенезис: **биотит + мусковит**. Во всех породах встречается **кварц** и **гранат**.  
При **низкой температуре**: + хлорит, хлоритоид, в случае примеси в осадке карбонатного материала, + клиноцоизит (эпидот)  $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$ .

При **умеренной температуре** в породах часто встречается ставролит  $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Al}_4[\text{SiO}_4]_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ ; нередко образуются олигоклаз (андезин) и микроклин  $\Rightarrow$  появление **гнейсов**.

Выделение **субфаций** глубинности производится по наличию андалузита, силлиманита и кианита.

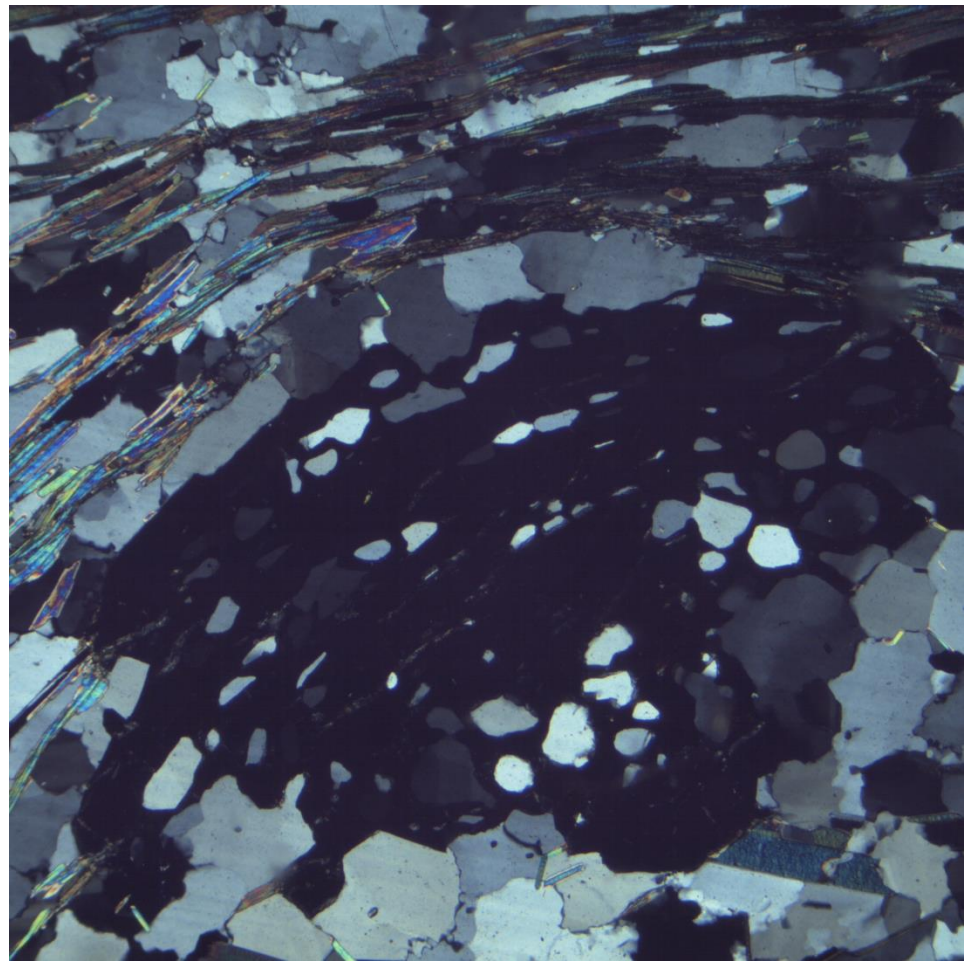
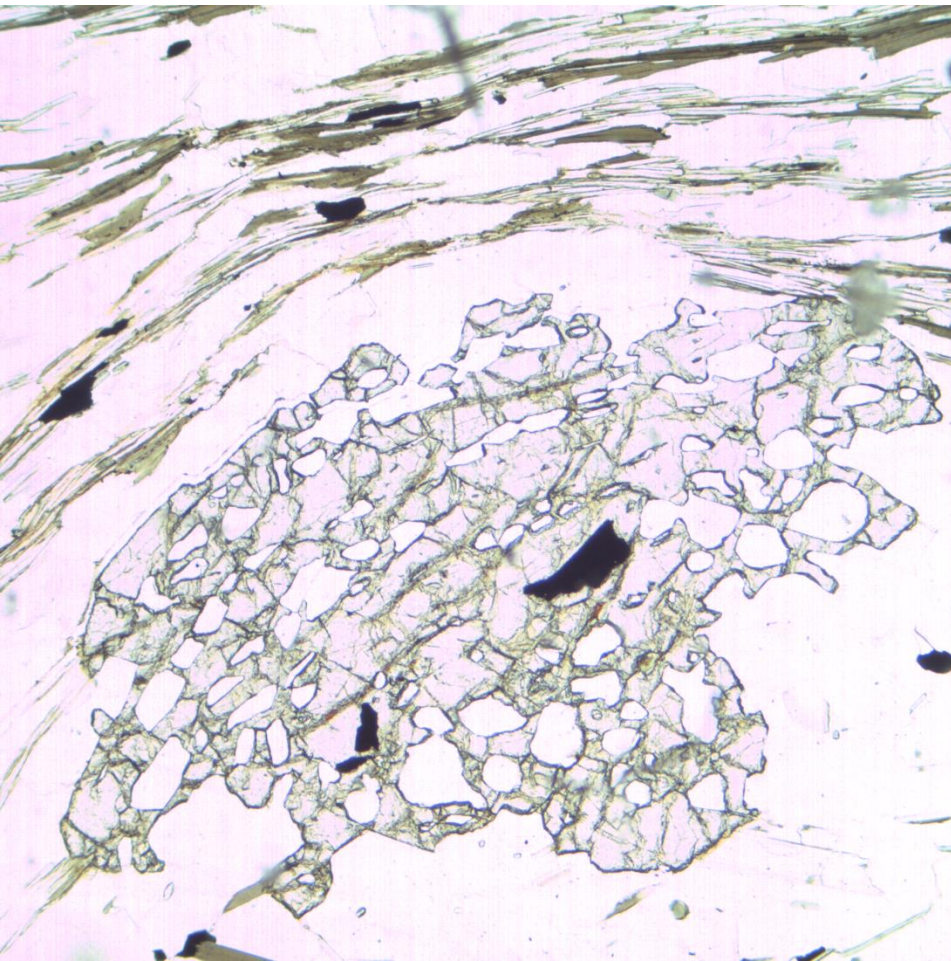


# Ставролит в двуслюдяном сланце





# Гранат в двуслюдяных сланцах

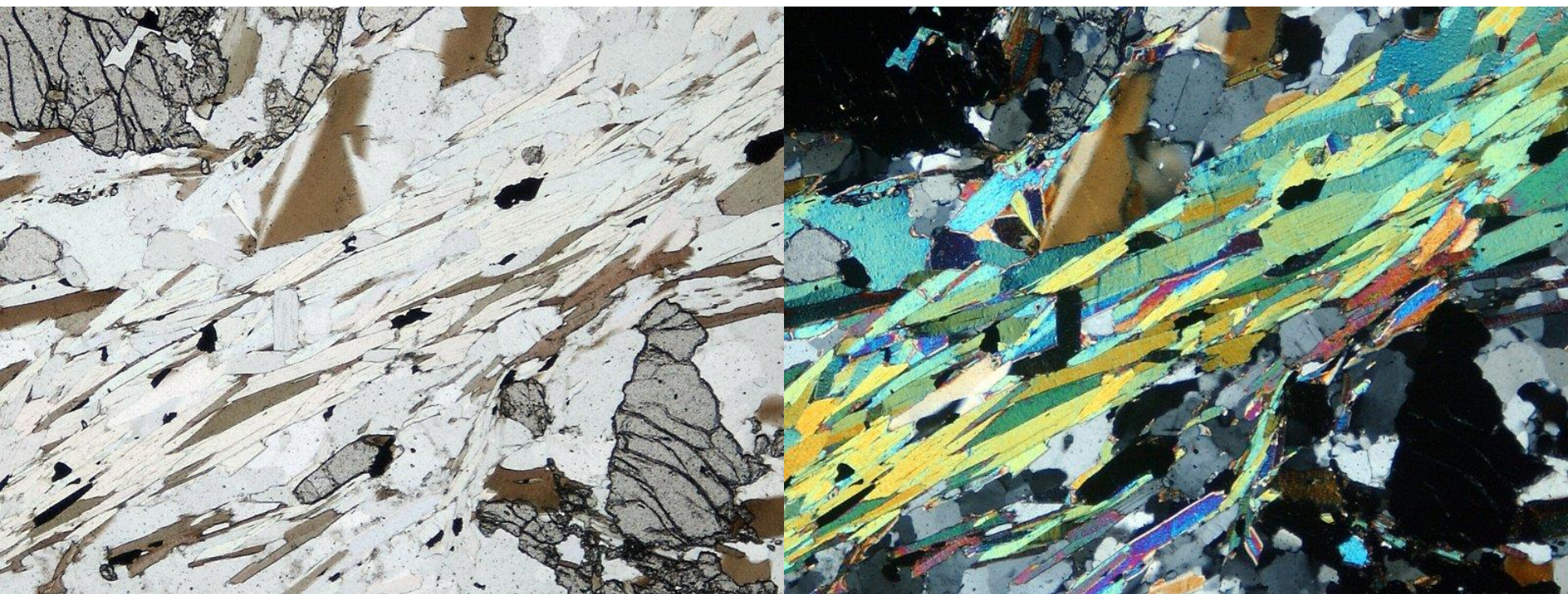


Гранат (как и ставролит) очень часто образует порфировласты **син-** (на фото), **прото-** и **посткинематического типа**.

Состав граната (его  $Mg\# = Mg / (Mg + Fe)$ ) — показатель температуры.



# Парагенезис мусковит + биотит

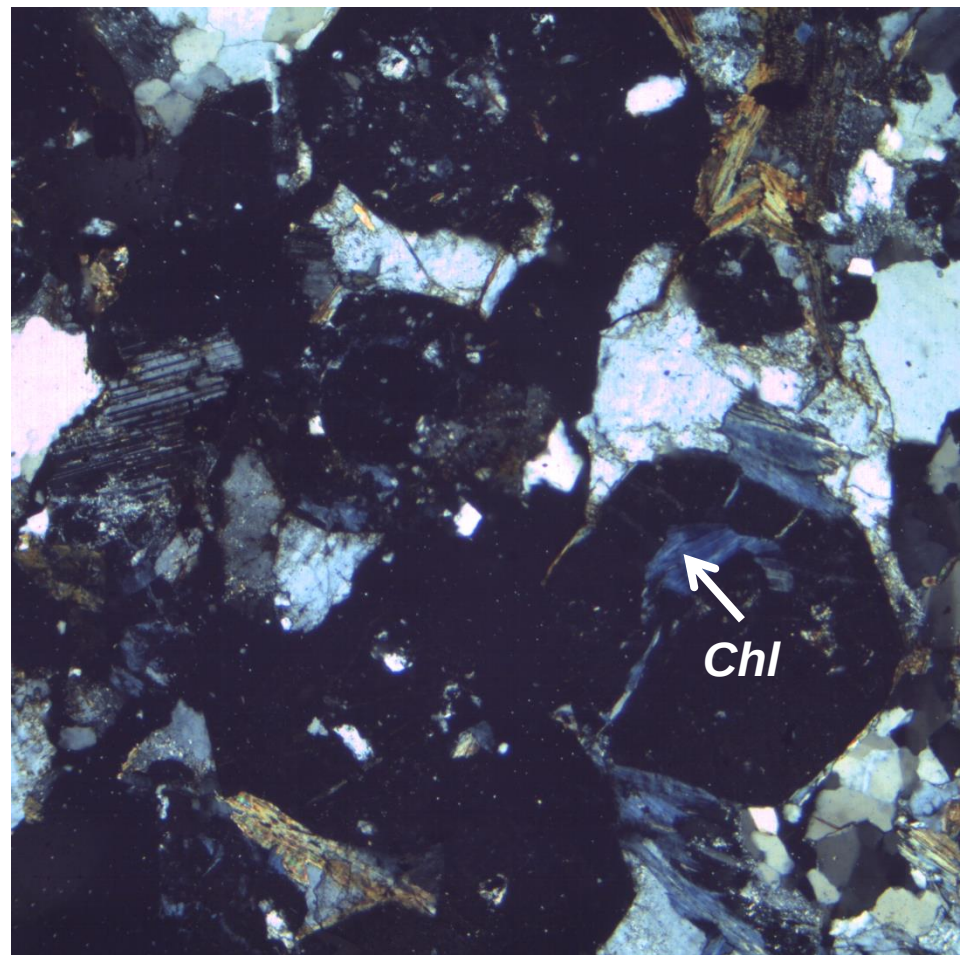
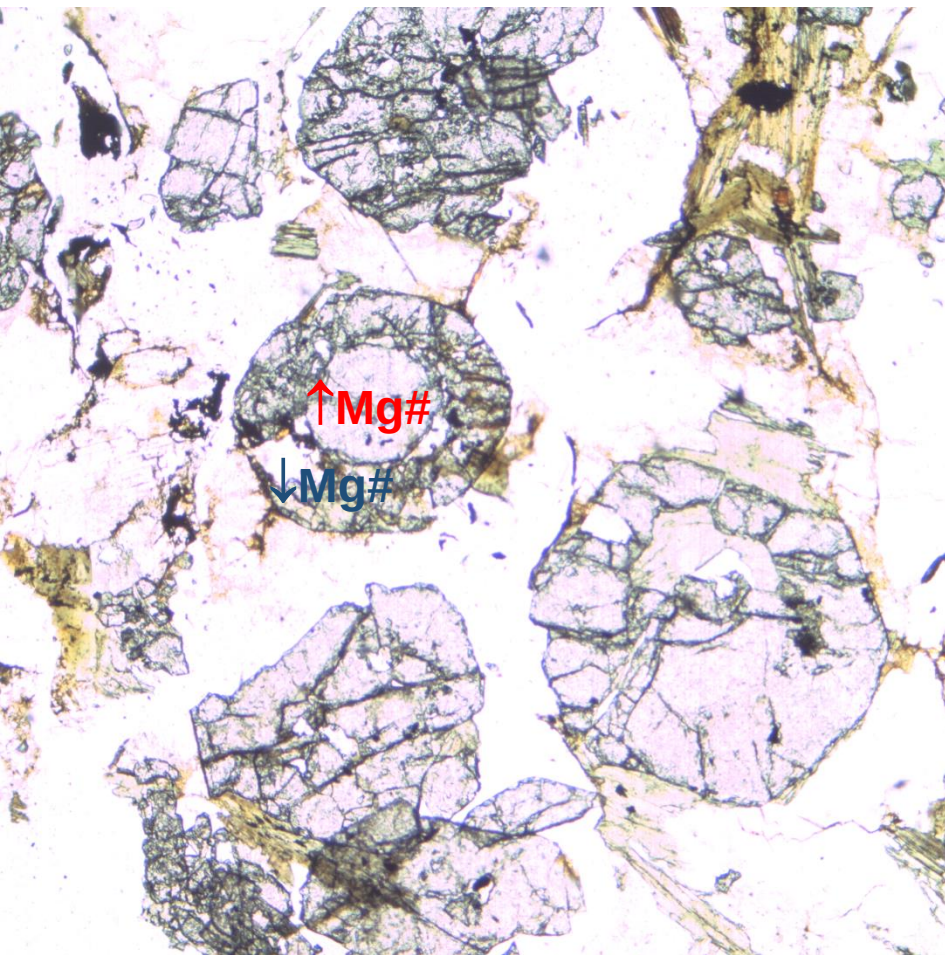


***Ms*** – мусковит  $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$  – содержит примеси Mg и Fe, а также Na (парагонитовый компонент – качественный показатель температуры образования);

***Bt*** – биотит  $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$  – имеет широкие вариации содержаний **Mg, Fe** и Al.



# Зональность граната

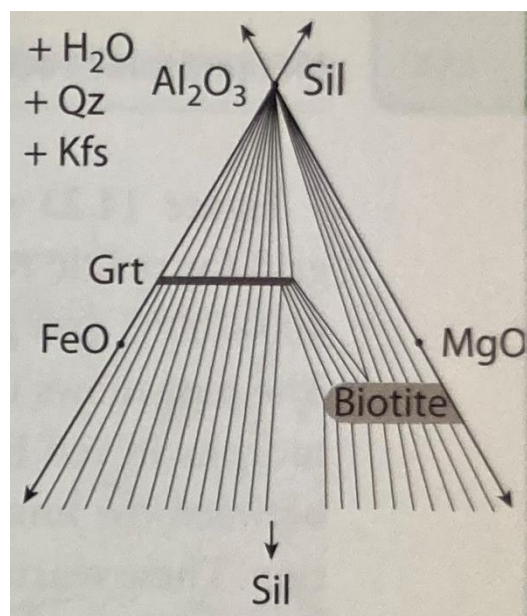
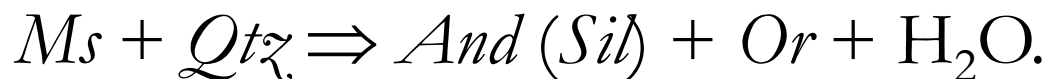


2 стадии метаморфизма: (1) ядра *Grt* (более магнезиальные) + *Pl* + *Bt* + *Ms* + *Qtz*; (2) каймы *Grt* (более железистые) + *Chl*.



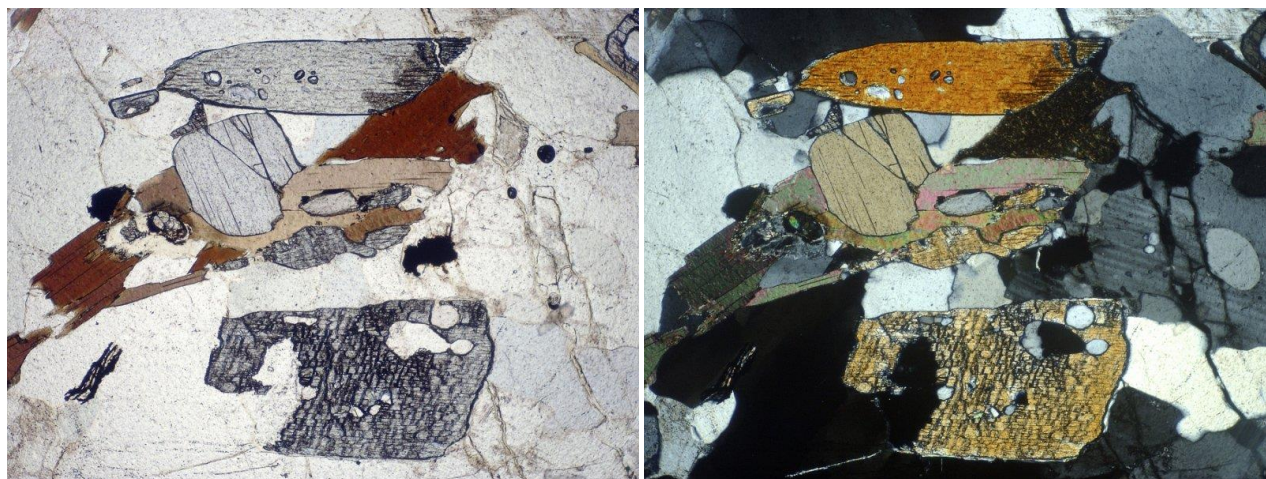
# Гранат-биотитовые гнейсы и сланцы

Ключевая реакция перехода от двуслюдяных сланцев к гранат-биотитовым гнейсам – реакция исчезновения мусковита (~600 °C):



«**Силлиманитовая зона**»

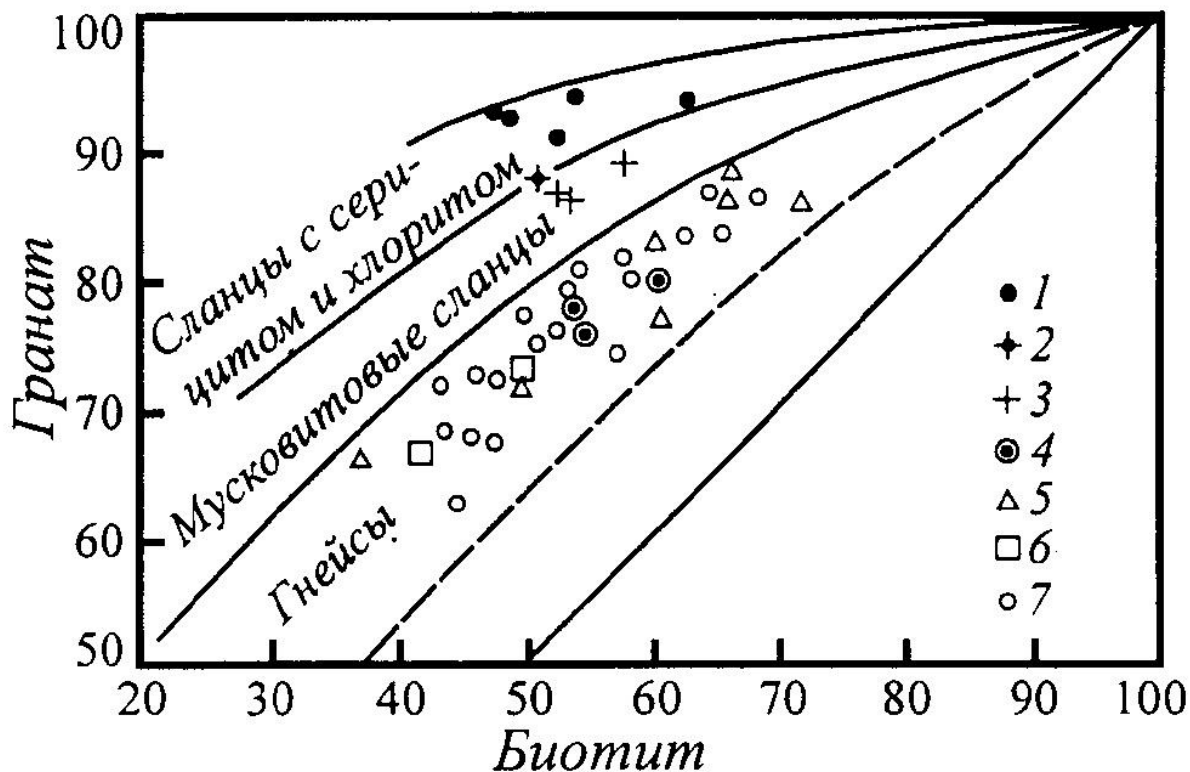
**Субфации глубинности:** андалузитовая, силлиманитовая и кианитовая.



Кианит-гранат-биотитовый гнейс (кианитовая, наиболее глубинная субфация)

# Парагенезис гранат + биотит

Является *качественным* показателем температуры, а в присутствии силлиманита его можно использовать как **геологический термометр** для *количественной* оценки температуры. Ключевой показатель — железистость (Fe#) сосуществующих минералов.



1 — хлоритовые и серицитовые сланцы, в том числе с кианитом; 2 — кианит-биотитовые сланцы; 3 — ставролитовые сланцы; 4 — ставролитовые плагиогнейсы; 5 — силлиманит-кордиеритовые гнейсы; 6 — гиперстеновые гнейсы; 7 — гранат-биотитовые гнейсы, в том числе с силлимантитом.



# Схема минеральных фаций метapelитов

