

МЕТАМОРФИЗМ



двуслюдной кварцит, фото с анализатором

Метаморфический процесс -

(от греческого «метаморфозис» - превращение)

процесс перекристаллизации горных пород в твёрдом состоянии, протекающий в недрах Земли под действием повышенных температур, давления и флюида .

При этом происходит изменение одной или нескольких характеристик породы:

- структуры;
- текстуры;
- минерального состава.

ОСОБЕННОСТИ:

- Неравномерен в пространстве и времени.
- Связан с зонами активных движений земной коры – сочленениями литосферных плит, а также внутриплитным магматизмом (на платформах осадки даже мощностью 5-10 км почти не метаморфизуются).
- Длительный процесс.
- Происходит преимущественно в зонах, где температура превышает фоновую (средний геотермический градиент 30 град/ км, 150 градусов / км – для подвижных зон)

Основные факторы метаморфизма:

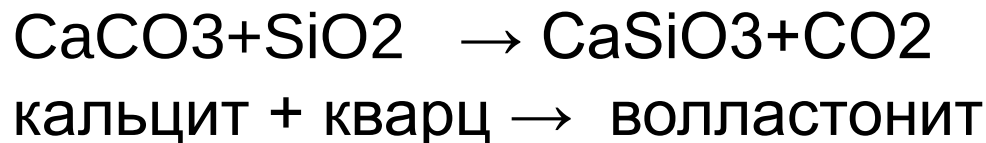
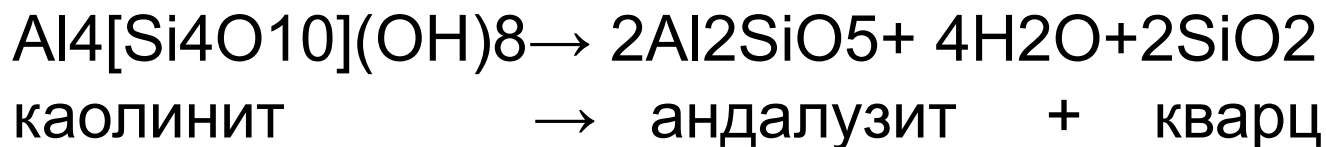
- температура,
- **давление** - литостатическое (за счет вышележащих толщ),
- химически активные вещества (**флюиды**).

Температура (глубинное тепло, подводимое флюидами)

Примерно от 100°C до 900-1200°C

Единых границ для всех пород быть не может, поскольку условия начала минеральных реакций и плавления зависят от химического состава пород, структуры, пористости и т.д.

В условиях повышения температуры происходят такие эндотермические реакции как дегидратация и декарбонатизация. Например:



При повышении температуры происходит:

- установление локального термодинамического равновесия за счет **преодоления кинетических барьеров** минеральных реакций;
- **перекристаллизация** минералов с укрупнением зерен и вследствие снижения при этом общей поверхностной энергии;
- исчезновение неоднородностей, в т.ч. **гомогенизация** зональных кристаллов;
- **уменьшение количества** равновесных минералов.

Давление литостатическое ($P_{\text{лит}}$)

-(1-10 кб и >)

Всестороннее давление, определяется воздействием нагрузки вышележащих толщ.

Увеличение давления способствует:

- образованию минералов с более плотной структурой
- повышению температуры плавления минералов

Давление флюидное

(H₂O, CO₂, CO, CH₄, N₂ и др.)

Флюиды содержатся в порах и межзерновом пространстве практически всех горных пород.

Источники флюидов - процессы дегазации в мантии, охлаждение магмы, метаморфические минеральные реакции.

В газовой-жидком состоянии химически активные вещества движутся из областей с высокими температурами и давлением в зоны с низким давлением (*процесс инфильтрации*) и при этом **активно участвуют в преобразовании минералов и горных пород.**

Флюид на глубине восстановленный и горячий, ближе к поверхности – окисленный и менее нагретый

Давление стрессовое (направленное)

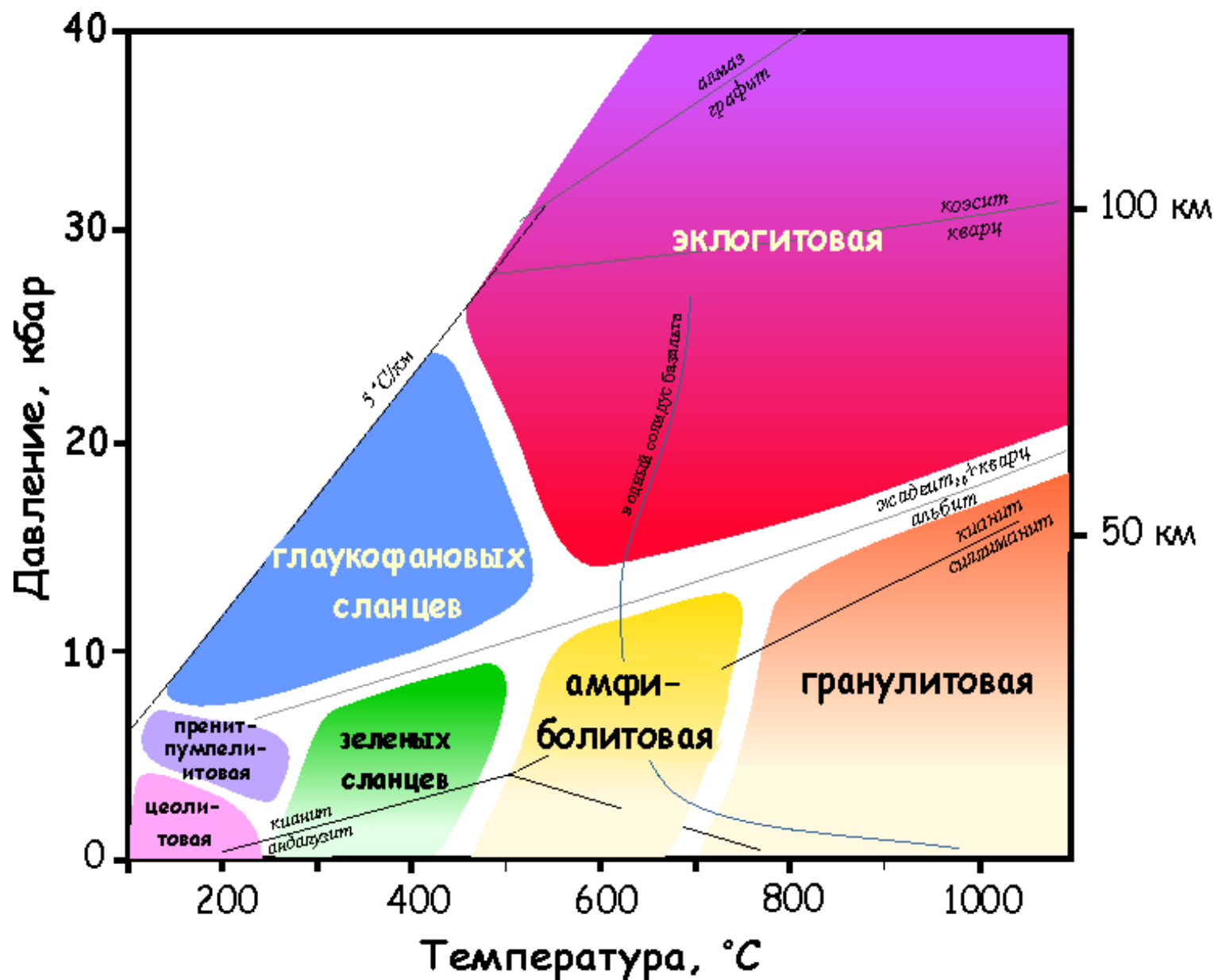
– не является фактором метаморфизма

Направленное давление (или стресс) возникает на глубинах и причиной его возникновения, как правило, является перемещение крупных блоков пород в земной коре.

Результатом такого одностороннего воздействия является изменение и упорядоченность ориентировки минералов в породе - своей длинной осью или плоскостью спайности они располагаются перпендикулярно направлению давления.

Величина стрессового давления является дискуссионным вопросом.

Фация метаморфизма — диапазон значений факторов метаморфизма (Т и Р), при котором стабильны определенные метаморфические породы.



Границы фаций – реакции,

Например:

Кварц+Роговая обманка→Ортопироксен +Клинопироксен +Плаггиоклаз

~ 800°

Кварц+Мусковит→ Калиевый полевой шпат + Al_2SiO_5

~ 600°

Типоморфные минералы - минералы, которые характерны(типичны) для определённых условий формирования (фация, степень метаморфизма) метаморфических пород

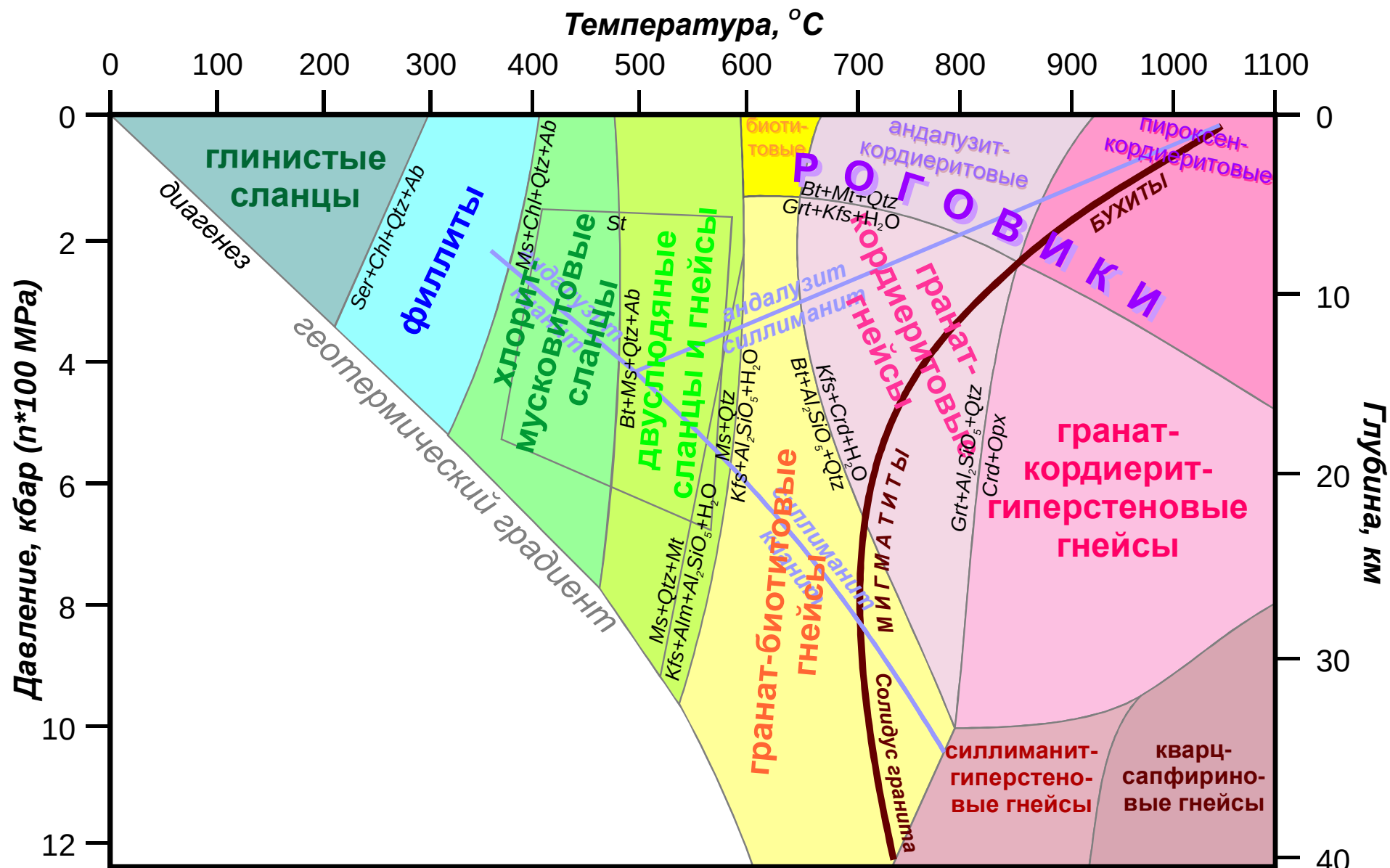
ИЗОХИМИЧЕСКИЕ РЯДЫ и классификация процессов метаморфизма

В зависимости от состава исходных пород при региональном метаморфизме возникают определенные виды метаморфических пород, которые по мере возрастания температуры и давления претерпевают закономерные изменения состава, структуры и текстуры. При этом образуются характерные **изохимические ряды** пород, представляющих собой последовательные этапы преобразования исходной породы.

Выделяют следующие группы пород по химическому составу:

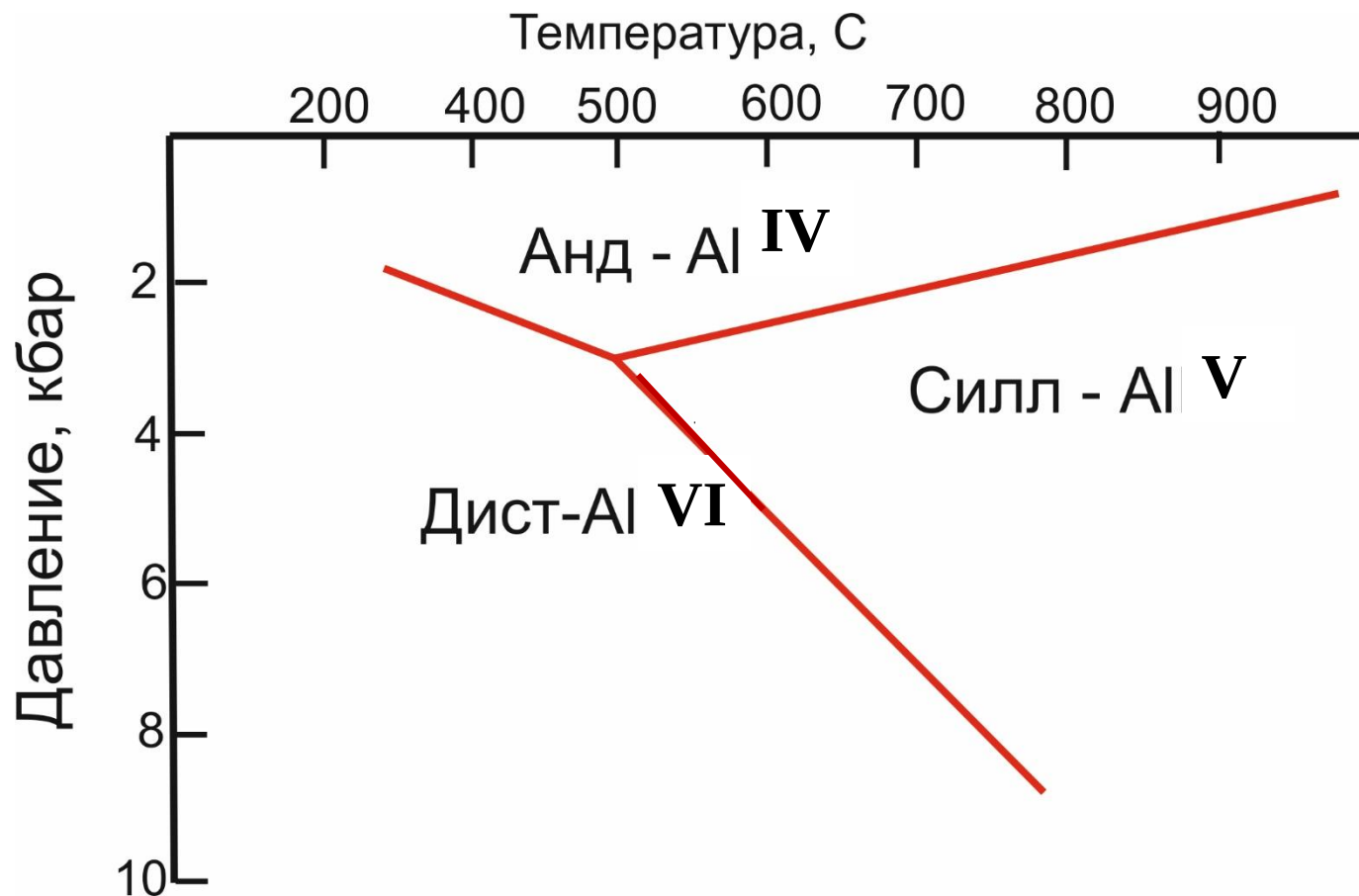
- **Метаультрамафиты** - обогащены Mg, Fe, Ni, Cr
- **Метабазиты** - обогащены Ca, Fe, Mg, Na
- **Метапелиты** - обогащены Al, K, Si
- **Мраморы (карбонатно-силикатные породы)** - обогащены Ca, Mg, CO₂
- **Кварциты** - обогащены Si
- **Кварц-полевошпатовые породы** - обогащены Si, Na, Al

Схема метаморфических фаций для метапелитов:



Полиморфные модификации - — структурные разновидности одного и того же вещества.

Al_2SiO_5 – *андалузит, sillиманит, кианит (дистен)*



Типы метаморфизма по масштабу проявления:

Региональный метаморфизм: происходит на большой площади ($n \cdot 100 - n \cdot 100$ кв.км), то есть затрагивает большой объем горных пород и связан с крупномасштабными тектоническими процессами, такими как расширение океанического дна, утолщение земной коры и т. д.

Примерами регионального метаморфизма являются *орогенный, субдукционный, метаморфизм морского дна, погружения (захоронения осадков)*.

Локальный метаморфизм: происходит на ограниченной территории и, главное - при котором метаморфизм может быть напрямую отнесен к локальной причине, такой как магматическая интрузия, разлом или падение метеорита.

Примеры локального метаморфизма: *контактовый, динамометаморфизм, ударный (импактный) метаморфизм*.

Типы метаморфизма по изменению химического состава:

Изохимический метаморфизм -

происходит без изменения исходного химического состава горной породы, за исключением летучих компонентов (H_2O и CO_2);

Аллохимический метаморфизм—

химический состав горной породы существенно изменяется.

Типы метаморфизма по изменению параметров метаморфизма:

Прогрессивный метаморфизм -

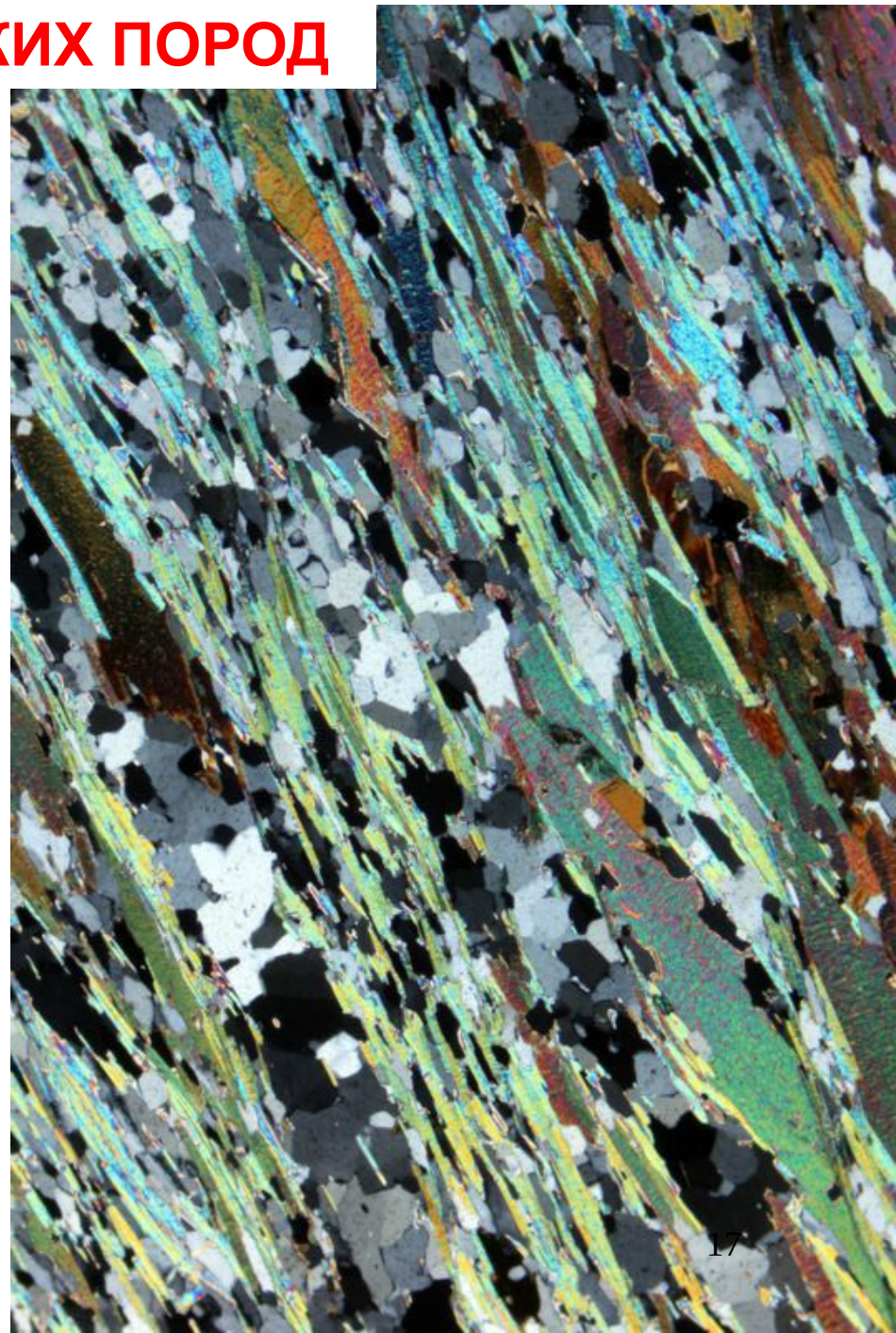
Давление и температура повышаются;

Регрессивным метаморфизм (ретроградный, диафторез)

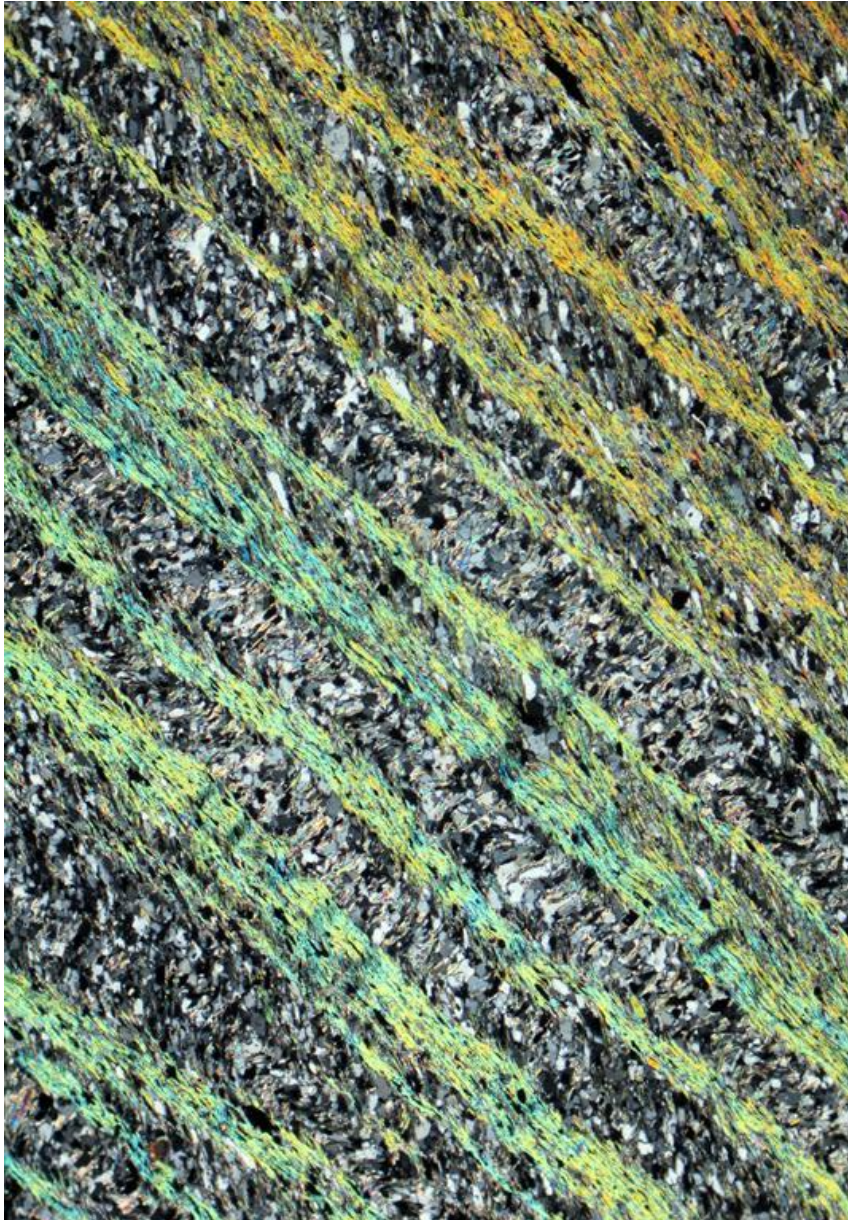
Давление и температура снижаются.

ТЕКСТУРЫ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Сланцеватая текстура



Полосчатая текстура - участки, различающиеся по структуре, минералогическому составу, крупности зерна или цвету, чередуются в виде более или менее тонких параллельных полос



Полосчатая и сланцеватая текстура
кварц-мусковитового сланца
(фото с анализатором)

Плоятая текстура

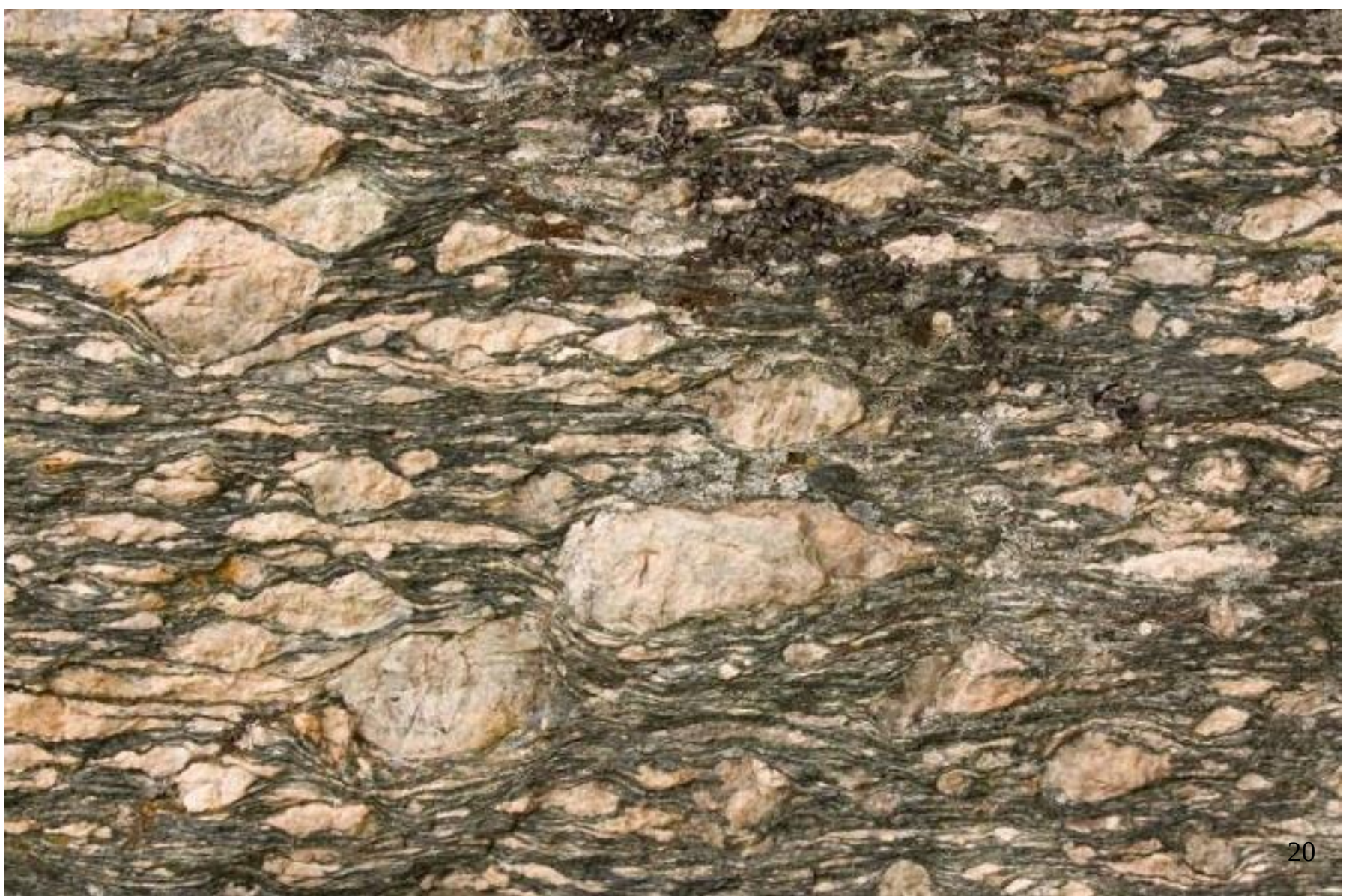
— когда под влиянием давления порода собрана в мелкие складки



Гнейсовая текстура обусловлена параллельной ориентировкой таблитчатых или вытянутых зерен минералов при малом содержании чешуйчатых частиц, которые располагаются параллельно и обрамляют таблитчатые зерна



Пятнистая текстура— наличие в породе пятен, отличающихся по цвету, составу, устойчивости к выветриванию



Массивная (однородная, гранофельсовая) текстура определяется неориентированным расположением зерен и отсутствием ярко выраженной неоднородности



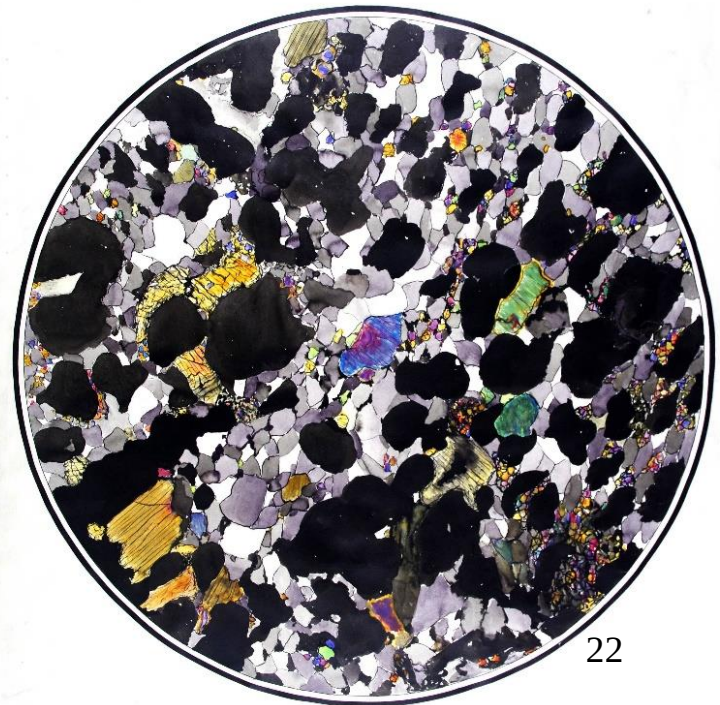
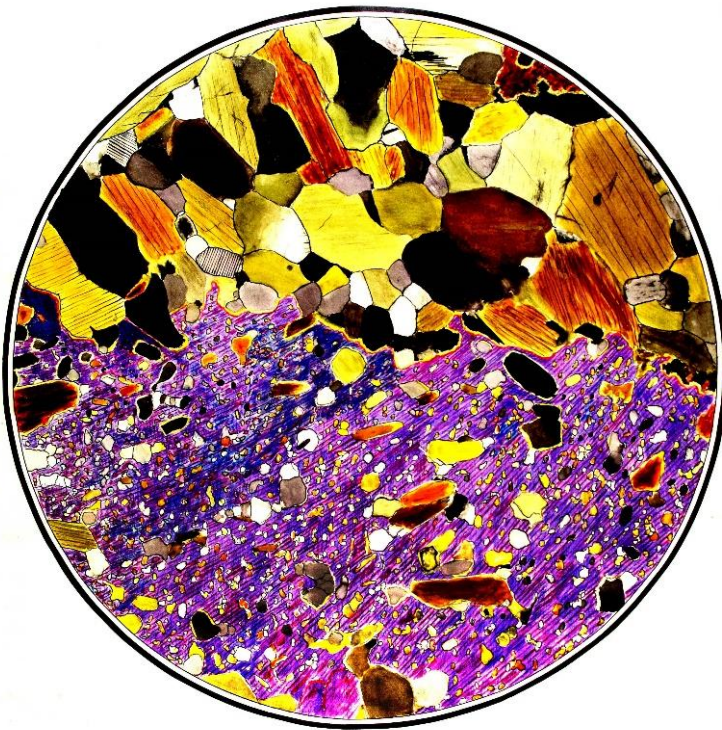
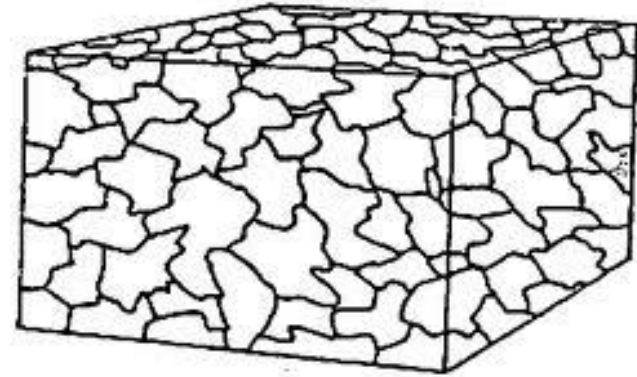
Массивная текстура эклогита (розовое – гранат, зеленое – клинопироксен).

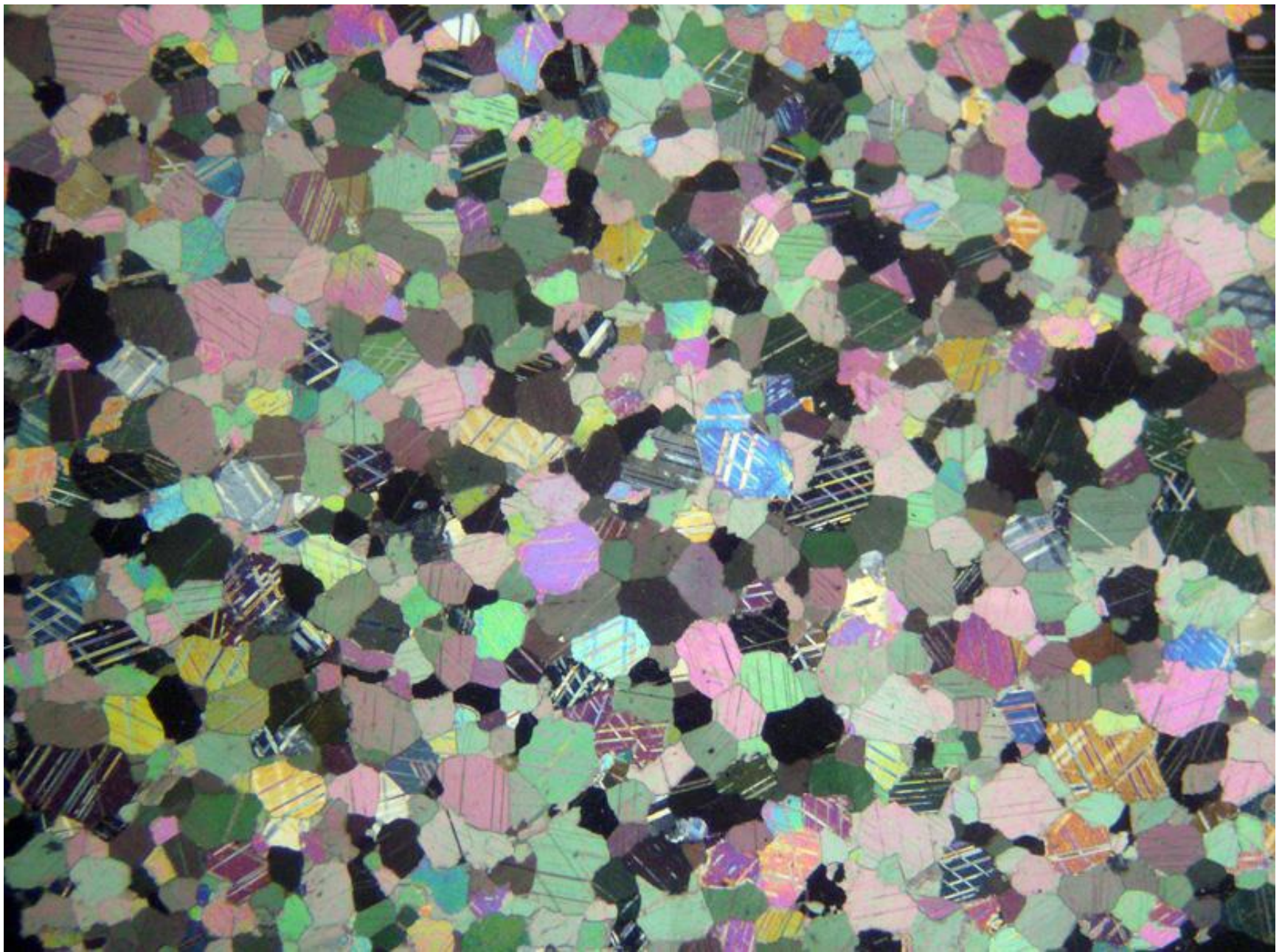
Структуры метаморфических пород

возникают в процессе перекристаллизации в твёрдом состоянии
= **кристаллобластеза**, поэтому большинство из них заканчиваются корнем
...бластовая

По форме зёрен различают следующие структуры:

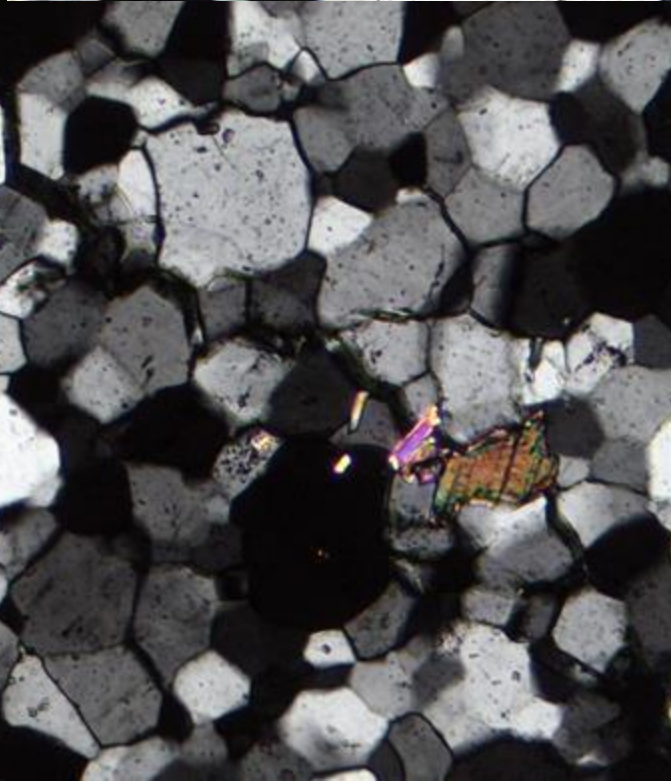
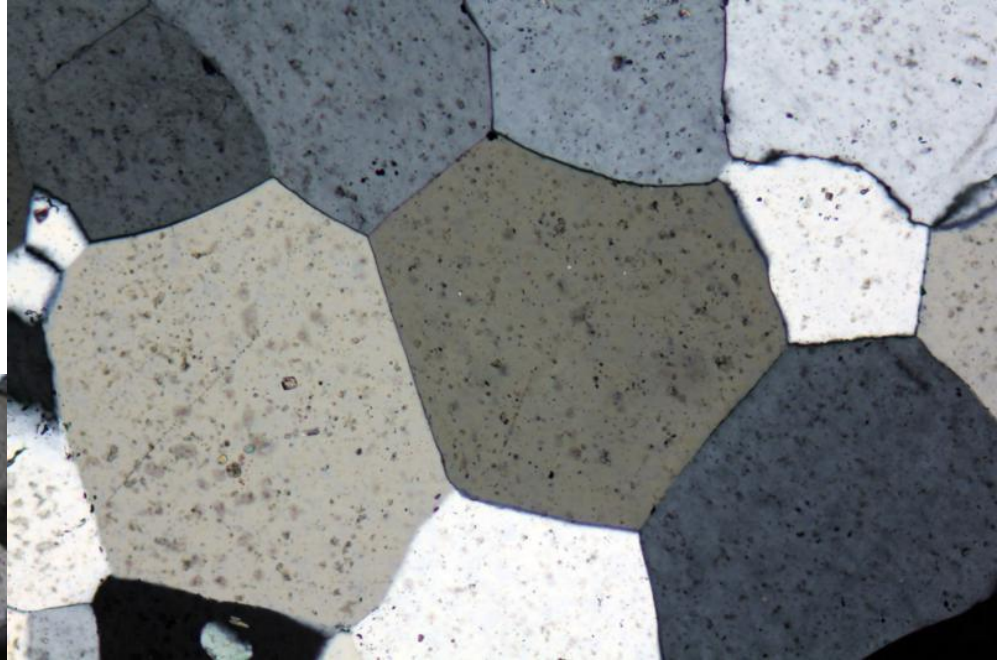
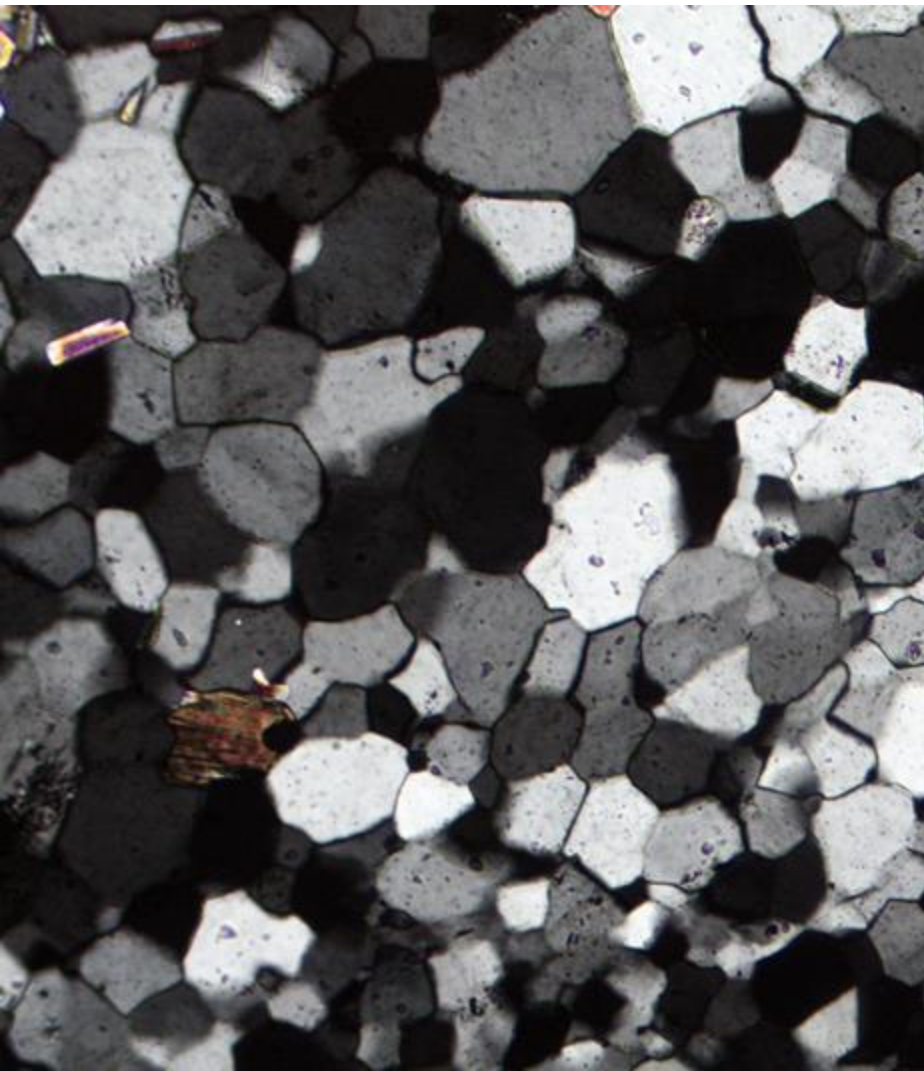
- **гранобластовая** (агрегат изометрических зёрен)





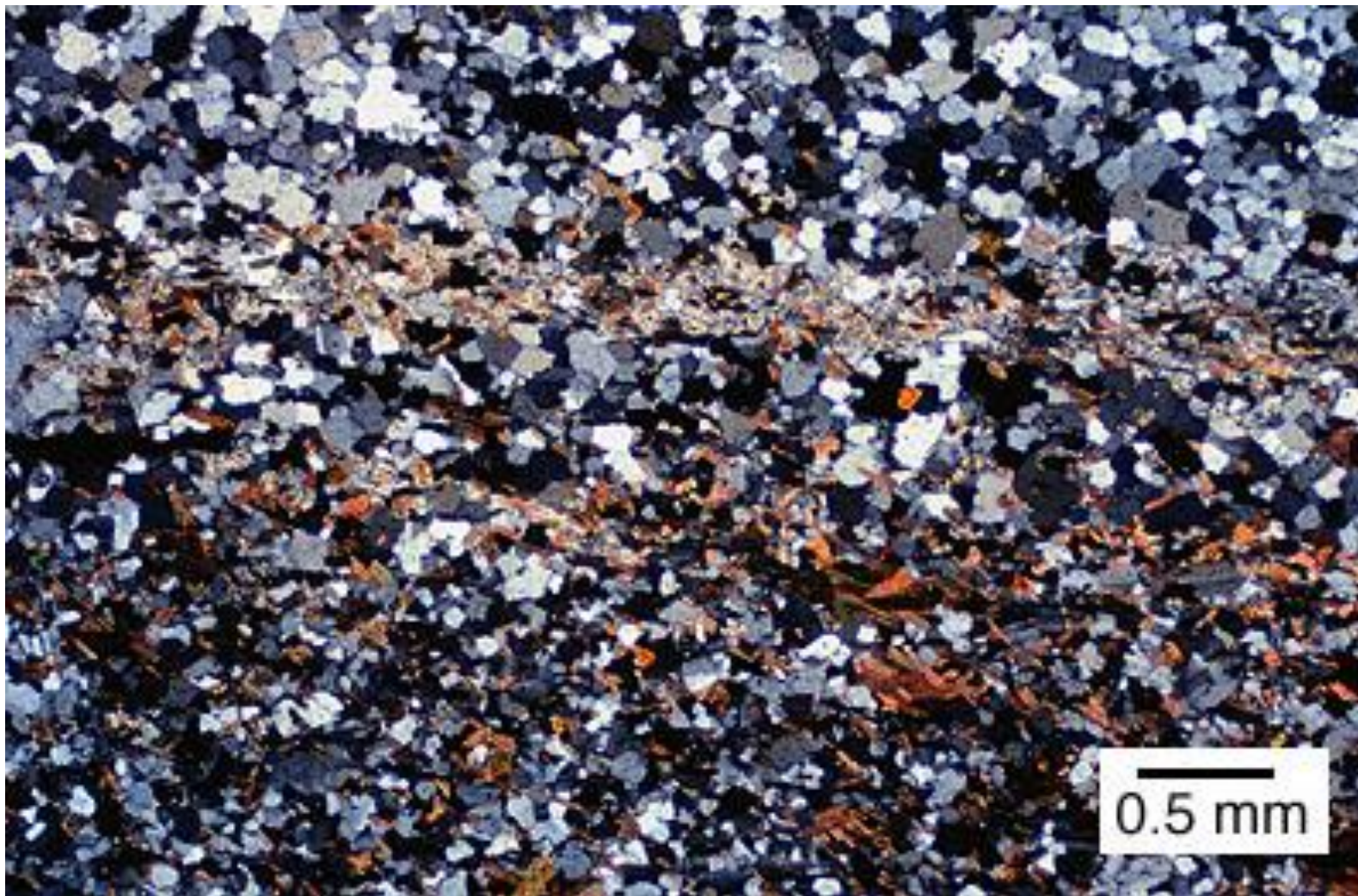
Гранобластовая структура мрамора²³

Гранобластовая *полигональная*
структура кварцита

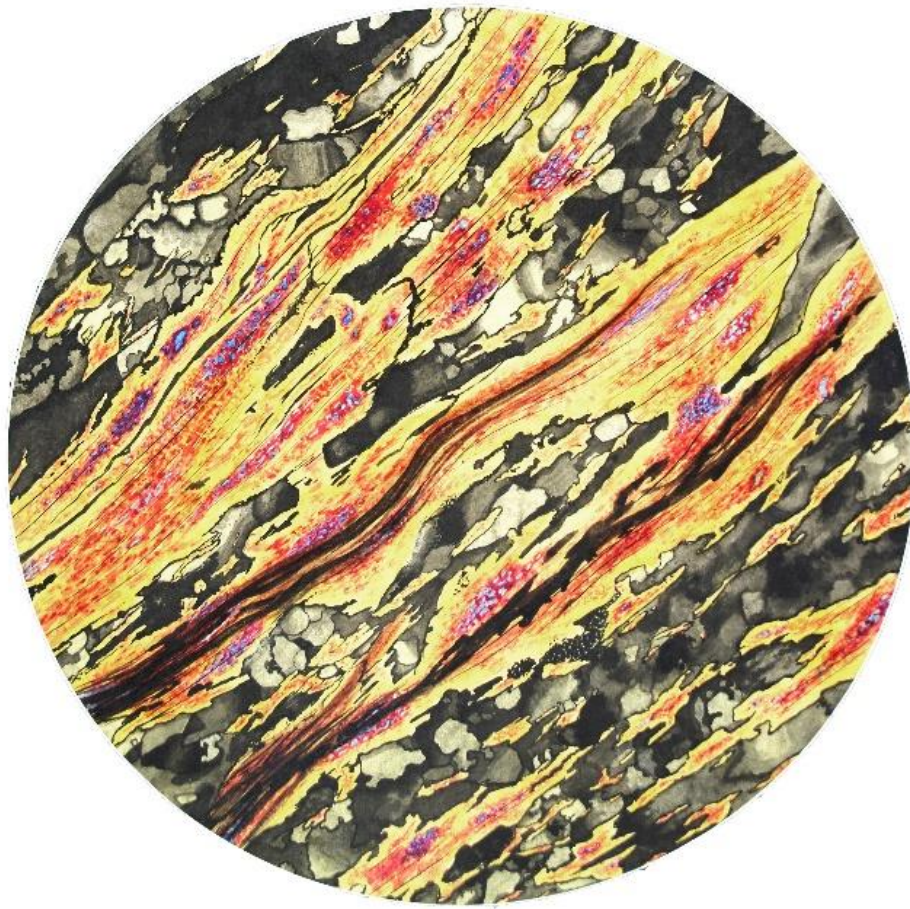
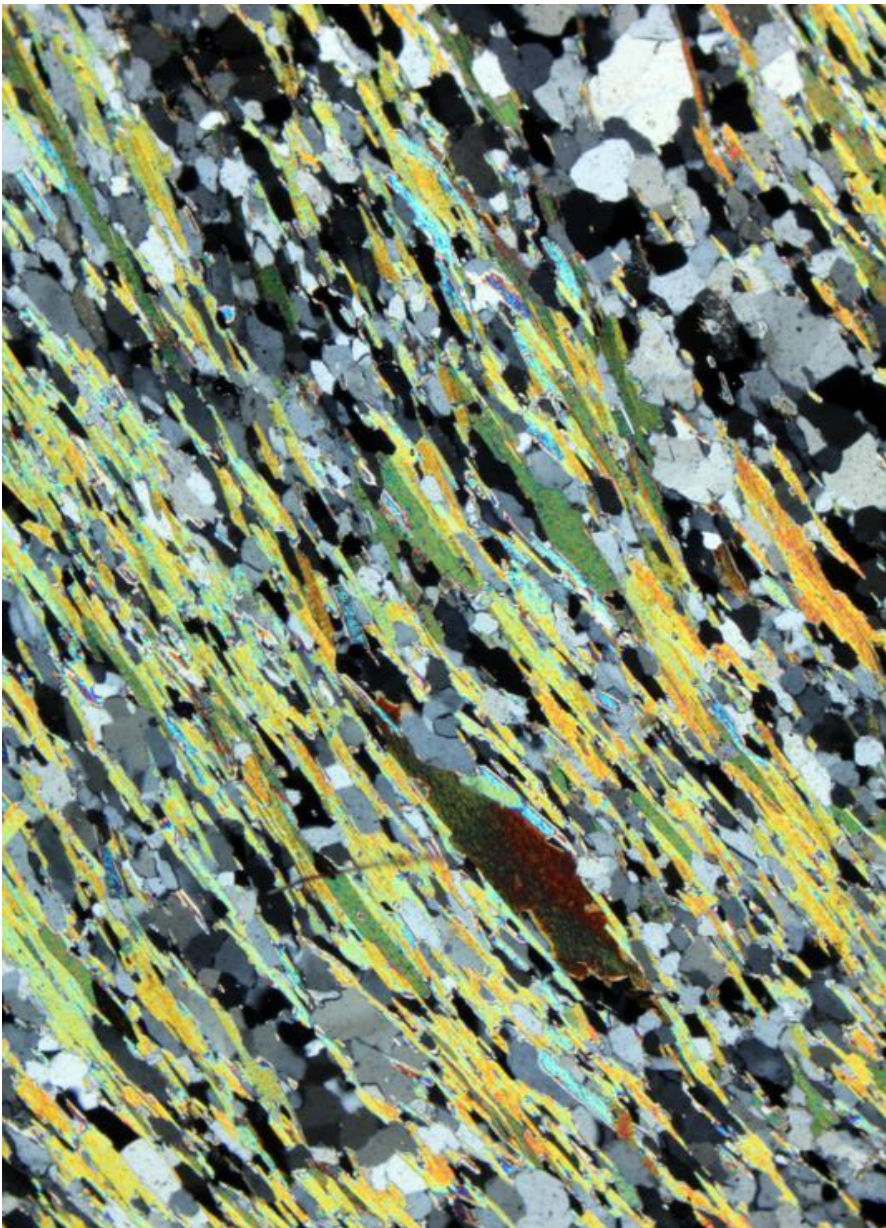


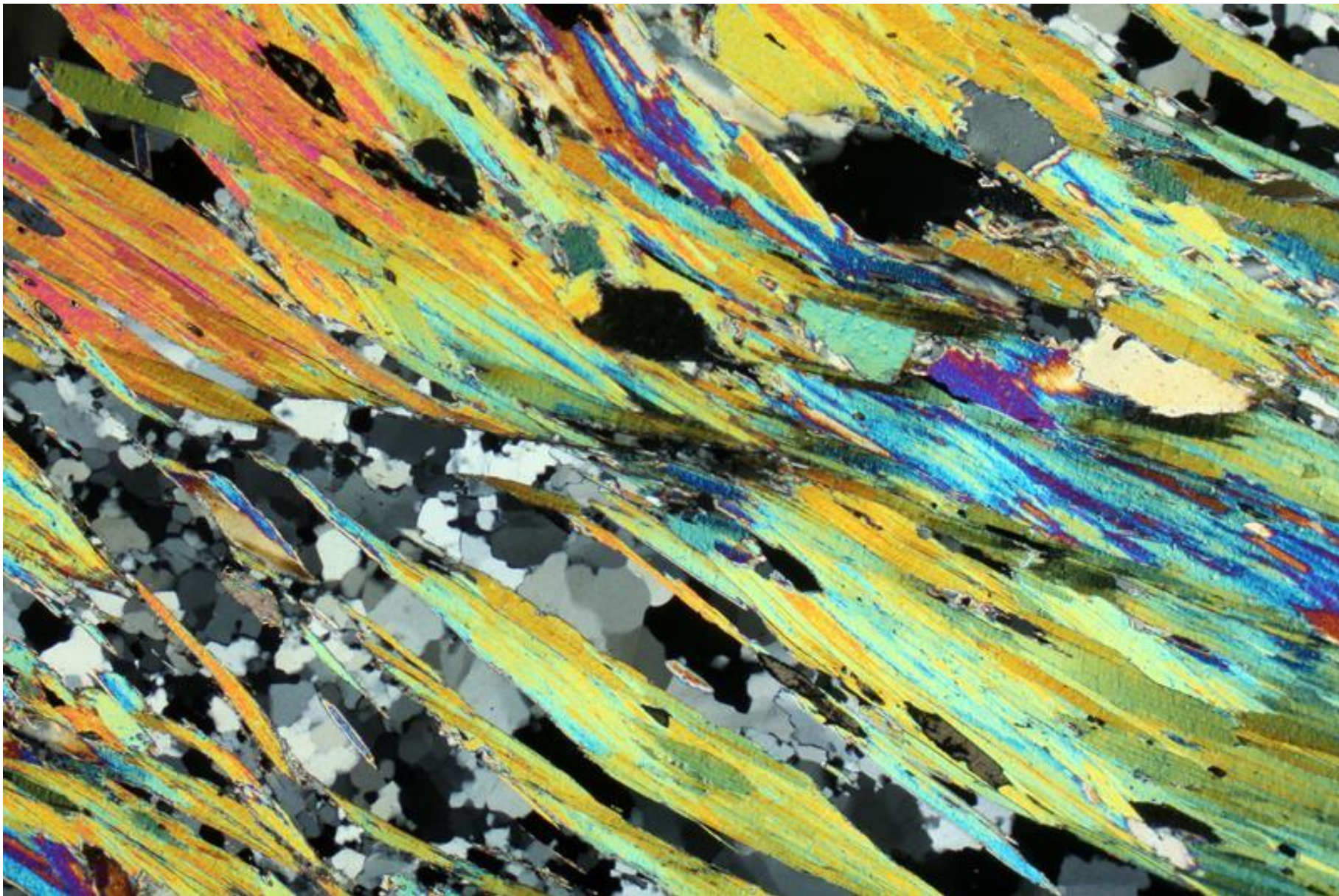
Роговиковая структура

Структура, свойственная контактовым роговикам. Мелкозернистая мозаичная структура, с простыми полигональными или зазубренными неправильными очертаниями зерен,



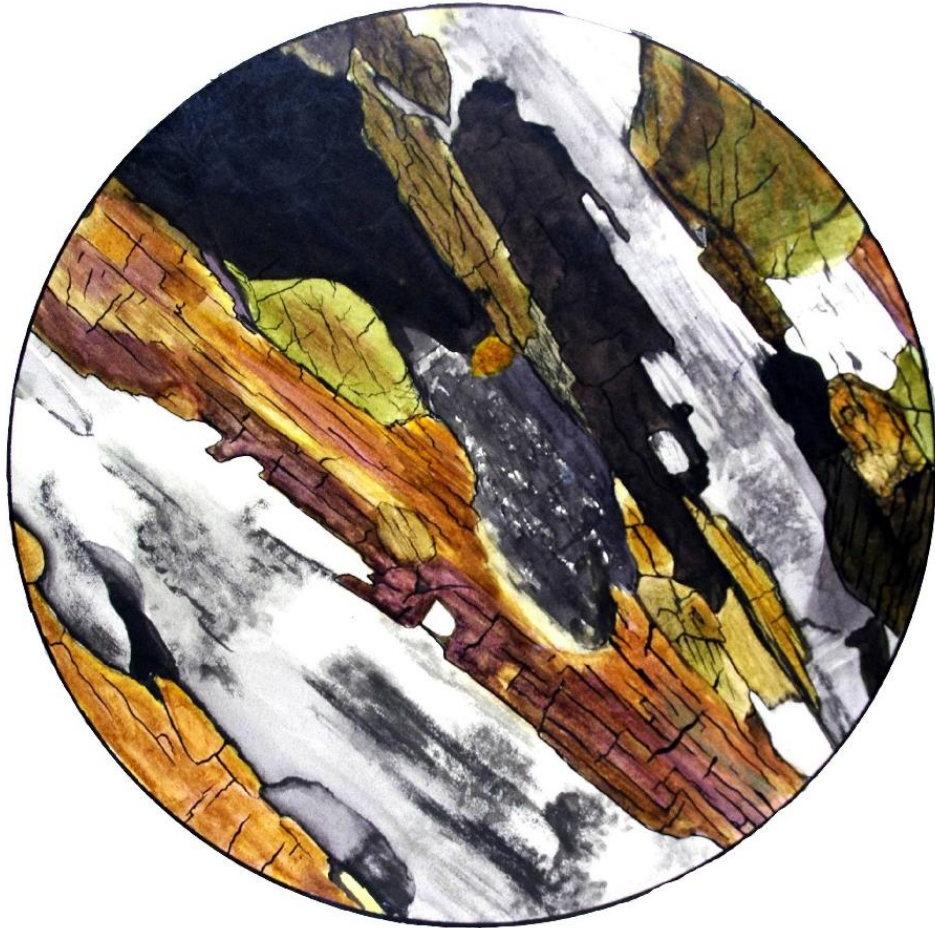
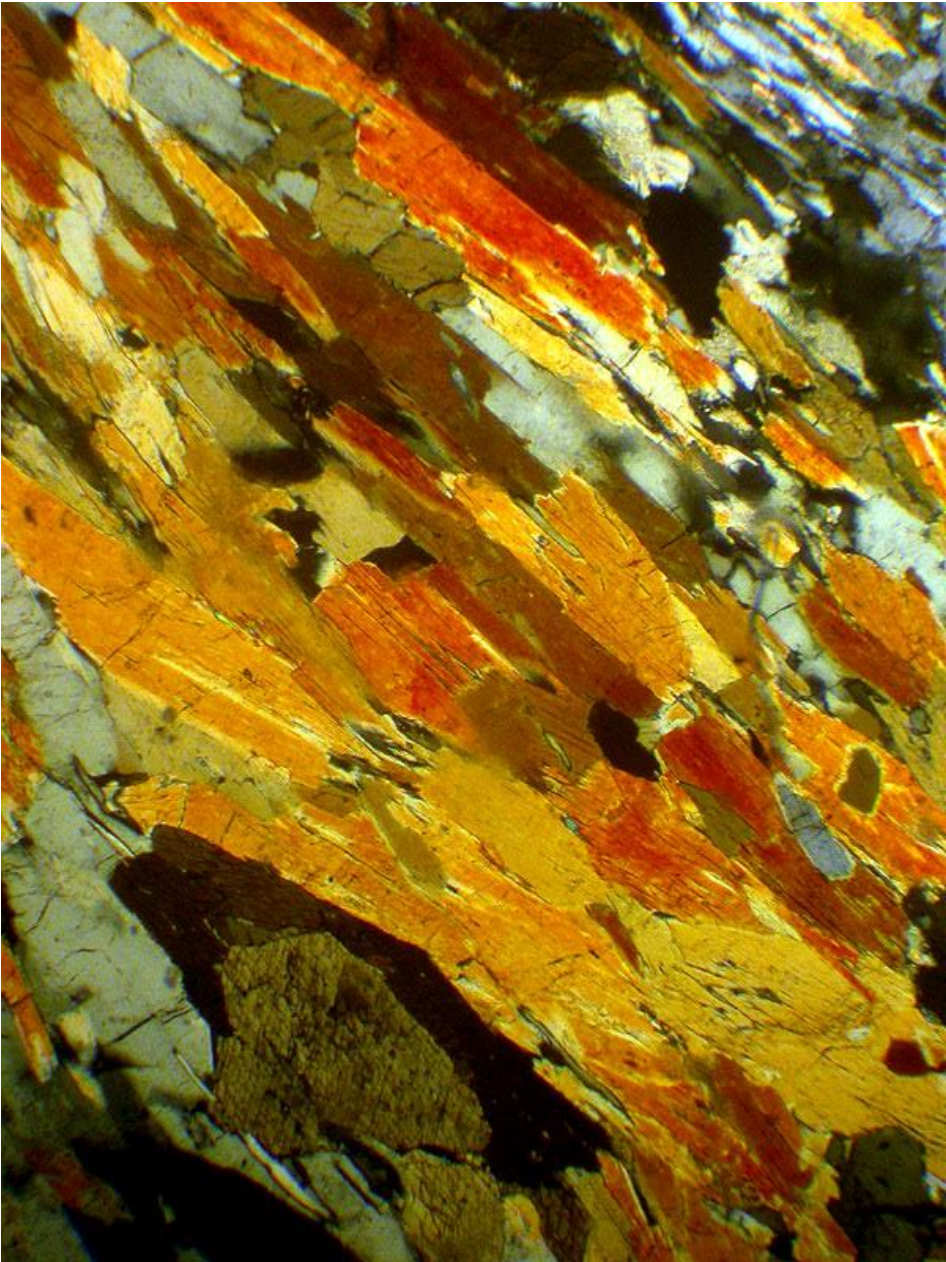
- **лепидобластовая** (агрегат листоватых или чешуйчатых кристаллов);

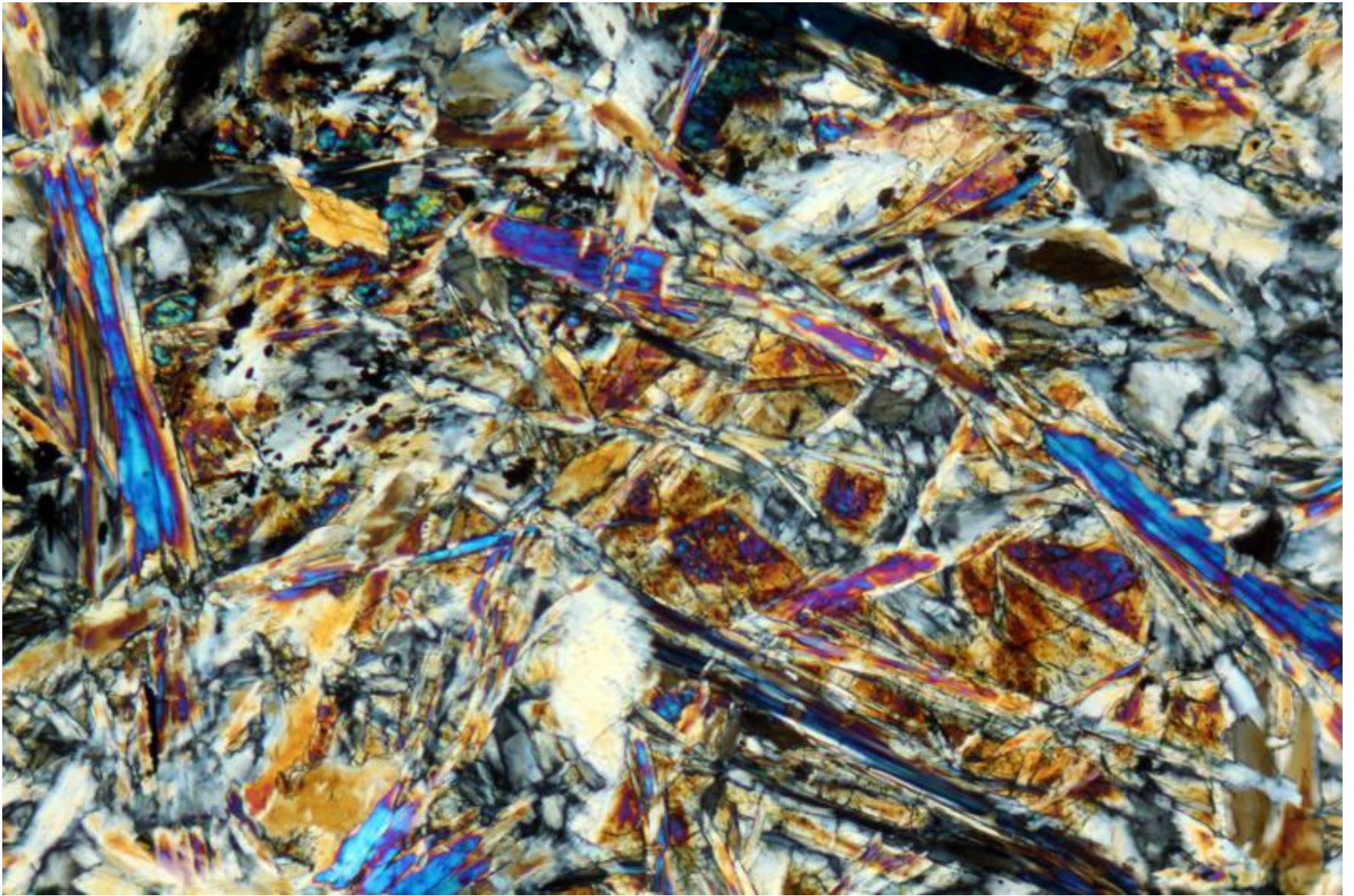




Лепидобластовая, точнее, гранолепидобластовая структура, поскольку в породе присутствует около 15% кристаллов кварца

- **нематобластовая** (агрегат игольчатых или длиннопризматических кристаллов);





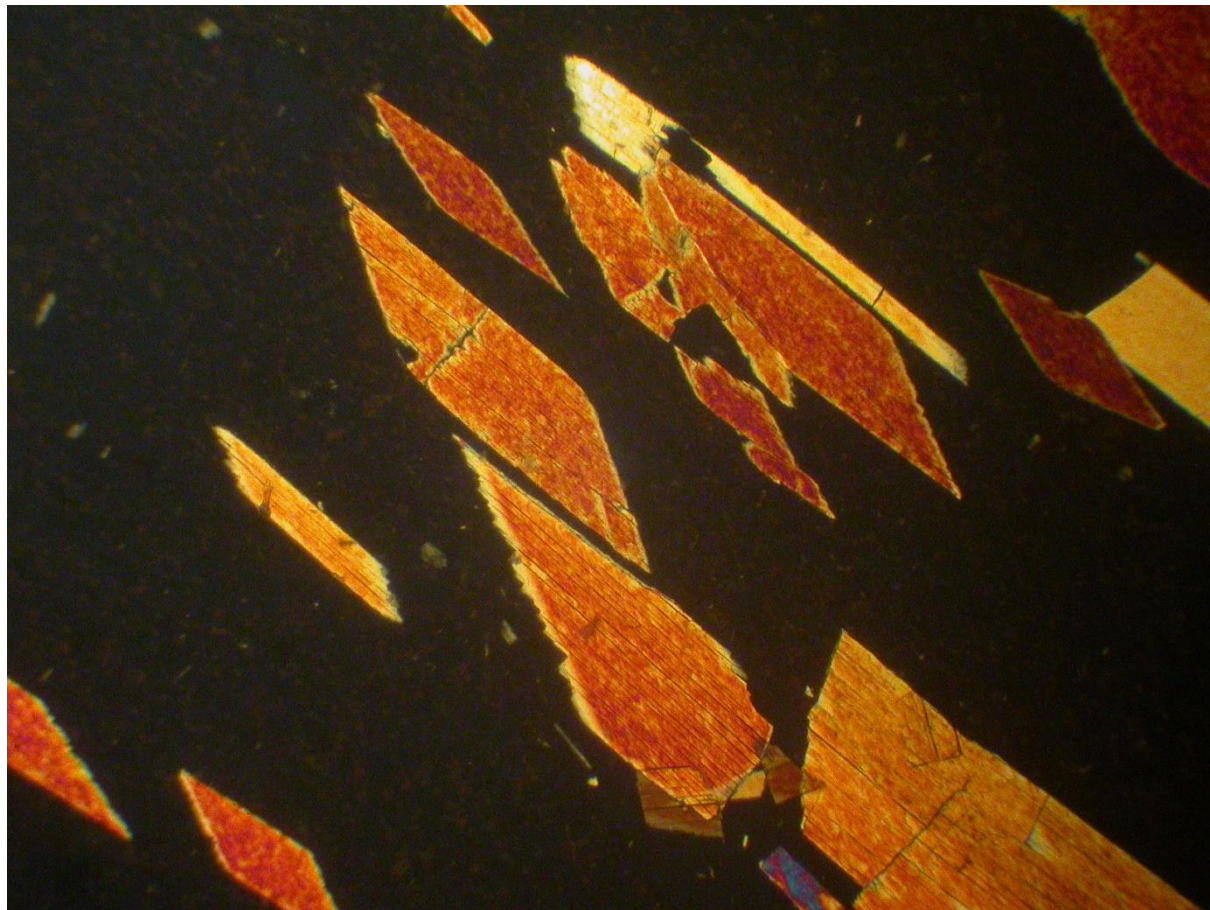
Нематобластовая структура 29

- **фибробластовая** структура (агрегат волокнистых кристаллов).

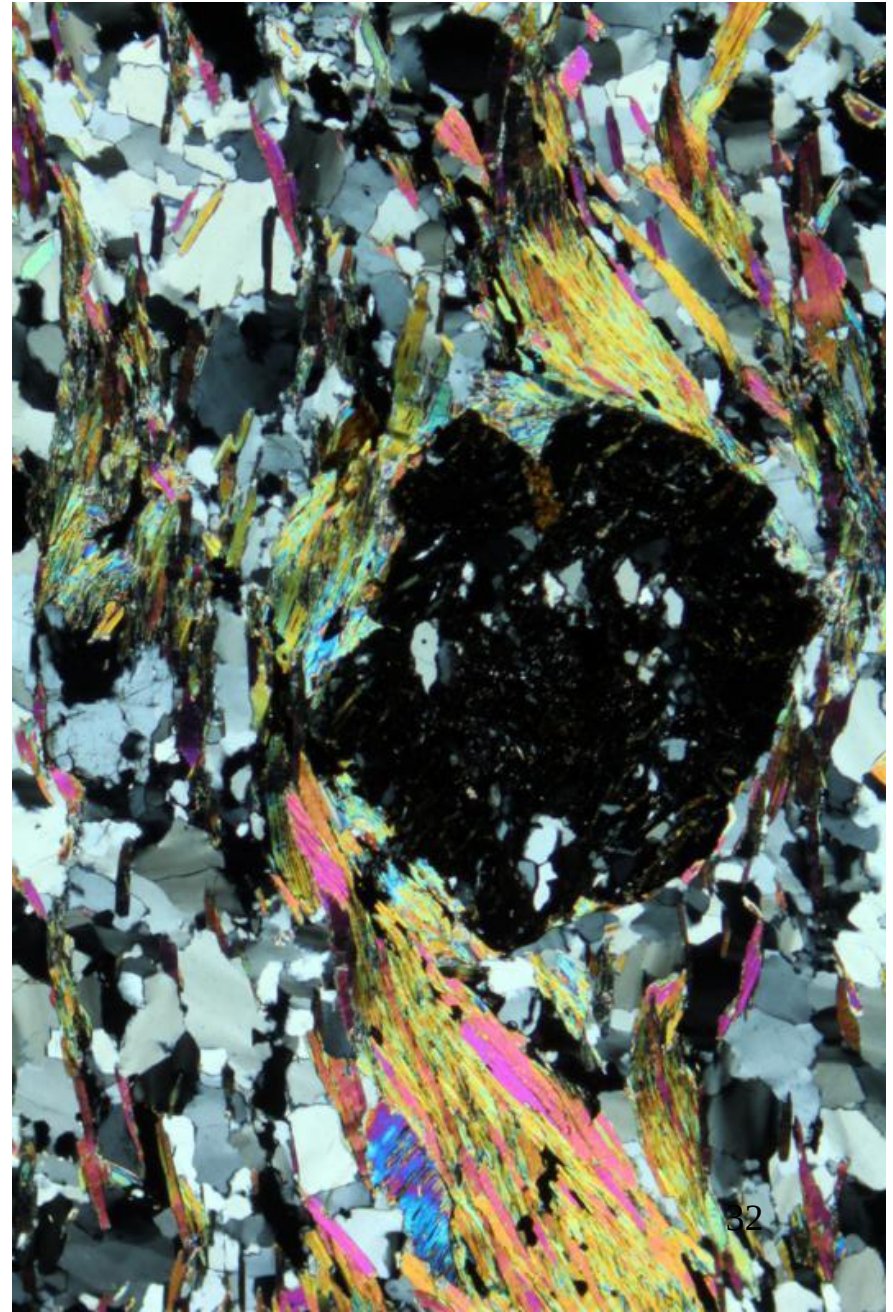
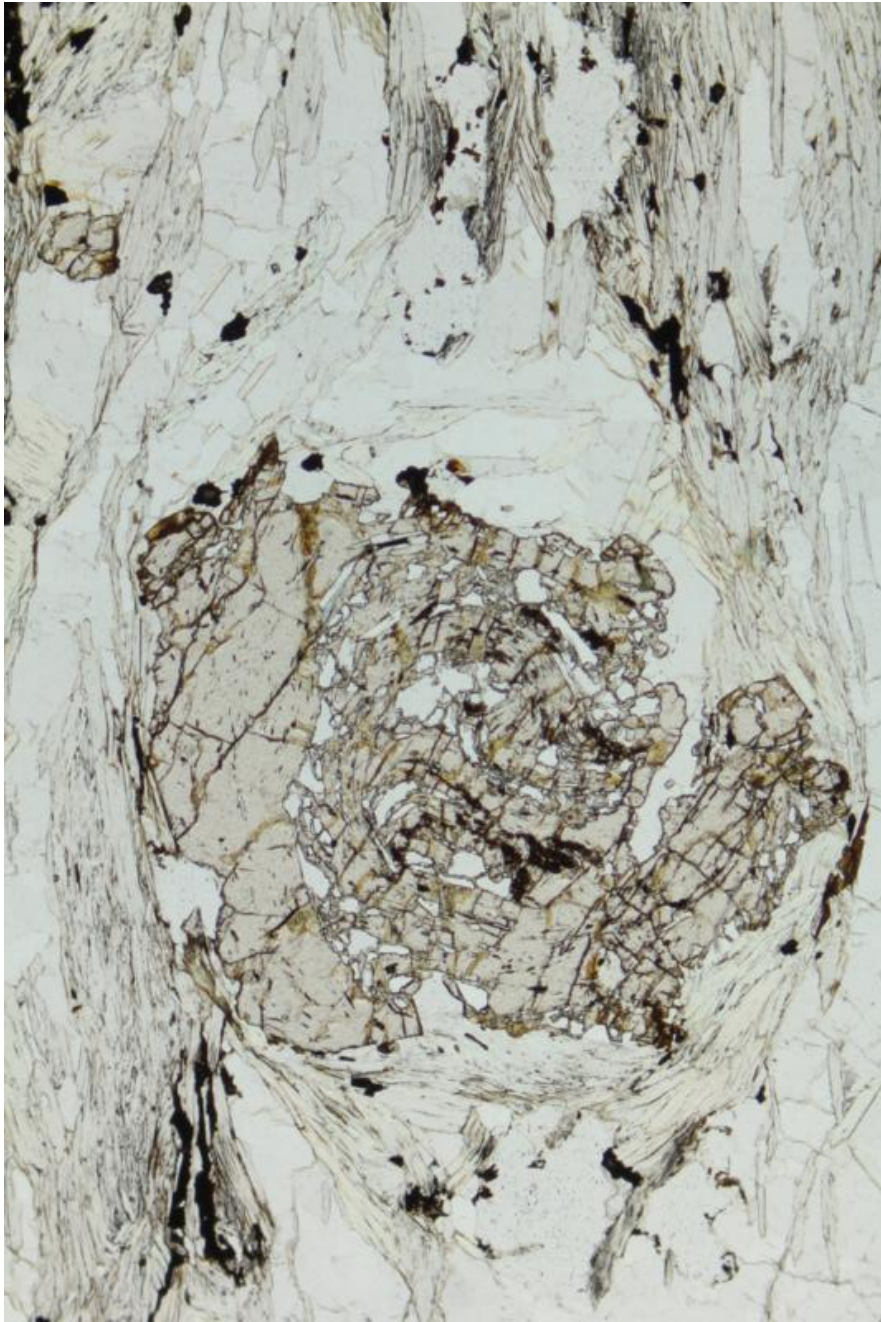


По **относительным размерам** различают структуры:

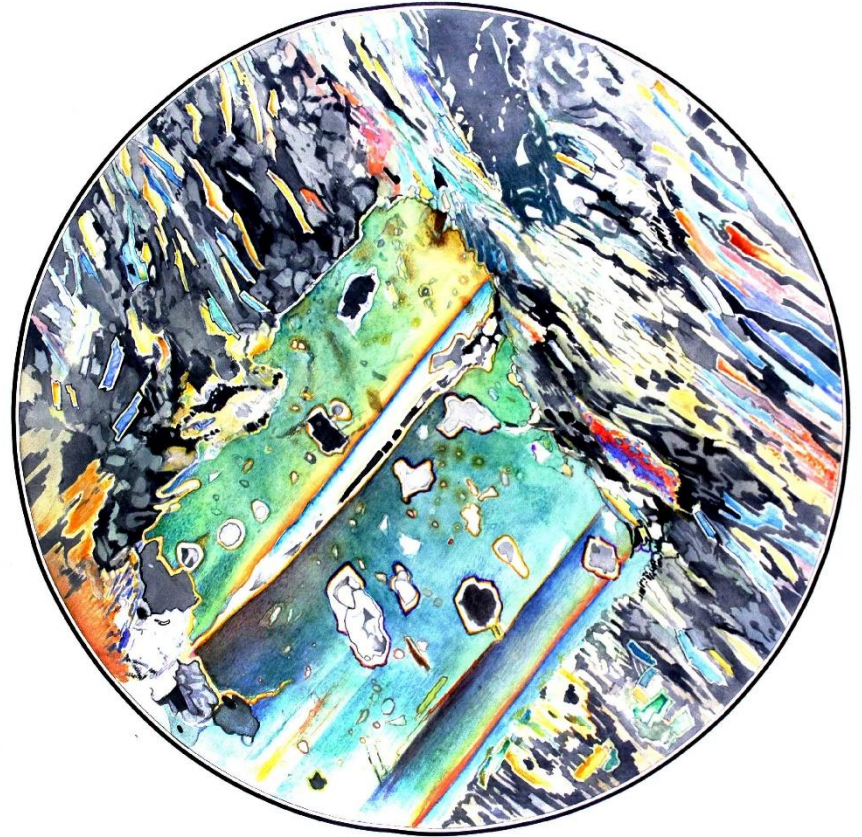
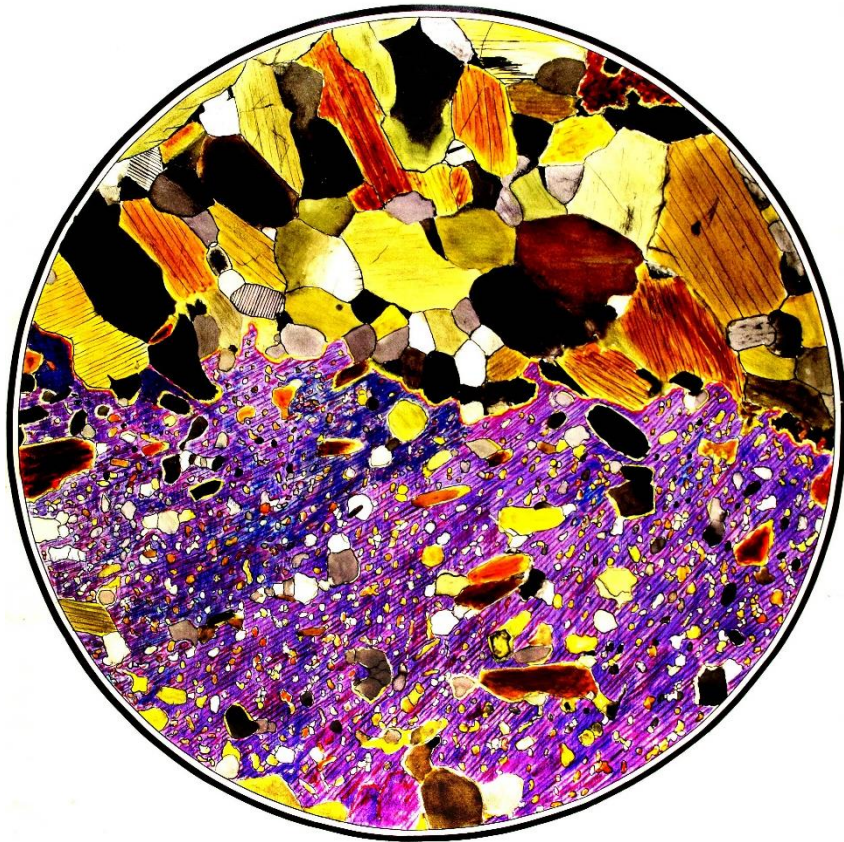
- **гомеобластовая** (агрегат зёрен одинакового размера);
- **гетеробластовая** (агрегат зёрен разных размеров);
- **порфиробластовая;**



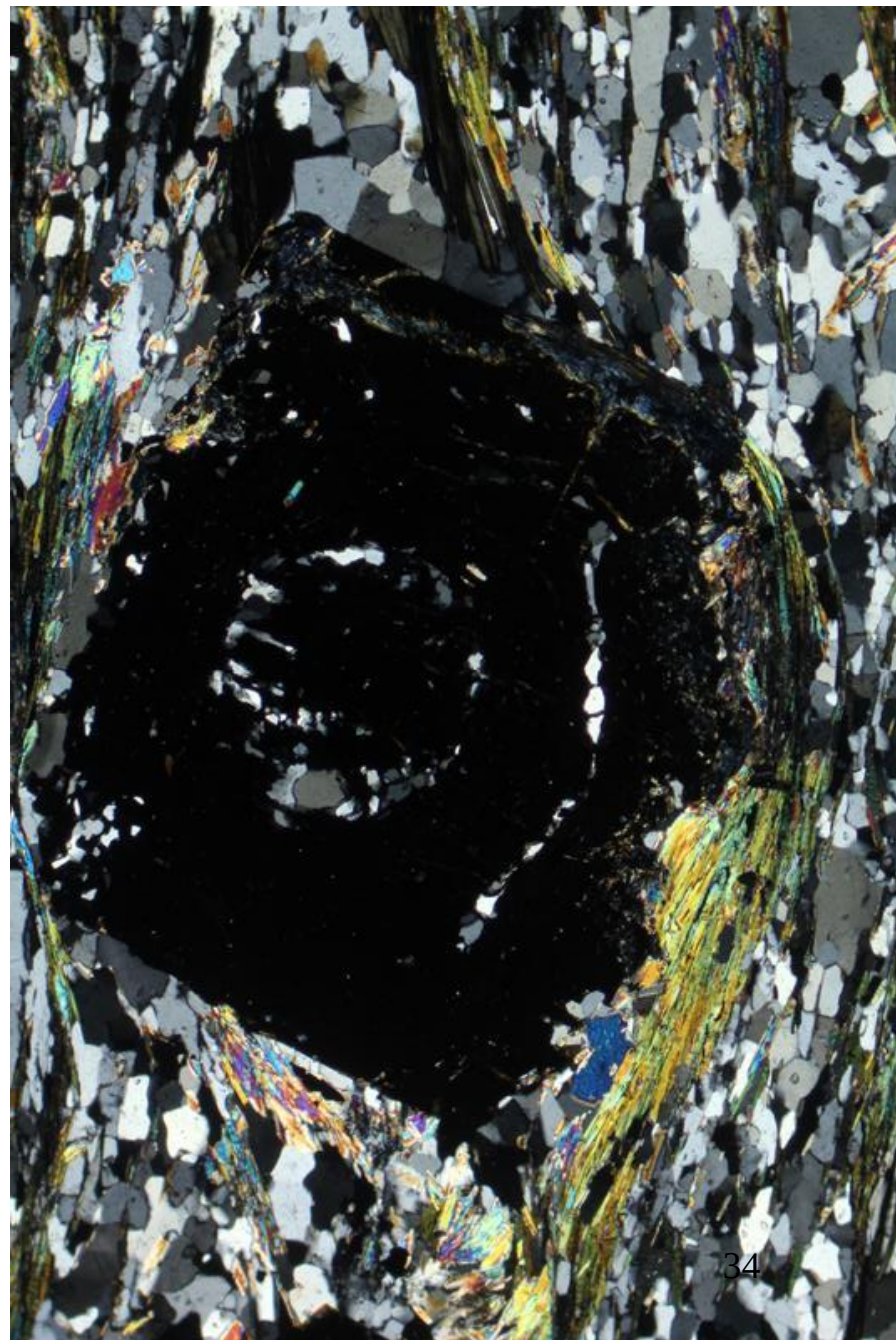
Порфиробласт граната в мусковит-кварцевом матриксе



Пойкилобластовая структура

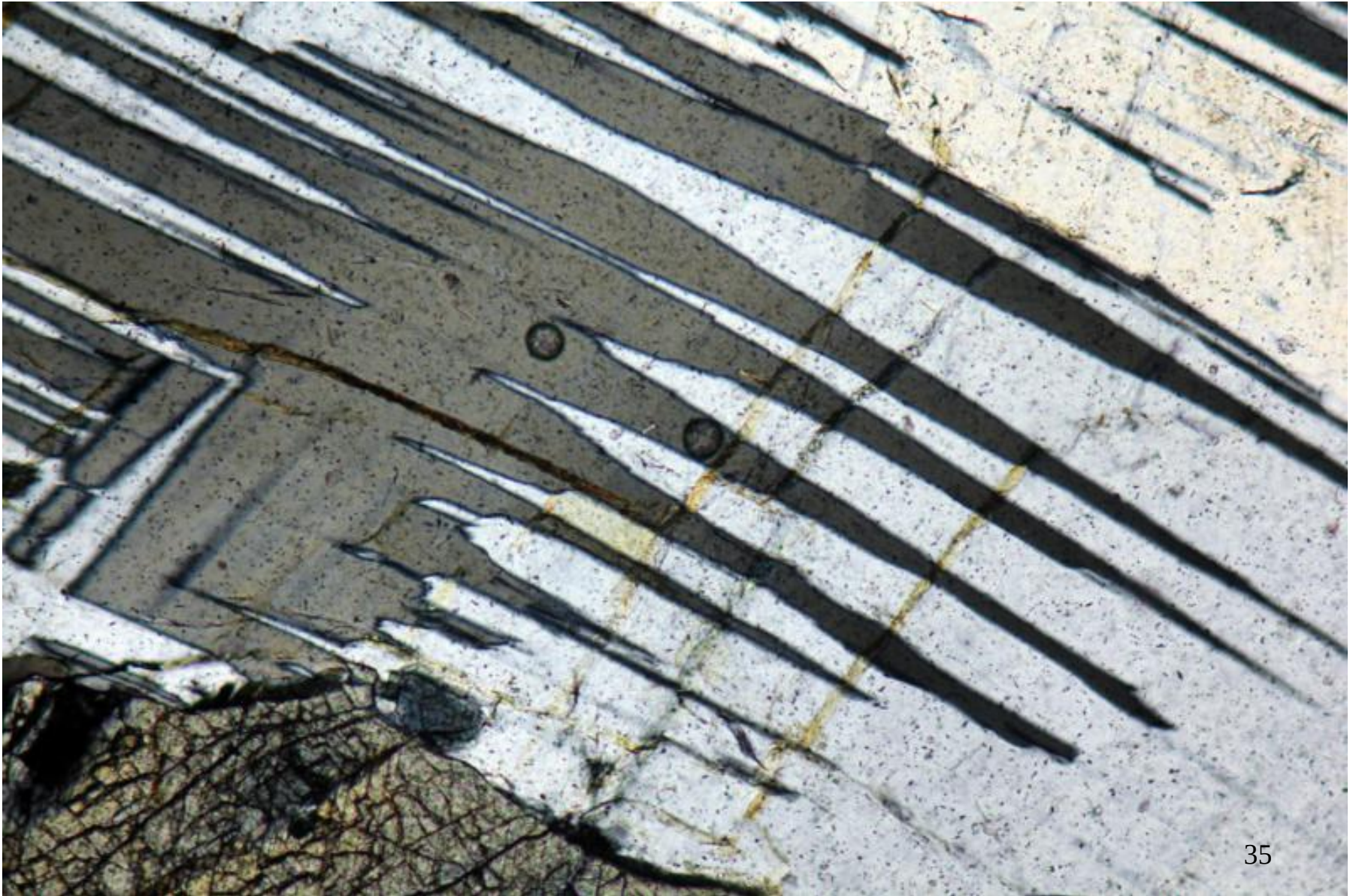


➤ Пойкилобласт граната со структурой «снежного кома»

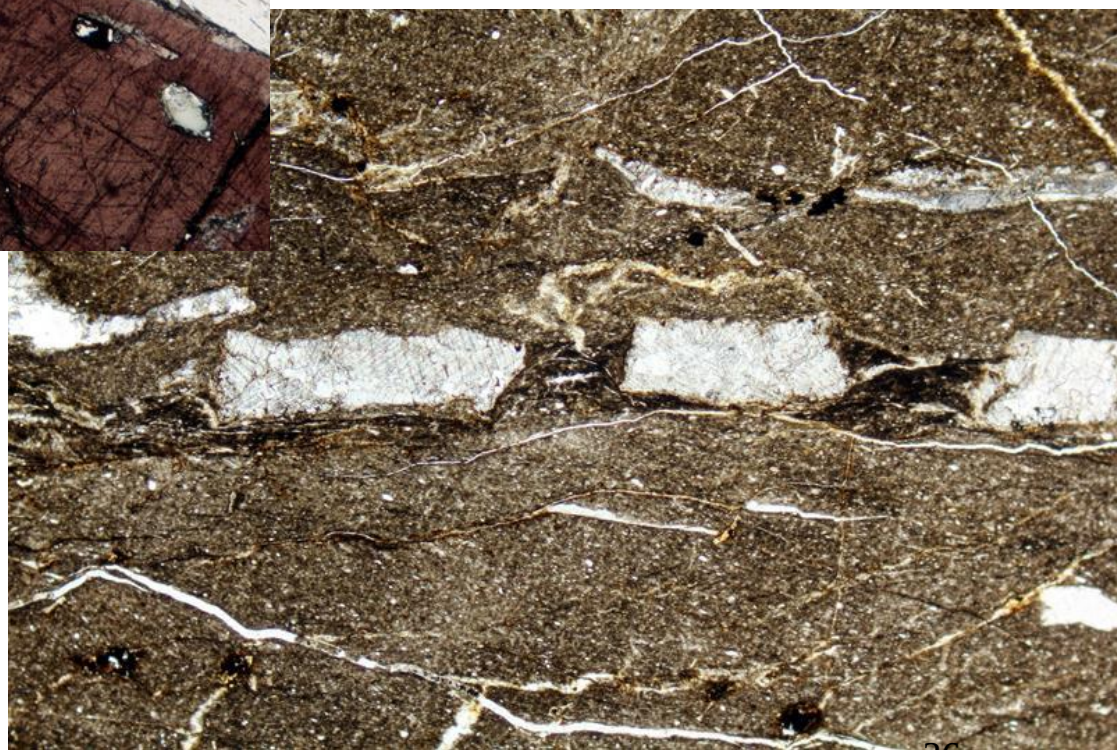
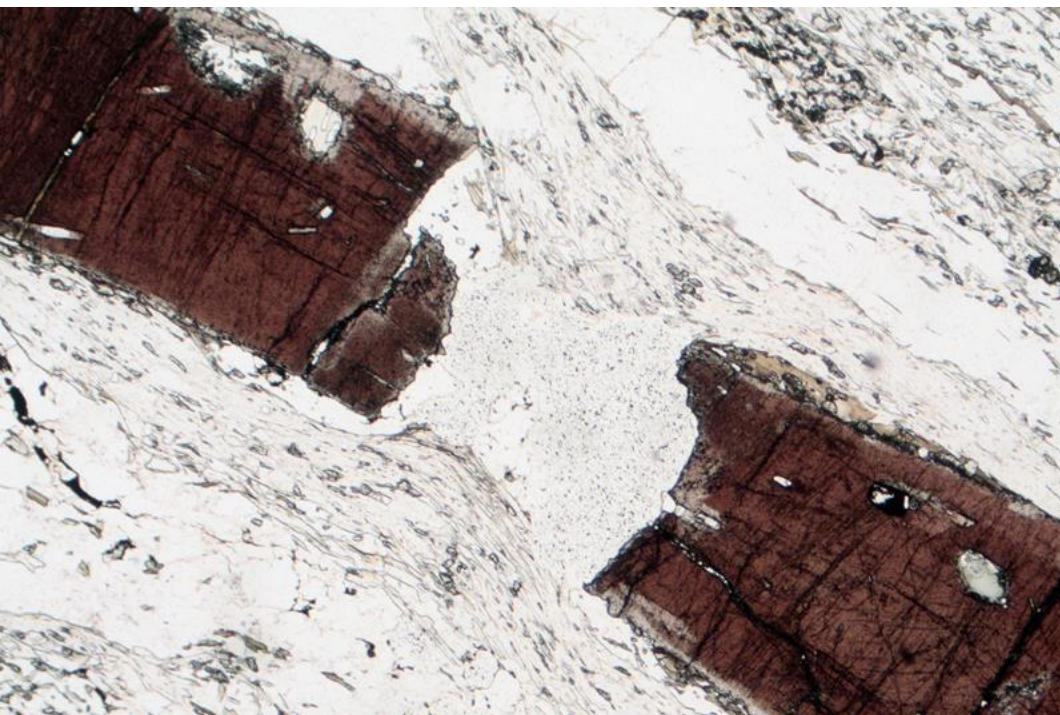


Некоторые особенности структур метаморфических пород:

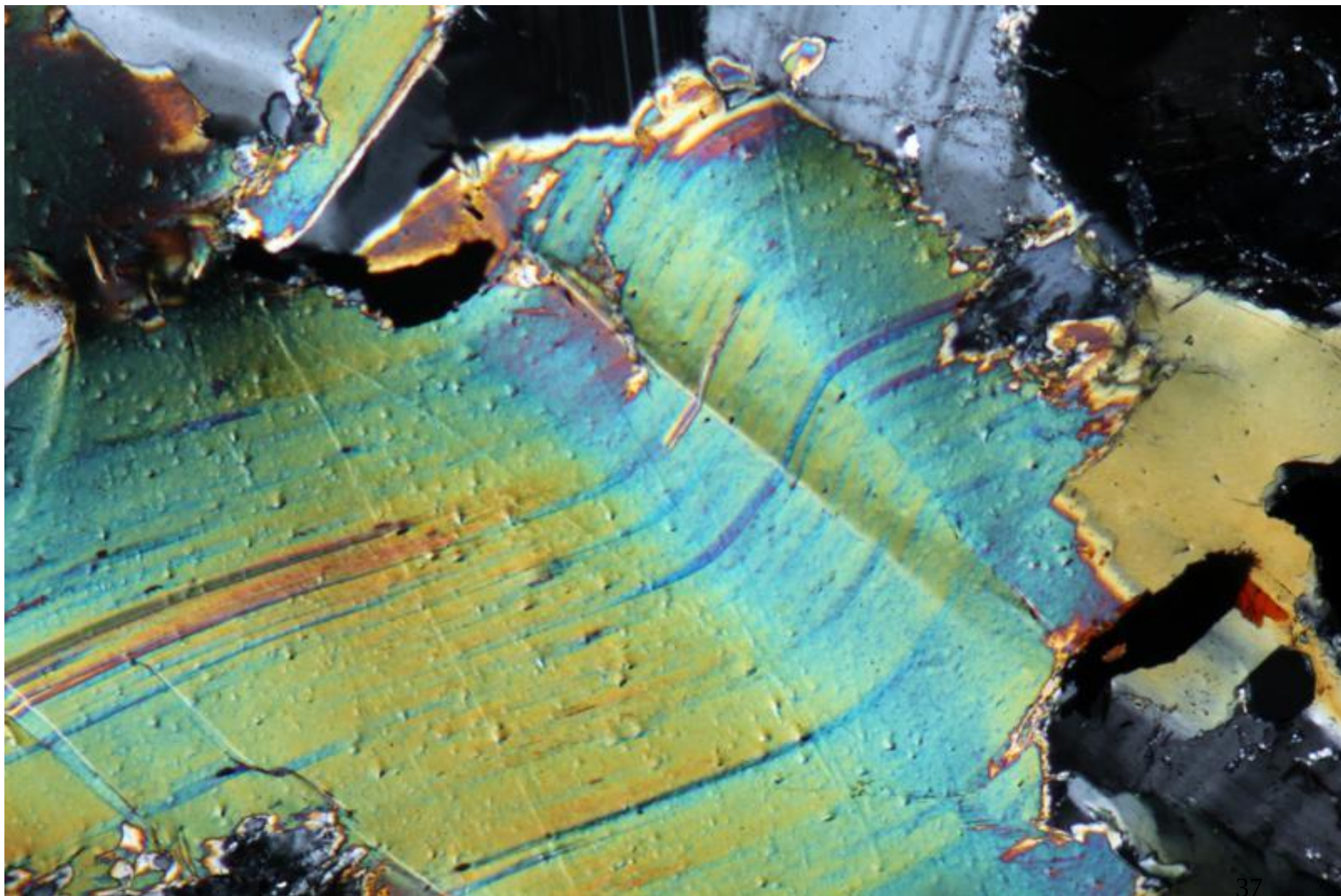
- Деформационные двойники в плагиоклазе



➤ Будинаж



➤ «Волнистое» погасание слюд

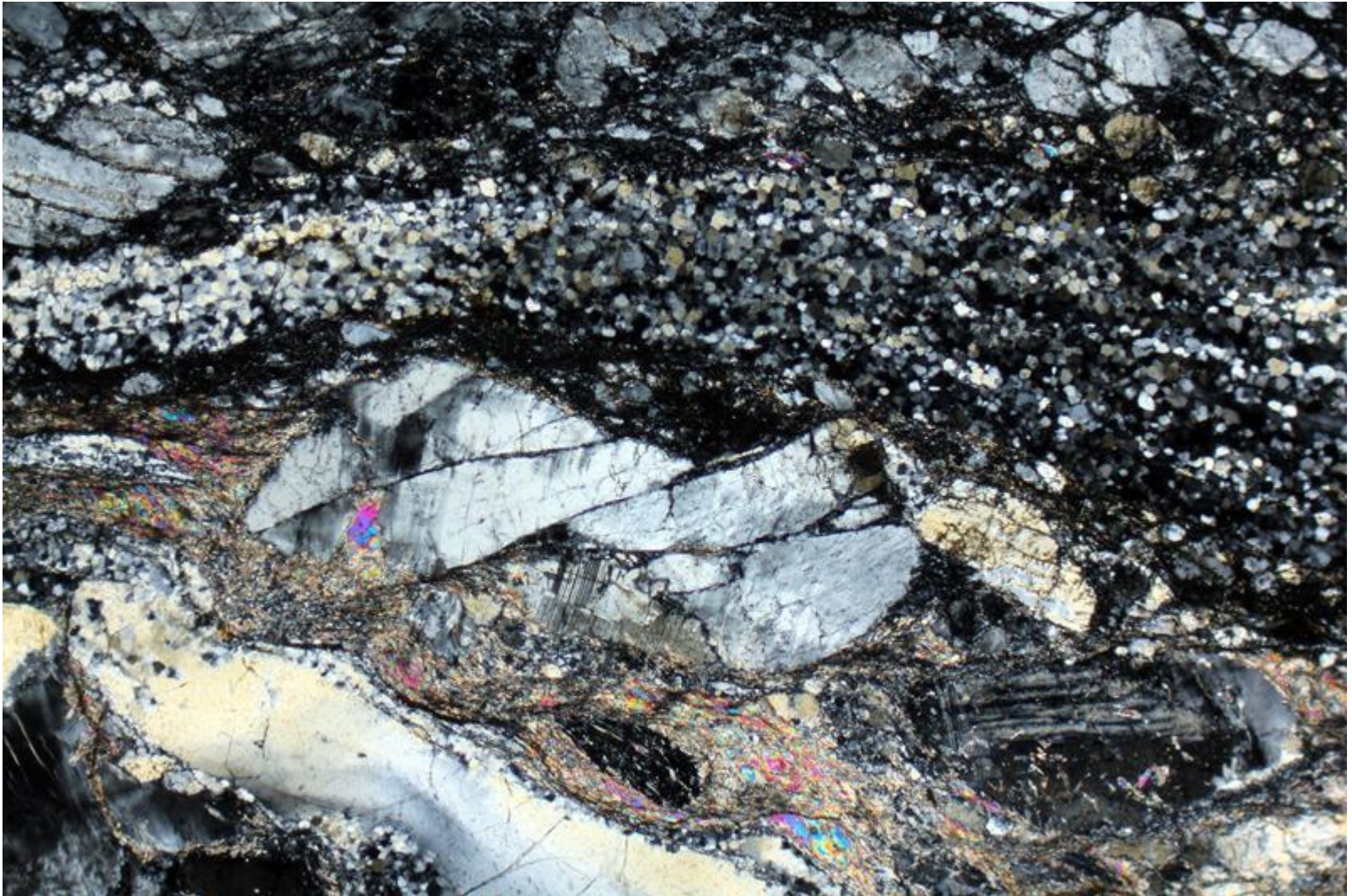


➤ Блочное погасание кварца

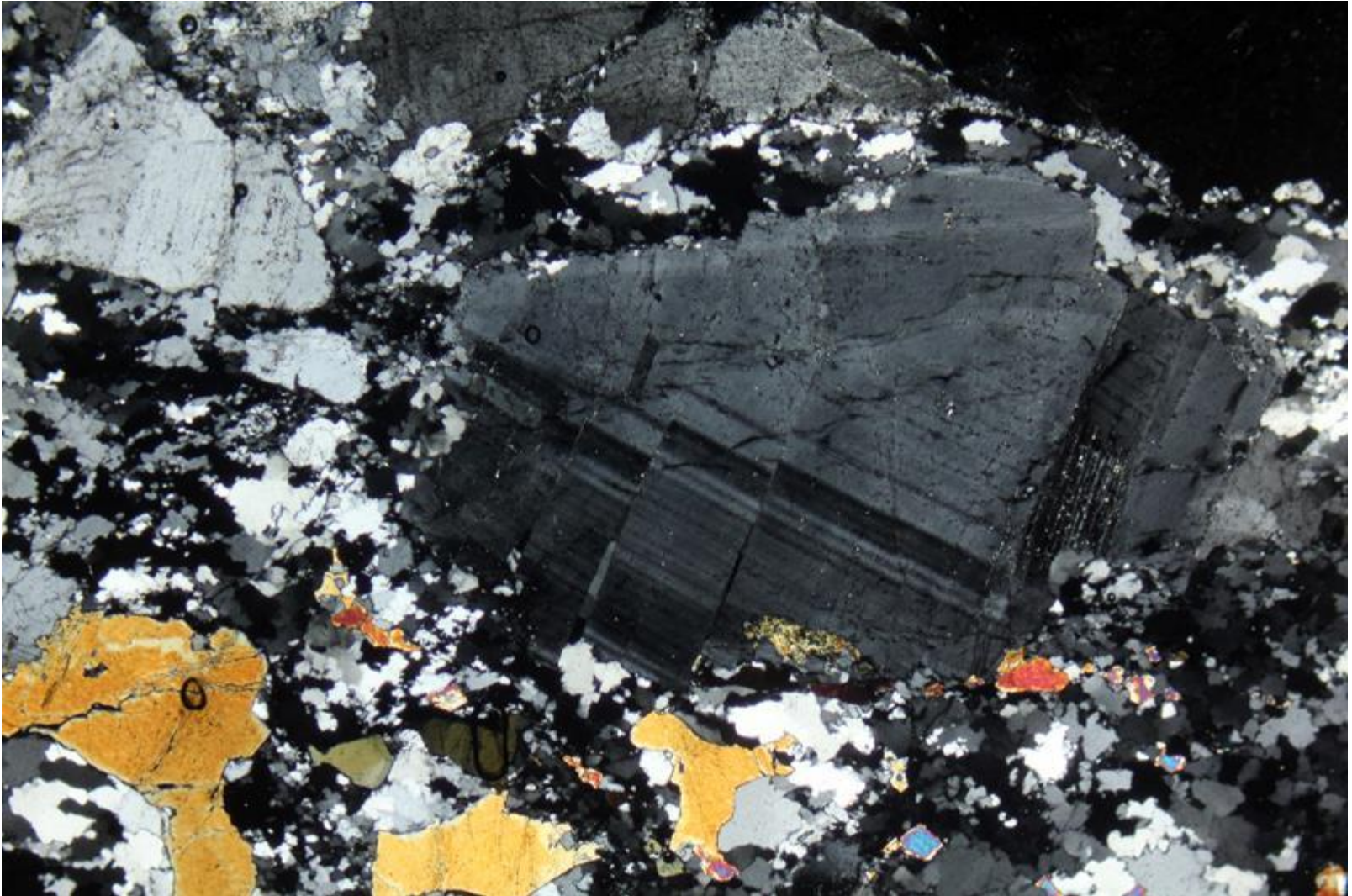




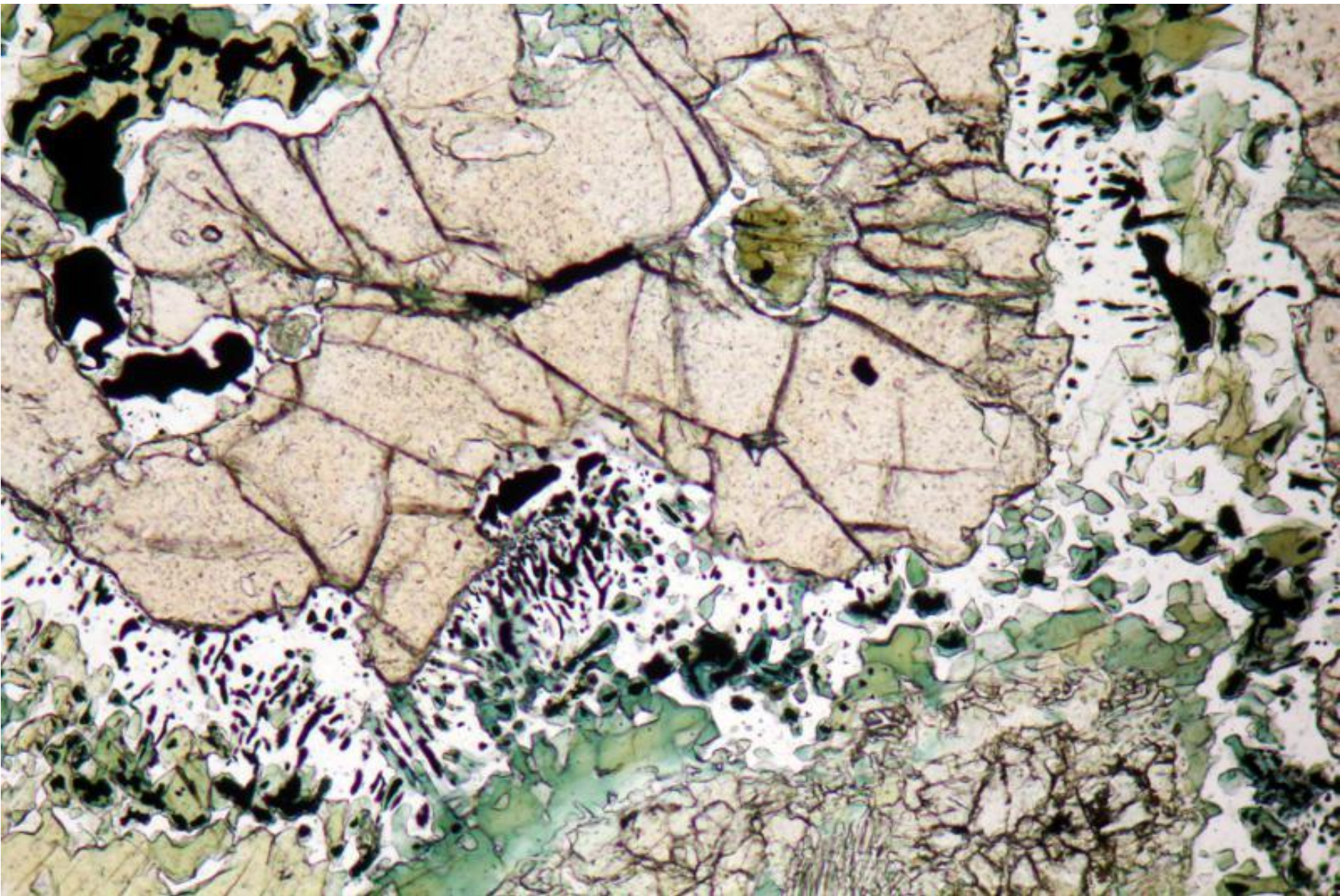
Bookshelf sliding



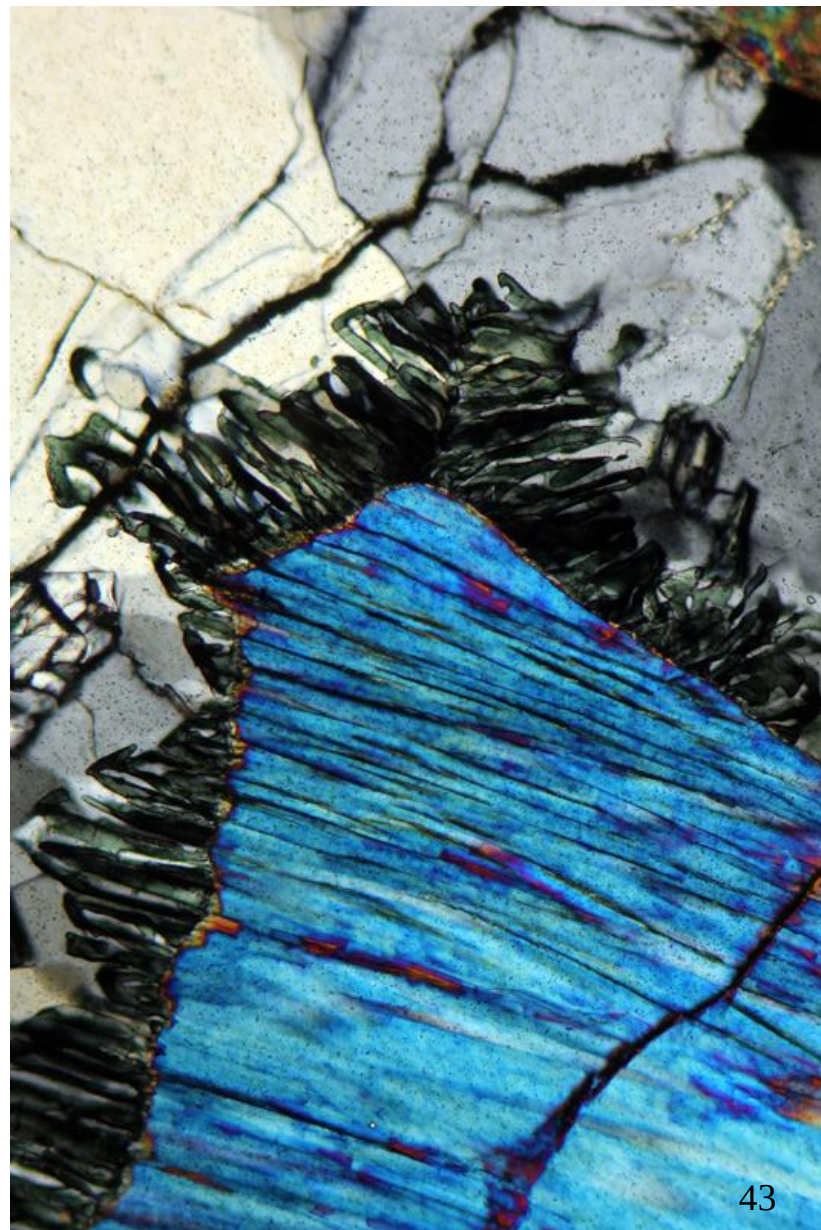
Bookshelf sliding



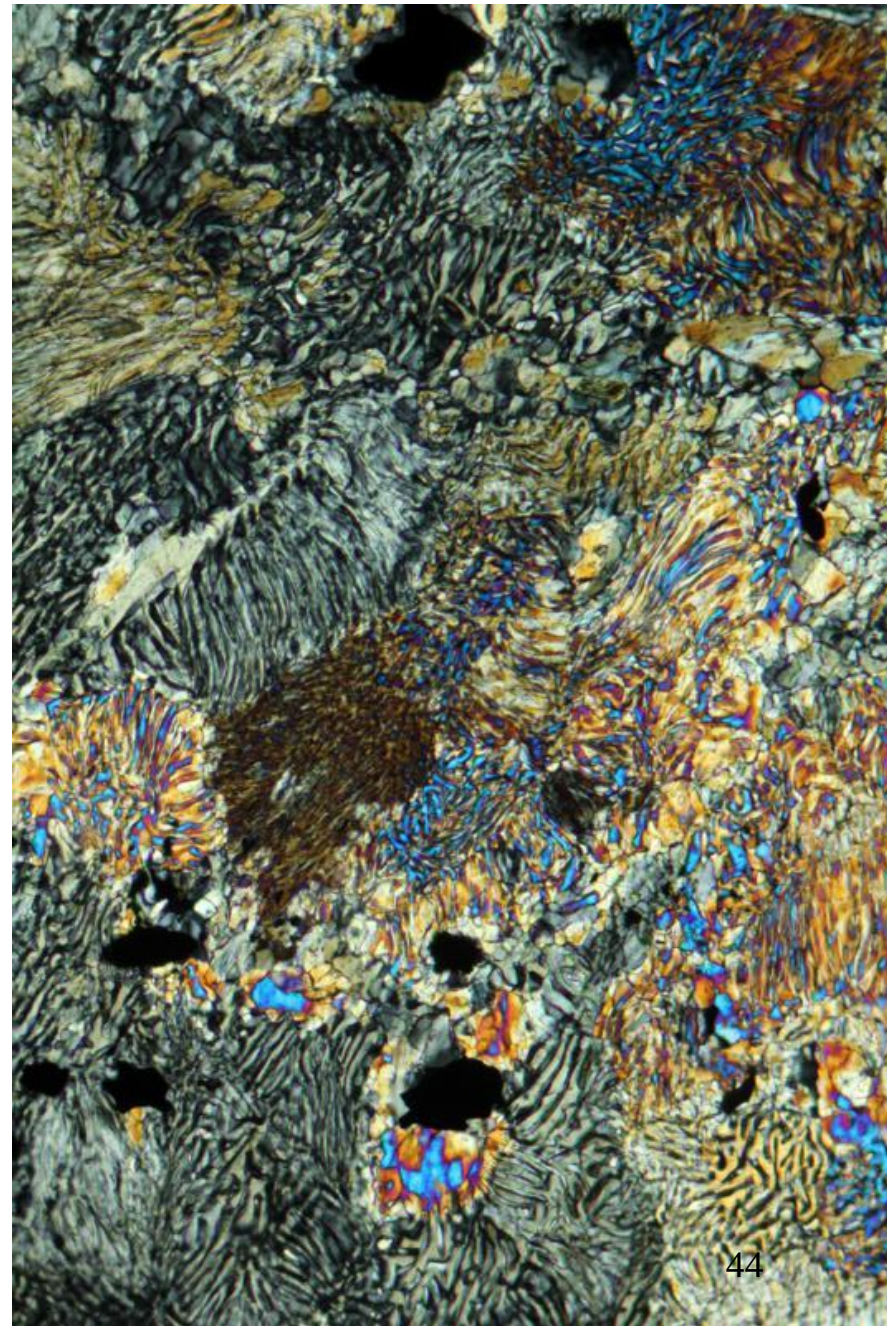
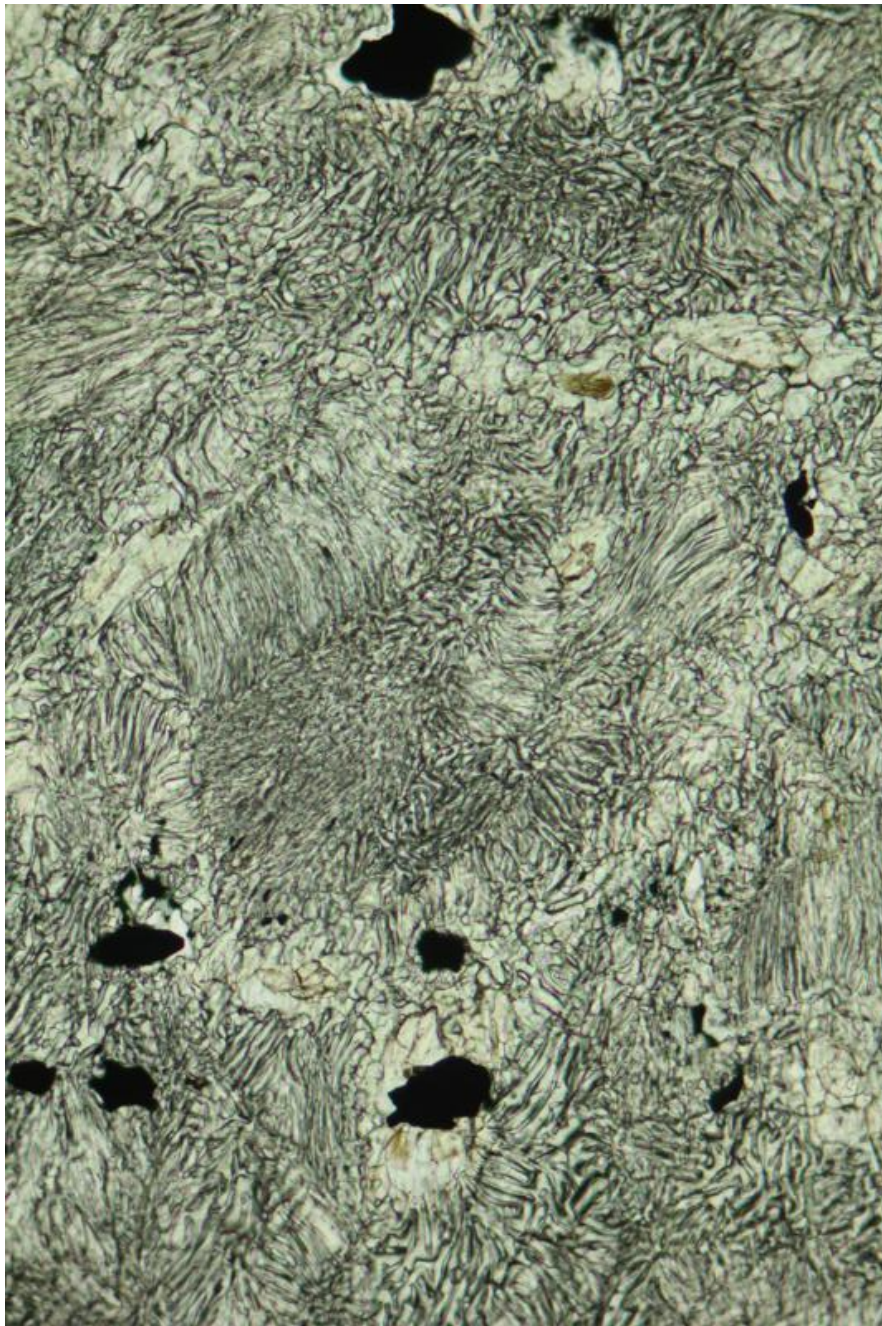
➤ Коронарные структуры



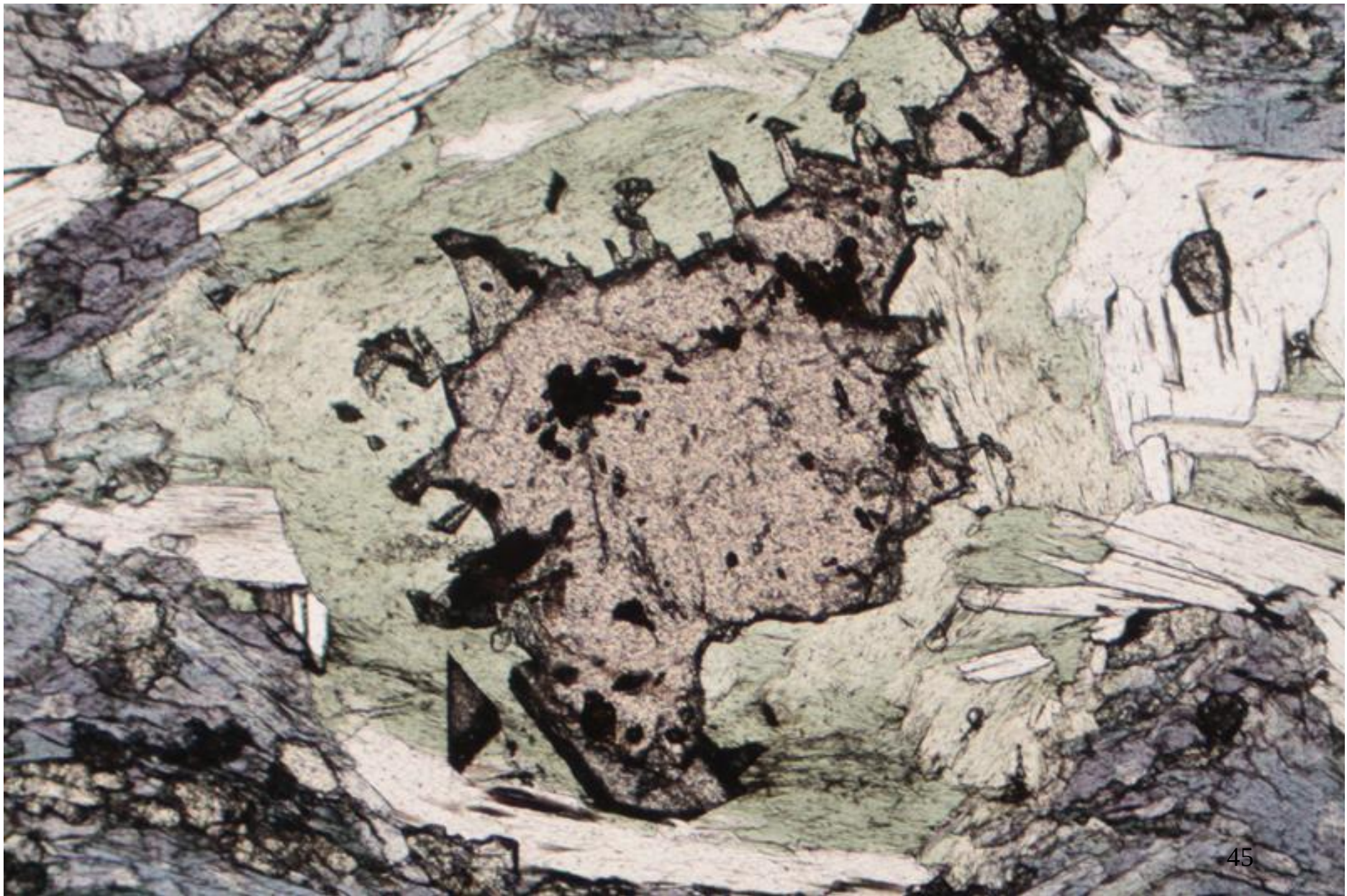
➤ Коронарные структуры



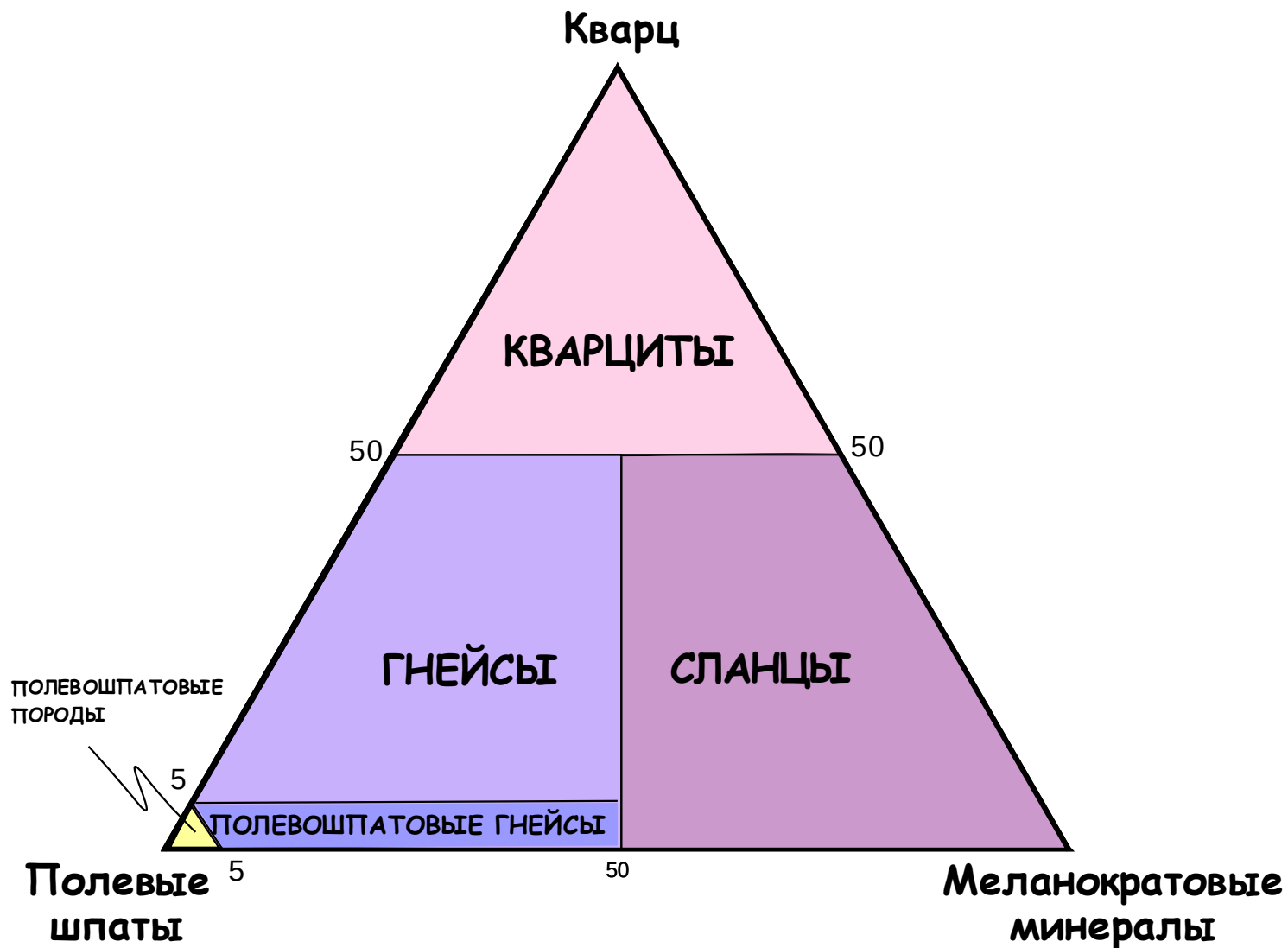
➤ Симплектитовые структуры (на фото- распад омфацита)



- Структуры замещения
(на фото – замещение порфиробласта граната хлоритом)



Номенклатура силикатных пород

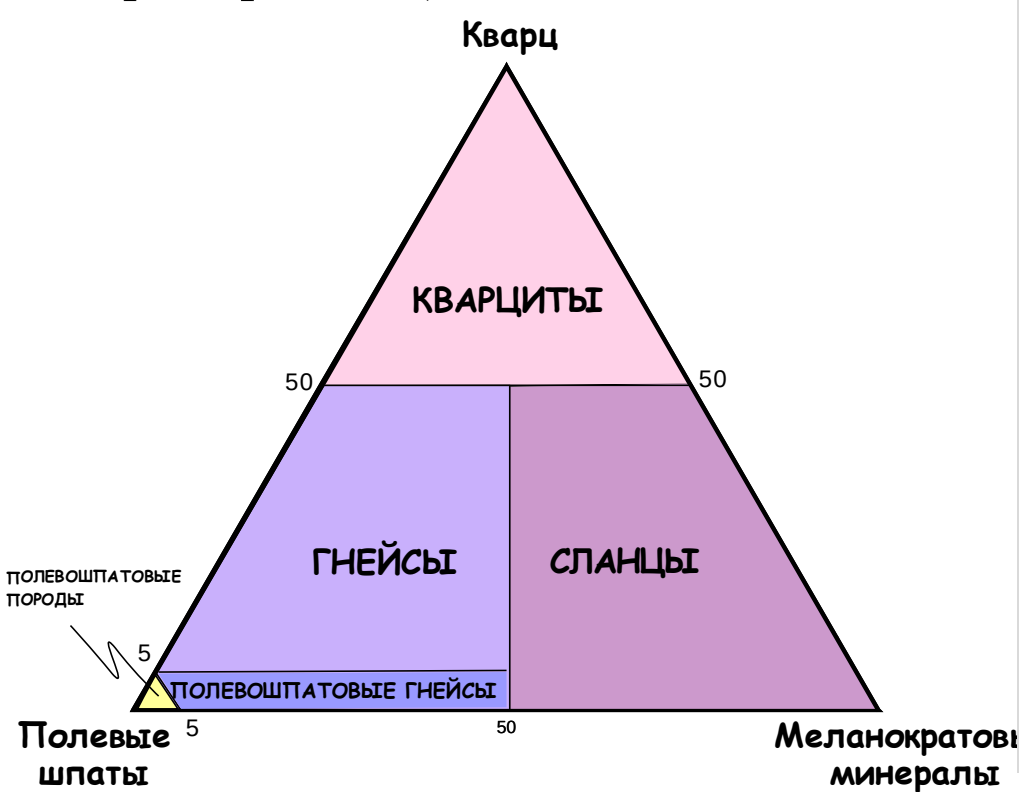


Классификация и номенклатура метаморфических горных пород

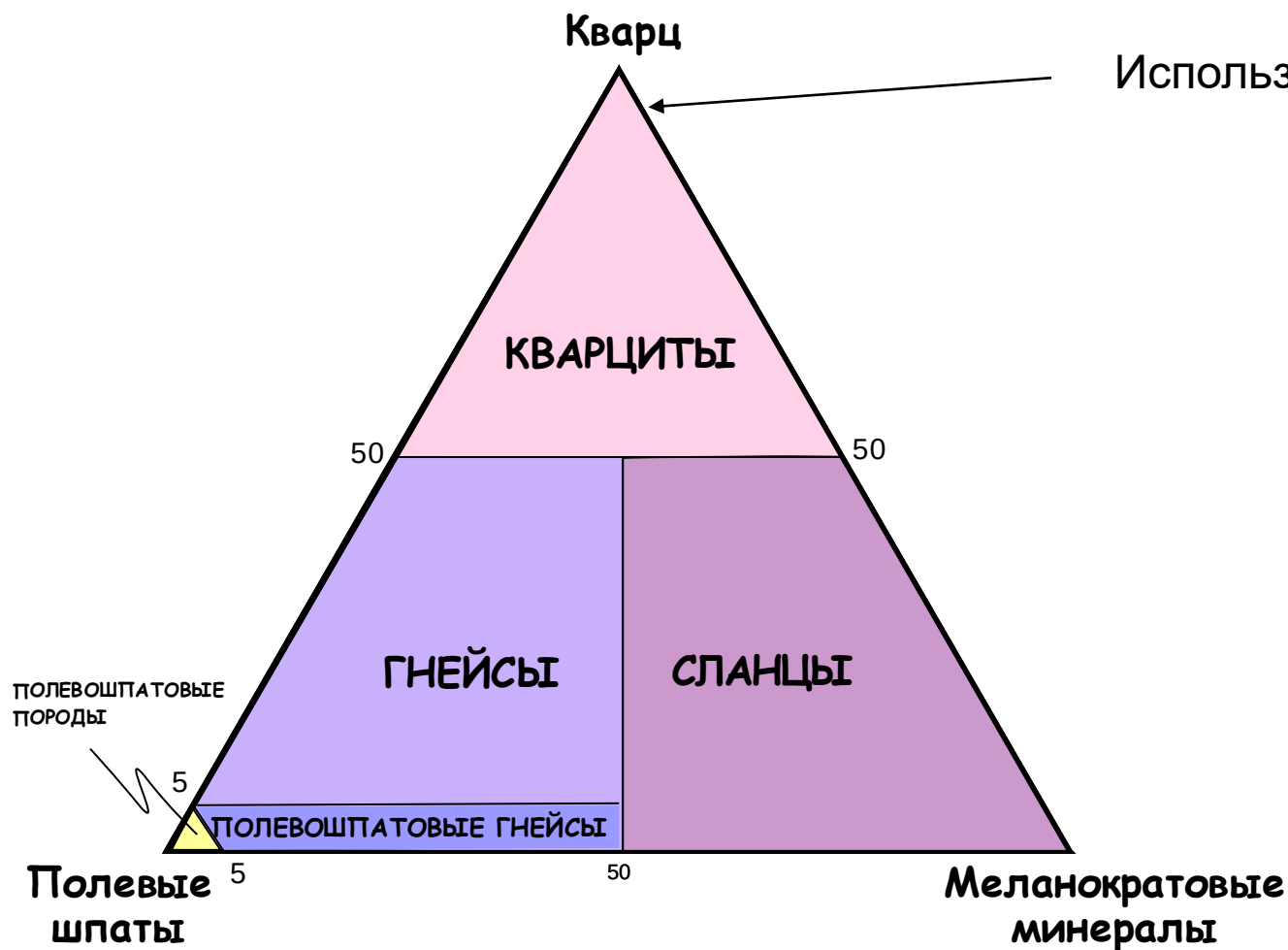
При названии породы учитываются ее текстура и минеральный состав.

Силикатные метаморфические горные породы по наличию или отсутствию ориентированных (директивных) текстур называются:

- Сланцы (обладающие сланцеватой текстурой);
- Гнейсы (обладающие гнейсовидной текстурой)
- Гранофельсы (обладающие массивной текстурой).



Этот треугольник, за исключением поля кварцитов, используется для названия пород с директивными текстурами. При их отсутствии сланцы и гнейсы «превращаются» в гранофельсы. При этом всегда в название выносятся названия всех минералов, присутствующих в породе в количестве >5%, например: мусковитовые кварциты, хлорит-мусковитовые кварциты, амфибол-двопироксен-плагиоклазовые сланцы, биотитовые гнейсы и т.п.



Используем этот треугольник



Спасибо за внимание!



Гранатовый амфиболит, состоящий из роговой обманки (черное), плагиоклаза (белое) и граната (красно-коричневое).