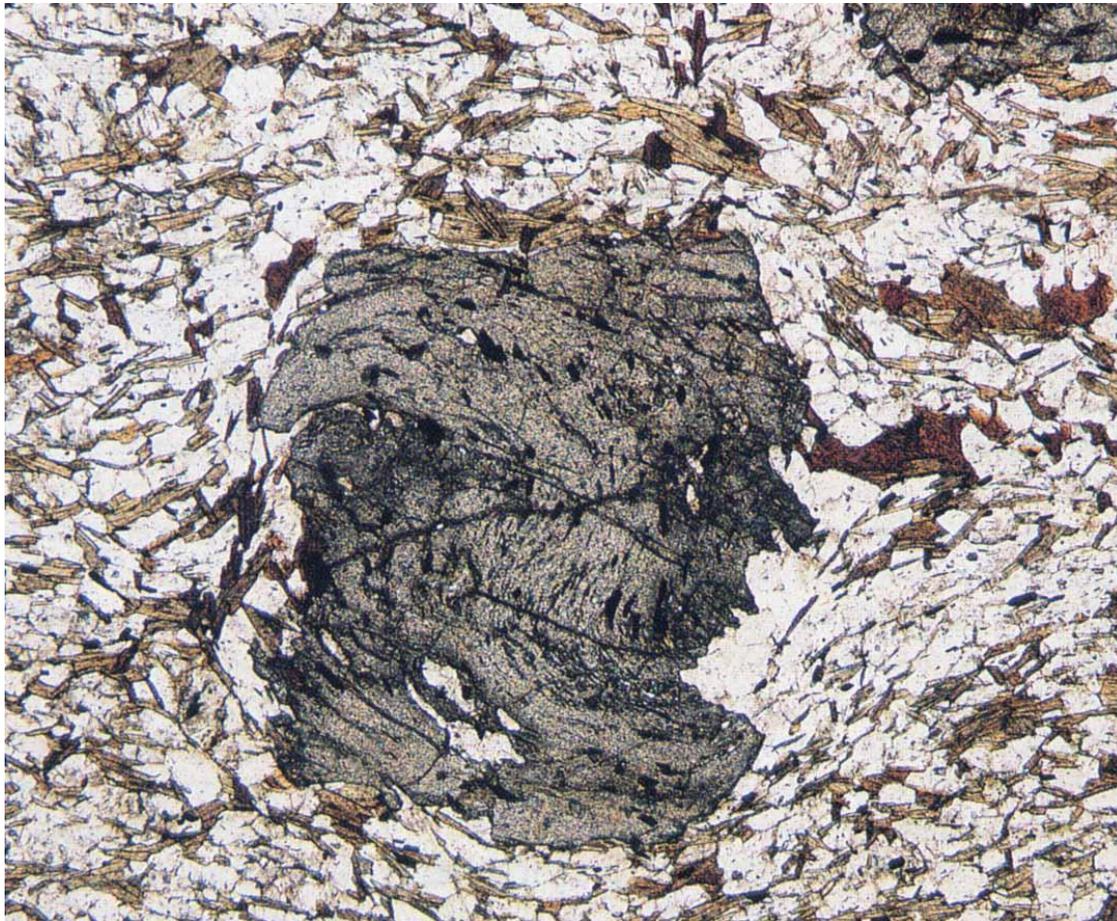
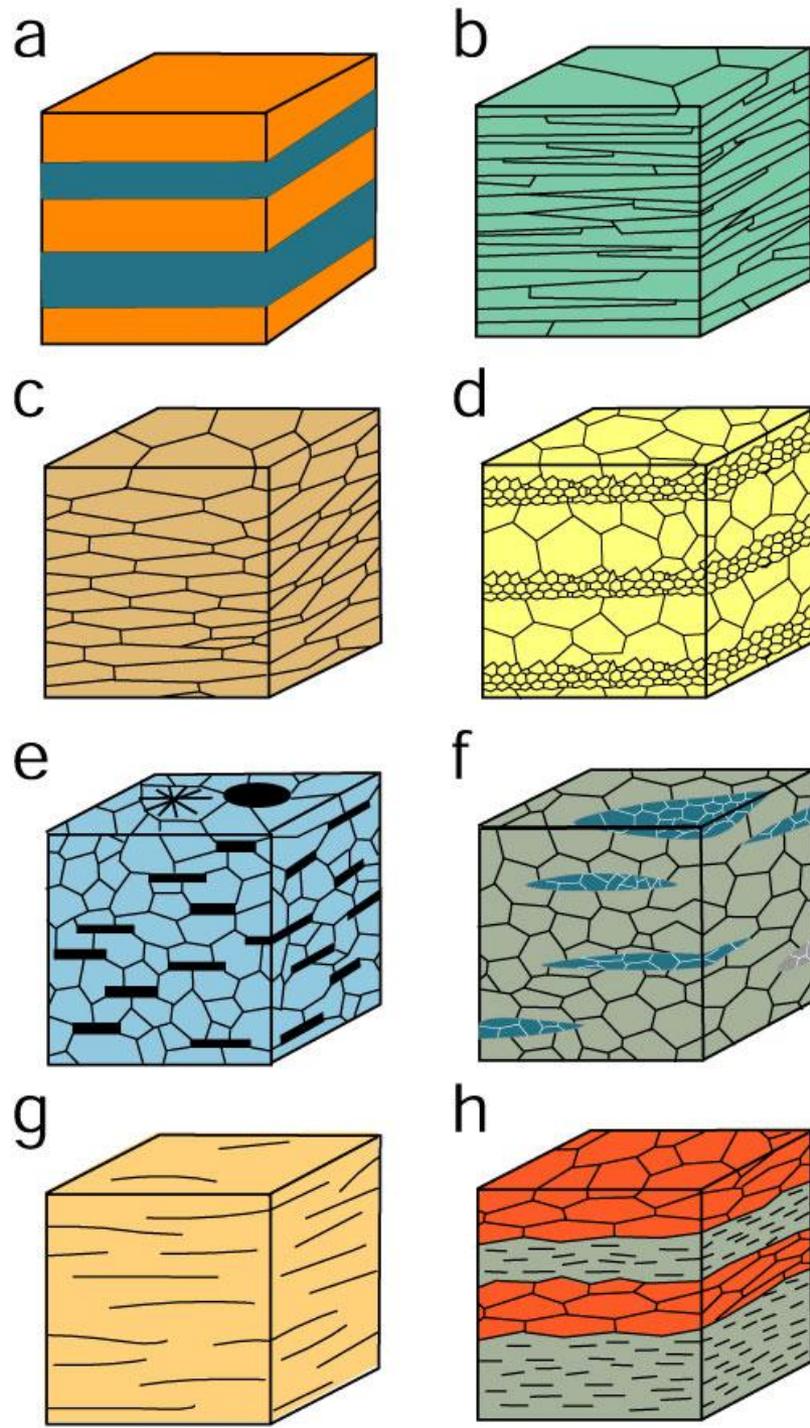


# Текстуры и структуры метаморфических горных пород



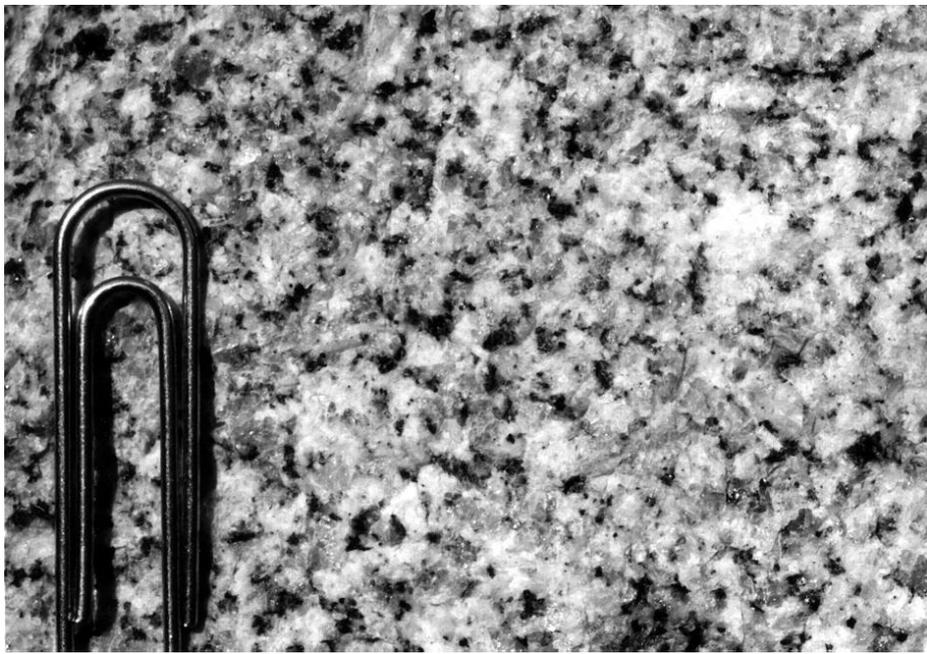
# Текстуры

- Текстуры формируются за счет процессов метаморфизма **или** являются реликтовыми (унаследованными). Поскольку метаморфизм часто происходит в условиях бокового давления (стресса), то наиболее распространенными текстурами метаморфических пород являются директивные, т. е. ориентированные.

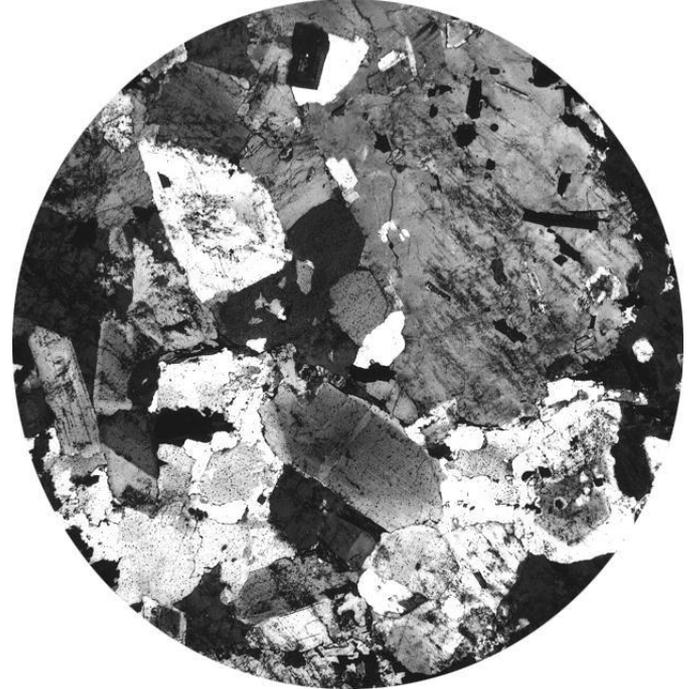


- *Текстуры метаморфических пород отражают распределение минералов в пространстве, определяющее внешний облик породы. Это массивная или пятнистая текстура контактовых роговиков, сланцеватая или пльчатая для слюдистых и актинолитовых сланцев, гнейсовая или гнейсовидная для гнейсов и гранитогнейсов, полосчатая для мигматитов. Образование сланцеватых и гнейсовых текстур обусловлено ростом минералов при ориентированном давлении. На гранях зерен, где давление выше, минерал растворяется и переотлагается в «тенях давления» - в направлении более низкого давления.*

- Особый тип структур и текстур возникает при дислокационном или катакластическом метаморфизме. Катаклаз проявляется при снижении температур и активизации бокового давления, когда пластические деформации вновь сменяются хрупкими. Краевые части минералов крошатся, перетираются, кварц образует линзы, обтекающие обломки. По степени разрушения и крупности обломков различают **брекчии, катаклазиты и МИЛОНИТЫ.**
- *Милониты* бывают настолько тонкозернистые, что неразличим предшествующий катаклазу облик породы. Так часто милонитизированные граниты при картировании принимают за вулканические породы – порфириты



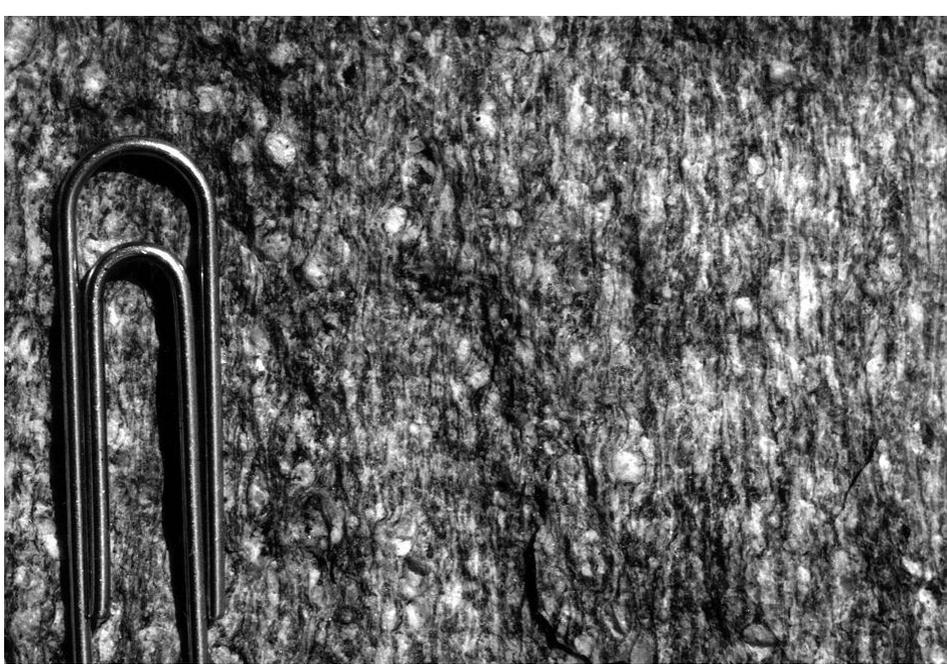
a



b



**Figure 23.15.** Progressive mylonitization of a granite. From Shelton (1966). *Geology Illustrated*. Photos courtesy © John Shelton.



c



d

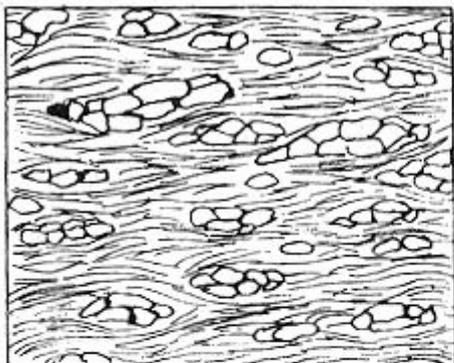


**Figure 23.15.** Progressive mylonitization of a granite. From Shelton (1966). *Geology Illustrated*. Photos courtesy © John Shelton.

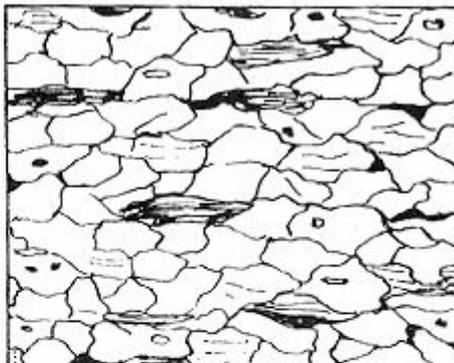
# Текстуры МП

- МАССИВНАЯ
- ПЯТНИСТАЯ
- ДИРЕКТИВНЫЕ (СЛАНЦЕВАТАЯ, ГНЕЙСОВИДНАЯ, ПОЛОСЧАТАЯ, ЛИНЗОВИДНО-ПОЛОСЧАТАЯ, ПЛОЙЧАТАЯ)

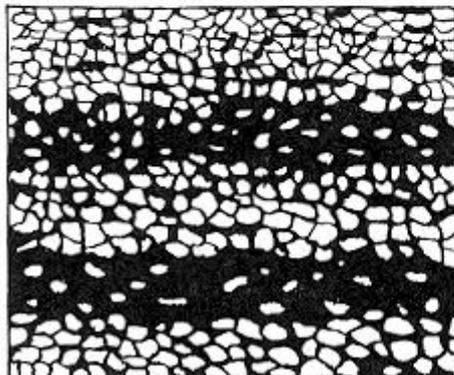
а



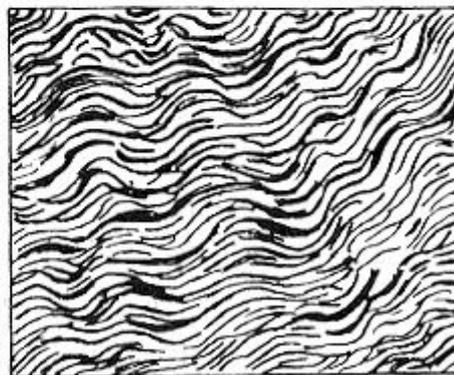
б



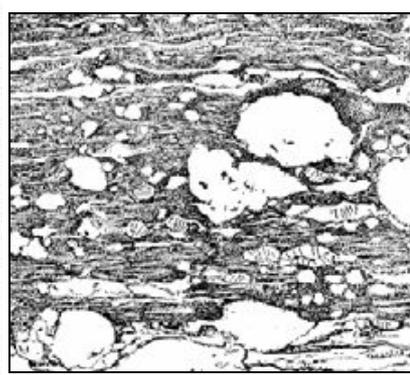
д



в



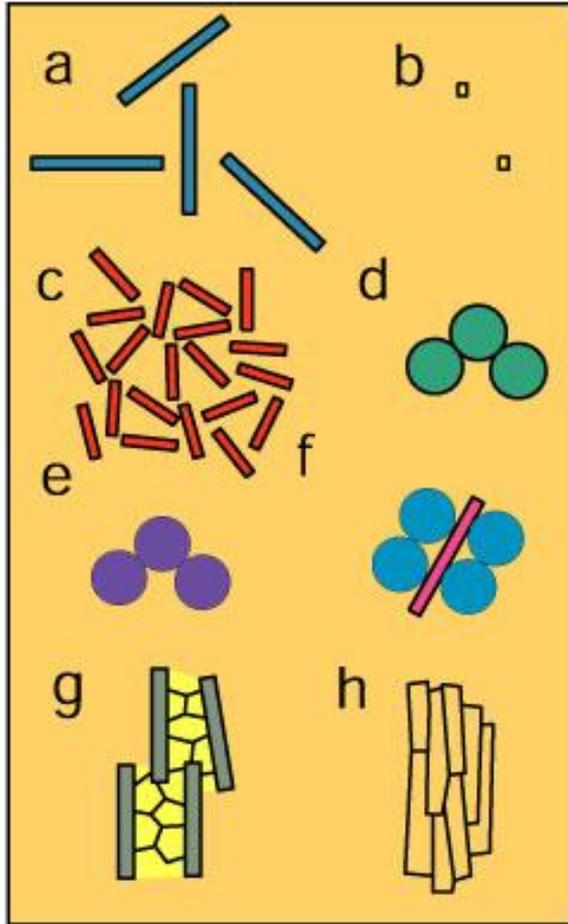
г



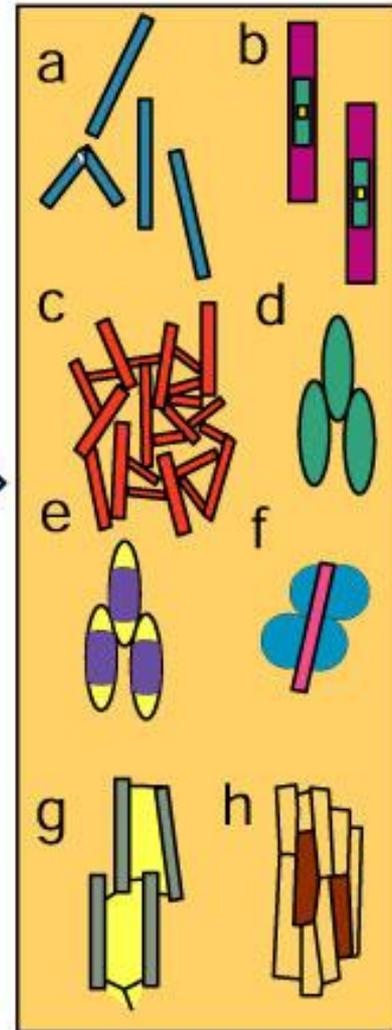
е

Текстуры метаморфических пород (по Богатикову и др., 2001): **а** – сланцеватая; **б** – гнейсовидная; **в** – полосчатая; **г** – плойчатая. Катаклазиты: **д** – брекчия; **е** – очковый гнейс

before deformation

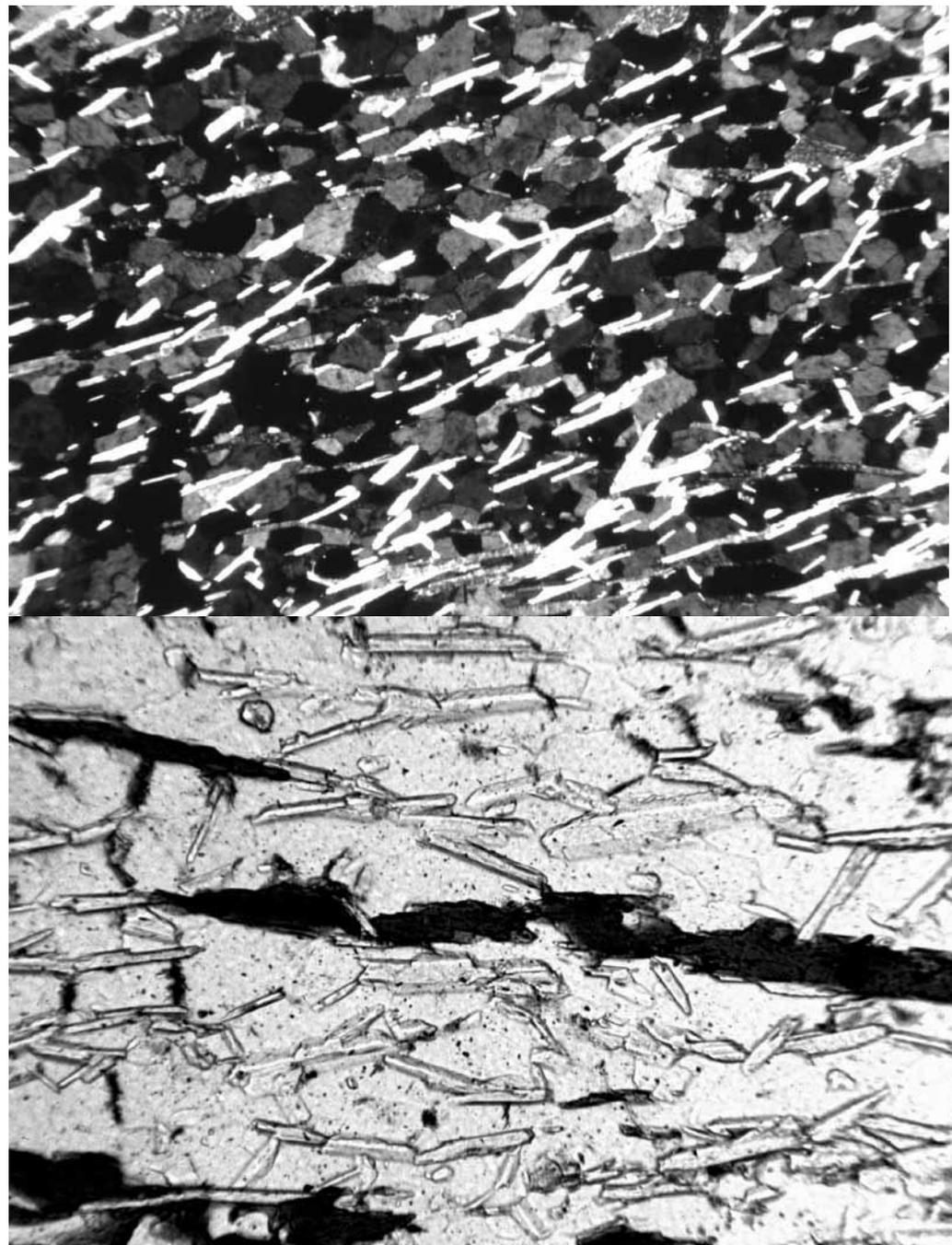


after deformation



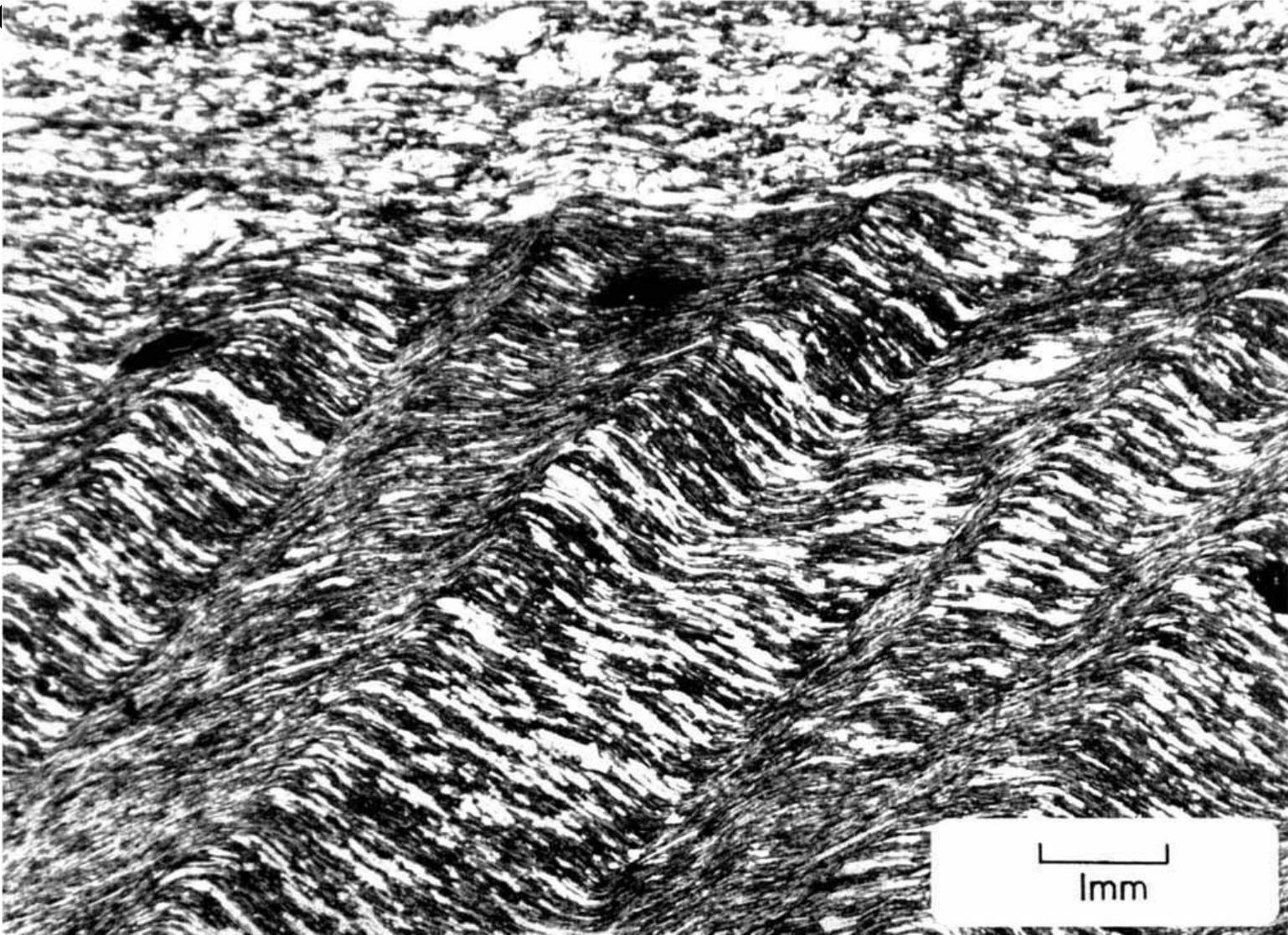
# Текстуры

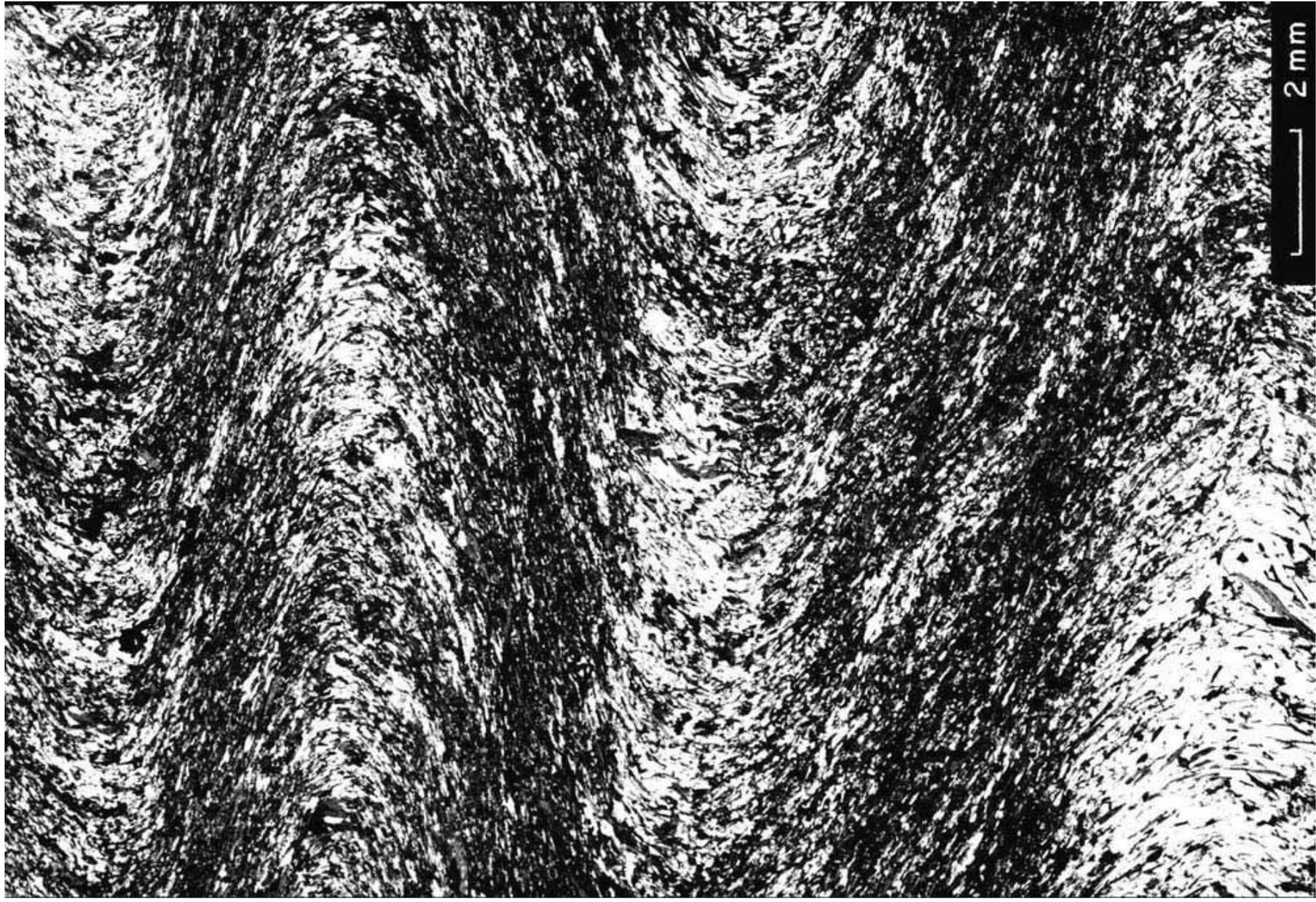
- Среди директивных преобладает *сланцеватая* текстура, когда выделения всех минералов вытянуты в одном направлении. Очень часто метаморфические породы сланцеватой текстуры одновременно обладают также *полосчатой* или *линзовидно-полосчатой* текстурой.



# Текстуры

- При микроскладчатости в метаморфических породах образуются мелкие плейки и возникает *плойчатая* текстура





# Текстуры

## Очковый гнейс

- При наличии в метаморфических породах крупных выделений отдельных минералов или групповых скоплений минералов возникает *очковая* текстура. И, наконец, отдельные типы метаморфических пород обладают равномерным распределением всех составляющих их компонентов, т.е. имеют *массивную* текстуру.

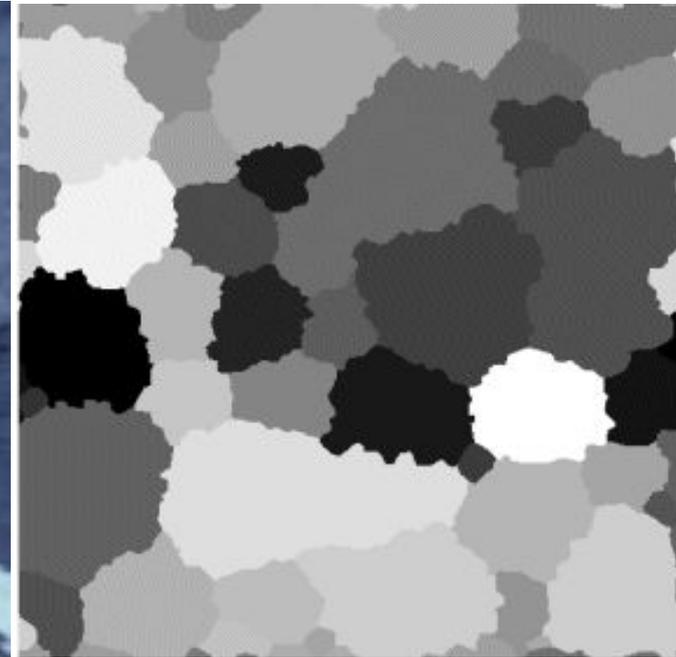
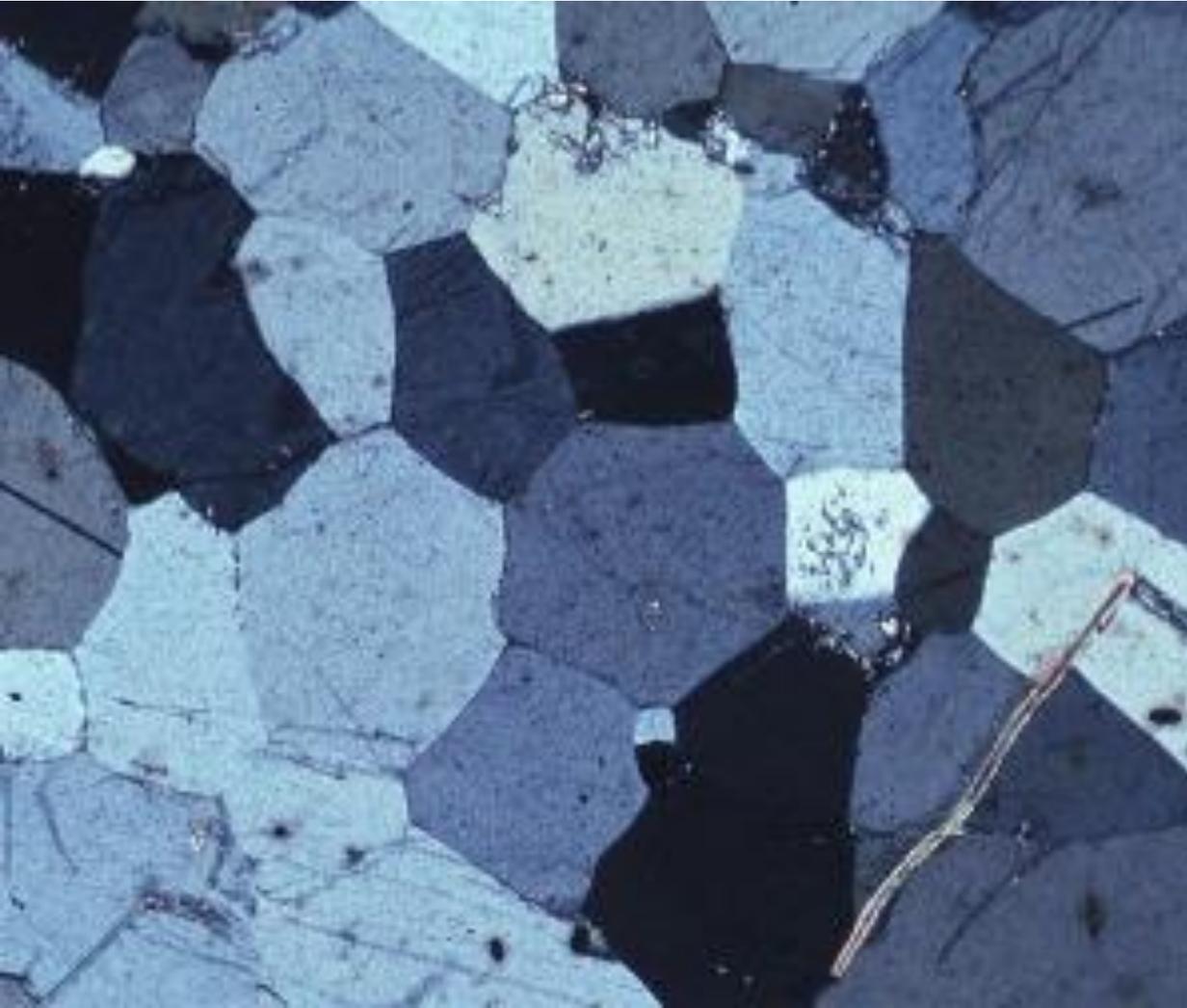


# Структуры

- Большинство структур метаморфических пород являются *бластовыми*, когда все минералы растут одновременно в твердом состоянии при наличии растворов. Кроме того, структуры делятся по абсолютным и относительным размерам минералов. В первом случае принята размерность, установленная для магматических пород. Мелкозернистые породы имеют величину зерен до 1 мм, среднезернистые от 1 до 5 мм и крупнозернистые свыше 5 мм. По относительным размерам минералов различают *гомеобластовую* (размер всех выделений одинаков) и *гетеробластовую* структуры (размер слагающих породу минералов различен). Если в метаморфических породах наблюдаются очень крупные выделения одного или нескольких минералов, то такая структура называется *порфиробластовой*, а крупные выделения порфиробластами.

# Структуры

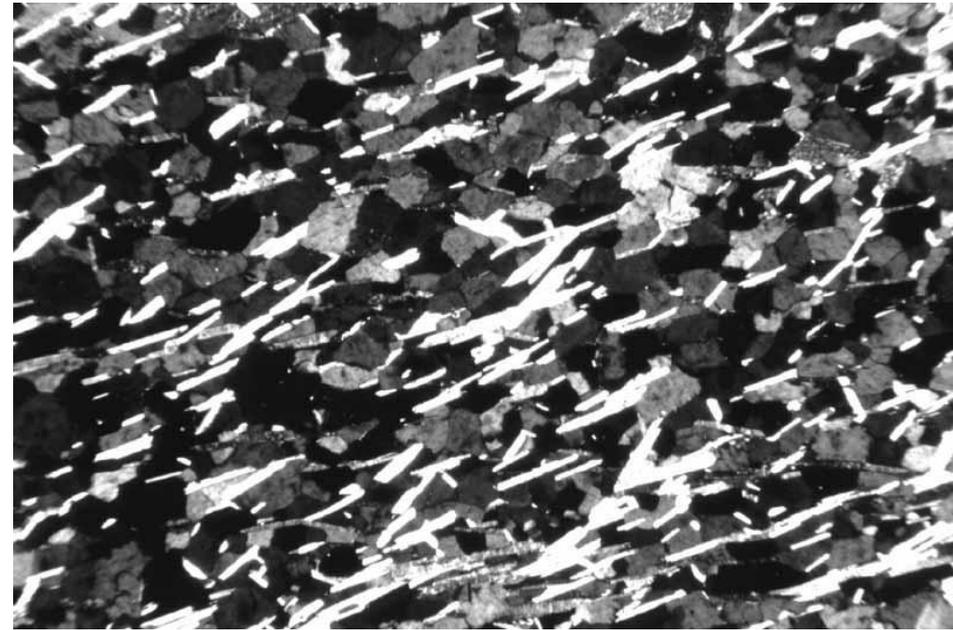
По форме слагающих минералов в метаморфических породах выделяют *гранобластовую* структуру, когда минералы образуют зерна относительно одинакового размера, имеющие округлые или изрезанные контуры.



**гранобластовая**

# Структуры

- *Лепидобластовая* структура характеризуется преобладанием листоватых минералов (слюда, хлорит).
- Очень часто две структуры встречаются совместно и тогда общую структуру породы следует назвать как *гранолепидобластовой* или *лепидогранобластовой* в зависимости от того, какая форма преобладает



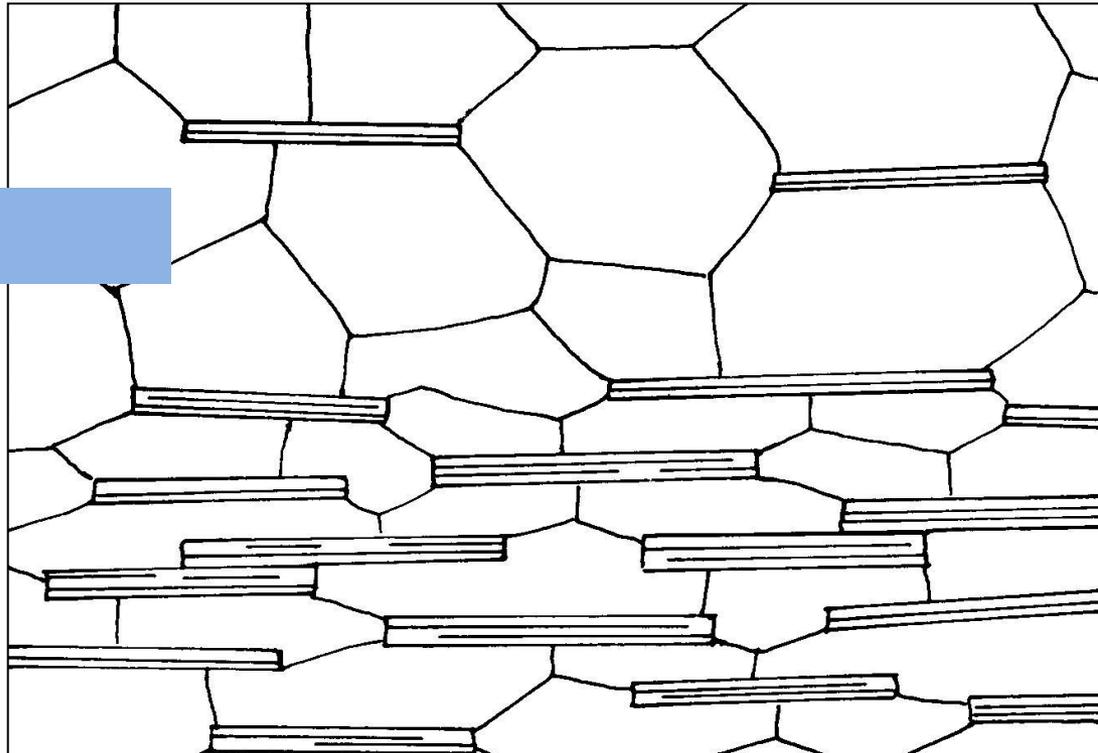
*лепидогранобластовая*

(на втором месте стоит преобладающий

# Структуры

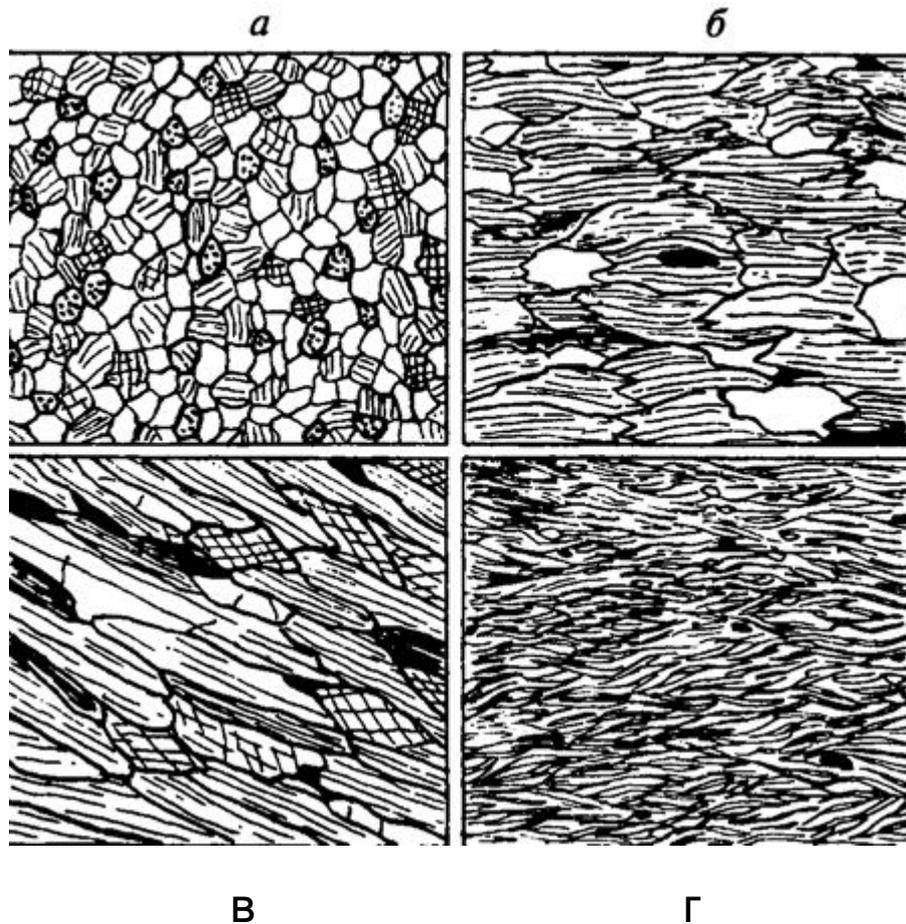
- Если в метаморфической породе присутствуют минералы призматической или игольчатой формы (силлиманит, амфибол), то такая структура носит название *нематобластовая*.

Нематогранобластовая  
структура



# Структуры

- Фибробластовая – агрегат волокнистых кристаллов (волокнистый силлиманит, амфибол и т.п.)
- Порфиробластовая – крупные зерна (порфиробласты) выделяются на фоне м/з массы породы
- Пойкилобластовая- порфиробласты содержат мелкие вростки минералов из основной массы породы



Структуры  
метаморфических пород,  
обусловленные формой  
зерен минералов (по  
Богатикову и др., 2001):  
***а*** – ***гранобластовая***;  
***б*** – ***лепидобластовая***;  
***в*** – ***нематобластовая***;  
***г*** – ***фибробластовая***.

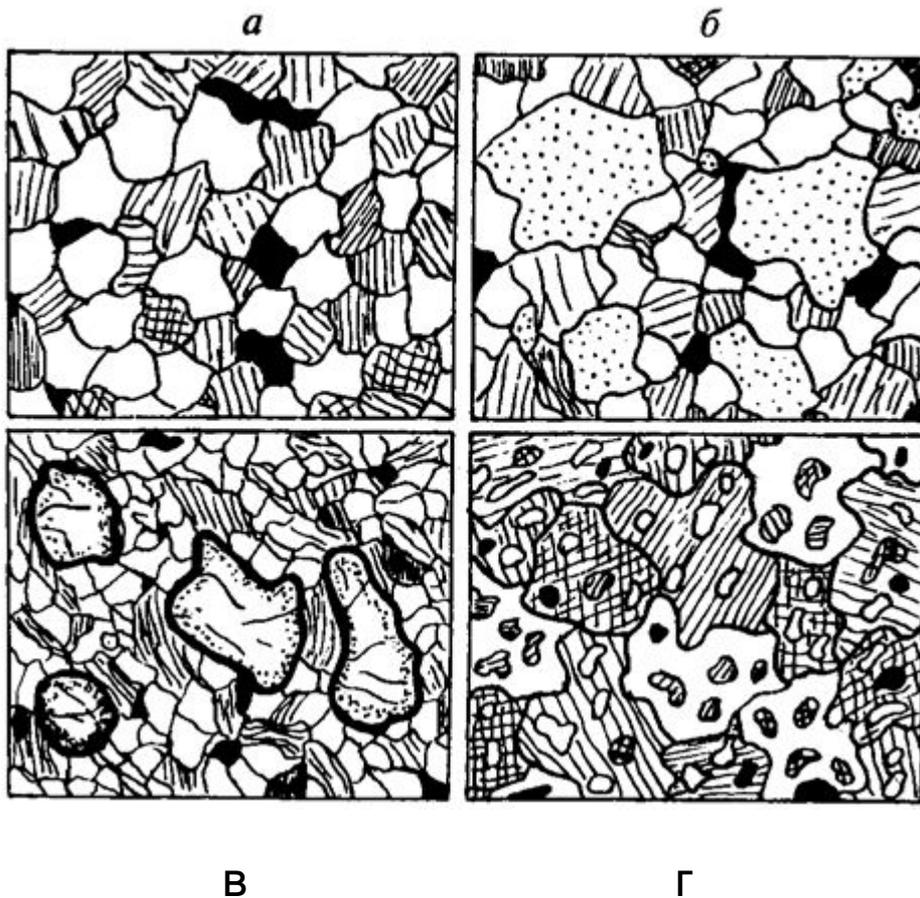
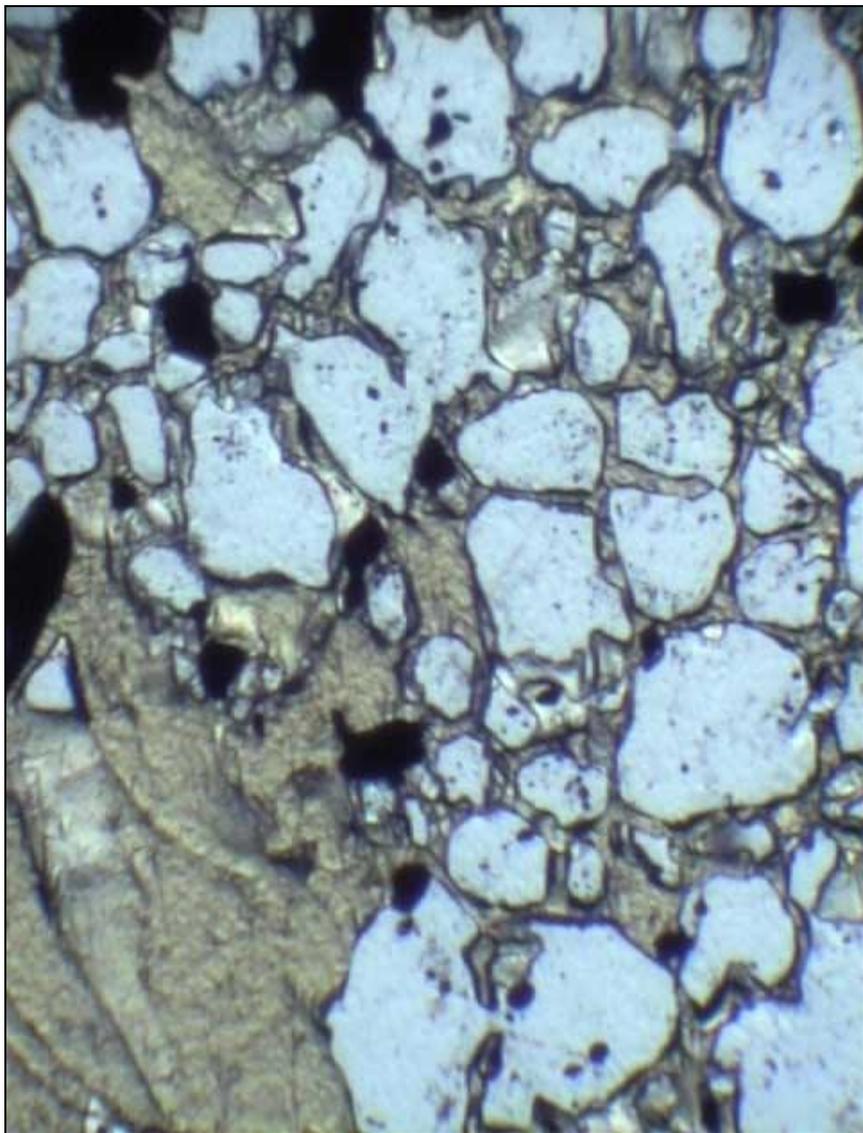


Рис. 10.2 Структуры метаморфических пород, обусловленные относительно размерами слагающих их минералов:

- а*** – равнозернистая;
- б*** – гетеробластовая;
- в*** – порфиробластовая;
- г*** – пойкилобластовая



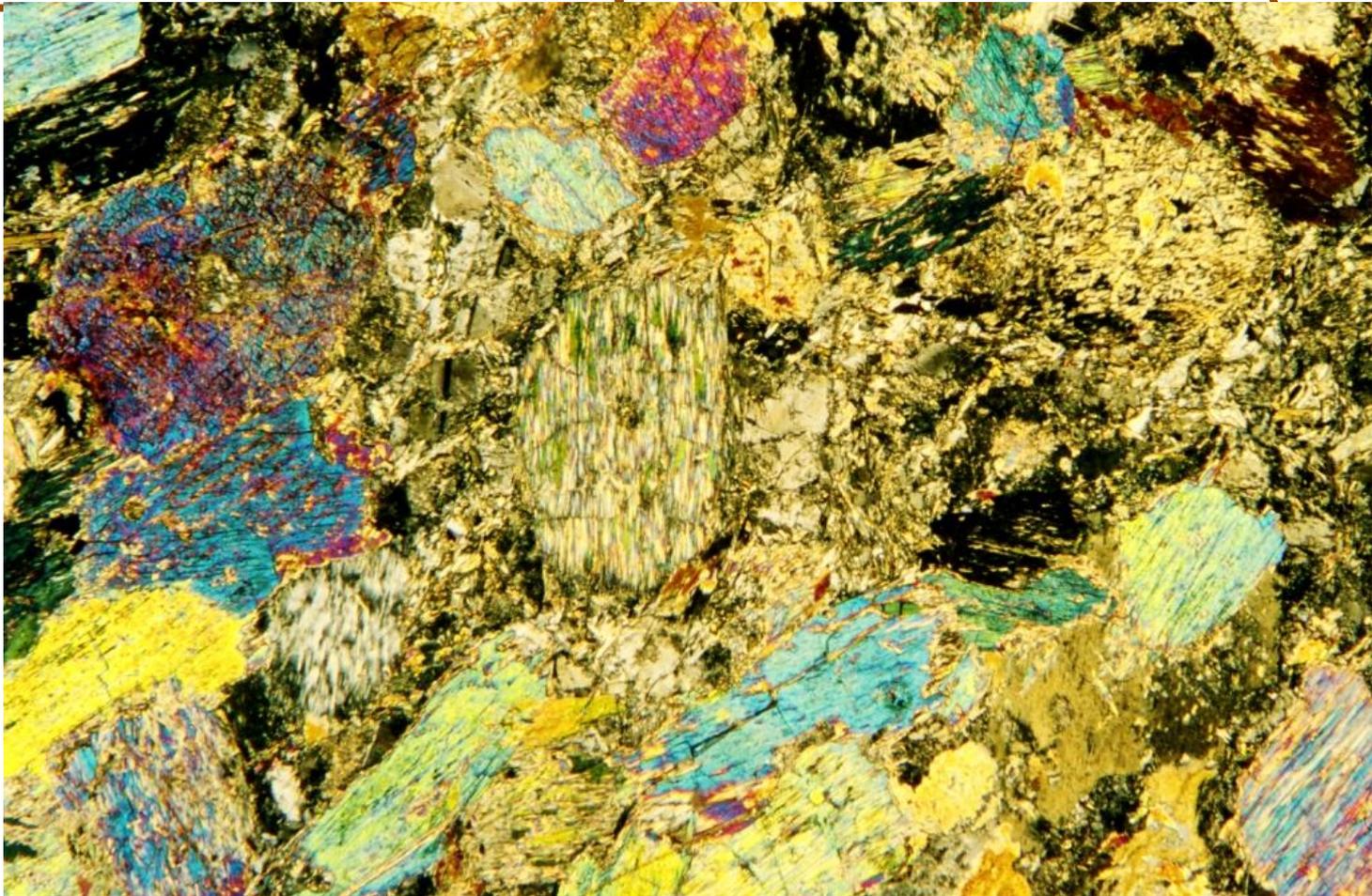
Пойкилобластов  
ая



Порфиробластов  
ая

# Структуры

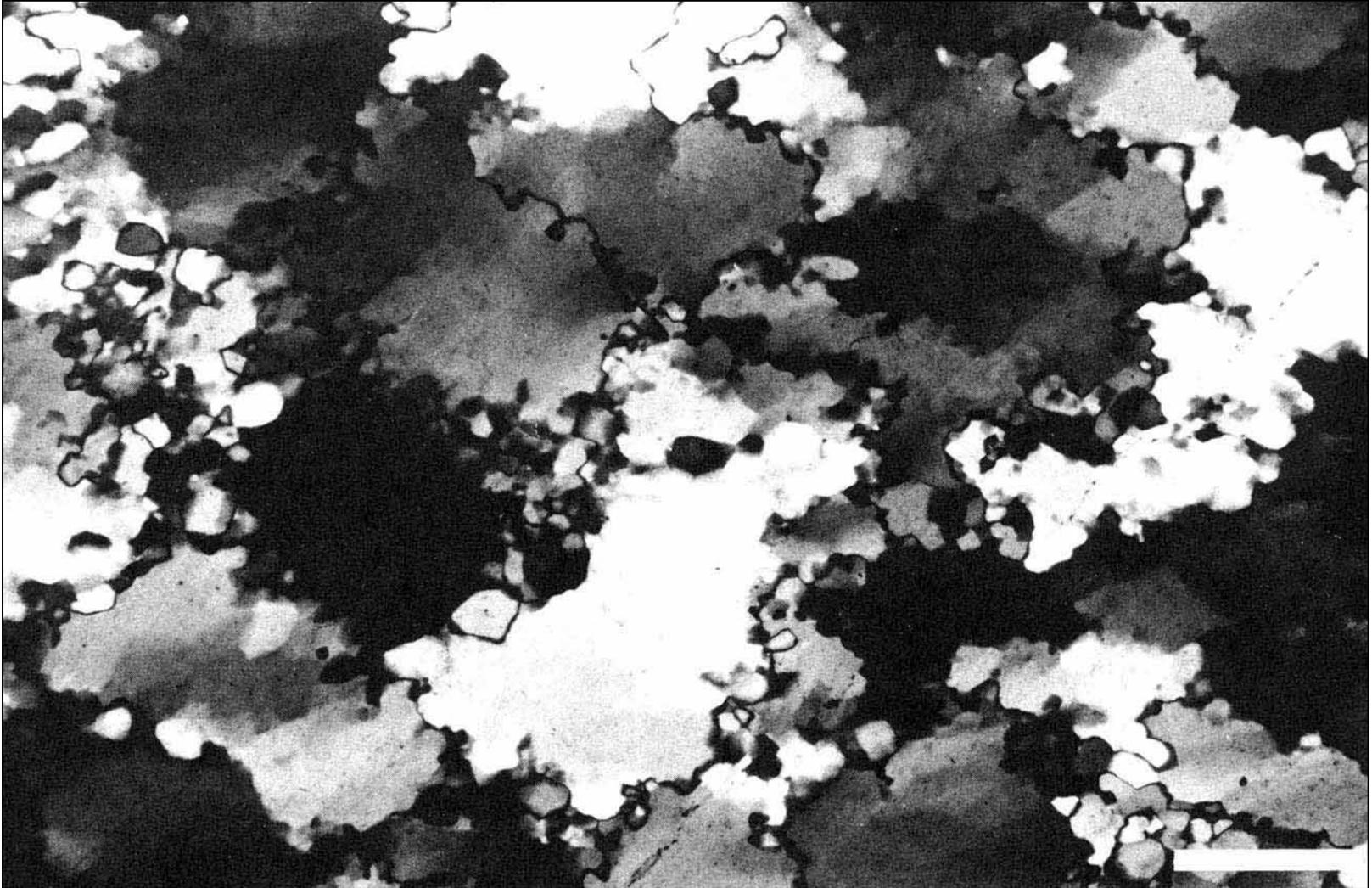
- Если в МП сохраняются структуры исходных пород (протолита), их называют **палимпсестовыми бластоструктурами** (бластогаббровая, бл



# Структуры

- Если в метаморфической породе сохранилась реликтовая порфировая структура исходной лавы, то структура будет **бластопорфировая**. При сохранении в метаморфической породе реликтовой диабазовой структуры, она будет называться **бластодиабазовой**, при наличии реликтовой обломочной структуры песчаников структура метаморфической породы определяется как **бластопсаммитовой**.

# Структуры



Рекристаллизация.

# Структуры

- Для метаморфических пород, образующихся при контактовом метаморфизме, типична *роговиковая* структура.
- Последняя может быть охарактеризована как микрогранолепидобластовая; наиболее важным ее отличием является изометричный облик зерен и наличие взаимных включений одного минерала в другом.
- При наличии в роговиках порфиробластов, последние обладают *ситовидной* структурой, так как они содержат большое количество мелких округлых зерен других минералов.

- Разнообразные структуры формируются благодаря различным скоростям роста кристаллов минералов вдоль различных направлений и на разных гранях при общем стремлении метаморфической породы вблизи состояния равновесия к минимальной поверхности межзерновых границ (но в условиях мощного одностороннего давления).
- Гранобластовые структуры характерны для пород, сложенных изометричными по форме минералами. В таких породах форма зерен близка к 5-6-угольникам, так как это дает наименьшую площадь поверхности. Гранаты и полевые шпаты имеют близкие скорости роста разных граней. Но медленный рост граната и его высокая плотность приводит к «прокручиванию» порфиробласт граната при деформации породы с образованием своеобразных зерен с формой «снежного кома».
- Ставролит, хлоритоид, амфиболы имеют быстро растущие конечные грани, что приводит к образованию вытянутых кристаллов и соответствующим структурам

# Syn-kinematic crystals



**Figure 23.38.**

“Snowball garnet”  
with highly rotated  
spiral  $S_i$ .

Porphyroblast is ~ 5  
mm in diameter.

From Yardley *et al.*  
(1990) *Atlas of  
Metamorphic Rocks  
and their Textures.*

Longmans.

# Перекристаллизация

- Все минералы метаморфических пород растут одновременно в твердой среде при наличии растворов. И большую роль при процессе перекристаллизации пород играет сила кристаллизации, которая различна не только для каждого минерала, но, как показали экспериментальные исследования, и для отдельных кристаллографических направлений в кристалле.

# кристаллобластический ряд

- Австрийский ученый Ф.Бекке распределил все минералы регионально-метаморфизованных пород по убывающей силе кристаллизации или энергии роста и тем самым определил так называемый кристаллобластический ряд. В сокращенном виде этот ряд выглядит следующим образом:
- **акцессорные минералы → гранат → ставролит → кианит → пироксены → роговая обманка → слюды → кварц → плагиоклазы и калиевые полевые шпаты.**
- В то же время имеется большое количество исключений из этого ряда. Во-первых, пироксены и амфиболы имеют значительно большую силу кристаллизации вдоль оси *C*, и поэтому у них всегда хорошо выражены грани призмы. Аналогичным свойством обладают и кристаллы слюд, хлоритоида, андалузита и ставролита, которые тоже имеют резко выраженные кристаллические грани, параллельные направлению удлинения или плоскости сплющивания.

# Кристаллобластический ряд

**Более**

*Most Euhedral*  
**идiomорфные**

Titanite, rutile, pyrite, spinel

Garnet, sillimanite, staurolite, tourmaline

Epidote, magnetite, ilmenite

Andalusite, pyroxene, amphibole

Mica, chlorite, dolomite, kyanite

Calcite, vesuvianite, scapolite

Feldspar, quartz, cordierite

*Least Euhedral*

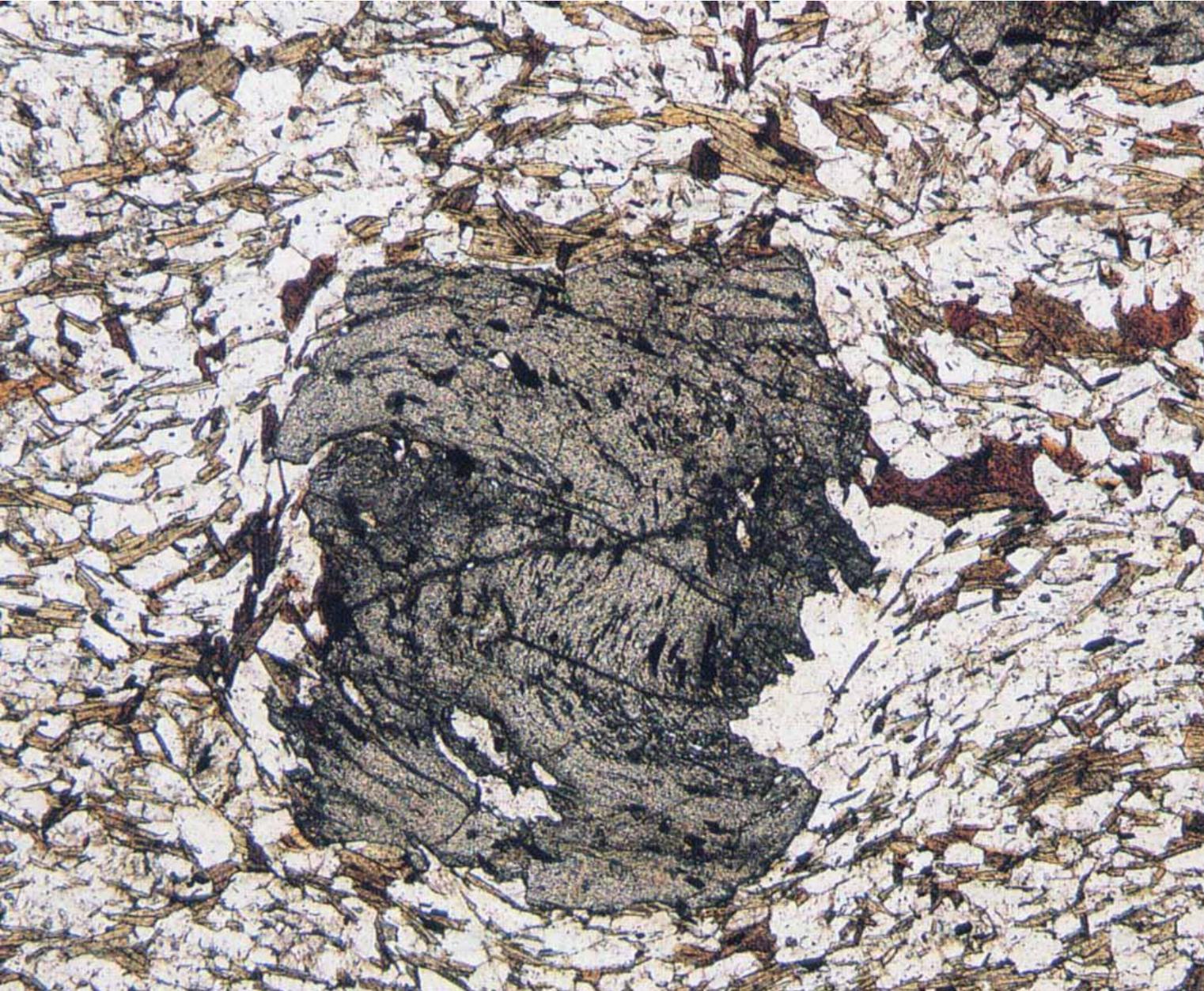
**Менее**

**идiomорфные**

- Наблюдения за расположением и величиной включений в порфиробластах минералов позволяют восстановить историю формирования и условия перекристаллизации метаморфических пород. Так порфиробласты минералов, обладающих большей силой кристаллизации, содержат включения основной ткани сланца, а так как все минералы в метаморфических породах растут одновременно, то в центре крупных порфиробласт наблюдается большое количество мелких включений основной ткани. По мере роста порфиробластов количество включений уменьшается, поскольку сила его роста увеличивается и он «сбрасывает» ненужный для его образования материал. Одновременно растет размер зерен основной ткани и поэтому величина включений к периферии порфиробластов несколько увеличивается. И, наконец, в краевых частях порфиробластов включения основной ткани вообще отсутствуют, что говорит о большой силе роста порфиробластов на конечных этапах перекристаллизации.

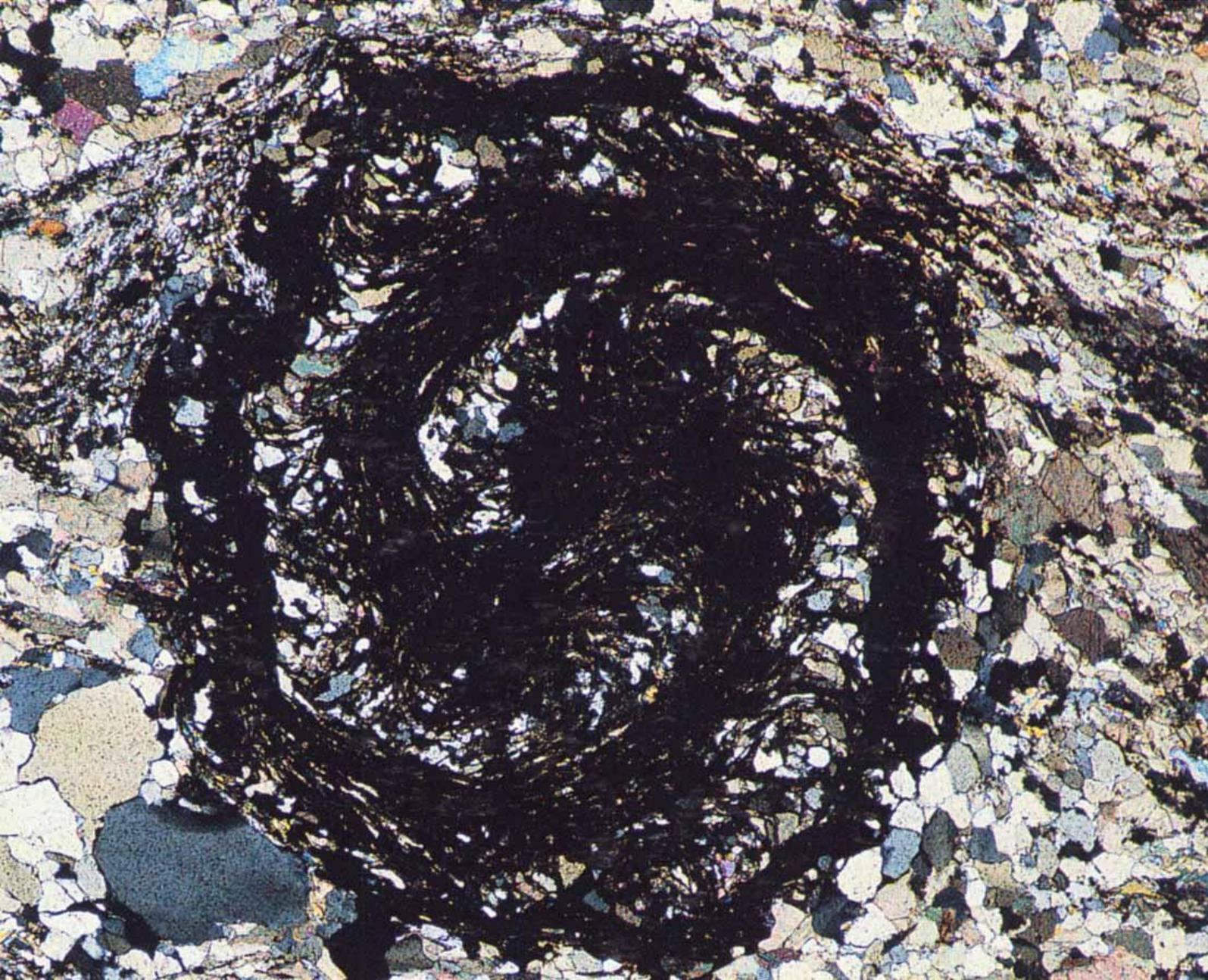
- Установлено, что при росте в условиях бокового давления (стресса) порфиробласты испытывают вращательные движения, которые часто фиксируются S-образной формой распределения в них включений основной ткани сланца. Такая структура роста порфиробластов получила название структуры «снежного кома». Иногда порфиробласты, испытывая резкие вращательные движения, одновременно изгибаются и образуют кристаллы коленчатой формы, развивающиеся в пloidках сланцев.

# Syn-kinematic crystals



**Figure 23.38.** Spiral  $S_1$  train in garnet, Connemara, Ireland. Magnification  $\sim 20\times$ . From Yardley *et al.* (1990) *Atlas of Metamorphic Rocks and their Textures*. Longmans.

# Syn-kinematic crystals



**Figure 23.38.**

“Snowball garnet”  
with highly rotated  
spiral  $S_i$ .

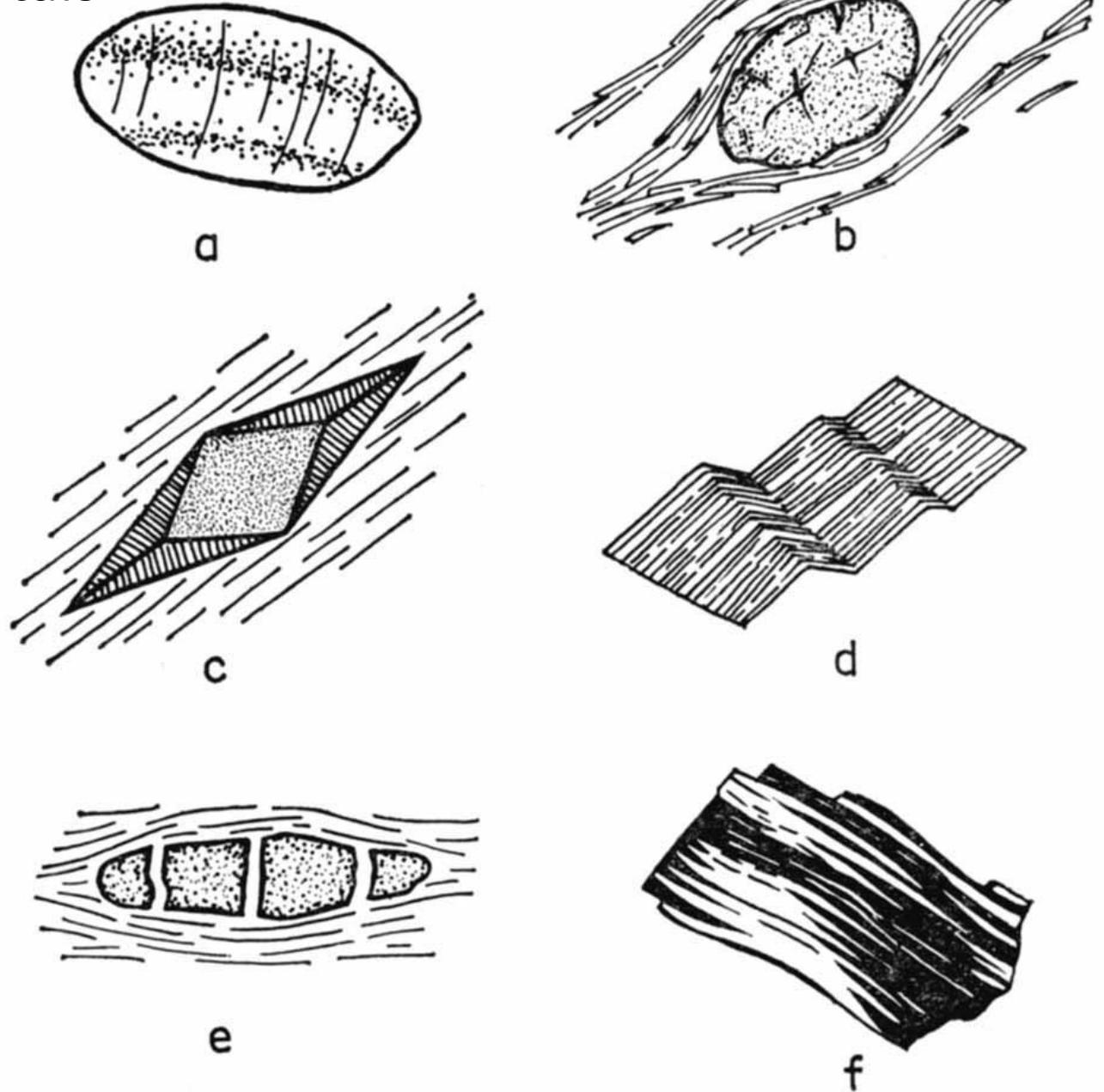
Porphyroblast is ~ 5  
mm in diameter.

From Yardley *et al.*  
(1990) *Atlas of  
Metamorphic Rocks  
and their Textures.*

Longmans.

## Pre-kinematic crystals

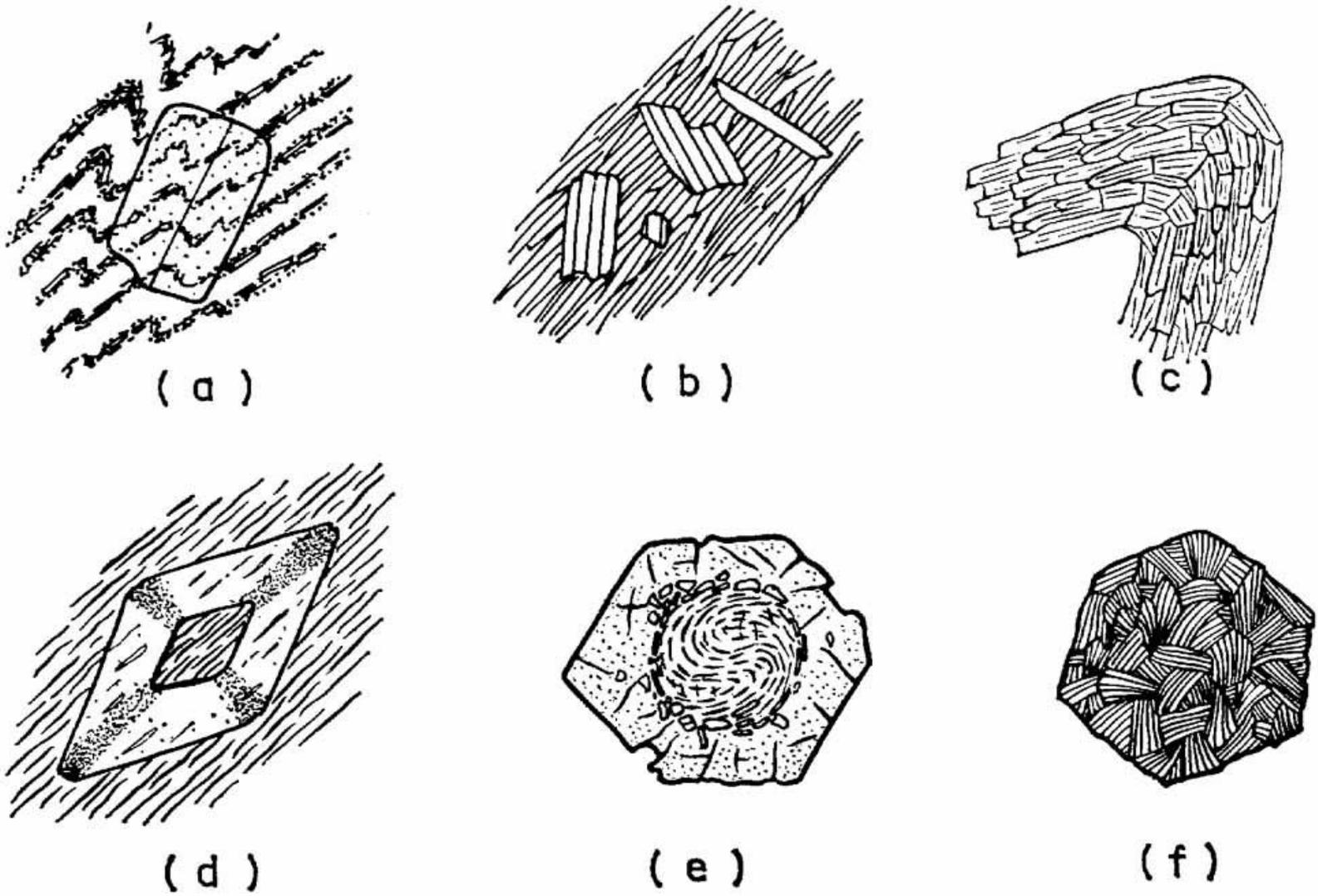
- a. Bent crystal with undulose extinction
- b. Foliation wrapped around a porphyroblast
- c. Pressure shadow or fringe
- d. Kink bands or folds
- e. Microboudinage
- f. Deformation twins



**Figure 23.34.** Typical textures of pre-kinematic crystals. From Spry (1969) *Metamorphic Textures*. Pergamon. Oxford.

# Post-kinematic crystals

**a.** Helicitic folds **b.** Randomly oriented crystals **c.** Polygonal arcs **d.** Chiasmolite **e.** Late, inclusion-free rim on a poikiloblast (?) **f.** Random aggregate pseudomorph

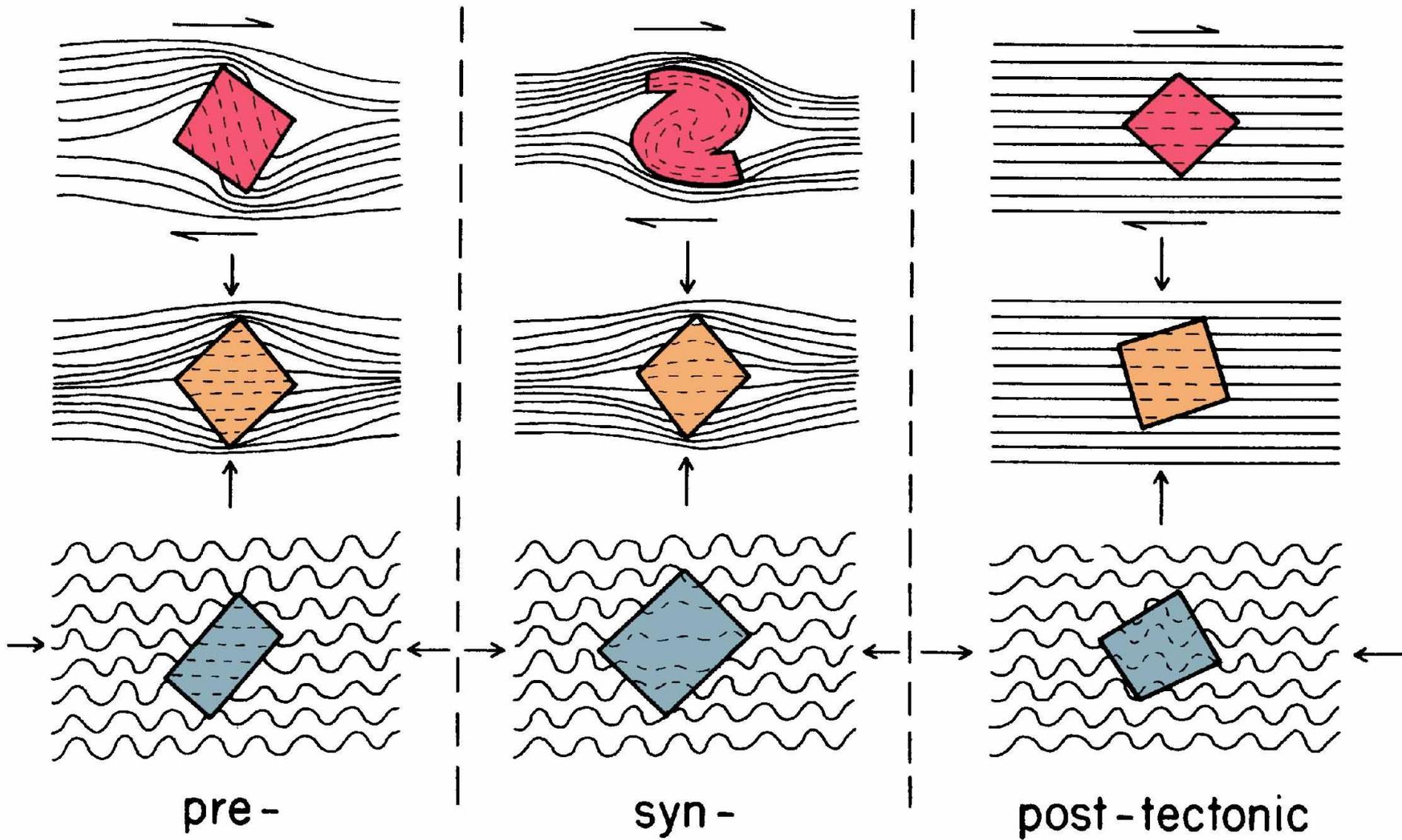


**Figure 23.35.**  
Typical textures  
of post-kinematic  
crystals. From  
Spry (1969)  
*Metamorphic  
Textures.*  
Pergamon.  
Oxford.

- Изучение взаимоотношений порфиробластов с основной тканью сланцев показывает, что в процессе роста порфиробласты как бы расталкивают основную ткань сланца, которая обтекает их, и в результате образуется сгущение полосок листоватых минералов. Одновременно вблизи порфиробластов, как бы под их защитой, создаются наиболее благоприятные условия для перекристаллизации основной ткани сланца и возникают так называемые «дворики растяжения», состоящие из более крупных выделений тех же минералов. «Дворики растяжения» часто возникают между двумя порфиробластами в участках, где они наиболее сближены.

- Перекристаллизация горных пород большей частью происходит в условиях стресса. Влияние стресса на рост минералов в метаморфических горных породах было исследовано в 40-ых годах А. Харкером, который подразделил все минералы на две группы: стресс-минералы и антистресс-минералы. Стресс-минералами он предложил называть такие минералы, область устойчивости которых на диаграмме «давление - температура» увеличивается в условиях стресса. К антистресс-минералам он отнес минералы, поля устойчивости которых в аналогичных условиях уменьшаются.
- Экспериментальные данные показали, что антистресс-минералы имеют механически неустойчивую решетку, не способную противостоять сильному стрессу. Что же касается стресс-минералов, то они обладают, вследствие надлежащей структуры решетки и высокой плотности упаковки ионов, устойчивостью под действием стресса. Наиболее устойчивыми минералами при стрессе являются хлоритоид и кианит, а также слюды, хлориты, тальк.

- Широко развитую сланцеватость нельзя рассматривать только как перекристаллизацию в условиях бокового сжатия. Стресс может предшествовать перекристаллизации и подготовить ткань пород к ориентированной перекристаллизации. В этом случае сланцеватость будет отраженной, что подтверждается неориентированным распределением порфиробластов минералов, обладающих большой способностью к кристаллизации при метаморфизме.



**Figure 23.37.**  $S_1$  characteristics of clearly pre-, syn-, and post-kinematic crystals as proposed by Zwart (1962). **a.** Progressively flattened  $S_1$  from core to rim. **b.** Progressively more intense folding of  $S_1$  from core to rim. **c.** Spiraled  $S_1$  due to rotation of the matrix or the porphyroblast during growth. After Zwart (1962) *Geol. Rundschau*, 52, 38-65.