

# Метаморфические процессы

1. Зона перехода от экзогенных к эндогенным процессам
2. Факторы метаморфизма
3. Текстуры
4. Структуры
5. Особенности кристаллизации
6. Типы метаморфизма
7. Фации регионального метаморфизма

# Зона перехода от экзогенных к эндогенным процессам

- На поверхности Земли образуются рыхлые горные породы – грубо- и мелкообломочные, песок, глина, ил.
- Ниже уровня грунтовых вод начинается переходная зона (до 10 км), в которой образуются плотные осадочные породы и породы со свойствами начальной степени метаморфизма.
- Плотные осадочные породы образуются в результате процесса литогенеза (окаменения) на глубинах в среднем 1-5 км.
-

# Стадии литогенеза

- 1- разрушение (дезинтеграция) твердых пород в процессе физического и химического выветривания, действия воды, ветра, льда.
- 2 – перенос (транспортировка) вещества силами гравитации, ветром или водой в твердом или растворенном виде (взвесей, истинных или коллоидных растворов) в пониженные места рельефа, озера, моря и океаны. В это время идет механическая и химическая сортировка вещества.
- 1-я и 2-я стадии вместе называются процессом денудации рельефа. Идет выравнивание поверхности Земли.

# Стадии литогенеза

- 3 – аккумуляция (накопление рыхлого материала при механическом наложении обломков или биогенных остатков) и седиментация (химическое осаждение минералов из воды). Результат – накопление рыхлого обводненного осадка, часто в виде ила, сапропеля.
- 4 – диагенез – процесс преобразования рыхлого осадка в осадочную породу в результате частичного удаления воды и химических реакций на глубинах до 2 км. Идут химическое растворение и образование новых минералов – карбонатов, сульфатов, сульфидов, перекристаллизация, реакции ионного обмена и образования цемента между обломками (известкового, кремнистого, железистого). Породы – торф, песчаник, алевролит, сапропелевый уголь, возникает микронепть (битумы) в порах породы.

# Переходная зона катагенеза

- Верхний осадочный слой земной коры заканчивается зоной катагенеза (глубина 2-5 км, температуры 100-150 градусов С).
- При более высоком всестороннем давлении идет обезвоживание породы и ее уплотнение без изменения химического состава. Пористость уменьшается до 5%. Глина превращается в аргиллит, торф – в бурый уголь, затем – в каменный уголь и антрацит, обломочные породы – в конгломераты и гравелиты с цементом.
- Нефть и газ мигрируют вверх, образуя залежи в менее плотных породах под пластами водонепроницаемых пород

# Зона метагенеза

- Зона начального метаморфизма (метагенеза) находится ниже зоны катагенеза (6-8 км) при температурах 200-400 градусов С.
- Подземные воды насыщены минеральными солями и становятся агрессивными, идет растворение и перекристаллизация минералов - частичное растворение и переотложение вещества исходной породы в направлении, перпендикулярном давлению. Так возникает сланцеватая текстура.
- Происходит процесс метасоматоза - замещение одних минералов другими с перекристаллизацией и образованием слюдистых минералов – хлорита. Образуются метаморфизованные песчаники, глинистые сланцы, кварцитовидные песчаники и алевролиты, кремнистые, углистые, графитизированные и горючие сланцы, мраморизованные известняки.

# Зона метаморфизма

- Зона метаморфизма начинается от 10км.
- Верхний предел метаморфических процессов составляет 900-1500 градусов, он ограничен началом плавления горных пород и соответствует основанию литосферы 100-150 км.
- Метаморфизм – процесс преобразования различных горных пород в твердом состоянии под действием температуры, давления или обоих факторов, а также воздействия поровых растворов и газов.
- Метаморфическим изменениям могут подвергаться осадочные, магматические и сами метаморфизованные породы.

# Метаморфизм

- Химический состав пород при метаморфических процессах существенно не изменяется.
- Происходят изменения в минеральном составе пород, возникают специфические минералы-индикаторы разных типов метаморфизма.
- Метаморфические процессы приводят к частичной или полной перекристаллизации породы с образованием новых структур и текстур.

# Действие факторов

- Главные факторы – давление литостатическое и стрессовое (одностороннее), температура и глубинные газы и растворы (флюид).
- Под влиянием температуры резко повышается скорость химических реакций и происходит дегидратация (обезвоживание) минералов, Возникают новые высокотемпературные минеральные ассоциации.

# Влияние литостатического давления

- Под влиянием гравитационных сил вышележащие и окружающие породы оказывают давление на нижележащие породы.
- Всестороннее литостатическое давление способствует перестройке атомной структуры, что ведет к более плотной упаковке атомов в структуре минералов и их большей плотности и твердости. Осуществляется полиморфизм.
- Кроме того, под влиянием давления повышаются температуры плавления минералов, горные породы дольше сохраняются в твердом состоянии. Давление составляет 200 МПа на глубине 10 км и 1300 МПа на глубине 80 км.

# Влияние одностороннего стрессового давления

- Одностороннее давление действует определенный отрезок времени и возникает вследствие сил сжатия. Происходит деформация горных пород, изменение их текстуры и структуры.
- Минералы приобретают закономерную ориентировку, располагаясь длинными осями и плоскостями по определенному направлению или в плоскости (перпендикулярно силе давления).
- Часто возникают новые минералы, имеющие игольчатую и пластинчатую структуру. Пластинки и иголочки новых минералов ориентируются по определенному направлению или плоскости, создавая различные сланцеватые (плоскопараллельные) текстуры, а также карандашные, стебельчатые, линзовидные, очковые.

# Роль флюидов

- Глубинные флюиды проникают через поры породы и кристаллическую решетку минералов. Они становятся катализаторами химических реакций и процесса перекристаллизации.
- Флюиды растворяют одни элементы и их переотлагают, иногда привносят другие элементы. Влияние флюидов доказано экспериментально тем, что в «сухих» системах при высоких температурах и давлениях метаморфические изменения происходят слабо.

# Особенности кристаллизации минералов при метаморфизме

- При процессе метаморфизма кристаллизация происходит в твердой среде, препятствующей свободной ориентировке минералов.
- Химические реакции происходят при миграции вещества в поровых растворах. Миграция осуществляется при помощи диффузии или фильтрации по трещинкам породы и контактам между зернами.
- В результате происходит частичное растворение и перекристаллизация.
- При метаморфизме осуществляется принцип собирательной кристаллизации, когда мелкие зерна минерала растворяются, а крупные растут за счет мелких зерен.

# Особенности кристаллизации минералов при метаморфизме

- Рост минералов сопровождается возникновением значительных напряжений, и растущие минералы расталкивают окружающие.
- Новые минералы, обладая большой силой кристаллизации, очищаются от включений и вырастают в виде кристаллов. Иногда включения прежних минералов располагаются внутри новых кристаллов.
- Быстрее растут кристаллы, имеющие вытянутую или пластинчатую форму, но и изометричные минералы растут быстрее в направлении, перпендикулярном давлению, и занимают ориентированное положение в пространстве.

# Типы метаморфизма

- По масштабу проявления все метаморфические процессы можно разделить на региональные и локальные.
- К региональным типам относятся : собственно региональный, динамотермальный и ультраметаморфизм.
- К локальным типам – контактово-термальный, ударный, динамический, ретроградный, автометаморфизм, гидротермальный.

# Зоны регионального метаморфизма

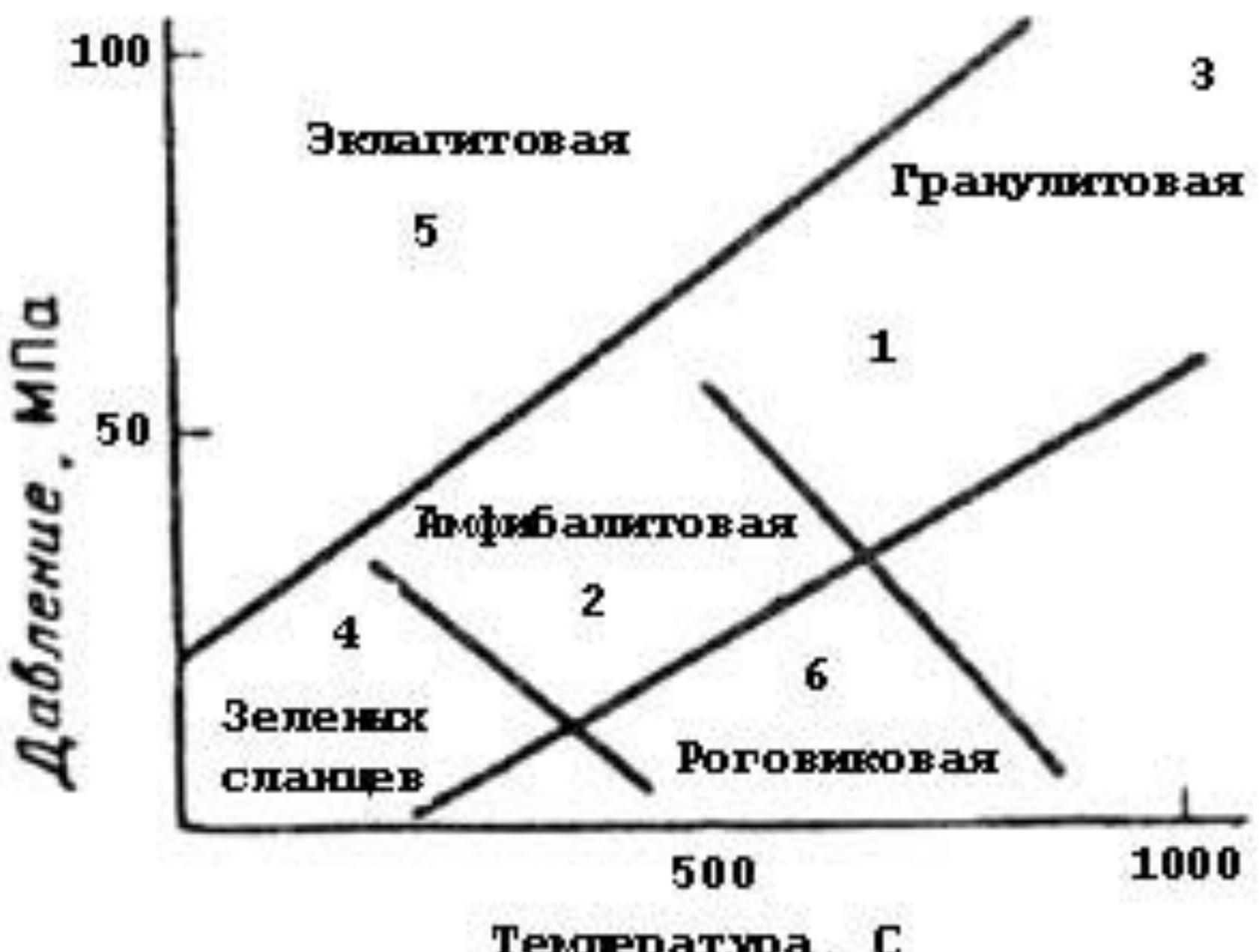
- Региональный метаморфизм представляет собой совокупность изменений горных пород, вызываемых всесторонним давлением, а также стрессом и температурой, влиянием флюидов.
- Эти изменения проявляются на больших пространствах и в больших объемах земной коры, а также при переходе от зоны метагенеза к более глубоким зонам в условиях возрастающих температур и давлений.
- Интенсивность регионального метаморфизма возрастает с глубиной, поэтому выделяют три термобарических зоны в глубине Земли или по сочетанию температуры и давления - фации:
  - 1) **эпизону** (или низкотемпературную фацию),
  - 2) **мезозону** (среднетемпературную фацию),
  - 3) **катазону** (высокотемпературную фацию).

# Фации регионального метаморфизма

- В настоящее время понятия зоны глубинности заменено понятием ступеней (степеней) метаморфизма, характеризующих интенсивность действия факторов регионального метаморфизма.
- Поэтому выделяют **метаморфические фации**.  
Метаморфическая фация – характерная ассоциация метаморфических минералов, образованная в метаморфической системе, достигшей равновесия в определенных термодинамических, химических и концентрационных условиях.

# Характеристика зон

- Для **эпизоны** характерны умеренно-низкая температура и низкое литостатическое и стрессовое давления. Типичными метаморфическими породами являются хлоритовые и известко
- Для **мезозоны** характерны средние значения температур и давлений, интенсивное одностороннее давление. Здесь образуются слюдистые и актинолитовые сланцы, амфиболиты.
- Для **катазоны** характерны высокие температуры, высокое всестороннее давление и менее выраженное одностороннее давление. Породы представлены кристаллическими сланцами, гнейсами, гранулитами, эклогитами.



# Подпись к рисунку

- Области существования метаморфических фаций (по Н.А. Елисееву): 1-4 – регионального метаморфизма, 5 – ультраметаморфизма, 6 – контактового метаморфизма

# Текстура пород регионального метаморфизма

- Особенности минералообразования приводят к возникновению **ориентированных текстур** и специфических структур. Широкое распространение получили плоскостные текстуры:
- При **сланцеватой текстуре** чешуйчатые и пластинчатые минералы располагаются по параллельным плоскостям, что отражается в срезе породы.
- **Плойчатая** текстура возникает вследствие образования мелкой складчатости, которая видна в поперечном срезе породы.

# Текстура пород регионального метаморфизма

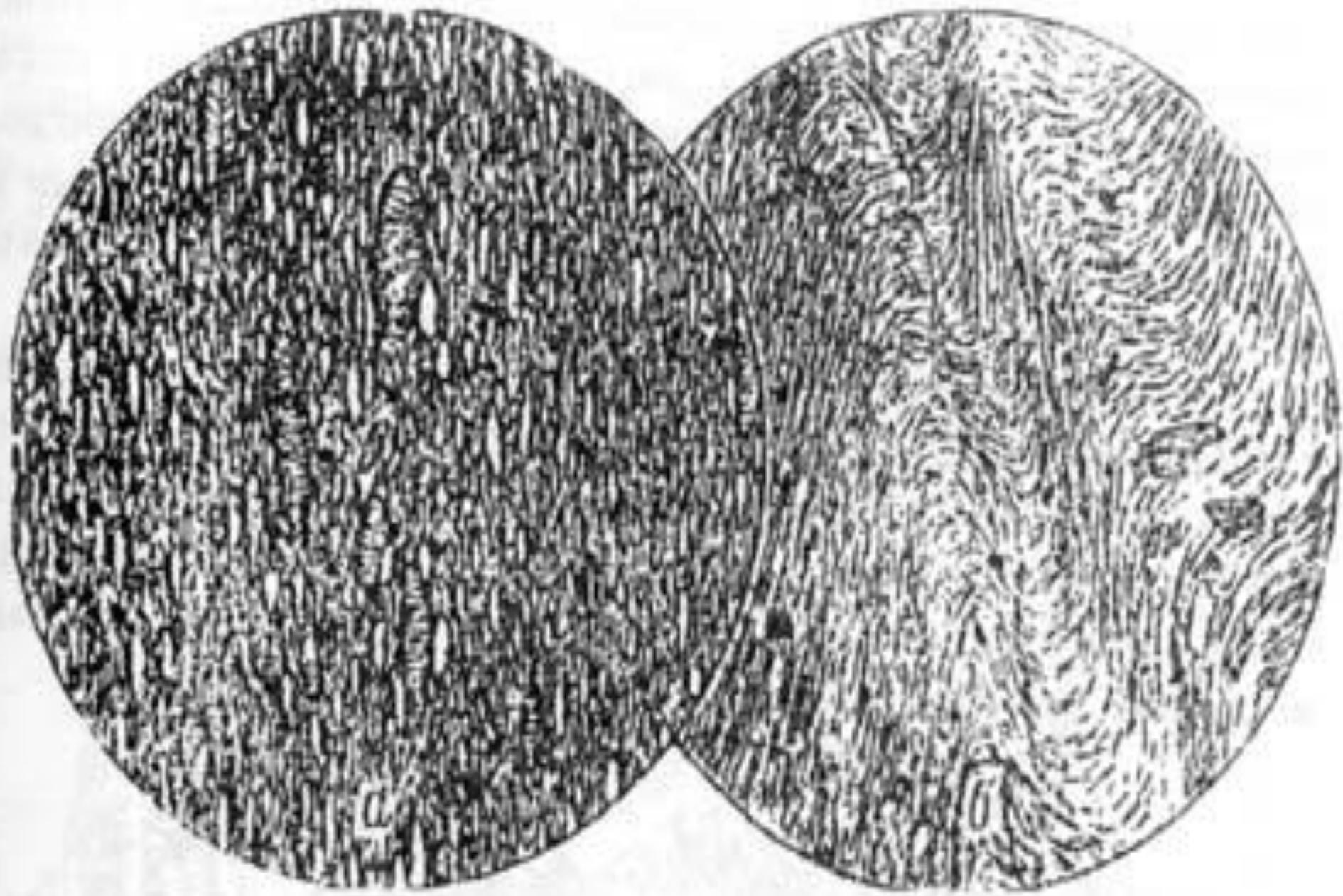
- Текстуры метаморфических пород (по Н.А.Елисееву): а – сланцеватая (плоскопараллельная), б – сланцеватая волнистая (плойчатая), в – линейная, г – стебельчатая (карандашная) грубосланцеватая, д – линзовидная (очковая).
- Метаморфическая сланцеватость обычно наложена на реликтовую слоистую текстуру осадочной породы, которая может быть параллельна сланцеватости или пересекать ее.
-

# Структуры и состав пород низкотемпературной стадии

- При метаморфизме образуются кристаллобластические (зернистые) структуры. Размер зерен зависит от температуры.
- Выделяется низкотемпературная фация регионального метаморфизма, для которой характерна тонкозернистая структура и набор характерных низкотемпературных минералов – хлорита, гидрослюд, талька, эпидота.
- Образуются глинистые, хлоритовые, тальковые, известковые, кремнистые, зеленые и кварцево-серицитовые сланцы и кварцитовидные песчаники, мраморизованные известняки.

# Текстуры линейные

- **Линейная** текстура характеризуется параллельным расположением минералов без образования четкой сланцеватости.
- **Стебельчатая** или карандашная текстура образована вытянутыми зернами полевых шпатов, кварца, авгита, подчеркивающих линейные направления.
- **Очковая** или линзовидная текстура отличается тем, что в поперечном срезе видны линзы (очки) полевых шпатов или кварца, выделяющихся по цвету от остальной породы. Сланцеватость обычно слабо выражена.



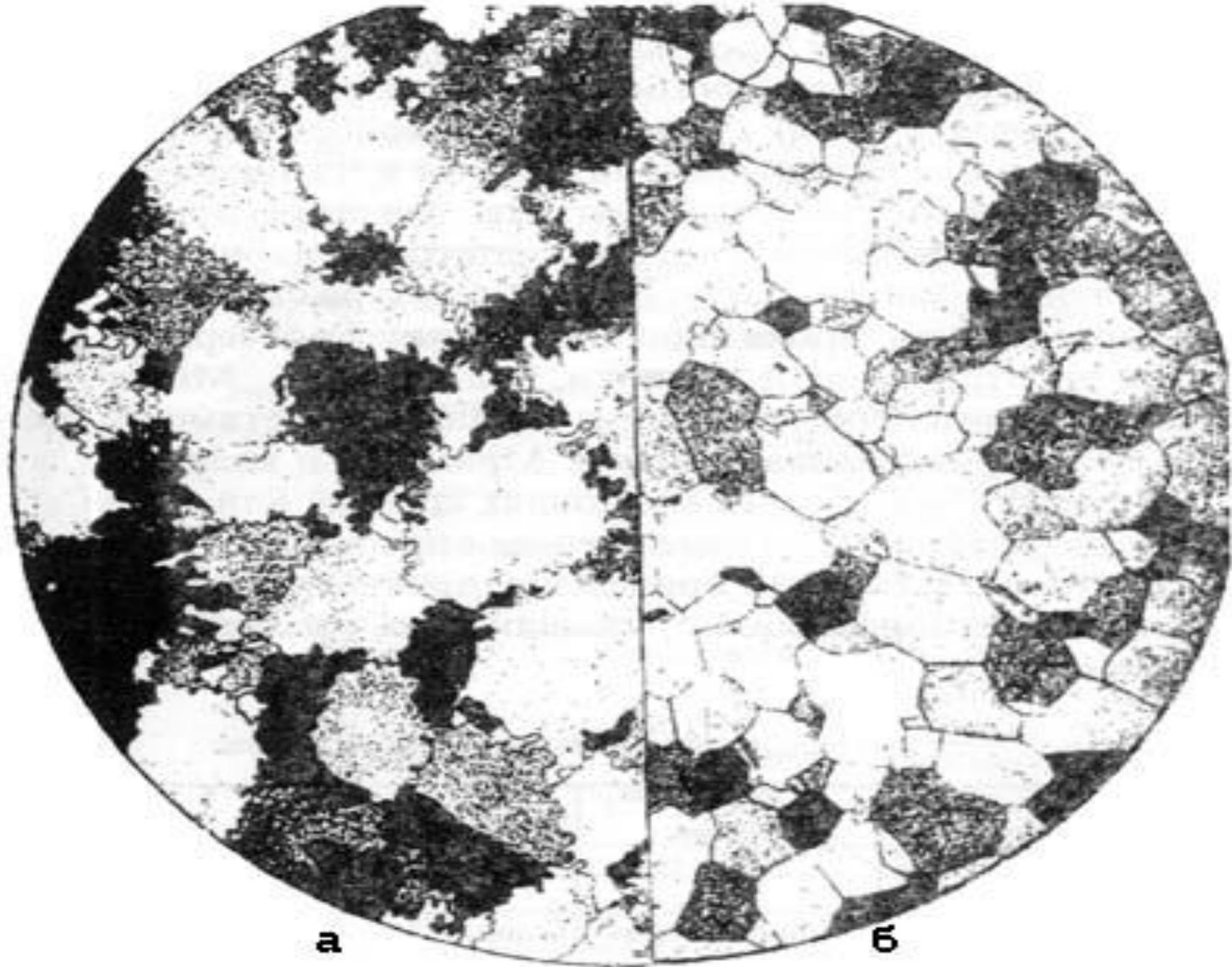
# Среднетемпературная стадия

- Для среднетемпературной фации свойственна уже мелкозернистая структура. Характерными минералами –индикаторами являются слюды – мусковит, биотит, флогопит, минералы группы амфиболов – актинолит, роговая обманка.
- Образуются слюдистые, роговообманковые, актинолитовые, гематитовые, и кристаллические сланцы, кварциты и мраморы с мозаичной структурой зерен.

# Высокотемпературная стадия

- Высокотемпературная фация отличается средне- и крупнозернистой структурой. В минеральном составе встречаются твердые специфические минералы – гранат, силлиманит, а также устойчивые минералы магматических пород – группа пироксенов, полевых шпатов, кварц.
- Образуются породы : гранулит и гнейс (по составу соответствуют граниту), гнейс гранатовый, пироксеновый, сланец силлиманитовый. Наиболее глубокой породой является эклогит.
- Необходимо заметить, что на больших глубинах действие одностороннего давления постепенно затухает, а всестороннего возрастает, в связи с чем текстура пород меняется от тонкосланцеватой до грубосланцеватой, линейной и очковой и карандашной.





а

б