

# **МЕТАМОРФИЗМ**

**Типы метаморфизма  
Метаморфические породы**

- **Метаморфизм** - изменение горных пород с изменением минерального состава в твёрдом состоянии при изменении температуры и давления без изменения химического состава (изохимический метаморфизм).
- Метаморфизм – процесс минеральных и структурно-текстурных преобразований существующих горных пород любого состава и происхождения, протекающий вследствие изменения термодинамических условий геологической среды вне зоны эпигенеза. Исходные подвергающиеся метаморфизму породы часто называют протолитом.
- **Факторами метаморфизма**, определяющими направленность и степень изменения исходных минеральных парагенезисов, являются температура (геотермический градиент), давление (литостатическое давление) и наличие в породе флюидной фазы.

- **Метасоматоз** — замещение горных пород с изменением химического и минерального состава, при котором растворение старых минералов и отложение новых происходит почти одновременно, так, что в течение процесса замещения горные породы всё время находятся в твёрдом состоянии (метасоматиты)
- *В отличие от метаморфизма, при метасоматических реакциях происходит активный привнос и вынос химических элементов.*
- На контакте магматических пород с осадочными карбонатными вмещающими породами образуются **скарны**
- На контакте магматических пород с осадочными силикатными вмещающими породами образуются **роговики**

# Метаморфические изменения горных пород

- **Контактовый метаморфизм** - в приконтактовых зонах вмещающих пород с внедрившейся в них магмой.  
**Пневматолитовый и гидротермальный метаморфизм**
- **Динамометаморфизм**, или дислокационный метаморфизм, проявляется под воздействием ориентированного давления (стресса) в зонах интенсивных подвижек и деформации
- **Региональный метаморфизм** характеризуется проявлением на больших площадях и глубинах при высоких гидростатических давлениях и больших температурах
- **Ультраметаморфизм** - на грани расплавления пород или частичного расплавления, метасоматоз, гранитизация и перекристаллизация, а также инъекции расплавов и растворов. Анатексис. Мигматиты
- **Диафторез** или регрессивный метаморфизм — изменение более сильно метаморфизованных пород в менее метаморфизованные (низкотемпературные) горные породы.

**Локальный метаморфизм** — контактовый (роговики), дислокационный (катаклазиты, милониты) и импактный (зювиты и тагамиты).

- **Катаклазиты** — образуются в приповерхностных зонах земной коры в условиях дробления (и вращения) пород без рекристаллизации и без образования новых минеральных форм. Они подразделяются на несколько разновидностей:
  1. Породы без первичной связности — от брекчии до глинки трения — образующиеся в приповерхностных зонах в условиях низких температур и давления.
  2. **Какириты** — рыхлые, сильно катаклазированные и трещиноватые породы, в которых обломки не смещены относительно друг друга (орешки).
  3. **Глинка трения** — образуется в условиях скалывания, дробления и перетирания обломков более 30% объёма пород.
  4. Связные катаклазиты — более глубинные породы с первичной и вторичной связностью за счёт литификации раздробленных пород и пропитки их флюидами.
  5. **Тектоническая брекчия** (дислокационная брекчия или брекчия трения) — литифицированные породы, состоящие из угловатых и слегка закруглённых обломков размером от микро- до крупных глыб. Литификация пород обусловлена всесторонним давлением.

- **Милониты** — образовались в глубинных зонах земной коры в условиях стресса и повышенного гидростатического давления и преобладании пластических деформаций с рекристаллизацией связного матрикса (как связные катаклазиты из тектонической муки).
- четыре разновидности:
  1. Протомилониты — более чем на 50% состоят из угловатых или чуть закруглённых линзовидных мегапорфирокластов. По внешнему облику похожи на рассланцованные конгломераты.
  2. Ортомилониты (милониты) — серые, плотные породы с признаками пластического течения, состоящие из мелкозернистых порфирокластов (от 10 до 50%).
  3. Ультрамилониты — породы афанитового облика, микроочковые, напоминающие ороговикованный глинистый сланец, образовавшиеся в условиях крайней степени милонитизации. Реликты первичной структуры отсутствуют, порфирокласты очень мелкие и составляют не более 10% общего объёма породы, присуща вторичная рекристаллизация с образованием лент и линзочек минералов кварца и т.д.
  4. Бластомилониты — образуются при большом значении воды и летучих компонентов, теряя признаки милонитов, переходят в обычные метаморфические породы (бластомилонитовые очковые гнейсы и т.д.).

- **Контактовый метаморфизм** - в приконтактовых зонах вмещающих пород с внедрившейся в них магмой.
- На контакте магматических пород с осадочными карбонатными вмещающими породами образуются **скарны**
- На контакте магматических пород с осадочными силикатными вмещающими породами образуются **роговики**

- **Импактный метаморфизм**

- **И М П А К Т И Т** — (англ. impact — удар, столкновение) —

переплавленная при ударе и взрыве метеорита г. п., состоящая из плотного или пузырчатого и флюидального стекла, включающего обломки различных г. п. и их м-лов, нередко несущих признаки метаморфизма ударного.

Хим. сост. импактитов соответствует составу исходных пород (гнейсов, песчаников и др.).

В И. обнаружены железо-никелевые шарики, лешательерит, маскеленит, коэсит, стишовит, алмаз (лонсдейлит).

Разновидности импактных пород: зювиты и тагамиты



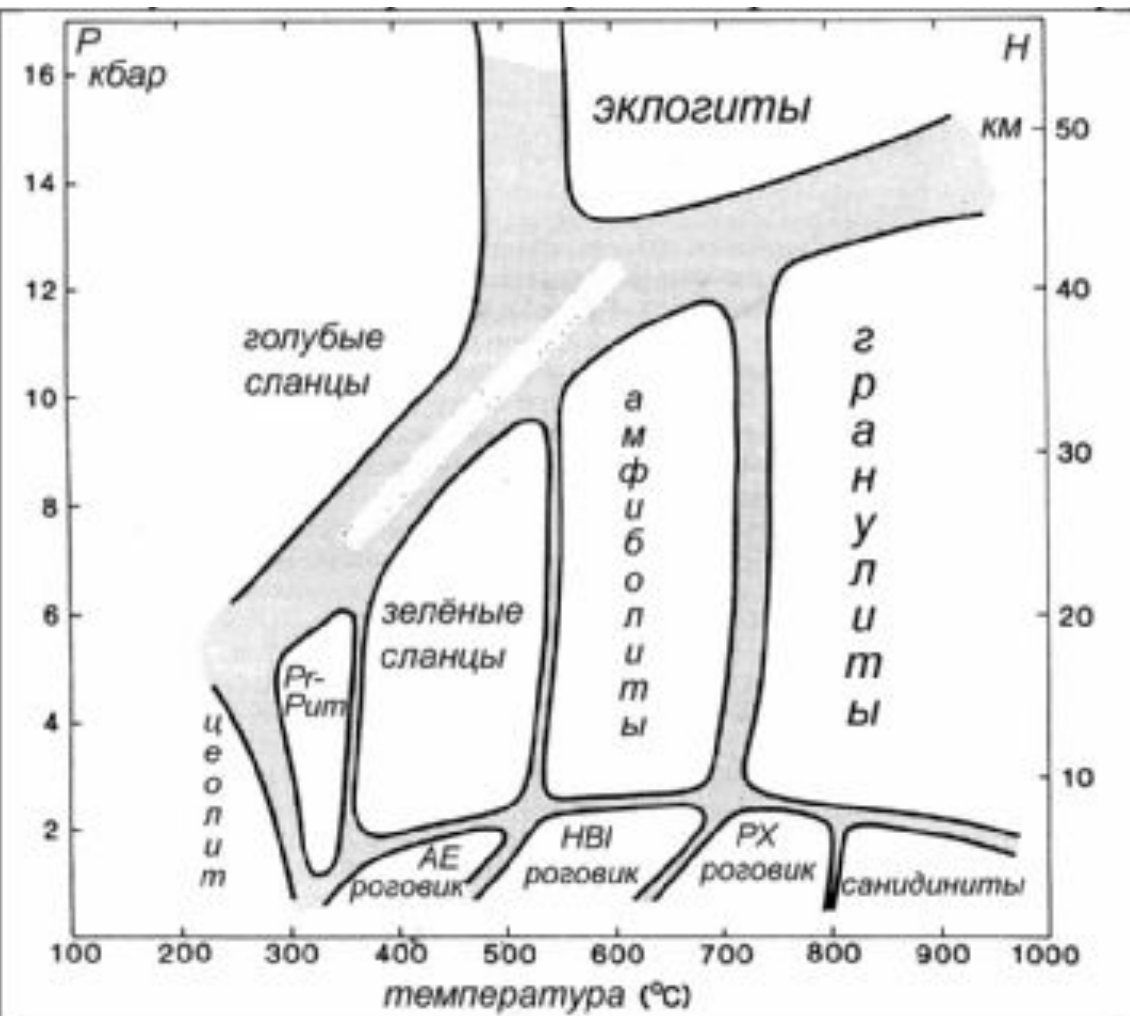


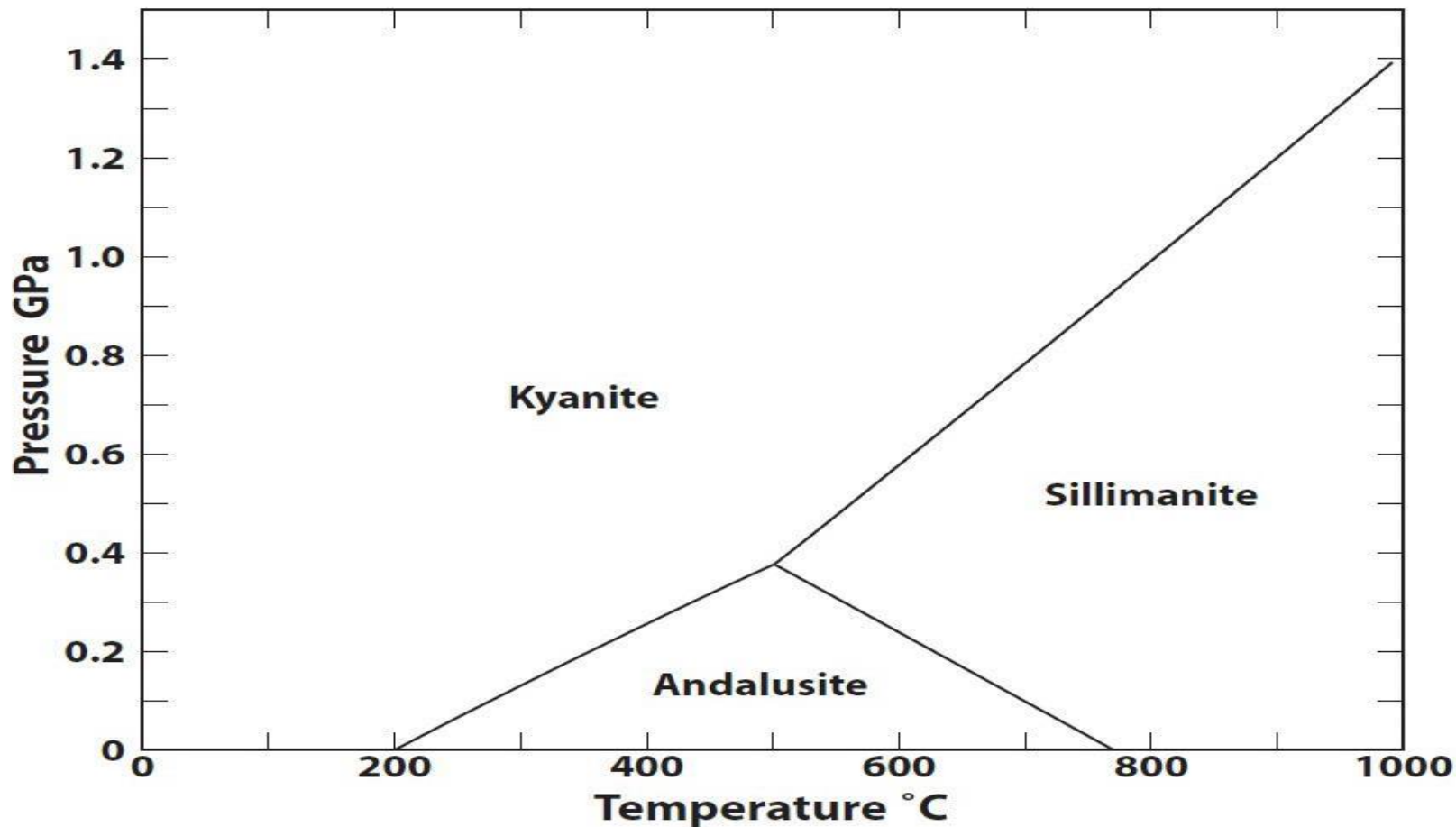
Рис. 6.2. Схема фаций метаморфизма.

*Pr-Pum* – пренит-пумпелинитовая фация. Роговики: *AE* – альбит-эпидотовые, *HVI* – роговообманковые, *PX* – пироксеновые.

Заштрихованы – промежуточные группы.

- Фации регионального метаморфизма
- цеолитовая,
- пренит-пумпелинитовая,
- зеленосланцевая,
- амфиболитовая
- гранулитовая

- Метаморфизм относительно простых по минеральному и химическому составу пород:
- Кварцевые пески и песчаники и другие богатые кремнеземом породы при метаморфизме превращаются в **кварциты** - метаморфические породы, которые почти полностью состоят из кварца.
- Из известняков образуются **мраморы** - состоят из кальцита или доломита, обладают полнокристаллической структурой с различными размерами зерен и обычно массивной текстурой (**кальцифиры** – в гранулитовой фации).
- Из основных и частично средних интрузивных и эффузивных магматических пород, осадочных пород типа мергелей, богатых кальцием, магнием и железом, - **амфиболиты**, состоят в основном из роговой обманки и плагиоклаза (могут присутствовать кварц, эпидот, гранат, хлорит, биотит и т. п.)



- Превращения в ряду андалузит-силлиманит-кианит; эти минералы имеют один и тот же состав  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , но различаются по строению кристаллических решёток и образуются при различных P-T условиях.

- При **прогрессивном метаморфизме первично-глинистых пород** на начальных стадиях метаморфического преобразования ( $p = 400—500$  МПа и  $T = 300—350$  °С) формируются породы, называемые **филлиты** — породы с микрокристаллической структурой и тонкосланцеватой текстурой (серицит (тонкочешуйчатый мусковит), хлорит и кварц). Далее - **сланцеватые сланцы** из зерен кварца, хлорита и слюд (мусковитовые, биотитовые и двуслюдяные сланцы) - **гнейсы** — средне- и крупнокристаллические породы, главными минералами которых являются кварц и полевые шпаты. Нередко в них присутствуют амфиболы и пироксены.
- **Регрессивный метаморфизм – диафториты:**  
Например, - **ультраосновные породы**
  - **амфиболиты** (высокие значения давления и температуры),
  - **талькосодержащие и тальковые сланцы** (средние значения  $P$  и  $T$ ) и при дальнейшем понижении  $P$  $T$ -условий

- Главные типы пород ультраметаморфических комплексов:
- **Гнейсы** – метаморфические п., состоящие из полевого шпата, кварца и цветного минерала, гл. мин-лы д. присут-ть в примерно равных колич-х, или кварц и полевой шпат м. преобл-ть.
- **Кристаллический сланец** - при преобл-нии цв-го мин-ла для п. с гнейсовидной т-рой и составом гранитоидов
- **Гранито - гнейсы** — метаморфич-е п. гнейсовой т-ры, гранобластовой стр-ры, гранитного состава, первичная природа которых неясна
- **Парагранито - гнейсы** — породы аналогичного с-ва, но сохранившие реликтовые геол-е (условия залегания) и петрографические (т-ра, стр-ра) признаки образования за счет осадочных пород
- **Гнейсо - граниты** — породы гранитного с-ва с реликтивными геолог-ми и структми (бластогранитная стр-ра) признаками происхожд-я в рез-те метаморфизма магм-х гранитоидов (ортогнейсы)

- **Гранулиты** - особая подгруппа гнейсов зон высших ступеней регионального метаморфизма. Тонкосланцеватая текстура с мелкими линзовидными обособлениями отдельных минералов, чаще всего кварца, и ориентированными кристаллобластическими структурами.
- Группа мигматитов. Термин «мигматит» - Седерхольм - для «смешанных» пород, образовавшихся путем инъекции гранитной магмы в кристаллические сланцы, гнейсы.
- **Мигматиты** - породы, состоящие из субстрата и новообразованного на месте или привнесенного кварц-полевошпатового материала — метатекта.



- **Мигматитом** (от греч. *migma*, родительный падеж *migmatos* — смешение, смесь) называют горную породу, состоящую из метаморфического вмещающего вещества с жилками, близкими по составу к граниту. В мигматитах присутствуют два главных компонента, создающих специфичную текстуру: 1) реликты исходной метаморфической породы (так называемая **палеосома**) и 2) новообразованные в ходе магматического и (или) метасоматического процесса прожилки или линзы (**неосома**), часть из которых близка по составу

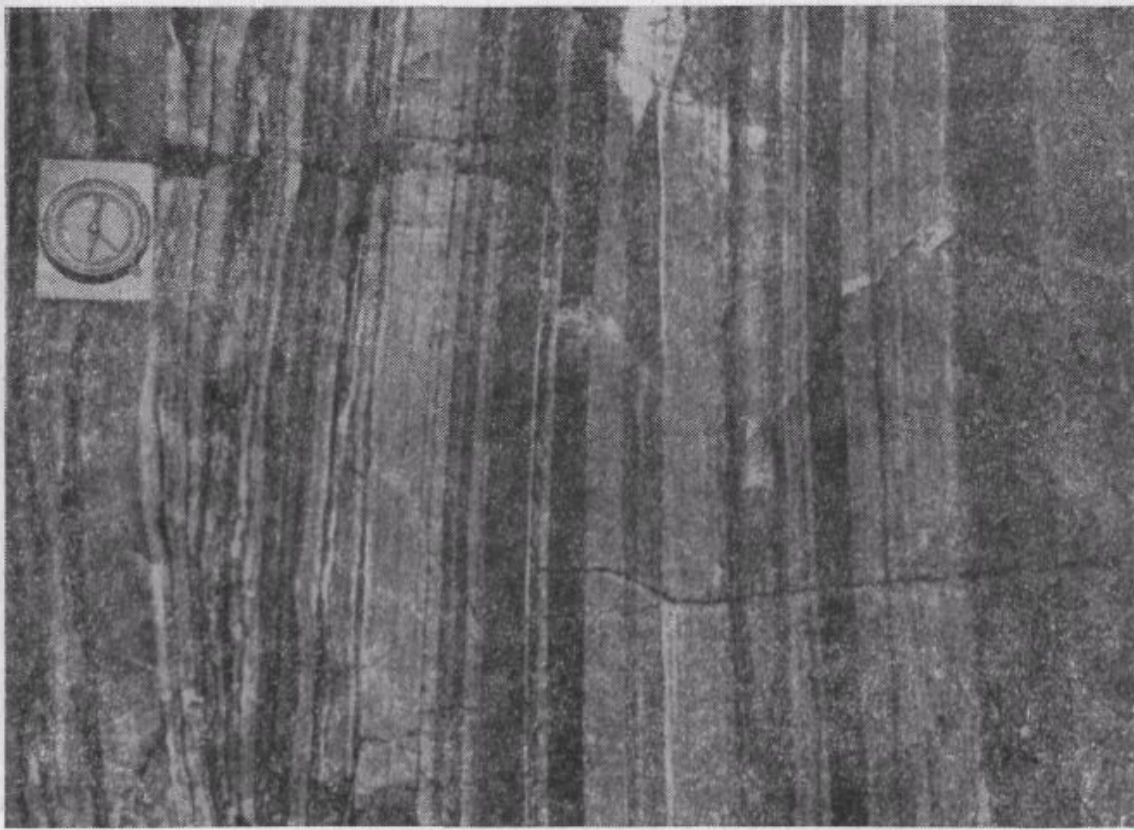


Рис. 129. Лентовидно-полосчатый мигматит (метасоматический).

Субстрат — гранато-полевошпатовый амфиболит; метатект — биотитовый и амфиболо-биотитовый плагиогранит.

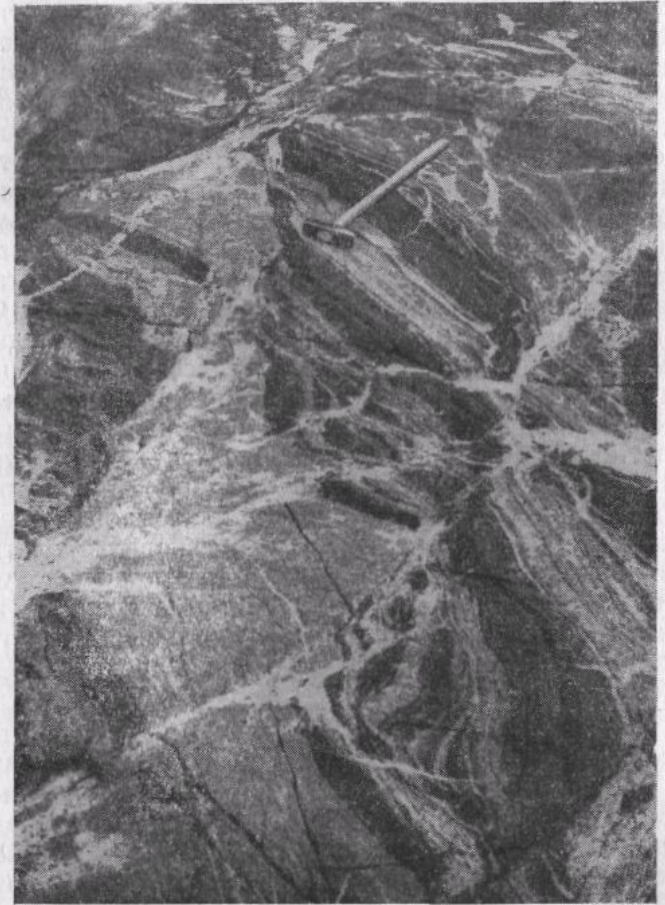


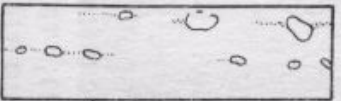
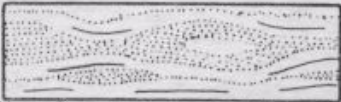

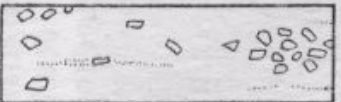
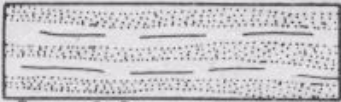

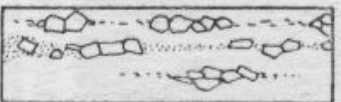
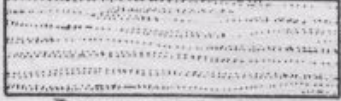


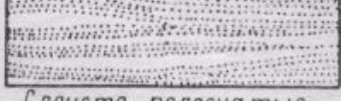





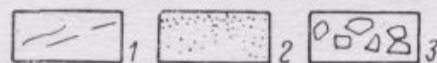


Рис. 127. Полимигматит. Беломорье. Послойно-мигматизированные амфиболиты (ранний этап) раздроблены с выполнением трещин более поздним (второй этап) кварц-полевошпатовым материалом.

- **Гетерогенные мигматиты** - породы, образованные при одноэтапном ультраметаморфизме, в отличие от **полимигматитов** – рез-та разновременной мигматизации, проявившейся неоднократно



Степень мигматизации	Интенсивные движения		Слабые движения	Характер изменения субстрата	
	Складчатость, расланцевание, трещиноватость, дробление		Микротрещиноватость, расланцевание		
	Тонкослоистая, сланцеватая (кристаллосланцы, гнейсы) текстура	Массивная, грубослоистая (амфиболиты, метабазиты) текстура	Слоистая, сланцеватая, массивная текстура		
Слабая	 <i>Линзовые</i>	 <i>Ветвистые</i>	 <i>Очковые</i>	Не изменен; в контакте с метатектом перекристаллизация и щелочно-кварцевый матасоматоз	
Средняя	 <i>Неравномернополосчатые</i>	 <i>Сетчатые</i>	 <i>Пятнисто-порфиробластовые</i>		Мало изменен; в контакте с метатектом фельдшпатизация
	 <i>Лентовидно-полосчатые</i>	 <i>Брекчевидные</i>	 <i>Четковидно-порфиробластовые</i>		
Сильная	 <i>Тонкопослойные</i>	 <i>Пластично-брекчевидные</i>	 <i>Жильно-порфиробластовые</i>	Сильно изменен; пропитан метатектом и гранитизирован	
	 <i>Слоисто-полосчатые</i>	 <i>Флюидалные</i>	 <i>Псевдо-брекчевидные</i>		В участках развития метатекта полностью переработан, в реликтовых участках гранитизирован
Высшая	 <i>Гнейсовидно-теневые</i>	 <i>Пятнисто-теневые</i>	 <i>Порфиробласто-теневые</i>	Неравномерно ассимилирован; в гранитоидной массе сохраняются лишь теневые текстуры целиком переработанного субстрата	



Примечание. 1 — субстрат (гнейсы и амфиболиты различного состава); 2 — новообразованный гранитоидный материал — метатект; 3 — порфиробласты (метабласты) полевых шпатов.

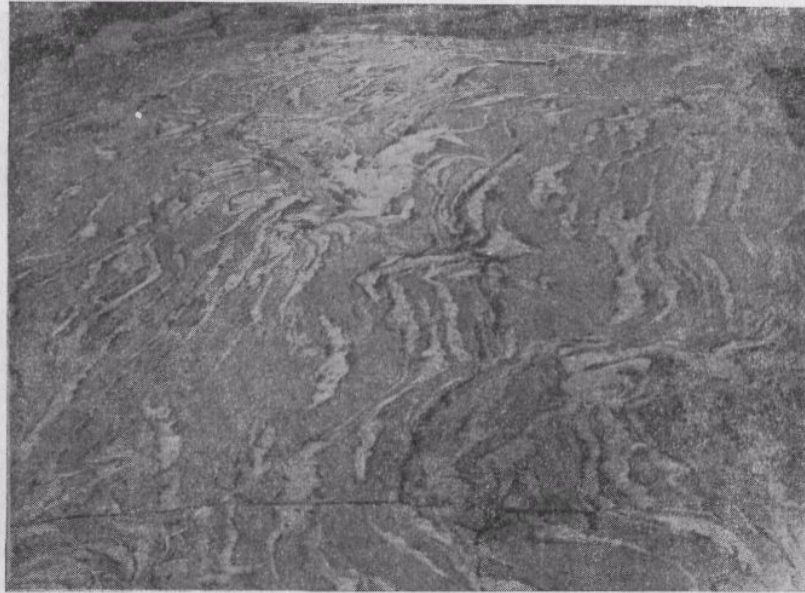


Рис. 128. Линзовый мигматит (сегрегационного происхождения).  
 Субстрат — амфибол-биотитовый гнейс, метатект — крупнозернистый плагиогранит—пегматит.

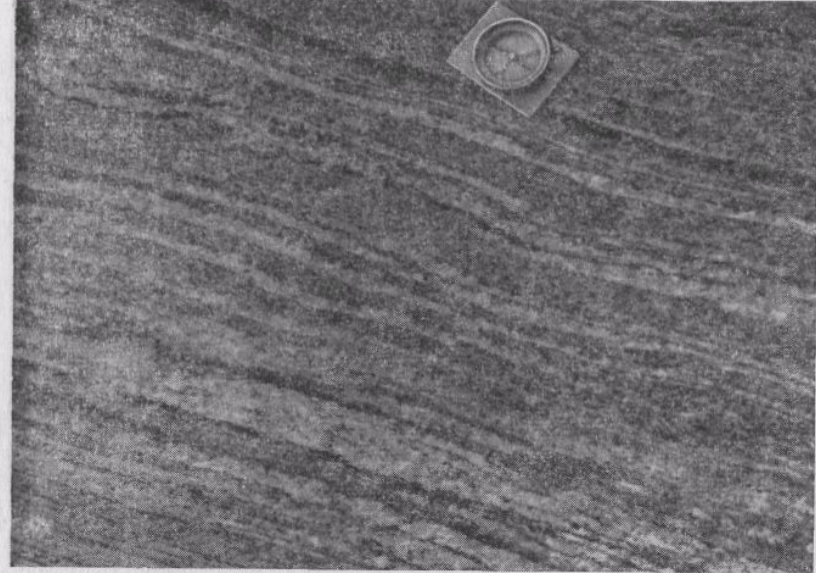


Рис. 130. Тонкослойный мигматит.  
 Субстрат — амфиболо-биотитовый гнейс, метатект — плагиогранит — пегматит, частью микроклинсодержащий.



Рис. 131. Гнейсовидно-теновой мигматит (гетерогенный) микроклин-плагиоклазового состава, обогащенный биотитом в участках глубоко переработанного субстрата.

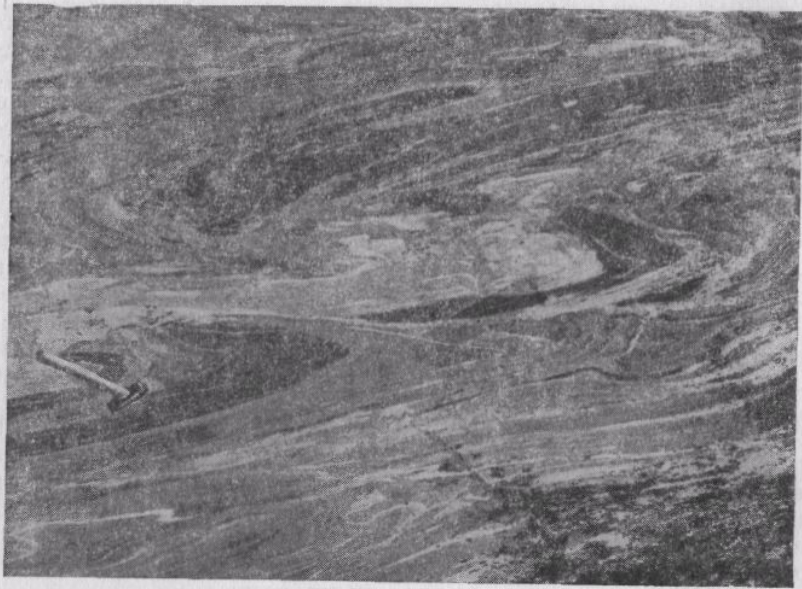


Рис. 132. Пластично-брекчиевидный мигматит.  
 Фрагменты — пачка переслаивания биотитового гнейса (серое) с амфиболитами (черное), метатект — плагиогранит.

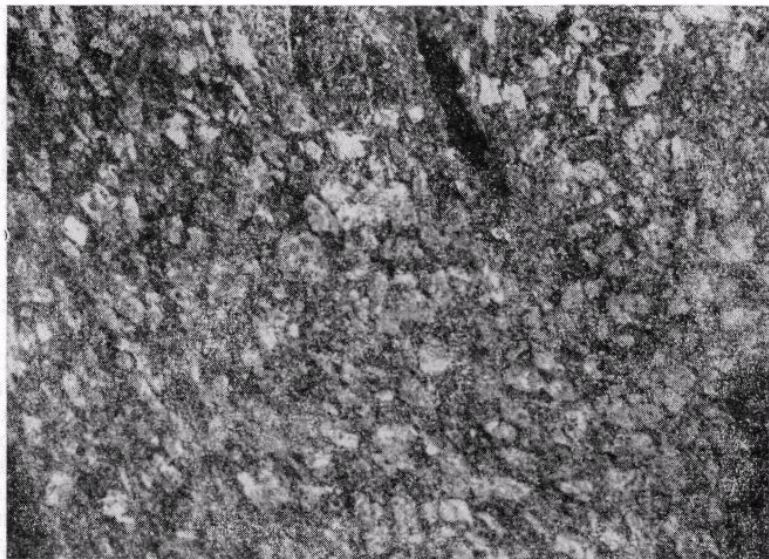


Рис. 136. Порфиробласто-теневой мигматит (гетерогенный с преобладанием метасоматических процессов).

Основная масса — плагиогранитный материал, переполненный порфиробластами полевых шпатов (олигоклаз, микроклин). Остатки субстрата — полевошпатовый биотитовый гнейс и слюдит.

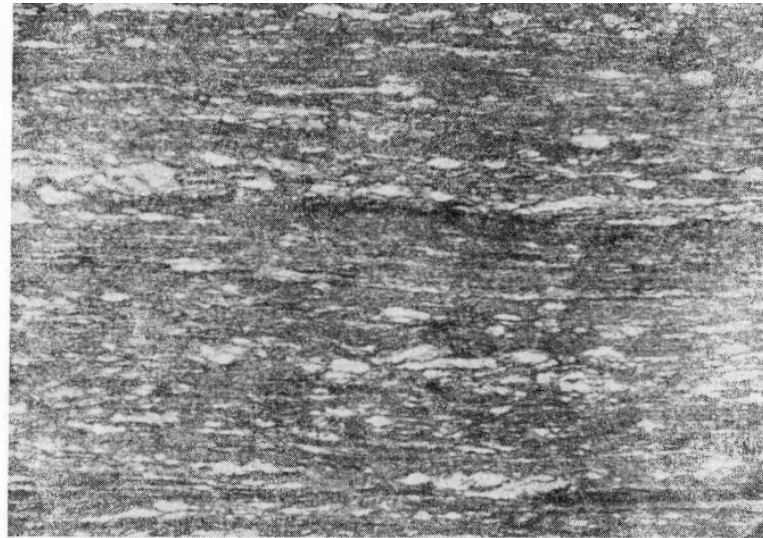


Рис. 134. Очковый мигматит.

Субстрат — биотит-амфиболовый гнейс, metablastы — плагиоклаз.



Рис. 133. Флюидальный мигматит (гетерогенный).

Остатки переработанного субстрата представлены биотит-амфиболовой породой, метатект — плагиогранитом, неравномерно обогащенным биотитом, частью роговой обманкой.



Рис. 137. Птигматитовый мигматит (инъекционно-магматический с явлениями перекристаллизации и метабластеза).

Субстрат — кварц-биотитовый сланец, жильный материал — плагиогранит, частью с микроклином. Жилки располагаются несогласно со сланцеватостью субстрата.

- Параметаморфические и ортометаморфические породы (пара,- и ортогнейсы и сланцы)
- **Критерии** расчленения метаморфических пород на комплексы, серии, свиты:
- Литолого-стратиграфические. Маркеры: горизонты и пачки мраморов, кварцитов, параамфиболитов, прослеживающиеся на значительные расстояния
- Структурные. Выявление внутренней структуры к-сов, толщ, учет наложенной складчатости для стратиграфических построений
- Метаморфические. Характер и последовательность процессов метаморфизма, циклы и этапы метаморфизма и складчатости
- Магматические. Расчленение, корреляция и датировка толщ