

# Лекция 6

Общие сведения о метаморфизме.  
Главные факторы метаморфизма.  
Типы метаморфизма. Минеральный  
состав метаморфических пород.

**ПЕТРОГРАФИЯ**

СТ. ПРЕПОДАВАТЕЛЬ КАФЕДРЫ ГРМПИ

ЛИ ЕЛЕНА СЕРГЕЕВНА

# План лекции

2

- ▶ Факторы метаморфизма
- ▶ Региональный метаморфизм
- ▶ Контактный метаморфизм
- ▶ Динамометаморфизм
- ▶ Метасоматоз
- ▶ Ультраметаморфизм
- ▶ Ударный метаморфизм

# Метаморфический процесс

3

## Метаморфический процесс

(«метаморфозис» - превращение) - процесс перекристаллизации горных пород в твёрдом состоянии, протекающий в недрах Земли под действием повышенных температур и давлений

**Основной причиной** перекристаллизации при изменении термодинамических параметров среды является различная устойчивость минералов в тех или иных условиях

# Условия проявления метаморфических процессов

В зависимости от того, в каком направлении при этом меняется **температура**, метаморфизм подразделяется на :

- ▶ **Прогрессивный метаморфизм** протекает при повышении температуры. Ассоциации минералов, устойчивых в условиях относительно низких температур, замещаются другими, более высокотемпературными.
- ▶ **Регрессивным метаморфизм** протекает при понижении температуры.

2. В зависимости от того, что происходит **привнос или вынос химических элементов** метаморфизм подразделяется на:

▶ **Изохимический метаморфизм**

происходит без изменения исходного химического состава горной породы.

▶ **Аллохимический (метасоматоз)** –

химический состав горной породы претерпевает разнообразные изменения.

# Основные факторы метаморфизма:

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

# Классификация процессов

В зависимости от условий проявления, масштабов распространения процесса и роли того или иного фактора выделяются следующие типы метаморфизма:

- ▶ Региональный метаморфизм
- ▶ Контактный метаморфизм
- ▶ Динамический метаморфизм (динамометаморфизм)
- ▶ Ультраметаморфизм

▶ Региональный метаморфизм


проявляется на обширных площадях в связи с крупными тектоническими событиями в развитии регионов.

Факторы – температура, стрессовое и петростатическое давление



Выделяют низкую, среднюю и высокую степень метаморфизма.

- ▶ **Низкая** или начальная степень метаморфизма ( $T=300-500^{\circ}\text{C}$ ) характерна для цеолитовой фации, фации голубых и зеленых сланцев.
- ▶ **Средняя** степень отвечает средним температурам ( $T=500-650^{\circ}\text{C}$ ) и высоким давлениям – это амфиболитовая фация.
- ▶ **Высокая** степень метаморфизма ( $T$  более  $650^{\circ}\text{C}$ ) – гранулитовая фация.



Для пород регионального метаморфизма типичными являются следующие фации:

- ▶ 1) фация зеленых сланцев;
  - ▶ 2) амфиболитовая фация;
  - ▶ 3) гранулитовая фация;
  - ▶ 4) эклогиты.
- 
-



Амфиболитовая фацция    Эклогитовая фацция

Фацция зеленых сланцев



Переход от низших ступеней регионального метаморфизма к высшим называется **прогрессивным метаморфизмом**.

Если порода, образованная при относительно высоких температурах и давлениях, подвергается повторному метаморфизму при более низких температурах и давлениях, то говорят о **регрессивном метаморфизме**.

---

---

К породам очень низкой степени регионального метаморфизма относятся глинистые сланцы. Это твердые, тонкозернистые породы, легко раскалывающиеся на тонкие пластинки с гладкими поверхностями. Если такие сланцы имеют черный цвет, то их называют аспидными. С переходом к низкой степени метаморфизма глинистые сланцы преобразуются в филлиты, которые от первых отличаются более грубой сланцеватостью и более блестящими поверхностями, что связано с появлением чешуек мусковита.



Глинистый  
сланец



Аспидный  
сланец



Филлит

Более зрелые продукты метаморфизма низкой степени — это породы собственно зеленосланцевой фации. К ним относятся **хлорит-серицитовые сланцы**, которые являются продуктом дальнейшего преобразования глинистых сланцев. Они состоят из кварца, хлорита и серицита (мелкочешуйчатая разновидность мусковита).

Наиболее типичными породами для данной стадии метаморфизма являются зеленые сланцы, которые и дали название фации. Образуются зеленые сланцы по базальтам и туфам. Зеленый цвет придают зеленые кристаллы хлорита, роговой обманки и эпидота.



# Глаукофановые сланцы

- ▶ Своеобразной метаморфической фазией низкой и очень низкой ступеней метаморфизма являются **голубые сланцы**. Их цвет обусловлен присутствием голубой роговой обманки – глаукофана.
- ▶ **Глаукофановые сланцы** образуются в условиях сочетания очень высоких давлений (до 10 кбар) и низкими (не более 400°C) температурами.

# Амфиболитовая фация

16

- ▶ Амфиболитовая фация получила свое название по преобладанию в породе амфиболов. Эта фация начинается, когда хлорит под действием высоких температур и давлений переходит в биотит, которому сопутствуют мелкие кристаллы граната.
- ▶ В случае дальнейшего продолжения метаморфического процесса биотит замещается роговой обманкой, кристаллы граната увеличиваются в размерах, появляются такие алюмосиликаты, как ставролит, силлиманит, кианит и андалузит.
- ▶ На средней ступени регионального метаморфизма наиболее типичными породами являются **кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты.**

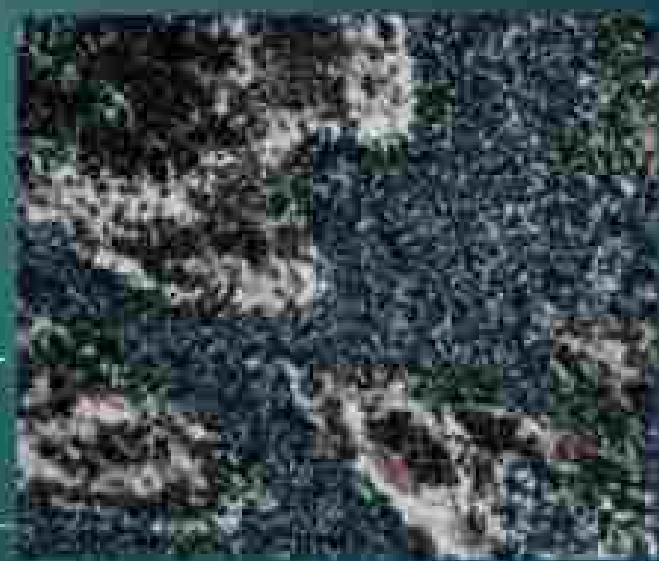




Гнейсы



Амфиболит



# Гранулитовая фа́ция

- ▶ Гранулитовая фа́ция характеризуется полным исчезновением водосодержащих минералов – слюд, роговых обманок, которые замещаются на пироксены.
- ▶ Наиболее типичной породой этой фации является **гранулит**, состоящая в основном из кварца, КТШ и натрий содержащих плагиоклазов с примесью граната, силлиманита или пироксена. Внешне граулиты похожи на граниты или пнейсы, но в них нет слюд. Обычно минеральные зерна в этих породах имеют одинаковый размер.
- ▶ Породы гранулитовой фации образуются при высоких температурах (700-800оС) и значительных давлений (от 2 до 1000 МПа).

# Эклогитовая фация

- ▶ К высшей ступени метаморфизма относится **эклогитовая фация**.
- ▶ Эклогиты – плотные породы, состоящие из пироксенов с вкраплениями кристаллов граната (пироп). По химическому составу она сходна с базальтами.
- ▶ Эклогиты образуются при высоких температурах (800-1000°C) и давлениях. Они типичны для низов континентальной коры и верхней мантии.

# Эклогитовая фация

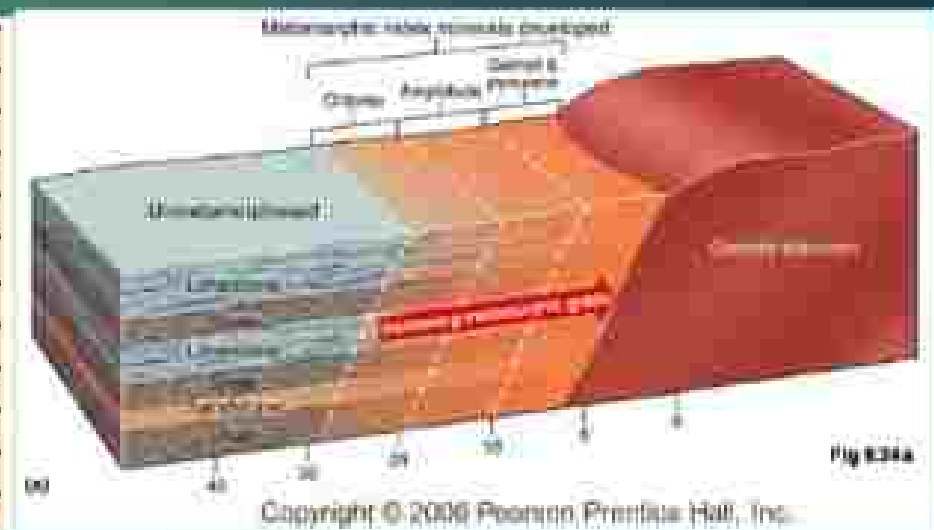
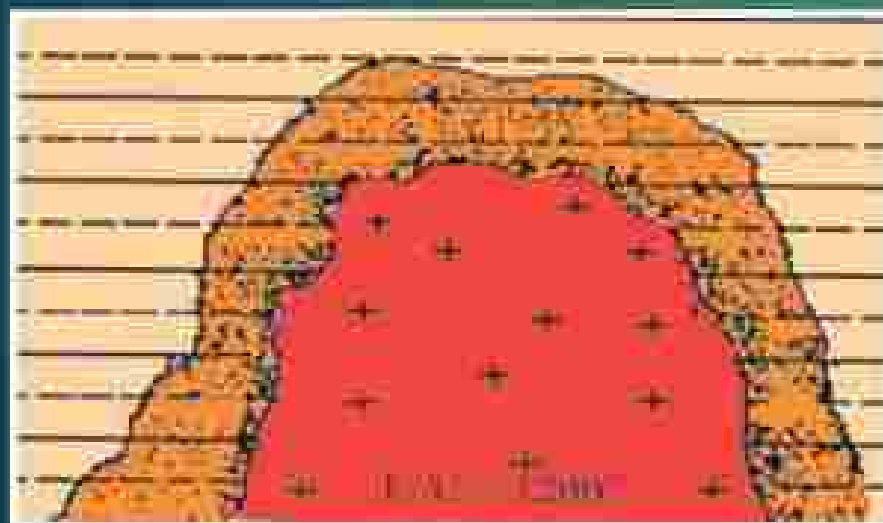


- ▶ Контактовый метаморфизм проявляется в связи с внедрением в относительно холодные горные породы горячих масс магматических расплавов.

Факторы - температура

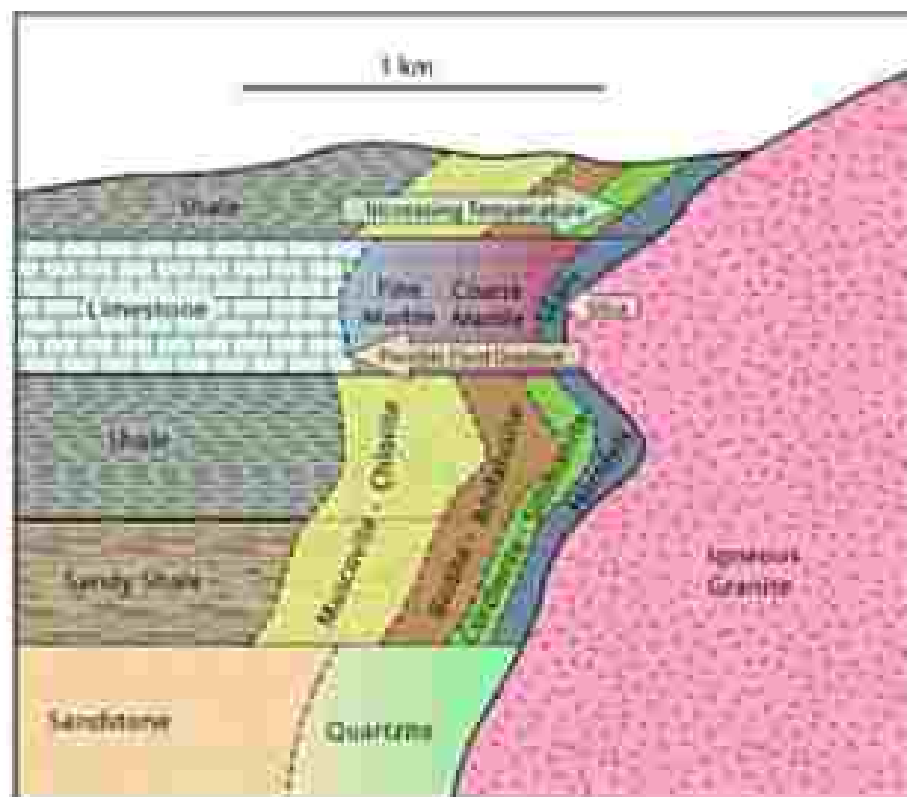
# Контактовый метаморфизм 22

- связан с внедрением в верхнюю относительно холодную часть земной коры расплавленной магмы. Максимальный радиус действия контактового метаморфизма 2-5 км.



# Контактовый метаморфизм

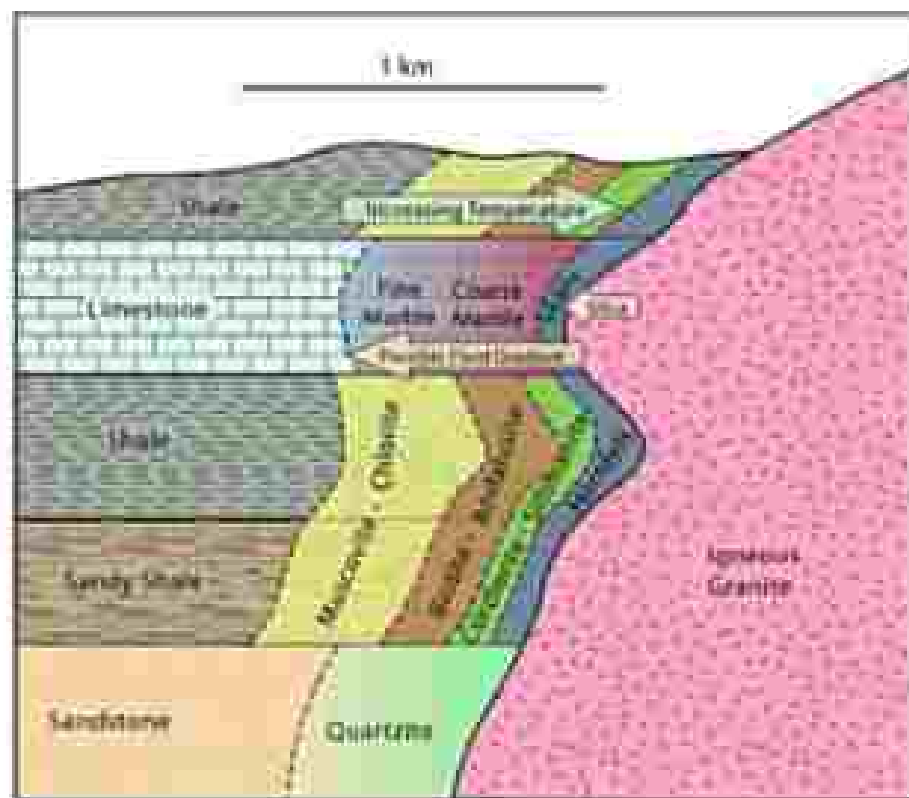
23



- В зоне контакта горных пород с магмой формируется область обжига пород, где температура достигает 500-900°C. Породы здесь спекаются и уплотняются.
- С увеличением расстояния от застывающей магмы температура метаморфизма постепенно уменьшается.

# Контактовый метаморфизм

24



- а Соответственно этому с удалением от магматического образования происходит постепенная смена высокотемпературных минеральных ассоциаций на низкотемпературные, т.е. наблюдается определенная зональность минералообразования.
- б При контактовом метаморфизме глины переходят в роговики, песчаники в кварциты, известняки в мрамор, угли в антрациты.





1 — граниты, 2 — эндоконтакт.

Вмещающие породы (рама):

3 — глины, 4 — известняки, 5 — песчаники, 6 — кислые лавы.

Породы контактового метаморфизма (чем ближе к интрузивному массиву, тем выше степень метаморфизма):

7 — дегидратированные породы, 8 — мраморы, 9 — глинистые сланцы, 10 — филлиты, 11 — хлоритовые сланцы, 12 — силлиманитовые сланцы, 13 — кварциты, 14 — вторичные кварциты

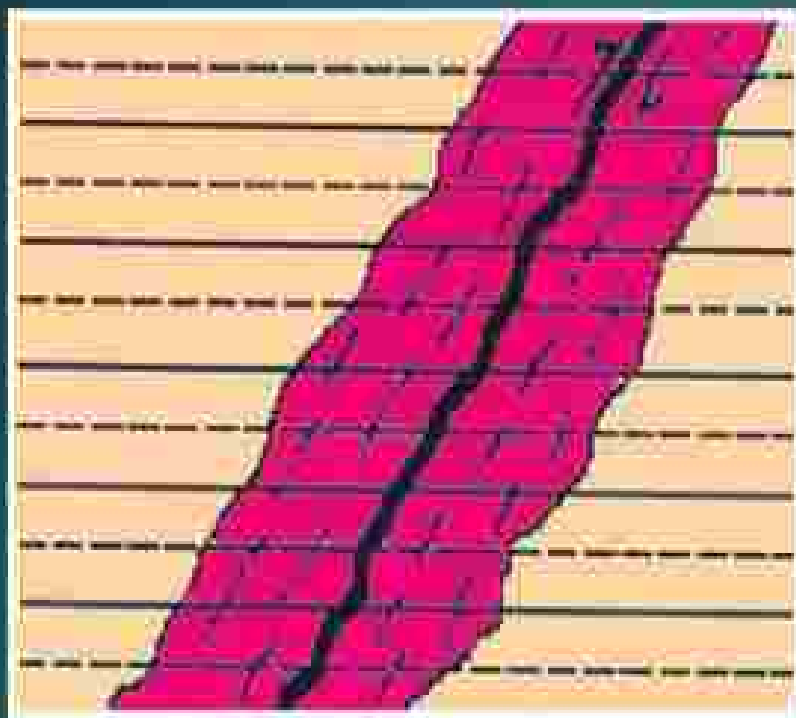
- ▶ Динамический метаморфизм (динамометаморфизм) СВЯЗАН С ПОДВИЖКАМИ ВДОЛЬ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ, ЕГО ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИУРОЧЕНЫ К УЗКИМ ПРИРАЗЛОМНЫМ ЗОНАМ.

Факторы – давление

# ДИНАМОМЕТАМОРФИЗМ

27

- ⓐ При дислокационном метаморфизме, который чаще называется **динамометаморфизм**, основную роль играет локальное повышение давления в зонах тектонических разломов.
- ⓑ При смещении крупных блоков земной коры в приконтактных зонах разломов происходит дробление горных пород. В приразломной зоне скапливаются тектонические брекчии и милониты (порода, похожая на муку, состоящая из тонкозернистого кварца и ПШ).
- ⓒ Одностороннее сжатие придает минералам типа хлорита, мусковита, талька однонаправленную ориентировку, параллельно плоскости разлома, вследствие этого порода приобретает полосчатую текстуру.



Трещина, по которой  
развивается  
динамометаморфизм

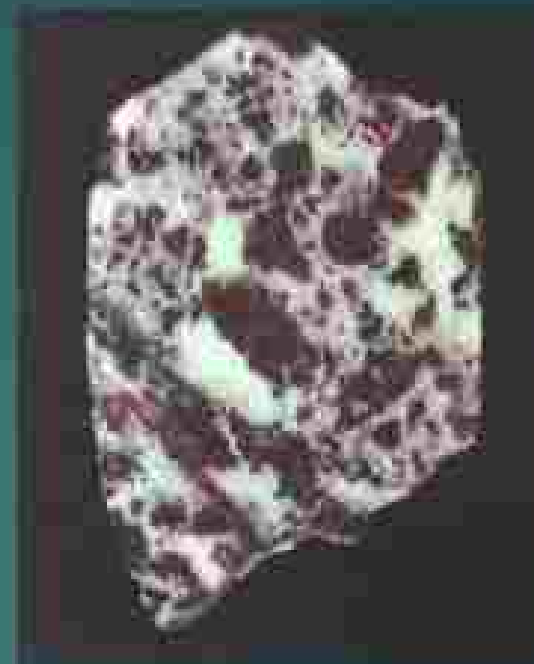


Тектоническая брекчия

- ▶ **Метасоматоз** - аллохимическое замещения минералов в твердом состоянии за счет флюидов, растворяющих и выносящих одни химические элементы и привносящих и отлагающих другие .

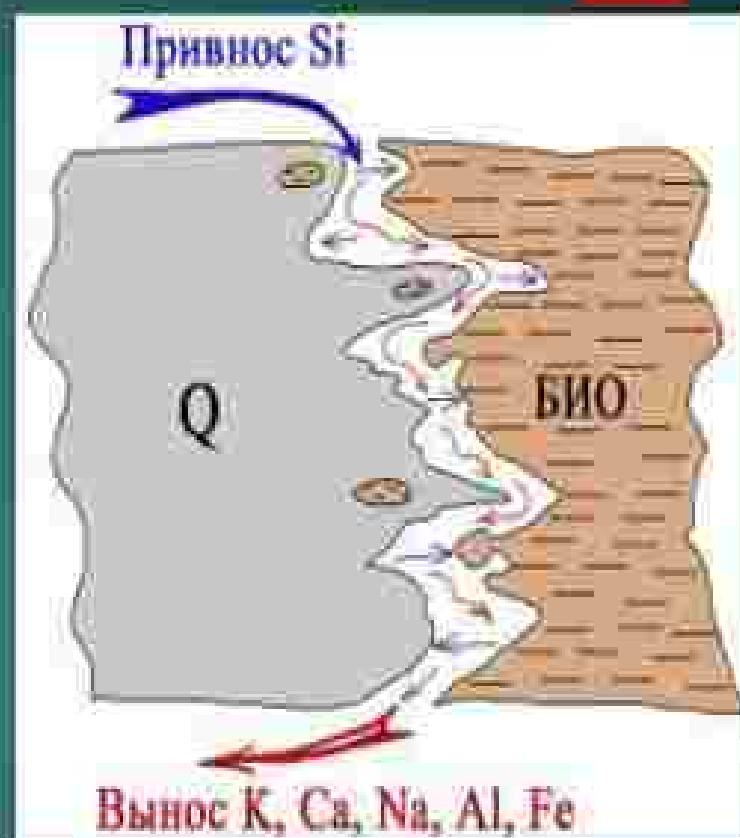
**Факторы** – химически активные вещества, привнос и вынос веществ

# Метасоматические породы



В случаях, когда к действию повышенной температуры добавляется воздействие выделяющихся из магмы горячих растворов и газов, контактовый метаморфизм переходит в контактово-метасоматический метаморфизм, или просто метасоматоз.

Метасоматоз происходит при относительно **низких температурах и давлениях**.



Принципиальная схема замещения биотита кварцем при метасоматозе.

- ▶ Ультраметаморфизм - высшая ступень регионального метаморфизма. Характеризуется началом частичного плавления горных пород.

Факторы – температура, давление, химическая активность воды, привнос и вынос веществ



# Ударный метаморфизм

Ударный метаморфизм (импактный, коптогенный) проявляется в образовании различных пород и новых минералов при столкновении с Землей метеоритов

Факторы - давление (момент удара достигает 600-900 кбар), температура (до 2500-3000°C)

При образовании метеоритного кратера горные породы дробятся и плавятся. Возникают новые минералы.



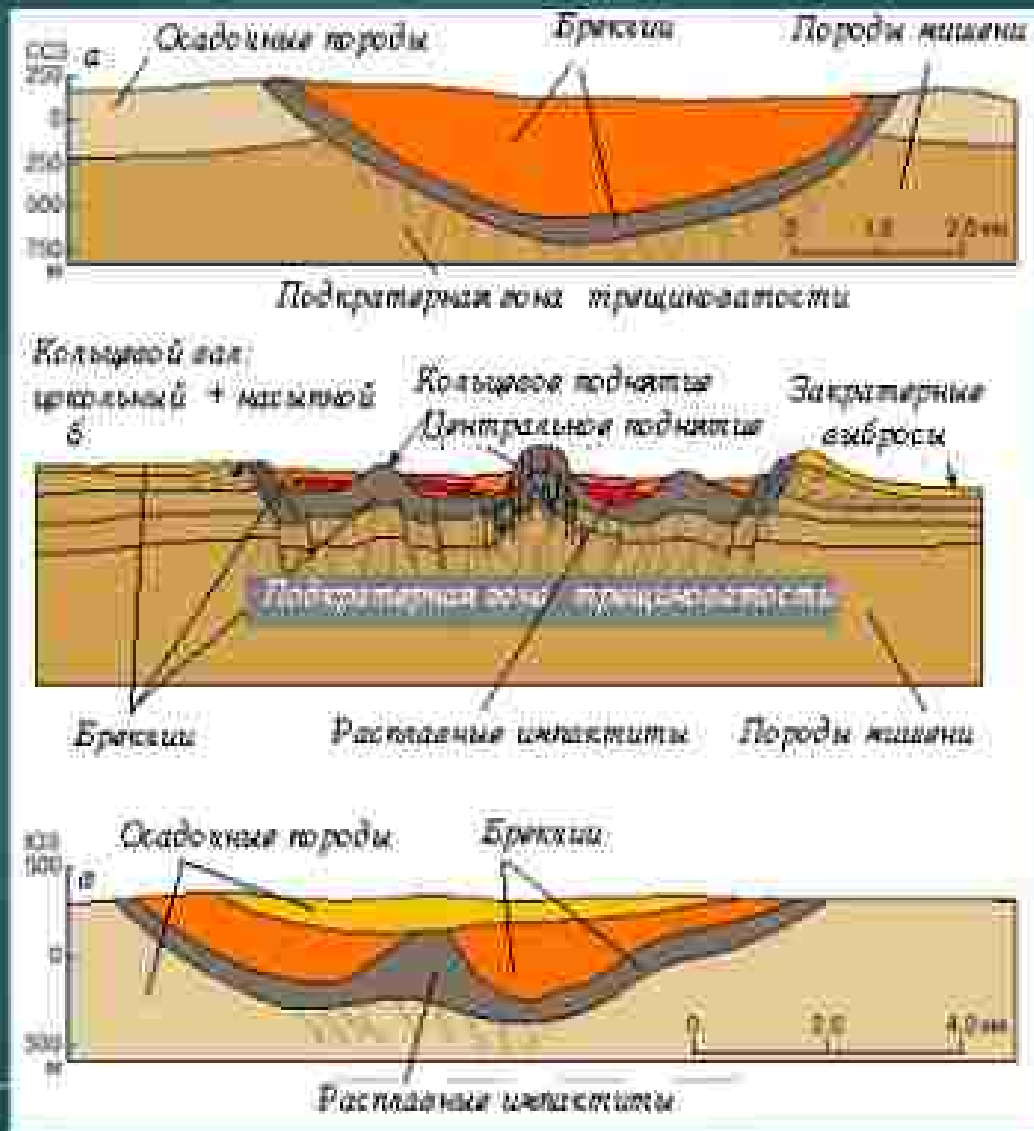
## Попигайская астроблема

на севере  
Восточной  
Сибири. Диаметр  
около 90 км,  
время  
образования - 35  
млн. лет назад



# Строение метеоритных кратеров:

а – простая форма; б – общая схема;  
в – кратер с центральным поднятием.



# Импактиты (породы ударного метаморфизма)

- ▶ Импактиты выделяются как самостоятельный тип горных пород наравне с осадочными, магматическими и метаморфическими. Это признание необычных условий их формирования. По международной классификации импактиты делятся на три группы (по составу, строению и степени ударного метаморфизма):
- ▶ **импактированные породы** – горные породы мишени, слабо преобразованные ударной волной и сохранившие благодаря этому свои характерные признаки;
- ▶ **расплавные породы** – продукты застывания импактного расплава;
- ▶ **импактные брекчии** – обломочные породы, сформированные без участия импактного расплава или с очень небольшим его количеством.

# ИМПАКТИТЫ

