

# *Метаморфические горные породы*

---

образуются в результате структурно-текстурных и минеральных, а иногда и химических преобразований

ранее существовавших горных пород (осадочных, магматических и метаморфических)

*Основной причиной* метаморфических преобразований является изменение физико-химических условий под воздействием разнообразных **эндогенных** процессов.



## Метаморфические горные породы

Типы метаморфизма		Региональный			Контактный	
		зона низких $t^{\circ}$ и $p$	зона средних $t^{\circ}$ и $p$	зона высоких $t^{\circ}$ и $p$	перекристаллизация	метасоматоз
Магматические	Кислые, средние гранит, диорит, липарит, кв. порфир, порфирит			гнейс		грейзен
	Основные и ультраосновные Габбро, дунит, базальт, диабаз, перидотит	кварцево-полевошпатные, кварцево-сланцевые сланцы		гнейс		
		зеленые, хлоритовые, тальковые сланцы		эктогит амфиболит		
Осадочные	Обломочные Песчаники, аргиллиты и др.	филлит	кристаллические сланцы	гнейс	роговики	
	Химические и биохимические Кремнистые	кремнистые сланцы	кварциты			
	Карбонатные	метаморфизированные известняки	мраморы			скарн

**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

# Метаморфические изменения включаются в:

---

- распаде первичных минералов,
- образовании новых, более устойчивых минеральных ассоциаций,
- частичной или полной перекристаллизации пород,
- образовании новых текстур, структур.

Процесс метаморфизма постоянно находится в динамике.

### I стадия метаморфизма

при погружении осадков на большие глубины низкотемпературные минеральные ассоциации замещаются высокотемпературными.

↑ T, P и агрессивности флюидов.

*Первую стадию метаморфизма условно можно подразделить на четыре этапа:*

**1 этап** – накопление осадочных, магматических горных пород в геосинклинальных зонах.

**2 этап** сопровождается медленным (1 – 2 млрд лет) опусканием накопившихся осадков на большую глубину (до 30 км). Глины → гнейсы: породы осн. состава → амфиболиты, породы у/о состава → серпентиниты (перекристаллизация вещества без изменения хим. состава).

В это время происходит смятие пород в складки, образование разрывных нарушений.

**3 этап** характеризуется широкой гранитизацией (метасоматозом) с формированием в тектонических зонах крупных массивов плагиогранитов.

**4 этап** – процесс формирования микроклиновых гранитов, пегматитов и кварца, за счет флюидов, сформированных при региональной гранитизации (секущие жилы в гнейсах, гранитах и кристаллосланцах).

II стадия метаморфизма называется *регрессивным метаморфизмом* –

это подъём глубинных метаморфических пород на дневную поверхность.

В результате происходит разрушение породообразующих минералов и образование новых.

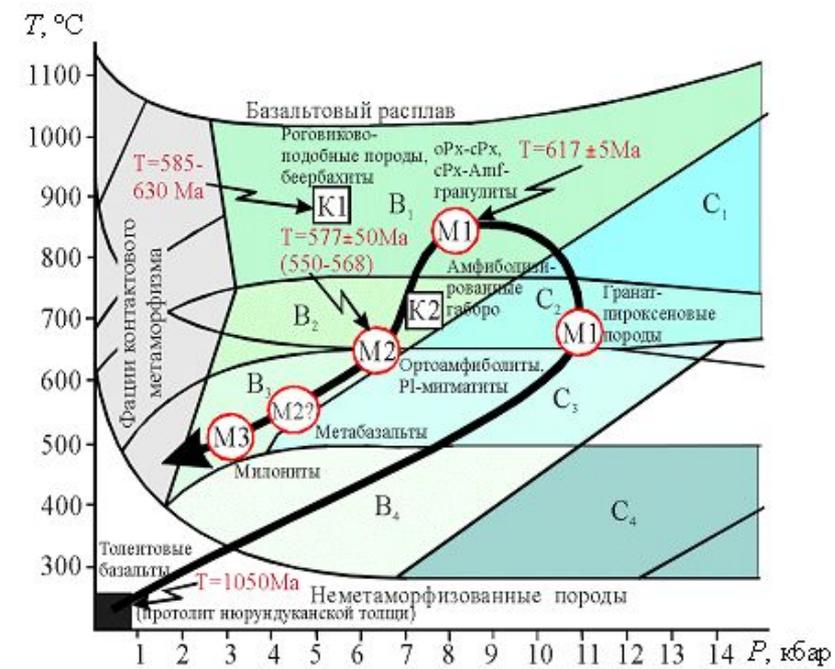
Плагиоклаз → глинистые минералы (пелитизация) → выносится большое количество Ca с образованием эпидота, т.е. проявляется вторичный процесс (эпидотизация).

Горные породы, претерпевшие регрессивный метаморфизм, иногда называют диафторитами.

# Основные факторы

## метаморфизма:

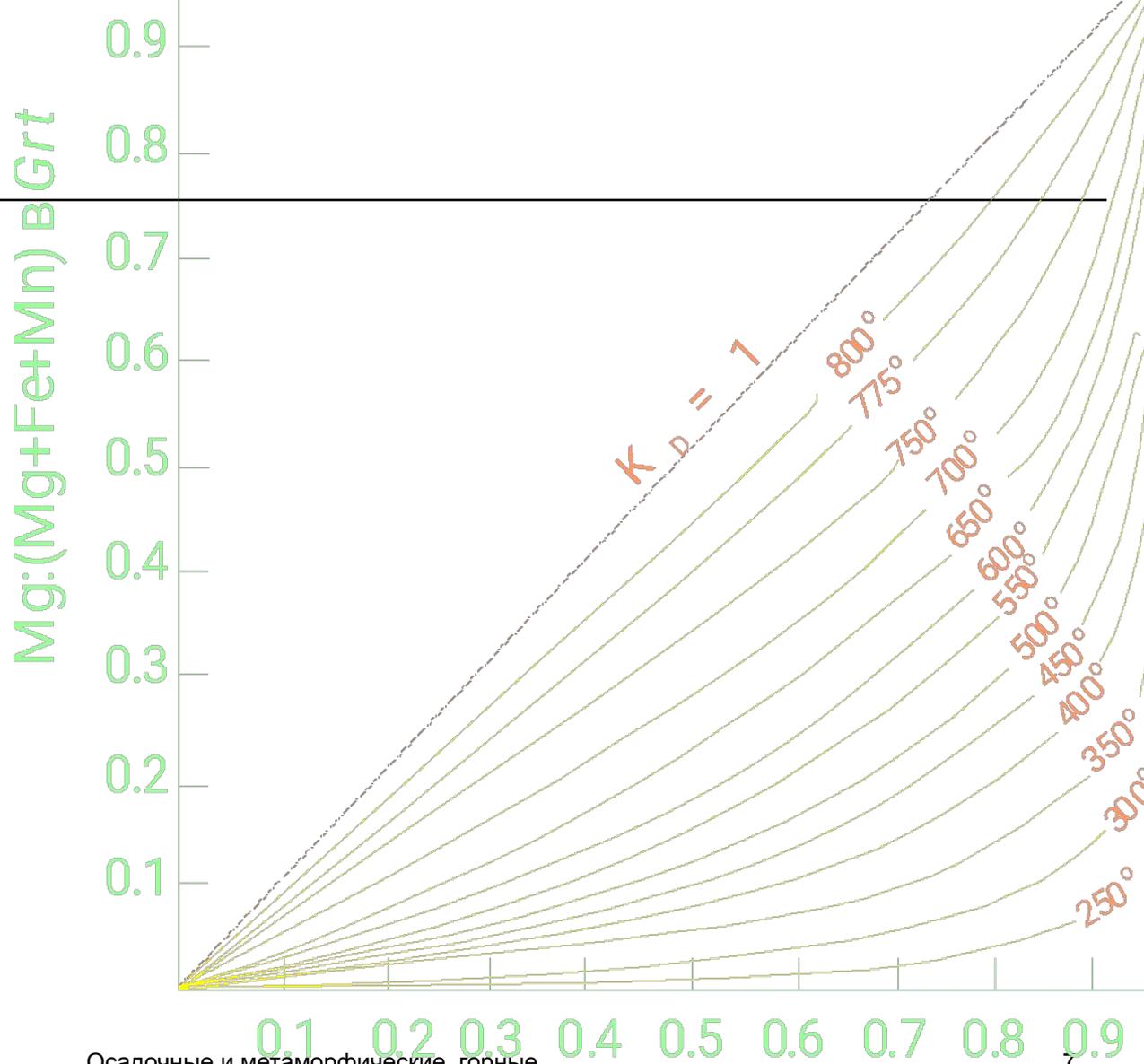
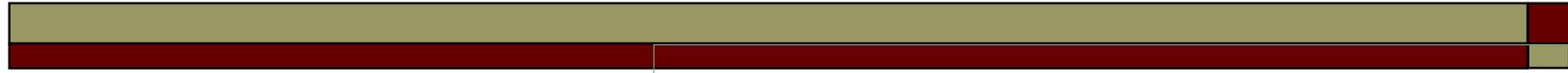
- температура,
- давление (литостатическое и одностороннее)
- химически активные вещества (растворы и газы).



Существенное значение имеют также состав и строение исходных пород, длительность процесса изменения, геологические условия метаморфизма.

Физико — химические (PT) условия образования метаморфических пород, определённые методами геобаротермометрии весьма высокие. Они колеблются от 100—300 °C до 1000—1500 °C и от первых десятков баров до 20—30 баров (1 бар = 0.987 атмосфер = 10<sup>5</sup> паскалей)

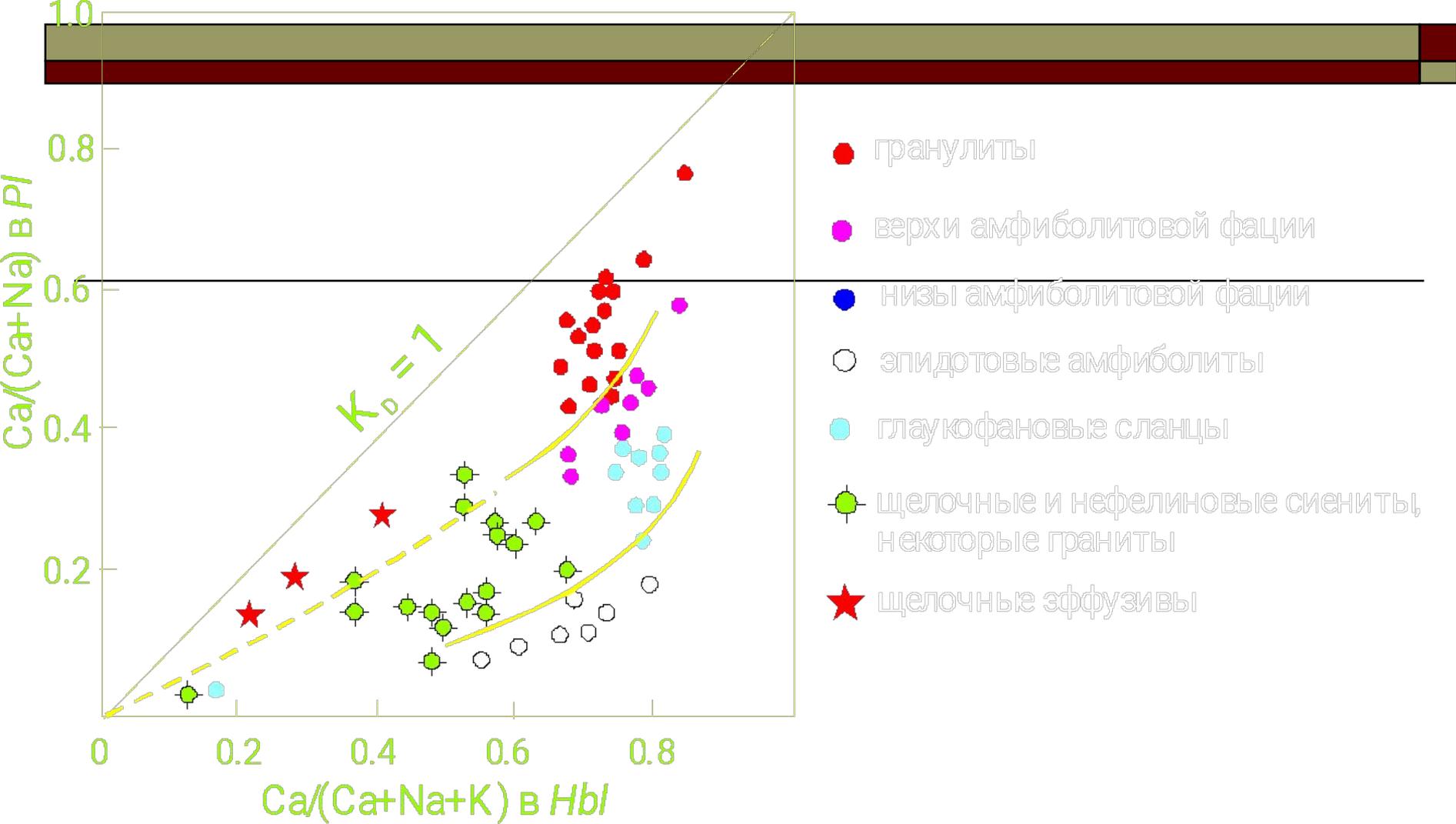
Главные отличия метаморфических пород от магматических и осадочных заключаются в их минеральном составе, структурных и текстурных особенностях.



Изотермы распределения Mg и Fe между *Bt* и *Grt* – биотит-гранатовый термометр (Перчук, 1967)

Осадочные и метаморфические горные породы

Mg:(Mg+Fe+Mn) в Bt



Составы сосуществующих плагиоклазов и роговых обманок и в породах разных температурных фаций



Liquid + gas inclusion in quartz

## Флюид

Понятие "**флюид**" используется для жидкости, которая становится газом с высокой плотностью и со многими свойствами жидкости в сверхкритических условиях, характерных для метаморфических процессов.

Наиболее важные составляющие метаморфогенных флюидов: вода и углекислый газ (а также углеводороды, азот, а иногда и водород).

Роль флюида при метаморфизме:

- образование водных минералов;
- ускорение процессов перекристаллизации (вода действует как сильный катализатор);
- перенос необходимых компонентов.



**Диафторез - повторный низкотемпературный и низкобаричный метаморфизм горных пород, образовавшихся ранее в глубинных условиях земной коры при высоких температурах**

# Классификация метаморфических процессов по условиям проявления:

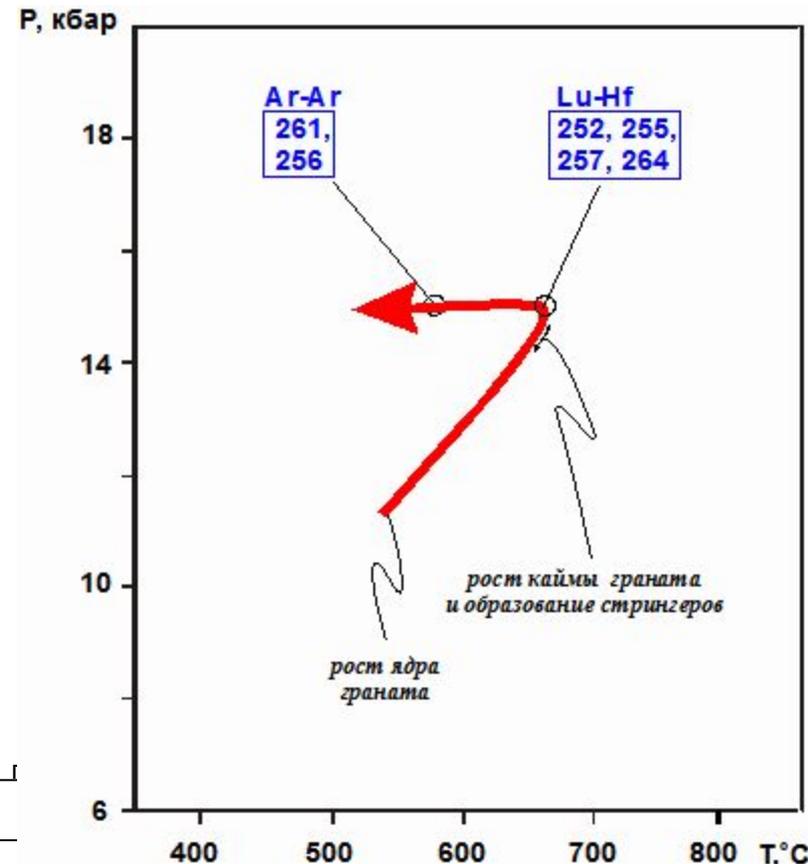
1. В зависимости от того, в каком направлении при этом меняется *температура*, метаморфизм подразделяется на :

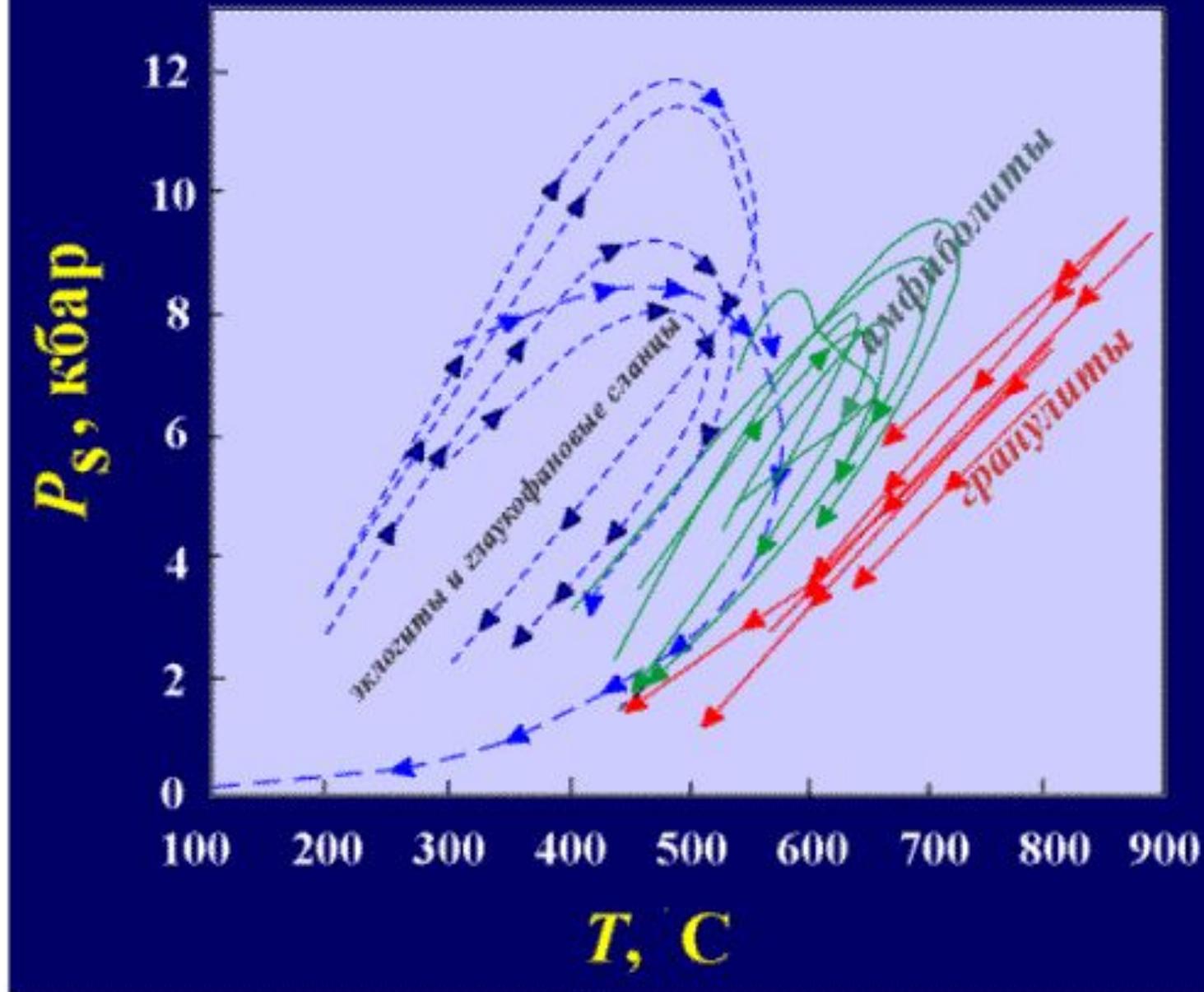
## Прогрессивный метаморфизм

протекает при повышении температуры. Ассоциации минералов, устойчивых в условиях относительно низких температур, замещаются другими, более высокотемпературными.

## Регрессивным метаморфизм

протекает при понижении температуры.





Изменение  $T$  и  $P$  при метаморфизме некоторых вулканогенно-осадочных комплексов (P-T-тренды эволюции метаморфизма)

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

- **изохимический** – без существенного изменения валового химического состава метаморфизируемой породы
- **аллохимический** – со значительным изменением состава метаморфизируемой породы вследствие привноса и выноса вещества

### 3. По интенсивности метаморфических преобразований породы разделяются на:

- ▣ *слабо измененные* (метаморфизованные), сохранившие реликты состава и структуры исходного материала
  - ▣ *глубоко преобразованные* (метаморфические), первоначальная природа которых полностью утрачена.
- Между ними наблюдаются постепенные переходы

### 4. По типу исходной породы - протолита метаморфические породы называются:

парапороды (метаосадочные) → метапелиты

ортопороды (метаизверженные) → метабазиты (результат

— метаморфизма основных магматических г.п.)

При описании метаморфических пород и процессов очень важными являются такие понятия как *химическое равновесие, фазы, компоненты, метаморфические минералы и метаморфические реакции.*

---

Метаморфические минералы, а точнее их ассоциации, являются важнейшими показателями метаморфических процессов.

Минералы, их форма, состав и взаимоотношения и являются тем результатом, по которому оказывается возможным реконструировать многие параметры метаморфического процесса (температура, давление и их изменение во времени, состав флюида и др.). Большинство нижеперечисленных минералов имеет переменный состав, определяемый соотношением минералов (конечных членов), и может рассматриваться в качестве твердых смесей.

*Минералы, слагающие метаморфические породы, можно разделить на 4 группы:*

**1. Минералы, широко распространенные как в метаморфических, так и в магматических породах** (полевые шпаты, кварц, слюды, роговая обманка, большинство пироксенов, оливин, магнетит и др.).

# Гранаты

При описании петрографического состава метаморфических пород наиболее часто используется собирательный термин "гранат", хотя в отдельных случаях употребляют более конкретные термины, указывающие на специфику состава гранатов.

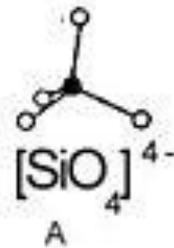
Метаморфические гранаты в большинстве случаев являются многокомпонентной твердой смесью, в составе которой присутствуют:

<i>альмандин</i>	$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
<i>гроссуляр</i>	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
<i>пироп</i>	$\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
<i>спессартин</i>	$\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$



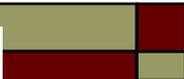
В очень небольших количествах (за исключением специфических типов пород) могут присутствовать:

<i>андрадит</i>	$\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
<i>уваровит</i>	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$



*Островной силикат с изолированными кремнекислородными тетраэдрами*





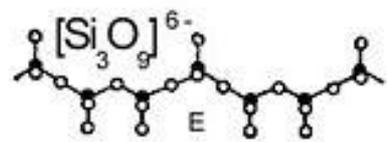
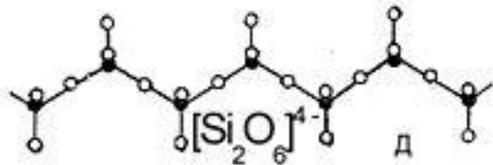
# Пироксены

В метаморфических породах встречаются две подгруппы пироксенов:

- ромбические (ортопироксены). Четкие индикаторы высоких температур при метаморфизме. Изоморфная серия: энстантит -  $Mg_2[Si_2O_6]$  и ферросилит -  $Fe_2[Si_2O_6]$

- моноклинные (клинопироксены). Кальциевые клинопироксены (диопсид - геденбергит) и натриевые клинопироксены (эгирины, жадеиты, омфацинты).

Минералы	Состав миналов	Главный состав
<b>Mg-Fe пироксены</b>		
<b>Энстатит (En)</b>	$Mg_2Si_2O_6$	$(Mg,Fe)_2Si_2O_6$
<b>Ферросилит (Fs)</b>	$Fe_2Si_2O_6$	
<b>Пижонит</b>		$(Mg,Fe,Ca)_2Si_2O_6$
<b>Mn-Mg Пироксены</b>		
<b>Донпикорит</b>		$(Mn,Mg)MgSi_2O_6$
<b>Каноит (Ka)</b>	$MnMgSi_2O_6$	
<b>Ca Пироксены</b>		
<b>Диопсид (Di)</b>	$CaMgSi_2O_6$	$Ca(Mg,Fe)Si_2O_6$
<b>Геденбергит (Hd)</b>	$CaFe^{2+}Si_2O_6$	
<b>Авгит</b>		$(Ca,Mg,Fe)_2Si_2O_6$
<b>Na Пироксены</b>		
<b>Жадеит (Jd)</b>	$NaAlSi_2O_6$	$Na(Al,Fe^{3+})Si_2O_6$
<b>Эгирин (Ae)</b>	$NaFe^{3+}Si_2O_6$	
<b>Li Пироксены</b>		



Цепочечные силикаты, с непрерывными цепочками из кремнекислородных тетраэдров

Осадочные

# Амфиболы

К амфиболам относится очень сложная группа ромбических или моноклинных силикатов с общей формулой



где:

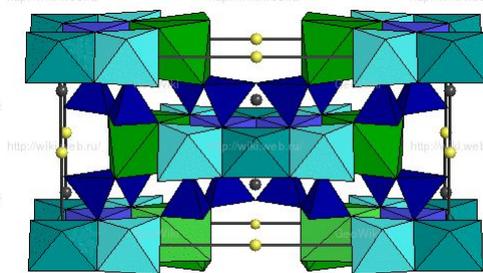
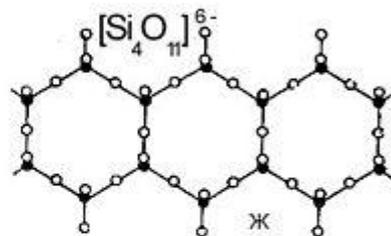
A=Ca, Na, K;

B=Ca, Fe<sup>2+</sup>, Li, Mg, Mn<sup>2+</sup>, Na;

C=Fe<sup>2+</sup>, Mg, Mn;

D=Al, Cr, Fe<sup>3+</sup>;

Z=Al, Ti, Si.



*Поясные (Ленточные) силикаты, это силикаты с непрерывными обособленными лентами или поясами из кремнекислородных тетраэдров*

Выделяются: железо-магниевые (безкальциевые), кальциевые (сюда же входят кальциево-магниевые) и щелочные амфиболы.

Наиболее распространенными являются кальциевые амфиболы, представленные в метаморфических породах группой **актинолита и роговыми обманками  $Ca_2(Mg,Fe,Al)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$** . Актинолит является обычным минералом в низкотемпературных метаморфических породах. В роговых обманках наблюдается общая тенденция повышения содержаний Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и TiO<sub>2</sub> по мере увеличения температуры метаморфизма.

Для низкотемпературных высокобарических пород характерно присутствие щелочного амфибола - **глаукофана**, а также амфиболов промежуточного состава между актинолитом и глаукофаном (винчиты), глаукофаном и рибекитом (кросситы) и глаукофаном и роговой обманкой (барруазиты).

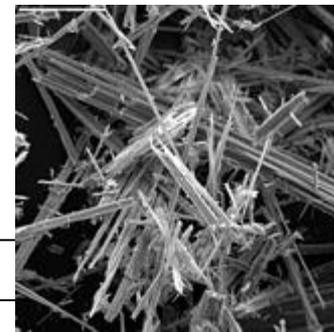
Для метаморфических пород, возникших за счёт магнезиальных известняков и доломитов, характерны **тремолит  $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$** , иногда **рихтерит, паргасит**.

Моноклинные амфиболы Fe-Mg ряда **куммингтонит-грюнерит** характерны для регионально метаморфизованных пород низких давлений и для контактово-метаморфизованных пород.

Ромбические амфиболы - **антофиллит  $(Mg,Fe)_7(OH)_2[Si_8O_{22}]$**  и **жедрит** входят в состав регионально-метаморфизованных пород и контактовых роговиков, а также формируются в процессе магнезий-железистого метасоматоза. Они присутствуют в породах амфиболитовой и гранулитовой фаций.



Осадочные и метаморфические горные породы



## Слюды

Среди слюд выделяется две основные группы:

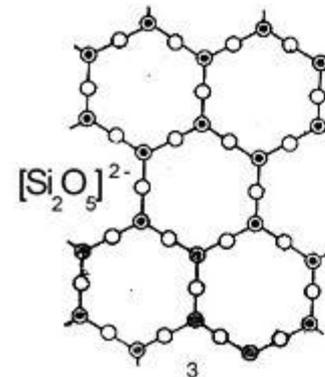
*триоктаэдрические* -

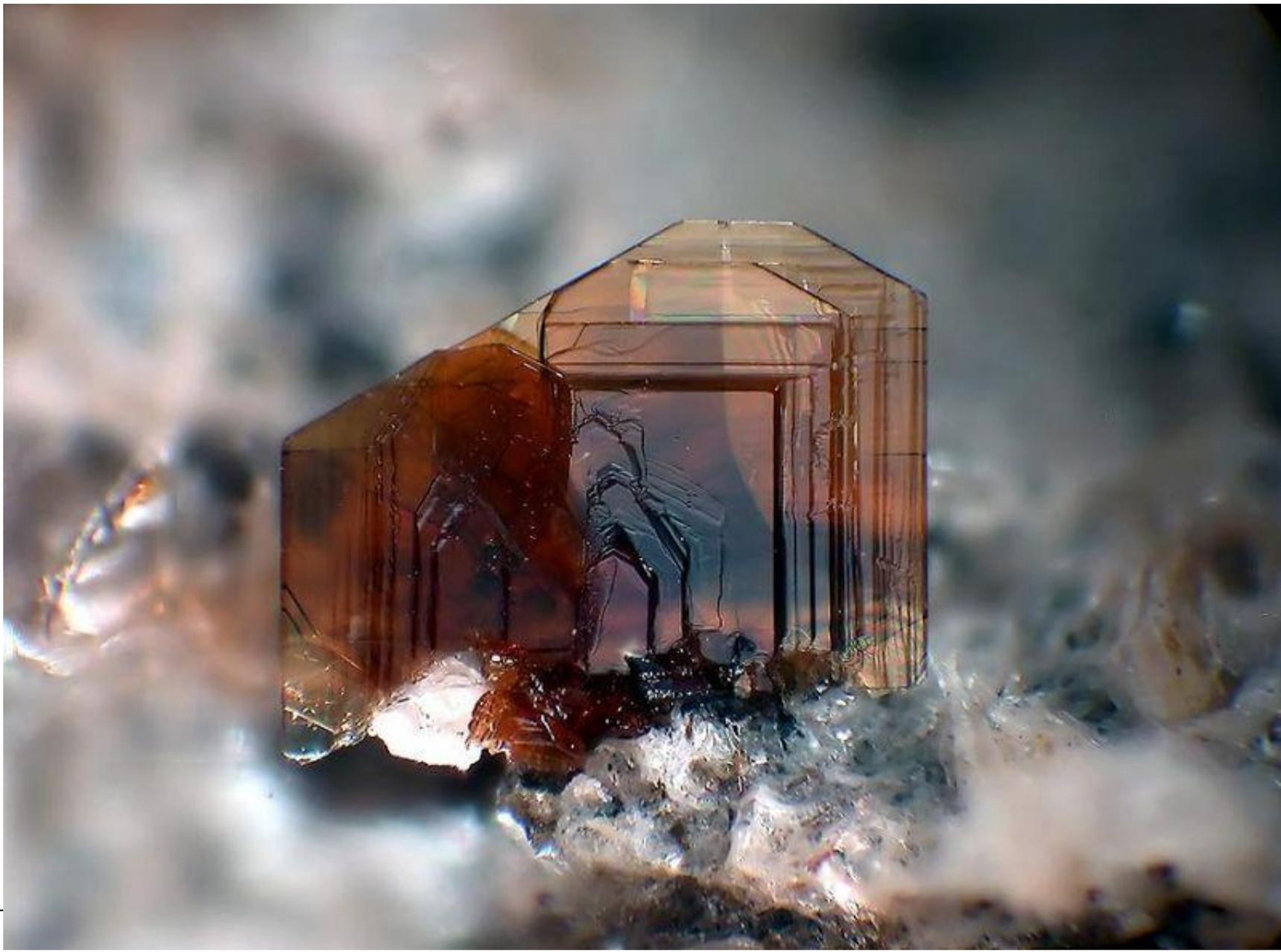
**Биотит**,  $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH, F]_2$

формирующийся в широком диапазоне химических и термодинамических условий, входит в состав разнообразных гнейсов и кристаллических сланцев, а также метасоматических образований, является составной частью контактовых роговиков. Состав биотита контролируется, главным образом, химическим составом породы и, в меньшей степени, условиями метаморфизма.

**Флогопит** встречается преимущественно в метаморфизированных карбонатных породах - мраморах и кальцифирах.

Наиболее распространенным представителем *диоктаэдрических* слюд является **мушкетер**, встречающийся как в самых низкотемпературных, так и в высокотемпературных метаморфических породах, главным образом метапелитах. Идеальная формула мушкетера  $KA_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ , однако благодаря изоморфизму  $Si^{+}(Fe, Mg) \leftrightarrow 2Al$  в нем всегда содержатся небольшие количества магния и железа. Повышенное суммарное содержание железа и магния является качественным показателем повышенных давлений при метаморфизме.





## Полевые шпаты

В метаморфических породах полевые шпаты являются одними из самых распространенных минералов.

Встречаются, главным образом, две группы полевых шпатов:

- ***К-шпаты***, представленные **микроклином** и **ортоклазом** (характерны для высокотемпературных и среднетемпературных пород);

- ***Na-Ca-шпаты (плаггиоклазы)***

Плаггиоклазы встречаются практически во всем интервале P-T-условий метаморфизма, будучи неустойчивыми только при очень высоких давлениях. По составу они варьируют от чистого **альбита**  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  до практически чистого **анортита**  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ .

В наиболее низкотемпературной области метаморфизма (фашия зеленых сланцев и ниже) устойчивым является практически чистый альбит, и только при температуре выше 450-500 в породах появляется олигоклаз. Обратная тенденция изменения состава плаггиоклазов наблюдается по мере увеличения давления при метаморфизме.

**2. Минералы, типичные для осадочных пород** (кальцит –  $\text{CaCO}_3$ , доломит).



**3. Минералы вторичные**, которые встречаются и в магматических породах (серпентин, хлорит, актинолит, серицит, тальк и др.).



## 4. *Специфические минералы*, которые встречаются только в метаморфических породах

□ Полиморфы силиката глинозема: *андалузит, кианит (дистен) и силлиманит*.

Эти минералы имеют одинаковый химический состав  $Al_2SiO_5$ , но разную кристаллическую структуру, что определяет их устойчивость в разных интервалах P-T-условий. Андалузит устойчив при низких давлениях и низких температурах, силлиманит - при низких - умеренных давлениях и высоких температурах, кианит характерен для пород с умеренными и высокими давлениями.

□ *Кордиерит*  $(Mg, Fe^{2+})_2Al_3[Si_5AlO_{18}]$  характерен для метаморфических пород широкого диапазона P-T-условий метаморфизма, за исключением области высоких давлений. Поскольку минерал является высокоглиноземистым, то наиболее типичен он для метапелитов.

□ *Ставролит*  $(Fe^{2+}, Mg)(Al, Fe^{3+})_9O_6[SiO_4]_4(O, OH)_2$ . Типичный минерал кристаллических сланцев амфиболитовой фации регионального метаморфизма. Ассоциирует с гранатом, дистеном, силлиманитом, мусковитом, кварцем.

□ *Хлоритоид*  $(Fe^{2+}, Mg, Mn)_2Al_4[(OH)_2|O|SiO_4]_2$  встречается в метаморфических породах низкой степени метаморфизма.

□ *Лавсонит*  $CaAl_2(OH)_2[Si_2O_7]H_2O$  можно рассматривать в качестве водного аналога анортита. Он является одним из самых надежных индикатором повышенных давлений и низких температур при метаморфизме.

□ *Волластонит*  $Ca[SiO_3]$  встречается в карбонатных породах и продуктах

— синметаморфического метасоматоза. Характерен для наиболее

— высокотемпературных условий метаморфизма.

## Метаморфические реакции

отражают изменения P-T-условий метаморфизма.

1. Полиморфные превращения, при которых не происходит изменения химического состава минералов, а также новообразования или исчезновения минеральных фаз. Изменяется лишь кристаллическая структура минерала.

графит-алмаз (полиморфные формы углерода)

кристаболлит-тридимит-коэсит-стишовит (полиморфы SiO<sub>2</sub>)

андалузит-кианит-силлиманит (полиморфы Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>)

2. Реакции с появлением новых минеральных фаз (наиболее распространенные в метаморфических процессах).

При изменении P-T-условий существовавшие ассоциации минералов становятся неустойчивыми, и происходит исчезновение всех или некоторых минералов, сопровождающееся ростом нового минерала (минералов).

Например: при росте давления после достижения некоторых критических значений альбит, весьма обычный во многих типах горных пород, становится неустойчивым и разлагается с образованием парагенезиса жадеит + кварц:



3. Обменные реакции без появления новых минеральных фаз (изменение химического состава ассоциирующих минералов по мере P-T).

Большинство метаморфических минералов имеет переменный состав и может рассматриваться как твердофазная смесь.

Например: парагенезис пироксена и граната, устойчив в достаточно широком интервале P-T (т.е. ↑ T на 100-200 ° не будет приводить к исчезновению одного из минералов или образованию новых минералов). Но по мере роста температуры минералы с первичным составом становятся неравновесными и происходит перераспределение Fe-Mg между минералами. Гранат обогащается пироповым компонентом (магний), а пироксен - ферросилитовым компонентом (железо).

Зональные минералы используются для количественной оценки изменения условий метаморфизма.

---

Среди *структур метаморфических пород*

---

выделяются следующие главные типы:

**1. Кристаллобластовые структуры** –

возникают в результате полной  
перекристаллизации исходных пород.

Процесс перекристаллизации в твердом  
состоянии называется –

**кристаллобластезом**, а минеральные зерна,  
образующиеся в результате такого процесса –

**кристаллобластами**

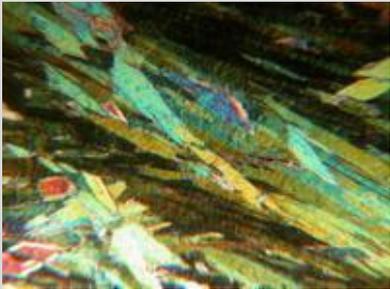
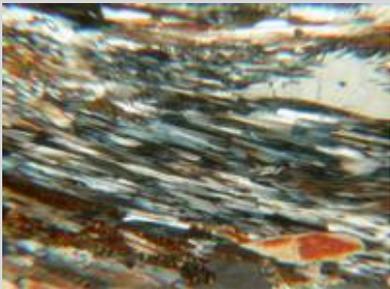
## Структуры метаморфических пород

Типы структур	Структуры	Характеристика структуры	Примеры
Кристаллобластовые - возникают в результате полной перекристаллизации исходных пород	<b>Абсолютные размеры зерен</b>		
	<i>Крупнозернистая к/з</i>	диаметр частиц более 5 мм	Тонкозернистая структура роговика
	<i>Среднезернистая с/з</i>	1 - 5 мм	
	<i>Мелкозернистая м/з</i>	0,25-1 мм	
	<i>Тонкозернистая т/з</i>	менее 0,25 мм	

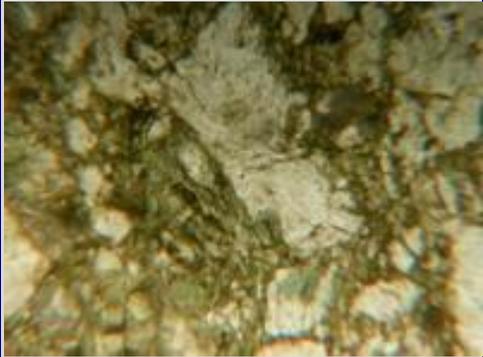


## Кристаллобластовые структуры

### Относительные размеры зерен

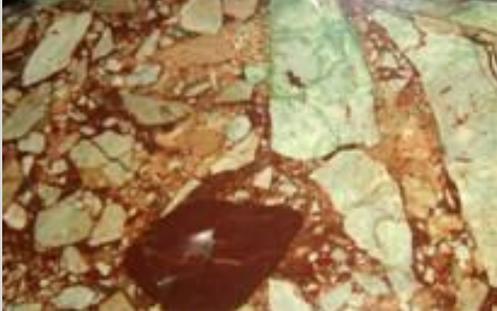
<b>Равномерно зернистая</b>	<b>Грано-бластовая</b>	Свойственна породам, сложенным изометричными зернами. Тонкозернистая разновидность такой структуры называется <i>роговиковой</i> . Характерна для роговиков, кварцитов, мраморов		Мрамор
	<b>Лепидо-бластовая</b>	Характеризует породы, состоящие преимущественно из чешуйчатых или листоватых минералов. Типична для серицитовых, хлоритовых, слюдяных и других сланцев		Двуслюдяной сланей
	<b>Немато-бластовая</b>	Определяется игольчатыми или волокнистыми минералами. Характерна для актинолитовых, силлиманитовых, дистеновых сланцев		Кианитовый сланец

# Кристаллобластовые структуры

<b>Неравномерно зернистая</b>	<b>Порфиробластовая</b>	Характеризуется наличием относительно крупных зерен (порфиробластов) на фоне более мелкозернистой основной массы породы (некоторые виды сланцев)	 <p>Порфиробластовая структура очкового гнейса</p>
	<b>Пойкилобластовая</b>	Отличается неориентированными и незакономерно расположенными включениями одних минералов в более крупных зернах других минералов. Встречается в скарнах, амфиболитах и др.	 <p>Скарн</p>

## 2. *Катакластические структуры* – возникают под воздействием направленного давления, вызывающего дробление и перетиравание пород.

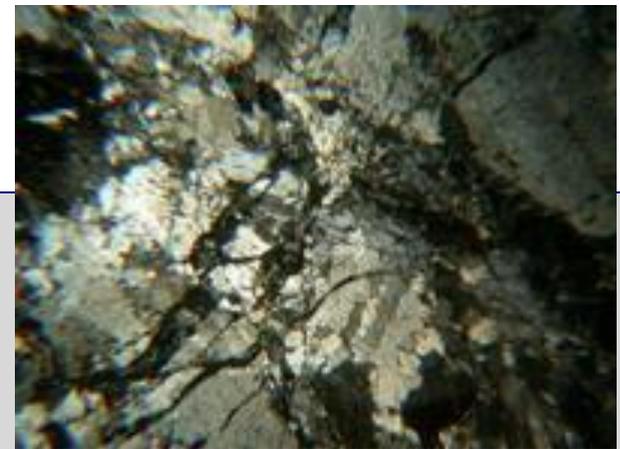
Среди катакластических структур различаются: *брекчиевидная* (брекчиевая), *милонитовая* и *бластомилонитовая*

Типы структур	Структуры		Примеры
<p><b><i>Катакластические</i></b></p> <p>возникают под воздействием направленного давления, вызывающего дробление и перетиравание пород</p>	<p><i>Брекчиевидная</i></p>	<p>Характеризует породы, сложенные различными по величине угловатыми обломками, между которыми находится перетертый материал</p>	 <p>Брекчиевидная структура тектонической брекчии</p>
	<p><i>Милонитовая</i></p>	<p>Свойственна породам, основная ткань которых состоит из тонкоперетертого материала, имеющего субпараллельную ориентировку</p>	 <p>Милонит</p>

3. ***Реликтовые структуры*** – характерны для пород, не претерпевших глубоких изменений, в которых наряду с новыми структурами сохранились элементы структур исходных пород

*Реликтовые*

Характерны для пород, не претерпевших глубоких изменений, в которых наряду с новыми структурами сохранились элементы структур исходных пород



Реликты кварцевых зерен

# Текстуры метаморфических пород:

---

**1. Сланцеватая** – определяется параллельным расположением чешуйчатых и листоватых минералов



**2. Гнейсовая** – обусловлена параллельной ориентировкой таблитчатых или вытянутых зерен минералов



**3. Полосчатая** – обусловлена  
чередованием полос различного  
состава и структуры



**4. Линзовидно-полосчатая** –  
минералы разного состава  
скапливаются в виде вытянутых  
линз



**5. Пятнистая** – определяется неравномерным, гнездовым распределением минералов;

---

**6. Волокнистая** – определяется вытянутыми примерно в одном направлении волокнистыми и игольчатыми минералами;

**7. Очковая** – определяется рассеянными в породе более крупными овальными зернами или агрегатами («очками») на фоне сланцеватой основной ткани породы;





**8. *Плойчатая*** – определяется присутствием в породе очень мелких складок;

**9. *Однородная*** – определяется неориентированным расположением зерен

**10. *Массивная*** – однородное сложение породы



# 1. Региональный метаморфизм

– преобразование горных пород, происходящее на глубине без существенного плавления, сопровождается перекристаллизацией и развитием новых минералов в условиях расплющивания и пластического течения.

Главными факторами являются  $T$ ,  $P$ , а также воздействие воды и углекислоты, содержащихся в исходных породах и способствующих ходу химических реакций.

***Проявляется на обширных площадях в связи с крупными тектоническими событиями в развитии регионов***

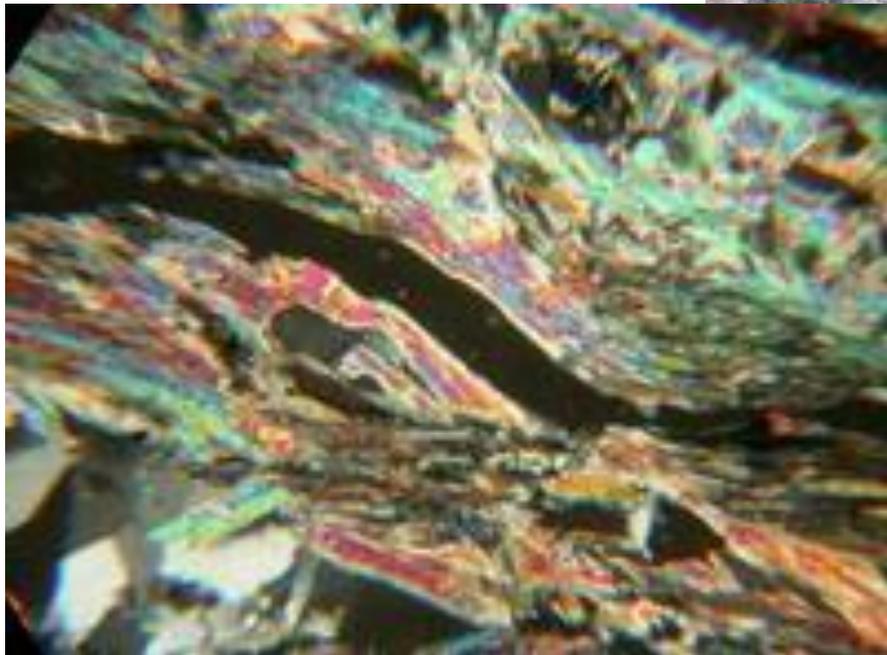
Наиболее распространенными породами регионального метаморфизма являются:

***Сланцы*** – общее название для пород наиболее слабых степеней метаморфизма.

В зависимости от минерального состава выделяют глинистые, хлоритовые, кварц-серицитовые, тальковые, слюдяные и др.

## Особенности сланцев

- состоят из низкотемпературных минералов – хлорит, актинолит, серицит, серпентин, эпидот, мусковит, альбит, кварц, ставролит
- обладают сланцеватой текстурой,
- часто сохраняются реликтовые структуры



***Гнейсы*** – породы с очковой или гнейсовой текстурой, внешне часто напоминают граниты, отличаясь от них параллельной ориентировкой слюды. Состоят из полевых шпатов, слюд, кварца, граната.

Структура породы мелко-среднезернистая.

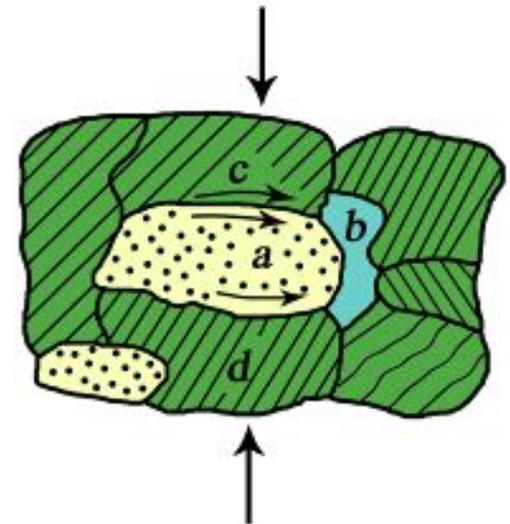


## 2. Динамический метаморфизм (динамометаморфизм)

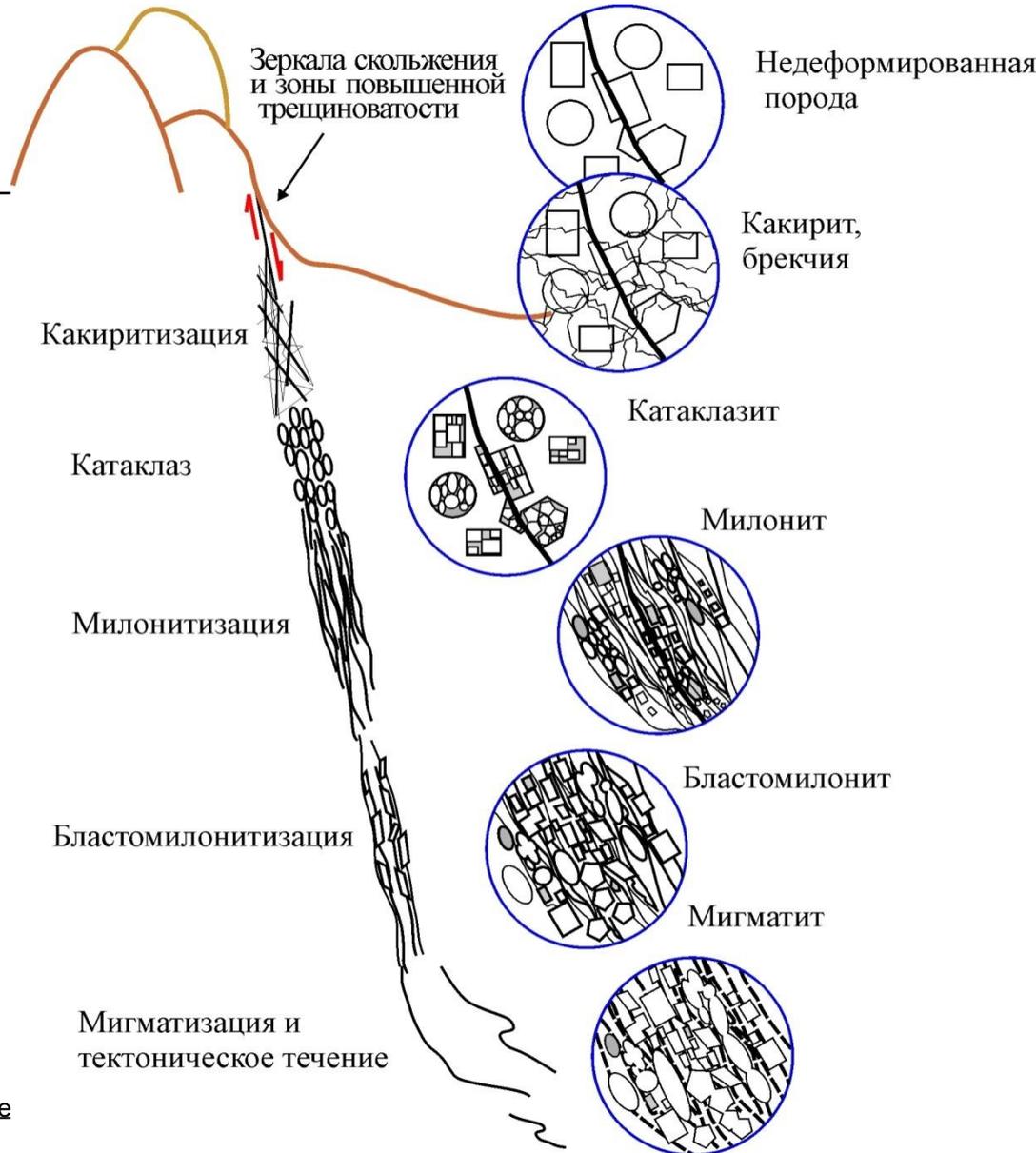
- заключается в дроблении горных пород, вследствие стресса, без существенной их перекристаллизации (связан с подвижками вдоль разрывных нарушений, его проявления приурочены к узким приразломным зонам).

Главный фактор –  $P$

Перекристаллизация минералов - перемещение атомов внутри самой решетки, вдоль поверхности минерала, обращенной в сторону наибольшего давления. При этом движение вещества происходит к торцам зерна, где кристалл наращивается за счет перемещающихся туда компонентов.



По степени  
раздробленности  
среди продуктов  
динамометаморфизма  
выделяют  
*тектонические  
брекчии,  
катаклазиты и  
милониты.*

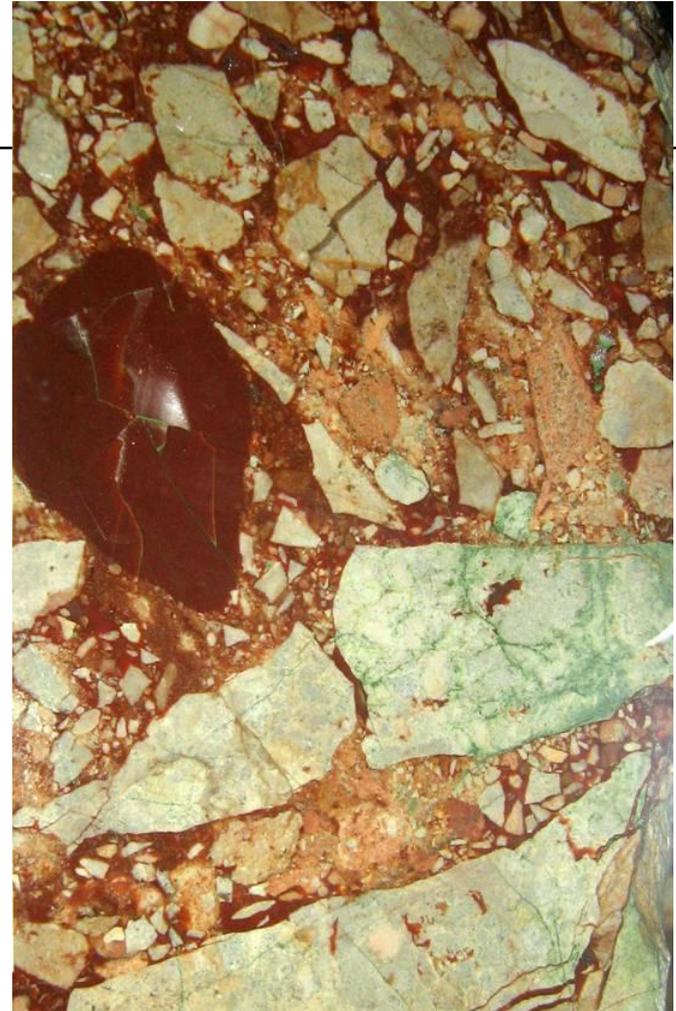


## *Тектоническая брекчия* –

образована угловатыми или линзовидными обломками пород различной величины, между которыми находится небольшое количество мелкораздробленного материала тех же пород.

*Структура* – брекчиевидная.

*Текстура* – беспорядочная.



**Катаклазит** – состоит из более мелких угловатых обломков, сцементированных тонкоперетертым материалом этой же породы. Текстура – катаклазитовая.

**Милонит** – перетертые и развальцованные породы с полосчатой текстурой, обусловленной наличием тонких слоев линзовидных обособлений менее раздробленного материала в тонкоперетертой массе первичных пород. Текстура – тонкополосчатая, очковая.

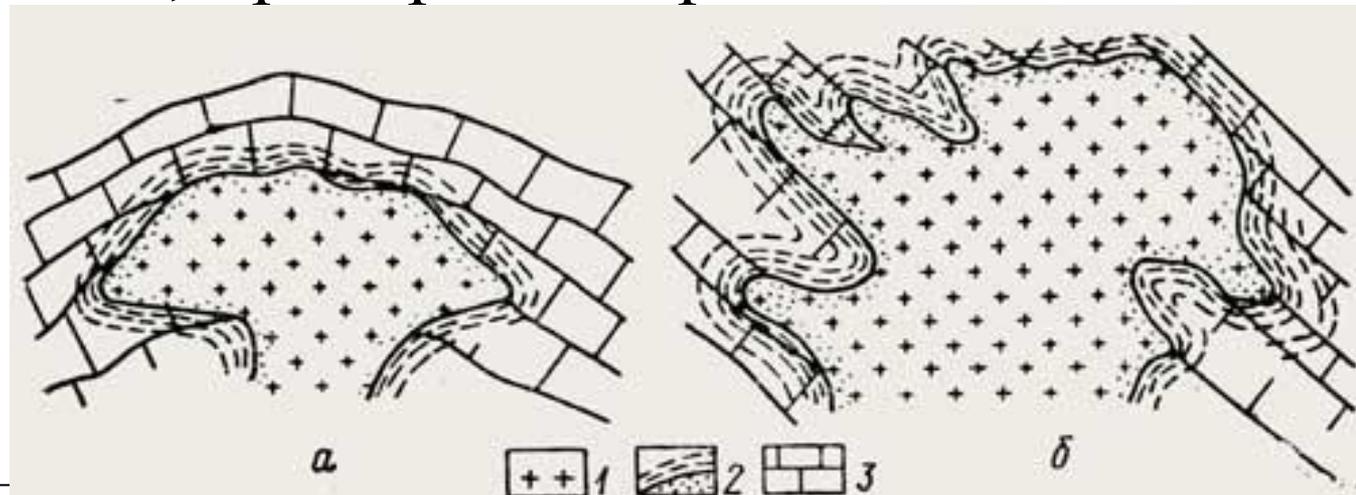


### 3. Контактный метаморфизм

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

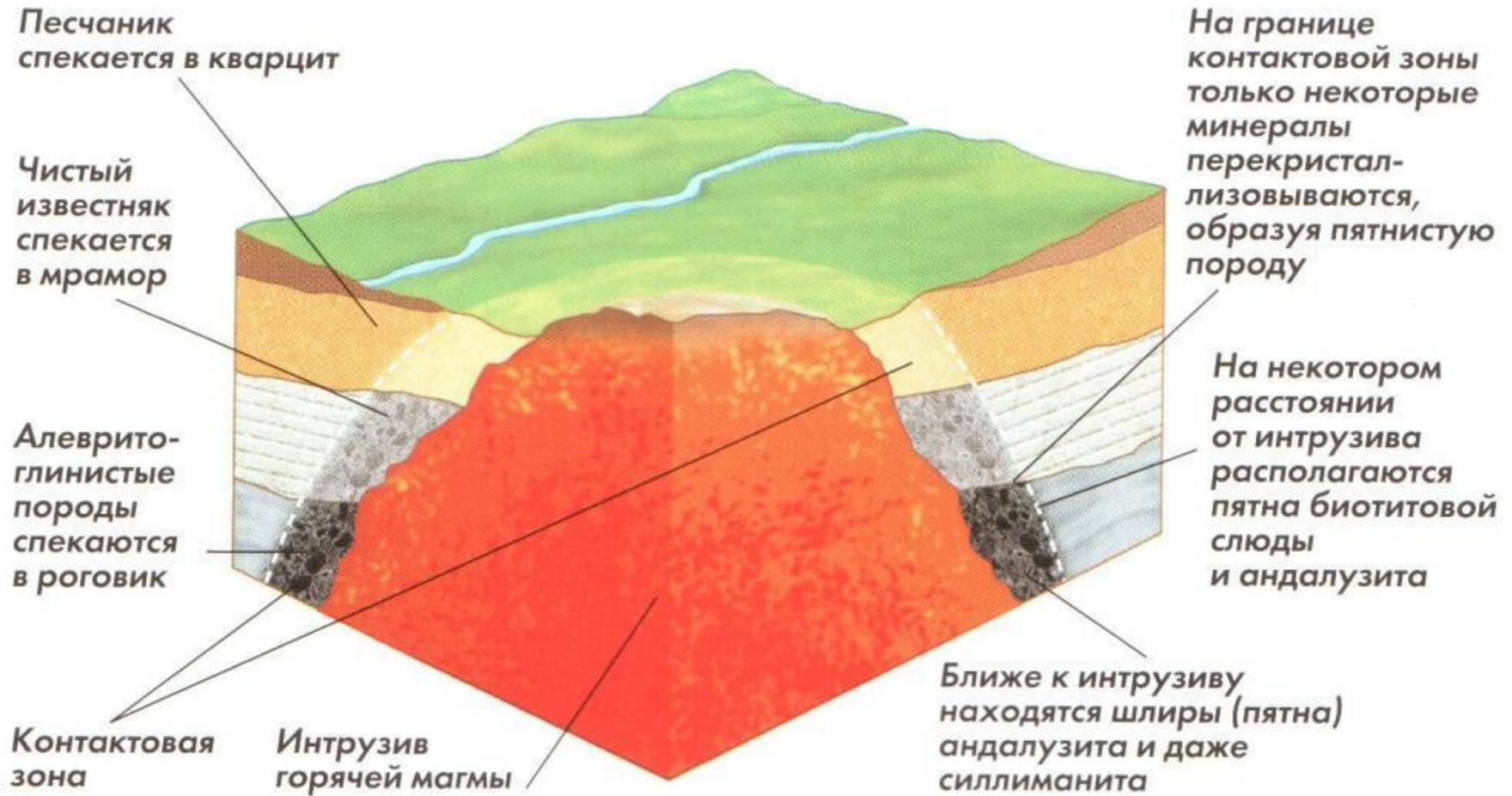
Главный фактор – Т

Основными продуктами контактового метаморфизма являются роговики, мраморы и кварциты.



1 — гранит; 2 — контактово измененные породы; 3 — неизмененные вмещающие породы.

# Образование пород контактового метаморфизма



***Роговики*** – плотные и крепкие тонкозернистые породы с раковистым изломом и режущими краями серого, черного или темно-зеленого цвета.

Структура – гранобластовая.

Текстуры – массивная, реже пятнистая, иногда сохраняется полосчатая реликтовая.





В зависимости от состава различают:

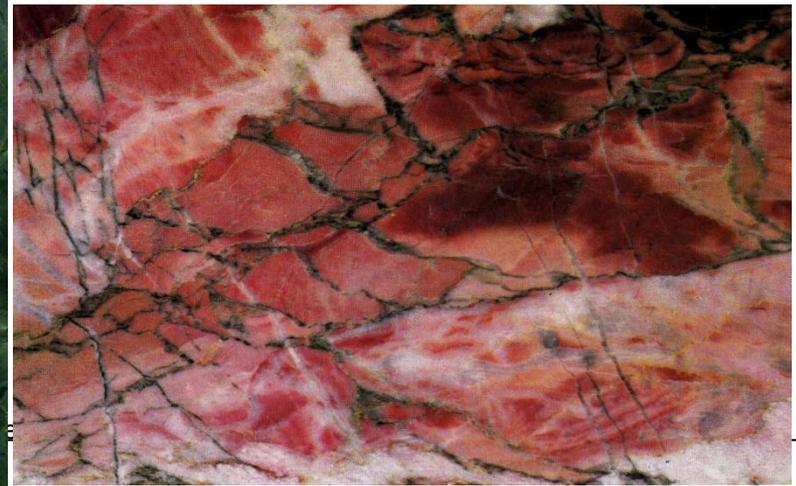
- биотитовые роговики (в результате перекристаллизации песчано-глинистых и кварц-полевошпатовых пород).
- роговообманковые или пироксеновые (в результате перекристаллизации магматических пород основного и среднего состава).
- известково-силикатные (в результате перекристаллизации карбонатных пород).

**Мраморы** – мономинеральные породы карбонатного состава, бурно реагируют с соляной кислотой.

Структура всегда гранобластовая.

Текстура массивная, пятнисто-полосчатая.

Окраска белая, серая, розовая, чёрная и др.



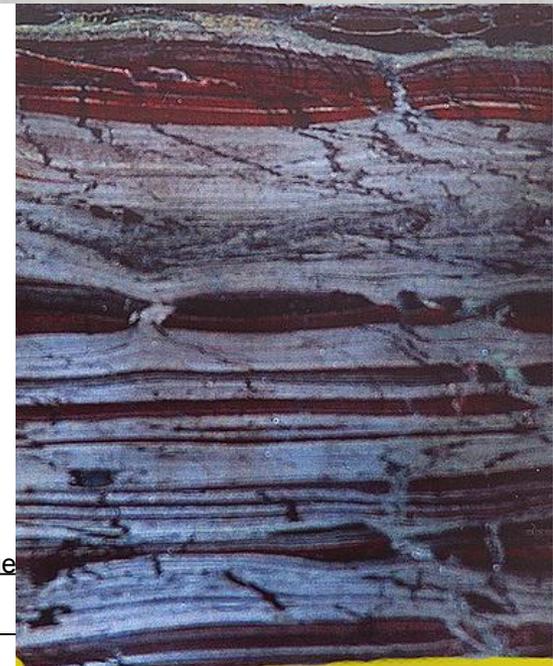
## *Кварциты* —

мономинеральные породы  
кремнистого состава, плотные,  
твёрдые.

Структура гранобластовая.

Текстура массивная.

Преобладают светлые тона  
окраски.



## 4. Ультраметаморфизм

— высшая степень регионального

метаморфизма. Характеризуется

началом частичного плавления горных

пород

Факторы – температура, давление,

химическая активность воды, привнос и

вынос веществ.

В глубинных зонах подвижных областей нередко создаются экстремальные условия по давлению, температуре и концентрации летучих, при которых важную и активную роль начинают приобретать

— расплавы.

*Мигматиты* – неоднородные по составу породы с полосчатой текстурой.

В зависимости от степени переработки субстрата и характера текстурного рисунка, выделяют морфологические типы мигматитов: полосчатые, ветвистые, сетчатые, глыбовые, плейчатые мигматиты.



## 5. Метасоматоз

– образование, в результате реакции замещения, минералов в твердом состоянии за счет флюидов, растворяющих и выносящих одни химические элементы и привносящих и отлагающих другие.

Классификация метасоматитов сложна, наиболее типичные породы:

- скарны
- грейзены
- серпентиниты.

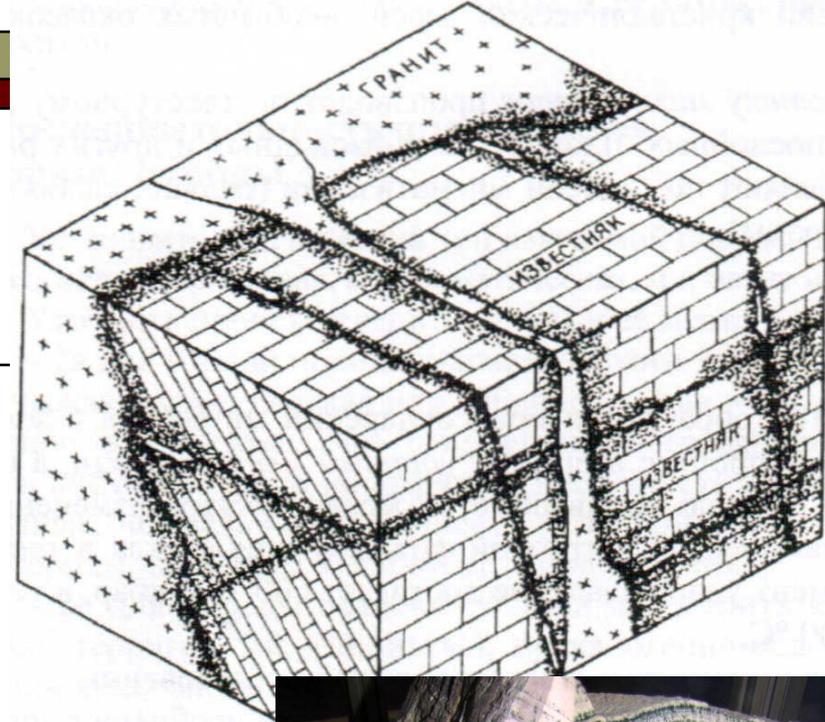


**Скарны** – образуются на контакте интрузий и карбонатных толщ под действием постмагматических флюидов и растворов.

**Структуры** – нематогранобластовые.

**Текстуры** – массивные, полосчатые, пятнистые.

**Состав** – преобладают пироксены, гранат, часто содержат кальцит, рудные минералы.



**Грейзены** – крупнокристаллические светло-серые породы.

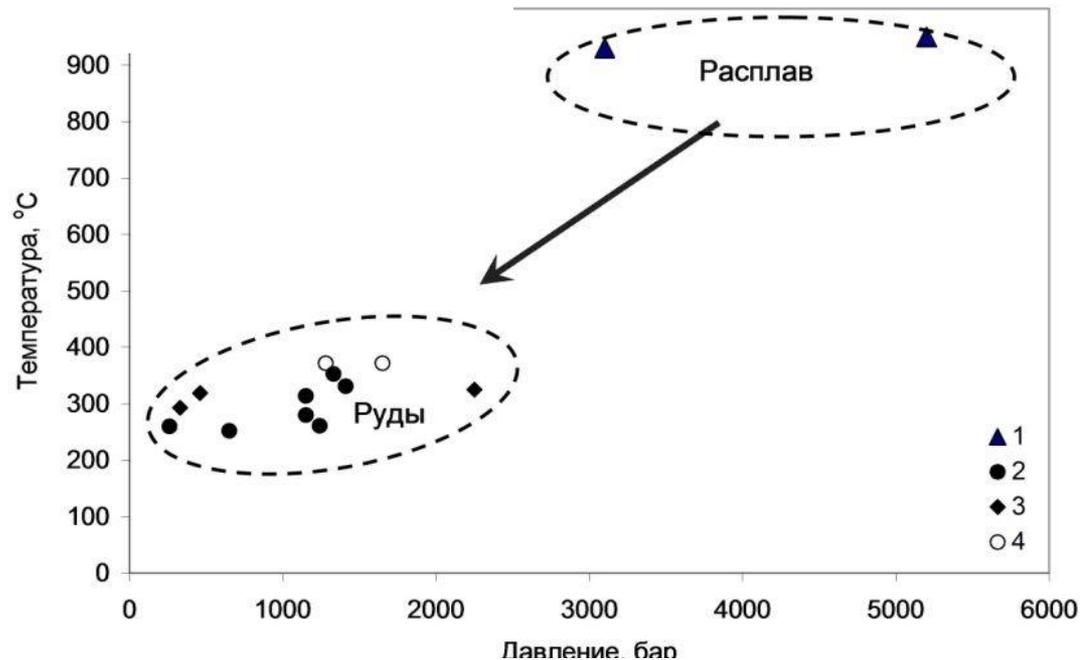
**Состав** - кварц и светлая слюда (мусковит или лепидолит). Могут присутствовать топаз, турмалин, апатит, флюорит; рудные минералы (касситерит, вольфрамит, молибденит, пирит, арсенопирит и др.)

**Структура** – лепидогранобластовая.

**Текстура** – массивная.



**топаз**



– Диаграмма <температура-давление> для Шумиловского месторождения.

1 - магматический флюид, 2 - грейзены Шумиловского месторождения, 3 - рудные жилы Шумиловского месторождения, 4 - руды

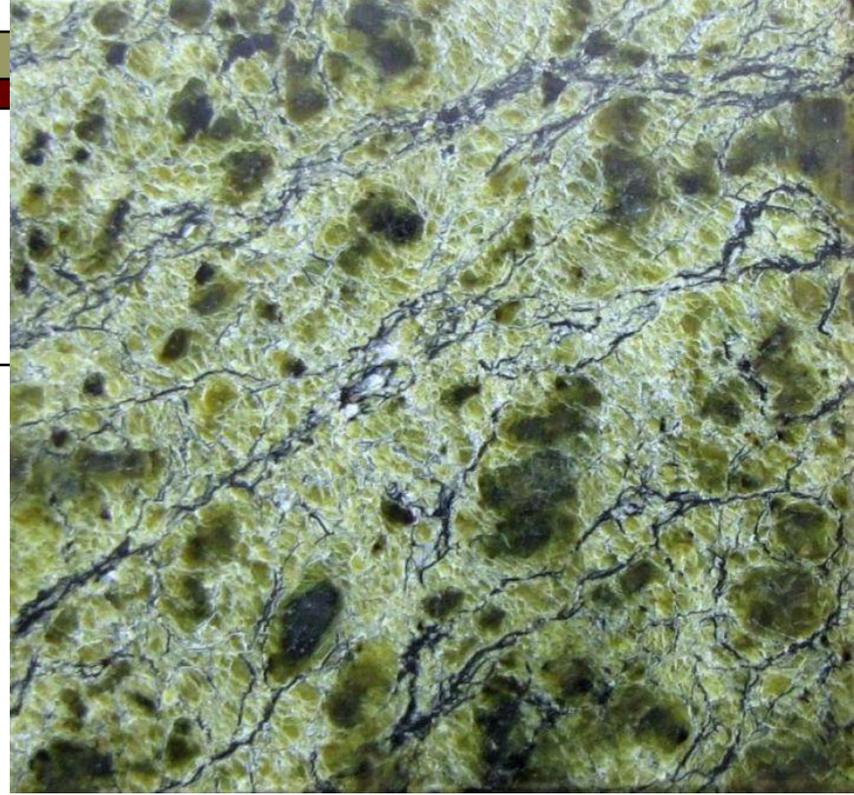
– Студенческого месторождения.

***Серпентиниты*** – образованы под влиянием флюидов на ультраосновные породы, содержащие оливин.

***Состав*** - серпентин с примесью магнетита и хлорита, часто с прожилками волокнистого хризотил-асбеста.

***Структура*** – лепидобластовая.

***Текстура*** – массивная, пятнистая.



## 6. Ударный метаморфизм

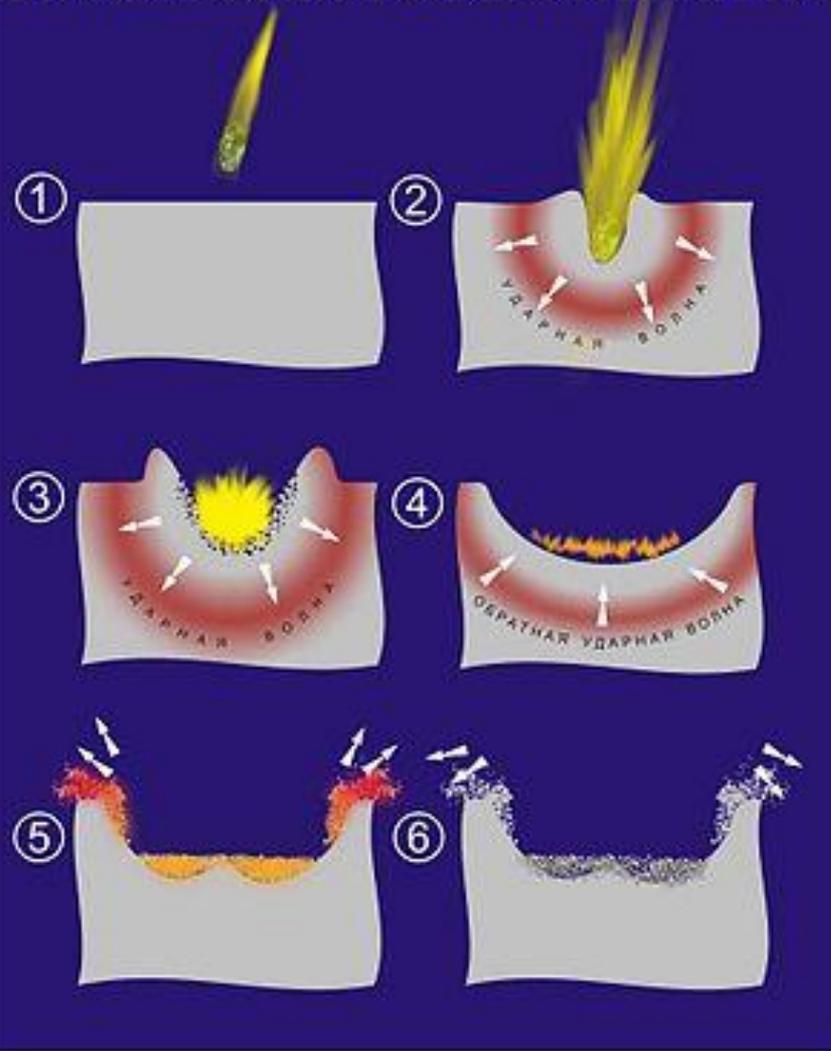
### *(импактный, коптогенный)*

Метаморфические преобразования, вызванные соударениями метеоритов с поверхностью земли, приводят к формированию особых горных пород, объединяемых под названием *импактиты*

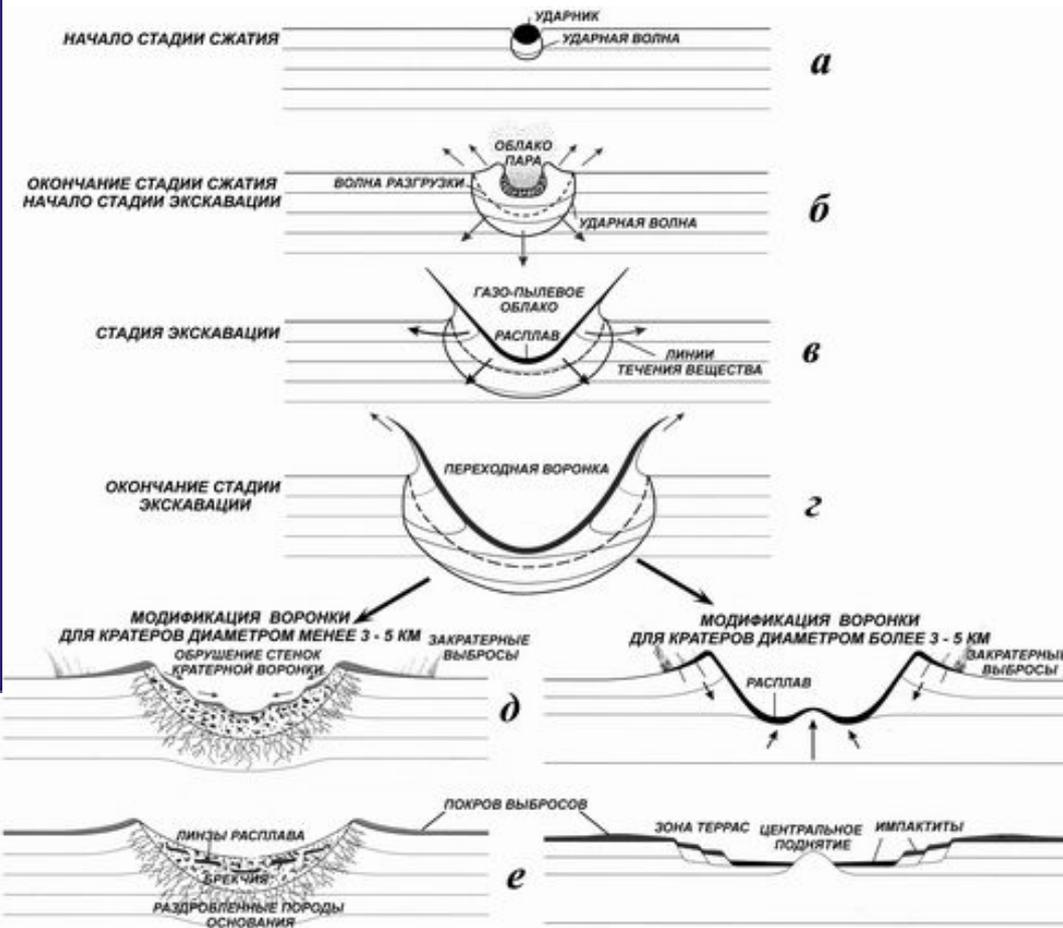
**Факторы** - давление (момент удара достигает 600-900 кбар), температура (до 2500-3000°C)



# ЭТАПЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КРАТЕРА



Ударный кратер на поверхности Земли называют также **астроблемой**. На Земле обнаружено около 150 крупных астроблем.



Осадочный



Аризонский кратер Берринжера.

## *Катаклазиты и брекчии*

образуются при *дроблении пород* в момент удара.

Обломки разного размера цементируются мелкообломочным материалом, гидроксидами железа, реже глинисто-серицитовым субстратом.

*Текстуры* – брекчиевые, линзовидно-полосчатые.



*Тагамиты* состоят из продуктов плавления исходных пород. В минералах ударная волна разрушает кристаллическую решетку и формирует изотропное стекло, которое со временем раскристаллизуется в микролиты кварца, полевых шпатов, оливинов и пироксенов.

*Текстуры* –

стекловатые,  
микролитовые,  
возможны пористые и  
миндалекаменные.



Ладожская астроблема

***Зювиты*** – брекчии смешанного состава из продуктов ***дробления и плавления*** зеленовато-серой окраски. Внешне похожи на туфы.

---

***Текстура*** – пористая.

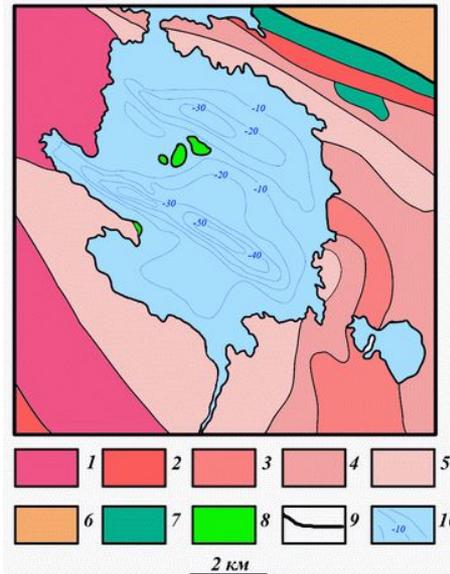
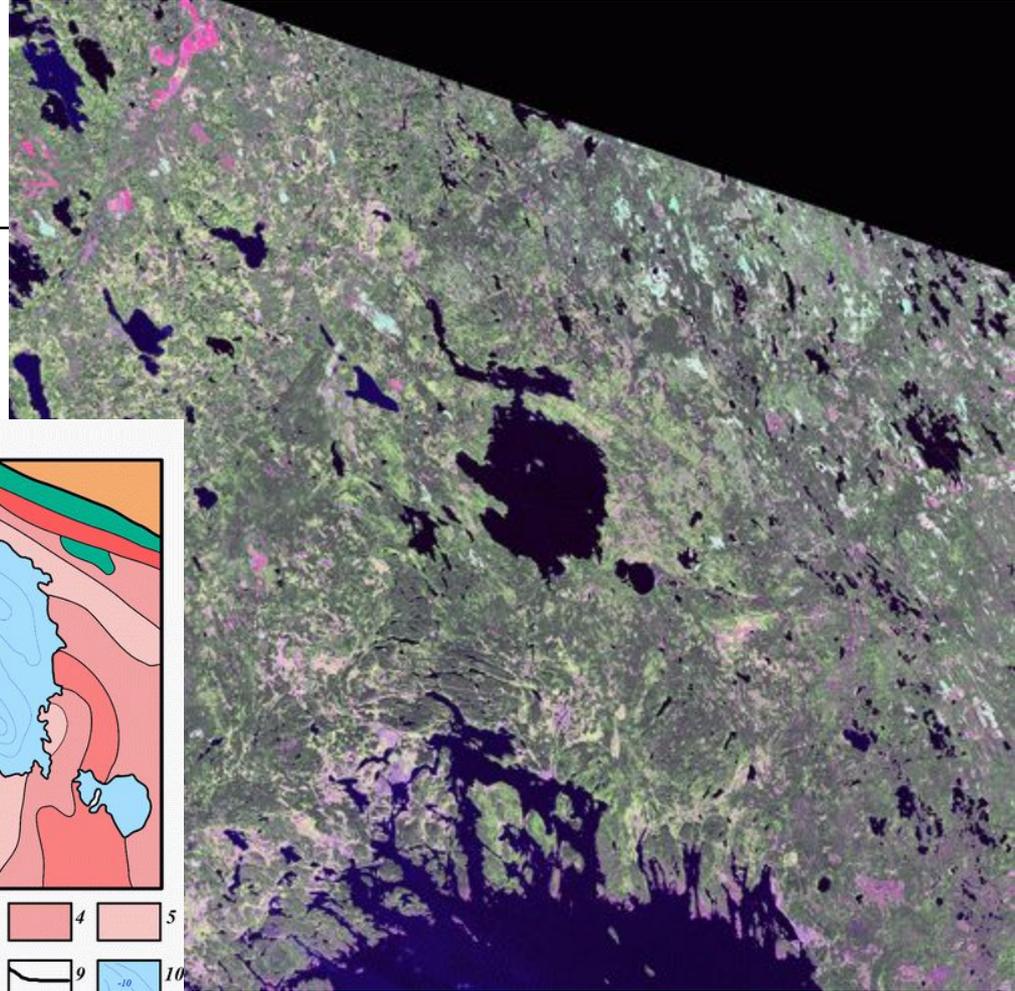


Обнажение импактитов (зювитов и брекчий) в правом борту р. Кара, Ямало-Ненецкий национальный округ

Кратер *Янисъярви* диаметром 14 километров в западной Карелии заполнен одноименным озером и легко достижим для его осмотра (к нему ведут проходимые дороги, а на берегу озера расположена железнодорожная станция).

Структура достаточно отчетливо проявлена на космических снимках.

Кратер Янисъярви – один из самых древних в России, его возраст оценен в 700 млн. лет.



Представляется, что аллогенная брекчия и зювиты перекрываются тагамитами. В зювитах присутствуют обломки сланцев и микросланцев только ладожской свиты, иногда с хорошо сформированными конусами сотрясения, обломки стекол, а также фрагменты ударно-метаморфизованных кварцевых и полевошпат-кварцевых жил.

**В зависимости от типов геосинклинальных подвижных зон и стадий их развития,  
метаморфизм горных пород  
происходит в условиях различных фаций.**

**Фация метаморфизма - область термодинамической устойчивости метаморфических пород, выделяемая относительно факторов метаморфизма: литостатического давления (P), температуры (T) и парциальных давлений, участвующих в реакциях флюидных компонентов ( $P_{H_2O}$ ,  $P_{CO_2}$  и др.).**

**Комплекс или парагенезис (сонахождение) минералов, устойчивых в Фации называются по типичным для них породам — метабазитам (фация зелёных сланцев, фация амфиболитов Фации называются по типичным для них породам — метабазитам (фация зелёных сланцев, фация амфиболитов, фация пироксен-плагиоклазовых роговиков Фации называются по типичным для них породам — метабазитам (фация зелёных сланцев, фация амфиболитов, фация пироксен-плагиоклазовых роговиков и др.), метапелитам (глинистых сланцев, филлитов Фации называются по типичным для них породам — метабазитам (фация зелёных сланцев, фация амфиболитов, фация пироксен-плагиоклазовых роговиков и др.)**

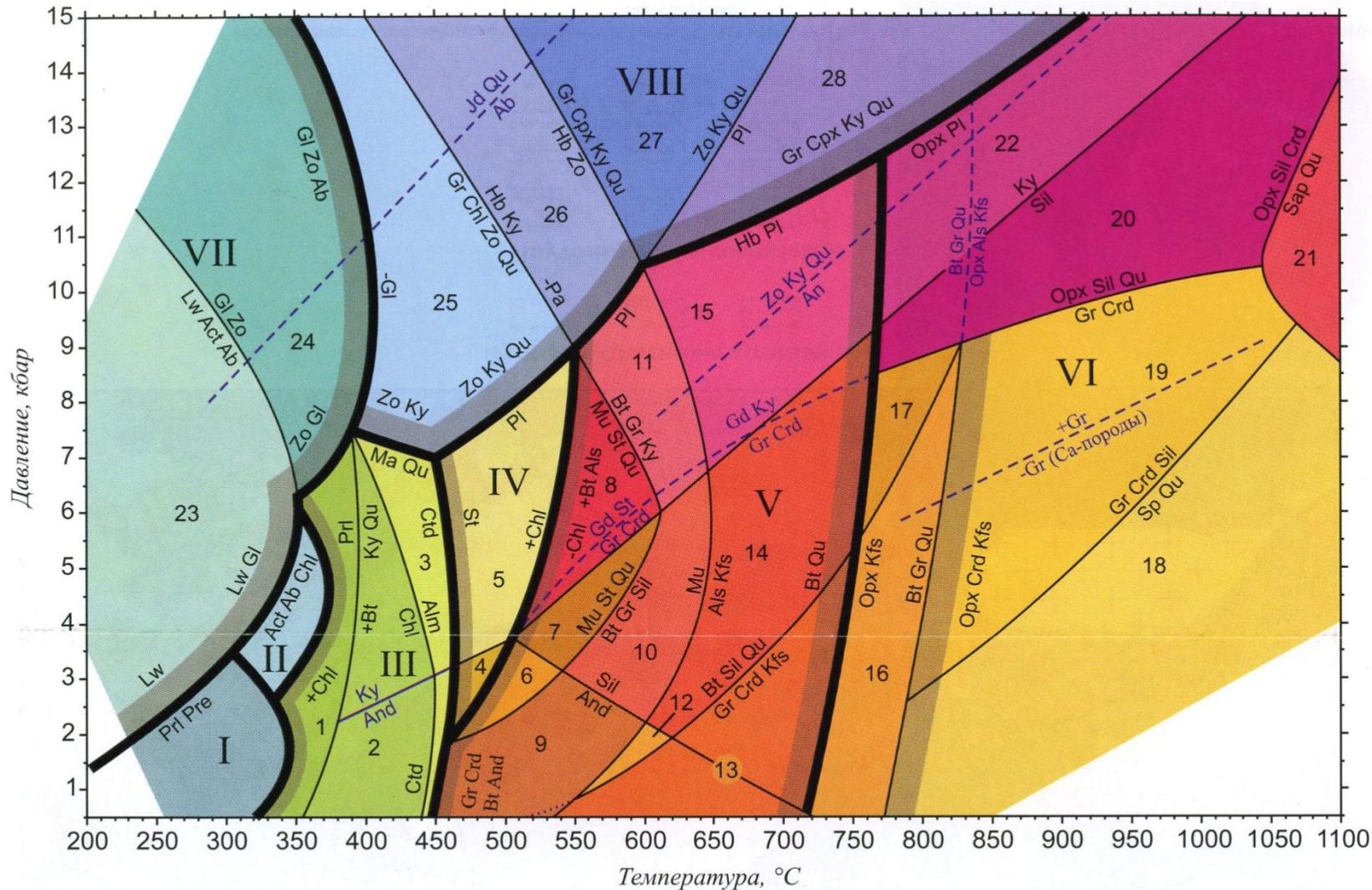


Рис. 1.  $P$ - $T$  схема принципиальных соотношений между метаморфическими фациями и субфациями.

Римские цифры — фации; арабские цифры — субфации: I — цеолитовая или пумпеллиит-пренитовая, II — пумпеллиит-актинолитовая, III — зеленосланцевая: 1 — мусковит-стильпномелан-хлоритовая, 2 — мусковит-хлорит-биотитовая, 3 — хлорит-хлоритоид-гранатовая; IV — эпидот-амфиболитовая: 4 — андалузит-хлорит-ставролитовая, 5 — кианит-хлорит-ставролитовая; V — амфиболитовая: 6 — андалузит-мусковит-биотит-ставролитовая, 7 — силлиманит-мусковит-биотит-ставролитовая, 8 — кианит-мусковит-биотит-ставролитовая, 9 — кордиерит-андалузит-биотит-мусковитовая, 10 — гранат-силлиманит-биотит-мусковитовая, 11 — гранат-кианит-биотит-мусковитовая, 12 — кордиерит-биотит-андалузит-ортоклазовая, 13 — биотит-кордиерит-гранат-ортоклазовая, 14 — гранат-биотит-силлиманит-ортоклазовая, 15 — гранат-биотит-кианит-ортоклазовая; VI — гранулитовая: 16 — биотит-гранат-ортоклаз-гиперстеновая, 17 — ортоклаз-кордиерит-силлиманит-биотитовая, 18 — кварц-шпинелевая, 19 — гранат-ортоклаз-кордиерит-гиперстеновая, 20 — силлиманит-гиперстеновая, 21 — кварц-сапфириновая, 22 — кианит-гиперстеновая; VII — глаукофансланцевая: 23 — лавсонит-глаукофановая, 24 — цоизит-глаукофановая; VIII — эклогитовая: 25 — парагонит-кианит-цоизитовая, 26 — цоизит-кианит-каринитовая, 27 — гранат-кианит-омфацитовая, 28 — плагиоклаз-кианит-омфацитовая. Символы минералов см. в таблице.

Fig. 1.  $P$ - $T$  grid of principal relationships between metamorphic facies and subfacies. Roman numerals — facies, Arabic numerals — subfacies; symbols of mineral are shown in Table.

