

6 Лекция - Метаморфизм. Метаморфические горные породы. Полезные ископаемые

План лекции

1. Метаморфизм

Факторы метаморфизма

- Региональный метаморфизм
- Контактовый метаморфизм
- Динамометаморфизм
- Метасоматоз
- Ультраметаморфизм
- Ударный метаморфизм

2. Метаморфические горные породы и полезные ископаемые

1. Метаморфический процесс

Метаморфический процесс (от греч. «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

Метаморфизм

Метаморфизм – преобразование горных пород под действием эндогенных процессов. Преобразованию могут подвергаться любые горные породы: осадочные, магматические и ранее образовавшиеся метаморфические.

Факторы метаморфизма:

Температура (300–1000°С) вызывает дегидратацию, декарбонатацию и приводит к плавлению более крупнозернистых структур. Источники температуры: геотермика, магматический очаг и тектонические трения.

Давление (от 1–2 тыс. до 10–15 тыс. атм). Различают геостатическое (всестороннее) и направленное (стресс) давление.

Химически активные вещества (флюиды). Существенную роль играют H_2O , CO_2 , F , S , B , P , K , Na также соединения N , Cl , F , B , S и др. элементов.

Фации метаморфизма. История

- Ван-Хайз. Была выделена верхняя зона *катаморфизма*, в которой происходят приповерхностные процессы (под воздействием подземных вод и воздуха), и более глубинная зона *анаморфизма*, в которой образуются сланцы и гнейсы. Метаморфизм, по Ван-Хайзу, непосредственно связан с поверхностными процессами изменения осадков и изменением температуры и давления вследствие простого перемещения пород из одной зоны в другую. По Ван-Хайзу, с глубиной изменяется и характер деформации горных пород. В верхней зоне преобладает *катаклаз*, в нижней "зоне истечения" реализуются пластические деформации и формируются гнейсы и кристаллические сланцы. По характеру деформаций выделялась также промежуточная зона.
- У. Грубенман. Намечаются три зоны глубинности - **эпизона, мезозона и катазона**. К малоглубинной *эпизоне* относятся низкотемпературные породы — альбитовые гнейсы, кианитовые сланцы, филлиты, хлоритовые и тальковые сланцы и др. К промежуточной *мезозоне* принадлежат среднетемпературные образования (мусковитовые, роговообманковые, кианитовые, ставролитовые и другие гнейсы и сланцы). Образование высокотемпературных пород (силлиманитовых, кордиеритовых, гранатовых гнейсов, пироксеновых сланцев, эклогитов и др.) ограничивалось в основном наиболее глубинной областью — *катазоной*.

Фации метаморфизма

В основу концепции глубинных зон положено представление о возрастании с глубиной давления и температуры в соответствии с геотермическим градиентом Земли, который обуславливает повышение фоновой температуры по мере увеличения глубинности. Различается на континентах и в подвижных зонах, где он значительно выше. При среднем геотермическом градиенте, равном 30° на 1 км, крайние его значения равны 150° для геотектонических подвижных зон и 6° на платформах. Давление рассматривалось в прямой зависимости от температуры. Отражало повышение степени метаморфизма с глубиной (в вертикальном направлении). Противоречия: 1. Ф. Бекке - объемные соотношения метаморфических реакций (T не зависит от P), диафторез (изменение направленности). Барроу - горизонтальная зональность метаморфизма. Гольдшмидт - зональные роговиковые ореолы в районе Осло, с помощью физико-химического анализа парагенезисов минералов показано, что они отвечают T до 1200° и P ниже 1000 бар. Зоны выделены по T , а не по глубинности. **В работе было положено начало концепции минеральных фаций, которая получила развитие в трудах П. Эскола. В минеральную фацию согласно П. Эскола объединяются горные породы, образовавшиеся в сходных условиях температуры и давления, т. е. отвечающие определенным полям диаграммы $P-T$.** Не учтены: 1. Цеолитовые сланцы. Не учтен режим летучих компонентов. М/б совмещены с зелеными сланцами по условиям метаморфизма. Должно быть учтено флюидное давление. 2. нет точных границ между полями из-за нехватки термодинамических данных. 3. не учтена роль флюидного давления. 4. Не учтены минералы перменного состава.

Метапелиты - метаморфические породы, образующиеся на месте ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (пелитов), суглинков, кварцевых песчаников с примесью глинистого материала.

МИНЕРАЛЬНАЕ ФАЦИИ

1. Глинистые сланцы

Состоят из Chl, Ser, каолинита (и др. характерные для глинистых отл. минералы), обладают сланцеватостью.

2. Фильтры

Это слюдяные микросланцы, состоят из Ser, Chl, Qtz (на плоскостях сланцеватости Ser укрупняется и переходит в Mu). В железистых разновидностях-Chd, St. В известковых разновидностях-Cal. В марганцевых разновидностях-Alm-Sps

3. Слюдяные сланцы

Отличаются от филлитов большим размером зерен. ChI вытесняется Bt , возрастает роль полевых шпатов (Ab , Or)

4. Двуслюдяные сланцы и гнейсы

Состав: Fsp, Qtz, Mu, Bt. В богатых глинозёмом разновидностях-And, Sil, Ky(определяют фации глубинности). В магнезиальных разновидностях-Cord(андалузитовая зона). В железистых разновидностях St, Sps(кианитовая зона).

Переход к гнейсам за счёт смены сланцеватости на гнейсовидность, преобладание слюд сменяется преобладанием полевых шпатов.

5. Метапелитовые гнейсы

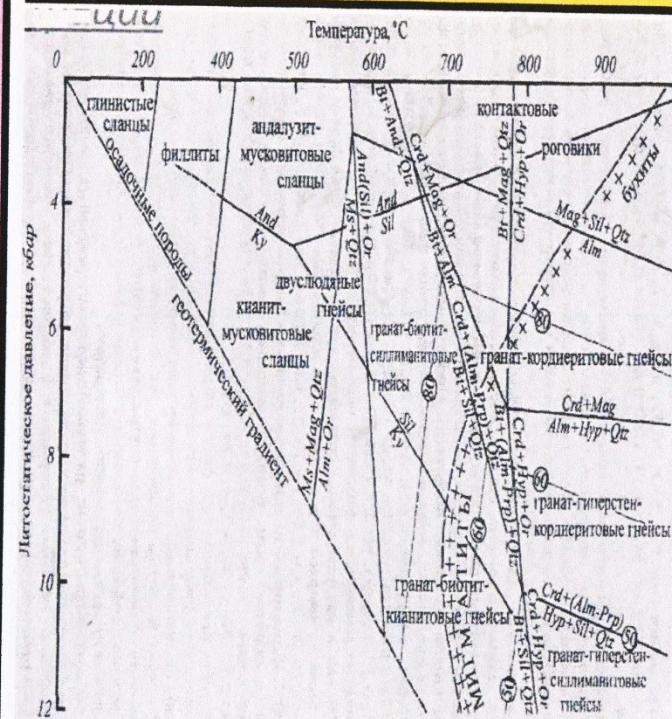
В составе преобладают Kfs, Qtz

6. Контактовые роговики

And-Bt (к-т с гранитами) Mag-Cord (к-т с диоритами) Hyp-Cord (к-т с габбро)

ОСНОВНЫЕ МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЫ МЕТАПЕЛИТОВ

Chl, Ser, St, Cld, Cord, Bt, Gr, Hyp, Spr, Qtz, Pl, Kfs



Метабазиты - образуются при метаморфизме вулканитов базальтового, андезито -базальтового составов, габбро, диоритов, туффитов, туфогенных песчаников и осадочных пород аналогичного состава (глинисто-карбонатные и нек. глинистые)

Фации метабазитов

1. Порфиритоиды

Метаморфизованные рассланцовые базальты, но сохранившие реликты первичных структур и текстур (blastoparфировая структура, сохраняются только вкрапленники). Состав: Ab, Chl, Cal, Qtz, иногда Ser, Ep.

2. Зелёные сланцы

Образуются при нарастании интенсивности метаморфизма, когда порфириоиды утрачивают реликты первичной порфировой структуры.

3. Амфиболиты

Состоят в основном из Pl и Hbl, в ассоциацию могут входить Gr, Ep, Px и др.

Структуры: порфиробластовая (Ep,Gr), гранонематобластовая, лепидонематобластовая (Chl,Bt). Текстуры: массивная, сланцеватая, гнейсовидная, полосчатая, пятнистая.

(Ep, Opx, Gr, Cpx-Gr – амфиболиты)

4. Двупироксен-плагиоклазовые сланцы (гранулиты)

Состав из Pl, Hyp, Di, могут присутствовать Gr, зел. Hbl. Стр-ра гранобластовая
Тек-ра полосчатая.

5. Эклогиты

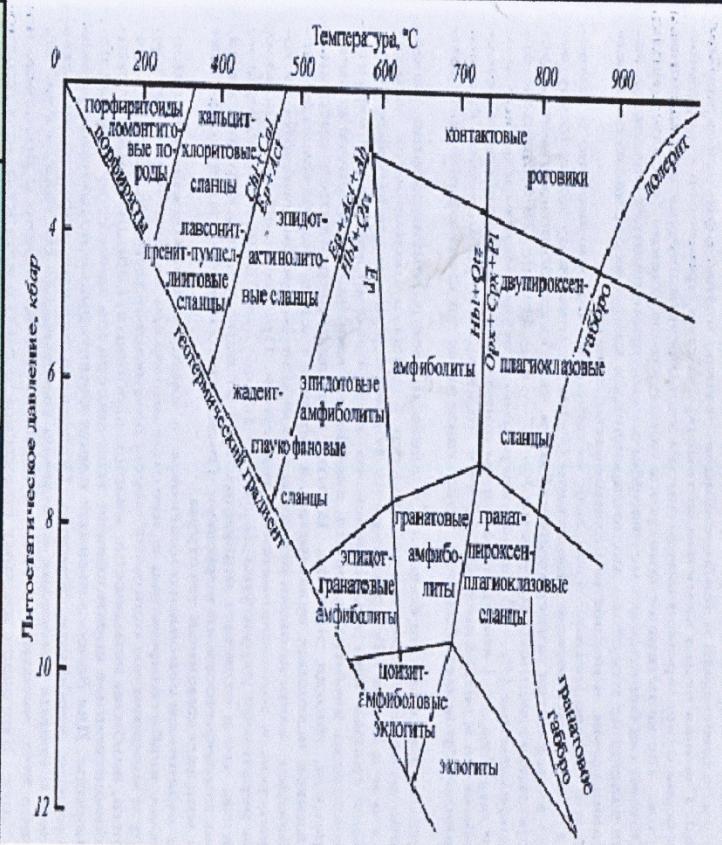
Состоит из Gr, Px,нередко содержит Нур,бурую Hbl.

6.Контактовые роговики

Двутироксен – плагиоклазовые, пироксен-амфибол-плагиоклазовые (Di, Hyp), амфибол-плагиоклазовые (Hbl). Стр-ра роговиковая.

ОСНОВНЫЕ МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЫ МЕТАБАЗИТОВ:

Chl, Cal, Ser, Ep, Pl, Qtz, Act, Hbl, Px



Условия проявления метаморфических процессов

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.

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.

Классификация процессов

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

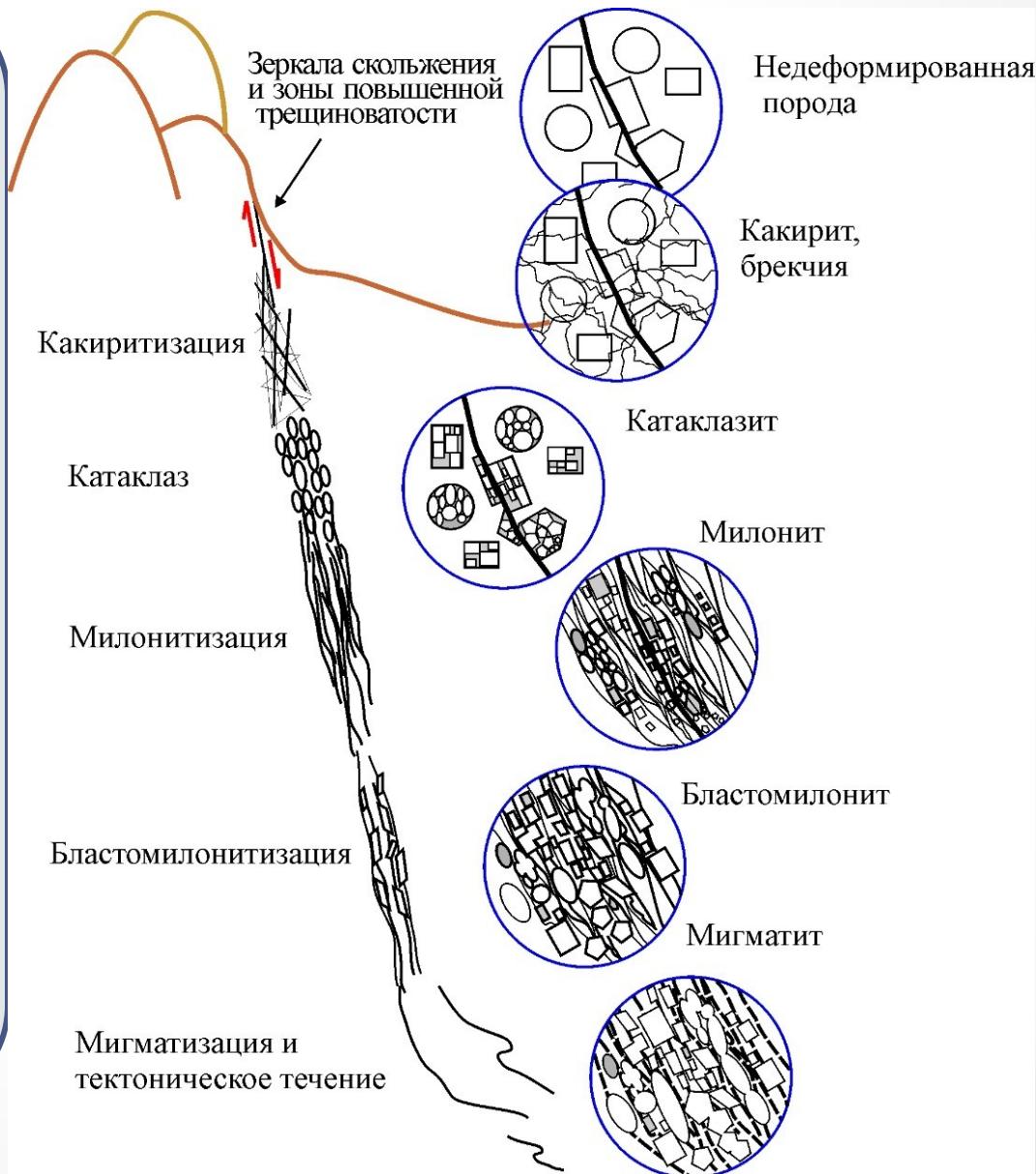
- **Региональный метаморфизм**
- **Контактовый метаморфизм**
- **Динамический метаморфизм (динамометаморфизм)**
- **Ультраметаморфизм**

- **Динамический метаморфизм** (динамометаморфизм - катакластический) связан с подвижками вдоль разрывных нарушений, его проявления приурочены к узким приразломным зонам.
- Факторы** – давление

Горные породы (катализиты, брекции и мильтиты) динаметаморфизма

Какирит

[Какир озеро, Финляндия] – рыхлая сильно катаклизированная брекчевидная горная порода, обломки исходных пород неподвижны, множество беспорядочных трещин.

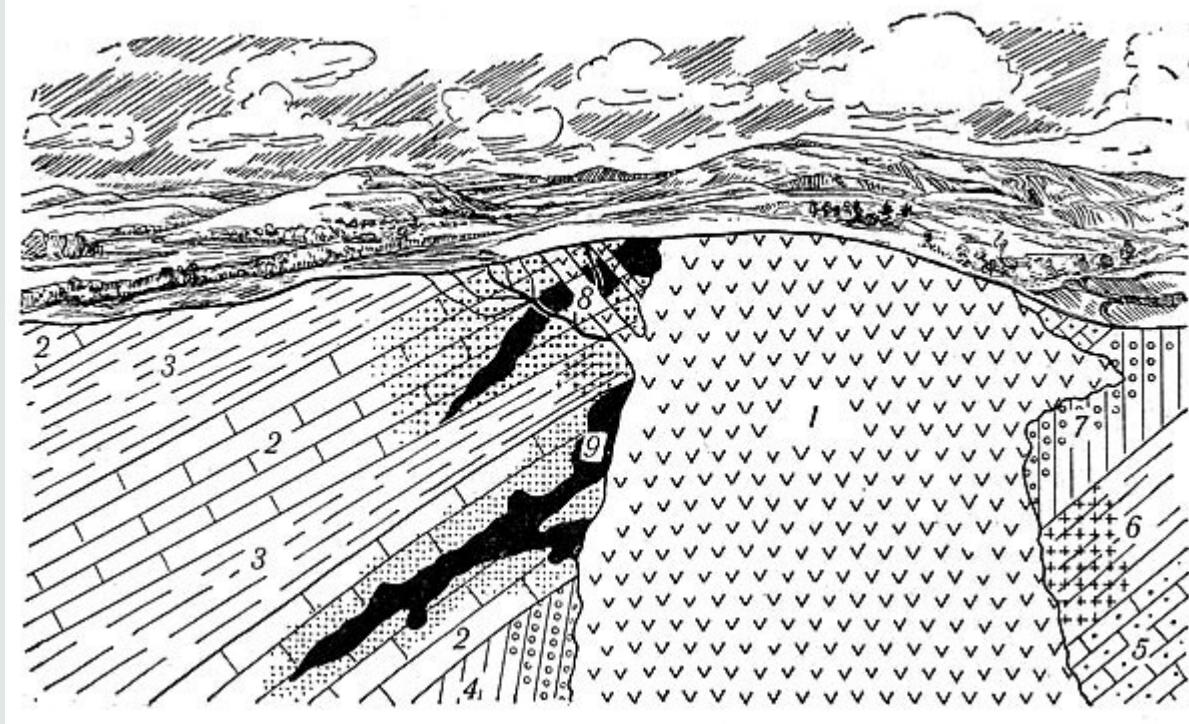


- **Контактовый метаморфизм** проявляется в связи с внедрением в относительно холодные горные породы горячих масс магматических расплавов.

Факторы - температура

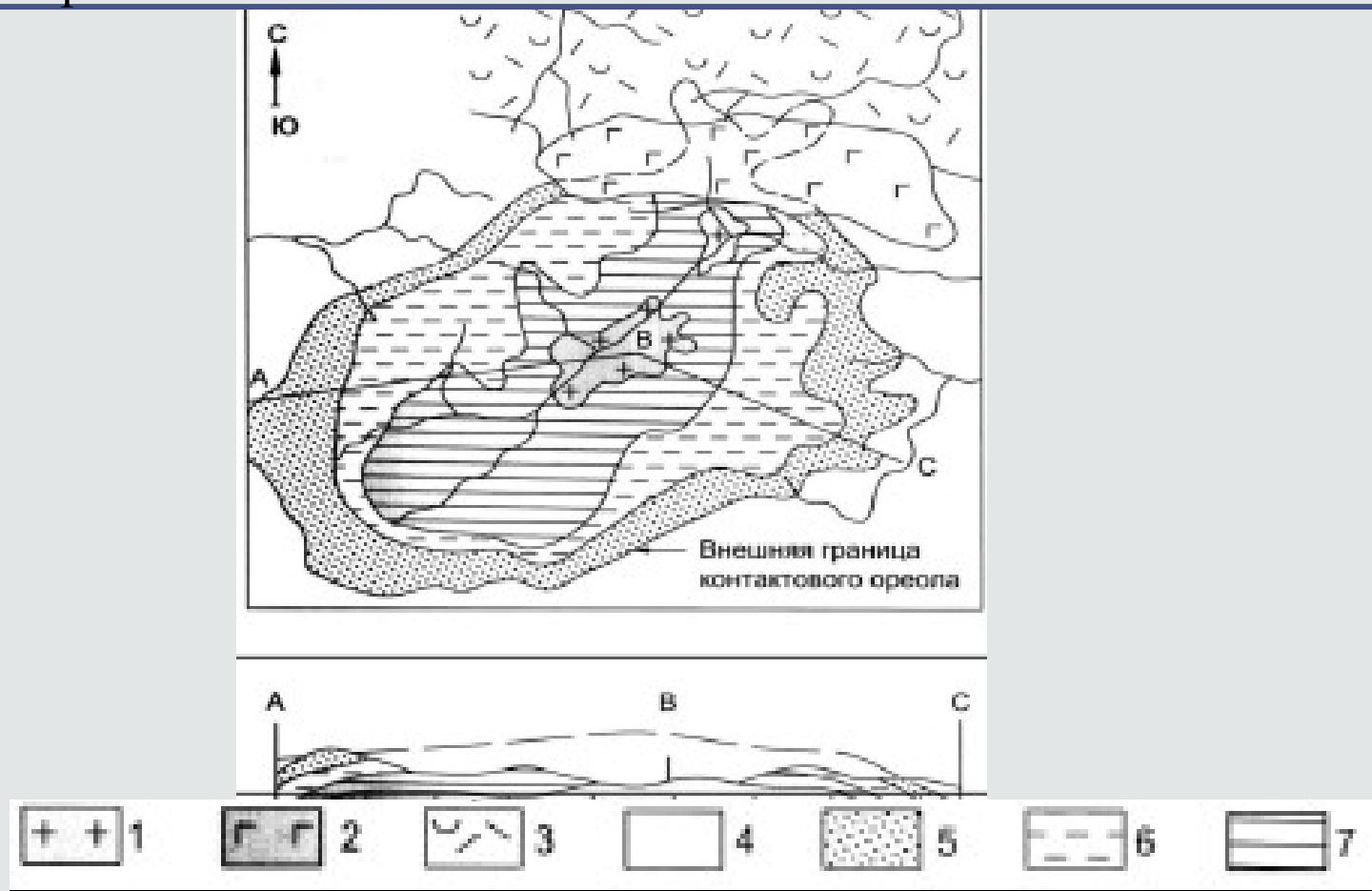
Роговики, кварциты и мрамора горные породы сформированные при контактово-термальном метаморфическом процессе.

Образованные минералы: андалузит, хиастолит, силлиманит, кордиерит, ставролит, гранат.



1 – андезиты; 2 — известняки; 3 — глинистые сланцы; 4 — песчаники и кварциты; 5 — известняки преобразованные в мрамора; 6 — глинистые сланцы преобразованные в роговики; 7 – зона роговиков

Образованные за счет преобразования исходных глинистых пород типичные образования контактово-термального метаморфизма – андалузитовые и кордиеритовые роговики.



Контактовые ореолы вокруг интрузии гранита: 1 – гранит, 2- габбро, 3-вулканиты, 4 – глинистые сланцы, 5-7 метаморфизованные зоны в сланцеватых толщах, 6 – узловатые андалузитовые сланцевые зоны; 7 – зоны роговиков

Образованные горные породы: роговики, мрамора, кварциты.



Мрамор



Кианитовый кварцит

- **Региональный метаморфизм** проявляется на обширных площадях в связи с крупными тектоническими событиями в развитии регионов.
Факторы – температура, стрессовое и петростатическое давление

Континентальная кора состоит из крупных литосферных тектонических плит и окружающих их складчатых поясов (рисунок).

Складчатые пояса могут возникнуть при столкновении континентальных, континентальных и океанических плит.

Метаморфические горные породы очень широко распространены и ими сложены фундаменты платформ и обнажения щитов.

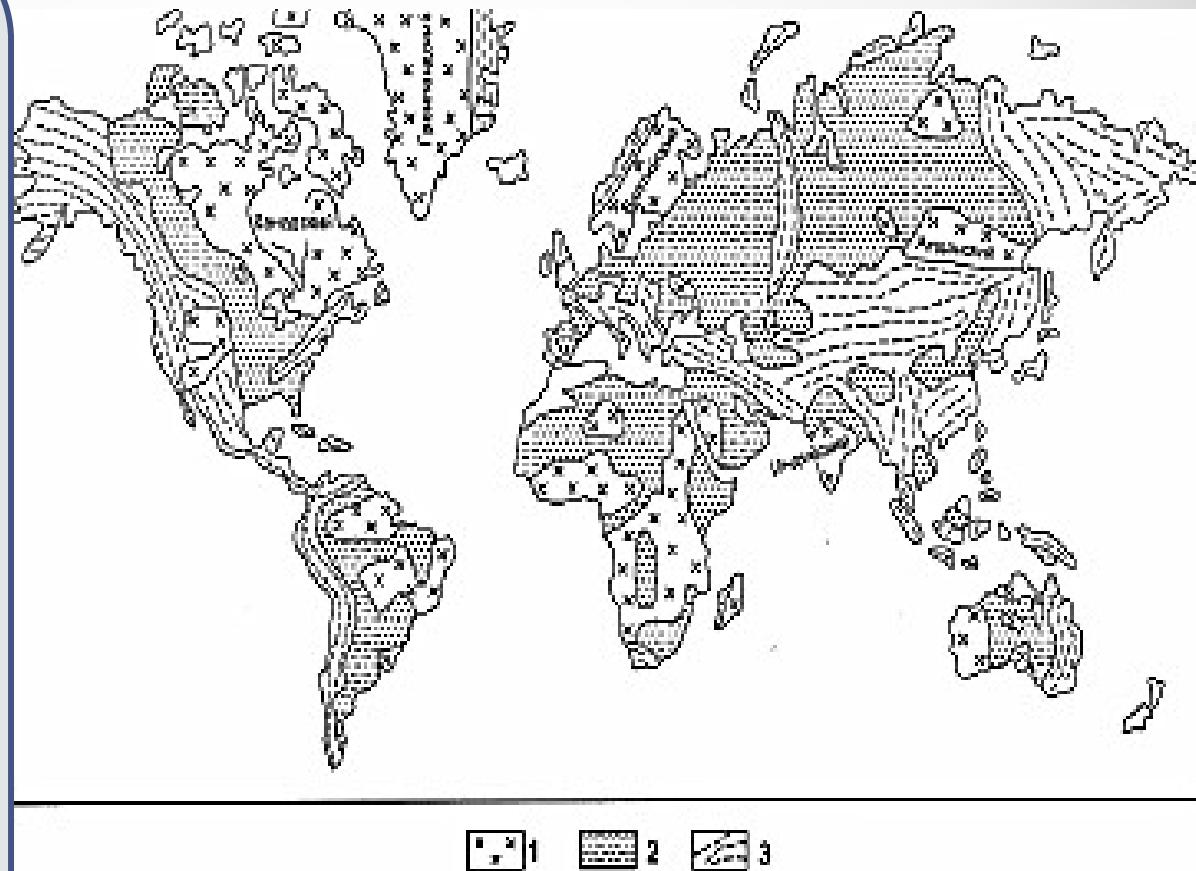


Рисунок – Континетальные и структурные элементы: 1 – докембрийские щиты; 2 – платформенные чехлы; 3 – фанерозойские складчатые горные пояса (по К. Гиллену, 1984)

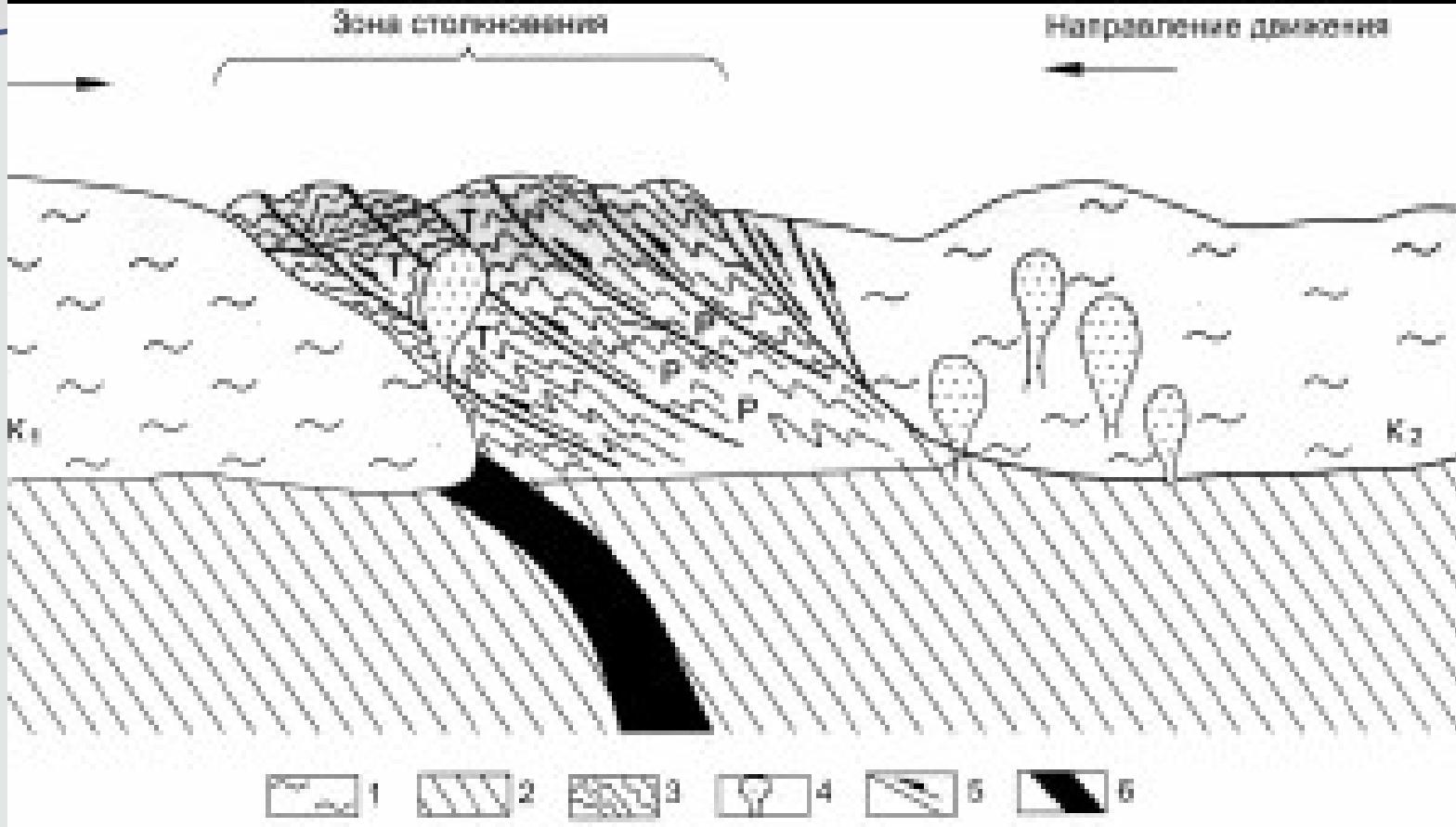


Рисунок – Зона столкновения континентальных плит: K_1 и K_2 – континентальные плиты, Т – высокотемпературный метаморфизм: Р – метаморфизм высоких давлений; 1 – континентальная кора; 2 – горные породы верхней мантии; 3 - осадочные и метаморфические породы; 4 – магматические интрузии; 5 – надвиги (стрелки показывают направление движения горных пород плит); 6 – океаническая плита (по К. Гиллену 1984)

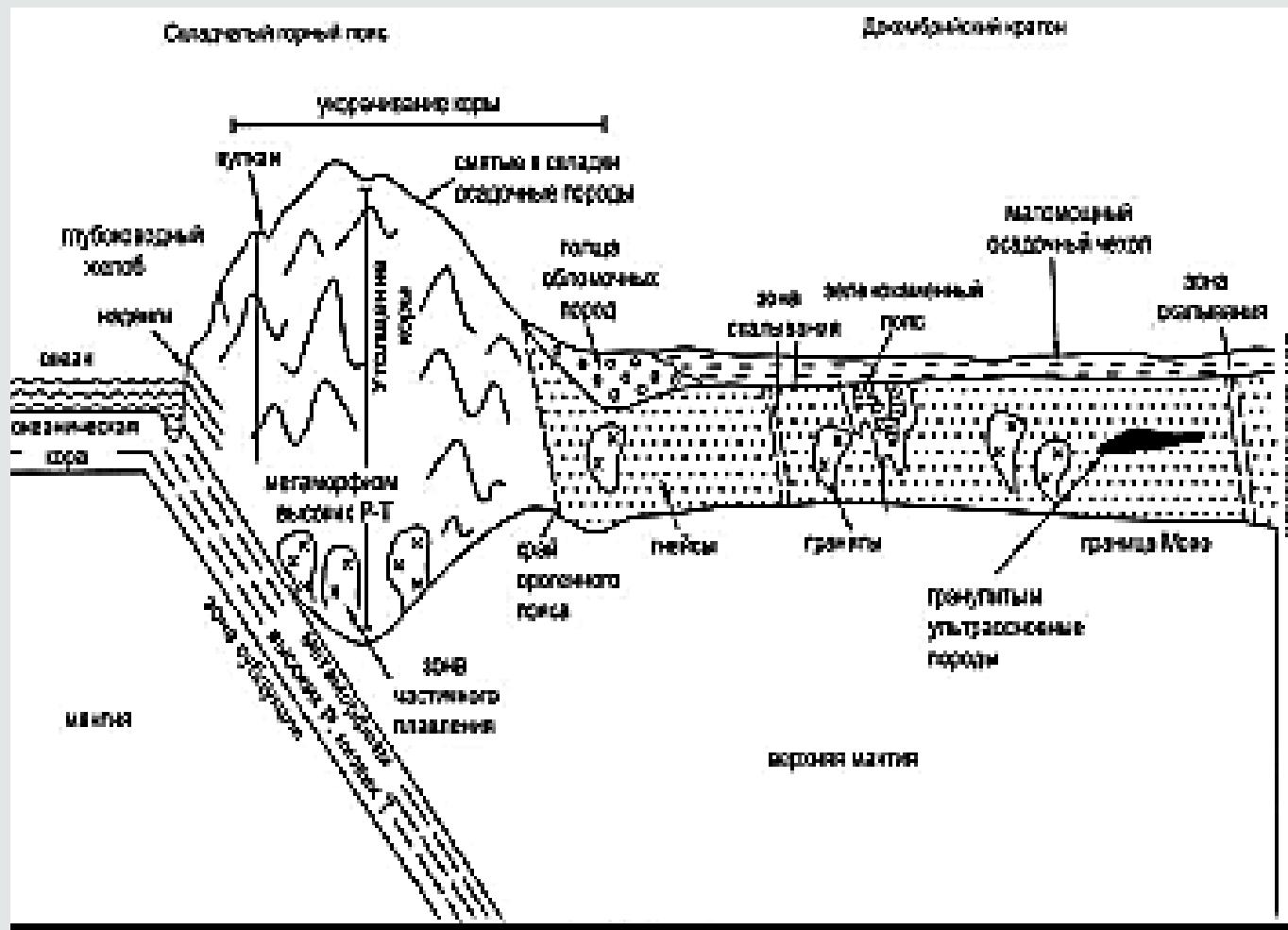


Рисунок – Разрез по зоне субдукции, размещение метаморфических поясов под островными дугами (по К. Гиллену, 1984)

- **Метасоматоз** - альлохимическое замещение 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

- **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°С)

Попигайская астроблема

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



3. ПРОЦЕССЫ УЛЬТРАМЕТАМОРФИЗМА

Анатексис – частичное, избирательное выплавление минералов кварц-полевошпатного состава из исходных пород (за исключением карбонатов, эвaporитов и некоторых других).

Палингенез – процесс химического и минерального изменения пород любого состава с превращением их в граниты.

Гранитизация – процесс химического и минерального изменения пород любого состава с превращением их в граниты.

Круговорот в природе (И.Д.Лукашев):

магма → магматические породы → осадочные породы → метаморфические породы → магма



Стадии образования горных пород (по К. Гиллену, 1987)

4. Метаморфические горные породы

Земная кора по интенсивности регионального метаморфизма разделяется на зоны (У.Грубенманн, С.Вен-Хайз):

- эпизона ($t = 300\text{--}500^\circ\text{C}$, $P = 1\text{--}8$ тыс. атм) – филлиты и зеленые сланцы;
- мезозона ($t = 400\text{--}700^\circ\text{C}$, $P = 2\text{--}10$ тыс. атм) – слюдяные сланцы, амфиболиты, кварциты, мраморы;
- катазона ($t = 700\text{--}1000^\circ\text{C}$, $P = 4\text{--}15$ тыс. атм) – гнейсы, кварциты, мраморы, эклогиты;
- зона ультраметаморфизма – мигматиты.

Контактовый метаморфизм:

- термальный – роговики, кварциты, мраморы;
- метасоматоз – грейзены, скарны, вторичные кварциты.

Динамометаморфизм (катахластический) –
тектонические брекчии, катаклазиты, милониты.

Таблица - Характеристика метаморфических и метасоматических пород

Тип метаморфизма	Название пород	Цвет	Главные минералы	Структура	Текстура	Условия метаморфизма
Региональный	Контактово-термальный	Мрамор	Белый, розовый, серый	Кальцит	Массивная	На контакте карбонатных пород с интрузией
		Кварцит	Серый	Кварц		На контакте кремнистых пород с интрузией
	Сланцы (хлоритовые, слюдяные, и др.)	От светлого до темного	Хлорит, серицит, альбит, кварц, мусковит, биотит и др.	Кристаллически зернистая	Сланцеватая, массивная	Слабая и средняя ступень метаморфизма различных горных пород
	Гнейс	Серый, желтовато-серый	Полевые шпаты, кварц, мусковит, биотит, роговая обманка, пироксен и др.			Высокая ступень метаморфизма кислых и средних магматических горных пород и их туфов, глин и песчаников
	Амфиболит	Темно-зеленый	Роговая обманка, плагиоклаз			Высокая степень метаморфизма основных магматических горных пород и их туфов
	Скарн	Темно-зеленый, коричневый	Гранат, пироксен, кальцит и рудные минералы	Метасоматическая	Сланцеватая, массивная	На контакте карбонатных пород с интрузией под действием растворов, газов и температуры
Метасоматоз	Серпентинит	Зеленый	Серпентин			Изменение ультраосновных пород под действием растворов и газов из магмы
	Грейзен	Светлый, сероватый,	Кварц, мусковит, рудные			В апикальных частях гранитных массивов при

Метаморфические горные породы

Сланцы

Амфиболиты

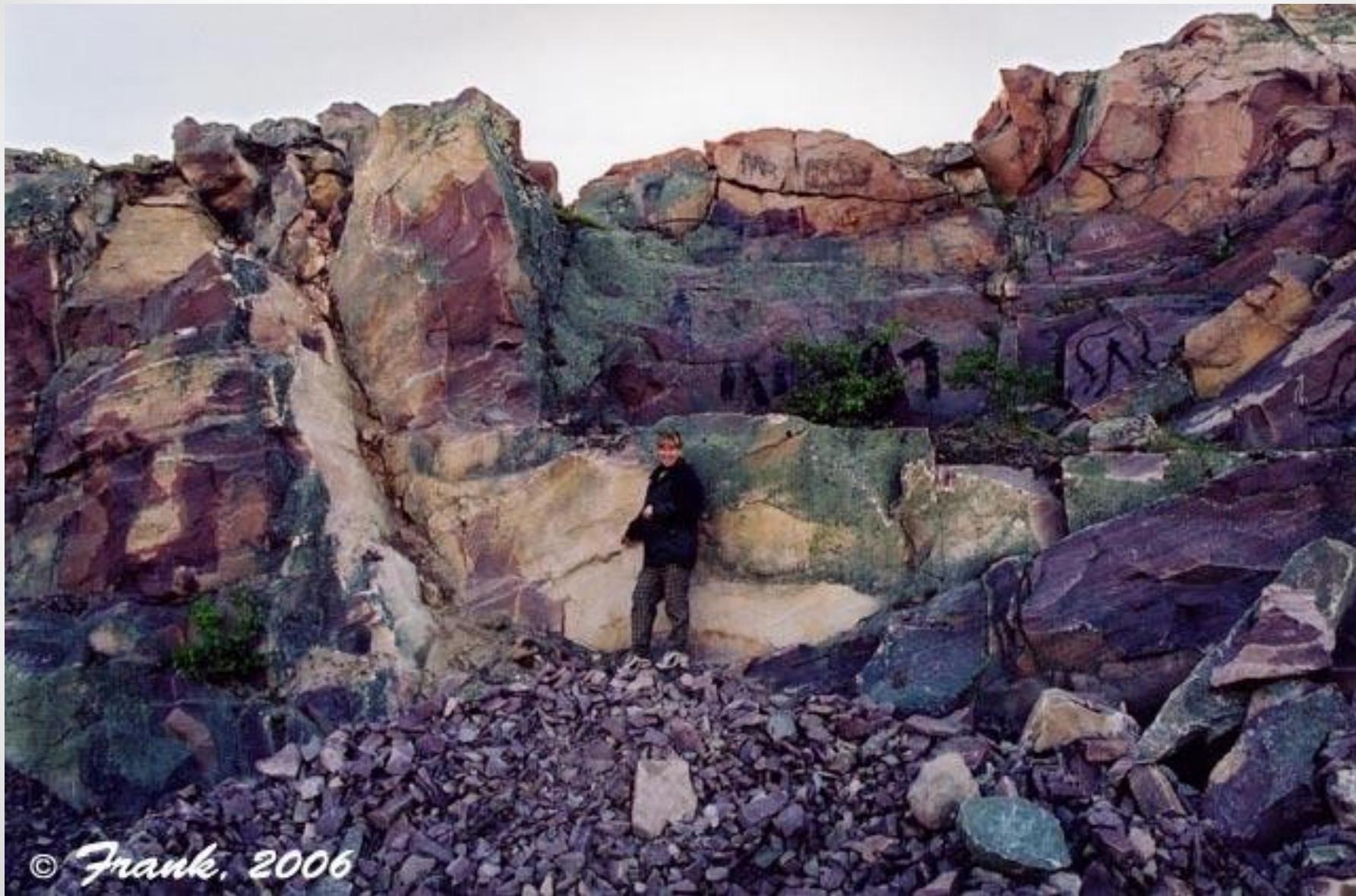
Кварциты

Гнейсы

Мрамора



Кварциты



© Frank, 2006

Кварцит



Структура: кристаллическизернистая, мелкокристаллическизернистая.

Текстура: полосчатая.

Минеральный состав: кварц, вторичные минералы — мелкочешуйчатый мусковит, биотит или магнетит, графит, гранат иногда полевые шпаты, редко — дистен или силлиманит. Присутствие этих минералов в заметном количестве Кварциты без минералов-примесей устойчивые к высоким температурам. Температура плавления 1750-1760°C.

Широко распространены слюдяные, полевошпатовые, графитовые и разновидности горнблендовых кварцитов.

Генезис. На контакте интрузии с кремниевыми горными породами.

МРАМОР



Структура: кристаллически зернистая, гранобластовая, иногда порфиробластовая. Размеры зерен — от миллиметра (мелкозернистая) до 1 см, редко 3-5 см (средне- и крупнозернистая).

Текстура: массивная, полосчатая, брекчевая, пятнистая.

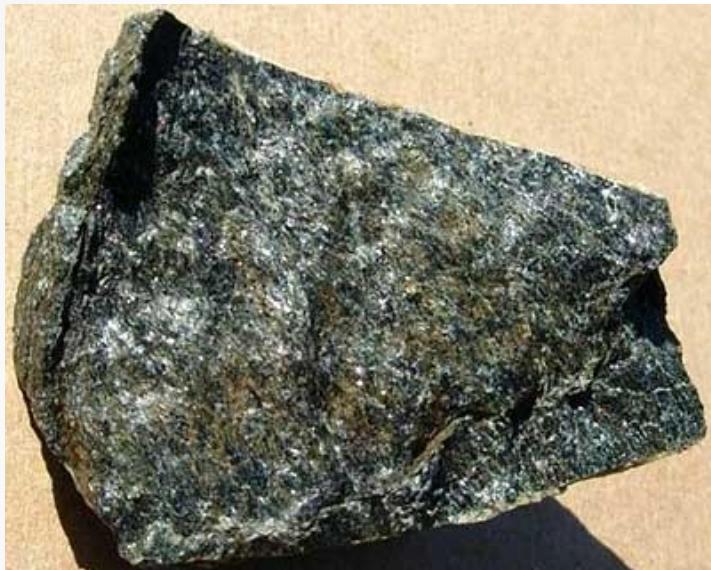
Минеральный состав: кальцит или доломит.

Образованы в результате метаморфических преобразований карбонатных горных пород (известняков, доломитовых известняков).

Практическое применение. Как облицовочный материал, таблички, ступеньки, памятники. Для производства соляной кислоты и в изготовлении скульптур.

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ РЕГИОНАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА

АМФИБОЛИТ



Структура: полнокристаллическая, гранобластовая, размеры зерен 1-3 мм и ниже.

Текстуры: полосчатая и сланцеватая или массивная, пятнистая.

Минеральный состав: горнблэнд, плагиоклаз. **Второстепенные минералы:** кварц, кальцит, диопсид, гранат, биотит и т.д.

Генезис: Метаморфизм высокой ступени основных горных пород и их туфов, мергелей.

Практическое применение: С амфиболитами связаны месторождения титана, ильменита и рутила.

Кристаллические сланцы



Структура: полнокристаллическая, зернисто-чешуйчатая (гранолепидобластовая и лепидобластовая), нередко порфиробластовая.

Текстура: параллельно-полосчатая или сланцеватая.

Минеральный состав: в большом количестве слюды и кварц в меньшем количестве полевые шпаты. Второстепенные минералы - андалузит, дистен, силлиманит, кордиерит, ставролит, гранат, горнblend, кальцит, графит и т.д.

Известны следующие разновидности: биотитовый, мусковитовый, двуслюдянной (мусковит-биотитовый), гранат-биотитовый и т.д.

Практическое применение. Сланцы с силлиманитом и дистеном бывают высокоглиноземистыми, горные породы с рутилом — являются титановым сырьем; сланцы с графитом и гранатами — источники графита и граната.

Гнейс



Структура: полнокристаллическая, мелко-, средне- или крупнозернистые (гранобластовая) или чешуйчатозернистые (лепидогранобластовая).

Текстура: сланцеватая, параллелчатая, гнейсовая.

Минеральный состав: полевые шпаты (в большинстве плагиоклаз) и кварц. Второстепенные минералдар (5-20%) — биотит, горнblend, пироксен, гранат, дистен, силлиманит, графит и т.д.

Разновидности: биотитовые гнейсы, гранат-биотитовые; дистен-гранат-биотитовые и т.д.

Практическое применение. Тротуарные плитки таблички, связаны месторождения графитов.

Известковый скран



Структура: полнокристаллическая, крупно- и гигантозернистая, часто афанитовая.

Текстура: массивная, или полосчатая.

Минеральный состав — пироксены диопсид-геденбергитового ряда, гранаты гроссуляр-андрадитового ряда.

Второстепенные минералы: везувиан, родонит, волластонит, магнетит, кейде шеелит, молибденит, галенит, сфалерит, халькопирит, касситерит и т.д.

Генезис: в результате метасоматоза на контакте карбонатных горных пород с гранитами и гранодиоритами.

Практическое применение. С известковыми скarnами связаны руды **железа, вольфрама, молибдена, свинца и цинка, меди, бора, олова, бериллия** и т.д.

Магнезиальный скарн



Структура и текстура — похожи на известковые скарны.

Главные минералы: — форстерит, диопсид, флогопит, апатит, горнblend, магнетит, или турмалин; иногда флогопит — оливин и биотит.

Генезис. Зоны и залежи, линзы на контакте гранитоидов и пегматитов с доломититами или доломитовыми известняками.

Практическое применение.

С магнезиальными скарнами связаны флогопитовые и магнетитовые крупные месторождения.

Гидротермально-измененные метасоматические горные породы

Вторичные кварциты



Структура: мелко- или среднезернистая, иногда остаточная (реликтовая) порфировая.

Текстура: массивная, часто пористая.

Минеральный состав: кварц, редко серицит или мусковит, каолинит, диаспор, корунд, андалузит, топаз, пирофиллит, алюнит; часто пирит, вкрапления халькопирита и т.д.

Генезис: граниты, гранит-порфиры, кварцевые порфиры кроме того образовались из гидротермально-измененных и размещенных на кровле магматических горных пород песчаников и туфов.

Практическое применение: со вторичными кварцитами связаны крупные месторождения медно-порфирового типа, сернистые колчеданы, алюнит и т.д.

Грейзен



Структура: крупно-, средне-, мелкозернистые.

Текстура: полосчатая редко массивная.

Минеральный состав: кварц, мусковит немесе литивые слюды (циннвальдит и лепидолит), часто топаз, турмалин ифлюорит; **нередко рудные минералы:** касситерит, вольфрамит, молибденит, берилл, колумбит-танталит, микролит и т.д.; обычны примеси — пирит, арсенопирит, сфалерит, магнетит, гематит, иногда висмутин и т.д.

Грейзены — продукты метасоматического изменения кислых магматических, осадочных алюмосиликатных и метаморфических горных пород под воздействием высокотемпературных магматических гидротермальных растворов.

Практическое применение. Грейзенизация спутник месторождений вольфрама, бериллия, молибдена (грейзены с мусковитом, топазом и в большом количестве флюоритом), олова, tantalа (литиевые слюды и топазовые грейзены). Грейзены являются поисковым признаком месторождений редких металлов.

Березит



Структура: мелкозернистая

Текстура: массивная.

Минеральный состав: кварц и серицит, дополнительно анкерит или доломит, вместе с ним пирит. Иногда полевые шпаты — альбит или ортоклаз.

Генезис: при гидротермальном измененном горных пород гранитного состава (гранитов, гранит-порфиров) возле кварцевых жил.

Практическое применение. Поисковый признак на золото, полиметаллы. Нередко березит золотоносный.

Среди *регионально-метаморфизованных месторождений* наибольшее значение имеют следующие типы: гематит-магнетитовый (железистых кварцитов) и *браунит-гаусманитовый* (марганцеворудный). К *регионально-метаморфизованным* относятся также месторождения *урансодержащих золотоносных конгломератов*, играющих важную роль для зарубежных стран – ЮАР (*Витватерсrand*), Австралии, Канады (*Блайнд-Ривер*), Бразилии.

К метаморфическим принадлежат почти исключительно месторождения неметаллических полезных ископаемых, образовавшиеся в основном в условиях регионального метаморфизма. Главными типами метаморфических месторождений являются дистен-силлиманитовые, графитовые, мраморов, кварцитов и кровельных сланцев.