

# Петрография некоторых распространенных метаморфических пород



# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1а. Метапелиты

- Протолит – глина, аргиллит, глинистый сланец.
- Протолит **беден Са, Na, Mg,**
- **богат Al, K, содержит 5 – 15 мас. % H<sub>2</sub>O**

**Филлиты, серицитовые, хлоритовые, и хлорит - серицитовые сланцы (фация зеленых сланцев) от 300 – 400 до 500 – 600 градусов С.**

- Метаморфизм пелитов начинается с частичной дегидратации глинистых минералов и превращения их в серицит, хлорит, пирофиллит. Это приводит к образованию **ФИЛЛИТОВ** – сланцеватых пород состоящих гл. обр. из серицита, хлорита и кварца. В филлитах сохраняются элементы обломочного строения и реликты первичной слоистости. В ходе прогрессивного метаморфизма филлиты превращаются в **СЕРИЦИТОВЫЕ, ХЛОРИТОВЫЕ, И ХЛОРИТ - СЕРИЦИТОВЫЕ СЛАНЦЫ**, которые имеют тот же минеральный состав, но отличаются большей степенью перекристаллизации. Могут появляться порфиробласты граната (альмандин – спессартинового состава), андалузита, хлоритоида.

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1а. Метапелиты

### Слюдяные сланцы (эпидот – амфиболитовая фация) (от 500 – 600 до 550 – 650 градусов С)

Дальнейшее нагревание глинистого протолита приводит к образованию **СЛЮДЯНЫХ СЛАНЦЕВ**, состоящих из **мусковита, биотита, кварца** (главные минералы), **ставролита, граната (альмандин)**, акцессорные – циркон, рутил, турмалин, титанит, апатит. Образуются мусковитовые, биотитовые, двуслюдяные, гранат-биотитовые, ставролит-биотитовые и другие сланцы.

Кварц и слюда нередко группируются в отдельные полосы.

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1а. Метапелиты

**Биотитовые парагнейсы (амфиболитовая фация) (от 550 – 650 до 700 – 800 градусов С)**

Глинистые породы в условиях амфиболитовой фации превращаются в **БИОТИТОВЫЕ ПАРАГНЕЙСЫ**. Эти породы отличаются от слюдяных сланцев тем, что среди главных минералов появляются **полевые шпаты – кислый плагиоклаз и микроклин**. Прочие главные минералы: биотит, гранат (пиральспит), кордиерит, силлиманит.

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1а. Метапелиты

**Кордиеритовые и гиперстеновые парагнейсы (гранулитовая фация) (более 700 – 800 градусов С)**

На высшей ступени регионального метаморфизма глинистых пород возникают биотит-гранат-гиперстен-кордиеритовые и гиперстен-силлиманитовые гнейсы. Кроме минералов, входящих в название, в состав пород входят кислый плагиоклаз, ортоклаз и кварц. Акцессорные минералы: рутил, циркон, шпинель, магнетит, титаномагнетит.

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1б. Метабазиты

Основные магматические породы (базиты) состоят из основного плагиоклаза и пироксенов, к которым может добавляться то или иное кол-во оливина и рудного минерала.

Базитовый протолит **беден Al, H<sub>2</sub>O**

**богат Ca, Mg, Fe, Na > K**

*Метабазиты по составу сильно отличаются от глинистых осадков, поэтому при одних и тех же P – T условиях метаморфизма в метабазитах образуются другие минеральные ассоциации по сравнению с метапелитами.*

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1б. Метабазиты

### Метабазальты и зеленые сланцы

(зеленосланцевая фация 300 – 600 градусов С). Сопровождается привнесом H<sub>2</sub>O.

На начальной стадии прогрессивного метаморфизма базальтов и других изверженных пород повышенной основности они превращаются в метабазальты и зеленые сланцы, состоящие из хлорита, актинолита, минералов группы эпидота, кальцита, альбита.

**(По отношению к базитовому протолиту зеленосланцевый метаморфизм является регрессивным, хотя и протекает при реальном нагреве протолита)**

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1б. Метабазиты

### **Эпидотовые амфиболиты (эпидот – амфиболитовая фация) (от 500 – 600 до 550 – 650 градусов С)**

В ходе прогрессивного метаморфизма зеленые сланцы сменяются эпидотовыми амфиболитами, состоящими из роговой обманки, плагиоклаза (**олигоклаз – андезин**), эпидота. Часто присутствует гранат (альмандин), титанит, кварц. Цветные минералы составляют не менее 50% объема породы.



# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1б. Метабазиты

**Амфиболиты (амфиболитовая фация) (от 550 – 650 до 700 – 800 градусов С)**

При дальнейшем нагревании эпидотовые амфиболиты переходят в **АМФИБОЛИТЫ** без эпидота. Исчезновение эпидота сопровождается повышением основности плагиоклаза , к-рый отвечает по составу **андезину**. Гранат представлен пиральспитом. В самых высокотемпературных амфиболитах появляется диопсид.

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1б. Метабазиты

**Пироксен-плагиоклазовые кристаллические сланцы (гнейсы, гранулиты) (гранулитовая фа́ция) (более 700 – 800 градусов С)**

В условиях умеренного давления самые высокотемпературные метабазиты представлены **ПИРОКСЕН-ПЛАГИОКЛАЗОВЫМИ, ДВУПИРОКСЕН-ПЛАГИОКЛАЗОВЫМИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ СЛАНЦАМИ, ГНЕЙСАМИ ИЛИ ГРАНУЛИТАМИ** с массивной, реже сланцеватой или гнейсовидной текстурой и гранобластовой структурой, состоящие из **основного плагиоклаза, диопсида или авгита, гиперстена**. Иногда с гранатом и роговой

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1в. Метаморфизованные ультрамафиты

Эпигенетическое преобразование ультрамафитов (дунитов, перидотитов, коматиитов, пикритов), первоначально состоявших из оливина и пироксенов, начинается с гидратации и превращения в **СЕРПЕНТИНИТЫ** при 200 – 300 градусах С (цеолитовая фация).

Метаморфизм зеленосланцевой фации выражается в образовании **АНТИГОРИТОВЫХ СЕРПЕНТИНИТОВ И СЕРПЕНТИНОВЫХ СЛАНЦЕВ**. Кроме антигорита образуется тальк, хлорит, актинолит-тремолит, антофиллит и куммингтонит.

С повышением температуры антигорит исчезает и по серпентинитам образуются **АНТОФИЛЛИТОВЫЕ ИЛИ АКТИНОЛИТОВЫЕ И ТРЕМОЛИТОВЫЕ СЛАНЦЫ**.

При Р – Т условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций ультрамафиты превращаются в **РОГОВООБМАНКОВЫЕ АМФИБОЛИТЫ**.

В условиях гранулитовой фации формируются **ОЛИВИН-ПИРОКСЕНОВЫЕ ИЛИ ПИРОКСЕНОВЫЕ ПОРОДЫ**, близкие по составу к протолиту.

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1г. Метаморфизованные кислые магматические породы

В условиях зеленосланцевой фации кислые вулканы преобразуются в **МЕТАРИОЛИТЫ И СЕРИЦИТ-АЛЬБИТОВЫЕ СЛАНЦЫ**. Первые сохраняют реликты первичного строения лав или туфов, вторые – полностью перекристаллизованы с образованием лепидогранобластового агрегата, состоящего из **кварца, альбита, серицита и хлорита**. Полнокристаллические граниты испытывают катаклиз и развальцевание с появлением серицита и хлорита вдоль зон рассланцевания.

В условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций формируются разнообразные **ОРТОГНЕЙСЫ**, в состав которых входят кварц, **полевые шпаты (кислый плагиоклаз и калиевый полевой шпат)**, а также цветные минералы – мусковит, биотит, роговая обманка, гранат. Если КПШ не входит в число главных минералов, то породу называют **ПЛАГИОГНЕЙСОМ (ПЛАГИОКЛАЗОВЫМ ОРТОГНЕЙСОМ)**.

Ортогнейсы гранулитовой фации отличаются появлением гиперстена, иногда клинопироксена и граната. Гиперстеновые ортогнейсы с КПШ называют чарнокитами, а гиперстеновые плагиогнейсы – эндербитами.

В европейской литературе продукты метаморфизма кислых вулканических и вулканокластических пород, независимо от их фациальной принадлежности, называют **ДЕПТИТАМИ**.

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1д. Метаморфизованные песчаники

Кварцевые песчаники с кремнистым цементом (опал, халцедон), испытывая метаморфизм, превращаются в **КВАРЦИТЫ**.

При метаморфизме кварцевых песчаников с глинистым цементом образуются породы, образуются породы, близкие по составу к метапелитам, но содержащие больше кварца. В ходе прогрессивного нагревания песчаники переходят сначала в **серицит-хлорит-кварцевые сланцы**. Затем образуются **слюдяно-кварцевые сланцы** или **слюдяные кварциты**, и, наконец, **парагнейсы** или **полевошпатовые кварциты**.

Продукты метаморфизма аркозовых (кварц – полевошпатовых) песчаников с глинистым цементом близки к метапелитам и метаморфизованным магматическим породам кислого состава. **Серицит- и хлорит-альбитовые сланцы** низшей ступени переходят в **слюдяные парагнейсы**, а затем в **парагнейсы**, близкие по минеральному составу к **гранитам**.

Граувакковые песчаники, образованные в результате размыва основных и средних вулканитов, по мин и хим составу

# 1. Породы прогрессивного регионального метаморфизма

## 1е. Мраморы

Карбонатные породы – известняки и доломиты, не загрязненные посторонними примесями, – превращаются при метаморфизме в **МРАМОРЫ**. В ходе прогрессивного метаморфизма постепенно исчезают реликты первичного строения осадочной породы, становятся более крупнозернистыми.

Карбонатные породы с примесью кремнезема и глинозема превращаются в **СИЛИКАТНЫЕ МРАМОРЫ**. В условиях фации зеленых сланцев в них появляются тремолит, актинолит, серпентин, тальк, минералы гр эпидота, альбит. Для эпидот- амфиболитовой фации типичны флогопит, биотит, мусковит, эпидот, амфибол, кислый плагиоклаз, микроклин. Для амфиболитовой фации – роговая обманка, биотит, волластонит, Са-гранат (андрадит), плагиоклаз, КПШ. Для гранулитовой фации – форстерит, диопсид-геденбергит, основной плагиоклаз, шпинель.

## 2. Породы метаморфизма погружения

Метаморфизм погружения развивается в широком интервале глубин от приповерхностной зоны до основания литосферы и характеризуется относительно низкими температурами, которые не превышают средней континентальной геотермы. Метаморфизм погружения ярче всего проявлен в эпигенетическом преобразовании вулканических пород повышенной основности, сформированных в подводных условиях, продуктов их размыва и переотложения, а также основных, ультраосновных и ультрамафических пород интрузивного облика, принимающих участие в строении офиолитовых поясов.

Протолит – базальты, андезибазальты, габброиды, граувакковые песчаники (продукты размыва основных вулканитов) и пр.

## 2. Породы метаморфизма погружения

### 2а. МЕТАВУЛКАНИТЫ И МЕТАГРАУВАККИ

цеолитовой ( $T < 200 - 300$  град.С, глубина 5 – 15 км)  
и пренит-пумпеллиитовой ( $T = 200 - 300$  град.С,  
глубина 5 – 15 км) фаций

В условиях цеолитовой фации в основных вулканитах и граувакках образуются цеолиты, глинистые минералы (монтмориллонит, нонтронит и др), опал, халцедон. По мере повышения  $T$  появляются альбит, кварц.

В условиях пренит-пумпеллиитовой фации цеолиты исчезают, появляется пренит, пумпеллиит, альбит, хлорит, мусковит, кварц



## 2. Породы метаморфизма погружения

2б. Глаукофановые и лавсонит-глаукофановые сланцы (Т = 300 – 400 град. С, глубина 10 – 25 км)

Глаукофановые и лавсонит – глаукофановые сланцы – т.наз. **ГОЛУБЫЕ СЛАНЦЫ.**

Состав: **глаукофан, лавсонит**, (гранат, альбит, кварц, арагонит и пр.)

## 2. Породы метаморфизма погружения

2в. Эклогиты ( $T > 400 - 700$ , глубина  $> 25$  км)

1. Клинопироксен – гранатовые эклогиты (состоят из омфацита – моноклинного пироксена и граната альмандин – пиропового граната)
2. Кианитовые и корундовые эклогиты
3. Двупироксеновые эклогиты (+ энстатит или гиперстен)
4. Амфиболовые эклогиты

# 3. Породы контактового метаморфизма

## За. Роговики (T = 250 - 800, малые глубины)

Протолит	Продукты метаморфизма		
	Внешняя зона		Внутренняя зона
Известняки	Мраморизованные известняки		Мраморы
Глинистые породы	Узловатые сланцы с биотитом, андалузитом, кордиеритом, гранатом	Роговики с биотитом, андалузитом, кордиеритом, гранатом	Роговики с биотитом, гиперстеном, КПШ, андалузитом, силлиманитом
Кварцевые песчаники	Кварцевые и слюдяно-кварцевые роговики		
Основные эффузивы	Актинолитовые роговики с альбитом и эпидотом	Роговообманковые роговики со средним плагиоклазом	Пироксеновые роговики с основным плагиоклазом

# Метаморфизм во времени и в пространстве

- Зная условия залегания, минеральный и химический состав метаморфической породы, можно установить природу протолита, оценить  $P - T$  условия метаморфизма.
- При изучении метаморфических пород какого-то региона могут быть выделены метаморфические зоны и ***фациальные серии метаморфических пород.***

- При коллизии крупных блоков континентальной коры в область повышенных температур и давлений попадают осадочно-вулканогенные толщи разного возраста, иногда уже метаморфизованные. Под воздействием глубинного теплового потока и выделения тепла при тектонических деформациях образуются зональные метаморфические пояса.
- Характерными примерами поясов такого типа являются совсем молодые зональные метаморфические пояса Анд и Гималаев, а также зональные метаморфические пояса Прибайкалья каледонского времени, связанные с обстановкой активной окраины континента и коллизии.
- Зональные метаморфические пояса образуются в активных тектонических зонах в течение всего фанерозоя вплоть до настоящего времени. В них проявлен весь интервал  $P-T$  параметров метаморфизма от зеленосланцевой до гранулитовой и эклогитовой фации. По объему охваченных им пород динамо-термальный тип метаморфизма занимает ведущее место в земной коре.

- **1. Метаморфизм погружения** наблюдается на **значительных глубинах при низком** тепловом потоке, в спокойной тектонической обстановке. Он обычно не превышает уровня низкой зеленосланцевой фации (цеолитовой, пренит-пумпеллиитовой, серицит-хлоритовой зон) и характеризуется низким отношением  $T/P$ .
- Характерным примером является осадочная толща Прикаспийской впадины, где при мощности осадков в 15-20 км в низах толщи достигается уровень всего только серицит-хлоритовой субфации (300-350° C).
- Можно еще привести в качестве примера низкотемпературные преобразования вулканических и осадочных пород в мощном чехле Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы, остающиеся на уровне цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой зон. Вдоль поверхностей напластования метаморфизм будет однородным на больших площадях, или монофациальным. Такой метаморфизм характерен, главным образом, для мощных осадочных толщ чехлов платформ и предгорных прогибов.

- 2. **Динамо-термальный или региональный метаморфизм** – это метаморфизм, характерный для областей активных тектонических режимов с повышенным тепловым потоком. По условиям проявления и геодинамическим обстановкам различаются несколько подтипов.
- **Метаморфизм архейского периода**, когда поверхность планеты имела в 20-30 раз более высокие температуры из-за тонкой коры, а на Земле господствовал нуклеарный, или кольцевой тип тектоники. Для того времени было характерно развитие площадного (монофациального) метаморфизма гранулитовой фации, причем отсутствие минералов высоких давлений подтверждает малоглубинность архейского высокотемпературного метаморфизма (очень высокое отношение T/P). В настоящее время реликтовые участки такого метаморфизма сохранились на щитах древних платформ, но в большей степени породы этих блоков преобразованы более поздним ретроградным метаморфизмом амфиболитовой фации. Гранулитовый метаморфизм настолько однозначно считался продуктом только архейской эпохи, что само обнаружение гранулитов предполагало отнесение толщи к архею. Впоследствии выяснилось, что условия гранулитового метаморфизма проявлялись во все геологические эпохи, но на больших глубинах. Поэтому данные блоки коры редко вскрыты эрозией. Между гранулитогнейсовыми куполами (нуклеарами) расположены гранит-зеленокаменные пояса – вторая, характерная для архея, разновидность структур. Они сложены основными вулканитами, коматиитами и граувакками, степень метаморфизма которых меняется от зеленосланцевой до амфиболитовой фации низких давлений. Наиболее характерные примеры – мощные зеленокаменные пояса провинции Сьюпериор в Канаде или более скромные по размерам Олотский и Урикско-Ийский пояса в Восточных Саянах, расположенные в выступе фундамента Сибирской платформы.

- Начиная с **протерозойской эры** господствует линейный тип тектоники, связанный с понижением температуры поверхности планеты, увеличением мощности жесткой коры и проявлением тектоники литосферных плит.
- Этот тип тектоники характеризуется неравномерным распределением теплового потока и, соответственно, появлением линейных зональных поясов регионального метаморфизма, контролируемых границами плит и зонами крупных разломов. Для них свойственно многообразие фаций не только по температурам, но и по давлениям и четкая приуроченность к определенным геодинамическим обстановкам, с высоким отношением  $T/P$ . В зонах субдукции при быстром погружении холодной океанической плиты вдоль сейсмофокальных зон Бенъофа на огромные глубины развивается *эклогит-глаукофансланцевый метаморфизм* (или метаморфизм голубых сланцев) низких температур – высоких давлений. Он характеризуется очень высокими давлениями (8-30 кбар) со значительным их градиентом при невысоком температурном градиенте - 10-15° С на км.
- Находки эклогитового метаморфизма высоких давлений в протерозойских блоках коры косвенно свидетельствует о наличии уже в протерозойское время зон субдукции.
- В сопряженных с зонами субдукции островных дугах с повышенным тепловым потоком и обильным магматизмом развивается зональный термальный метаморфизм в широком интервале температур при низких и умеренных давлениях.



Норвегия  
Norway

Баренцево море  
Barents Sea

# Геологическая карта Кольского региона Geological Map of the Kola region

Гл. редактор Ф.П. Митрофанов  
Editor in chief F.P. Mitrofanov

Геологический институт Кольского научного центра РАН  
Geological Institute of the Kola Science Centre RAS

Масштаб 1:1500000 Scale 1:1500000



Апатиты 2001  
Apatity 2001



Финляндия  
Finland

Белое море  
White Sea

White Sea

