

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Томский политехнический университет  
Институт природных ресурсов**

# **ЛИТОЛОГИЯ**

**2017**

# Генетическая классификация горных пород

```
graph TD; A[Генетическая классификация горных пород] --> B[Магматические породы – образуются в результате застывания сложного силикатного расплава (магмы)]; A --> C[Метаморфические породы - образуются, когда на горные породы воздействуют столь высокие давления и температуры, что их минеральный состав трансформируется]; A --> D[Осадочные породы – образующиеся в результате переотложения продуктов выветривания и разрушения различных горных пород, химического и механического выпадения осадка из воды, жизнедеятельности организмов или всех трех процессов одновременно];
```

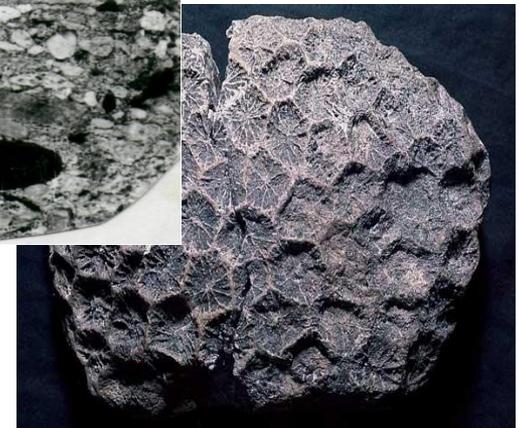
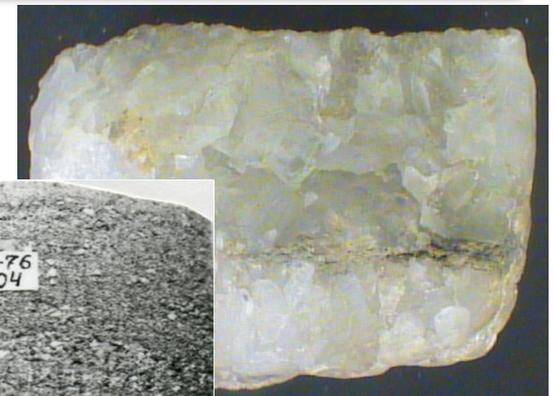
**Магматические породы** – образуются в результате застывания сложного силикатного расплава (магмы)

**Метаморфические породы** - образуются, когда на горные породы воздействуют столь высокие давления и температуры, что их минеральный состав трансформируется

**Осадочные породы** – образующиеся в результате переотложения продуктов выветривания и разрушения различных горных пород, химического и механического выпадения осадка из воды, жизнедеятельности организмов или всех трех процессов одновременно

**ЛИТОЛОГИЯ** - наука о современных осадках и осадочных породах, их составе, строении, происхождении и закономерностях пространственного размещения.

Фото Андрея Конечного



# Генезис осадочных горных пород

**возникновение исходных продуктов  
(путем выветривания или другим  
способом) (гипергенез)**



**перенос и частичное осаждение материала  
на путях переноса (седиментогенез)**



**осаждение вещества (седиментогенез)**



**преобразование осадков и превращение их  
в осадочные породы (диа-, ката- и мета-  
генез)**

# Источником вещества для образования осадочных горных пород являются:

1

продукты выветривания магматических, метаморфических и более древних осадочных пород, слагающих земную кору

2

растворённые в природных водах компоненты; газы, различные вещества, возникающие при жизнедеятельности организмов

3

вулканогенный материал (твёрдые частицы, горячие водные растворы и газы)

В современных океанических осадках и в древних осадочных породах встречается также космический материал. В настоящее время главнейший источник осадочного материала — литосфера

# **Условия осадкообразования**

**1. Климат**

**2. Рельеф**

**3. Геотектонический режим**

# Типы литогенеза (по климатическому признаку, Н.М. Страхов)

- 1. Гумидный** – с влажным теплым климатом, с превышением количества осадков над испарением (экваториальные зоны)
- 2. Аридный** – с дефицитом влаги (климат пустынь и полупустынь)
- 3. Нивальный или ледовый** – с низкими температурами (полярные и высокогорные области)
- 4. Эффузивно-осадочный** – области прошлой и современной вулканической деятельности

# Типы литогенеза

№	Тип литогенеза	характеристика
1	<p><b>Гумидный</b> – распространен во влажных, умеренно-влажных зонах, в тропиках и субтропиках, в экваториальных областях обоих полушарий. Преобладание положительных температур большую часть года, превышение количества выпадающих осадков над испарением, богатая органическая жизнь.</p>	<p><b>Гипергенез</b> – широко развиты процессы физического, химического и биологического выветривания; <b>Седиментогенез</b> - главным агентом переноса является вода, второстепенными – ветер и сила тяжести; <b>Диагенез</b> – образуются практически все классы осадочных горных пород.</p>
2	<p><b>Аридный</b> – проявляется в пустынях, полупустынях. Господство положительных температур, дефицит влаги, бедная органическая жизнь.</p>	<p><b>Гипергенез</b> - преобладают процессы физического выветривания, химические и биологические - подавлены. <b>Седиментогенез</b> - главным агентом переноса является ветер, второстепенными вода и сила тяжести; <b>Диагенез</b> - процессы очень сложны. Образуются преимущественно обломочные и хемогенные породы.</p>
3	<p><b>Нивальный</b> - проявляется в полярных и высокогорных областях. Преобладают низкие температуры, характерен дефицит влаги, бедная</p>	<p><b>Гипергенез</b> – преобладают процессы физического выветривания, химические и биологические – подавлены; <b>Седиментогенез</b> – главным агентом переноса является лед, второстепенными – вода и сила тяжести;</p>

# Стадии литогенеза

**Стадии литогенеза** - ряд последовательных закономерных геологических процессов:

**1. Гипергенез** (выветривание) – экзогенные процессы, приводящие к разрушению минералов и горных пород

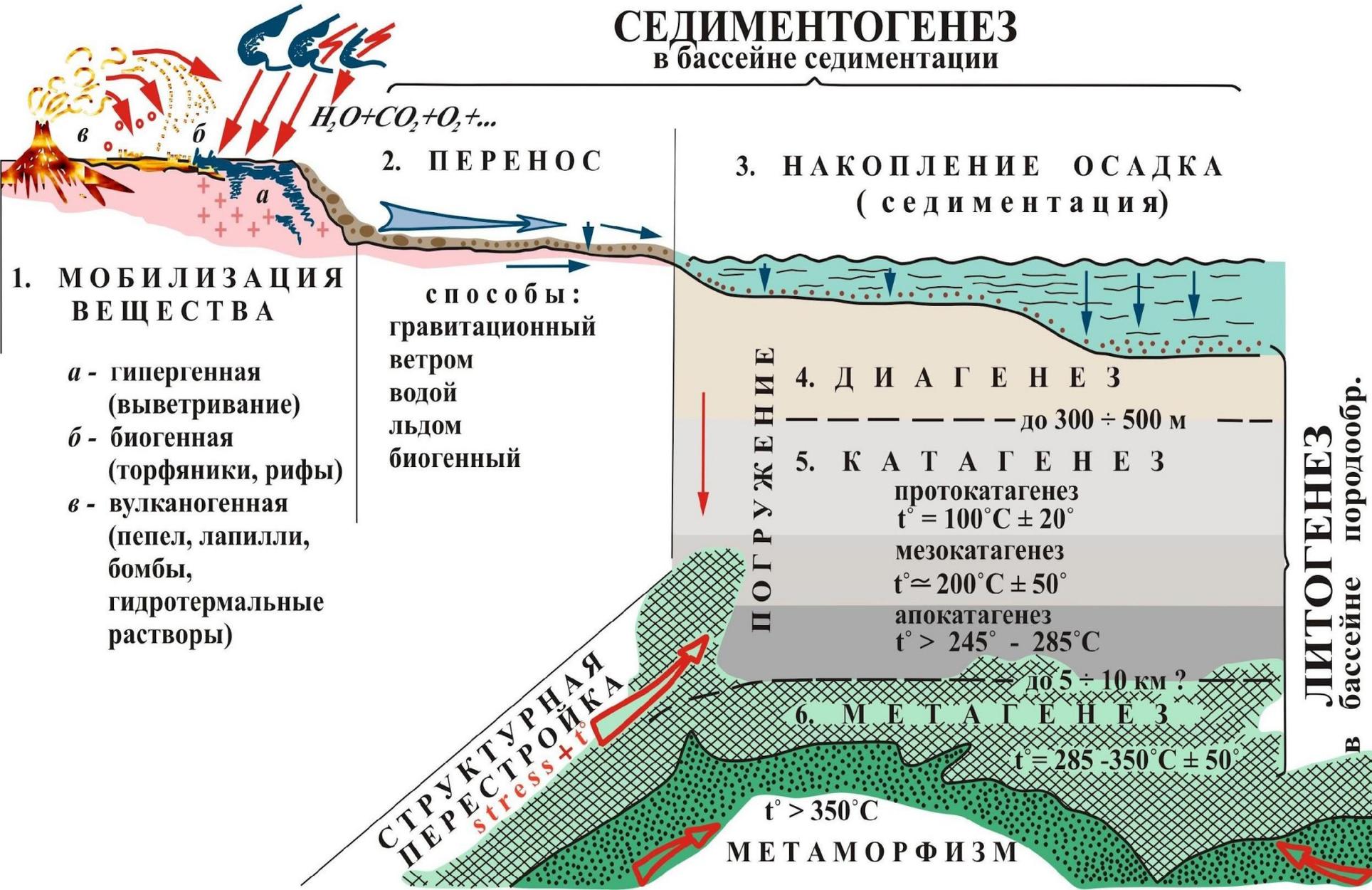
**2. Седиментогенез** – стадия накопления осадков, их перенос (ветром, водами, льдом, организмами) и аккумуляция на дне водоемов и во впадинах на суше

**3. Диагенез** – процесс превращения осадка в осадочную породу при уплотнении в верхней зоне земной коры. Происходит при низких температурах и давлениях, существенно биохимический (с участием бактерий)

**4. Катагенез** – изменение пород в верхней части стратисферы под действием возрастающих температур, давления и химических реакций

**5. Метагенез** – глубокое преобразование осадочных пород в земной коре

# СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ в бассейне седиментации



**1. ГИПЕРГЕНЕЗ (выветривание)** Образование осадочного материала в литосфере происходит вследствие механического раздробления и химического разложения пород различного состава и генезиса за счет действия различных факторов - влияния колебаний температуры, воздействия атмосферы, воды и организмов на горные породы и т.д.

Все эти процессы приводят к изменению и разрушению пород и объединяются одним термином *выветривание* или *гипергенез*



# Различают следующие типы выветривания

1. Физическое (механическое) выветривание  
выражается в механическом разрушении  
минералов и горных пород

## Факторы:

- Температура;
- Деятельности воды;
- Деятельность ветра;
- Деятельность льда;
- Под влиянием силы тяжести;
- Вследствие тектонических процессов

**2. Химическое** основными факторами этого типа выветривания являются атмосферная и грунтовая вода, свободные кислород и углекислота, растворенные в воде органические и некоторые минеральные кислоты  
\*Химическое разложение протекает одновременно с механическим раздроблением

**3. Биологическое** выветривание осуществляется под воздействием живых организмов  
Место бурного развития растительных и животных организмов – приповерхностная часть литосферы.  
Продукты их жизнедеятельности являются важной составной частью осадков.



## 2. СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ

**Этапы седиментогенеза:**

- перенос (транспортировка) осадочного материала,
- накопление осадка

**2. Формы переноса** вещества (обломочная, коллоидальная, ионная)

# **Транспортировка (перенос) осадочного материала**

Образовавшийся в результате гипергенеза осадочный материал и минералы **могут оставаться на месте своего формирования (кора выветривания) или перемещаться**

В зависимости от расстояния, скорости перемещения, объема и размеров переносимого материала и ряда других факторов могут продолжаться дальнейшее разрушение

## **Разрушение при транспортировке - это:**

превращение крупных обломков в мелкие

превращение угловатых обломков в окатанные

сортировка обломочного материала по размерам (вертикальная и латеральная)

Осадочный материал переносится под действием различных факторов в те участки земной поверхности, где существуют условия, благоприятные для его накопления и захоронения.

**Перенос осуществляется с помощью:**

- **воды**
- **ветра**



Заметную роль в перемещении осадков играют **движущиеся ледники, айсберги и прибрежные льды**



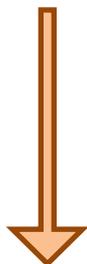
# Накопление осадочного материала (аккумуляция)

## Среда осадконакопления

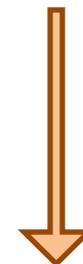
Водная среда - озера, реки и главным образом моря. Здесь формируются осадки трех типов - **обломочные, биогенные и хемогенные**

Воздушная среда - участки суши вне водной среды. Осадки здесь представлены **обломочными и хемогенными** типами

**Общий облик осадка и его физико-химические признаки определяются**



качеством и  
количеством  
поступающего  
осадочного  
материала



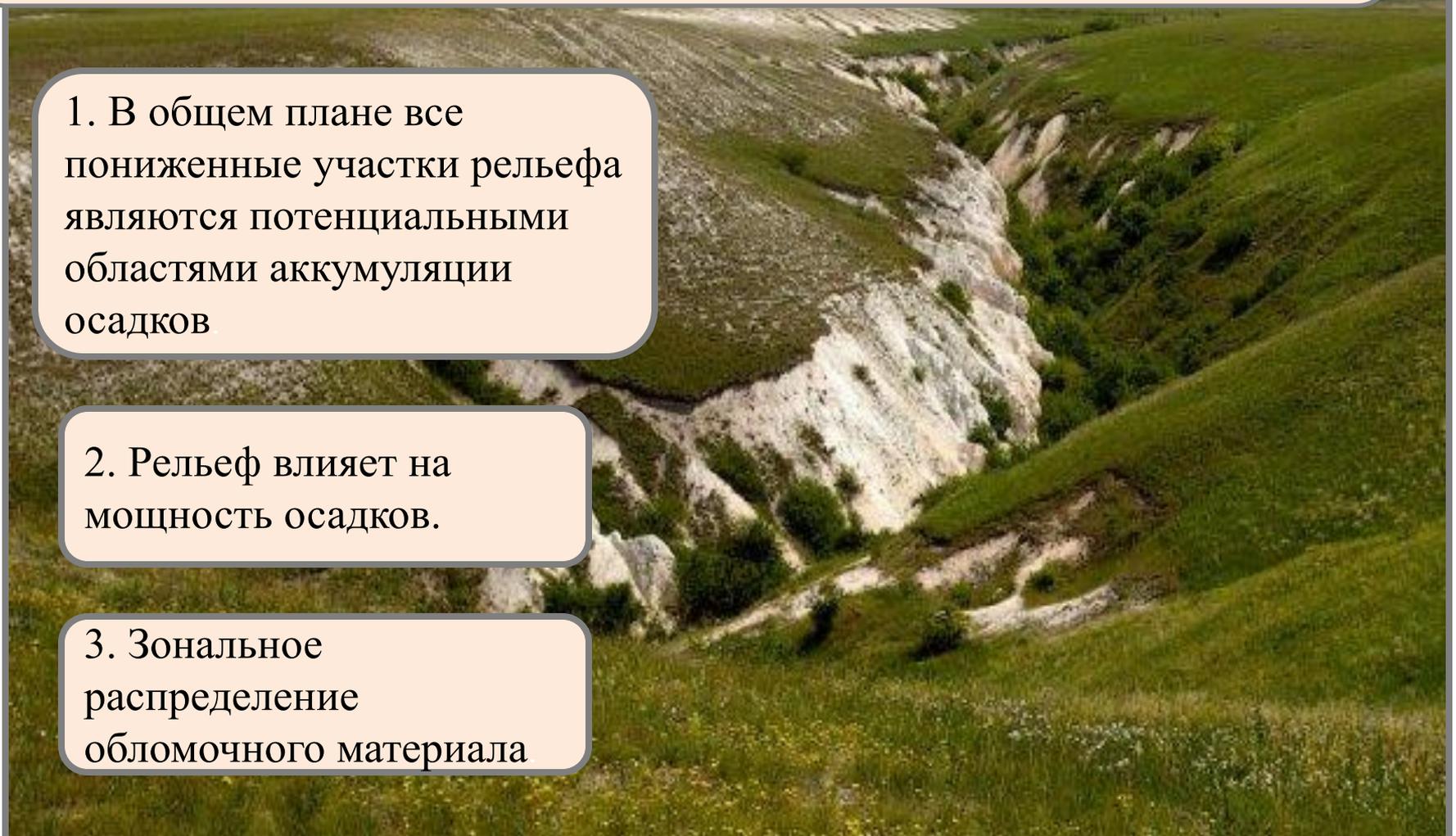
физико-  
географической  
обстановкой и  
свойствами среды,  
в которой  
происходит  
седиментогенез

В значительной степени на процессы седиментогенеза влияет **рельефа местности**. Его влияние заключается в следующем:

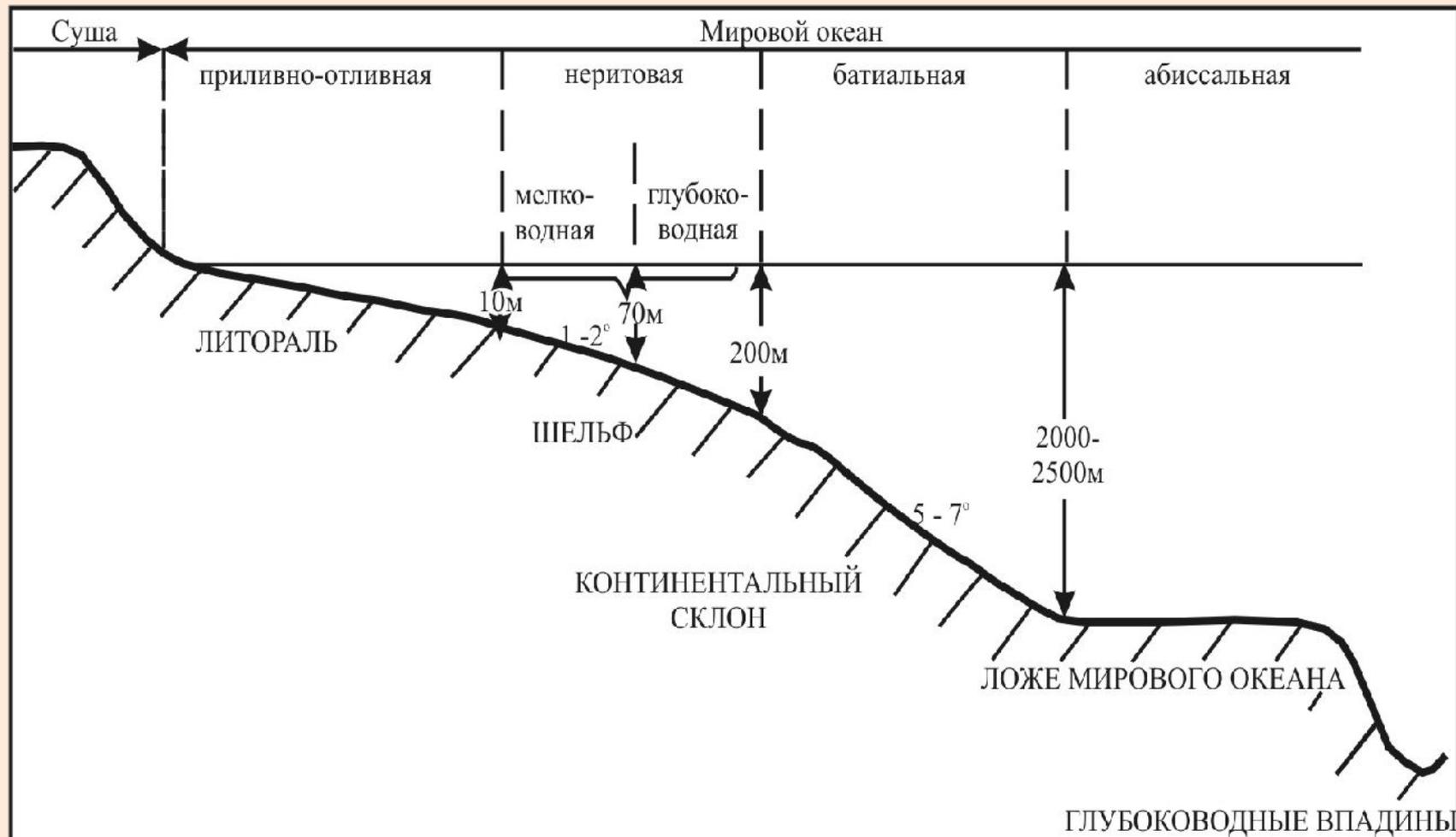
1. В общем плане все пониженные участки рельефа являются потенциальными областями аккумуляции осадков

2. Рельеф влияет на мощность осадков.

3. Зональное распределение обломочного материала



# В ложе Мирового океана выделяют несколько областей



Поступающий с континента обломочный, рыхлый материал в условиях неровностей рельефа начинает разделяться по размеру и весу обломков.

Легкие и мелкие обломки уносятся в более глубокие пониженные области, а крупные оседают в прибрежных, мелководных зонах

# ОСАДОЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ВЕЩЕСТВА

В процессе переноса и отложения осадочного материала происходит его разделение по

размеру частиц  
(сортировка),

плотности,

химическому составу  
и химическому  
средству.

Выделяют следующие виды дифференциации:

- механическая – заключается в разделении по размеру обломков (сортировка);
  - химическая – заключается в последовательном осаждении соединений из растворов согласно их растворимости;

# Механическая дифференциация

**Глыбы,**

**валуны** → **> 100 мм** →



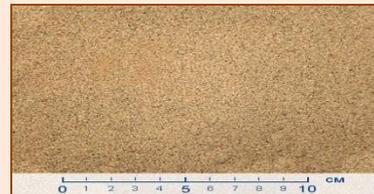
**галька** → **10 -100 мм** →



**гравий** → **1,0 – 10 мм** →



**песок** → **0,1 – 1,0 мм** →



**алеврит** → **0,1- 0,01 мм** →



**пелит** → **< 0,01 мм**

# Химическая дифференциация вещества

Вещества, находящиеся в коллоидном и истинном растворе, выпадают только вследствие химических процессов.

Основными причинами химической дифференциации являются:

- изменение рН в природных водах,
- различие в ЕН- т.е. окислительно-восстановительного потенциала в зоне осадкообразования.

Установлено, что последовательность осаждения гидроксидов металлов из природных вод происходит при изменении рН среды:

гидроксид	рН
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	2.0
$\text{Al}(\text{OH})_3$	4.0
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	5.5
$\text{Mn}(\text{OH})_2$	8.5
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	10

Таким образом, продукты выветривания распределяются по всей поверхности Земли, подвергаются при этом сортировке и, наконец, отлагаются в виде осадков в самых глубоких местах или на материках, или (преимущественно) в морских бассейнах.

**На стадии седиментогенеза закладываются основные свойства осадков - это минеральный состав, размер и форма обломочных частиц и условия их залегания.**

### 3. ДИАГЕНЕЗ - преобразование осадка в осадочную горную породу

1. Основные процессы диагенеза: уплотнение, цементация, минеральное новообразование
2. Аутигенные минералы как показатель условий диагенеза. Образование конкреций

**Диагенез** - ранняя стадия преобразования осадка, а именно превращение его в осадочную породу. Это этап физико-химического уравнивания осадка, представляющего собой первоначально неравновесную физико-химическую систему, сильно обводненную и богатую органическими веществами, как живым (бактерии), так и мертвым

Первичный рыхлый морской осадок в большинстве случаев представляет многокомпонентную неуравновешенную систему, в состав которой могут входить:

- обломочные частицы;
- иловые частицы;
- химически и биохимически осажденные соединения;
- органические вещества;
- живые бактерии;
- органические остатки;
- реликтовые (остаточные) воды, заполняющие поры

При этом отсутствует равновесие как между разнородными частицами осадка, так и у частиц осадка с придонными водами океана.

Уже в самой начальной стадии существования осадка начинается взаимодействие отдельных его частей друг с другом, с остаточными иловыми водами и средой их накопления

# Характеристика осадка

1. **Высокая влажность осадков**, имеющая огромное значение в перераспределении отдельных элементов в осадке и обуславливающая диффузное перемещение вещества в вертикальном и горизонтальном направлениях, что способствует взаимодействию различных составляющих и образованию новых *диагенетических* минералов

2. **Иловые растворы**, пропитывающие осадок, существенно отличаются от состава наддонной воды океана более высокой минерализацией, уменьшенным содержанием сульфатного иона, присутствием железа, марганца и других элементов.

Различие состава иловых растворов и придонной океанской воды вызывает обмен веществ между ними. При большой концентрации ряда веществ в иловых растворах в осадке образуются новые *диагенетические* минералы



**3. Наличие многочисленных бактерий,** главная масса которых сосредоточена в верхних первых сантиметрах осадков.

Бактерии играют различную роль в преобразовании вещества. Они разлагают углеводороды и органические соединения, создают новые реактивы и изменяют химизм среды.

В результате деятельности различных бактерий происходят сложные процессы - окисление закисных соединений и чаще, наоборот, перевод окисных соединений в закисные. В других случаях бактерии служат главным источником накопления органического вещества в верхней части слоя

4. **Органическое вещество**, большое скопление которого в осадке вызывает дефицит кислорода, появление углекислого газа и сероводорода, т. е. создает восстановительные условия.

5. **Окислительно-восстановительный потенциал** зависит от содержания органического вещества и от гранулометрического состава осадка. В мелководных зонах, где преобладают водопроницаемые пески с отсутствием или ничтожным содержанием органического вещества, создаются окислительные условия среды, наблюдающиеся и в глубине осадка. В этом случае возможны единичные новообразования гидроксидов железа или бурых корок вокруг зерен песка

Н.М.Страхов выделяет  
два этапа минералообразования:

1. **окислительный**, когда возникает глауконит, фосфаты, цеолиты, иногда глобулярный опал, оолиты;
2. **восстановительный**, когда генерируются карбонаты, фосфаты, силикаты и сульфиды Fe, Pb, Zn, Cu и др. тяжелых металлов, карбонаты и фосфаты Mn

Вместе взятые эти процессы представляют собой **ранний диагенез**

Однако генерацией диагенетических минералов процесс уравнивания в осадках не заканчивается

Пестрота физико-химической обстановки в разных частях осадка приводит к тому, что диагенетические минералы, вначале распределенные в осадке более или менее равномерно, начинают уходить из одних мест и создавать сгущения в других (линзы, конкреции, пластообразные сгущения и т.д.). Возникают кальциевые, доломитовые, сидеритовые, кремневые, пиритные и др. стяжения.

Время их генерации является этапом **позднего диагенеза**



# Основные процессы стадии диагенеза (приводящие к уменьшению пустотного пространства породы)

- дегидратация осадка; уплотнение;
- перекристаллизация;
- аутигенное минералообразование в результате взаимодействия составных компонентов осадка с иловыми (поровыми) водами и ОВ. Проявляются в кальцитизации, сульфатизации, окремнении, засолонении и др.

# Основные процессы стадии диагенеза

(приводящие к увеличению порового пространства породы)

- образование трещин диагенетического происхождения;
- частичное растворение компонентов осадка при воздействии  $\text{CO}_2$ , образующегося в результате разложения ОВ;
- отдельные процессы аутигенного минералообразования.

Стадия диагенеза завершается превращением осадка в осадочную породу.

Принято считать, что стадия диагенеза заканчивается с прекращением жизнедеятельности организмов и достижением физико-химического равновесия в осадке.

**Продолжительность** стадии диагенеза колеблется в широких пределах, в зависимости от скорости достижения равновесия в осадке и может составлять десятки и даже сотни лет.

**Мощность зоны диагенеза** осадка также зависит от скорости наступления равновесия между осадочными компонентами. В изначально равновесных системах (например, чистые кварцевые пески) она может составлять единицы метров. Напротив, в многокомпонентных осадках мощность зоны диагенеза может достигать 100 м и более.

## 4. КАТАГЕНЕЗ

Под **катагенезом** понимаются процессы, протекающие при прогибании территории, когда горные породы оказываются погруженными на значительные глубины, где испытывают влияние **повышенных давлений и температур**, а также **минерализованных подземных вод**. Чем больше температура и давление вышележащих слоев, тем больше происходят уплотнение и изменение осадочных горных пород

К постдиагенетическим (стадии преобразования осадочных горных пород) изменениям осадочных горных пород относятся: *катагенез* (греч. "ката" - вниз) и *метагенез* (греч "мета" - после).

Под **катагенезом** понимаются процессы, протекающие при прогибании территории, когда горные породы оказываются погруженными на значительные глубины, где испытывают влияние **повышенных давлений** и **температур**, а также **минерализованных подземных вод**. Чем больше температура и давление вышележащих слоев, тем больше происходят уплотнение и изменение осадочных горных пород.

Доминирующие процессы катагенеза - **физико-механические**, т.е. уплотнение пород под нагрузкой вышележащих толщ, мощность которых от первых сотен (иногда десятков) метров до 4-6 км, что определяет и **глубину зоны катагенеза** в литосфере.

**Температура** у кровли зоны 30-50<sup>0</sup> С, а у подошвы - вероятно, 150-200<sup>0</sup> С,

**давление** - от первых сотен до 1200-2000 атм.

**Длительность** - от сотен миллионов до 1-1,5 млрд лет.

Условия катагенеза, таким образом, весьма различные, но стабильные в пространстве и во времени. За это время минеральное вещество вызревает структурно, например кристаллическая структура упорядочивается, размер кристаллов увеличивается, химический состав становится определеннее

Высокие температура и давление, наличие минерализованных вод способствуют процессам растворения неустойчивых соединений, образованию новых (вторичных) минералов, частичной перекристаллизации вещества. Существенные преобразования претерпевает органическое вещество.

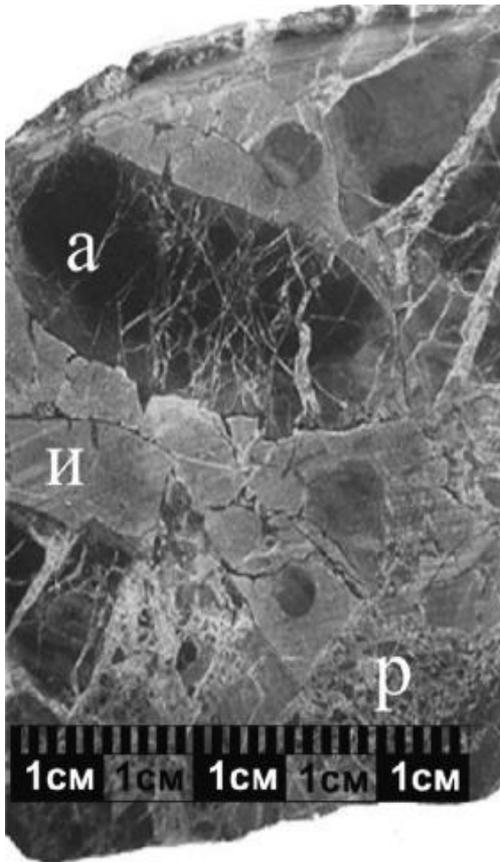


Фото А. В. Ежовой

При прогибании до 4,5-5,0 км пористость глин изменяется от 49-50 % до 5 % и менее и они превращаются в аргиллиты.

В условиях катагенеза образуется каменный уголь высокой степени преобразования, содержащий до 82-90 % углерода и антрацит - свыше 95 % углерода.

Со средними и поздними стадиями катагенеза Н. Б. Вассоевич и другие исследователи связывают образование нефти и газа.

**5. МЕТАГЕНЕЗ** - дальнейшие преобразования горных пород, близкие к начальным стадиям метаморфизма.

При дальнейшем погружении горные породы оказываются на большей глубине и в условиях более высоких температур. По данным Н. В. Логвиненко, метагенез в геосинклинальных областях происходит при мощности осадочной толщи свыше 7 - 8 км, вызывающей высокое давление (от 1500-2000 до 3000-4000 атм) при температуре 200 - 300° С и наличии минерализованных растворов.

В этих условиях протекают процессы растворения, перекристаллизации, взаимодействия циркулирующих растворов и минералов, в результате происходит метасоматоз - процесс замещения одних минералов и горных пород другими.

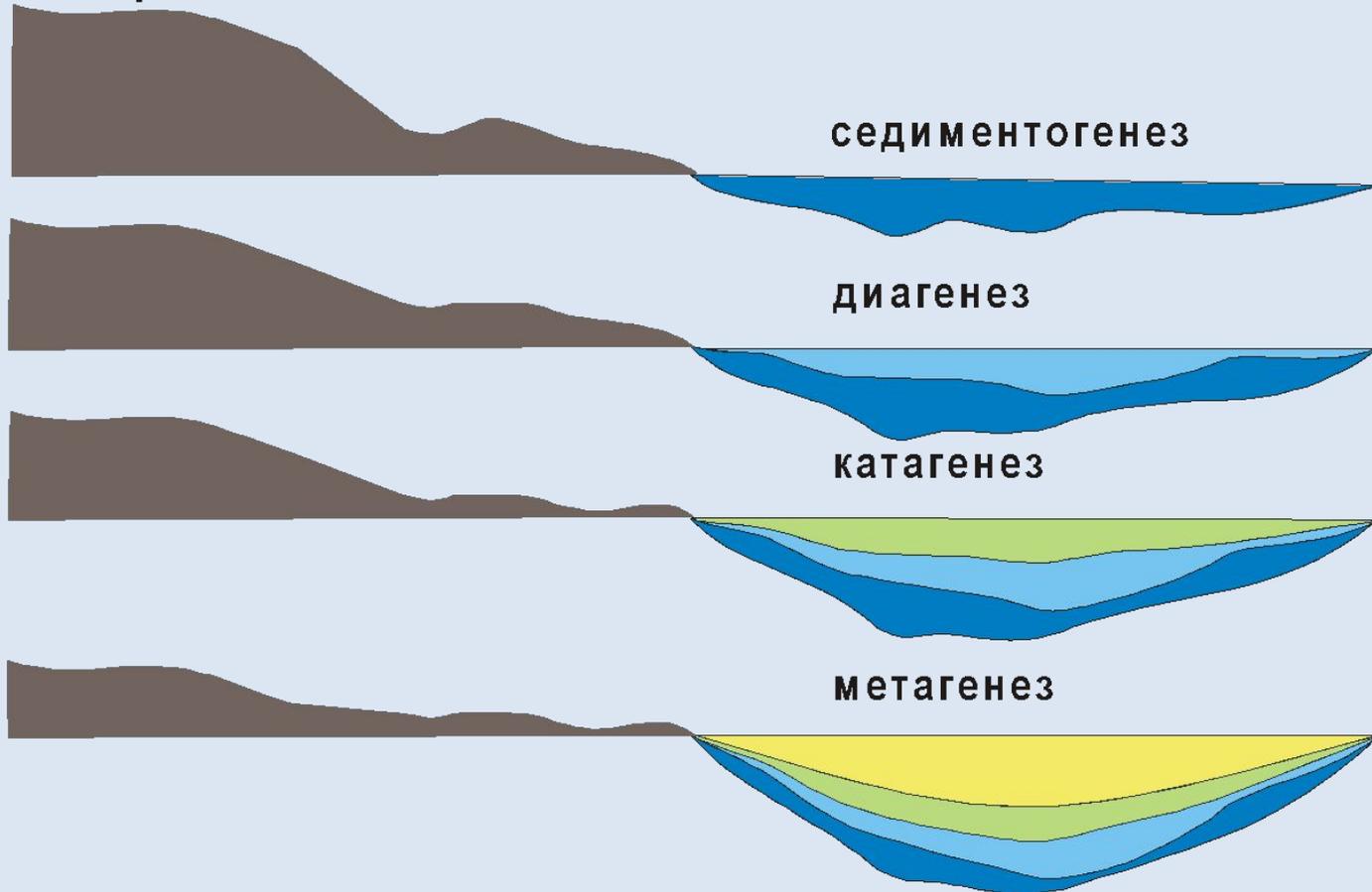
Основные процессы в метагенезе уже не физико-механические, а физико-химические и химические. На этом рубеже перекристаллизовываются уже все осадочные породы, даже наиболее стойкие - обломочные. Это прежде всего перекристаллизация глинистых пород - аргиллитов и образование типично метаморфических пород - глинистых сланцев. В стадии метагенеза кроме глинистых сланцев образуются кремнистые сланцы, кварцитовидные песчаники и др.

Давление в зоне метагенеза меняется от 1500-2000 до 3000-4000 атм, глубина от 7-8 до 15-20 км.

На платформах не достигаются условия метагенеза. Пористость практически отсутствует. Объемный вес становится равным удельному.

# Процесс формирования осадочного бассейна

Гипергенез



# Генетическая классификация осадочных пород

