

ЛИТОГЕНЕЗ

Стадии образования и преобразования осадочных пород

Седиментогенез – образование осадочного материала, его транспортировка и осаждение

Осадок

Литогенез – преобразование осадка в горную породу и ее изменения

Осадочная порода

Метаморфизм – преобразование осадочной горной породы в метаморфическую

Метаморфическая порода

Литогенез

Диагенез

Преобразование осадка в горную породу

Катагенез

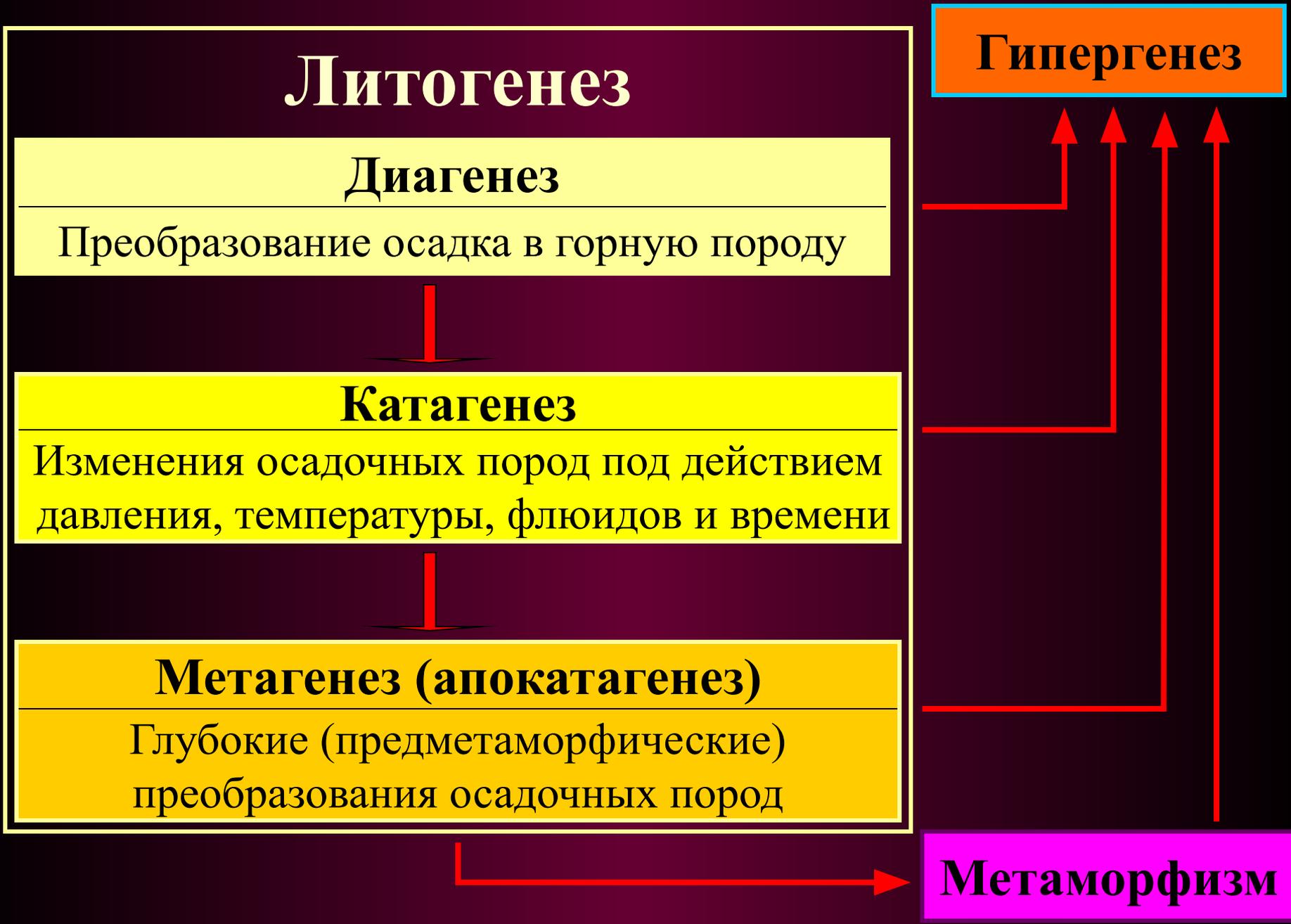
Изменения осадочных пород под действием давления, температуры, флюидов и времени

Метагенез (апокатагенез)

Глубокие (предметаморфические) преобразования осадочных пород

Гипергенез

Метаморфизм



**Диагенез – процесс превращения
осадка в породу**

1. Уплотнение осадка

Плотность глинистых илов 1,2-1,3 г/см³.

Плотность песчаных осадков 1,3-1,7 г/см³.

После диагенеза:

плотность глин 1,6-1,8 г/см³,

плотность песков 1,7-1,9 г/см³.

2. Дегидратация и гидратация осадка

Осадки, накопившиеся в воде, содержат от 75 до 85 % воды.

При уплотнении отжимается до 50% воды – дегидратация.

Осадки, накопившиеся в воздушной среде, получают влагу из подстилающих отложений или из атмосферы – гидратация.

3. Переработка осадка организмами

**Осадки перерабатывают бактерии, грибы,
бентос и корни растений.**

4. Образование устойчивых минеральных модификаций из неустойчивых

Переход гидротроилита ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) в пирит (FeS_2).

Переход арагонита в кальцит.

Переход опала в халцедон.

5. Растворение и разложение неустойчивых частей осадка

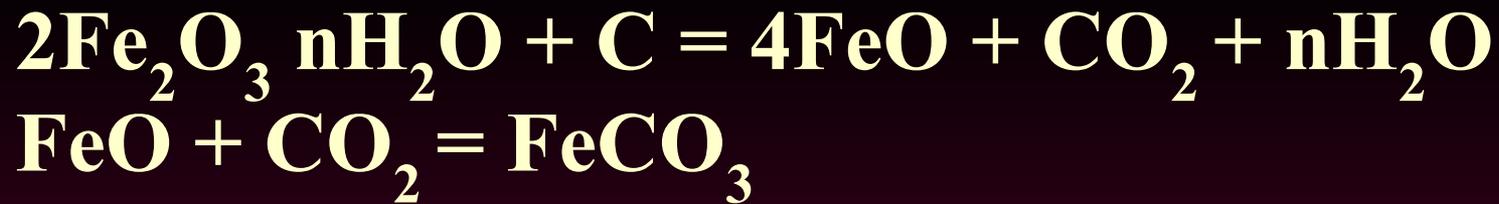
В речных осадках карбонатные остатки фауны растворяются (рН меньше 7).

В осадках теплых морей карбонатные остатки фауны сохраняются (углекислоты мало, рН больше 7).

6. Минеральное новообразование

Новые минералы возникают в результате реакций между твердыми, органическими, жидкими и газообразными фазами осадка. Они образуют конкреции и цемент породы.

Взаимодействие окислов железа с органическим веществом приводит к образованию сидерита:



Реакция между гидроокислами железа и сероводородом дает сульфиды железа (пирит).

Реакция между известковым илом и морской водой, обогащенной ионами магния, приводит к образованию доломита.

Взаимодействие воды, обогащенной ионами кальция, и углекислоты приводит к образованию кальцита.

7. Кристаллизация и перекристаллизация составных частей осадка.

Эти процессы характерны для хемогенных осадков (эвапоритов).

Происходит укрупнение и упорядочивание кристаллических индивидуумов.

Диагенетические преобразования ОВ

Биохимическая (микробиальная) стадия преобразования ОВ, особенности которой определяет окислительно-восстановительный потенциал среды (Eh).

Eh среды определяют:

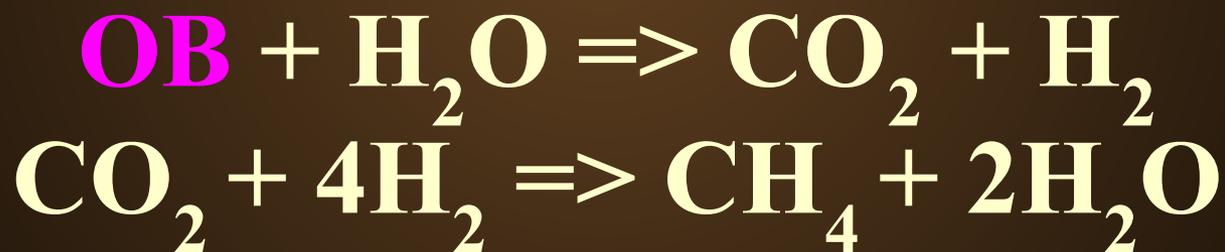
1. количество свободного кислорода
2. количество ОВ

В окислительных обстановках происходит аэробное бактериальное окисление ОВ

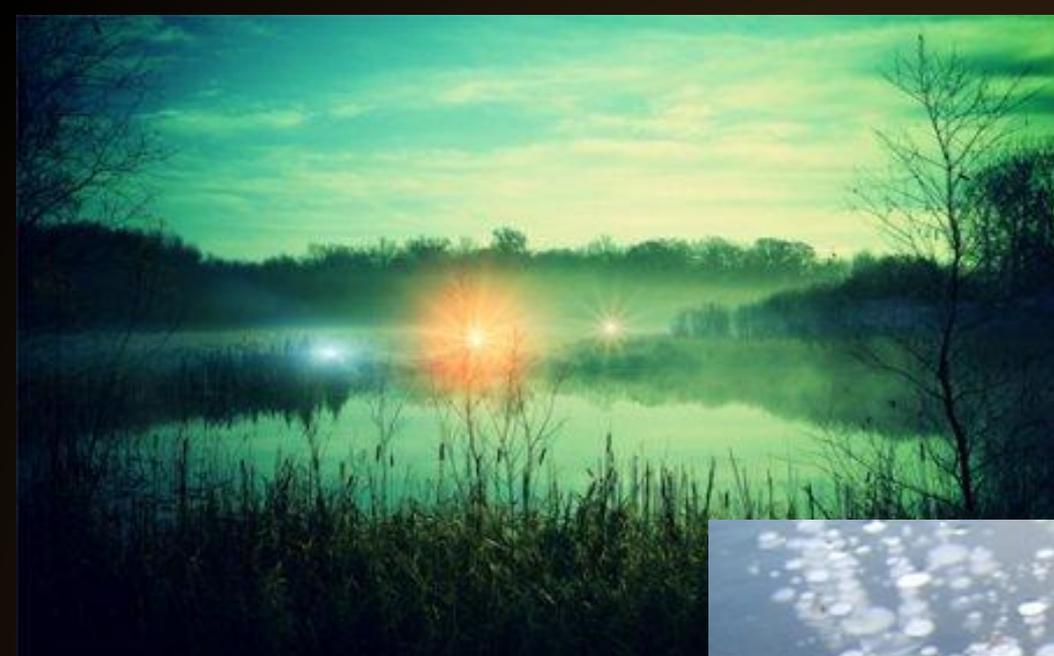


1. Если кислорода достаточно – все ОВ удаляется из осадка (сгорает).
2. Если кислорода недостаточно для окисления всего ОВ – в осадке возникают восстановительные условия.

**В восстановительных обстановках
происходит анаэробное
бактериальное окисление
(брожение) ОВ**



Болотный газ



Продукты диагенетического преобразования ОВ

Метан, гуминовые кислоты, битумоиды (мало), кероген (основной поставщик УВ в диагенезе).

Углекислый газ, сероводород, азот.

Пирит, сидерит.

Продукты диагенетического
преобразования ОВ

Торф

Сапропель



Продукты диагенетического преобразования ОВ

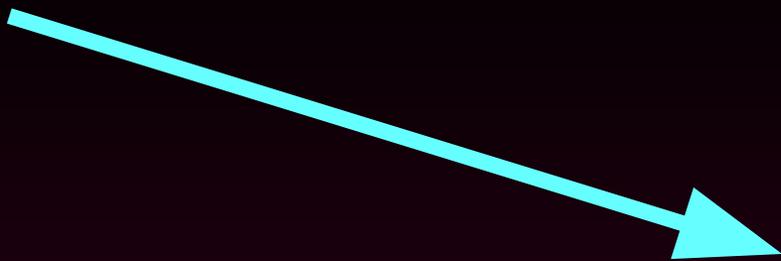
```
graph TD; A[Продукты диагенетического преобразования ОВ] --> B[Осадки накапливаются медленно. Жидкие и газообразные продукты легко удаляются.]; A --> C[Осадки накапливаются быстро. Жидкие и газообразные продукты перемещаются вбок и в вышележащие слои. За счет погружения растут давление и температура.];
```

**Осадки
накапливаются
медленно.
Жидкие и
газообразные
продукты легко
удаляются.**

**Осадки накапливаются
быстро.
Жидкие и газообразные
продукты перемещаются
вбок и в вышележащие
слои.
За счет погружения растут
давление и температура.**

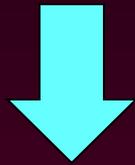
Вторичные изменения осадочных пород

Диагенез

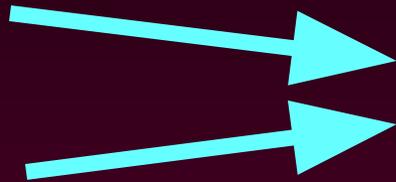


Вторичные изменения осадочных пород

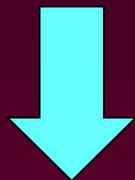
1. Катагенез



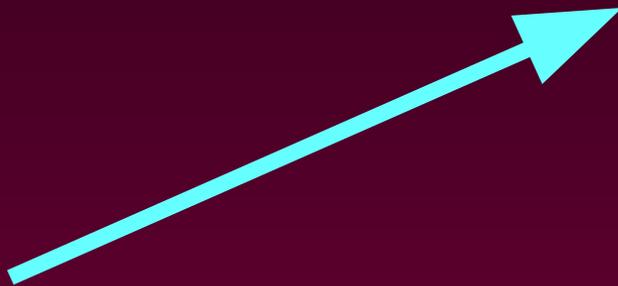
2. Метагенез



Гипергенез



Метаморфизм



Катагенез

Катагенез – процесс изменения осадочных пород при повышенных температуре и давлении в присутствии подземных вод и флюидов.

**В отличие от диагенеза катагенез –
абиотический (физико-механический и
физико-химический) процесс.**

Температуры катагенеза от 25 до 200°C

**Давление при катагенезе от 10 до 200
МПа (до 3-5 тыс. кгс/см²).**

Такие условия возникают при погружении на глубину от 3 до 20 км (в зависимости от величины геотермического градиента).

Они могут существовать у поверхности в экзоконтактах интрузий или в зонах тектонических нарушений.

Основные факторы катагенеза:

1. температура;

2. давление;

3. щелочно-кислотные (pH) и окислительно-восстановительные (Eh) свойства подземных вод;

4. растворенные и газообразные вещества;

б. время.

Свойства пород, определяющие течение катагенеза:

- 1. минеральный состав;**
- 2. структура;**
- 3. физико-химические свойства (химическая устойчивость, твердость, пластичность, пористость, проницаемость и др.).**

Катагенетические преобразования:

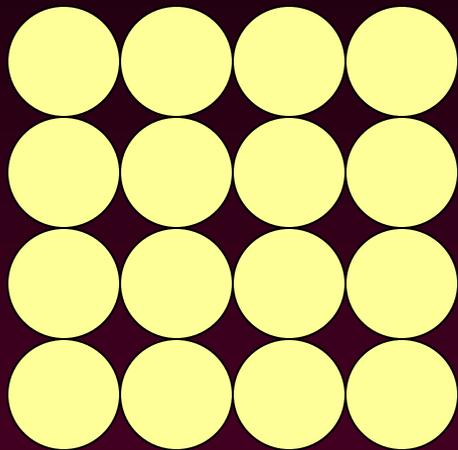
- 1. уплотнение;**
- 2. отделение воды (обезвоживание);**
- 3. растворение;**
- 4. минеральное новообразование;**
- 5. перекристаллизация;**
- 6. раскристаллизация.**

1. Уплотнение пород

Увеличение плотности пород за счет уменьшения их пористости или заполнения пустот минеральными новообразованиями.

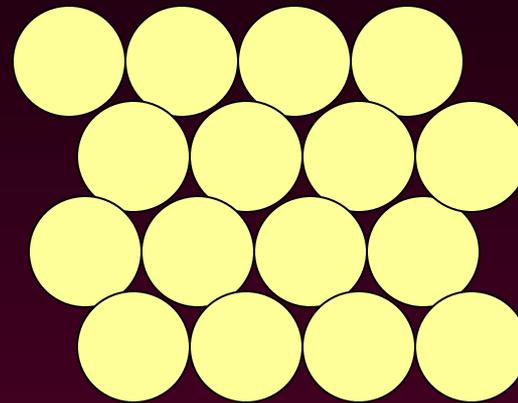
По мере роста давления происходит более плотная укладка частиц.

**Кубическая
укладка
равновеликих
шаров**



**Пустое
пространство —
47,6 %**

**Тетраэдрическая
укладка
равновеликих
шаров**

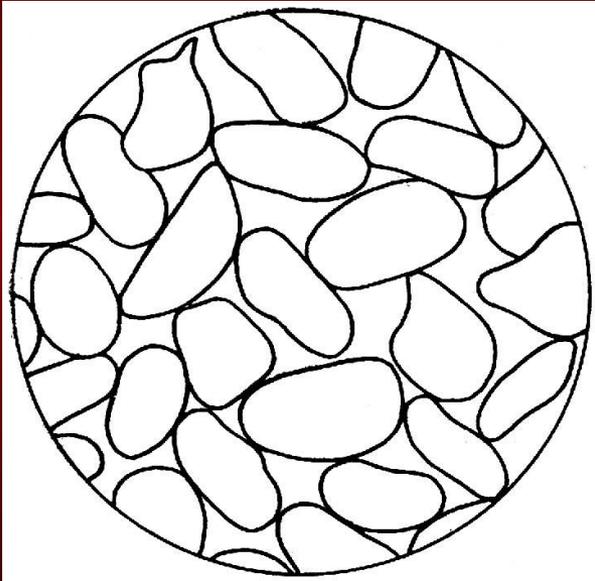


**Пустое
пространство —
25,9 %**

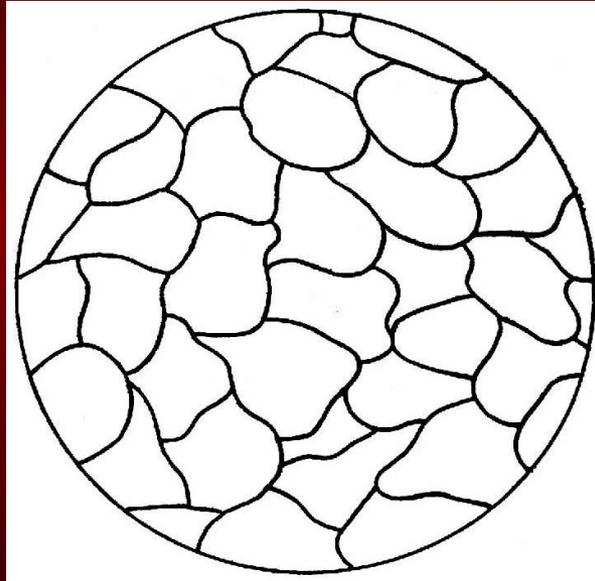
**Дальнейшее уплотнение происходит
за счет:**

- дробления зерен,**
- их растворения в точках контакта,**
- приспособления зерен друг к другу
с образованием конформных,
инкорпорационных и
микростилолитовых контактов.**

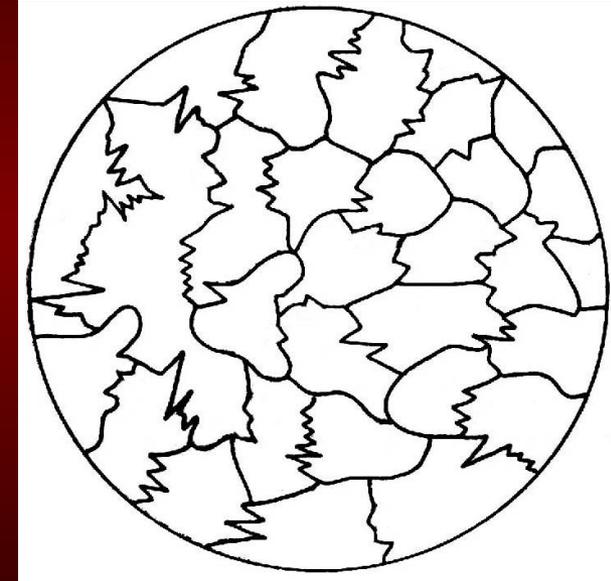
**Точечные
контакты**



**Конформные
контакты**



**Инкорпорационные
и
микростилолитовые
контакты**



Глинистые частицы чешуйчатой формы ориентируются параллельно друг другу и образуют агрегаты с ничтожной пористостью.

**Коэффициент уплотнения ($K\delta$) –
отношение плотности породы к
плотности ее твердой фазы.**

Классификация пород по степени уплотнения

Степень уплотнения	$K\delta$
<i>Неуплотненные</i>	$< 0,6$
<i>Слабо уплотненные</i>	$0,6 – 0,75$
<i>Уплотненные</i>	$0,75 – 0,85$
<i>Сильно уплотненные</i>	$0,85 – 0,95$
<i>Очень уплотненные</i>	$> 0,95$

Песчаные и алевритовые породы
равномерно уплотняются до $K_d = 0,90$
- $0,95$, а затем очень медленно.

Глинистые породы быстро
уплотняются до $K_d = 0,8 - 0,85$, а затем
очень медленно.

Известняки очень быстро
уплотняются до $K_d = 0,95 - 0,97$.

Уплотнение и разуплотнение пород в литогенезе (по Махусу, Бурлину, Соколову)



2. Отделение воды (обезвоживание)

Вначале отжимается свободная и пленочная вода.

Гигроскопическая вода отделяется при давлении 1-5 тыс. кгс/см².

Химически связанная вода выделяется при нагревании до 80-400° С.

**При снижении пористости от 40 до 5%
из 1 км³ водоносного песчаника
отжимается 350 млн. т воды.**

3. Растворение

Происходит химическое взаимодействие минеральных и органических соединений с жидкими и газообразными флюидами.

**Минералы и органические
соединения растворяются
подземными водами и нефтью.**

Факторы определяющие растворение минералов:

а) давление,

б) температура,

в) фильтрационная способность пород,

г) свойства мигрирующих флюидов

(минерализация, состав, Eh, pH).

Хорошо растворимыми соединениями являются галоиды, сульфаты, карбонаты.

Растворяются кварц, алюмосиликаты, некоторые окислы и др.

4. Минеральное новообразование

**Из флюидов кристаллизуются вторичные минералы :
кварц, халцедон, кальцит, доломит, ангидрит, калиевые полевые шпаты, кислые плагиоклазы, глинистые минералы (гидрослюды, хлориты).**

Вторичные минералы выделяются в трещинах, кавернах, порах, образуют каемки регенерации, замещают органические остатки или зерна, образуют цемент.

5. Перекристаллизация

Происходит укрупнение кристаллов за счет их объединения и их приспособление к соседним минералам.

Перекристаллизация затрагивает хемогенные и органогенные породы, цемент обломочных и эффузивных пород.

Перекристаллизация наиболее характерна для известняков, доломитов и гипсов.

6. Раскристаллизация (девитрификация)

Переход вещества из аморфного состояния в кристаллическое. Происходит девитрификация опаловых пород, фосфоритов, обломков эффузивных пород.

Известковые илы раскристаллизовываются на стадии диагенеза.

**Степень преобразования вещества
определяют с помощью шкал углефикации**

Витринит



Шкала углефикации (по И.И. Амосову)

Марка угля	ОС витринита, 10R ^a	Палеотемпература, С°
Б	71	95
Д	72–77	100–130
Г	78–84	135–165
Ж	85–95	170–205
К–ОС	96–110	210–230
Т	111–115	230–250
ПА–А	>115	>250

**Бурый
уголь**

**Каменный
уголь**

Антрацит

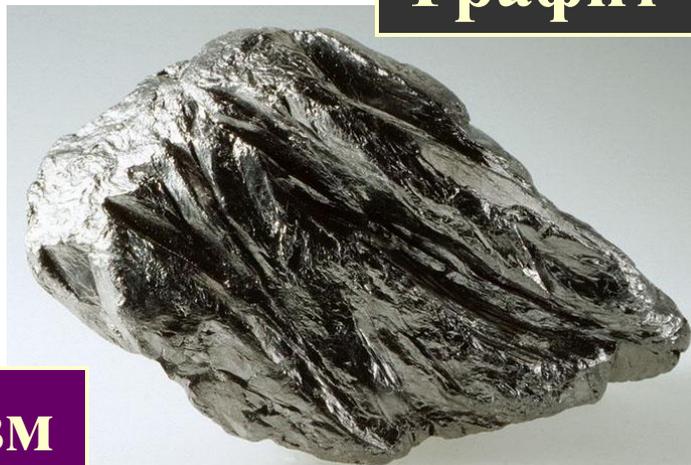


**Прото-
катагенез**

**Мезо-
катагенез**

**Апо-
катагенез**

Графит



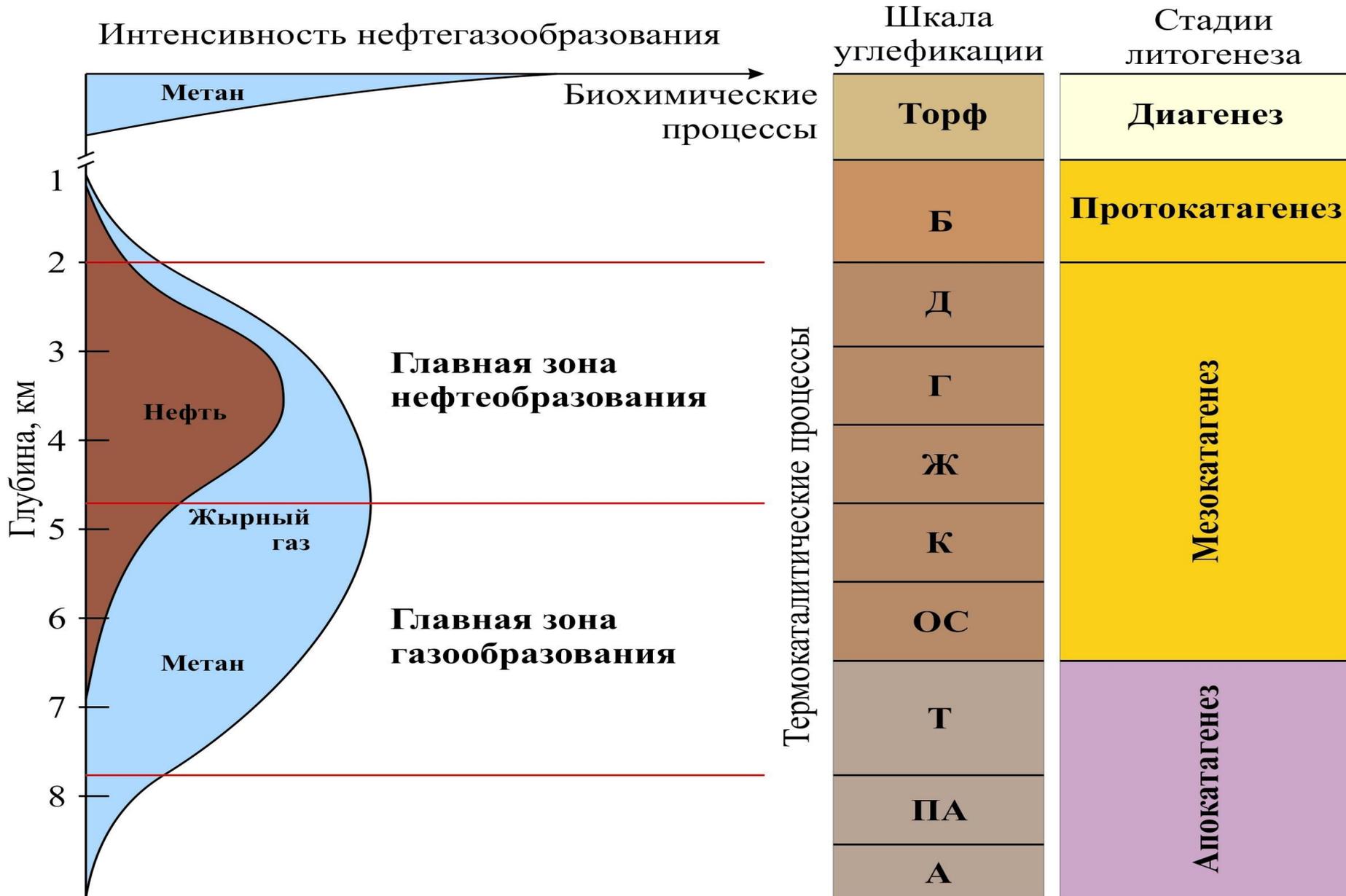
Метаморфизм



Стадии литогенеза (по Н.Б. Вассоевичу)

Стадия	Градация	Шкала углефикации
Диагенез		Торф
Протокатагенез		Б
Мезокатагенез	МК ₁	Д
	МК ₂	Г
	МК ₃	Ж
	МК ₄	К
	МК ₅	ОС
Апокатагенез (метагенез)	АК ₁	Т
	АК ₂	ПА
	АК ₃	А
	АК ₄	
Метаморфизм		Графит

Вертикальная зональность образования углеводородов в осадочных породах (по В.А. Соколову и Н.Б. Вассоевичу)



Главная фаза нефтеобразования – «нефтяное окно»

Глубина кровли – 1,5-3,5 км,
температура – 50-100°C.

Глубина подошвы – 3,1-8 км,
температура – 150-210°C.

Градации мезокатагенеза – МК₁ – МК₃.
Стадии углефикации – Д, Г, Ж.

Главная фаза нефтеобразования – «нефтяное окно»

Первая стадия (МК₁, МК₂; Д, Г) – активная генерация керогеном жидких углеводородов. Образуется «микронефть».

Вторая стадия (МК₂, МК₃; Г, Ж) – активная миграция жидких углеводородов, которые отделяются от материнского ОВ и минеральных компонентов породы, растворяются в воде и сжатых газах. «Микронефть» переходит в «макронефть».

Главная фаза газообразования

Нижняя часть зоны мезокатагенеза (градации МК₄, МК₅), верхняя часть зоны апокатагенеза (градация АК₁).
Стадии углефикации – К, ОС, Т.

Из керогена выделяется преимущественно метан.

Подстадии катагенеза:

- 1. ранняя (начальная) – протокатагенез**
- 2. поздняя (глубинная) – мезокатагенез**

Признаки раннего катагенеза:

- 1. осадочные породы мало изменены и слабо уплотнены ($K\delta < 0,85$);**
- 2. в глинах присутствуют монтмориллонит, каолинит, смешаннослойные образования;**
- 3. песчано-алевролитовые породы и известняки имеют высокую пористость.**

Осадочные толщи, прошедшие ранний катагенез, состоят из глин, слабо сцементированных алевролитов и песчаников, слабо уплотненных известняков, бурых углей.

Признаки позднего катагенеза:

- 1. осадочные породы сильно изменены и уплотнены ($K\delta > 0,85$);**
- 2. в аргиллитах доминируют смешаннослойные образования, гидрослюды и хлорит;**
- 3. песчаниково-алевролитовые породы и известняки имеют низкую пористость.**

Осадочные толщи, прошедшие поздний катагенез, состоят из аргиллитов, алевролитов, прочных песчаников, известняков, каменных углей.

Метагенез

**Метагенез –глубокое
преобразование осадочных пород в
нижней части стратисферы.**

Метагенез начинается на глубине от 5-7 до 15-20 км.

Температура выше 200-250° С

Давление больше 200 МПа (>3-5 тыс. кгс/см²).

Флюиды имеют большую минерализацию и газонасыщенность, обычно более восстановительные и более кислые.

При метатенезе породы максимально уплотняются ($K\delta = 0,95-1$).

Флюиды перемещаются по трещинам или путем диффузии.

Химические реакции идут в твердой среде на границах между минеральными частицами.

Изменения минерального состава пород:

1. окварцевание или альбитизация зерен

полевых шпатов,

2. серицитизация или гидрослюдизация

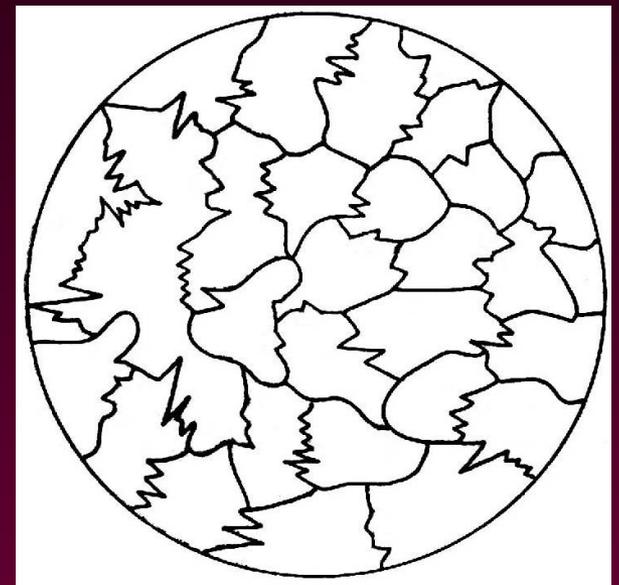
глин.

Изменения структуры пород:

- 1. укрупнение обломков за счет их регенерации,**
- 2. упорядочивание ориентировки структурных элементов.**

Минеральные зерна стремятся к таблитчатой форме и ориентируются большой гранью перпендикулярно направлению давления.

Возникают листоватая, таблитчатая или мозаичная структуры с зубчатыми и шиповидными контактами минеральных зерен.



Осадочные толщи, прошедшие стадию метатенеза, состоят из рассланцованных аргиллитов, окварцованных песчаников, мраморизованных известняков и доломитов, антрацитов.