

Презентация лекционного курса

# НЕФТЕГАЗОВАЯ ЛИТОЛОГИЯ

## ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Автор к. г.-м. н., доцент

Недоливко Наталья Михайловна

## В цикле литогенеза различают 5 стадий:

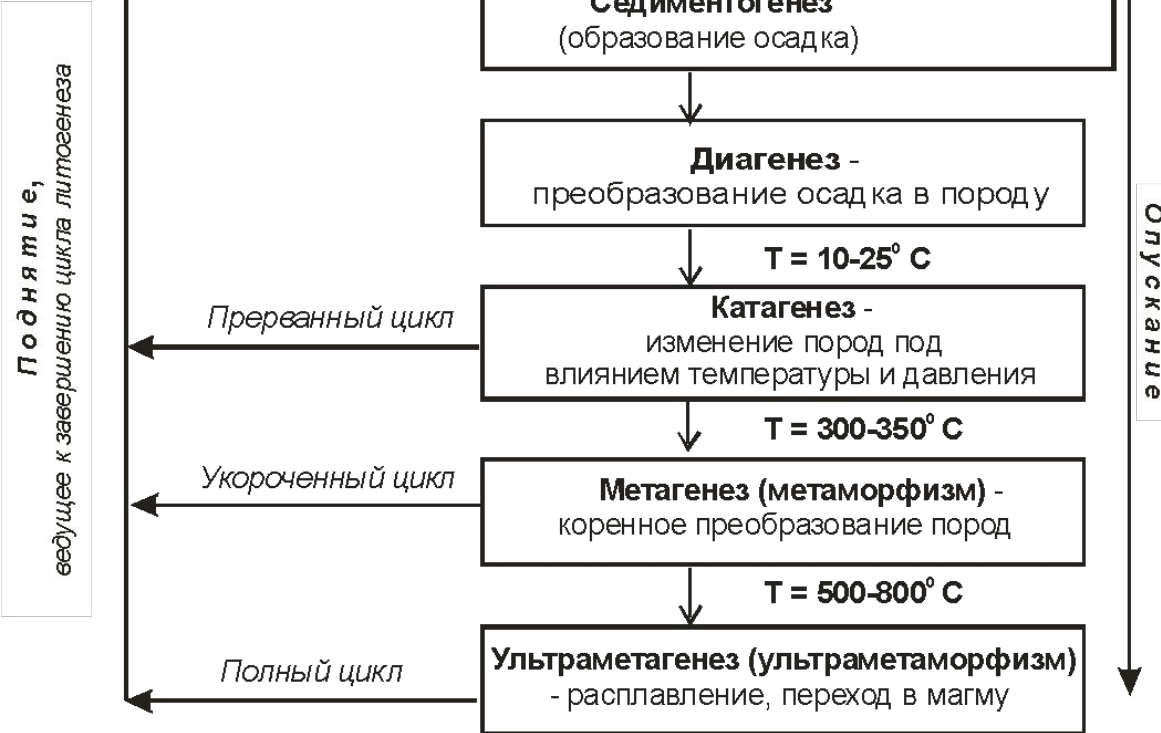


Рис. Последовательность стадий литогенеза

**1. Гипергенез** – образование и мобилизация исходного вещества осадков в процессе физического и химического разрушения материнских пород и его перенос к месту захоронения.

**2. Седиментогенез** – поступление осадков в конечные водоемы стока и окончательное осаждение.

**3. Диагенез** – физико-химическое уравнивание насыщенного водой осадка, завершающееся преобразованием его в осадочную горную породу.

**4. Катагенез** (иногда **эпигенез**) – дальнейшее изменение породы по мере увеличения глубины ее захоронения под влиянием возрастающих температуры и давления, а в некоторых случаях и воздействия водных растворов и газов.

**5. Метагенез** (или собственно метаморфизм) – последующее преобразование состава пород при дальнейшем их погружении.

# Зоны литогенеза

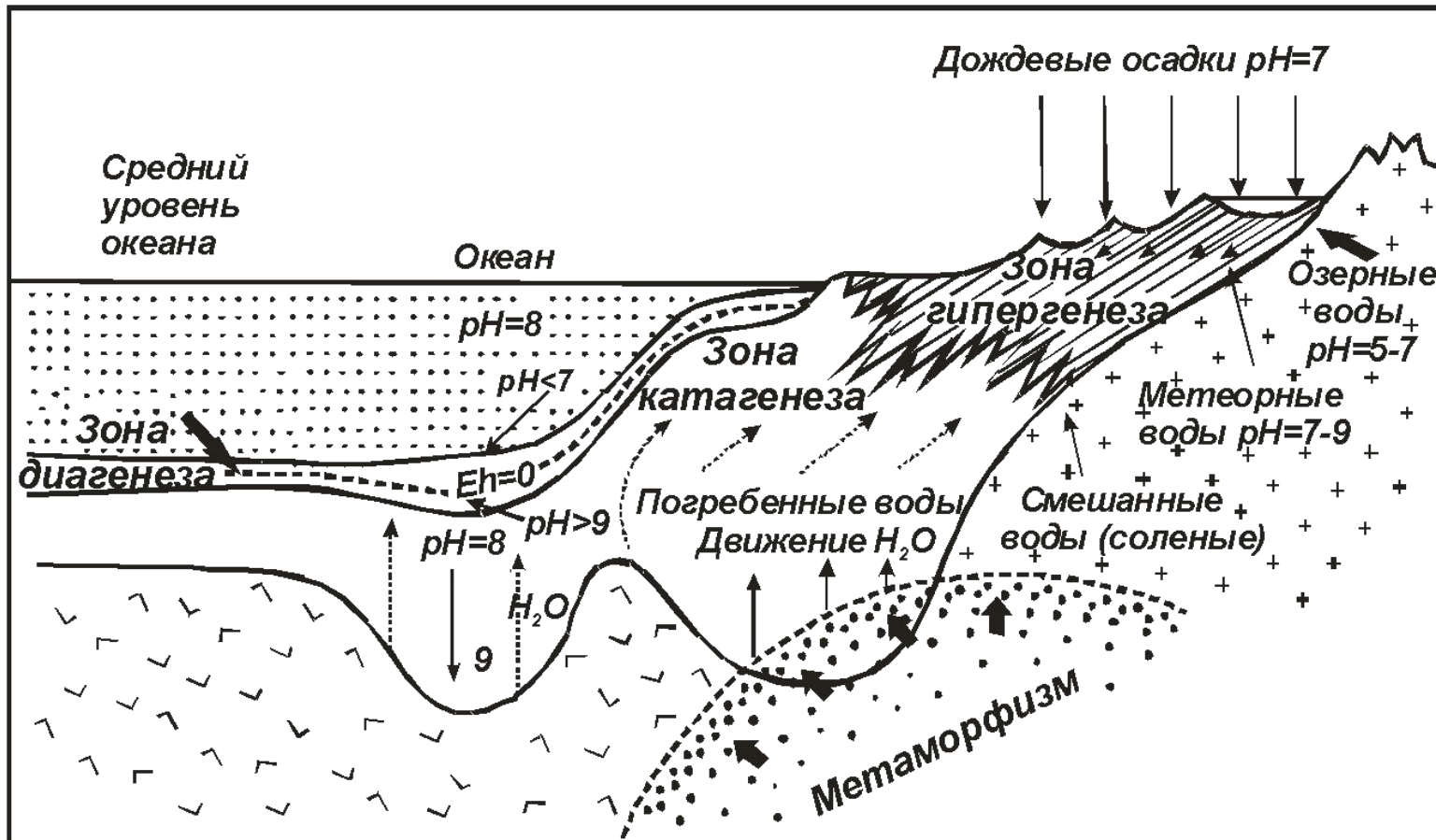


Рис. Схема расположения различных зон литогенеза в разрезе верхней части земной коры, по Р.У. Фербриджу

- В земной коре им отвечают одноименные зоны литогенеза, в пределах которых из образованных осадков возникают осадочные горные породы и каустобиолиты. Процессы изменения осадков и формирования горных пород происходят на поверхности земли и в водных бассейнах в результате комплекса механических, физических, биологических и химических превращений.

Разночтения в определении границ стадий литогенеза были учтены Н.Б. Вассоевичем (с учетом данных Н.В. Лопатина, А.Э. Конторовича, С. Г. Неручева, В.И. Ручнова, В.В. Чернышова и др.) в обобщенной схеме стадий, подстадий (этапов) и градаций литогенеза.

<b>Стадия седиментогенеза</b>			
<b>Стадия диагенеза</b> Глубина 100–200 м. Температура 10–25° С		Подстадия аэробного диагенеза <del>Подстадия анаэробного</del>	
<b>Стадия катагенеза</b>	<b>Подстадия протокатагенеза – ПК</b> Соответствует буроугольному этапу углефикации Глубина 1–3 км. Температура 50–70° С	диагенеза	
		Градация	ПК <sub>1</sub> (0,5)
			ПК <sub>2</sub> (1)
	ПК <sub>3</sub> (1,5)		
	<b>Подстадия мезокатагенеза – МК</b> Соответствует степени углефикации по шкале для Донбасса от «Д» до «ОС» включительно  Глубина 2,7–8 км. Температура 210–280° С	Градация	МК <sub>1</sub> (1)
			МК <sub>2</sub> (1,5)
			МК <sub>3</sub> (0,9)
			МК <sub>4</sub> (0,9)
			МК <sub>5</sub> (0,5)
<b>Подстадия апокатагенеза – АК</b> Отвечает стадии «метаморфизма» каменных углей от «Т» до «А» включительно Глубина 5–15 км. Температура 300–350° С	Градация	АК <sub>1</sub> (2,5)	
		АК <sub>2</sub> (3,5)	
		АК <sub>3</sub> (8)	
		АК <sub>4</sub> (11)	
Стадия метагенеза (регионального метаморфизма). Графитизация			

# СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ

**Органическое вещество (ОВ) как в концентрированной, так и в рассеянной форме является важнейшим генератором флюидов в осадочных бассейнах: углеводородов нефти, газоконденсатов, газов и не углеводородов  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $N$  и др. Главным элементом ОВ в любой форме, т.е. и всех горючих ископаемых, является углерод.**

**В природе углерод распространен очень широко как в органических, так и в неорганических соединениях, подавляющая часть которых принадлежит к группе карбонатных минералов.**

**В осадочных породах**

**4/5 - в виде карбонатов  
1/5 – в виде органического вещества;  
присутствует в рассеянной и концентрированной форме, в том числе в виде залежей горючих полезных ископаемых**

**УГЛЕРОД**

**Космический**

**в метеоритах, главным образом в карбидной форме, в кометах, в атмосферах планет; присутствует в форме  $CO_2$ , в виде органических соединений  $CH$ ,  $CN$ ,  $CS_2$ ,  $HCN$  и более сложных.**

**В гидросфере**

**немногом более 90 % углерода представлено в карбонатной форме около 9 % в виде растворенного ОВ**

Среднее содержание органического (Сорг) или некарбонатного углерода, составляет для осадочных пород около 0,55-0,6 %, что соответствует 13-15 кг Сорг на 1 м<sup>3</sup>.

**Субкларки по среднему содержанию Сорг в осадочных породах (Н.Б. Вассоевич)**

**глинистые породы**  
**0,9 %**

**алевролиты**  
**0,45 %**

**песчаные и карбонатные**  
**0,2 %**

**все типы пород**  
**0,58 %**

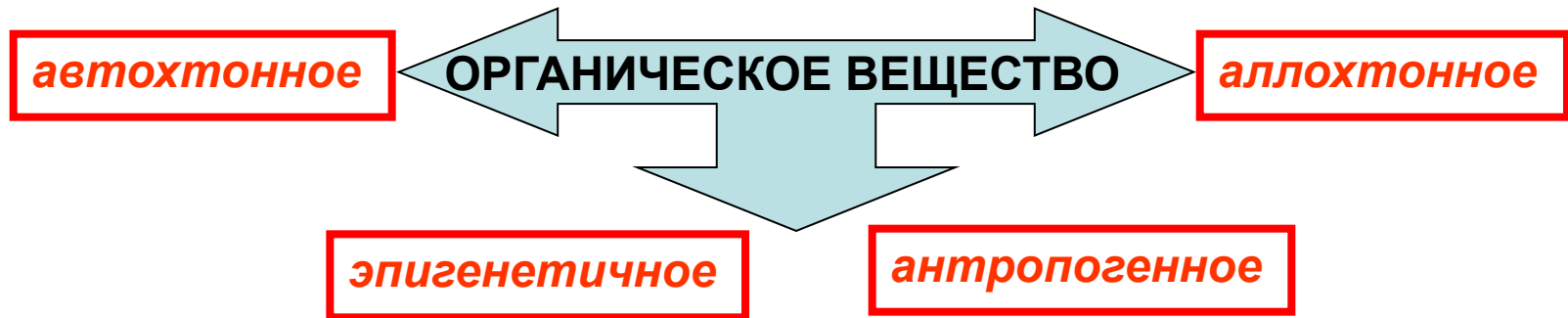
По распределению ОВ в осадочных породах (табл.) выделяются две основные группы: **рассеянное ОВ – РОВ** и **концентрированное ОВ – КОВ**.

Граница между ними проведена условно по содержанию Сорг. = 2,5 %; это значение в четыре раза выше кларка.

Группа	Подгруппа	Содержание Сорг., % С	Характеристика	
Рассеянное ОВ (РОВ)	1	<0,61 (кларк 0,6)	Сильно рассеянное ОВ	
	2	0,62-2,5	Умеренно рассеянное ОВ	
Концентрированное ОВ (КОВ)	3	2,51-10	Слабо концентрированное ОВ	Доманикиты Баженовиты
	4	10,01-40	Умеренно концентрированное ОВ	Каустобиолиты
	5	>40	Значительно концентрированное ОВ	

# Состав ОВ в бассейне седиментации

В современных морских осадках и водной толще ОВ отличается сложностью состава и полигенностью. Выделяют :



**Автохтонное ОВ** сингенетично осадку, представлено живым веществом – фауной и флорой, продуктами их метаболизма, планктогенным и бентосным ОВ.

**Аллохтонное ОВ** принесено с континента.

**Эпигенетичное ОВ**, мигрировавшее из нижележащих толщ,

**Антропогенное ОВ** - продукты антропогенного загрязнения связанные с деятельностью человека.

Соотношение автохтонного и аллохтонного ОВ изменяется в различных районах Мирового океана и на разных уровнях столба воды; в среднем в Мировом океане доля аллохтонного ОВ достигает 5%. Количество аллохтонного ОВ повышается вблизи континентов (впадины на шельфе со спокойным гидродинамическим режимом, лагуны, эстуарии, впадины на континентальном склоне особенно, если они отделены поднятием, задерживающим континентальный снос (например, Карибское море, северный шельф Канады, северный шельф России).

## Автохтонное ОВ

- Создаваемое в бассейне автохтонное ОВ представлено, прежде всего, фитопланктоном. При малых размерах основных представителей фитопланктона (микропланктон и нанопланктон) и ничтожной массе, он отличается чрезвычайно высокой продуктивностью. Соотношение биомассы и биопродуктивности приведено в таблице (см. табл.)

### Соотношение биомассы и биопродукции (по В.А. Успенскому)

Автотрофный комплекс	Биопродуктивность
Древесина леса	0,018
Растительность лугов	0,67
Комплекс растительности озер — рек	14
Морской фитопланктон	150



## Аллохтонное вещество

Аллохтонное вещество в водоеме находится в:

- **растворенной** и
- **взвешенной (детритной)** формах.

В океане растворенное ОВ резко преобладает над взвешенным и является господствующей формой существования, но в донный осадок практически переходит только взвешенное ОВ.

Концентрация:

- **растворенного** органического углерода (РОУ) в океанах составляет от 350 до 700 мкг/л, а
- **детритного** органического углерода (ДОУ) изменяется от 2 до 10 мкг/л.

Ниже глубины 200-300 м распределение детритного органического углерода и растворенного органического углерода в океанах практически одинаково.

-

## Аккумуляцию и концентрацию ОВ в осадках определяют следующие факторы:

- Количество ОВ в бассейне седиментации** (аллохтонное, автохтонное, эпигенетичное и антропогенное ОВ). Это определяющий фактор: существует прямая, но не всегда четко выраженная взаимосвязь между количеством ОВ, находящегося в бассейне и концентрацией ОВ в осадках. Наибольшие концентрации ОВ в осадках отмечены для зон с высокой первичной продуктивностью.
- Скорость накопления осадков.** Чем выше скорость накопления осадков, тем больше ОВ захороняется в осадке, так как высокая скорость седиментации минеральных частиц препятствует действию аэробных бактерий, разлагающих ОВ. Это способствует сохранению и увеличению концентрации ОВ.

*По П.И. Мюллеру и Е. Суэсу:*

Скорость осадконакопления		Сохранность Сорг, %
Низкая	2-6 мм за 1000 лет	менее 0,01
Умеренная	2-13 см за 1000 лет	от 0,1 до 2
Высокая	66-140 см за 1000 лет	от 11 до 18

**3. Размер осаждающихся минеральных частиц и их состав** также влияют на концентрацию ОВ. Установлена обратная зависимость между гранулометрией и концентрацией ОВ: высокое содержание ОВ коррелируется с высокими концентрациями частиц субколлоидного размера (1 мкм) и распространением иллита и монтмориллонита. Высокая адсорбционная способность этих глинистых минералов обеспечивает повышенные концентрации Сорг. Растворенное ОВ (РОУ) также может сорбироваться. Происходит адсорбция главным образом полярных веществ – аминокислот, сахаров, фенолов.

#### **4. Высота столба воды.**

**А) Концентрация ОВ в столбе воды** играет большую роль,

Чем больше ОВ в столбе воды, тем :

- легче взвесить,
- выше в водной колонне она располагается (не осаждается),
- дальше разносится течениями, переносится ветром и т.д.

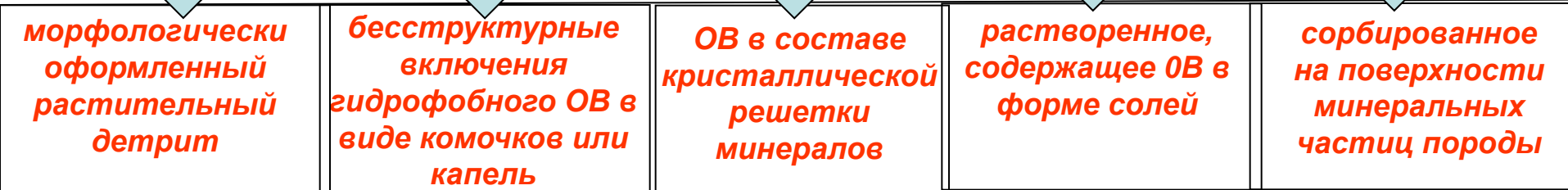
*Пример: в прибрежных зонах амазонской дельты концентрация ОВ во взвеси 10-25 %, в отдаленных районах – 50-80 %.*

**Б) Время пребывания частицы ОВ в столбе воды.**

Большая скорость осаждения ОВ способствует его сохранности: в мелководных участках сохранность ОВ лучше, чем в глубоководных, за счет меньшего пребывания в столбе воды и менее интенсивного воздействия аэробного окисления.

**5. Насыщенность вод кислородом, аэрируемость осадка** влияет на сохранность ОВ. Чем больше кислорода, тем раньше разлагается ОВ. Недостаток кислорода (застойные воды) способствует сохранности ОВ; наиболее благоприятные условия сероводородного заражения.

# Форма нахождения и морфология ОВ



В петрографических шлифах под микроскопом выделяются три группы включений ОВ:

## *I тип – дисперсное ОВ*

размер частиц не более 0,005 мм; состояние – сорбированное; в доманикитах наблюдаются колломорфные макровключения каплевой формы, нечетко обособленные от минеральной матрицы; имеет связь ОВ с матрицей вмещающих пород.

## *II тип – детритное ОВ*

(размер частиц более 0,005 мм), объединяет углистый, споро-пыльцевой и водорослевый детрит; отделено от вмещающей породы; включения тесно связаны со структурой и петрографическим типом пород; имеет связь ОВ с матрицей вмещающих пород

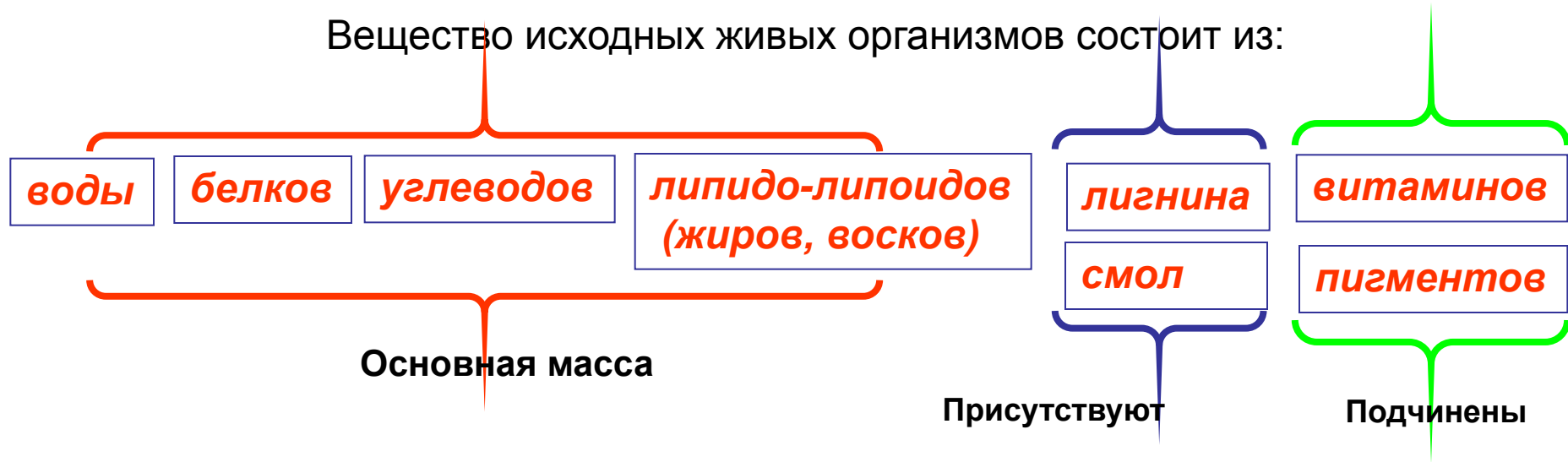
## *III тип – эпигенетичное ОВ*

представлено изотропными включениями ОВ, их форма и размер определяются характеристиками межзернового пространства и не зависят от генезиса и структуры породы; не имеет связи ОВ с матрицей вмещающих пород

Прочность и форма связи ОВ с минеральной матрицей породы зависит от генетического типа ОВ, гранулометрического и минерального состава матрицы породы, P – T условий и т.д. Наиболее распространенная форма нахождения ОВ – сорбированная (POB): чем больше поверхность минеральных зерен, тем больше сорбируется ОВ. Именно поэтому глины наиболее обогащены ОВ по сравнению с другими литотипами.

# Состав органического вещества бассейнов седиментации

Прежде чем попасть в осадок, все живое вещество в морских и океанских бассейнах подвергается бактериальному воздействию и в результате этого не только убывает количественно, но и перестраивается, что сопровождается существенным изменением его химического состава.

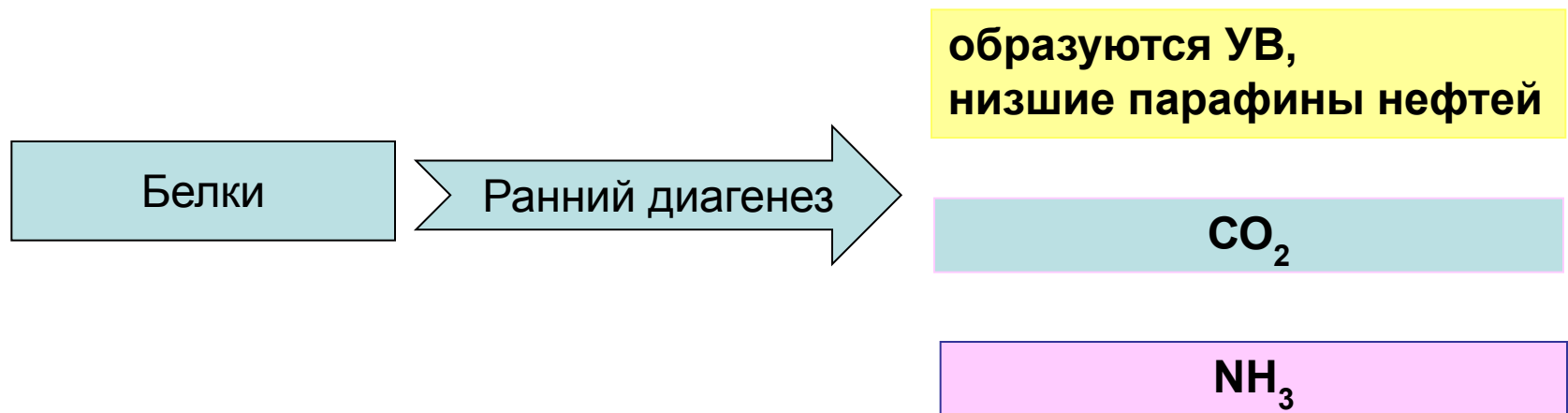


# Углеводы

- **Углеводы** в живом веществе представлены простыми сахарами и полимерами.
- В почвах, торфах и субаквальных осадках встречаются моносахариды и олигосахариды (раффиноза, сахароза, мальтоза). В сапротелях углеводы составляют около 40 % всего ОВ. В древних отложениях почти нет свободных сахаров, но они присутствуют там в составе полисахаридов.
- К числу важнейших полисахаридов относятся целлюлоза, а также аминополисахариды (хитин – важнейший компонент скелета беспозвоночных животных и др.) Содержание аминосахаров в современных отложениях достигает 1 мг/л, а в древних – до 0,1 мг/л.

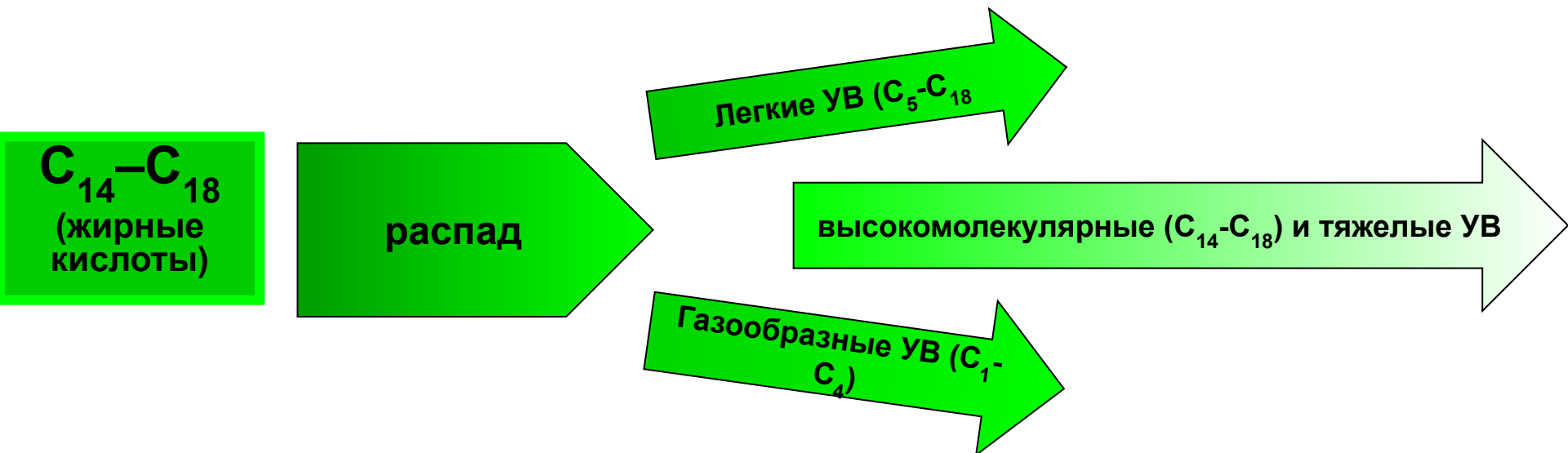
# Белки

- **Белки** – это сложные вещества, в состав которых входят С, Н, О, N, S и Н. В природных условиях белки легко разрушаются до исходных мономеров и аминокислот. Содержание аминокислот в современных морских осадках составляет примерно 0,5 мг/л. В осадочных породах аминокислоты присутствуют в остатках раковин, костях рыб и т. д. Часть ископаемых аминокислот связана с полимерами небелкового характера (гуминовыми веществами), часть находится в адсорбированном состоянии.
- За счет разложения аминокислот в раннем диагенезе, низшие, (за счет его в дальнейшем формируются азотистые соединения).



**Липидо-липоидные компоненты** играют особенно важную роль в образовании нефтей. Из липидов в организмах наибольшее значение имеют жиры, т. е. эфиры, глицериды жирных кислот. При разложении они дают жирные кислоты, составляющие значительную часть живого вещества (в растительном материале от 5 до 25 %, в глубоководном зоопланктоне - около 14 %, в современных осадках - 0,002-0,006 %). В осадочных породах встречаются преимущественно жирные кислоты с C<sub>14</sub>–C<sub>18</sub>.

**Разложение их происходит с образованием углеводородов (УВ) разного состава**





Растительные **смолы и бальзамы** и **УВ живого вещества** примыкают к липидам. Растительные смолы устойчивы, в ископаемом состоянии – это янтарь.

Углеводороды (преимущественно метанового типа) в живом веществе обычно встречаются в незначительных количествах. Имея высокую биохимическую устойчивость, они непосредственно аккумулируются в осадках. Но путем подобной прямой «трансляции» в осадки попадает лишь часть УВ, главным образом, метановых.

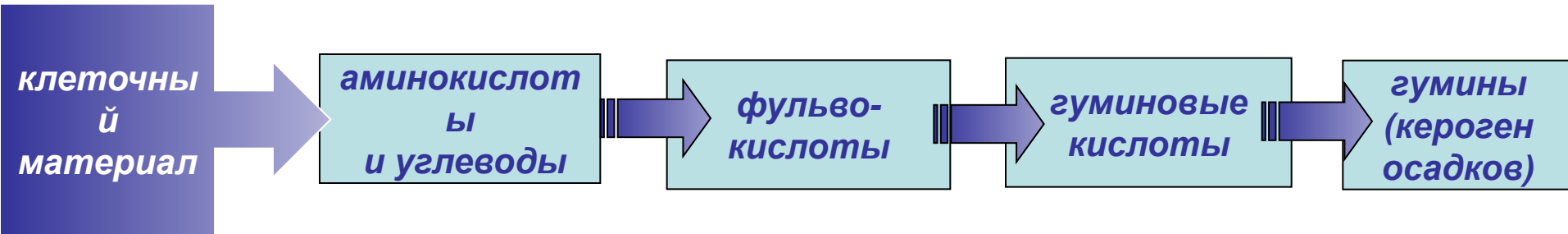


**Пигменты** в живом веществе количественно занимают небольшое место, но с геохимической точки зрения они интересны, так как обнаруживаются в нефтях в неизменном виде и в виде своих производных. Пигменты представлены двумя группами: каратиноидами и производными хлорофилла и гемина. Пигменты группы хлорофилла, по-видимому, являются переносчиками биогенного азота из организмов в нефть.

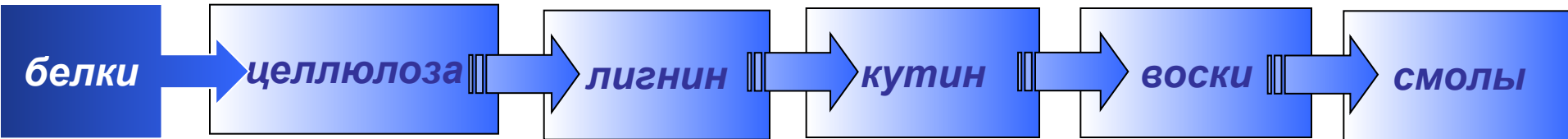
**Лигнин** образует важнейшую часть вещества древесных высших растений и является высокополимерным соединением. Разрушаясь, лигнин в качестве осколков дает ароматические альдегиды, например ванилин в ископаемой древесине, лигнитах. Из осколков лигнина за счет синтеза идет образование такого важного компонента природного ОВ, как гуминовые кислоты и родственные им соединения.

**Воски**, представляющие собой эфиры высокомолекулярных спиртов, – это очень стойкие соединения, которые хорошо сохраняются в породах.

## Ход трансформации ОВ в процессе седиментогенеза:



## Устойчивость различных компонентов ОВ к биохимическому разложению:



## Состав осадков, содержащих ОВ, на стадии седиментогенеза

В осадках помимо кислорода и азота, связанных с атмосферой, установлены **биохимические газы**, образовавшиеся в результате микробиальных процессов в осадках: углекислый газ, метан, этан, этилен, пропан, пропилен, бутан, бутилен, изобутан. Как правило, метана во много раз больше, чем его гомологов, концентрация которых столь мала, что не может представлять интерес для газообразования и обычно зависит от содержания ОВ в осадках: чем его больше, тем выше их концентрация.

- В битумоидах из осадков преобладают смолисто-асфальтеновые компоненты, доля УВ составляет 10-15%. Последние представлены в основном метанонафтеновыми структурами. Отличительный признак УВ в современных осадках – преобладание высокомолекулярных соединений (выше  $C_{15}$ ), отсутствие низкомолекулярных, составляющих бензиновую фракцию в нефтях.

## **НЕФТЕМАТЕРИНСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ**

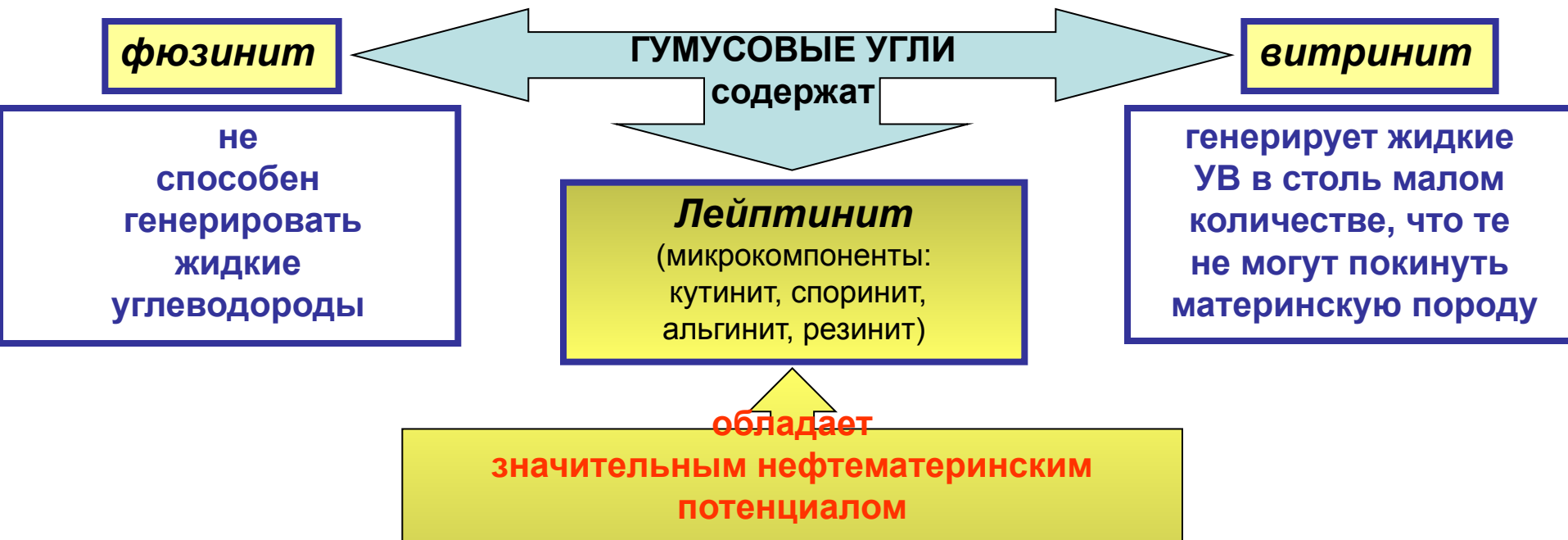
- Процесс нефтеобразования стадийный, в определенной мере связан со стадиями литогенеза. На стадиях седиментогенеза и диагенеза формируются потенциально нефтематеринские, газоматеринские осадки – породы.
- Потенциальные возможности пород генерировать газ, нефть определяются их и газо- и нефтематеринским потенциалом.

• **Нефтематеринский потенциал — это то количество микроневфти, нефти, которое может генерировать данная порода (свита) за всю геологическую историю.**

- Почти все литофациальные типы современных и ископаемых осадков содержат углеводородистое ОВ, обязательным компонентом которого являются битумоиды, содержащие микроневфть, за счет концентрации которой образуется собственно нефть, т.е. практически все осадочные породы, содержащие ОВ могут быть нефте- и/или газоматеринскими в соответствующих геологических условиях. Важно определить, какое количество нефти они могли дать, т.е. установить их нефтематеринский потенциал – Пнм.

- Разные типы ОВ обладают различными потенциалами. Пнм породы определяется не только содержанием ОВ, но и его качеством и фациально-генетическим типом.

**Нефтематеринский потенциал гумусовых углей долгое время не рассматривался.**



Многочисленные проявления жидкой нефти в угольных пластах и угольных толщах Донбасса, Кузбасса и других угольных бассейнов позволяют поставить вопрос об оценке НМ-потенциала углей. Безусловный интерес с точки зрения возможного нефтеобразования представляют «угли» сапропелевого типа. Эксперименты по термолизу подобных углей продемонстрировали интенсивную генерацию ими жидких УВ (выход нефтяных УВ при температуре 340° С и давлении 45 МПа составил 24 % от исходного ОВ).

# НЕФТЕГАЗОМАТЕРИНСКИЕ СВИТЫ

- **Нефтегазообразование – совокупность процессов, протекающих в недрах, т.е. эти процессы в природе наблюдаемы быть не могут. Видны лишь их фиксированные результаты, запечатленные в некоторых естественных телах как в пространстве, в котором эти процессы протекали. Естественным телом, где осуществлялись (и при соответствующих условиях осуществляются и ныне) процессы нефтегазогенерации, является нефтегазоматеринская свита (НГМ-свита).**

**Наряду с термином «нефтегазоматеринская свита» в литературе нередко встречаются термин «нефтематеринская свита» (НМ-свита): при этом имеется в виду, что данная свита может генерировать в жидкие и газообразные УВ: также используется термин «газоматеринская свита (ГМ-свита)», где способны генерировать преимущественно газообразные УВ. Более общее понятие «нефтегазоматеринская свита» заменяется понятиями «потенциально нефтегазоматеринская свита», «нефтегазопроизводящая свита», «нефтегазопроизводившая свита».**

**Литологический спектр пород, слагающих НГМ-свиты, достаточно широк. Для сохранности ОВ в седиментогенезе и аэробном диагенезе, т.е. для его фоссилизации наиболее благоприятны осадки пелитовой размерности; к тому же глинистые минералы, являясь хорошими сорбентами, адсорбируют растворенное ОВ из вод бассейна в процессе седиментации. В связи с этим в фациальном профиле осадочных пород – от конгломератов до глин (аргиллитов) – и глинисто-карбонатных пород обогащенность автохтонным ОВ находится в прямой зависимости от количества глинистой примеси.**

- В ряду карбонатные - глинистые карбонаты -«мергели» - карбонатные аргиллиты последние члены ряда по концентрации ОВ не уступают чисто глинистым породам, а нередко превосходят их. Для «чистых» карбонатов и их глинистых разностей характерны малые концентрации ОВ. Для них существенную роль играет петрографический тип карбонатной составляющей, определяемый фациальной принадлежностью породы: наивысшие концентрации ОВ приурочены к хемогенным и фитогенным (водорослевым) разностям карбонатов, тогда как органогенные (зоогенные), обломочные и оолитовые разности карбонатных пород содержат, как правило, ничтожные количества автохтонного ОВ.**
- В песчаных и грубозернистых породах содержание сапропелевого ОВ обычно ничтожно ( $n \cdot 0,01\%$ ).**

- Для того, чтобы породу можно было считать элементом НГМ-свиты, она должна генерировать и отдавать УВ, в том числе и жидкие (микронефть). Нижний предел концентрации Сорг в породе, с которого начинается отдача УВ (в случае сапропелевого и/или существенно сапропелевого ОВ), является значение 0,1 % на породу – при средних градациях катагенеза.
- С позиций нефтематеринских свойств по концентрациям в породах Сорг (по восходящей, вес. %) выделяют породы :

1) **со сверхрассеянной формой ОВ** (Сорг < 0,1);

2) **субдоманикоидные породы** (0,1-0,5);

3) **доманикоидные породы** (0,5-5,0);

4) **доманикитные породы** (5,0-25,0);

5) **собственно сапропелиты**, где Сорг > 25%

(ОВ по объему заведомо превышает 50 % и является преобладающим породообразующим элементом)

**Нефтегазоматеринские  
породы**

К нефтегазоматеринским (точнее – к микронефтегазоматеринским, т.е. отдающим микронефть) по критерию концентрации Сорг относятся породы всех вышеперечисленных групп, кроме первой (со сверхрассеянной формой ОВ).

НГМ-свиты известны во всех системах палеозоя, мезозоя и кайнозоя, а также в венде и рифее. Наиболее распространенными в мире являются НГМ-свиты верхнего девона-раннего карбона и верхней юры, а также нижнего-среднего кембрия, среднего ордовика, нижнего силура, нижней перми, нижнего мела-сеномана, олигоцена-миоцена.



## Направленность изменения осадков при диагенезе и катагенезе

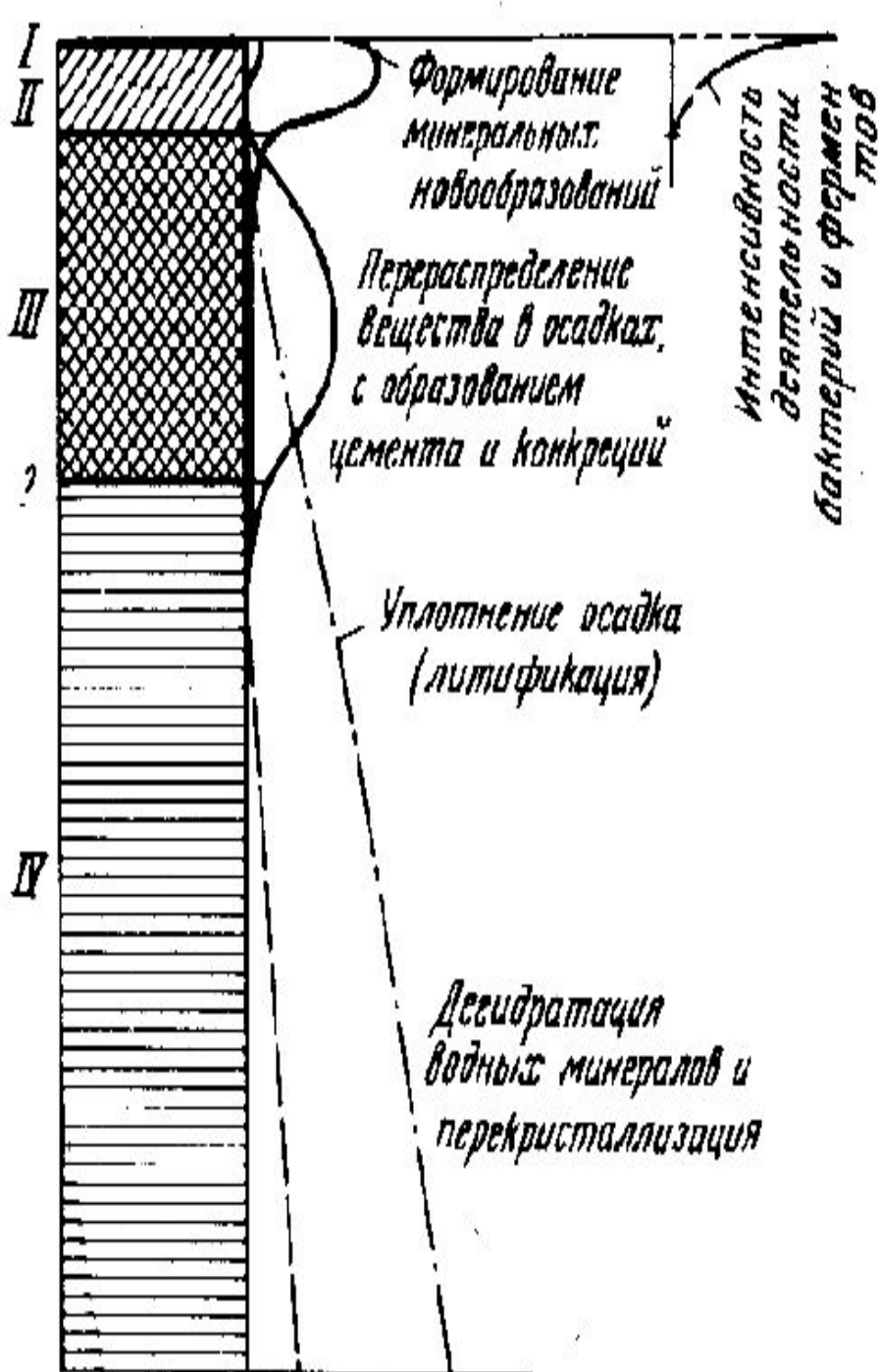
При диагенезе осадок насыщенный водой претерпевает ряд изменений.

1. **Вадозная часть** метеорной области (до 10-15 см).

2. **Фреатическая часть** метеорной области (до 10 м). Отрицательный окислительно-восстановительный потенциал. Величины давления и температуры в зоне незначительно отличаются от соответствующих величин на поверхности Земли.

3. **Третий этап** – прекращение бактериальной стадии. Перераспределение новообразованных минералов, формирование конкреций, цементация и перекристаллизация ранее образовавшихся минералов.

4. **Четвертый этап** (область захоронения и погружения). Осадок превращается в крепкую породу; отжим поровых вод идет до глубин 300 м. Дегидратация водных минералов и частичная перекристаллизация глин.



## Преобразования органического вещества в стадию диагенеза

**Диагенез** – это биогенная стадия преобразования осадка, так как наиболее интенсивно биохимическое разложение ОВ протекает в поверхностном слое осадка и деятельность микроорганизмов определяет, особенно в раннем диагенезе, практически все протекающие процессы. Ранний диагенез называют **микробиальной стадией** осадка.



### Ход трансформации органического вещества на ранней стадии диагенеза

**биополимеры ОВ**  
(белки, липиды, лигнин, углеводы)

микробиальное разложение и гидролиз

**мономеры**  
(сахара, аминокислоты, жирные кислоты, фенолы).

Генерация нефтяных УВ происходит из жирных кислот ОВ – липидов, содержащих основную часть С и Н<sub>2</sub>, заключают УВ-радикалы СН, СН<sub>2</sub>, СН<sub>3</sub> и другие компоненты, входящие в структуры их молекул и которые при отрыве боковых их цепей могут приводить к образованию различных УВ-соединений.

При микробиальной деятельности выделяются **Н<sub>2</sub>О, СО<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, СН<sub>4</sub>** и незначительное количество тяжелых соединений с гетероатомной структурой.



**В позднем диагенезе** в результате процессов

- конденсации,
- дезаминирования,
- восстановления,
- циклизации и
- полимеризации образуются геополимеры (азотсодержащие и гуминовые комплексы).

Диагенез осадочного органического вещества завершается на глубине, для которой характерны снижение количества извлекаемых гумусовых кислот до минимального уровня и удаление большей части карбоксильных групп. Это явление фиксируется на границе перехода бурых углей в каменные при отражательной способности витренита, равной 0,5 %.

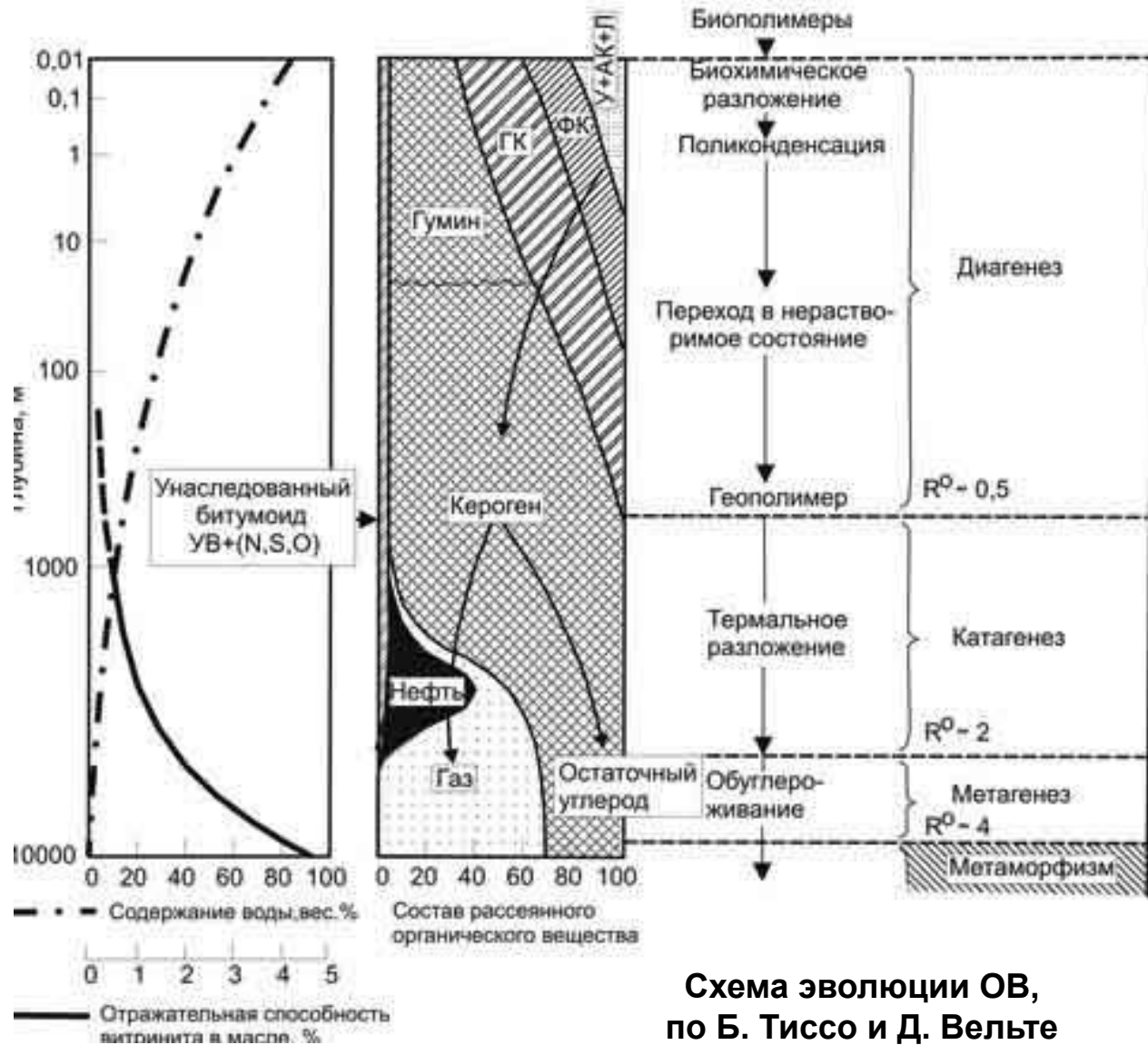


Рис. Общая эволюция органического вещества с момента его отложения до начала метаморфизма. У – углеводы; АК – аминокислоты; ФК – фульвокислоты; ГК – гуминовые кислоты; Л – липиды; УВ – углеводороды; NSO-N-,S- и O-содержащие гетеросоединения.

В **позднем диагенезе и раннем катагенезе** в органическом веществе обособляются две основные фракции:

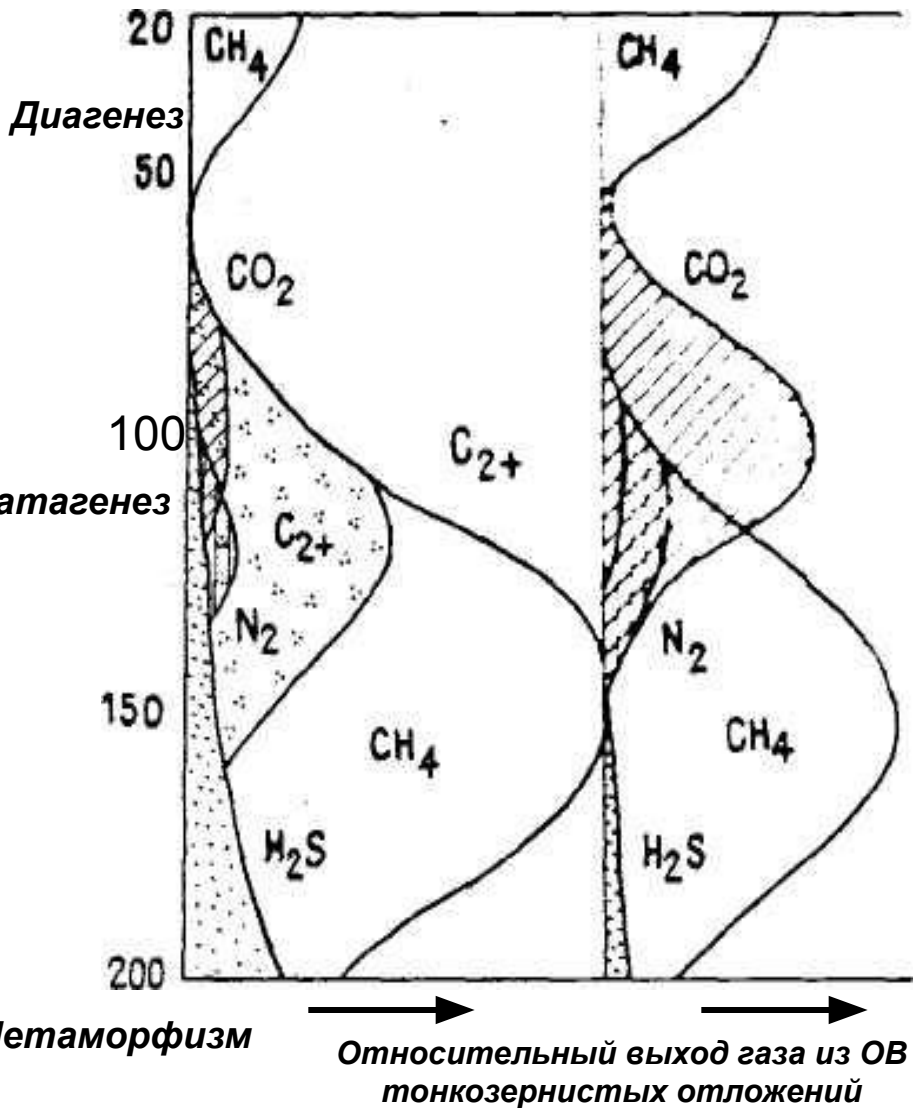
1] углеводороды или кероген, составляющий основную массу органического вещества, 2] низкомолекулярные свободные органические соединения липидной природы, включающие углеводы и родственные им вещества.

Они:

1] синтезировались в живых организмах и попали в осадки без особых изменений;

2] являются первичными источниками УВ в недрах.

Органическое вещество  
сапропелевое      гумусовое



Кривая образования газа в осадочном бассейне в зависимости от глубины, по Дж. Ханту

Процесс образования газа на стадиях литогенеза происходит в осадочном процессе с увеличением его относительного выхода по мере погружения осадков.

Вне зависимости от генетической природы органического вещества (гумусовое и сапропелевое) на **ранней стадии диагенеза** образуются метановые углеводороды нормального строения.

В дальнейшем по мере погружения на глубину и увеличения температуры и давления:

□ **в позднем диагенезе** генерируется углекислый газ;

□ **в катагенезе** – азот, метан и его ГОМОЛОГИ, и в конечном итоге – сероводород.

# 1. Осадочно-миграционная теория происхождения нефти из ОБ

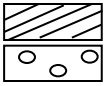
В процессе преобразования органического вещества при погружении его на глубину выделяют три основные фазы (стадии и зоны):

**Первая фаза – подготовительная стадия нефтеобразования – газогенерирующая зона**, соответствующая диагенезу и раннему катагенезу,

**Вторая фаза – главная стадия нефтеобразования - нефтегазогенерирующая зона**, отвечающая начальному этапу среднего катагенеза;

**Третья фаза – затухающая стадия нефтеобразования - нижняя газогенерирующая зона**, соответствующая позднему катагенезу (МК<sub>4</sub>-АК<sub>2</sub>).

**Схема генерации нефти и газа из ОБ на стадиях диагенеза и катагенеза**  
(по Н.Б. Вассоевичу, С.Г. Неручеву [1]).

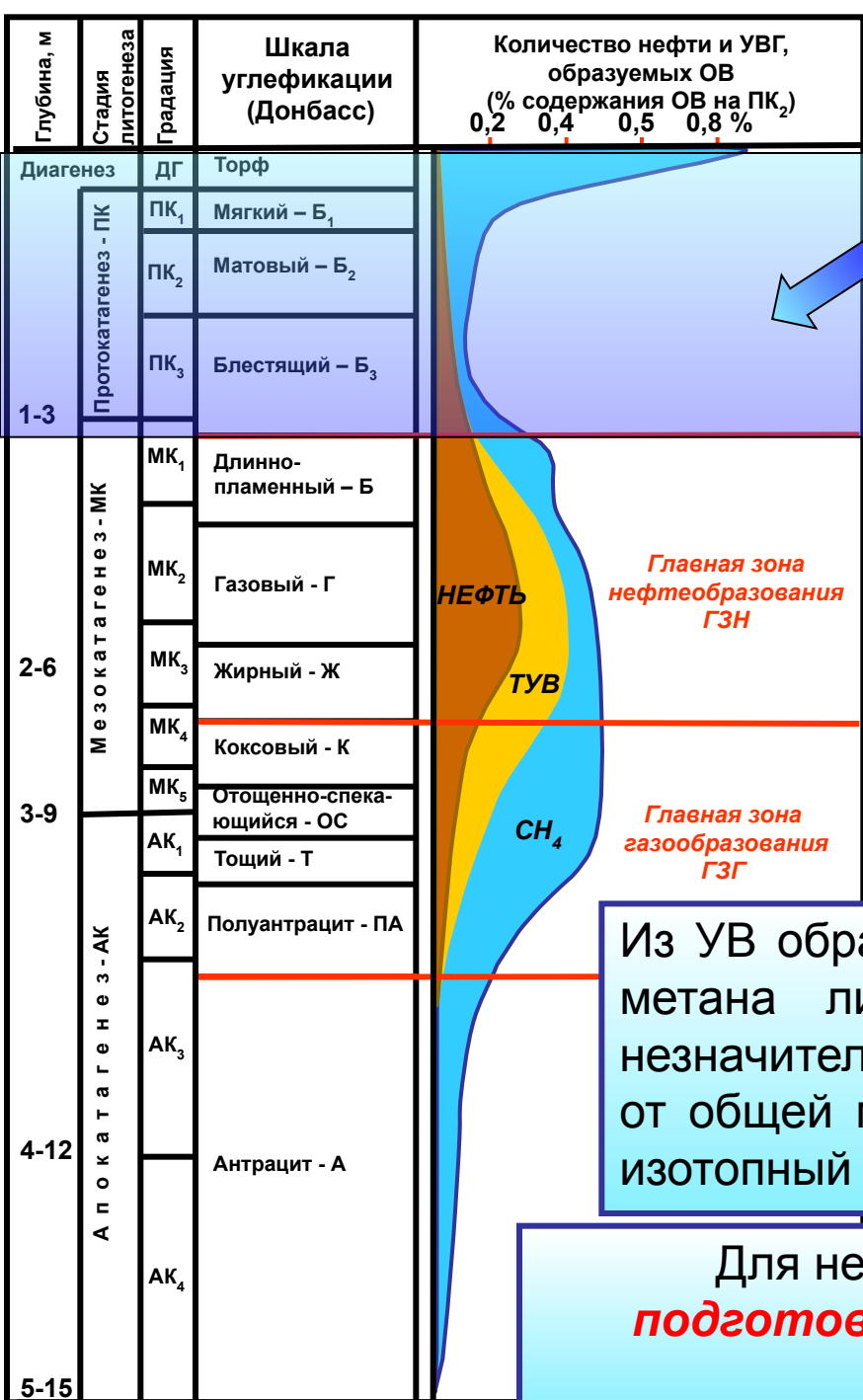
Стадии и подстадии литогенеза		Зона генерации УВ и масштабы их генерации	Температура °С	Средняя глубина (км) зон генерации в осадочных бассейнах, осушенных или покрытых мелководными морями	Стадии формирования нефти
		 Жидкие углеводороды Газообразные углеводороды			
Диагенез		<i>Диагенетическая, газогенерирующая</i>	10...20	0,1...0,5	Подготовительная
Катагенез	ранний	<i>Катагенетическая верхняя, газогенерирующая</i>	20...65	0,5...1,5	
	средний	<i>Катагенетическая, нефтегазогенерирующая</i>	65...150	1,5...5	Главная
			150...250	5...7	
	поздний	<i>Катагенетическая нижняя, газогенерирующая</i>	250...350	7...9	Затухающая
Метагенез (метаморфизм)		«Газового дыхания»	> 350	> 9	



**В позднем диагенезе** в результате процессов

- конденсации,
- дезаминирования,
- восстановления,
- циклизации и
- полимеризации образуются геополимеры (азотсодержащие и гуминовые комплексы).

Диагенез осадочного органического вещества завершается на глубине, для которой характерны снижение количества извлекаемых гумусовых кислот до минимального уровня и удаление большей части карбоксильных групп. Это явление фиксируется на границе перехода бурых углей в каменные при отражательной способности витренита, равной 0,5 %.



**1 фаза - газогенерирующая**  
 (отвечает диагенезу и протокатагенезу – градации Д<sub>Г</sub>-ПК, степени преобразования ОВ от торфов до мягких, матовых и блестящих углей).

Трансформация ОВ в диагенезе происходит с большой потерей первоначальной массы и сопровождается генерацией газов биохимического происхождения: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, микрокомпонентами являются H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O, органические вещества. В морских субаквальных обстановках – еще и H<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S.

Из УВ образуется преимущественно метан (гомологи метана либо отсутствуют, либо фиксируются в незначительных концентрациях) в количестве до 5 % от общей массы ОВ. Он имеет характерный легкий изотопный состав:  $\delta^{13}C$  от -50 до -90 ‰.

Для нефтеобразования эта фаза является **подготовительной, фазой еще не созревшей микронефти**



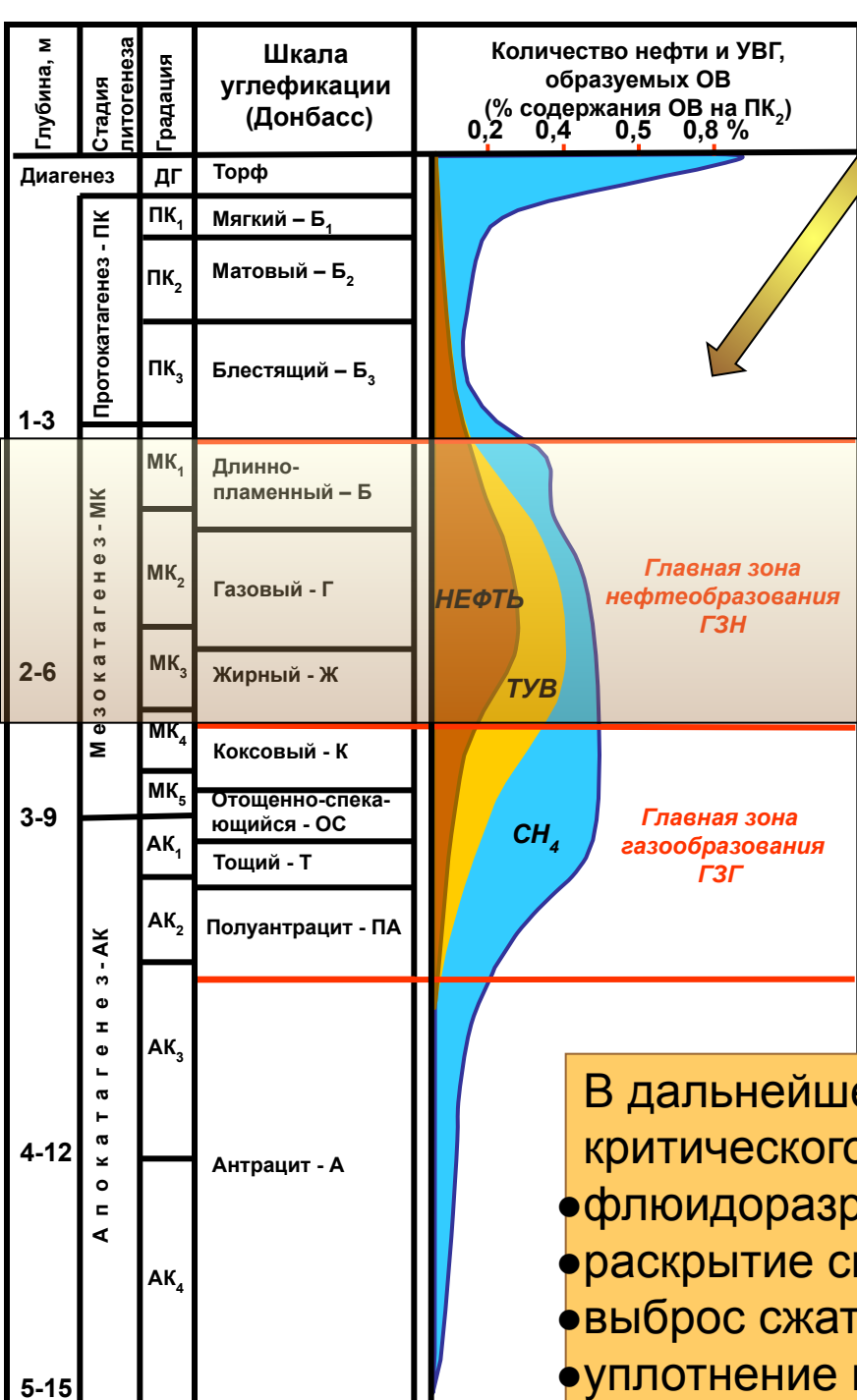


**2 фаза – главная фаза нефтегазогенерирующая – главная фаза нефтеобразования** (зона среднего катагенеза, отвечает этапам длиннопламенных, газовых и жирных углей градации МК<sub>1</sub>-МК<sub>3</sub>).

Происходит существенное преобразование молекулярной структуры ОВ с образованием значительного количества продуктов:  
 а) газообразных (СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>S);  
 б) жидких (Н<sub>2</sub>О, нефтяные углеводороды)

Содержание микронепти в породах возрастает в несколько раз за счет обогащения ранее почти отсутствующими легкими углеводородами и резко усиливается ее эмиграция.

Рождается, отрываясь от материнской породы, собственно нефть. Этому сопутствует широкое развитие процесса газообразования с характерным высоким содержанием тяжелых газообразных УВ с изотопно относительно тяжелым метаном – δ<sup>13</sup>С от -37 до -45 ‰.



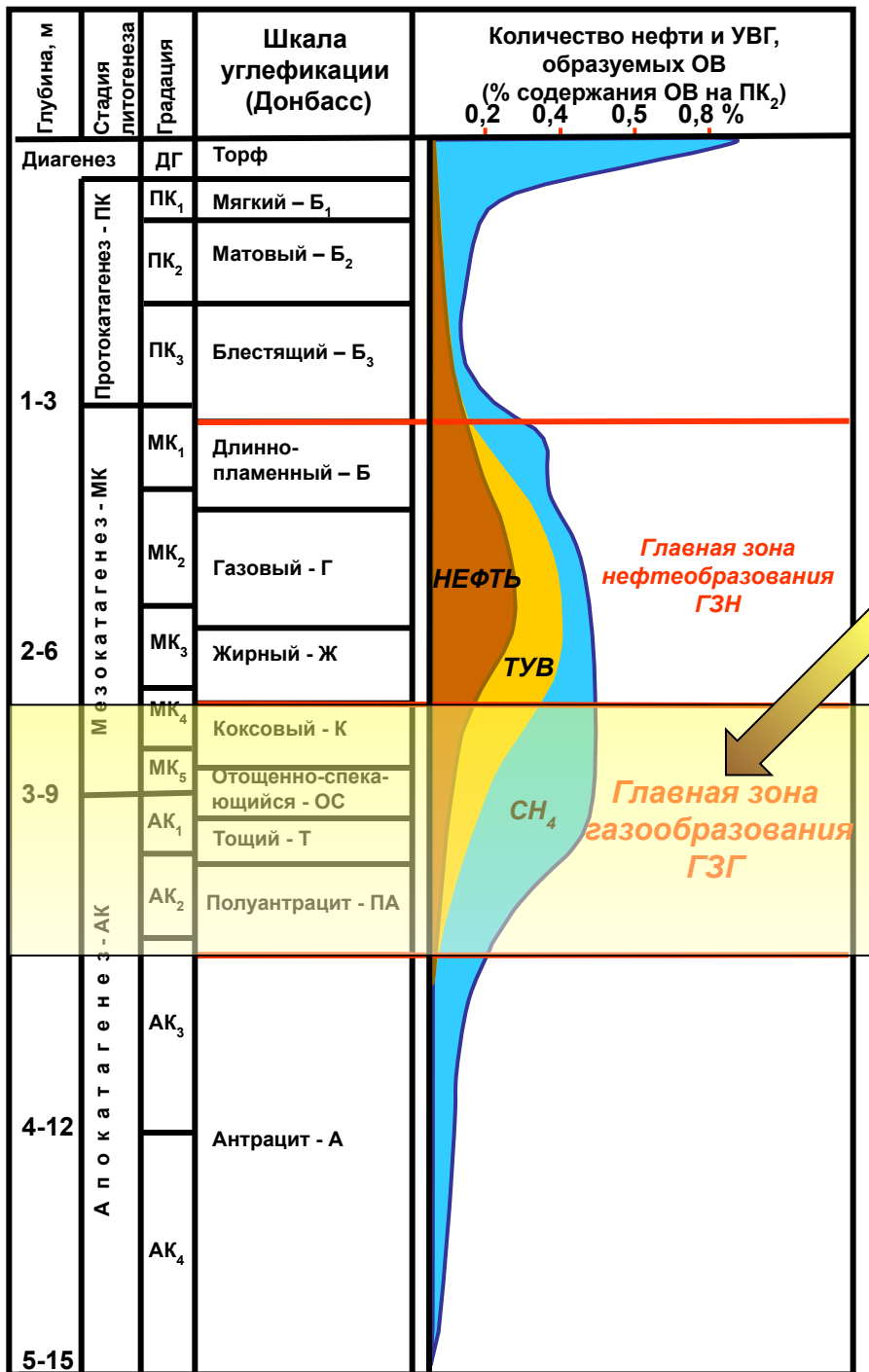
**2 фаза – главная фаза нефтегазогенерирующая – главная фаза нефтеобразования** (зона среднего катагенеза, отвечает этапам длиннопламенных, газовых и жирных углей градации МК<sub>1</sub>-МК<sub>3</sub>).

Образование газообразных и жидких продуктов из твердого керогена происходит со значительным увеличением объема вещества (в 2-3 раза в пластовых условиях и в сотни раз – в нормальных). Это приводит в зонах интенсивного нефтегазообразования к временному:

- разуплотнению пород,
- повышению пористости,
- возникновению АВД – до 100-200 атм выше нормального гидростатического.

В дальнейшем при превышении давления выше критического происходят:

- флюидоразрыв пород,
- раскрытие системы трещин,
- выброс сжатых флюидов
- уплотнение пород до нормального уровня [2].



**3 фаза – главная фаза газообразования**  
 (развивается в жестких термобарических условиях, характерных для среднего и позднего катагенеза - градации МК<sub>4</sub>-АК<sub>2</sub> - коксовые, отощенно-спекающиеся, тощие угли и полуантрациты)

Отличается тем, что ОВ генерирует **газоконденсат и газ.**

В конце этой фазы образуется главным образом метан, но в отличие от ГФН он имеет еще более тяжелый изотопный состав –  $\delta^{13}\text{C}$  от -30 до -36 ‰.

Для нефтеобразования эта фаза является **затухающей**

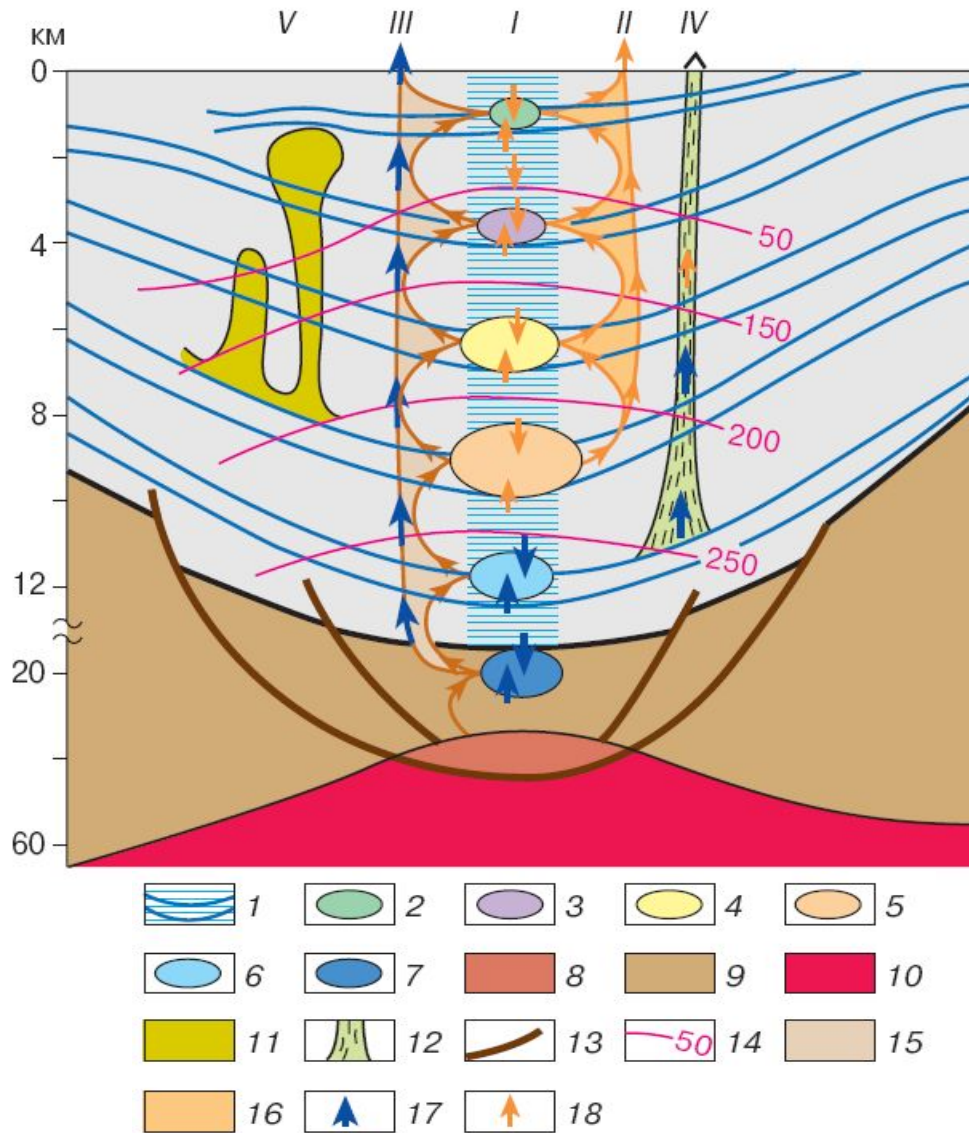
Главная фаза нефтеобразования (ГФН), соответствующая среднему катагенезу, осуществляется на глубине от 1 до 3,5 км при температуре от 60 до 130 °С. На этих глубинах образуются высококипящие углеводороды (температура выше 325 °С), появляются низкокипящие (ниже 325 °С) жидкие углеводороды  $C_6$  —  $C_{13}$  в битумоидной фракции органического вещества. ГФН завершается при исчерпании ресурсов нефтеобразующих компонентов органического вещества.

На стадии позднего катагенеза (температура 160-170 °С) процессы нефтеобразования затухают, а усиливаются процессы образования газа метана. На последнем этапе позднего катагенеза прекращается и выделение метана.

На этих же глубинах из глин выжимаются так называемые возрожденные воды, высвобождающиеся при перестройке структуры глинистых минералов, особенно монтмориллонита. Эти воды заполняют поровое пространство глин, а затем при уплотнении выжимаются в породы-коллекторы. Дегидратационные воды интенсивно растворяют минеральные и органические компоненты окружающей среды и вместе с газами обуславливают эмиграцию нефтеобразующих компонентов.

В последние годы в связи с установлением большого количества залежей нефти на глубинах до 7 км сторонники осадочно-миграционной теории происхождения нефти понизили уровень осуществления главной фазы генерации нефти на глубину более 5 км.

# Термобарический режим преобразования ОВ



**Рис.** Схема взаимодействия процессов погружения, конвекционного прогрева, диапиризма и образования нефти и газа в осадочных бассейнах

Явления катагенеза - совокупность одновременно или последовательно действующих факторов преобразования вещества:

- Температуры,
- Давления (статического, динамического, флюидодинамического),
- Сейсмических колебаний,
- Радиоактивности,
- Химических реакций,
- Естественных полей Земли.

1 – осадочный разрез в условиях погружения (I);  
 2—7 – флюидонасыщенные зоны разуплотнения (2 — нефтегазовая, 3 – главная зона нефтеобразования (ГЗН), 4 – главная зона газообразования (ГЗГ), 5 – термального газа, 6 – кислых газов, 7 – газорудная); 8 – астеносфера: 9 – земная кора; 10 – верхняя мантия; 11 – соляные купола (V); 12 – грязевые вулканы (IV); 13 – дизъюнктивы; 14 – изотермы, °C; 15 – миграционные неуглеводородные теплоносители (III); 16 – миграционные углеводородные потоки (II); 17 – направление движения УВ; 18 – направление движения водно-углекислых флюидов.

## Современные представления о происхождении нефти и газа

Нефть и газ - углеводородные растворы (УВР) сравнительно низкотемпературной дефлюидизации осадочных пород, обогащенных ОВ. Нефтегазоматеринский потенциал создается еще в живом веществе и формируется в диагенетический этап формирования НМ пород. Нефтегазообразование - это саморазвивающийся процесс, сопровождающий осадочное породообразование и активизирующийся при интенсивном погружении осадочного бассейна под воздействием восходящих тепловых потоков.

Тесную связь нефтеобразования и биосферы в круговороте органического углерода в цепи биосфера—увосфера—биосфера можно представить в виде многокольцевой спирали (рис.), где кольца отвечают определенному этапу трансформации ОВ.

**На первом этапе** (седиментогенез и диагенез) осуществляется **биодеструкция** основных групп **биополимеров** (жиров, белков, углеводов, лигнина); **геосинтез** из продуктов их деструкции разного типа **геополимеров**, накапливающихся в осадке и формирующих кероген осадочных пород. Генерирующиеся на этом этапе углеводородные газы главным образом уходят в гидросферу или в атмосферу.

**Второй этап** протекает в условиях катагенетической трансформации осадочных пород, характеризуется процессами **термодеструкции геополимеров** и **термокаталитического синтеза** нефтяных и газовых УВ из фрагментов липидных и изопреноидных соединений, высвобождающихся из керогеновой формы рассеянного ОВ. Миграционноспособные жидкие и газовые УВ, удаляясь из МТ, образуют УВР, которые могут концентрироваться в виде скоплений нефти и газа. На этом этапе реализуются главные фазы нефте- и газообразования.

**На третьем и последующих этапах** продуктами уже значительно истощенного ОВ являются газы.

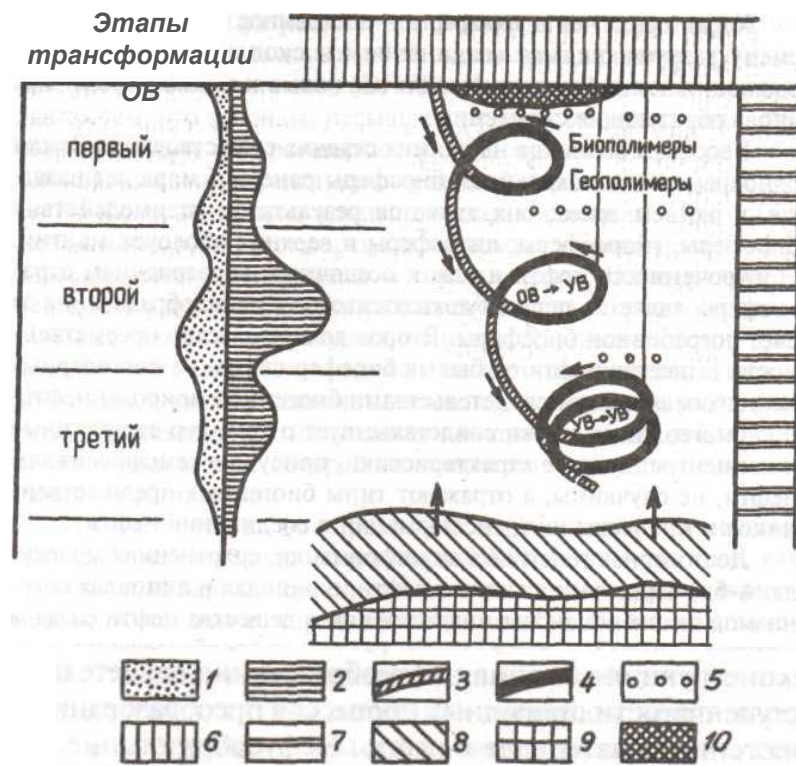


Рис. Схема круговорота Сорг в системе биосфера — углеводородная сфера—биосфера: 1— газ; 2 — нефть; 3, 4 — стадии: 3 — деструкционная, 4 — синтеза; 5 — флюиды; 6— биосфера; 7— увосфера; 8— породы фундамента; 9— верхняя мантия; 10 — газогидраты; стрелки — направление процесса (движения) флюида

# Вертикальная зональность формирования и размещения скоплений разного фазового состояния<sup>I</sup>

При прогибании бассейна и одновременном формировании ловушек и генерации УВ в бассейнах платформенных областей (рис.) отмечается определенная последовательность заполнения ловушек УВ разного состава и фазового состояния:

- I. В верхней **биохимической и термолитической зоне газообразования** ловушка заполняется газом (сначала сухим – 1, затем жирным – 2);
- II. При погружении **в зону термокаталитической генерации жидких УВ** – газовые залежи пополняются жидкими УВ с образованием 3 – нефтегазовой залежи; затем материнская толща отдает в нефтегазовую залежь жирный газ – образуются залежи: 4 – газонефтяная и 5 – газовая с нефтяной оторочкой).
- III. Ниже **в газовой пиролитической зоне** – образуются первичные конденсатногазовые – 6, а при погружении область еще более высокой температуры (свыше 200 °С) увеличивается поступление сухого газа, уменьшается растворимость жидких УВ в газе, выпадает конденсат, образуются залежи конденсата с газовой шапкой – 7. В дальнейшем начинается термическое разложение жидких УВ с образованием метана – 8.

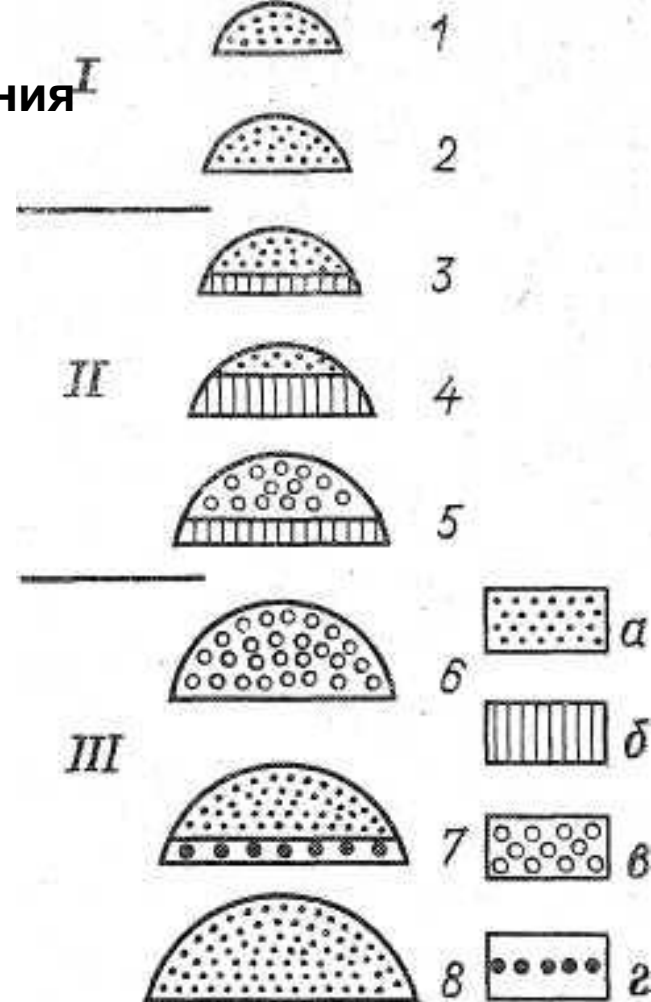


Рис. Начальный иммерсионный ряд скоплений нефти и газа.

Зоны генерации УВ: а — газ; б — нефть; в — конденсатный газ; г — конденсат

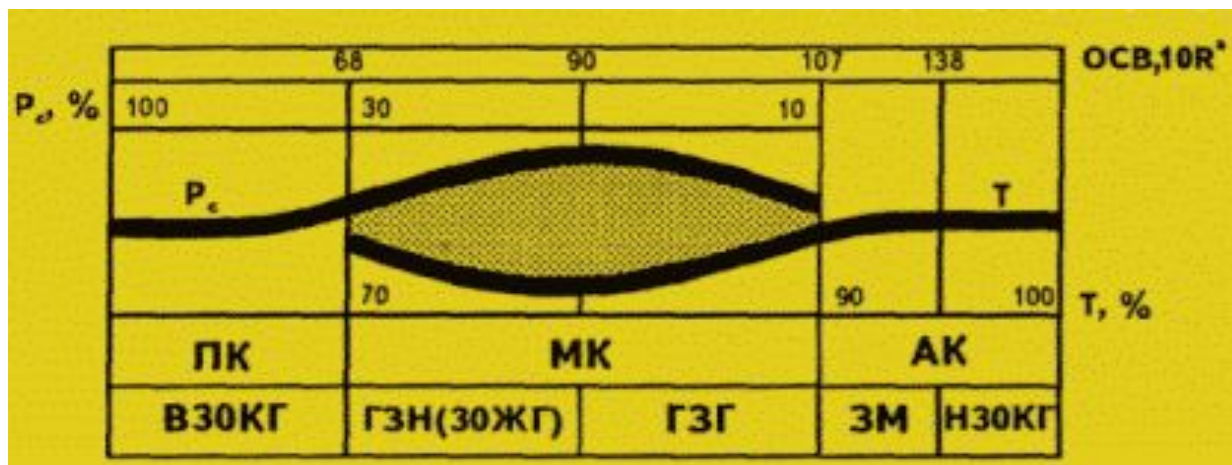
В результате в бассейне возникает следующий максимальный ряд залежей (сверху вниз): **сухого газа → жирного газа (оба скопления первоначально могут находиться в кристаллогидратной форме) → нефтегазовая → газонефтяная → газовая с нефтяной оторочкой → конденсатногазовая → газовая с конденсатной оторочкой (сухой газ).**

# Современные представления о происхождении нефти и газа

Стадии преобразования ОБ и УВ	Геологические условия среды нахождения ОБ и УВ	Источники энергии преобразования ОБ и УВ	Состояние ОБ и УВ и формы нахождения последних
<b>Накопление ОБ</b>	Водная среда с анаэробной геохимической обстановкой; застойный палеогидрогеологический режим; пониженная сульфатность; накопление и захоронение ОБ в процессе осадконакопления	Геостатическое давление (уплотнение пород); биохимическое воздействие микроорганизмов и ферментов; каталитическое воздействие минералов; нисходящие тектонические движения (устойчивое прогибание)	Исходное ОБ осадков в диффузно-рассеянном состоянии
<b>Генерация УВ</b>	Породы различного состава, содержащие потенциально нефтегазоматеринские толщи; анаэробная геохимическая среда; застойный палеогидрогеологический режим	Геостатическое давление (устойчивое интенсивное прогибание); повышенный тепловой поток; внутренняя химическая энергия ОБ, связанная с его молекулярной перестройкой в УВ нефтяного ряда; радиоактивные минералы вмещающих пород	УВ нефтяного ряда на стадии диагенеза и катагенеза осадков в рассеянном состоянии
<b>Миграция УВ</b>	Породы различного состава, обладающие повышенными емкостными и фильтрационными свойствами; анаэробная геохимическая среда	Тектонические движения, проявляющиеся в различных формах; повышенный тепловой поток; гравитационные силы, обуславливающие перемещение УВ; геодинамическое давление; гидродинамические процессы, обуславливающие движение флюидов в латеральном и вертикальном направлениях; электрокинетические силы; капиллярные силы, приводящие к вытеснению УВ водой из мелких пор в крупные; молекулярные силы, приводящие к диффузии нефти и газа через горные породы; кристаллизация и перекристаллизация пород-коллекторов	УВ в свободном и водогазорастворенном состоянии
<b>Аккумуляция УВ</b>	Наличие пород-коллекторов, обладающих повышенными емкостными и фильтрационными свойствами; анаэробная геохимическая среда; застойный режим пластовых вод; наличие пород-флюидоупоров (покрышек) над коллекторами; наличие региональных и локальных ловушек, благоприятных для аккумуляции УВ	Тектонические движения, способствующие аккумуляции; повышенный тепловой поток; гидродинамические силы; гравитационные силы; молекулярные силы, обуславливающие диффузию УВ; капиллярные силы	Скопления УВ



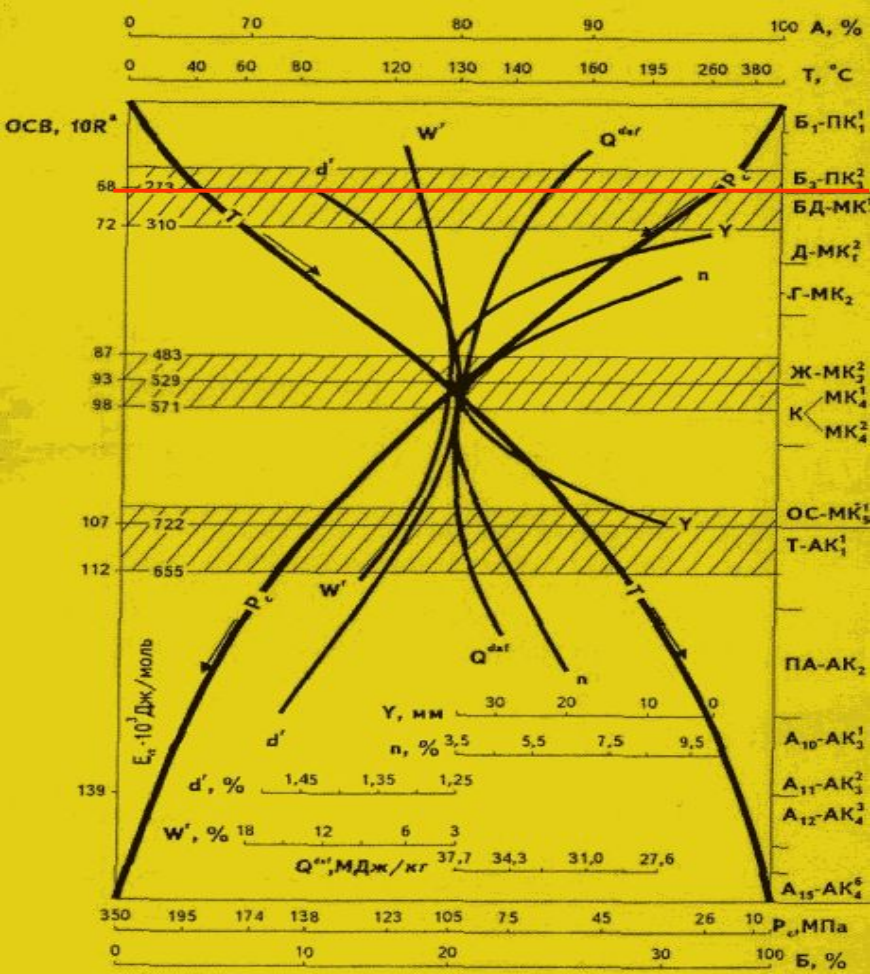
- Совокупности  $T$  и  $P_c$  создают в недрах определенный термобарический режим, который необходим для приобретения органическим веществом в процессе его изменения присущих данному уровню катагенеза физико-химических свойств.



**Рис.** Доля влияния факторов катагенеза ( $P_c$ ,  $T$ ) в суммарном эффекте катагенеза;  $OCB$  – отражательная способность витринита

В процессе погружения отложений  $T$  и  $P_c$  возрастают параллельно и одновременно, меняется доля влияния каждого из них в суммарном эффекте катагенетического преобразования органического вещества (рис.).

Определение доли  $T$  и  $P_c$  осуществляется путем сравнения отражательной способности витринита идентичных разрезов с примерно равными геотермическими градиентами, но с различной литостатической нагрузкой.



**На подстадии протокатагенеза (ПК) при дефиците тепловой энергии (до 40 °С) роль давления **Pc** резко возрастает.**

Для преобразования ОВ характерны реакции *отщепления, перегруппировки радикалов* и т.д. и низкие значения энергии активации (обычно менее  $265 \cdot 10^{-3}$  Дж/моль).

При увеличении Pc атомы сближаются, роль сил отталкивания возрастает, прочность химических связей уменьшается, атомы ОВ оказываются пространственно разделенными.

Энергетически выгодным является деструкция вещества посредством реакций отщепления. Они сопровождаются выделением в основном **углекислоты и воды**.

Относительно формирующихся на подстадии ПК продуктов катагенеза это **зона образования кислых газов органического вещества арконового типа и первая (главная) фаза дегидратации глин.**

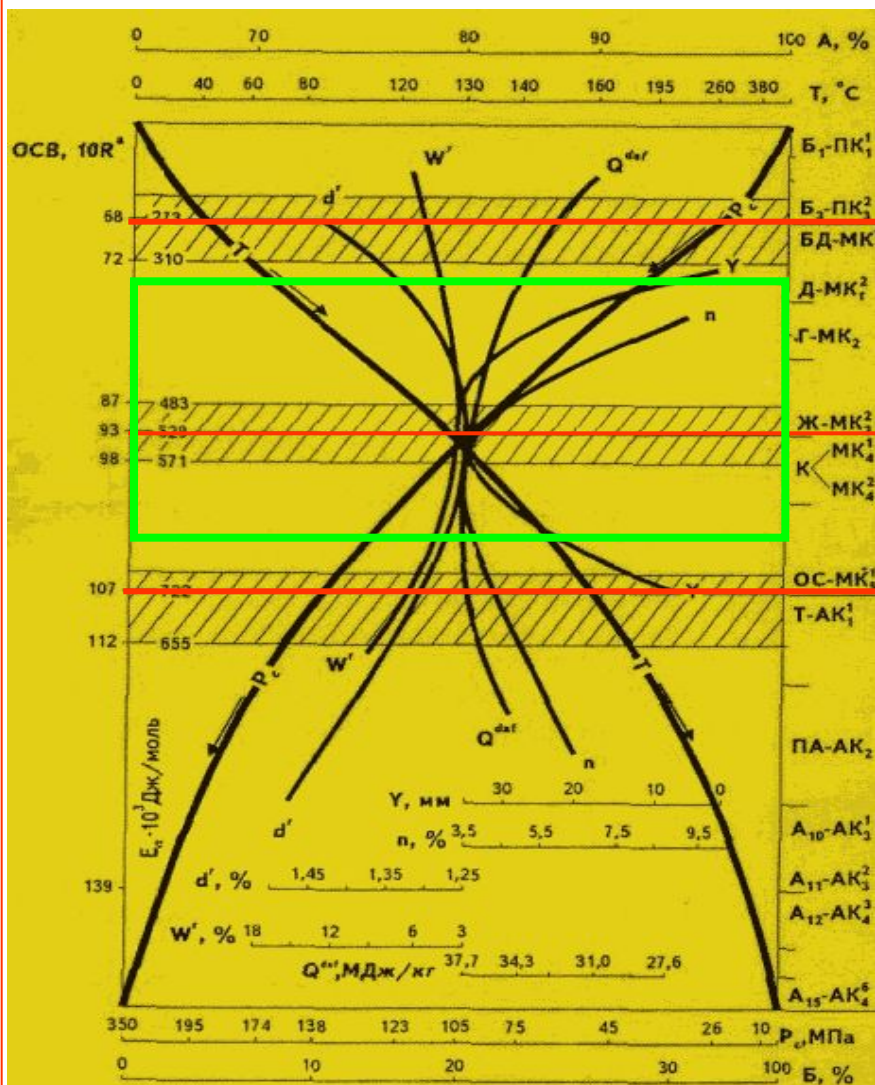
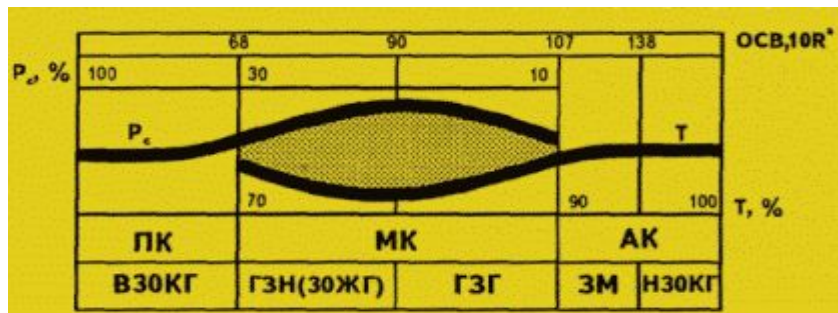
Постепенно в направлении градаций ПК<sub>1</sub> → ПК<sub>3</sub> доля Pc снижается, а T – возрастает.

Рис. Характер взаимодействия и доля температуры T(A) и статического давления Pc(B) в суммарном эффекте преобразования ОВ. Заштрихована область наиболее радикальных изменений ОВ (скачки катагенеза); ОСВ - отражательная способность витринита; Ea - энергия активации; Wг - содержание влаги в углях; dг - плотность углей; n - пористость углей; Qdaf - теплота сгорания; Y - спекаемость угля (толщина пластического слоя); Б1, Б3, БД, Д, Г, Ж, К, ОС, Т, ПА, А10-15 - марки углей

## На стадии мезокатагенеза (МК)

ведущая роль в превращении ОВ переходит к фактору тепла; течение процессов изменения вещества значительно ускоряется.

- При температурах 40-160 °С и энергии активации  $(274-722) \cdot 10^3$  Дж/моль осуществляется деструкция наиболее крупных фрагментов гетероатомных связей. Глины интенсивно теряют влагу и переходят в аргиллиты.
- В интервале значений ОСВ (72-87)  $10 R^a$  (МК<sub>1</sub><sup>2</sup> -МК<sub>3</sub><sup>2</sup>) реализуется **главная зона нефтеобразования**.
- В зоне схождения координат Т и Рс полностью завершаются процессы нефтегенерации; процессы образования углеводородных газов постепенно усиливаются вследствие разрыва прочных связей под действием высоких температур и давления генерируется сухой газ, и в интервале значения ОСВ (98-107)  $10 R^a$  (МК<sub>4</sub><sup>1</sup> -МК<sub>5</sub><sup>1</sup>) – реализуется **главная зона газообразования**.



**Апокатагенез.** Рубеж градаций МК<sub>5</sub><sup>1</sup> и АК<sub>1</sub><sup>1</sup> – третий интервал значимых радикальных изменений органоминерального вещества.

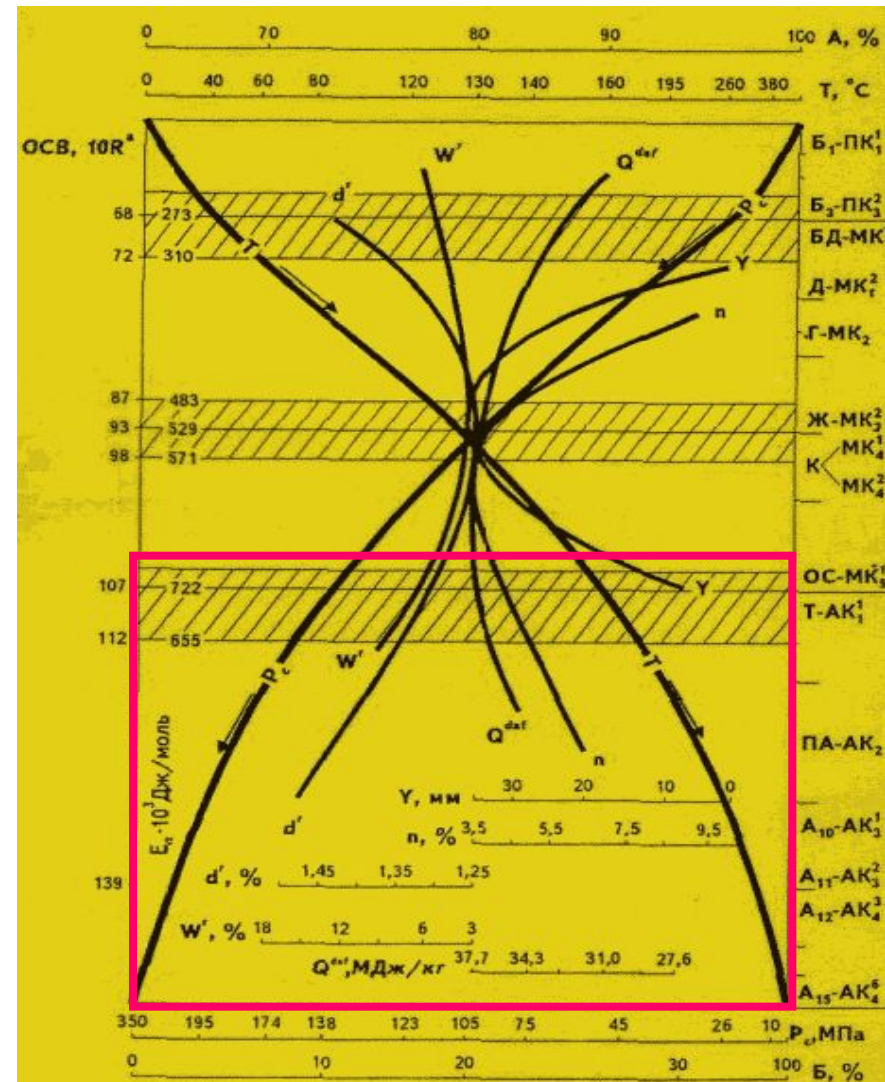
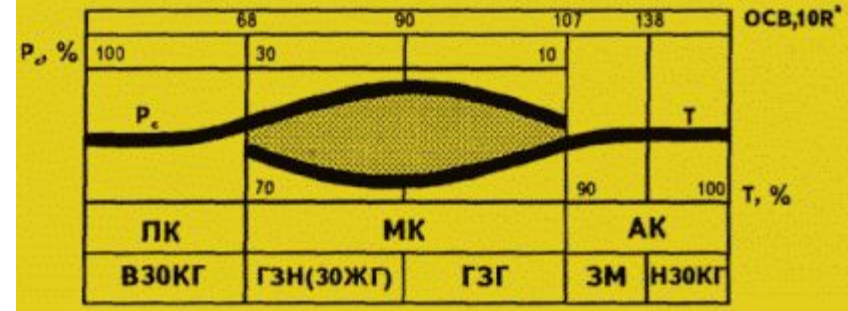
Происходит в углях резкое обеднение ОВ водородом, что приводит к падению теплоты сгорания и потере спекаемости в углях, скачкообразно уменьшается количество гидроксильных и других функциональных групп, кислорода и межмолекулярных водородных связей, наблюдаются полное исчезновение алифатических углеродных звеньев и резкое сокращение гетероатомов.

Аргиллиты приобретают тонкослоистую текстуру, происходит интенсивная серицитизация, мусковитизация или хлоритизация глинистых минералов, полевых шпатов, слюд, обломков пород, а также растворение и кристаллизация минералов под давлением, исчезают смешанослойные минералы и цеолиты.

Песчаники перестают быть коллекторами порового типа.

Роль  $P_c$  в преобразовании ОВ резко снижается, тепло становится доминирующим, а на подстадии АК, очевидно, единственным энергетическим источником превращения органического вещества.

Процесс метанообразования, господствующий на данном этапе и убывающий по "затухающей синусоиде" на градации АК<sub>4</sub><sup>3</sup> (антрациты А12-15) с полной реализацией углеводородного потенциала органического вещества, сменяется нижней зоной образования кислых газов.



## Список использованной литературы

1. Бурштар М. С. Основы теории формирования залежей нефти и газа. - М.: Недра, 1973. - 256 с.
2. Войткевич Г. В., Закруткин В. В. Основы геохимии. - М.: Высш. школа, 1976. - 367 с.
3. Губкин И. М. Учение о нефти. Изд. 1-е. М.: ОНТИ, 1932; Изд. 3-е. М.: Наука. – 1975. - 384 с.
4. Конторович А. Э., Неручев С. Г. Катагенез рассеянного органического вещества. - В кн.: Проблемы нефтеносности Сибири. - Новосибирск: Наука, 1971. - С. 51—69.
5. Перельман А. И. Геохимия. - М.: Высш. школа, 1979. - 423 с.
6. Соколов В. А. Процессы образования и миграции нефти и газа. - М.: Недра, 1966. - 302 с.
7. Тектоносфера Земли. - М.: Наука, 1978. - 532 с.
8. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980.
9. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. – М.: Наука, 1990.
10. Амурский Г. И., Соловьев Н.Н.. Основные проблемы тектонодинамики и онтогенез нефти и газа. // Геология нефти и газа. -1967. - № 4. - С. 34-39.
11. Минский Н.А. Формирование нефтеносных пород и миграция нефти. - М.: Недра, 1975. - 257 с.