

The background of the slide is a photograph of an oil pumpjack field. Several pumpjacks are visible, their dark silhouettes contrasting against a bright, hazy sky where the sun is setting or rising, creating a lens flare effect. The ground appears to be a flat, open field.

# Лекция 6. Гидрогеологические условия миграции, аккумуляции, консервации и деструкции нефти и газа

**Гидрогеологические исследования на месторождениях углеводородного сырья**

Тілеуберді Нұрбол,  
Ассоц. профессор кафедры ГИИНГГ  
e-mail: [n.tileuberdi@satbayev.university](mailto:n.tileuberdi@satbayev.university)

# План занятий по курсу

| №  | Тема лекции                                                                                                                                                                                              | Контроль |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1  | Введение в дисциплину (история возникновения науки, ученые; приведение примера по практической значимости науки).<br>Условия нахождения и виды вод в горных породах, условия залегания вод в земной коре | К.т. 1   |
| 2  | Основы гидрохимии                                                                                                                                                                                        |          |
| 3  | Элементы гидрогеомеханики. Формирование водных растворов в литосфере                                                                                                                                     |          |
| 4  | Формирование водных растворов в литосфере – продолжение                                                                                                                                                  |          |
| 5  | Органическое вещество и микроэлементы в водах НГ бассейнов                                                                                                                                               | К.т. 2   |
| 6  | <b>Гидрогеологические условия миграции, аккумуляции, консервации и деструкции нефти и газа</b>                                                                                                           |          |
| 7  | Резервуары подземных вод                                                                                                                                                                                 |          |
| 8  | Основы гидрогеотермии. Полезные воды и техногенез в недрах                                                                                                                                               |          |
| 9  | Гидрогеологические изыскания и исследования                                                                                                                                                              |          |
| 10 | Палеогидрогеология                                                                                                                                                                                       | К.т. 3   |
| 11 | Нефтегазопроисковая гидрогеология                                                                                                                                                                        |          |
| 12 | Нефтегазопромысловая гидрогеология                                                                                                                                                                       |          |
| 13 | Гидрогеологические исследования при разработке нефтяных и газовых месторождений на примере ЗСМБ. Проблемы ППД и захоронения промышленных стоков в недра                                                  |          |
| 14 | Гидрогеологические аспекты охраны окружающей среды                                                                                                                                                       |          |

# Гидрогеологические условия миграции, аккумуляции, консервации и деструкции нефти и газа

1. Условия миграции и аккумуляции нефти и газа
2. Условия деструкции углеводородов и их залежей
3. Роль гидрогеологических условий в формировании и разрушении скоплений нефти и газа на разных этапах литогенеза

# Последовательность существования УВ

**Генерация**

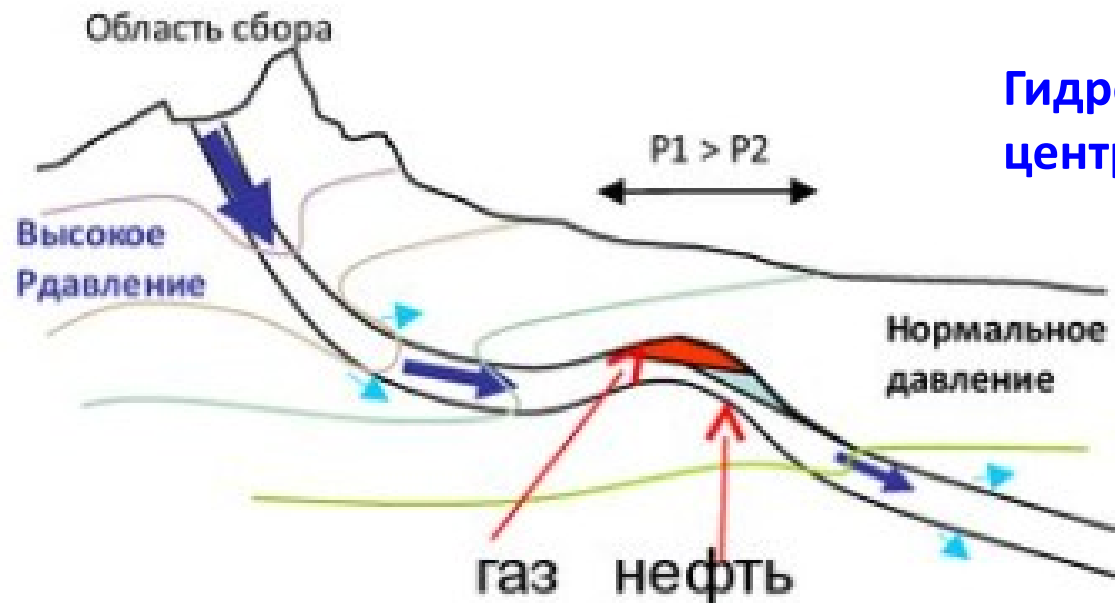
**Миграция**

**Аккумуляция**

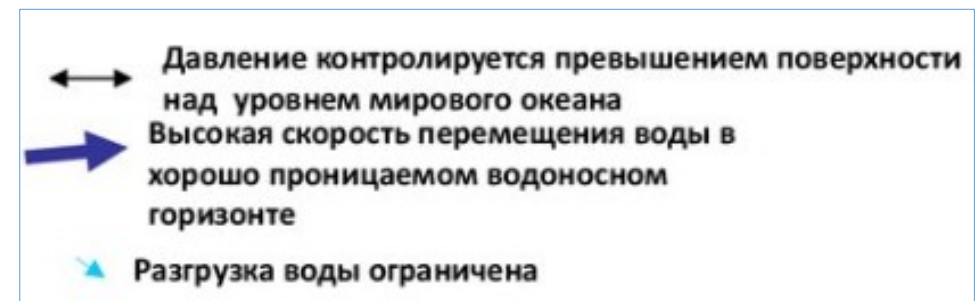
**Консервация**

**Деструкция**

- Литосферные водные растворы играют одну из главных ролей при **образовании, накоплении, перемещении, рассеянии и разрушении углеводородов**
- Иногда гидрогеологические (гидрогеодинамические) условия приобретают главенствующее значение в процессах аккумуляции нефти и газа
- В таких случаях говорят о гидродинамических ловушках и гидродинамически экранированных залежах нефти и газа



Гидродинамический поток по направлению к центральной части бассейна



# Условия миграции и аккумуляции нефти и газа



## Условия, играющие **пассивную** роль

Пассивная роль гидрогеологических условий заключается в том, что литосферные водные растворы являются **средой**, в которой протекают процессы миграции и аккумуляции УВ и других веществ. Но пассивность среды можно принять только условно, т.к. она может действовать и в качестве, например, химического реагента

## Условия, играющие **активную** роль

Активная роль гидрогеологических условий в нефтегазонакоплении выражается в том, что литосферные растворы выступают как **транспортирующий** (иногда удерживающий) **агент**, определяющий миграцию нефти и газа, а следовательно, и их аккумуляцию.

# Гидродинамические системы

Система безнапорных (грунтовых) вод

Система напорных (пластовых) вод

по природе энергетического потенциала

Инфильтрационные

Напор создается за счет инфильтрации атмосферных и поверхностных вод. Природа энергетического потенциала гидростатическая, и соответственно системы этого типа также называются гидростатическими

Эксфильтрационные

Напор в водоносных пластах создается за счет фильтрационного удаления жидкости из одних пластов (или их частей) в другие пласты (или их части) без пополнения запасов из внешних областей питания

Элизионные литостатические  
(геостатические)

Напор создается вследствие выжимания вод из уплотняющихся осадков и пород в коллекторы и частично за счет уплотнения самих коллекторов с выжиманием вод из одних частей в другие. В результате процесса уплотнения образуется избыточное количество жидкости

Элизионные  
геодинамические

Источником гидростатической энергии является геодинамическое давление

Элизионные  
термогидродинамические  
(термогидратационные)

Природа энергетического потенциала обусловлена высвобождением жидкости в процессе термической дегидратации минералов

# Условия миграции и аккумуляции нефти и газа, играющие пассивную роль

- Литосферные водные растворы, образующие среду нефтегазообразования и нефтегазонакопления, имеют **талассогенную** (седиментогенную) природу; встречаются **литогенные** водные растворы, возникающие главным образом при дегидратации глинистых минералов
- В качестве вместилищ представляются в основном **эксфильтрационные гидрогеодинамические** системы, включая также термодегидратационные, в которых создание напора в водоносных коллекторах обусловливается преимущественно проявлением дегидратационных вод, выделяющихся из минералов под влиянием повышенной температуры (100-150°C)



# Условия миграции и аккумуляции нефти и газа, играющие активную роль

Активная **транспортирующая** роль водных растворов проявляется при миграции УВ в виде:

- растворов,
- эмульсий,
- в составе двух- или трехфазного потока: главной фазой и (или) определяющим фактором потока являются **водные массы** вследствие преобладания над другими жидкими и газовыми фазами в бассейне

Водорастворенная форма миграции для нефтяных УВ (т.е. **первичная миграция нефтяных УВ**) – не единственная форма переноса вещества

# Условия миграции и аккумуляции нефти и газа, играющие активную роль

Водная миграция УВ по коллекторам (т.е. **вторичная миграция УВ**) – миграция вод, возрожденных при дегидратации минералов

Воды, **возрожденные из дегидратирующихся глинистых минералов**, так же имеют значение:

- вода, высвобождающаяся при перестройке структуры глинистых минералов, обладает **аномально высокой растворяющей способностью** и может «эвакуировать» из нефтепроизводящих пород значительное количество нефтяных УВ
- Вода указанного генезиса появляется **в существенных объемах** при погружении осадочных толщ уже на глубину 2-3 км
- Ее **количество** на целый порядок **может превосходить** имеющиеся **объемы пористого пространства** коллекторов

# Условия миграции и аккумуляции нефти и газа

Аккумуляция УВ происходит преимущественно (при первичной миграции) в **эксфильтрационных водонапорных системах**

- Большое значение при этом имеют локальные конседиментационные поднятия как участки пьезоминимумов, зон разгрузки и, следовательно, как участки нахождения ловушек
- Отдельные участки бассейна в периоды общего прогибания испытывают относительное поднятие (замедленное прогибание); там происходит формирование конседиментационных положительных тектонических форм, которые могут служить ловушками воды, нефти и газа. Вследствие меньшей геостатической нагрузки на этих участках давление относительно уменьшается, и возникают пьезоминимумы. Седиментогенные воды направляются к таким локальным участкам, где образуются очаги очень медленной скрытой разгрузки через водоупорную кровлю
- Вследствие широко распространенной унаследованности тектонического развития подобные гидрогеологические особенности могут существовать (иногда с перерывами) в течение ряда длительных исторических этапов

# Условия миграции и аккумуляции нефти и газа

- Установлено соответствие смещения водных ореолов рассеяния газовых и нефтяных залежей с направлениями и скоростями *латеральных* потоков
- Таким образом, имеет место быть **латеральная миграция вод и УВ**
- Распространение сейсмических колебаний на тысячи километров должно способствовать латеральной миграции УВ
- При сейсмических колебаниях происходит повышение содержания различных компонентов в водных растворах (например, диоксида углерода приблизительно в 3 раза, а гомологов метана иногда на порядок)
- То есть, в геодинамических системах в раствор или водную эмульсию переходит и перемещается вместе с водной фазой много различных веществ, в том числе **углеводородов**
- Таким образом, влияние **сейсмотектонических явлений** существенно сказывается на гидрогеологических условиях бассейнов

# Условия миграции и аккумуляции нефти и газа

**Аккумуляция** газа и нефти – обособление самостоятельной углеводородной фазы (частично вместе с неуглеводородными газами) и задержание ее в ловушках

Аккумуляция остается наименее изученным звеном процесса при водной форме миграции, особенно для нефти

# Условия миграции и аккумуляции нефти и газа

Факторы, способствующие выделению (высаливанию) нефтяных УВ из водного раствора в коллекторах и, следовательно, образованию способных к всплыванию масс УВ:

- **изменение характера поровых каналов**, переход от микропор к макропорам (что должно также приводить к изменению растворяющей способности воды – молекулярное просеивание (ситовый эффект)
- воздействие **сейсмических колебаний**: могут способствовать всплыванию УВ в водонасыщенной среде коллекторов, при завершении вторичной миграции. Обеспечивается собственно аккумуляция УВ в ловушках. Силы всплывания УВ должны преодолевать противодействие капиллярных сил, а сейсмотектонические явления могут весьма существенно способствовать этому.

Гидрогеологические условия играют важную роль в **аккумуляции** нефти и газа, что в большОй мере связано с активной транспортирующей ролью водных растворов **в миграции УВ**

# Условия разрушения углеводородов и их залежей

**Разрушение**, как и консервация нефтяных и газовых залежей, происходит **в водной среде**, а сами **литосферные воды** вместе с некоторыми из растворенных в них веществ являются **основными факторами деструкции** залежей.

Пути разрушения нефтяных и газовых залежей и месторождений:

- **Механический**: заключается в том, что нефть и газы уносятся движущимися водами во взвешенном состоянии и в составе многофазных потоков
- **Физико-химический**: состоит в растворении содержимого залежей в водах при соответственно изменяющихся условиях
- **Химический**: в результате окисления УВ растворенными в водах веществами, главным образом кислородом и сульфатами
- **Биохимический**: при участии бактерий в процессе деструкции

# Механическая (гидравлическая) деструкция нефтяных и газовых залежей

Начинается с образования наклона нефтеводяного или газоводяного контакта

Зависимость наклона поверхности нефтеводяного (или газоводяного) контакта от гидравлического уклона описывается выражением:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\rho_v}{\rho_v - \rho_n} i$$

$\theta$  - угол между поверхностью нефтеводяного контакта и горизонтальной плоскостью

$\rho_v, \rho_n$  - плотность соответственно воды и нефти

$i$  - гидравлический уклон

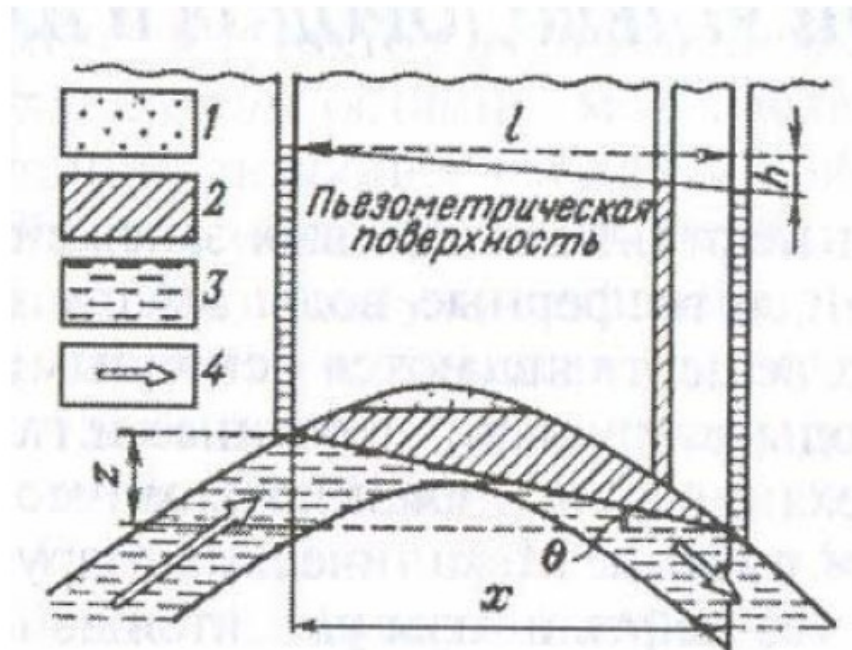


Схема зависимости между наклоном нефтеводяного контакта и пьезометрической поверхностью:

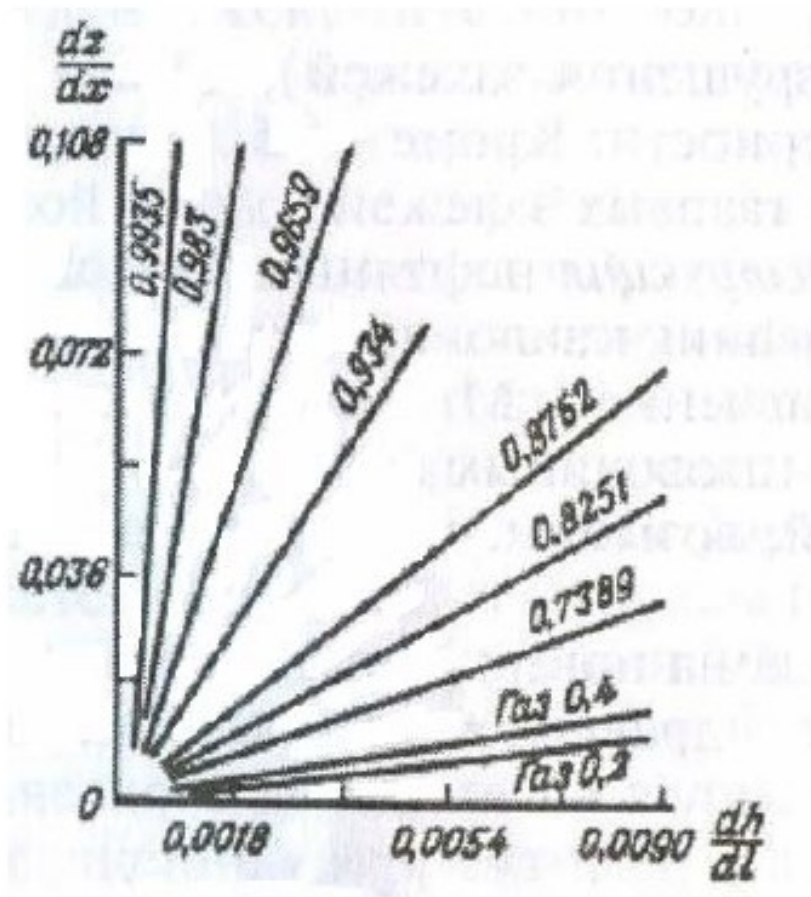
1 - газ, 2 - нефть,

3 - вода, 4 - направление движения воды



# Механическая (гидравлическая) деструкция нефтяных и газовых залежей

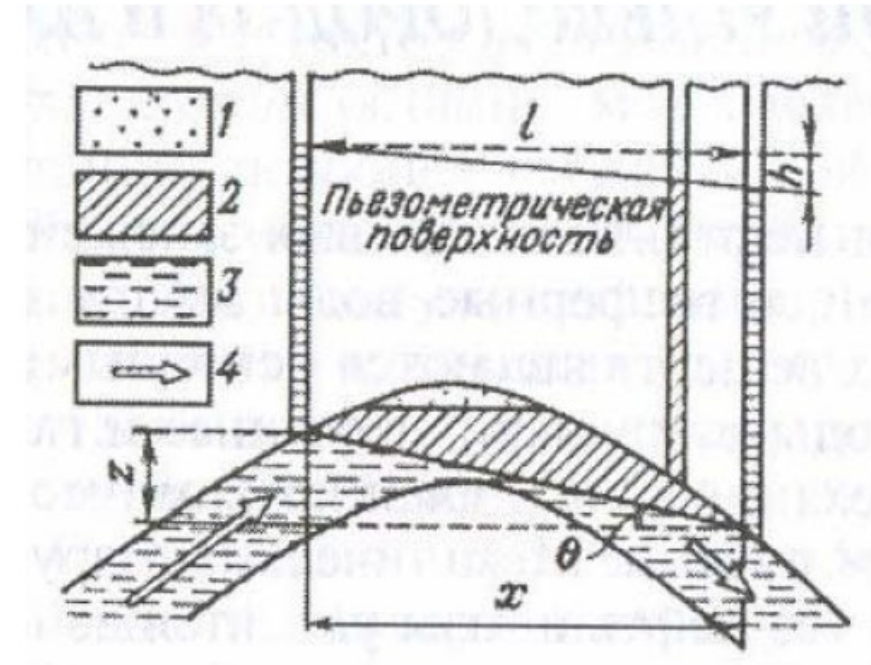
Для тяжелых (более плотных) нефтей наклон нефтеводяного контакта гораздо больше, чем для легких (менее плотных) нефтей и газов:



Зависимости углов наклона нефтеводяного контакта от гидравлических уклонов и плотности нефти и газов  
Шифр кривых - плотность нефти и газов

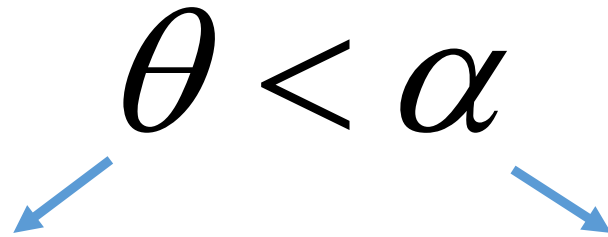
# Механическая (гидравлическая) деструкция нефтяных и газовых залежей

- Наклоны газоводяного и нефтеводяного контактов могут служить критериями направления движения вод
- Если наклон нефтеводяного (газоводяного) контакта круче угла падения крыла сводовой ловушки, то нефть (газ) полностью вымывается из нее, залежь исчезает. Это и есть **механическое разрушение залежей** водами



# Механическая (гидравлическая) деструкция нефтяных и газовых залежей

Условие сохранения залежи от механического разрушения водой:

$$\theta < \alpha$$


Угол наклона поверхности нефтеводяного  
(или газовадяного) контакта

Угол падения пласта на крыле  
ловушки

# Механическая (гидравлическая) деструкция нефтяных и газовых залежей

- При обычно встречающихся в нефтегазоносных комплексах гидравлических градиентах залежи сухого газа могут удерживаться практически любыми ловушками
- Нефтяные залежи уже при гидравлических градиентах 0,005-0,01 должны вымываться из пологих ловушек (угол падения на крыльях менее 1°)
- Нефтяные залежи значительно менее устойчивы против гидравлической деструкции, чем газовые
- При наличии рассолов с относительной плотностью 1, 2 и очень легких нефтей минимальные углы падения должны быть уменьшены примерно в 2,5 раза
- Для тяжелых нефтей при пресных водах углы падения, наоборот, должны быть значительно увеличены – примерно в 2 раза

Минимальные значения углов падения пластов при сохранении  
залежей газа и нефти от полного вымывания ( $p_v=1$ ,  $p_n=0,8$ ,  $p_r=0,001$ )

| Гидравличес-<br>кий уклон | Углы падения пластов                |                    | Гидравличес-<br>кий уклон | Углы падения пластов             |                    |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------|
|                           | Газовые<br>залежи<br>(сухой<br>газ) | Нефтяные<br>залежи |                           | Газовые<br>залежи<br>(сухой газ) | Нефтяные<br>залежи |
| 0,0001<br>0,001           | 0°00'18"<br>0°03'                   | 0°01'30"<br>0°15'  | 0,01<br>0,1               | 0°30'<br>6°                      | 2°30'<br>3°        |

# Физико-химическая деструкция нефтяных и газовых залежей

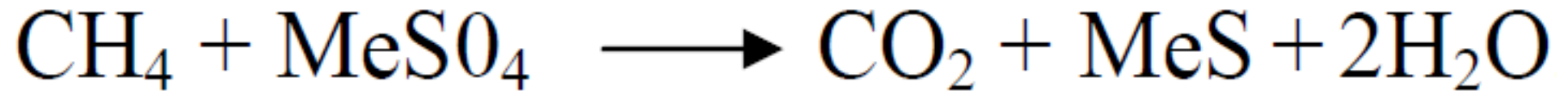
- Физико-химическому разрушению путем растворения в пластовых водах подвержены газовые залежи
- При повышении пластового давления (при погружении), метан, образующий залежи, будет растворяться и залежь постепенно может исчезнуть
- Особо благоприятны для растворения газовых залежей условия при температуре, превышающей 100-120°C, когда растворимость метана в воде резко возрастает
- Нефтяные УВ по сравнению с метаном и его ближайшими гомологами в воде растворяются хуже, поэтому физико-химическая деструкция нефтяных залежей путем растворения в водах встречается в несущественных масштабах
- Можно предполагать, что происходит и иногда преобладает селективное растворение отдельных компонентов нефтей

# Химическая деструкция нефтяных и газовых залежей

- *Химическая деструкция* нефтяных и газовых залежей путем окисления УВ кислородом и сульфатами, растворенными в пластовых водах, имеет большое значение
  - Этот процесс тесно переплетается с *биохимической деструкцией*, которая заключается в «поедании» УВ бактериями, и оба эти вида разрушения залежей нефти и газа следует рассматривать вместе
- 
- Аэробное окисление УВ осуществляется растворенным в водах **кислородом**
  - Известно, что растворенный кислород встречается в литосферных водах в некоторых случаях до глубин 500-600 м, а возможно, и еще глубже в количестве от сотых долей до 4-5 мг/л в зависимости от гидрогеологических условий, скорости движения инфильтрационных вод, обогащенности пород сульфидами и органическими веществами
  - В водах, примыкающих к нефтяным и газовым залежам, кислород почти никогда не встречается
  - До залежей, расположенных достаточно далеко от зон инфильтрации, кислород «добирается» лишь при очень большой скорости инфильтрационного водообмена или при очень большой длительности инфильтрационного этапа, когда окисляются все способные к окислению компоненты вод и минералы данного водоносного комплекса
  - Наибольшему воздействию растворенного кислорода, естественно, подвергаются те залежи, которые расположены ближе всего к зонам инфильтрации

# Химическая деструкция нефтяных и газовых залежей

Большое значение имеет окисление УВ **сульфатами**, так как сульфаты в том или ином количестве присутствуют в большинстве литосферных вод и рассолов:



Особенно важное значение имеет температурный фактор:

- **Газовые** (метановые) залежи **не подвергаются абиогенному окислению сульфатами** (при температуре выше 95°C они полностью защищены от этого вида разрушения)
- **Нефтяные** залежи **могут в какой-то степени окисляться за счет сульфатов** и при более высокой температуре, причем интенсивность их абиогенного окисления при высокой температуре **возрастает**



# Химическая деструкция нефтяных и газовых залежей

Влияние **формы залежей** и относительных **размеров газоводяного и нефтеводяного контактов** на окисление залежей:

- Окисление УВ растворенными окислителями происходит в основном **на контакте с водами**
- Скорость окисления залежи в целом будет тем больше, чем **больше площадь поверхности газоводяного и нефтеводяного контактов** по отношению к объему залежи.
- Окисление «водоплавающих» залежей и залежей с вклинивающимися пропластками, содержащими промежуточные воды, будет идти скорее, чем залежей, имеющих только краевые воды
- Залежи небольшой высоты будут окисляться быстрее, чем высокие



# Химическая деструкция нефтяных и газовых залежей

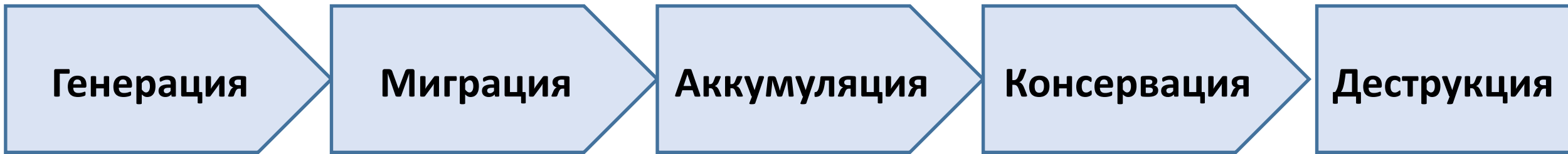
- Особую роль играет образование в результате окисления у нефтеводяных контактов **слоя очень плотных нефтей** и **асфальтоподобных веществ** (битумов), а также вообще **неполное окисление УВ** (т.е. не до углекислоты и воды), приводящие не к уничтожению, а к химическому перерождению нефтяной залежи
- Наличие у нефтеводяного контакта слоя (оторочки) очень плотной нефти или асфальтоподобного нетекучего битума мощностью до нескольких метров – весьма распространенное явление.
- Эти переродившиеся в результате окисления части залежей должны служить препятствием, как бы барьером, для окисления остальной части залежи.
- Механизм распространения процесса окисления на всю залежь при таких условиях не совсем изучен (однако, известны достаточно многочисленные случаи полного окислительного перерождения нефтяных залежей)

# Химическая деструкция нефтяных и газовых залежей

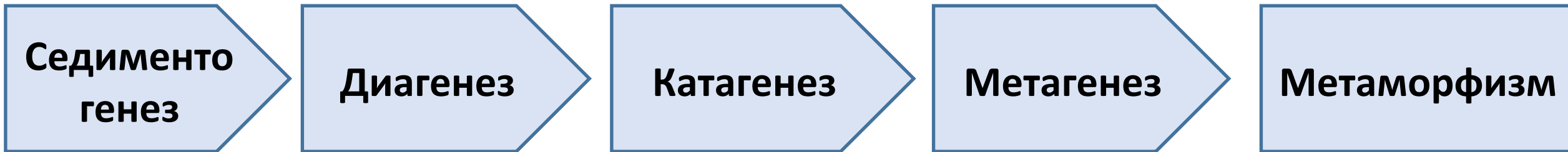
- Превращение всего содержимого нефтяной залежи в смолы, органические кислоты и другие кислородосодержащие соединения представляет собой уже **полное исчезновение нефтяной залежи** как таковой и **появление залежи твердого битума**
- При окислении метана никаких промежуточных продуктов и состоящих из них оторочек не образуется
- В процессе окисления метана и его ближайших гомологов газовая залежь может обогащаться углекислотой, но ввиду резко повышенной по сравнению с углеводородами растворимости данного газа существенного количественного значения это обогащение не имеет.
- Химическое перерождение газовых залежей при окислении не играет большой роли, хотя может идти еще остаточное накопление азота
- Основной результат **окисления газовых залежей – их полное разрушение**

# Роль гидрогеологических условий в формировании и разрушении скоплений нефти и газа на разных этапах литогенеза

## Цепочка существования углеводородов:



## Этапы литогенеза:



# Роль гидрогеологических условий в формировании и разрушении скоплений нефти и газа на разных этапах литогенеза

При седиментогенезе водные растворы литосферы могут играть косвенную роль в **накоплении** (на дне водоема) определенных **органических и минеральных компонентов**, которые в дальнейшем могут обеспечивать **нефегазогенерационный потенциал** седиментитов

Речь может идти, например, о субаквальной разгрузке (в море) термальных рассолов, как связанных, так и не связанных с процессами вулканизма, но так или иначе влияющих на характер седиментации, в том числе на накопление в осадках ОВ

# Роль гидрогеологических условий в формировании и разрушении скоплений нефти и газа на разных этапах литогенеза

В диагенезе гидрогеологической средой служат **иловые водные растворы**

В них происходит биохимическая переработка захороненных в осадках ОВ

В зависимости от интенсивности перемешивания иловых растворов с придонными водами морского (или иного) бассейна меняется степень биохимического преобразования органических компонентов осадков

Это влияет на **нефтегазогенерационный потенциал** осадков и образующихся из них пород, а значит, на **возможность и характер процессов генерации и аккумуляции УВ** в дальнейшем

# Роль гидрогеологических условий в формировании и разрушении скоплений нефти и газа на разных этапах литогенеза

На подстадии протокатагенеза водные растворы в постепенно уплотняющихся глинистых и других породах играют роль среды для **термокаталитических процессов изменения ОВ**, постепенного «созревания» этих веществ для максимальной **генерации УВ**

По мере удаления этих вод и уменьшения обводненности седиментитов ускоряется подготовка главной фазы нефтеобразования

Воды, выжимаемые из интенсивно уплотняющихся глин в менее уплотняющиеся коллекторские породы, выносят туда часть органических соединений, тем самым участвуя уже в начальной **реализации нефтегазогенерационного** (особенно газогенерационного) **потенциала пород**

# Роль гидрогеологических условий в формировании и разрушении скоплений нефти и газа на разных этапах литогенеза

❖ Гидрогеологические условия подстадии **мезокатагенеза**, с которой связана главная фаза нефтеобразования, заслуживают **особого внимания**

Здесь важнейшее значение приобретают **дегидратационные воды**, высвобождающиеся из кристаллогидратного состояния в глинистых минералах (прежде всего в монтмориillonите)

Именно эти воды и формирующиеся на их основе растворы представляют существеннейшие элементы как **среды**, так и **транспорта** при миграции УВ из мест (очагов) их образования

Пространственное распространение водных растворов, растворитель в которых в существенной мере представлен **дегидратационными водами**, в целом близко совпадает **с главной зоной нефтеобразования**

# Роль гидрогеологических условий в формировании и разрушении скоплений нефти и газа на разных этапах литогенеза

На подстадии **апокатагенеза** продолжает сказываться определенное влияние гидрогеологических факторов на **аккумуляцию нефти**, и особенно **газа**.

В начале этой подстадии дегидратационные воды (возникающие в относительно меньших количествах, чем ранее) продолжают играть роль **среды** и отчасти **эвакуатора** при интенсивной эмиграции метана из газопроизводящих пород, что отвечает **главной зоне газообразования**.

С дальнейшим течением апокатагенеза главным образом связаны уже **процессы деструкции УВ**

Важное значение приобретает также **химическая активность** самого вещества воды, приводящая к разложению (конверсии) метана и других УВ и к образованию вследствие этого углекислого газа



# Роль гидрогеологических условий в формировании и разрушении скоплений нефти и газа на разных этапах литогенеза

При метагенезе и гипергенезе аккумуляции как нефти, так и углеводородных газов в существенных масштабах уже не происходит:

- либо нефтегазогенерационный потенциал пород полностью реализован до наступления этих стадий литогенеза
- либо условия для его реализации (включая аккумуляцию нефти и газов), особенно гидрогеологические, неблагоприятны

При гипергенезе преобладают процессы инфильтрации вод в осадочную толщу из внешних геосфер (в отличие от эксфильтрации вод для всех рассмотренных стадий): они понижают температуру, привносят извне окислители

Такие гидрогеологические условия препятствуют протеканию процессов нефтегазогенерации и способствуют деструкции УВ и их скоплений

The background image shows an oil field with several pumpjacks (jackalopes) in silhouette against a bright, hazy sky at sunset or sunrise. The sun is positioned behind one of the pumpjacks, creating a strong lens flare effect. The ground is dark and appears to be a mix of dirt and gravel.

**Спасибо за внимание!**

# Темы для самостоятельной проработки (составления схем-конспектов)

- **Гидрогеохимические факторы формирования и изменения ФЕС пород**
- **Гидрогеологическая зональность**

Литература для подготовки:

1. Нефтегазовая гидрогеология. Карцев А.А., Вагин С.Б., Шугрин В.П. Москва, «Недра», 1992.

**Глава 4 (параграф 4)**

<https://www.geokniga.org/books/10665>

2. Нефтегазовая гидрогеология. Матусевич В.М., Ковяткина Л.А. Часть 1. Тюмень, ТюмГНГУ, 2010.

**Глава 1 (1.4-1.5)**

<https://www.geokniga.org/books/15630>