

Нефтегазовая гидрогеология

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

Щербакова Наталья Сергеевна,

Доцент кафедры динамической геологии и гидрогеологии

1

e-mail: natalya.sher.2020@gmail.com

План занятий по курсу

№ **Тема лекции** **Контроль**

1 Введение в дисциплину (история возникновения науки, ученые; приведение примера по практической значимости науки).
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

6 **Гидрогеологические условия миграции, аккумуляции, консервации и деструкции нефти и газа**

К.т. 2

7 Резервуары подземных вод

8 Основы гидрогеотермии. Полезные воды и техногенез в недрах

9 Гидрогеологические изыскания и исследования

10 Палеогидрогеология

11 Нефтегазопроисковая гидрогеология

12 Нефтегазопромысловая гидрогеология

~~Гидрогеологические исследования при разработке нефтяных и газовых~~

К.т. 3

~~13 месторождений на примере ЗСМБ. Проблемы ППД и сохранения промышленных~~

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

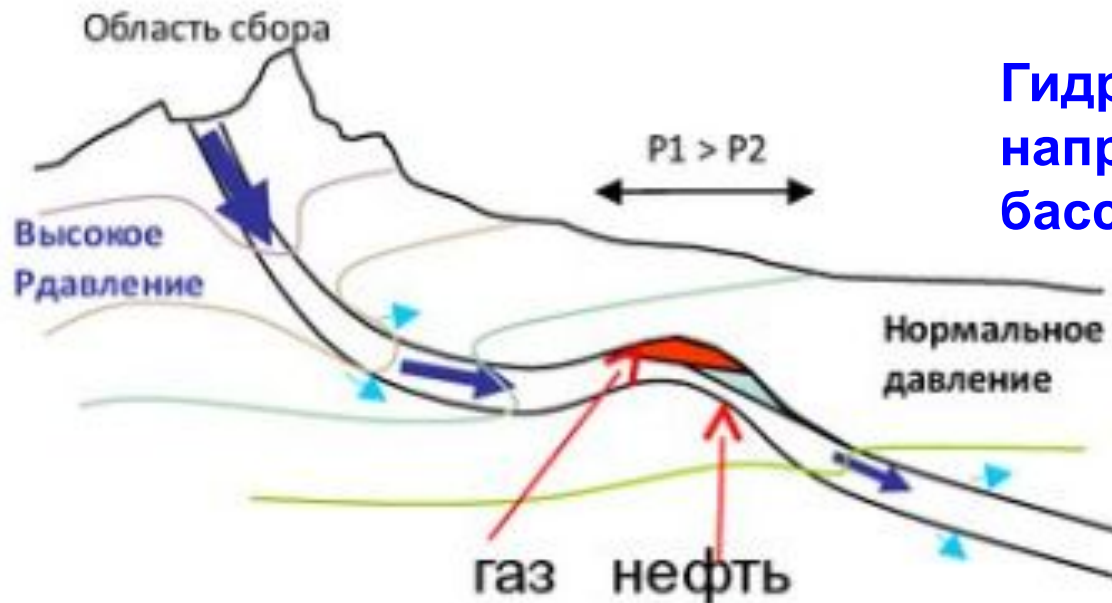
Миграция

**Аккумуляци
я**

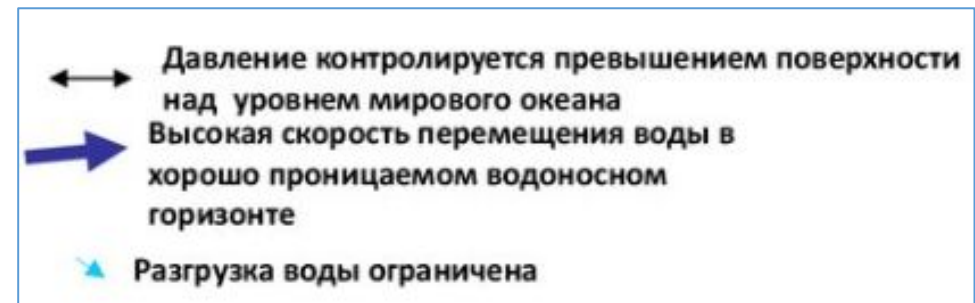
**Консерваци
я**

**Деструкци
я**

- 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



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

Инфильтрационн

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

Система напорных (пластовых)
вод

по природе энергетического
потенциала

Эксфильтрационн

Напор в водоносных **пла**стах 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 в результате уплотнения 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 вмещителей представляются в основном **эксфильтрационные гидрогеодинамические** системы, включая также термодегидратационные, в которых создание напора в водоносных коллекторах обуславливается 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

Аккумуляция УВ происходит преимущественно **газа** (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:

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

θ - угол между поверхностью нефтеводяного контакта и горизонтальной плоскостью

ρ_v, ρ_n - плотность соответственно воды и нефти
 i - гидравлический уклон

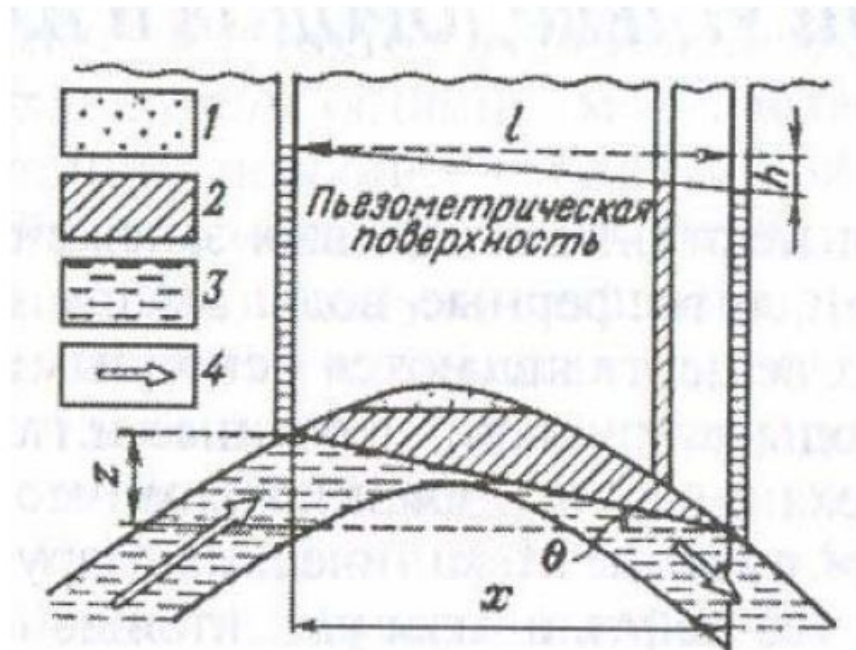
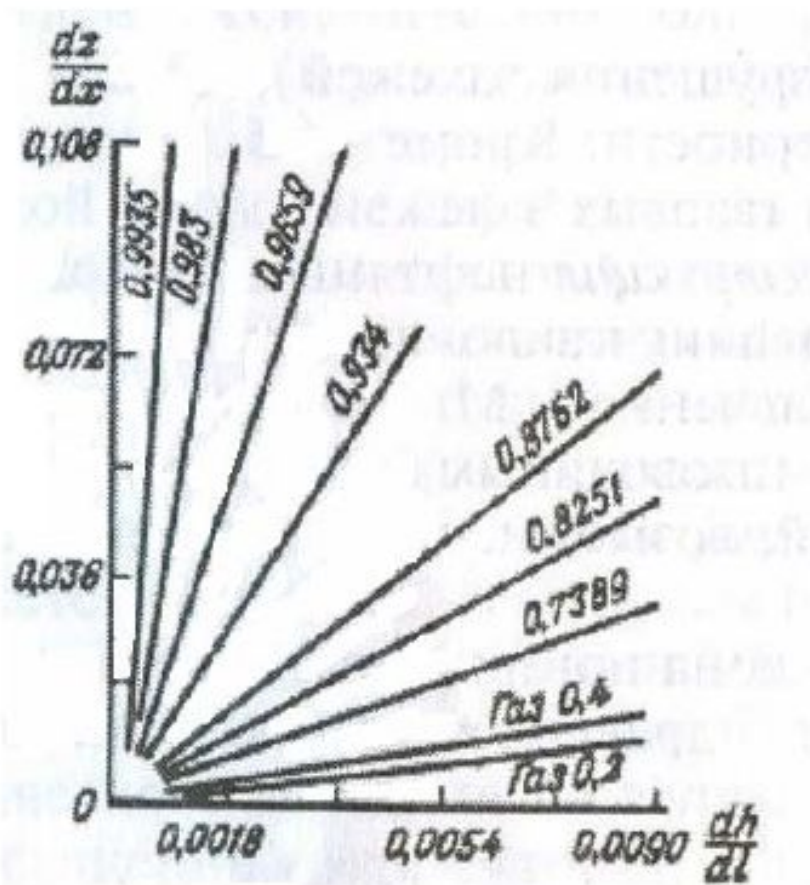


Схема зависимости между наклоном нефтеводяного контакта и пьезометрической поверхностью:

1 - газ, 2 - нефть,
3 - вода, 4 - направление движения воды

Механическая (гидравлическая) деструкция нефтяных и газовых залежей

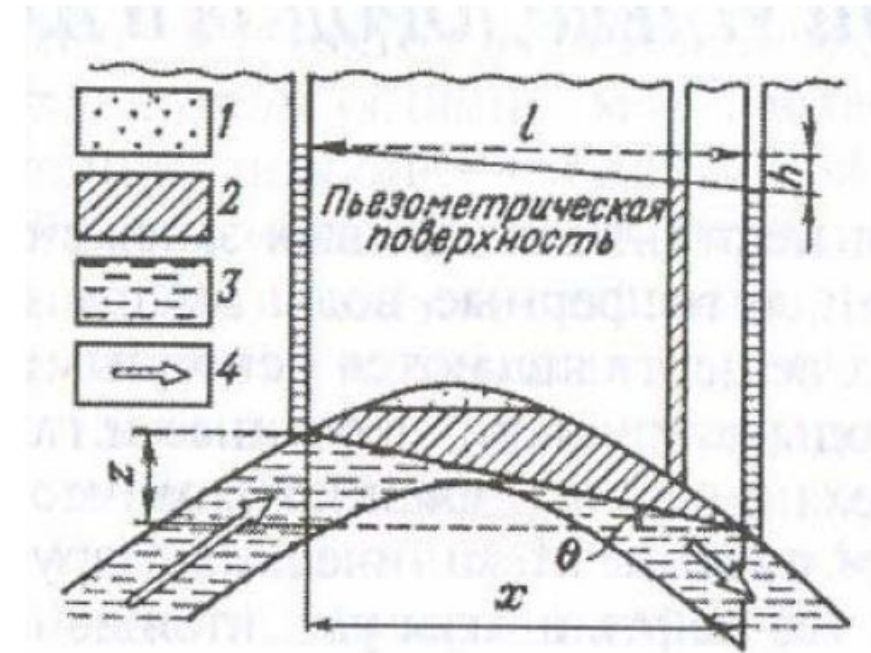
Для тяжелых (более плотных) нефтей наклон нефтеводяного контакта гораздо больше, чем для легких (менее плотных) нефтей и газов:



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 газводяного)
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 ($\rho_v=1$, $\rho_n=0,8$, $\rho_r=0,001$)

Гидравлический уклон	Углы падения пластов		Гидравлический уклон	Углы падения пластов	
	Газовые залежи (сухой газ)	Нефтяные залежи		Газовые залежи (сухой газ)	Нефтяные залежи
0,0001	0°00'18"	0°01'30"	0,01	0°30'	2°30'
0,001	0°03'	0°15'	0,1	6°	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

- 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 газовой и нефтяной контактных** 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 газовой и нефтяной контактных** 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:

Генерация

Миграция

Аккумуляция

Консервация

Деструкция

Этапы литогенеза:

Седиментогенез

Диагенез

Катагенез

Метагенез

Метаморфизм

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 **нефтегазогенерационный 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 монтмориллоните)

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 image shows a field of oil pumpjacks (jack-o'-lanterns) silhouetted against a bright sunset sky. The sun is low on the horizon, creating a strong lens flare effect. The pumpjacks are arranged in a line, receding into the distance. The overall scene is hazy and atmospheric.

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>