

# Миграция нефти и газа в земной коре



# Свидетельства миграции

- *Естественные нефтегазопроявления (миграция по макро- и микротрещинкам);*
- *Выходы нефти и газа на грязевых вулканах Апшерона и Тамани;*
- *Закономерности изменения плотности нефтей по разрезу (миграция по вертикали, естественное фракционирование нефтей);*
- *Эксперименты по применению индикаторов (изотопы) для определения радиуса скважины;*
- *Добыча нефти и газа из залежей;*
- *Гравитационное распределение флюидов внутри ловушки*

# Миграция УВ

*Миграция – перемещение УВ в осадочной оболочке*

- *по порам и трещинам в горных породах;*
- *по поверхностям наслоений;*
- *по разрывным нарушениям и*
- *зонам стратиграфических несогласий.*

*УВ могут не только мигрировать в земной коре, но и выходить на ее поверхность*

- Проблема миграции и аккумуляции нефти и газа и в настоящее время является одной из наиболее сложных и многогранных, т.к. сам процесс образования залежи никто и никогда непосредственно наблюдать не мог. Не всегда ясна относительная роль различных форм миграции. Практически не разработан вопрос об этапности и продолжительности миграционных процессов.
- Всю информацию об этом процессе мы получаем в период разработки месторождений и при изучении материалов отдельных скважин.

- В процессе седиментогенеза происходит накопление осадочных слоистых пород с дисперсным органическим веществом, которые имеют тенденцию к уплотнению. Одновременно формируются благоприятные для залегания нефти и газа пористые породы (известняки и песчаники). Поры между частицами заполняются смесью нефти, газа и воды; эта смесь в процессе уплотнения выжимается и тем самым принуждается к миграции из пор пород.
- Наиболее легко мигрируют газообразные вещества. Нефть и вода более ограничены в своем передвижении. При благоприятных условиях передвижение УВ может происходить на значительные расстояния, хотя и с небольшой скоростью.

- Нефть и газ приобретают промышленное значение, когда они, попав в резервуар, концентрируются в локальное скопление. Изучение условия образования таких скоплений невозможно без изучения миграции УВ, их аккумуляции и рассеивания, что особенно важно в практическом отношении для поисков и разведки нефти и газа.
- Знания геологической обстановки, характерной для конкретных нефтегазоносных территорий позволяют представить схему граничных геологических условий, обуславливающих любую теорию миграции и аккумуляции нефти и газа.

# Граничные геологические условия миграции (1)

- *Каждая залежь нефти и газа находится в водной среде, которая может быть свободной, связанной, краевой или подошвенной, поэтому проблема миграции тесно связана с движением воды, изменениями пластового давления и другими вопросами гидрогеологическими факторами.*

# Граничные геологические условия миграции (2)

- *Гидродинамический градиент давления между скважинами свидетельствует о непрерывном движении воды, насыщающей коллектор;*
- *Скорость этого движения зависит как от разницы в величинах гидравлического потенциала областей питания и разгрузки, так и от пропускной способности (проницаемости) водоносных пластов.*



# Граничные геологические условия миграции (3)

- *Нефтегазоносные резервуары значительно отличаются друг от друга:*
  - *по возрасту,*
  - *по составу и происхождению;*
  - *по фильтрационно-емкостным параметрам;*
  - *по термобарическим характеристиками, часто меняющимися во времени.*

# Граничные геологические условия миграции (4)

- *В природе существует определенное количество разных типов ловушек, образование которых обусловлено структурным, стратиграфическим факторами, либо их комбинацией.*
- *Геологическая история ловушки изменяется в широких пределах — от единичного геологического «эпизода» до комбинации множества различных явлений, накладывавших в течение длительного геологического времени свои отпечаток на залежь.*

# Граничные геологические условия миграции (5)

*История большинства осадочных регионов и всегда характеризуется проявлением в определенные моменты времени регионального складкообразования, вызывающего изменения регионального наклона, горообразования или значительного нагрева (в результате магматической деятельности), различные изменения гидродинамики и др. процессов, нарушающих равновесие пластовых флюидов, обуславливая при этом их движение.*

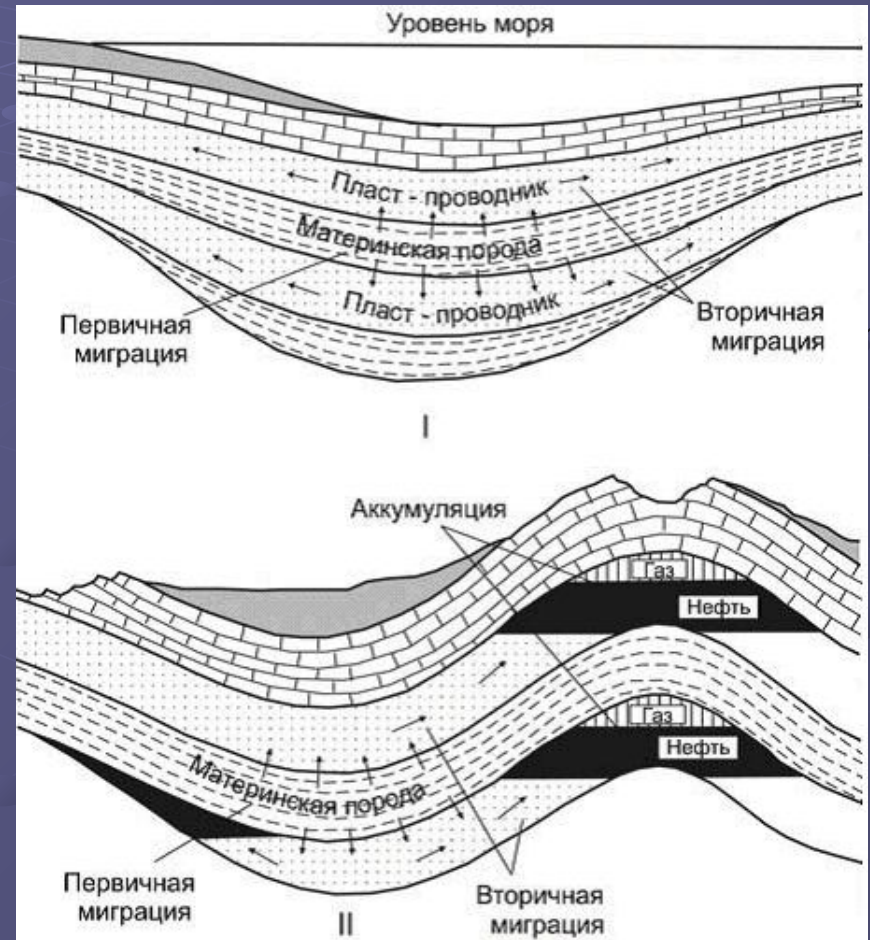


Схема взаимосвязи процессов складкообразования и миграции УВ

# Главное свойство геологического пространства

- *Неоднородность в литологическом (пористость и проницаемость, зависящие от структурно-текстурных особенностей породы) и структурно-тектоническом планах.*
- *Именно литолого-седиментологические и тектонические условия, обуславливающие миграцию нефти и газа, определяют ее пути, места аккумуляции и условия дальнейшего существования УВ в качестве залежей.*

# Понятие «микроневфти»

- **Микро-нефть** – нефть, генерируемая нефтепроизводящей породой;
- Ее количество - **нефтематеринский потенциал** — (количество микро-нефти, которое может генерировать данная порода (свита) за всю геологическую историю).

*Нефтематеринский потенциал породы определяется: содержанием ОВ, его качеством и фациально-генетическим типом.*

---

- Почти все литофациальные типы современных и ископаемых осадков содержат углеводородистое ОВ, обязательным компонентом которого являются битумоиды, содержащие микро-нефть, 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 (их нефтематеринский потенциал)*

**Миграция  
УВ**

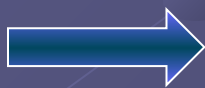


Породы различного состава, обладающие повышенными емкостными и фильтрационными свойствами; анаэробная геохимическая среда;

## Источники преобразования ОВ в УВ

- *Тектонические движения, проявляющиеся в различных формах;*
  - *повышенный тепловой поток;*
- *гравитационные силы, обуславливающие перемещение УВ;*
  - *геодинамическое давление;*
- *гидродинамические процессы, обуславливающие движения флюидов в латеральном и вертикальном направлениях;*
- *капиллярные силы, приводящие к вытеснению УВ водой из мелких пор в крупные;*
- *молекулярные силы, приводящие к диффузии УВ через породы.;*

**Состояние  
ОВ и УВ**






**УВ в свободном и  
водогазорастворенном состоянии**

# Виды миграции


- внутрислостная (внутрирезервуарная);
- межслостная (межрезервуарная);
- молекулярная;
- фазовая;
- первичная;
- вторичная;
- боковая (латеральная);
- вертикальная;
- локальная;
- зональная;
- региональная;
- струйная.



# Виды миграции

- Первичная
  - Вторичная
- 
- (по отношению к нефтегазоматеринским толщам)
- Внутрипластовая
  - Межпластовая
- 
- (по отношению к осадочной толще)
- Латеральная
  - Зональная
  - Региональная
  - Боковая (латеральная) и вертикальная
- 
- (по масштабам проявления)

# Куда идут УВ ?

- Главным образом **вверх** 
- Обычно также имеет место латеральное перемещение, за счет существования наклоненного проводящего пласта
- Отжимание в редких случаях вниз, в нижележащий пласт-коллектор

Распределение нефти внутри материнской породы зависит от гидрофильных и гидрофобных свойств ее частей, т.е. от явлений смачивания и прилипания жидкостей к поверхности частиц горных пород.

Осадочные горные породы - в большинстве гидрофильны. Начальная стадия их образования протекает в условиях водной среды. Частицы осадочных горных пород еще до образования среди них нефти уже бывают покрыты пленкой хорошо смачивающей их воды. Пленка не допускает непосредственного контакта капель образующейся нефти с частицами породы.

Вода, смачивающая **гидрофильную породу**, под действием капиллярных сил втягивается в узкие промежутки между частицами. Нефть занимает крупные промежутки среди воды.

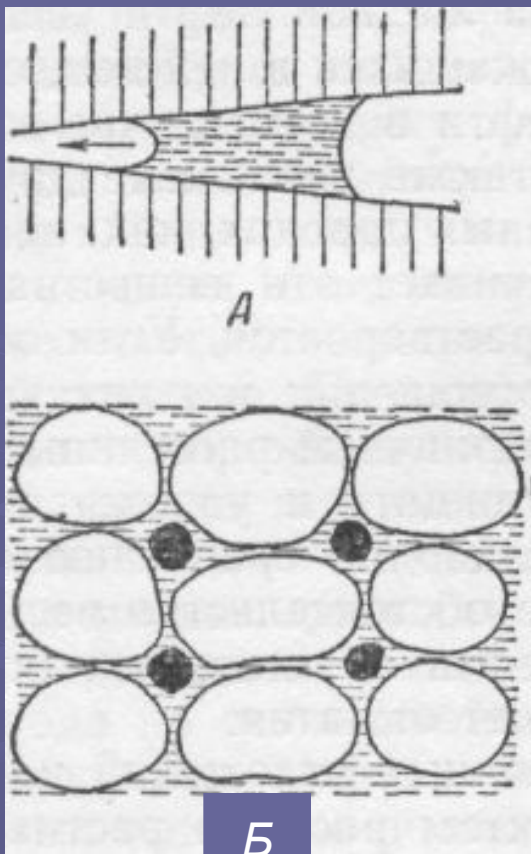
Перемещение нефти *без воздействия* посторонней силы осуществляется из более узкого промежутка в более крупный, так как узкие каналы заняты водой.

**В гидрофобной породе** вода не смачивает поверхность ее частиц. Разница капиллярных сил направлена в сторону расширения промежутка, и капля воды стремится переместиться в более широкую часть пор.

Нефть занимает узкие поры, вытесняя из них воду, и обволакивая частицы породы. Миграция сильно затруднена или может происходить только под воздействием посторонней силы (в результате сжатия глинистой породы).

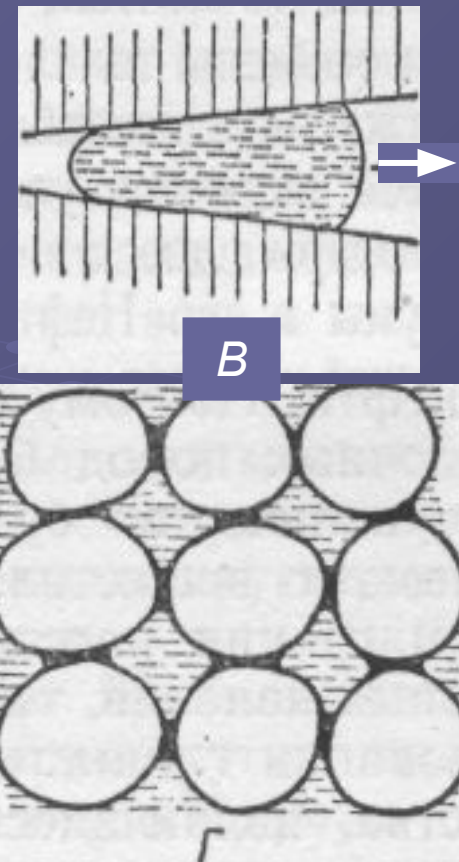
---

По мере уплотнения пород, содержащиеся в них вода, нефть и газ выжимаются в пласты более пористых песчаников и известняков. Благоприятные условия для отжатия нефти создаются при высоком нефтенасыщении и повышенных температурах порядка 100—150°.



Распределение воды и нефти среди **гидрофильных** частиц.

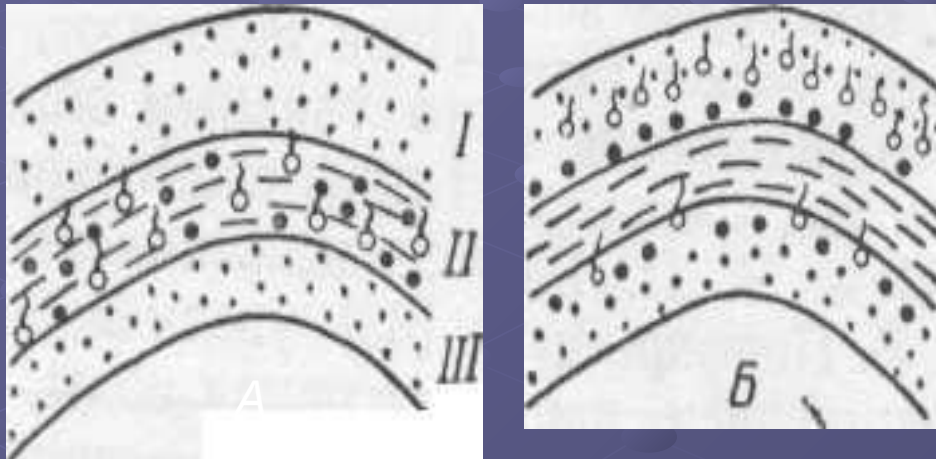
А — капля жидкости, смачивающая поверхность твердого тела; Б — нефть и вода среди гидрофильных частиц; 1—нефть; 2—вода; 3 — направление регулирующих капиллярных сил.



Распределение воды и нефти среди **гидрофобных** частиц.

В — капля жидкости, не смачивающая поверхность твердого тела; Г — нефть и вода среди гидрофобных частиц; 1—нефть; 2—вода; 3 — направление регулирующих капиллярных сил.

- Капельки нефти, не проходящие через узкие участки пор, задерживаются в коллекторе, соединяются между собой, образуя более крупные капли.
- Вода, как жидкость более подвижная, по сравнению с нефтью, может двигаться как по узким, так и по широким частям пор, и будет уходить в другие участки коллектора.



δ 1      • 2      ≡ 3      ≡ 4

Первичная миграция нефти, вытеснение нефти и газа при уплотнении глин.

А – до уплотнения; Б – при уплотнении;

1 – газ; 2 – нефть; 3 – песчаники; 4 – глины

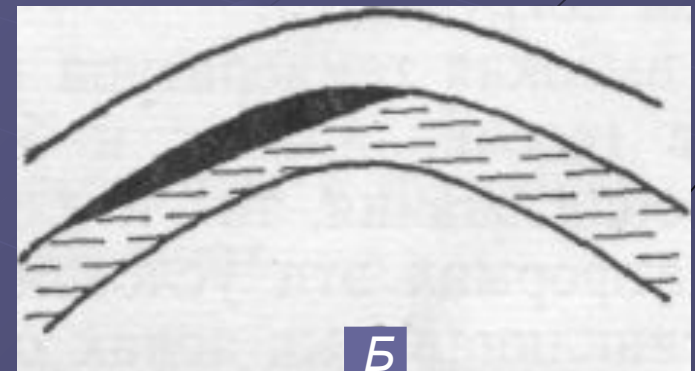
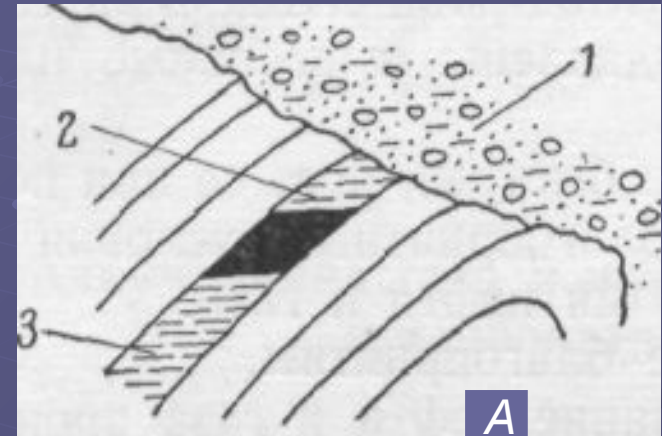
- Место воды занимает нефть и выделившийся из нее газ. По мере выделения новых порций нефти и газа они будут накапливаться в верхних и нижних частях пористых пластов.

## Миграция облегчается, если:

- увеличивается *наклон* пласта коллектора, благоприятствующее всплыванию и продвижению нефти вверх по восстанию пласта;
- если происходит общее *движение* всех флюидов (в т.ч. воды) *по восстанию* пласта;
- если присутствует *газ*, снижающий вязкость нефти и способствующий ее продвижению в ловушки.

# Движению жидких флюидов в пласте препятствуют:

- *встречный* поток воды, создающий гидрогеологический барьер (миграция затрудняется и может вовсе прекратиться (рис. А);
- *капиллярные силы*, особенно в тонких капиллярах диаметром менее 0,05 мм, когда вода гораздо лучше, чем нефть смачивает большинство минералов и, легко поднимаясь по капиллярам, сужает пережимы в поровых каналах (рис. Б);
- *снижение проницаемости* на участках пласта.



Аккумуляция нефти при ее всплывании в ловушках разного типа.



# Первичная

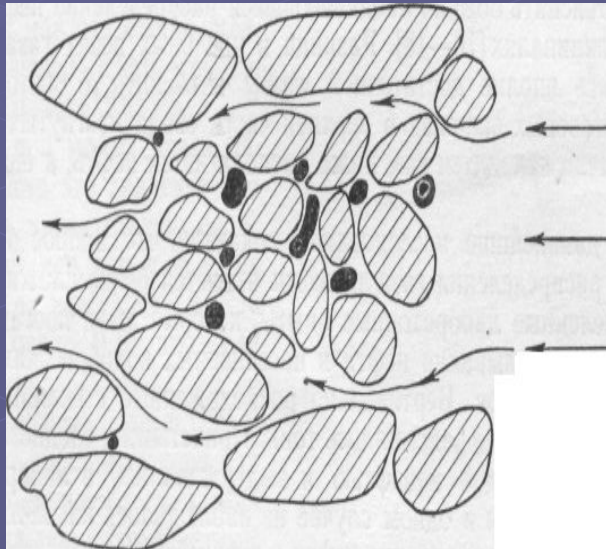
- Первичная миграция (Primary migration) представляет собой совокупность процессов десорбции микронефти от материнского РОВ и передвижения по материнской толще (свите) вплоть до ухода из нее.
- Десорбция микронефти осуществляется на всех стадиях ее созревания, достигая наивысшей интенсивности в период достижения РОВ ГФН. При этом, массовое образование зрелой микронефти сопровождается генерацией значительных количеств газообразных продуктов, возрастанием давления вокруг частиц РОВ и пульсационными выбросами новообразованных продуктов из замкнутого пространства вокруг частиц органики. Все эти процессы обуславливают движение микронефти внутри нефтематеринской породы.

- Основным диагностическим признаком первичной миграции служит появление в породах сингенетичных автохтонных битумоидов, количество которых значительно возрастает на ГФН и характеризует переход породы *из категории нефтематеринских в категорию нефтепроизводящих*.
- Уход микронефти в породу (преимущественно субвертикально) показывает начало собственно миграции нефти

# Вторичная

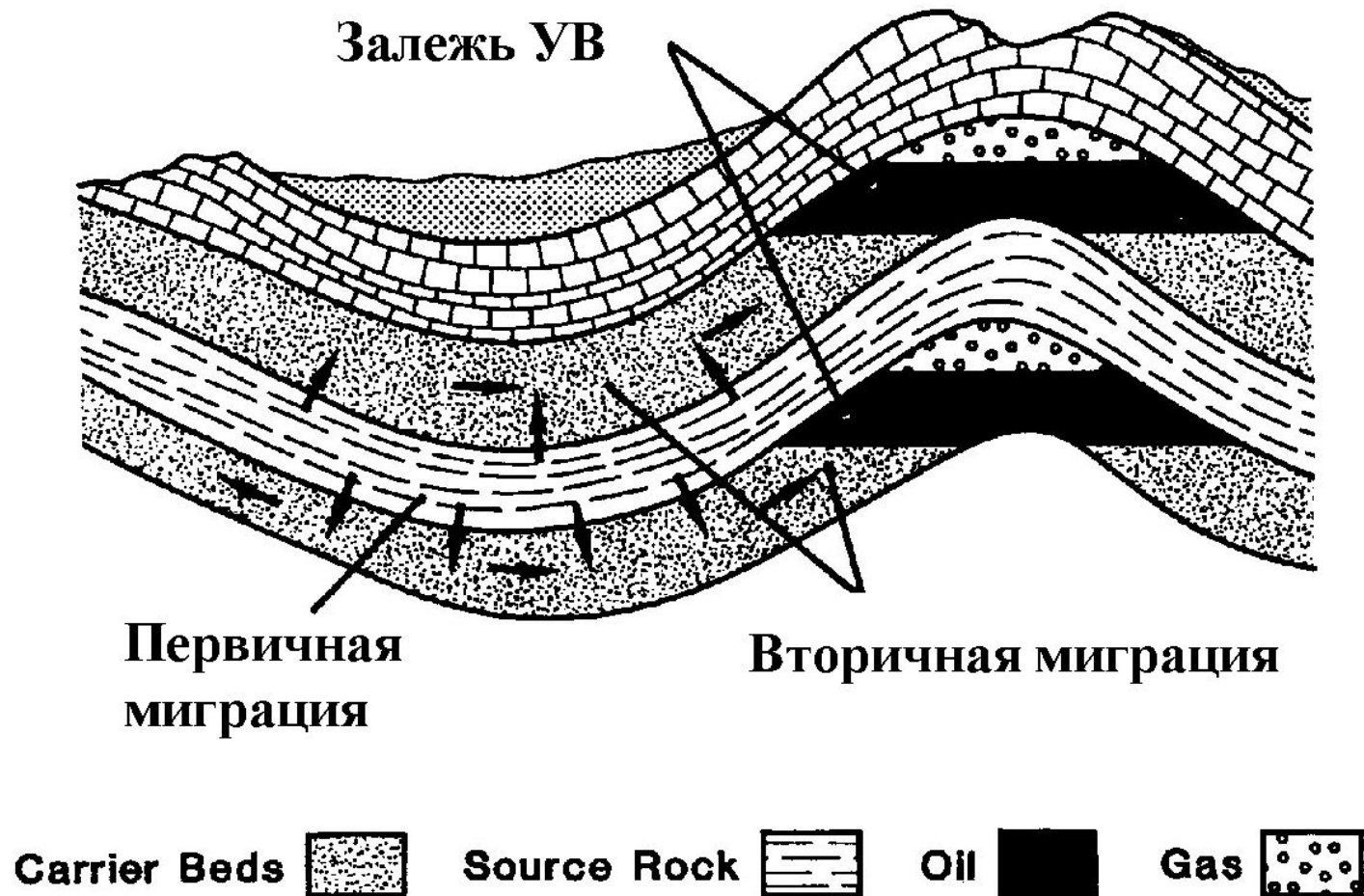
**Вторичная** миграция (Secondary migration) – миграция газа и нефти, протекающая *вне материнских пород* и приводящая как к формированию залежей, так и к их расформированию.

(достаточен наклон пласта 1-2 м/км для всплывания УВ в водонасыщенных породах и их перемещения под действием гравитации)



1 2 3

- гравитационные силы всплывания более легкой нефти в воде (архимедова сила);
- капиллярные силы;
- гидродинамические силы: напор воды;
- гидрохимические силы: напор воды, вызванный различием в минерализации вод;
- геотермические силы: напор воды, вызванный неоднородностью поля температур



*Первичная миграция* представляет собой совокупность процессов десорбции микроневфти от материнского РОВ и передвижения по материнской толще (свите) вплоть до ухода из нее. При переходе нефти из материнских пород в коллектор она может перемещаться по горизонтали или в вертикальном направлении в зависимости от строения вмещающих пород.

# Миграция жидких УВ в водорастворенном состоянии

- Миграция УВ в водорастворенном состоянии требует большого количества воды.
- Основным источником ее являются глинистые толщи, содержащие изначально седиментационную воду и постепенно теряющие ее по мере уплотнения осадка.
- Седиментационная вода глинистых толщ находится в двух состояниях: в свободном (гравитационная вода) и сорбированном
- Небольшое количество воды выделяется при превращении ОВ.
- В принципе, механизм миграции жидких водорастворенных УВ не обеспечивает выделение и перенос их в ловушки в количестве, необходимом для образования видимых скоплений, он приводит лишь к удалению части УВ из материнских толщ, к «промыванию» и соответственно снижению их потенциала.

# Механизм эмиграции

**В истории материнской породы происходит смена механизмов эмиграции жидких УВ:**

*На ранней стадии (начало эмиграции) вынос УВ осуществляется в водорастворенном виде;*

*На уровне зоны генерации жидких УВ (основная стадия эмиграции) преимущественно в свободном состоянии при уменьшающейся роли водного переноса.*

*Глубже (конечная стадия эмиграции) преимущественно в газорастворенном виде при уменьшающейся роли эмиграции в свободном состоянии.*

# Внутрипластовая и межпластовая

- Миграция внутрипластовая (внутрирезервуарная) – миграция, происходящая *в теле осадочной толщи* или одного пласта, осуществляемая по внутренним порам и трещинам.
- Миграция межпластовая (межрезервуарная) - миграция происходящая в теле осадочной толщи или одного пласта, осуществляемая *по разрывным нарушениям и стратиграфическим несогласиям* из одного природного резервуара в другой

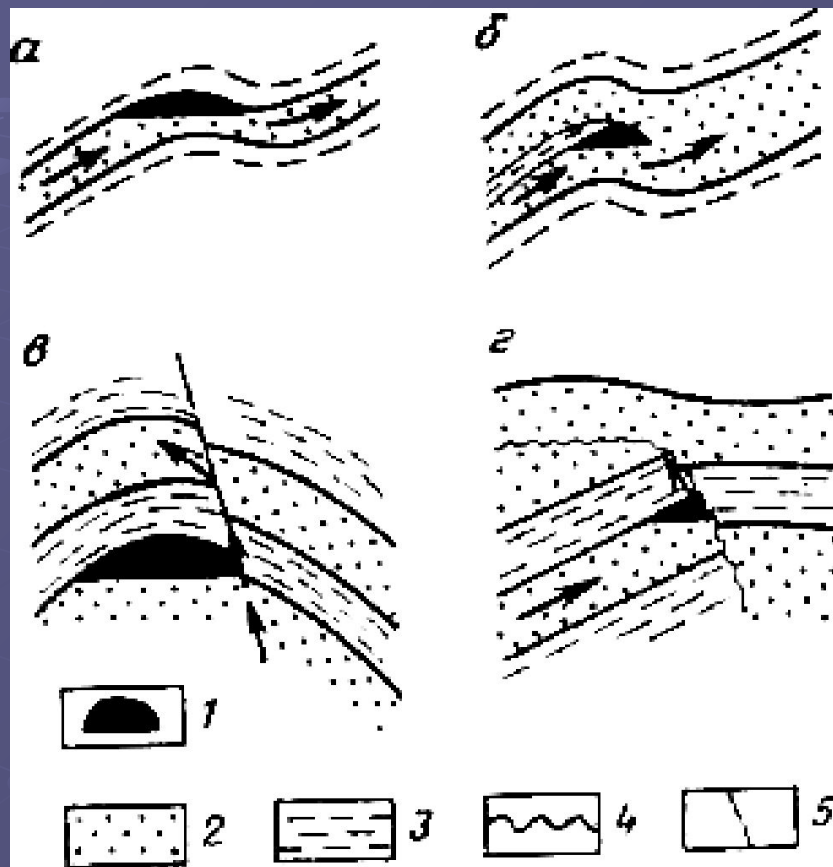


Схема внутрипластовой (а,б) и межпластовой (в,г) миграции

# Боковая (латеральная) миграция:

*происходит*

- по зонам наименьшего фильтрационного или капиллярного сопротивления,*
- по восстанию проницаемого пласта в его кровельной части;*
- по породам, имеющим наибольшую проницаемость до тектонического перегиба (антиклиналь, дизъюнктивное нарушение) или литологического (выклинивание, фациальное замещение) экрана.*



# Латеральная (боковая)

- По масштабам проявления латеральную миграцию разделяют на:
  - локальную (перемещение УВ на небольшие расстояния, контролируемые размерами участка гипсометрического влияния локальной структуры);
  - зональную (соответствующую зоне нефтегазонакопления) и
  - региональную (соответствующую структуре I и более высоких порядков).
- При региональной миграции происходит перемещении УВ из области их генерации на значительные расстояния к зонам нефтегазонакопления. В роли таких зон выступают валообразные поднятия, антиклинальные структуры и т.п.). В результате формируются совокупность месторождений и зон, формирующих нефтегазоносную область или провинцию.

## Латеральная (боковая)

- Миграция УВ осуществляется в разных направлениях - вдоль напластования по латерали – боковая миграция; вертикально к напластованию – вертикальная миграция.
- Главным фактором перемещения УВ является сила тяжести, поэтому УВ практически всегда идут вверх. При наличии вверх по разрезу непрерывной пористой и проницаемой среды она осуществляется субвертикально. В случае наличия надежной по мощности и непроницаемой крышки перемещение нефти и газа будет приобретать сублатеральный характер. Чаще миграция носит смешанный характер (когда зоны вертикальной и латеральной миграции ступенчато чередуются в разрезе).
- Газ, в отличие от нефти, имеющий меньший удельный вес, способен к более быстрому и длительному перемещению.
- Миграция вдоль пласта получает свое наибольшее развитие с началом горообразующих процессов. Движение нефти по пласту продолжается до тех пор, пока она не скопится где-либо в ловушке в виде обособленной залежи. Таким образом, скопление нефти в виде залежи всегда представляет собой вторичное скопление.

# Вертикальная (восходящая) миграция

- - Через слабопроницаемые экранирующие покрышки по зонам повышенной трещиноватости.
- - миграция вкрест напластования (как снизу вверх, так и сверху вниз, в зависимости от местоположения зоны пониженного гидравлического потенциала). Если песчаный пласт, характеризующийся высоким значением величины гидравлического потенциала, расположен в разрезе данного участка выше, чем пласт с пониженным гидравлическим градиентом, движение флюидов будет направлено вниз, в сторону пласта с пониженным градиентом, по любому пути, по которому будет возможно такое движение.
- Различие в гидравлических градиентах разных пластов устанавливается различными методами, в том числе непосредственными замерами пластовых давлений и путем расчетов обычных гидростатических градиентов для этих пластов

*Нефть, которая сформировала залежи в породах, образовавшихся одновременно с нефтью, называется сингенетичной.*

*Сингенетичная нефть известна от кембрия до плейстоцена включительно (первичные залежи);*

*В случае наличия мелкой трещиноватости или крупного нарушения в породах, покрывающих первичную залежь, или в свите, в которой образовались нефть и газ, последние под действием давления перемещаются по трещинам в зоны меньшего давления (вертикальная миграция).*

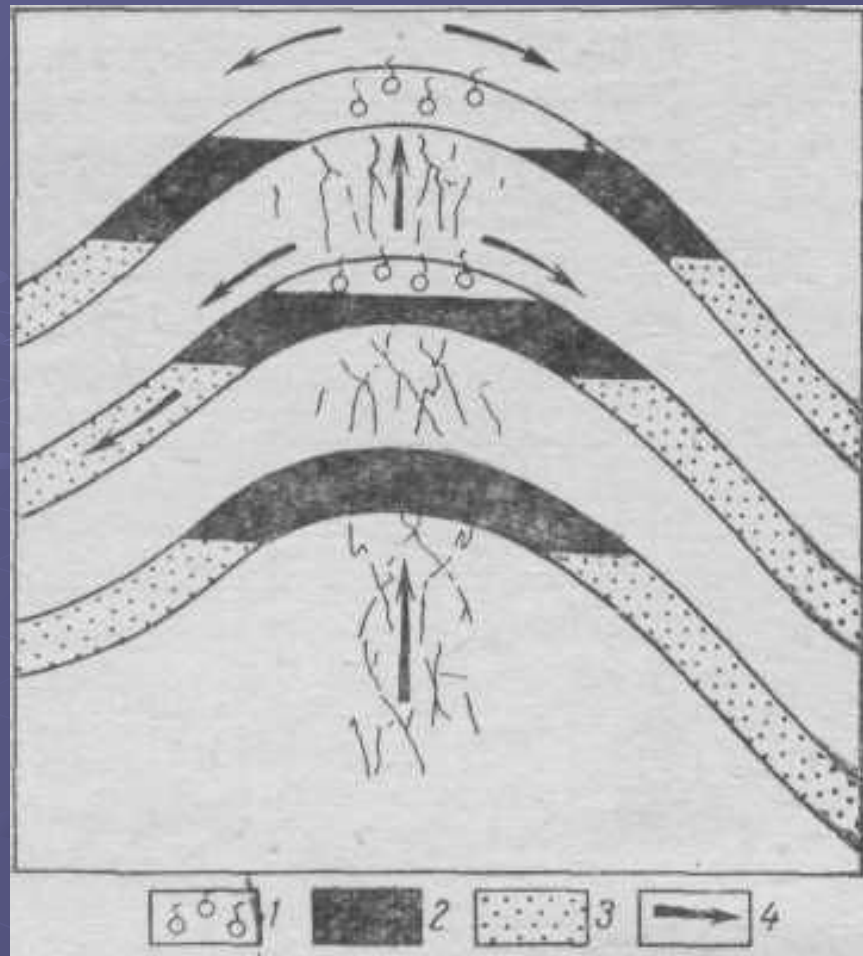


Схема образования нефтегазовых залежей в результате вертикальной миграции газа и нефти.

1 — газ; 2 — нефть; 3 — вода; 4 — направление движения флюидов.

По характеру движения и в зависимости от физического состояния УВ различают три формы миграции: *молекулярная, фазовая и комбинированная.*

- *Молекулярная* миграция характеризует перемещение УВ вместе с водой в растворенном состоянии, в истинных, коллоидных растворах или эмульсиях.
- При *фазовой* миграции происходит перемещение в фазово-обособленном, свободном состоянии и путем диффузии. В последнем случае УВ могут находиться в жидком (нефть) и газообразном (газ) состоянии.
- При *комбинированной* миграции перемещение УВ осуществляется в виде парообразного газонефтяного или газоконденсатного растворов.
- В ходе миграции эти формы в зависимости от изменения термобарических условий меняются, переходя одна в другую.
- Газ, из водорастворенного состояния выделяется в свободную фазу; газоконденсатная система распадается на газовую и жидкую (дериватная нефть) фазы; смешение в определенных соотношениях свободных нефти и газа приводит к образованию газоконденсатной системы. Одновременно происходит изменение свойств мигрирующих компонентов, что также влияет на изменение формы и скорости их миграции.

# Струйная миграция

- Струйная миграция – миграция УВ в свободном состоянии.
- Встречается не часто и характерна для условия переформирования скоплений нефти и газа.
- Условиями возникновения такого вида миграции являются глинистые толщи значительной мощности по сравнению с породами коллекторами. При интенсивной генерации нефти и газа в таких отложениях, избыток УВ, образующийся после полного насыщения воды, может привести к возникновению струи нефти или газа, которая будет перемещаться уже в свободном состоянии к зонам нефтегазонакопления

# Факторы обуславливающие миграцию УВ

- *Причины и движущие силы, обуславливающие процессы генерации, первичной миграции (эмиграции), миграции, аккумуляции и разрушения залежей УВ и определяющие характер этих процессов носят название факторов нефтегазоносности:*
  - силу тяжести;
  - геостатическое, геодинамическое и гидростатическое давления;
  - температура;
  - уплотнение пород;
  - гидравлика;
  - физико-химическое взаимодействие горных пород с РОВ;
  - подземными водами и газами

# Уплотнение пород

- Решающий фактор для первичной миграции. При уплотнении осадочных пород уменьшение объема их пустотного пространства (увеличение ее плотности) происходит за счет сближения осадочных зерен, слагающих породу, а также заполнения пустот в результате образования новых минералов, перекристаллизации ранее существующих минералов и механического перераспределения материала в процессе пластической деформации.
- Основную роль при уплотнении пород играет вес вышележащих толщ. Различие коэффициентов уплотнения пород разного литологического состава способствует отжатию поровых седиментационных вод (элизионный водообмен) с растворенными УВ из областей большего уплотнения (пелитовые породы) в области меньшего уплотнения (песчаники, карбонаты и т.п.).



- Особую роль в процессе механического уплотнения глин и отжатия флюидов при миграции нефти играет то обстоятельство, что скорость уплотнения равномерно снижается по мере погружения пород на большие глубины. С погружением породы все более нагреваются, что обуславливает увеличение объема нефти и газа и тем самым способствует их перемещению. Движение УВ может активизироваться также в результате увеличения давления вследствие образования больших объемов новых веществ. При погружении пород на большие глубины усиливается генерация газа, и первичная нефть выносится им из материнских пород в виде газового раствора, что доказано экспериментальными исследованиями

- Донные пелитовые отложения имеют очень высокую первоначальную осадочную пористость (70-80 %). По мере их накопления происходит уплотнение расположенных ниже слоев и выжимание, содержащейся в них воды.
- Песчаные и карбонатные породы, имеющие жесткий структурный скелет, уплотняются менее значительно.
- Между поровым пространством глинистых пород и порово-трещинным пространством более жестких, проницаемых терригенных пород создается перепад давления. Чем больше опускаются на глубину породы, тем больше перепад давления, который может достигь 80 – 100 ат. на глубине 1000 м. Образовавшиеся в стадию диагенеза нефтяные УВ ("юная" нефть) выжимаются из осадков вместе с водой.

# Стадии выделения воды и уплотнения глин

- **Первая стадия** наиболее активного выжимания воды (до глубин 800—1000 м) приходится на диагенез и приводит к снижению пористости глины от 60 до 15%. В течение этой стадии теряется около 80 % свободной воды глин.
- Ниже следует **вторая стадия** более замедленного ухода изначально свободной воды (800-2500м). Пористость глин снижается с 15 до 5%
- Выделение десорбированной воды. Уплотнение глин на **третьей** стадии происходит весьма замедленно при значениях пористости менее 5%.

# Диффузия

- Диффузия представляет собой один из механизмов взаимного проникновения молекул одного вещества в другое вследствие разности концентраций и стремления выравнить их.
- Диффузия играет существенную роль в первичной миграции и в формировании фазы свободных углеводородных, выделившихся из водорастворенного состояния.
- Диффузия УВ всегда происходит в направлении областей меньших концентраций. Поэтому наличие диффузионного потока над скоплениями УВ в земной коре приводит скорее к разрушению залежей и рассеиванию УВ. В некоторых благоприятных условиях (наличие мощных соленосных покрышек) не исключена возможность сбора диффундирующих УВ в других толщах и формирование новых скоплений.

# Гравитационный фактор

- При вторичной миграции нефть и газ, попадая в коллектор, заполненный водой, стремятся занять наиболее высокое положение, иначе говоря, перемещаются вертикально вверх.
- Миграция флюидов по пластам-коллекторам в значительных масштабах становится возможной при наличии наклона пласта и перепада давления.
- Наклон пласта 1 - 2 м/км создает достаточные условия для перемещения нефти и газа под действием гравитационных сил, выражающегося во всплывании их в водонасыщенных породах.
- Благодаря гравитационному фактору возможно накопление нефти и газа в ловушках.

# Гидравлический фактор

- Сущность действия гидравлического фактора заключается в том, что вода при движении в пластах-коллекторах увлекает за собой пузырьки газа и капельки (пленки) нефти. Миграция нефти и газа вместе с водой может происходить и в сорбированном (водой) состоянии - это одна из наиболее распространенных форм их перемещения в хорошо проницаемых породах (внутрирезервуарная миграция).
- В процессе движения воды нефть и газ могут образовывать самостоятельные фазы. Дальнейшее перемещение выделившихся из воды нефти и газа происходит за счет гравитационного фактора в виде струй по приподнятым частям валообразных поднятий. Таковы основные факторы миграции нефти и газа в коллекторах с хорошей проницаемостью.
- В плохо проницаемых породах (алевролитах и глинах) основным фактором миграции является избыточное давление в подстилающих газонасыщенных толщах, обуславливающее диффузию газа.

# Гидротермальный фактор

- Количество воды, отжимаемой при уплотнении, с глубиной погружения уменьшается. Благодаря пластовым температурам, увеличивающимся с глубиной, объем воды возрастает. Такое явление служит благоприятным фактором для миграции УВ на значительных глубинах.
- Гидротермальная модель с наиболее *открытой* системой пор, характерна для нормальных и смешанных фаций морского мелководья. Если поровые флюиды более *изолированы*, как в случае недоуплотненных фаций, то жидкость не может свободно расширяться и давление ее будет возрастать.
- Процесс миграции флюидов под влиянием гидротермальных условий протекает направленно от разогретых участков к холодным, *от погруженных толщ в сторону неглубокозалегающих и от центра бассейна к его периферийным участкам*. Роль гидротермального фактора сводится к усилению процесса *сжатия потока флюида при погружении*.

# Осмотические процессы

- Под термином «осмос» понимают *процесс перемещения молекул растворителя через слабопроницаемую (непроницаемую для молекул растворенного вещества) перегородку под влиянием разности концентраций* растворенного вещества по обе стороны от перегородки.
- Роль полупроницаемых перегородок, создающих предпосылки для осмотических процессов, выполняют некоторые *глинистые породы*, имеющие субкапиллярные поры.
- Во многих осадочных бассейнах минерализация пластовых вод возрастает с глубиной или с ростом уплотнения пород. Эти величины минерализации обычно выше, чем минерализация морской воды (около  $35 \times 10^{-3}$ ). В недоуплотненных зонах минерализация ниже, чем в зонах нормального и смешанного уплотнения. Основной причиной таких колебаний минерализации считают фильтрацию ионного обмена глинами.
- Ионная фильтрация глинами и глинистыми сланцами прослеживается лабораторными методами. И те, и другие породы отфильтровывают соли из раствора, значит флюиды, проходящие через глинистые породы должны быть более пресными, чем первичный раствор. *Минерализация* меняется обратно пропорционально по отношению к пористости глинистых сланцев, т.е. она *возрастает по мере уменьшения пористости*.



# Масштабы, направления и скорости миграции

- Расстояния, направления и скорости миграции УВ зависят от их состояния и геологической обстановки формирования залежей. Нефть при своем движении выбирает линии наименьшего сопротивления, по которым и будет мигрировать.
- По масштабам движения (расстояниям) миграция делится на *региональную и локальную*.

# По масштабам:

- *Региональная миграция* контролирует соотношения в пространстве зон нефтегазообразования и зон нефтегазонакопления;
- *Локальная миграция*, контролирует отдельные структуры и различные осложнения (разрывные смещения, литологические и стратиграфические экраны).

*Максимальные расстояния, на которые мигрирует газ вместе с пластовыми водами, соизмеримы с протяженностью артезианских бассейнов и могут достигать нескольких сот километров (Амударьинской НГБ, Западно-Сибирской НГБ).*

# Масштабы, направления и скорости миграции:

1. В хорошопроницаемых породах миграция УВ происходит в сорбированном состоянии; и вместе с капельками воды в движение увлекаются и капельки нефти;
2. В плохопроницаемых породах (алевролиты и глины), миграция осуществляется за счет избыточного давления в подстилающих газонасыщенных толщах, обуславливающих диффузию газа.

## 3. Скорость миграции составляет:

при первичной миграции = скорости воды;

при вторичной миграции = скорости пластовых вод, в которой растворены УВ;

при диффузионном массопереносе во всех направлениях = наименьшие скорости (на расстоянии не более 10 км);

миграция УВ в свободном состоянии = наибольшие скорости, при этом скорость движения газа может составить 1 м/год при угле наклона 1 градус;

- Среди исследователей нет единого мнения в отношении времени проявления и длительности региональной миграции УВ. Процесс этот весьма сложный и зависит от конкретных геологических условий.
- В одних районах может быть относительно кратковременным (единицы миллионов лет), а в других - весьма длительным (десятки или даже сотни миллионов лет).
- Время проявления региональной миграции и ее длительность обуславливаются, прежде всего, историей тектонического развития региона.

- При вертикальном (межпластовом) перетоке газа и нефти по разрывным смещениям из нижележащей залежи или при латеральной миграции их из одной ловушки в другую (в том же природном резервуаре) расстояния миграции будут контролироваться той геологической обстановкой, в которой осуществляется перемещение струи газа и жидкой нефти. Они будут зависеть от мощности толщи пород, которая отделяет первичную залежь (нижележащую) от вторичной (образованной в результате вертикального перетока), либо будут определяться расстояниями, отделяющими смежные ловушки одного и того же резервуара.
- Вторичная миграция в зависимости от конкретных геологических условий может или следовать за первичной, или отставать от нее на значительные промежутки времени (иногда на десятки миллионов лет).

# Закономерность тектонического плана

*На платформенных территориях преобладает латеральная миграция УВ. Роль вертикальной миграции не столь значительна.*

*В геосинклинальных областях, предгорных прогибах с широким развитием диапиризма, дизъюнктивных дислокаций, грязевого вулканизма, солянокупольной тектоники большая роль принадлежит вертикальному перемещению флюидов.*

# Дальность миграции

*Необходимое условие миграции – непрерывное питание миграционных струй УВ-ми за счет миграции их из материнских толщ.*

*В среднем составляет не более 100-150 км. В ряде случаев до 380 км. Газ до 340 км.*

# Миграционные потери

- *В процессе миграции происходят потери УВ,*
- *В ловушку поступает лишь их часть.*
- *Потери складываются из:*
  - *1. УВ, сорбированных по пути миграции;*
  - *2. УВ растворенных в воде и истраченных на создание «мертвой» насыщенности;*
  - *3. Захваченных микро-ловушками и рассеянных при пересечении разрывных зон, диффузно рассеянных, израсходованных на восстановление соединений минеральной среды, окисленных до потери подвижности.*

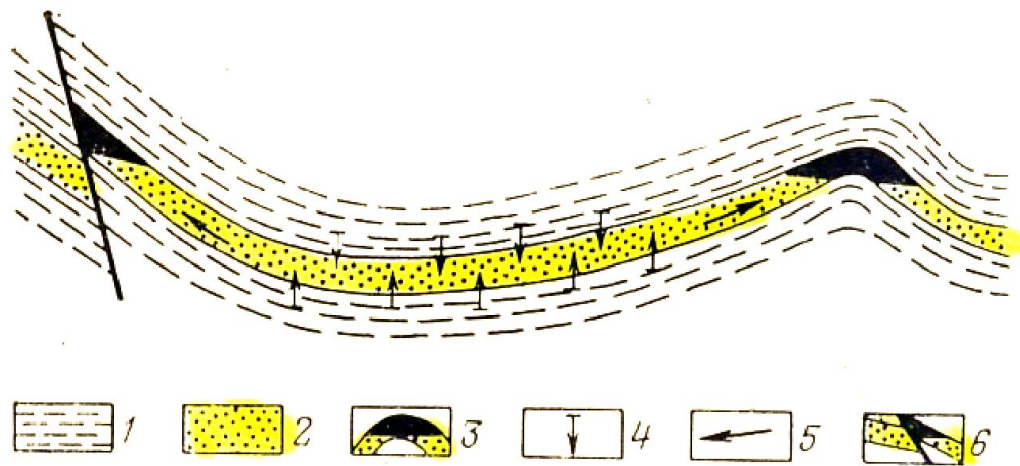


# УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

не столько геологическое явление, сколько физико-химическое, связанное с такими процессами как:

- растворимость природных флюидов, прямая и обратная, в условиях меняющихся температуры и давления в неоднородно-пористой среде;
- фильтрация несмешивающихся флюидов в неоднородно-проницаемой среде при меняющихся температуре и давлении;
- сорбционные явления, сопровождающие фильтрацию флюидов;
- гравитационное расчленение флюидов в пористой среде;
- химические превращения нефти и газа в процессе длительного нахождения в меняющихся термобарических условиях и т. д.

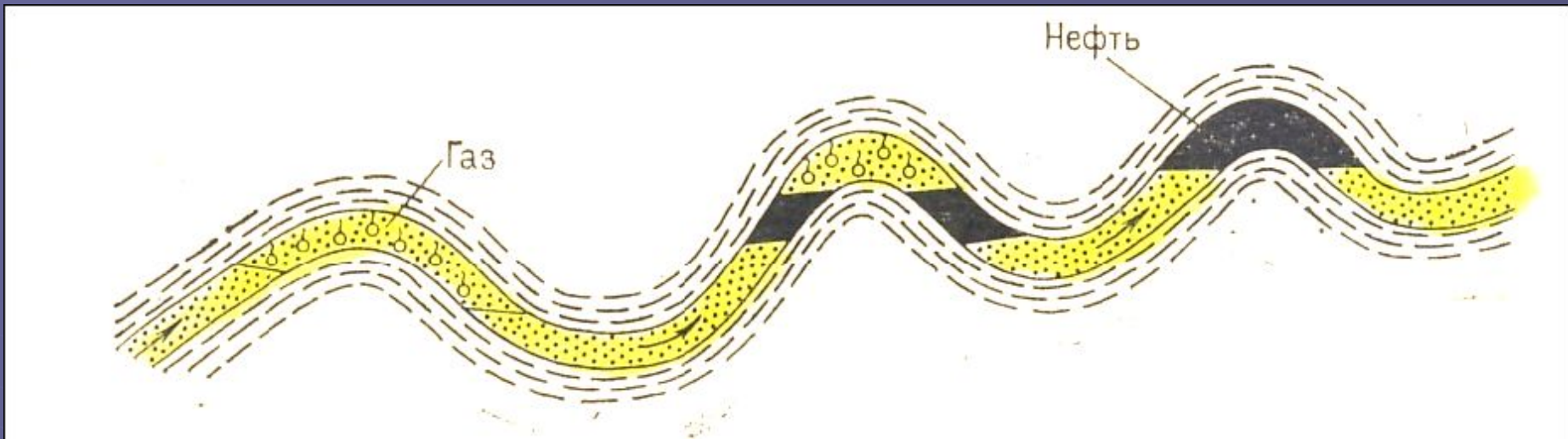
**Некоторые из этих процессов вообще плохо изучены в фундаментальных науках.** 57



Механизм формирования скоплений нефти и газа  
 1- глинистые породы;  
 2- коллектор; 3- залежь нефти; 4-направление первичной миграции УВ;  
 5 – направление вторичной миграции УВ;  
 6 – тектонический экран.

- Нефть и газ при миграции в свободной фазе перемещаются в пласте-коллекторе в направлении максимального угла восстания пласта. В первой же ловушке, встреченной мигрирующими газом и нефтью, будет происходить их аккумуляция и в результате образуется залежь.
- Если нефти и газа достаточно для заполнения целого ряда ловушек, лежащих на пути их миграции, то первая ловушка заполнится газом, вторая может быть заполнена нефтью и газом, третья - лишь нефтью, а все остальные, расположенные гипсометрически выше, могут оказаться пустыми (содержать воду). В этом случае происходит так называемое *дифференциальное улавливание* нефти и газа.

- Миграция нефти и газа в свободном состоянии может осуществляться не только внутри пласта-коллектора, но и через разрывные смещения, что также приводит к формированию залежей. Если в пласте-коллекторе происходит движение нефти с растворенным в ней газом, то на больших глубинах ловушки будут заполнены нефтью (и растворенным в ней газом). После заполнения этих ловушек нефть будет мигрировать вверх по восстанию пластов.
- На участке, где пластовое давление окажется ниже давления насыщения, газ будет выделяться из нефти в свободную фазу и поступать вместе с нефтью в ближайшую ловушку. В этой ловушке может образоваться нефтяная залежь с газовой шапкой, или, если газа будет много, она заполнится газом, а нефть будет вытеснена им в следующую гипсометрически выше расположенную ловушку, которая будет содержать газонефтяную или нефтяную залежь. Если нефти или газа не хватит для заполнения всех ловушек, то наиболее высоко расположенные из них будут заполнены только водой.
- Таким образом, дифференциальное улавливание нефти и газа имеет место при формировании их залежей только в тех случаях, когда движение и нефти, и газа осуществляется в свободной фазе.



*Схема размещения залежей нефти и газа согласно принципу дифференциального улавливания УВ*

- Формирование газовых залежей за счет газа, прежде растворенного в воде, а затем выделившегося в свободное состояние, в результате восходящих тектонических движений, охвативших данный регион, будет происходить во всех ловушках, расположенных в этом регионе, если пластовое давление в них окажется меньше давления насыщения

- Формирование залежей происходит не только при латеральной (внутрирезервуарной) миграции газа и нефти. Аккумуляция УВ имеет место и при вертикальной (межрезервуарной) их миграции. В латеральном и в вертикальном направлениях УВ могут мигрировать в рассеянном виде.
- Скорость накопления нефти в ловушках составляет от 12 до 700 т/год, а продолжительность формирования нефтяных залежей 1-12 млн. лет.
- Процессы миграции и аккумуляции нефти и газа происходят в изменяющейся геологической обстановке. В одних случаях формируются первичные залежи - из рассеянных углеводородов, в других вторичные - за счет УВ расформировавшихся первичных залежей.

- Определение времени образования залежей УВ вызывает затруднения прежде всего из-за сложности установления времени конца формирования залежи.
- За начало образования залежи можно принять время формирования ловушки, за конец образования скопления - время прекращения поступления УВ в ловушку или время замедленного поступления их, соизмеримого со скоростью разрушения скопления (т. е. объем скопления не увеличивается).

Это может быть вызвано изменением структурного плана района ловушки (изменение наклона толщи, несущей углеводороды), отсечением ловушки от материнской толщи разрывом, истощением потенциала материнской толщи и т. д.

- Образовавшаяся залежь нефти (газа) испытывает неоднократные поднятия и последующие погружения, и, таким образом, ее современный вид может быть следствием нескольких фаз накопления (при погружении) и частичного разрушения (при значительном поднятии).
- Существуют следующие основные методы определения времени формирования залежей нефти:
  - палеоструктурный метод,
  - метод давления насыщения,
  - минералогический метод,
  - историко-геохимический метод,
  - газонефтехимический метод,
  - объемный метод,
  - гелий-аргоновый метод.

# УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

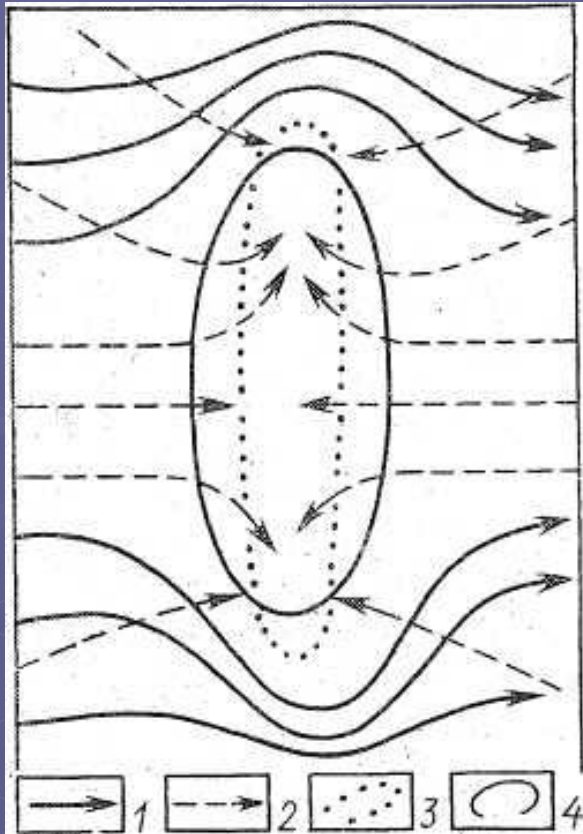


Схема движения воды и УВ в сводовой ловушке в процессе формирования залежи. Направление движения: 1 — воды, 2 — УВ положение залежи: 3 — начальное, 4 — конечное (современное)

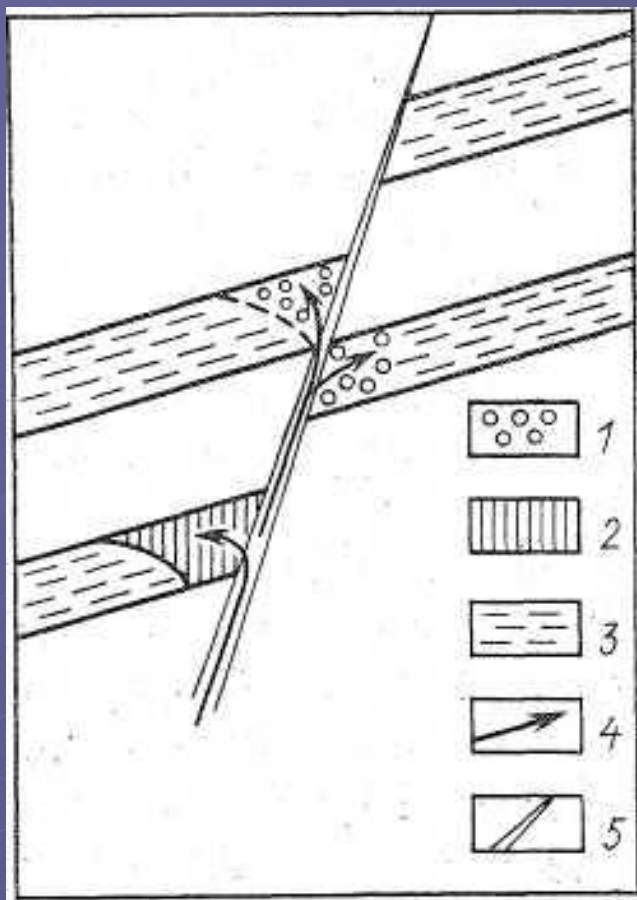
Начальное образование скоплений УВ происходит в результате перехвата ловушками миграционных струй УВ.

В антиклинальной (сводовой) ловушке залежь формируется за счет ручейкового поступления УВ по периметру свода в кровлю коллектора:

- УВ первоначально распределяются в кровле коллектора и вытягиваются по шарниру антиклинали (вдоль наименьших углов наклона кровли коллектора),
- потом постепенно оттесняют воду коллектора вниз по мощности пласта, а далее вниз по падению



# Образование залежей нефти и газа в присводовой зоне



Тектонически-  
экранированные залежи  
1 — газ; 2 — нефть; 3 — вода; 4  
— направление миграции УВ; 5  
— нарушение

Формирование скоплений УВ при их вертикальной миграции по проводящему разрыву возможно лишь при условии, что разрыв где-то наверху замыкается, т. е. представляет собой как бы вертикально расположенную «ловушку».

Вероятно, первоначально в такой «ловушке» происходит кратковременное накопление УВ, вверху газовых, ниже жидких с последующим распределением их сверху вниз между примыкающими к «ловушке» коллекторами. На каком-то этапе разрыв должен полностью замкнуться, т. е. лишиться проводящих свойств и превратиться в экран для сформировавшихся примыкающих к нему залежей.

# Многозалежные месторождения

- *При переслаивании материнских толщ и коллекторов;*
- *В результате вертикальной миграции УВ из материнской толщи, расположенной ниже ныне продуктивной толщи;*
- *В результате перетока нефти из залежей по разрывам или при местных прорывах УВ сквозь покрышки.*
- Определить однозначно, как образовалось многозалежное месторождение, весьма трудно. Возможно участие в образовании залежей одного месторождения всех трех процессов.
- Первый вариант образования многозалежных месторождений наиболее вероятен для продуктивных толщ типа «коллектор в материнской толще».

# Признаки образования многозалежных месторождений за счет материнских пород

- *слабая нарушенность структур месторождений сбросами;*
- *различие состава и свойств нефтей в пределах месторождения, обусловленное разными глубинами образования жидких и газообразных УВ;*
- *различное положение водонефтяных контуров залежи*

# Признаки образования многозалежных месторождений за счет вертикальной миграции УВ

- *значительная нарушенность структур месторождений сбросами;*
- *принципиальное сходство состава и свойств нефтей;*
- *закономерное увеличение площадей залежей снизу вверх, отражающее последовательность образования залежей через разрыв.*

# Разрушение залежей УВ

- Скопления нефти и газа, образованные в результате миграции и аккумуляции их в ловушках, в последующем могут быть частично или полностью разрушены под влиянием тектонических, биохимических, химических и физических процессов.
- Некоторые факторы, вначале обуславливающие формирование залежей, со временем начинают играть отрицательную роль, приводя к их разрушению.

# Разрушение залежей УВ

- Тектонические движения могут привести к исчезновению ловушки вследствие ее наклона или образования дизъюнктивного нарушения, тогда нефть и газ из нее будут мигрировать в другую ловушку или на поверхность. Если в течение продолжительного времени крупные территории испытывают восходящие движения, то нефте-газосодержащие породы могут быть выведены на поверхность и эродированы.
- Биохимические реакции при наличии разлагающих УВ бактерий и химические процессы (окисление) также могут привести к уничтожению скоплений нефти и газа.
- Диффузионные процессы с момента возникновения скоплений УВ действуют в направлении их рассеивания, в особенности газа.

- Многими исследователями при изучении механизма формирования локальных структур методом палеотектонического анализа в ряде регионов отмечено, что вследствие дифференцированных подвижек блоков фундамента на отдельных этапах развития некоторые локальные структуры раскрывались.
- При этом, залежи нефти и газа, содержащиеся в ловушках древнего заложения, развивавшихся одновременно с осадконакоплением, в результате изменения прежнего структурного плана подвергались частичному или полному разрушению или переформированию.
- При раскрытии ловушек УВ начинают перемещаться вверх по восстанию слоев, пока не встретят на своем пути новые герметичные структурные или другие формы, способные играть роль ловушек. Если они будут выходить на поверхность, то в результате разрушения нефти (окисления и испарения легких фракций) формируются скопления асфальта.

- Разрывные нарушения и эрозионные процессы, обуславливающие выходы пород, содержащих нефть и газ, на дневную поверхность также способствуют разрушению залежей
- *(Апшеронский полуостров, в Западной Туркмении, на Сахалине, на о-ве Тринидад .....как свидетельства значительных масштабных разрушений бывших местоскоплений нефти )*



*В ряде случаев причиной разрушения залежей нефти и газа является гидродинамическая активность подземных вод, вымывающих УВ (особенно нефть).*