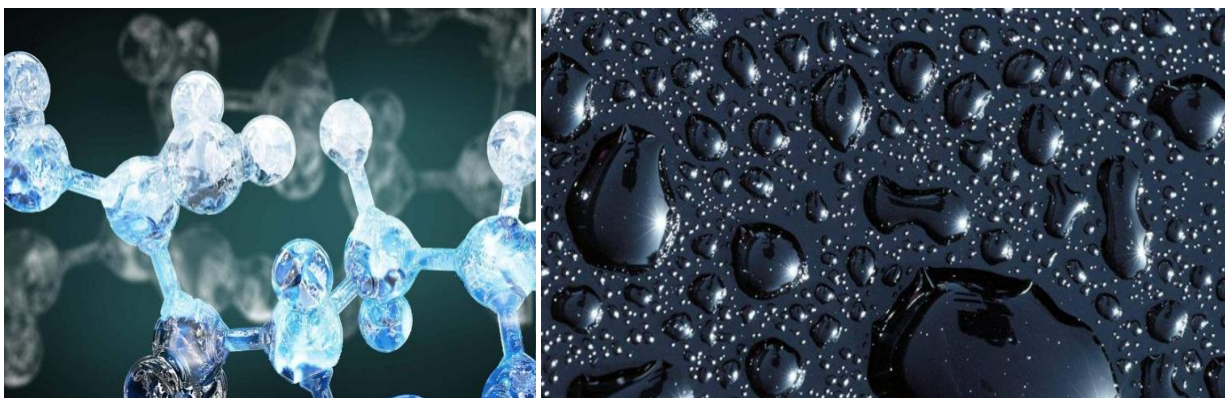


ГЛАВА 1. ПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

Существуют две основные и общепринятые теории для объяснения происхождения нефти – **органическая** (organic) и **неорганическая** (inorganic).

Неорганическая теория предполагает, что углерод и водород соединились вследствие высокого давления и температуры глубоко под землей, и, таким образом, образовывали нефть и газ, которые затем находили проходы в **пористых породах** (porous rocks) и попадали в **естественные ловушки** (natural traps) в подземных **пластах** (formations).



Более широко распространена органическая теория, согласно которой, большая часть **углеводородов** (hydrocarbons) образовалась из останков растений и животных, которые жили в морях или реках.



Миллионы лет реки несли в моря массы грязи, тины и песка. Развивалась растительная и животная жизнь, продукты которой с тиной и грязью участвовали в круговороте веществ. В течение разных геологических эпох, каждая из которых продолжалась сотни тысяч лет, горы разрушались под воздействием эрозии, обломки уносились реками в моря, и массивы земли поглощались океаном. Горы, сформировавшиеся в течение одной геологической эпохи, покрывались горами другой геологической эпохи.

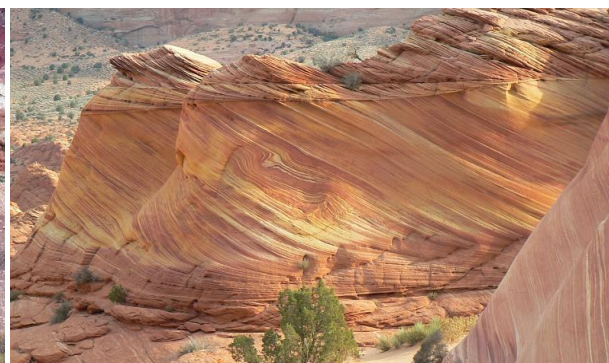


НАКОПЛЕНИЕ

Органические вещества (organic matter), уносимые водами, оседали на дне морей. Количество органического материала, который аккумулировался в одну массу, зависело от условий каждой геологической эпохи. Массивные толщи воды и длительные периоды непрерывных условий означали, что накопление органических веществ будет значительным. Короткие периоды непрерывных условий означали, что накопление органических веществ будет небольшим. Сегодня – это нефть и газ, которые мы добываем, а толщина **продуктивной зоны** (pay zone) – это толщина первоначального количества органического вещества.



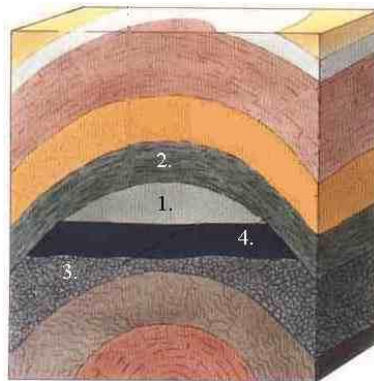
Может быть, миллионы лет спустя, когда условия изменились, другие материалы оказались сверху накоплений органических веществ. Они могли быть новым типом растительной или животной жизни, песком, принесенным водой, или пылью и грязью. Толщина нового слоя **отложений** (depositions) полностью зависела от продолжительности специфических условий определенного периода.



Миграция нефти и газа из области их формирования в те места, где они находятся сейчас, была как вертикальной, так и горизонтальной. Это связано с тенденцией нефти и

газа подниматься через толщу воды, которая заполняла свободные пространства пластовых отложений во время их первоначального формирования.

Поскольку газ легче, чем нефть, а нефть легче, чем вода, нефть и газ поднимаются вверх. Это движение продолжается, пока они не дойдут до плотной, **непористой породы** (tight rock), которая не даст нефти и газу мигрировать дальше. Нефть и газ оказываются в ловушке и формируют коллекторы, из которых мы сегодня добываем нефть.



Нефтяной коллектор:

1 – газовая шапка; 2 – покрывающая порода; 3 – проницаемая порода; 4 – нефть.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОД

Земная кора сложена из горных пород, которые по происхождению делятся на три группы: магматические, осадочные и метаморфические.

Магматические породы (igneous rocks) образовались в результате застывания магмы и в основном имеют кристаллическое строение. Животных и растительных остатков в них не содержится. Типичные представители магматических пород – базальты и граниты.



Магматическая порода

Осадочные породы (sedimentary rocks) образовались в результате осаждения органических и неорганических веществ на дне водных бассейнов и поверхности материков. В свою очередь они делятся на обломочные и карбонатные породы, а также породы химического, органического и смешанного происхождения.

- **Обломочные породы** (clastic rocks) образовались в результате отложения мелких кусочков разрушенных пород. К ним относятся валуны, галечники, гравий, пески, песчаники, и т.д.



Обломочная порода

Карбонатные породы (carbonate rocks), например, **известняки** (limestones), образовались из скелетных останков древних коралловых рифов и других организмов.



Карбонатная порода

Метаморфические породы (metamorphic rocks) образовались из магматических и осадочных пород под воздействием высоких температур и давлений в толще земной коры. К ним относятся сланцы, мрамор, яшмы и т.д.



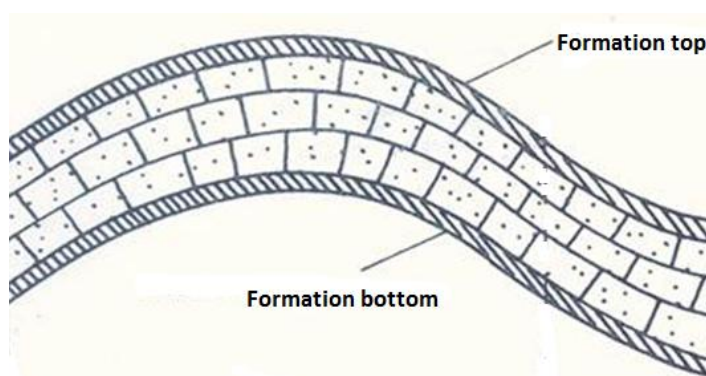
Метаморфическая порода

Основные известные месторождения нефти и газа сосредоточены в осадочных породах. Осадочные породы встречаются в пониженных местах континентов и в морских бассейнах.



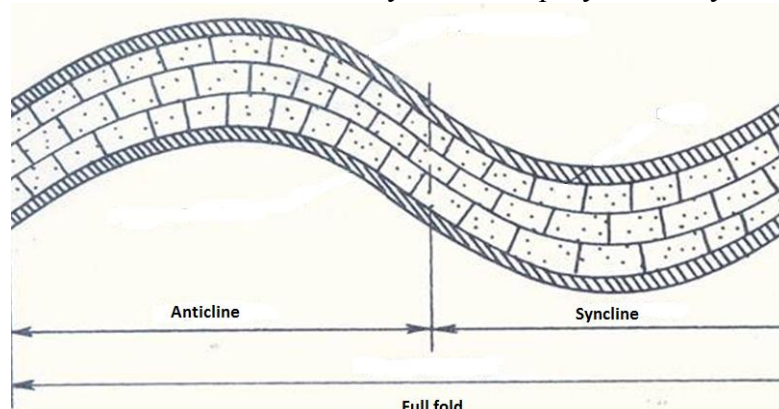
Осадочная порода

Характерным признаком осадочных пород является их **слоистость** (stratification). Эти породы сложены из **пластов** (formations), отличающихся друг от друга составом, структурой, твердостью и окраской. Поверхность, ограничивающая пласт снизу, называется **подошвой** (bottom), а сверху – **кровлей** (top).



Складка

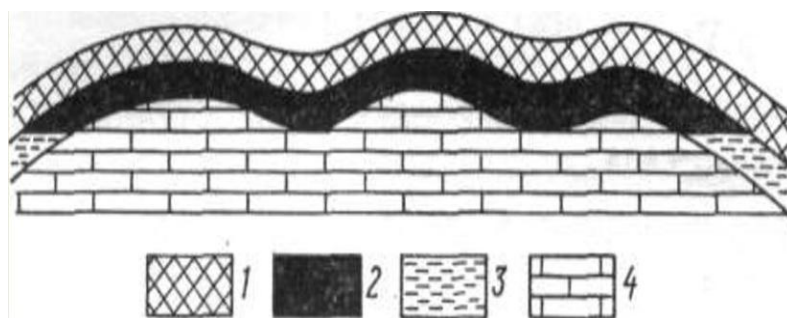
Пласты осадочных пород могут залежать не только горизонтально, но и в виде **складок** (folds), образовавшихся в ходе колебательных, тектонических и горообразовательных процессов. Изгиб пласта, направленный выпуклостью вверх, называется **антиклиналью** (anticline), а выпуклостью вниз – **синклиналью** (syncline). Соседние антиклиналь и синклиналь в совокупности образуют полную складку.



Полная складка

Покрышки (cap rocks) – это практически непроницаемые горные породы. Обычно ими бывают породы химического или смешанного происхождения, не нарушенные трещинами. Чаще всего роль покрышек выполняют **глины** (shales): смачиваясь водой, они

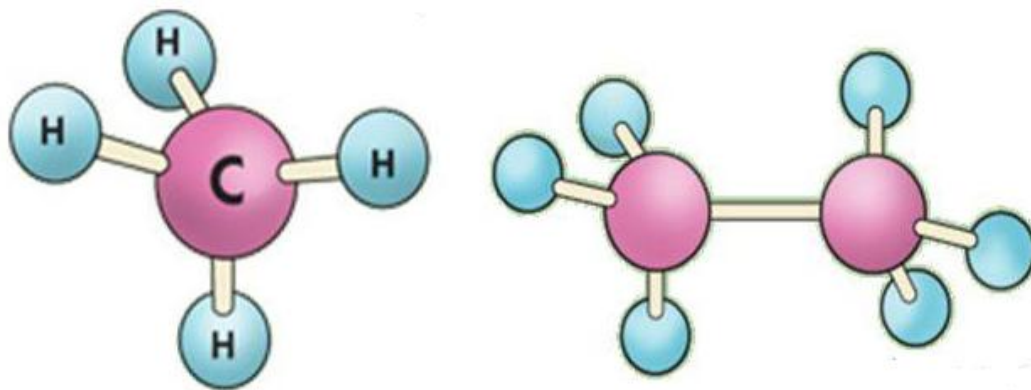
разбухают и закрывают все поры и трещины в породе. Покрышками также могут быть каменная соль и известняки.



1 – непроницаемая покрывка; 2 – нефтенасыщенная часть коллектора; 3 – водонасыщенная часть коллектора; 4 – известняки.

Сырая нефть (crude oil) и **попутный газ** (associated gas) являются смесями многих химических составляющих, называемых **углеводородами** (hydrocarbons) или **углеводородными соединениями** (hydrocarbon compounds).

Каждое такое соединение имеет свое название в зависимости от количества атомов углерода и водорода в его молекуле. Как и другие образования такого рода, в зависимости от температуры углеводороды могут находиться в твердом, жидком или газообразном состоянии.



Молекулы углеводородов

Сырая нефть находится в **коллекторах** (reservoirs) и обычно содержит растворенный **углеводородный газ** (hydrocarbon gas). Когда нефть выходит на поверхность и давление уменьшается, газ высвобождается (испаряется) из нефти. Углеводородный газ, растворенный в сырой нефти, называется попутным газом.

ТИПЫ ПРИРОДНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ

Природный резервуар (natural reservoir) - это естественноеместилище нефти, газа и воды, форма которого обуславливается соотношением коллектора с вмещающими его плохо проницаемыми породами.



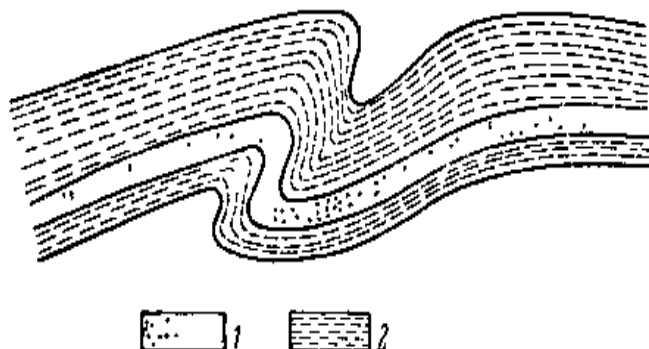
Природный резервуар

Природные резервуары могут быть **пластовыми** (formation), **массивными** (massive), **линзовидными** (lenticular) (**литологически ограниченными** (lithologically limited) со всех сторон).

ПЛАСТОВЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

Пластовый резервуар (formation reservoir) представляет собой коллектор, ограниченный на значительной площади в кровле и подошве **плохо проницаемыми породами** (low permeability rocks).

Особенностями такого резервуара является сохранение **мощности** (thickness) и литологического состава на большой площади.



Пластовый резервуар.

1 — коллектор (песок); 2 — плохо проницаемые породы.

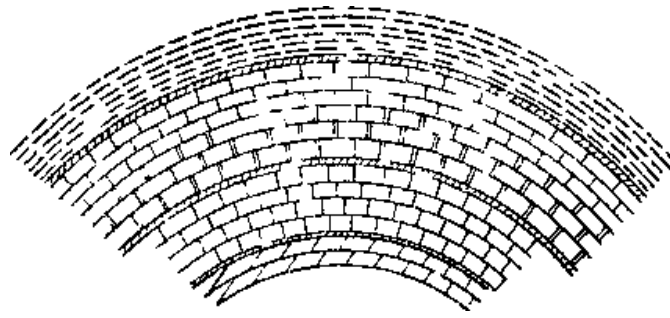
МАССИВНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

Под **массивным резервуаром** (massive reservoir) понимают мощные толщи пород, состоящие из многих проницаемых пластов, не отделенных один от другого плохо проницаемыми породами.

Большинство массивных резервуаров особенно широко распространенных на платформах, представлено известняково-доломитизированными толщами.

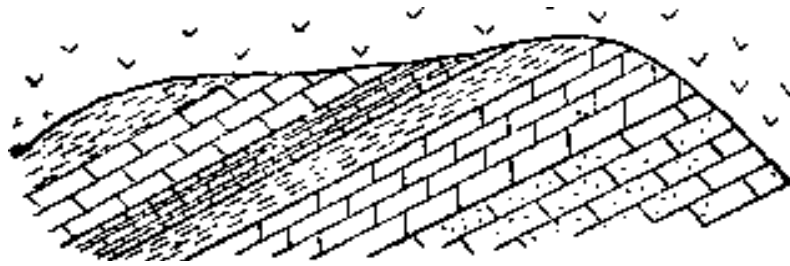
Слабо проницаемые породы покрывают всю эту толщу сверху. По характеру слагающих их пород массивные резервуары подразделяются на две группы: однородные и неоднородные.

однородные массивные резервуары (homogeneous massive reservoirs) — сложены сравнительно однородной толщиной пород, большей частью карбонатных.



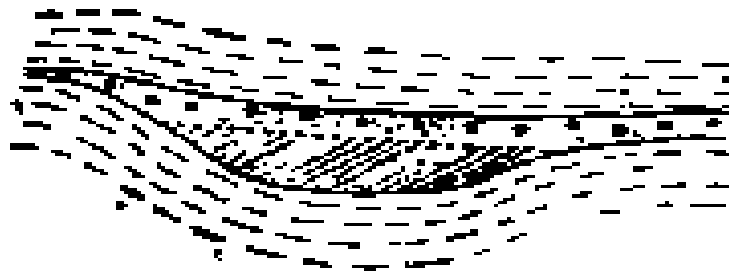
Однородный массив

неоднородные массивные резервуары (heterogeneous massive reservoirs) — толща пород неоднородна. Литологически она может быть представлена, например, чередованием известняков, песков и песчаников, сверху перекрытых глинами.



Неоднородный массив

Резервуары неправильной формы, литологически ограниченные со всех сторон, включают природные резервуары всех видов, в которых насыщающие их газообразные и жидкие углеводороды окружены со всех сторон либо практически **непроницаемыми породами** (impermeable rocks), либо породами, насыщенными слабоактивной водой.



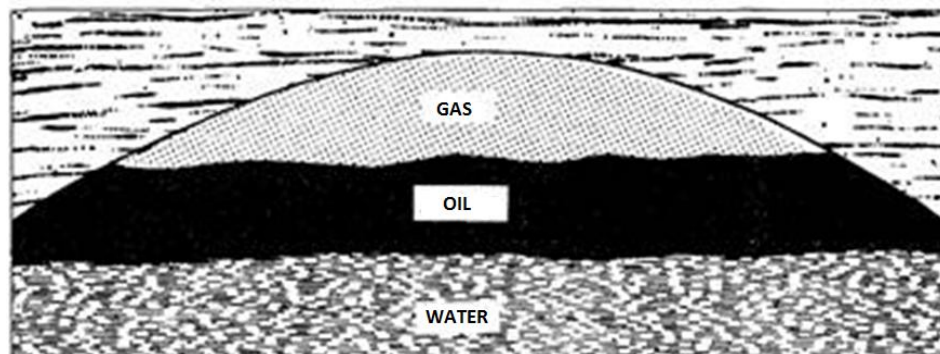
Резервуар, литологически ограниченный со всех сторон практически непроницаемыми породами.

Каким бы ни был механизм образования углеводородов для формирования крупных скоплений нефти и газа необходимо выполнение ряда условий:

- наличие проницаемых горных пород (**коллекторов** (reservoirs));
- наличие непроницаемых горных пород, ограничивающих миграцию нефти и газа по вертикали (**покрышек** (caps));
- наличие пласта особой формы, попав в который, нефть и газ оказываются в ловушке.

ТИПЫ ЛОВУШЕК НЕФТИ И ГАЗА

Ловушка (trap) - это часть природного резервуара, в котором благодаря различным структурным смещениям, стратиграфическому или литологическому ограничению, а также **тектоническому экранированию** (tectonic screening) создаются условия для скопления нефти и газа.

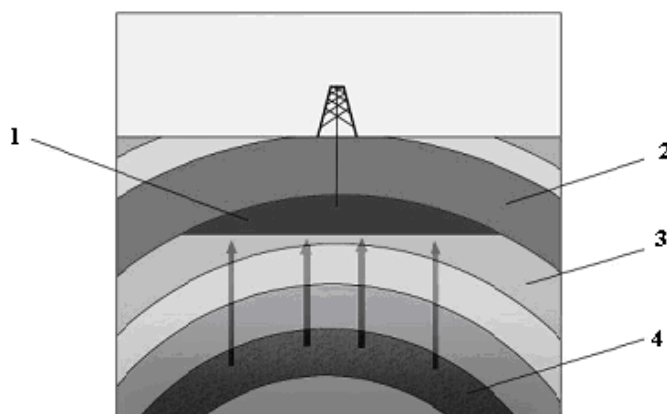


Ловушка нефти и газа

Поскольку нефть и газ собирались в верхней части ловушки, в связи с разницей в удельном весе газа, нефти и соленой воды, происходило вертикальное разделение этих жидкостей. В результате, газ (если он присутствует) находится в верхней части ловушки, нефть, перемешанная с газом, располагается ниже отделенного газа, а соленая вода находится ниже нефти.

Однако соленая вода редко полностью вытесняется нефтью и газом из пор даже внутри ловушки, поскольку поры могут содержать от 10 до 50 процентов соленой воды даже в средней части накопления нефти и газа.

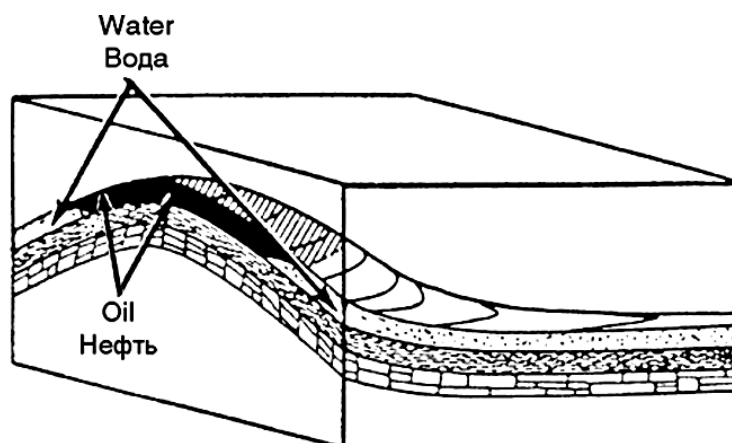
Оставшаяся вода, которую называют связанной или **реликтовой водой** (connate water), заполняет самые мелкие поры, а также исполняет роль покрытия или пленки, обволакивающей поверхность породы более крупных пор. Поэтому, нефть и газ содержатся в покрытых пленкой воды порах.



Ловушка: 1 – нефть и газ попали в ловушку под покрывающей породой; 2 – непроницаемая покрывающая порода; 3 – пористая порода коллектора; 4 – органическая порода под воздействием высокой температуры и давления.

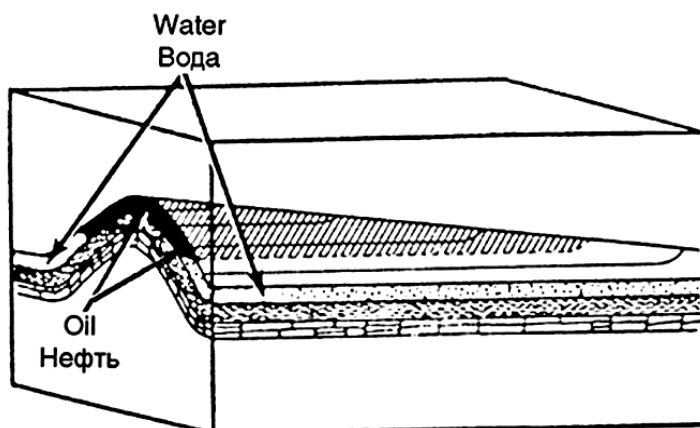
СТРУКТУРНАЯ (СВОДОВАЯ) ЛОВУШКА

Структурная (сводовая) ловушка (structural (dome) trap) образована в результате изгиба **слоев** (layers). Большинство **залежей** (deposits) в мире связано с ловушками структурного типа.



Сводовая ловушка (купол (dome))

Это коллекторы, образованные в результате складкообразования. Также, слои породы могут иметь форму структурных куполов или **антиклиналей** (anticlines). Антиклиналь отличается от купола тем, что она более длинная и узкая.

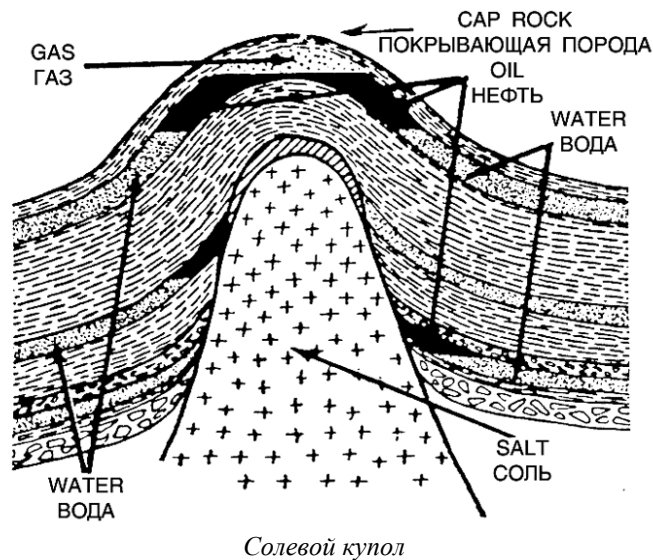


Антиклинальный тип складкообразования

Эти ловушки заполнялись в результате миграции нефти и газа вверх, через пористые слои отложений к месту расположения ловушки. В ловушке миграция нефти и газа прекращалась, что зависело от формы геологической структуры и покрывающей породы, предотвращающей дальнейшую миграцию.

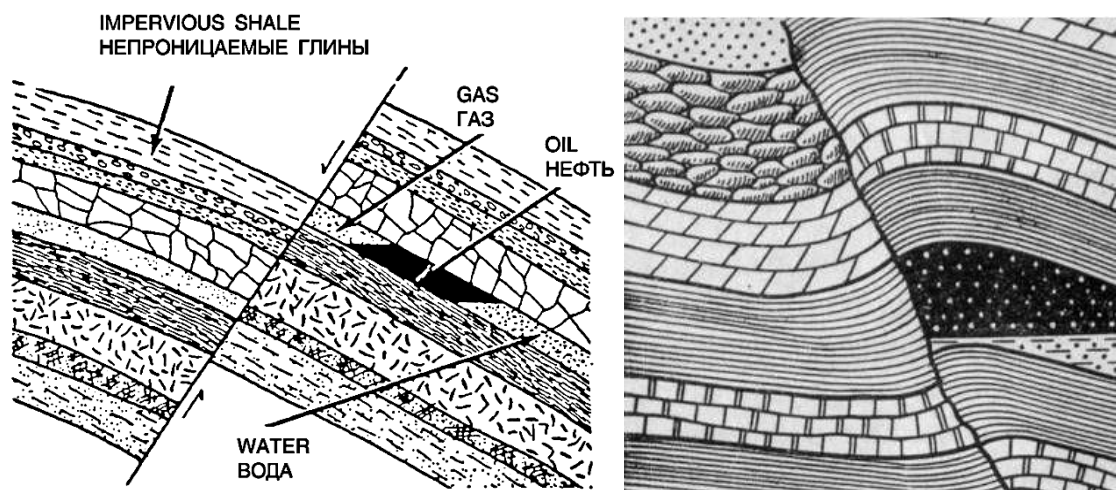
Ловушки обычно бывают достаточно большими для того, чтобы удерживать значительные объемы нефти и газа. Частично они заполнены соленой водой, находящейся под нефтью и газом.

Накопление нефти также происходит в пористых пластах над или вокруг скопления солей или **серпантинной породы** (serpentine rock), которые деформировали или подняли вышележащие пласты породы. Типичное накопление такого типа показано на рисунке (непористая масса соли сформировала куполообразную ловушку в лежащих выше и окружающих пористых породах).



ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ЛОВУШКА

Тектоническая ловушка (tectonic trap) образована в результате вертикального перемещения мест обрыва относительно друг друга, пласт-коллектор в месте тектонического нарушения может соприкасаться с непроницаемой горной породой.



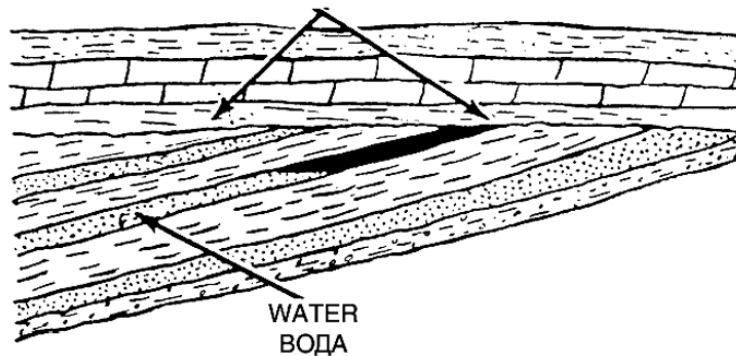
Тектонически экранированная ловушка

Это ловушки, образованные в результате **сбрасывания** (faulting) (смещения) породы. Утечка нефти из такой ловушки предотвращается за счет непористых пород, которые сместились в положение пористых, нефтенасыщенных пород. Нефть попадает в ловушки такого типа благодаря наклонности слоев породы и сбрасыванию.

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ЛОВУШКА

Стратиграфическая ловушка (stratigraphic trap) сформирована в результате эрозии пластов — коллекторов и перекрытия их затем непроницаемыми породами.

IMPERVIOUS CAP ROCK
НЕПРОНИЦАЕМАЯ ПОКРЫВАЮЩАЯ ПОРОДА

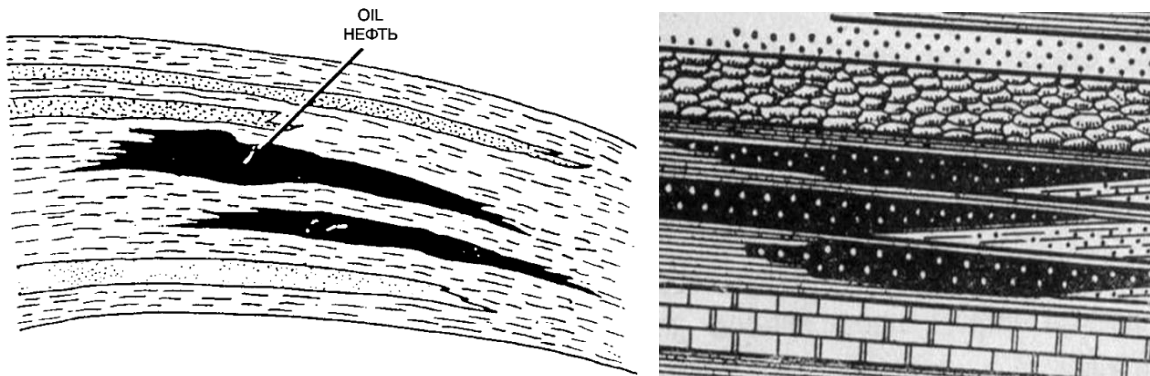


Стратиграфически экранированная ловушка (несогласное напластование (unconformity))

В этом случае движение нефти вверх останавливается **непроницаемой покрывающей породой** (impermeable cap rock), расположенной поперек нижних слоев.

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ЛОВУШКА

Литологическая ловушка (lithological trap) образована в результате литологического замещения пористых проницаемых пород непроницаемыми породами.



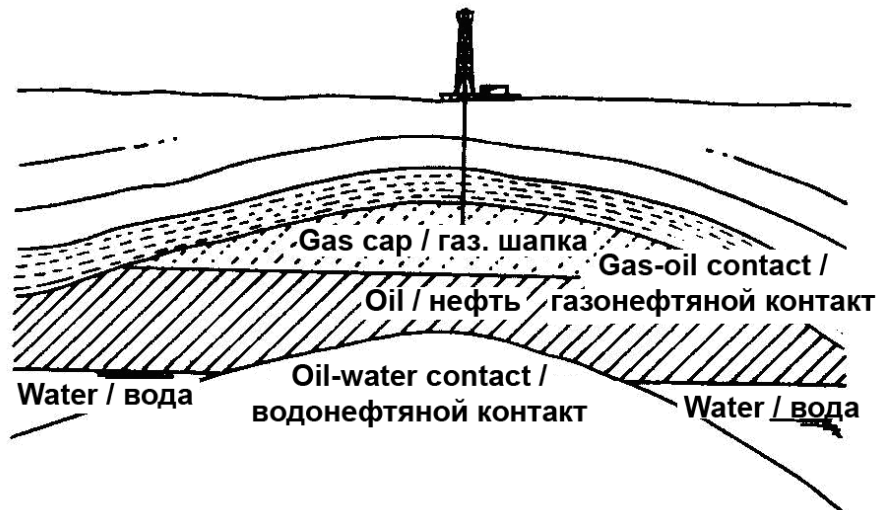
Литологически экранированная (линзовидная) ловушка

Верхнее непроницаемое покрытие такой ловушки образовалось в результате изменений в количестве соединенных между собой пор пласта. Это могло произойти в песчаниках в результате смешанного отложения песка и глинистых сланцев во время образования пласта. В этих случаях нефть находится внутри пористых частей породы, которые ограничиваются окружающими их непористыми частями породы.

ВОДОНЕФТЯНОЙ И ГАЗОНЕФТЯНОЙ КОНТАКТ

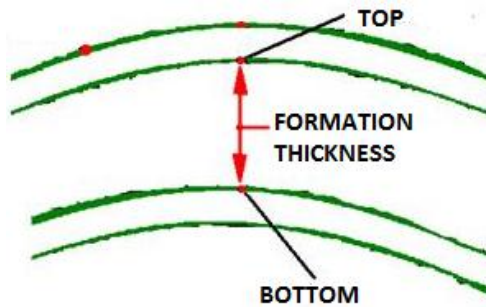
Поверхность, разделяющая нефть и воду или нефть и газ, называется соответственно **водонефтяным** (oil-water) или **газонефтяным контактом** (oil-gas contact).

Линия пересечения поверхности контактов с кровлей пласта называется соответственно **внешним контуром нефтеносности** (outer oil-water contact) или газоносности, а с подошвой пласта — **внутренним контуром нефтеносности** (inner oil-water contact) или газоносности.



Водонефтяной контакт (ВНК) (oil/water contact or table)

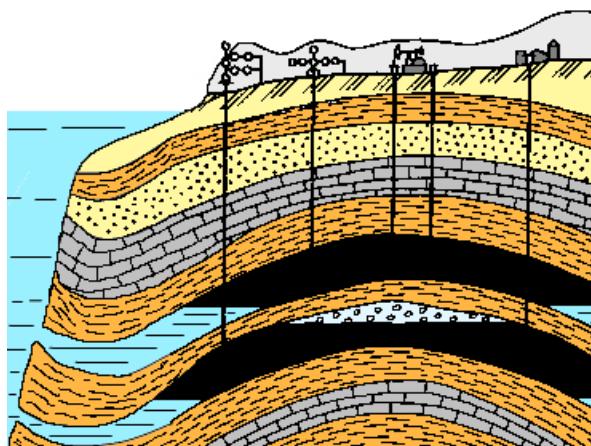
Кратчайшее расстояние между кровлей и подошвой нефтегазоносного пласта называют его **мощностью** (thickness).



Мощность пласта

МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

Под **месторождением нефти и газа** (oil and gas field) понимается совокупность залежей, приуроченных территориально к одной площади и сведенных с благоприятной тектонической структурой.



Месторождение

Понятия месторождение и залежь равнозначны, если на одной площади имеется всего одна залежь, такое месторождение называется однопластовым.

Месторождение, имеющее залежи в пластах (горизонтах) разной стратиграфической принадлежности, называются многопластовыми.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Для образования нефтегазового месторождения необходимы следующие факторы:

- Источник углерода и водорода. Согласно органической теории таким источником являются останки древних животных и растений на суше и в море, которые вместе с илом и грязью попадали в древние моря или водоемы.
- Условия, способствующие разложению этих останков и соединению углерода и водорода для образования углеводородов, из которых состоит нефть.
- Наличие пористой породы, в которой нефть имеет возможность мигрировать вверх через морскую воду, вместе с которой изначально происходило отложение материалов.
- Наличие геологической структуры или ловушки, которая имеет покрывающую породу и формирует коллектор для сбора нефти.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ФАЗОВЫМ СОСТОЯНИЯМ УГЛЕВОДОРОДОВ

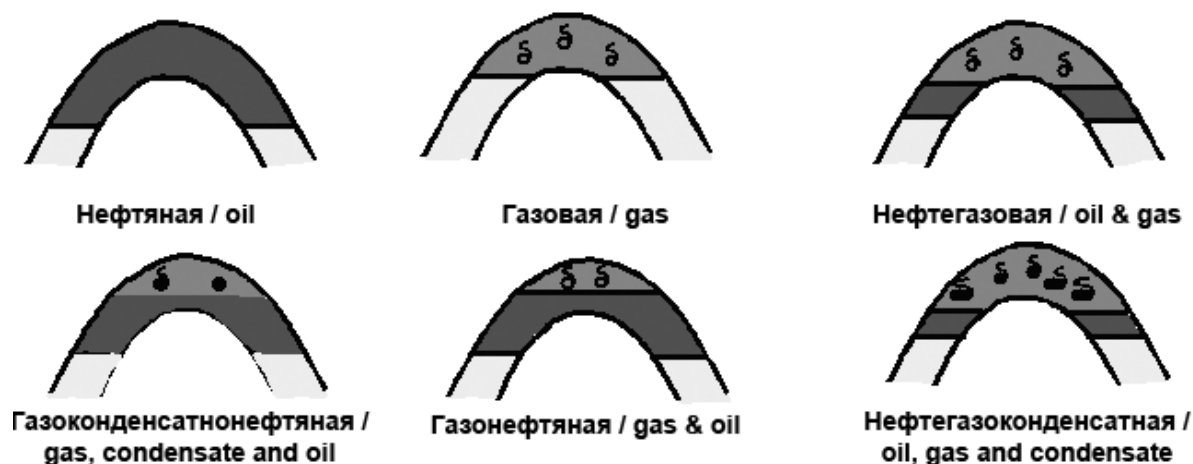
В зависимости от фазового состояния и основного состава углеводородных соединений в **недрах** (subsurface) месторождения подразделяются на нефтяные, содержащие только нефть, в различной степени насыщенную газом; газовые, если они содержат только газовые залежи, состоящие в основном из метана, газонефтяные и нефтегазовые.

В газонефтяных месторождениях основная по объему часть нефтяная и меньшая — газовая, в нефтегазовых - **газовая шапка** (gas cap) превышает по объему нефтяную часть.

К нефтегазовым относятся так же месторождения с крайне незначительной по объему нефтяной частью, которая называется **нефтяной оторочкой** (oil rim).

Газоконденсатнефтяные и нефтегазоконденсатные месторождения: в первых основная по объему нефтяная часть, а во вторых - газоконденсатная.

К газоконденсатным относят такие месторождения, из которых при снижении давления до атмосферного выделяется жидкая фаза - конденсат.



Классификация месторождений по фазовым состояниям углеводородов

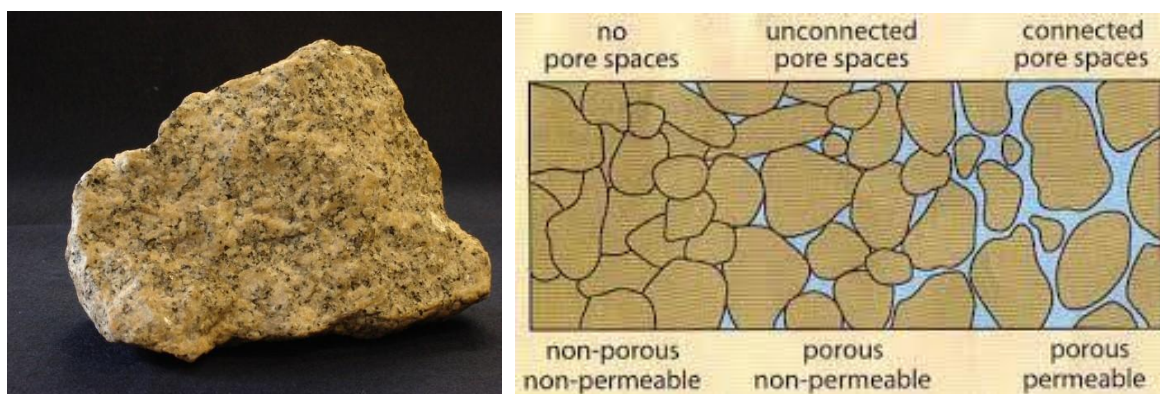
СВОЙСТВА ПОРОД

КОЛЛЕКТОРЫ И НЕКОЛЛЕКТОРЫ

Одной из важнейших задач на стадии **разведки** (exploration) и подготовке к **разработке** (development) залежи является изучение внутреннего строения залежи нефти или газа.

Коллектором (reservoir) называется горная порода, обладающая такими геолого-физическими свойствами, которые обеспечивают физическую подвижность нефти или газа в ее пустотном пространстве. Порода-коллектор может быть насыщена как нефтью или газом, так и водой.

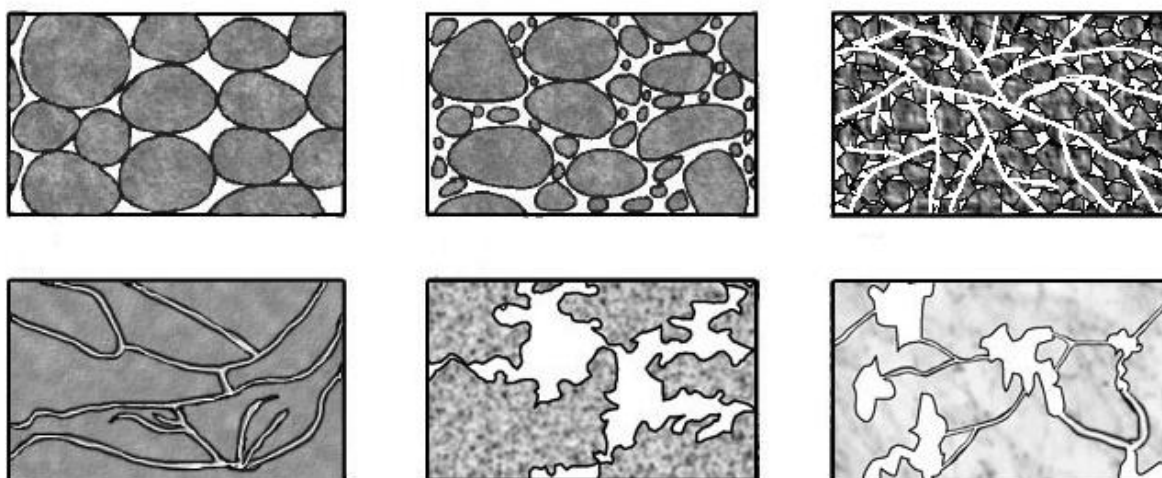
Породы с такими геолого-физическими свойствами, при которых миграция нефти или газа в них физически невозможна, называются **неколлекторами** (tight rock).



Коллекторы и неколлекторы

Внутреннее строение залежи определяется различным размещением неколлекторов и коллекторов, а также коллекторов с разными геолого-физическими свойствами, как в разрезе, так и по площади залежи.

Соответственно емкостные свойства породы определяются ее **пустотностью** (cavitation), которая складывается из объема пор, трещин и каверн. По времени образования выделяются первичные пустоты и вторичные. Первичные пустоты формируются одновременно с образованием самой осадочной породы, а вторичные образуются в уже сформировавшихся породах.



Пустотность породы

Первичная пустотность присуща всем без исключения осадочным породам, в которых встречаются скопления нефти и газа — это, прежде всего, межзерновые поры, пространства между крупными остатками раковин и т.п.



Первичная пустотность

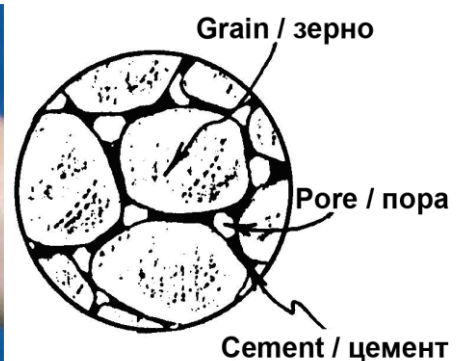
К вторичным пустотам относятся поры, **каверны** (caverns) и **трещины** (fractures), образовавшиеся в процессе **доломитизации известняков** (limestone dolomitization) и **выщелачивания породы** (rock leaching) циркулирующими водами, а также трещины, возникшие в результате тектонических движений.



Вторичная пустотность

ПОРИСТОСТЬ

Под **пористостью** (porosity) понимают наличие пространства между частицами породы. Кроме того, что порода должна иметь поры, необходимо, чтобы эти поры были соединены между собой, чтобы дать возможность миграции нефти и газа из одной поры в другую.



Пористость

В осадочных породах поры обычно заполнены жидкостями – водой, газом и нефтью. Название пор отражает их геометрию (например, кавернозные), происхождение (например, органические) и месторасположение (например, межгранулярные).

Коэффициент пористости (porosity factor) – это отношение общего объема пор к общему объему породы, выраженное в процентах.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРИСТОСТИ

Выделяют полную, которую часто называют общей или абсолютной, открытую, эффективную и **динамическую пористость** (dynamic porosity).

Полная пористость (true porosity) включает в себя все поры горной породы, как изолированные (замкнутые), так и открытые, сообщающиеся друг с другом. Коэффициентом полной пористости называется отношение суммарного объема пор в породе к ее видимому объему.

Открытая пористость (apparent porosity) образуется сообщающимися порами. Коэффициентом открытой пористости называется отношение объема открытых, сообщающихся пор, к видимому объему породы.

Эффективная пористость (effective porosity) учитывает часть объема связанных между собой пор насыщенных нефтью.

Пористость породы в большой степени зависит от размеров пор и соединяющих их **поровых каналов** (pore channels), которые в свою очередь определяются гранулометрическим составом слагающих породу частиц и степенью их сцементированности.

КАВЕРНОЗНОСТЬ

Кавернозность (cavernosity) горных пород обуславливается существованием в них вторичных пустот в виде каверн. Кавернозность свойственна карбонатным коллекторам.

Следует различать **микрокавернозные** (microcavernous) и **макрокавернозные** (macrocavernous) породы. К первым относятся породы с большим количеством мелких пустот, с диаметром каверн (**пор выщелачивания** (leached pores)) до 2 мм, ко вторым - с рассеянными в породе более крупными кавернами до нескольких сантиметров. Макрокавернозные коллекторы в чистом виде встречаются редко.

Коэффициент кавернозности (cavernosity factor) равен отношению объема каверн к видимому объему породы.



Кавернозность

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ

Трещиноватость (fracture porosity) горных пород (трещинная емкость) обуславливается наличием в них трещин, не заполненных твердым веществом. Залежи, связанные с трещиноватыми коллекторами, приурочены большей частью к плотным карбонатным коллекторам и к терригенным отложениям.

Наличие разветвленной сети трещин, пронизывающих эти плотные коллекторы, обеспечивает значительные **притоки** (inflows) нефти к скважинам.

Качество трещиноватой горной породы как коллектора определяется густотой и раскрытостью трещин. Чаще всего трещины играют роль каналов фильтрации жидкости и газа, связывающих воедино все сложное пустотное пространство пород-коллекторов.



Трещиноватость и пористость

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Важнейшим свойством пород-коллекторов является их способность к фильтрации, т.е. к движению в них жидкостей и газов при наличии **перепада давления** (pressure differential).

Способность пород-коллекторов пропускать через себя жидкости и газы называется **проницаемостью** (permeability). Породы, не обладающие проницаемостью, относятся к неколлекторам.

Высокая проницаемость указывает на большие или многочисленные пути для перемещения нефти и газа. Пористость породы, размер пор и размер соединяющих поры каналов составляют проницаемость породы.

Хорошо проницаемыми породами являются песок, **песчаники** (sandstones), **доломиты** (dolomites), **доломитизированные известняки** (dolomitic limestones), **алевролиты** (siltstones).



Песчаник



Известняк

К плохо проницаемым породам относятся глины, **глинистые сланцы** (shales), **мергели** (marls), песчаники с обильной глинистой цементацией.



Глинистый сланец



Мергель

Единица **коэффициента проницаемости** (permeability factor) называется **дарси** (darcy). Проницаемость пород, служащих коллекторами для нефти, обычно выражают в **миллидарси** (millidarcy).

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ

В разных условиях фильтрации проницаемость породы-коллектора для каждой фазы будет существенно иной. Поэтому для характеристики проницаемости нефтегазосодержащих пород введены понятия абсолютной, эффективной (фазовой) и относительной проницаемостей.

Под **абсолютной проницаемостью** (absolute permeability) понимается проницаемость, определенная при условии, что порода насыщена однофазным флюидом, химически инертным по отношению к ней. Для ее оценки обычно используются воздух, газ или инертная жидкость, так как физико-химические свойства пластовых жидкостей оказывают влияние на проницаемость породы. Величина абсолютной проницаемости зависит только от физических свойств породы.

Эффективной проницаемостью (effective permeability) называется проницаемость пород для конкретной жидкости или газа при миграции в пустотном пространстве многофазных систем. Значение ее зависит не только от физических свойств пород, но и от степени насыщенности пустотного пространства каждой из фаз, от их соотношения между собой и от их физико-химических свойств.

Относительной проницаемостью (relative permeability) называется отношение эффективной проницаемости к абсолютной проницаемости.

Проницаемость горных пород зависит от размера, формы пор, характера сообщения между порами; трещиноватости породы, минералогического состава пород.

НЕФТЕГАЗОВОДОНАСЫЩЕННОСТЬ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

Нефтенасыщенные (oil saturated) и **газонасыщенные** (gas saturated) пласты первоначально были полностью насыщены водой. При образовании залежей нефть и газ вследствие их меньшей плотности мигрировали в повышенные части пластов, вытесняя оттуда воду. Однако вода из пустотного пространства вытеснялась не полностью, вследствие чего нефтегазонасыщенные пласты содержат некоторое количество воды, называемой остаточной.

Коэффициентом нефтенасыщенности (газонасыщенности) (oil/gas saturation factor) называется отношение объема нефти (газа), содержащейся в открытом пустотном пространстве, к суммарному объему пустотного пространства.

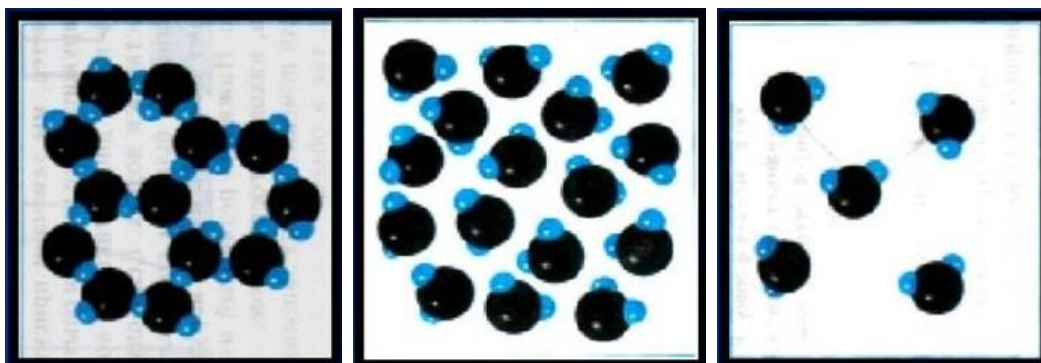
Коэффициентом водонасыщенности коллектора, содержащего нефть или газ, называется отношение объема остаточной воды, содержащейся в открытом пустотном пространстве, к суммарному объему открытых пустот.

ПЛАСТОВЫЕ ФЛЮИДЫ



Свойства и состояние углеводородов зависят от их состава, давления и температуры. В залежах они могут находиться в жидком и газообразном состоянии или в виде газожидкостных смесей.

В процессе разработки залежей в пластах и при подъеме на поверхность давление и температура непрерывно меняются, что сопровождается соответствующими изменениями состава газовой и жидкой фаз и переходом углеводородов из одной фазы в другую.



Твердый

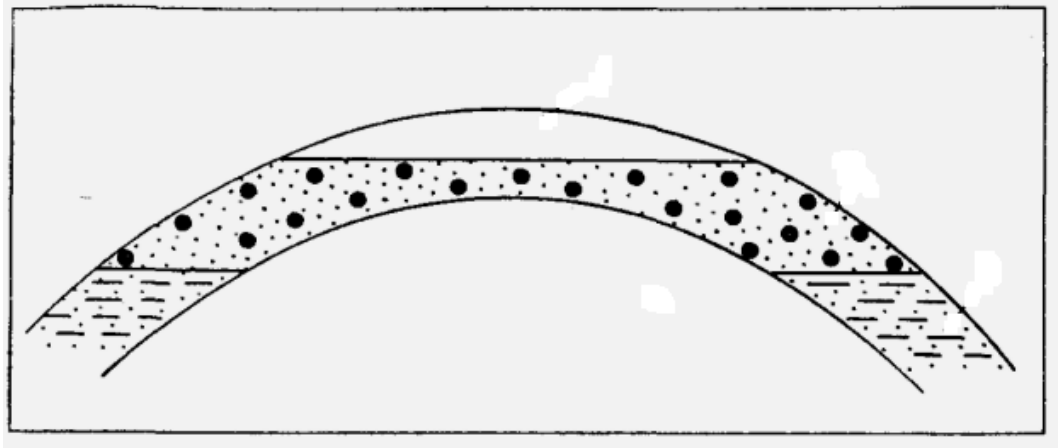
Жидкий

Газообразный

Нефть и газ представляют собой смесь углеводородов преимущественно **метанового** (methanoic) (парафинового), **нафтенового** (naphthenic) и в меньшем количестве **ароматического** (aromatic) рядов.

При большом количестве газа в пласте он может располагаться над нефтью в виде газовой шапки в повышенной части структуры. При этом часть жидких углеводородов нефти будет находиться в виде паров также и в газовой шапке.

При высоком давлении в пласте плотность газа становится весьма значительной. В этих условиях в сжатом газе растворяются значительные количества легкой нефти подобно тому, как в бензине или других жидких углеводородах растворяются нефть и тяжелые битумы. В результате нефть иногда оказывается полностью растворенной в сжатом газе.



Нефть, растворенная в газе

При извлечении такого газа на поверхность в результате снижения давления и температуры, растворенные в нем углеводороды конденсируются, и выпадают в виде **конденсата** (condensate).



Конденсат

Если же количество газа в залежи по сравнению с количеством нефти мало, а давление достаточно высокое, газ полностью растворяется в нефти и тогда газонефтяная смесь находится в пласте в жидком состоянии.



Газогидратные залежи содержат газ в твердом (**гидратном** (hydrated)) состоянии. Наличие такого газа обусловлено его способностью, при определенных давлениях и температурах соединяться с водой и образовывать **гидраты** (hydrates). Газогидратные залежи по физическим параметрам резко отличаются от обычных.



Газогидраты

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАСТОВЫХ НЕФТЕЙ

По содержанию серы нефти бывают:

- **малосернистые** (sweet);
- **сернистые** (sulfurous);
- **высокосернистые** (sour).

Нефти содержат до 5 – 6 % серы. Она присутствует в них в виде свободной серы, **сероводорода** (hydrogen sulfide), а также в составе сернистых соединений.

По содержанию смол нефти бывают:

- **малосмолистые** (low-resinous);
- **смолистые** (resinous);
- **высокосмолистые** (highly resinous).

Смолистые вещества, содержащиеся в нефти - это высокомолекулярные соединения, включающие **кислород** (oxygen), **серу** (sulfur) и **азот** (nitrogen) и состоящие из большого числа нейтральных соединений неизвестного строения и непостоянного состава, среди которых преобладают **нейтральные смолы** (neutral resins) и **асфальтены** (asphaltenes).

По содержанию парафинов нефти бывают:

- **малопарафинистые** (low-paraffinaceous);
- **парафинистые** (paraffinaceous);
- **высокопарафинистые** (highly paraffinaceous).

Содержание парафина может достигать 25 %. При температуре его кристаллизации близкой к пластовой, реальна возможность выпадения парафина в пласте в твердой фазе при разработке залежи.

По плотности пластовые нефти бывают:

- **легкие** (light);
- **тяжелые** (heavy).

Легкие нефти имеют высокое **газосодержание** (gas content), тяжелые - низкое. **Газосодержание** (gas content) (**газонасыщенность** (gas saturation)) пластовой нефти - это объем газа, растворенного в 1 м³ объема пластовой нефти.

По величине вязкости пластовые нефти бывают:

- с **незначительной вязкостью** (negligible viscosity);
- **маловязкие** (low viscosity);
- с **повышенной вязкостью** (increased viscosity);
- **высоковязкие** (high viscosity).

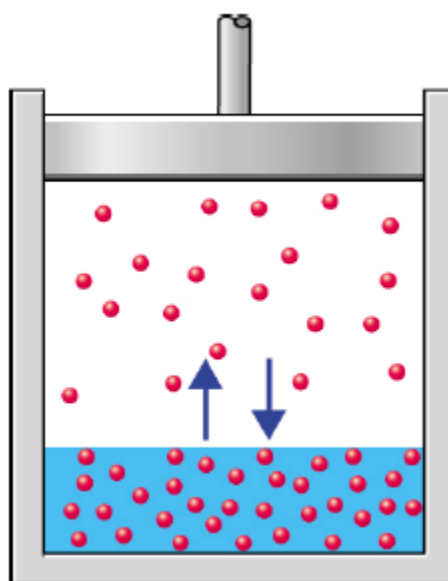
От вязкости нефти существенно зависит эффективность разработки и конечный **коэффициент извлечения нефти** (oil recovery factor). Вязкость пластовой нефти зависит от, газосодержания, температуры в пласте и плотности нефти.



Вязкость

Нефти разных пластов одного и того же месторождения и тем более разных месторождений могут отличаться друг от друга. Их различия во многом определяются их газосодержанием. Все нефти в пластовых условиях содержат газ в растворенном (жидком) состоянии.

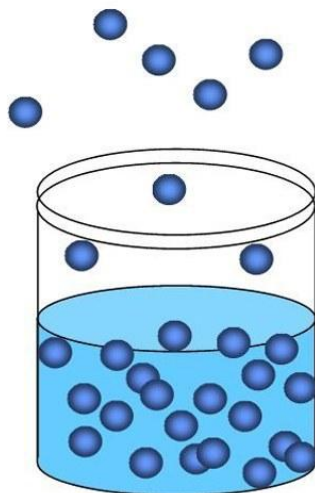
Растворимость газа (gas solubility) - это максимальное количество газа, которое может быть растворено в единице объема пластовой нефти при определенном давлении и температуре.



Растворимость газа

Промысловым газовым фактором (field gas-to-oil ratio) называется количество добытого газа в м^3 , приходящееся на 1 м^3 (т) дегазированной нефти. Он определяется по данным о добыче нефти и попутного газа за определенный отрезок времени. Величина промыслового газового фактора зависит как от газосодержания нефти, так и от условий разработки залежи. Она может меняться в очень широких пределах.

Давление насыщения (saturation pressure) пластовой нефти – это давление, при котором газ начинает выделяться из нее. Давление насыщения зависит от соотношения объемов нефти и газа в залежи, от их состава, от пластовой температуры.

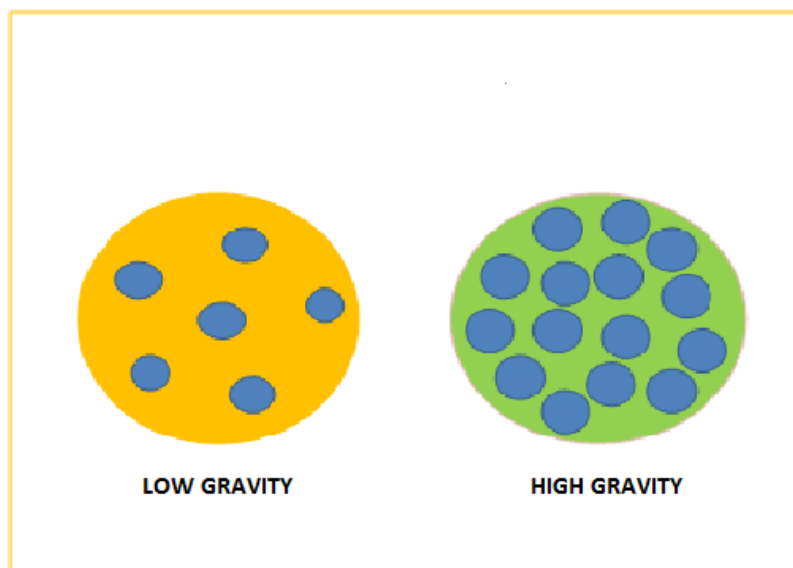


Давление насыщения

Коэффициент теплового расширения (thermal expansion factor) показывает, на какую часть первоначального объема изменяется объем нефти при изменении температуры на 1°C .

Объемный коэффициент (volume factor) пластовой нефти показывает, какой объем занимает в пластовых условиях 1 м^3 дегазированной нефти. Объем нефти в пластовых условиях увеличивается, по сравнению с объемом в нормальных условиях, в связи с повышенной температурой и большим количеством газа, растворенного в нефти.

Под **плотностью пластовой нефти** (formation oil gravity) понимается масса нефти, извлеченной из недр с сохранением пластовых условий, в единице объема.



Плотность

ПЛАСТОВЫЕ ГАЗЫ

Природные углеводородные газы представляют собой смесь **предельных углеводородов** (paraffin hydrocarbons). Основным компонентом является **метан** (methane). Наряду с метаном в состав природных газов входят более тяжелые углеводороды, а также неуглеводородные компоненты: азот, **углекислый газ** (carbon dioxide), сероводород, **гелий** (helium), **аргон** (argon).

Природные газы подразделяют на следующие группы.

- Газ газовых месторождений - **сухой газ** (net gas), почти свободный от тяжелых углеводородов.
- Газ газоконденсатных месторождений - смесь сухого газа и жидкого углеводородного конденсата.
- Газ нефтяных месторождений (растворенный газ) - смесь сухого газа, пропанобутановой фракции (**жирного газа** (fat gas)) и **газового бензина** (natural gasoline).

ГАЗОКОНДЕНСАТ

Конденсатом (condensate) называют жидкую углеводородную фазу, выделяющуюся из газа при снижении давления. В пластовых условиях конденсат обычно весь растворен в газе. Различают конденсат сырой и стабильный.

Сырой конденсат (wet condensate) представляет собой жидкость, состоящую из жидких углеводородов, в которых растворено некоторое количество газообразных углеводородов - **бутанов** (butanes), **пропана** (propane) и **этана** (ethane), а также сероводорода и других газов.

Стабильный конденсат (stable condensate) состоит только из жидких углеводородов. Его получают из сырого конденсата путем его **дегазации** (degassing). Плотность конденсата в стандартных условиях находится в прямой зависимости от компонентного углеводородного состава.

ГАЗОГИДРАТЫ

Гидраты газов (gas hydrates) представляют собой твердые соединения, в которых молекулы газа при определенных давлении и температуре заполняют структурные пустоты **кристаллической решетки** (crystal lattice), образованной молекулами воды, с помощью слабой водородной связи. Молекулы воды как бы раздвигаются молекулами газа, и плотность воды в гидратном состоянии возрастает.

Условия образования гидратов определяются составом газа, состоянием воды, внешним давлением и температурой. Для определенной температуры повышение давления сопровождается соединением молекул газа с молекулами воды и образованием гидратов. Обратное снижение давления (или повышение температуры при неизменном давлении) сопровождается разложением гидрата на газ и воду.

ПЛАСТОВЫЕ ВОДЫ

Вода залегает в тех же пластах вместе с нефтью или газом, а также в **водоносных горизонтах** (aquifers). В процессе разработки вода может внедряться в нефтяную или газовую залежь, продвигаясь по **нефтегазоносному пласту** (oil and gas bearing formation), или поступать в скважины из других водоносных горизонтов.

Воды нефтяных и газовых месторождений можно разделить на собственные, чуждые и техногенные (искусственно введенные в пласт).

Собственные воды (inherent waters) включают остаточные и пластовые воды,

залегающие в нефтегазоносном пласте. Это один из основных природных видов вод месторождений углеводородов. Они подразделяются на контурные (краевые), подошвенные и промежуточные.

- **Контурные воды** (edge waters) – это воды, залегающие за внешним контуром нефтеносности залежи.
- **Подошвенные воды** (bottom waters) – это воды, залегающие под водонефтяным контактом (газо-водяным контактом).
- **Промежуточные воды** (intermediate waters) – это воды водоносных **пропластков** (interlayers), иногда залегающих внутри нефтегазоносных пластов.

Чуждые воды (foreign waters) включают воды водоносных пластов, залегающих выше или ниже данного нефтегазоносного пласта.

Техногенные воды (man-made waters) включают воды, **закачанные в пласт** (injected into formation) для **поддержания пластового давления** (formation pressure maintenance), а также попавшие при **бурении скважин** (well drilling) или при **ремонтных работах на скважинах** (well workover operations).

Основную массу природных вод нефтяных и газовых месторождений составляют минерализованные воды. Состав и свойства пластовых вод имеют большое значение для разработки залежей нефти и газа и их **добычи** (production), так как от них зависит течение многих процессов в пласте.