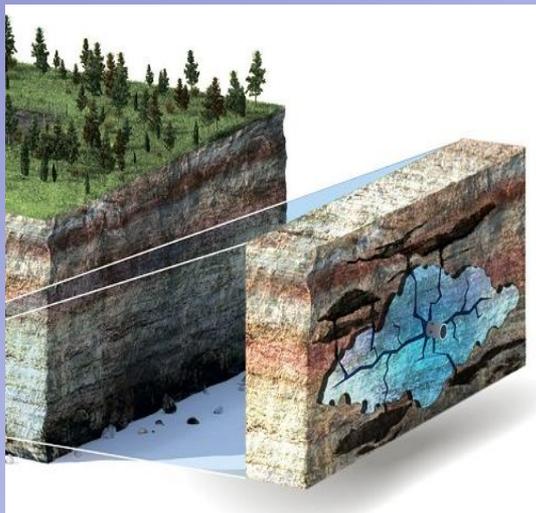


**НАО «КАРАГАНДИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АБЫЛКАСА САГИНОВА»**

**Кафедра «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»**



# **ЛЕКЦИЯ**

**Тема: ГОРНЫЕ ПОРОДЫ - КОЛЛЕКТОРЫ  
НЕФТИ И ГАЗА**

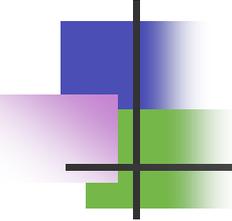
**Дисциплина: Петрофизика  
нефтяного пласта**



**Автор:**

**к.т.н., доц. Пономарева М.В.**

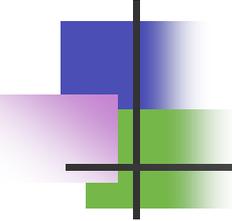
**Образовательная программа:  
7M07201 «Геофизические методы поисков  
и разведки МПИ»**



# План лекции

---

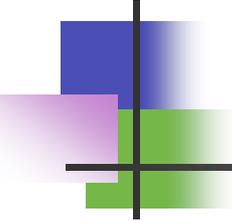
1. Горные породы – коллекторы нефти и газа.
2. Залежи нефти и газа.
3. Классификация запасов.
4. Отбор и подготовка кернов к исследованию.
5. Водонасыщенность горных пород



## Цель лекции

---

*Цель лекции* – рассмотреть основные характеристики горных пород, являющихся коллекторами нефти и газа, изучить разновидности залежей нефти и газа, методику отбора и подготовки кернов к исследованию, дать понятие водонасыщенности горных пород.



## Роль и место темы лекции в дисциплине, связь с другими дисциплинами

---

Дисциплина «Петрофизика нефтяного пласта» дает понятие об основных физических и физико-химических свойствах пластов-коллекторов, связей петрофизических величин между собой и с геофизическими параметрами, методики определения того или иного петрофизического свойства нефтяных пластов.

Эти знания необходимы для углубленного изучения основных характеристик горных пород, являющихся коллекторами нефти и газа, классификации коллекторов по их основным свойствам, водонасыщенности горных пород.

Изучение основных характеристик горных пород, являющихся коллекторами нефти и газа, их классификации, водонасыщенности определяют показатели их поисков и разведки, а так же эффективность разработки. **Поэтому изучение данных характеристик, методик отбора и подготовки кернов к исследованию является весьма важной и актуальной задачей.**

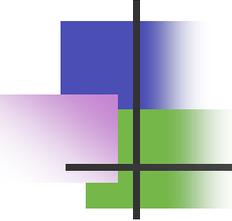
Знания полученные при изучении материалов данной лекции используются при изучении таких дисциплин как «Интерпретация промыслово-геофизических исследований», «Спецкурс эксплуатации нефтегазовых месторождений», при прохождении профессиональных практик и написании магистерской диссертации.

# Горные породы – коллекторы нефти и газа

Горные породы, обладающие способностью вмещать нефть, воду, газ и отдавать их при разработке, называются коллекторами.

Горные породы разделяются на 3 основные группы: изверженные, осадочные и метаморфические.





# Горные породы – коллекторы нефти и газа

---

**Метаморфические породы** являются результатом глубокого изменения изверженных и осадочных пород.

К **осадочным породам** относятся песчаники, известняки и доломиты, в них содержится большая часть подземных флюидов. В изверженных и метаморфических коллекторах нахождение нефти и газа возможно в результате миграции углеводородов во вторичные поры и трещины после выщелачивания и выветривания пород. **Залежи нефти и газа приурочены в основном к группе осадочных коллекторов, которые в свою очередь подразделяются на терригенные и карбонатные.**

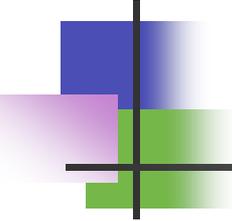
**Терригенные коллекторы** – это, в основном, песчаники, состоящие из зерен кварца, полевого шпата, слюды и других минералов (более 100 наименований).

# Горные породы – коллекторы нефти и газа

**Карбонатные коллекторы** – это, в основном, известняки и доломиты. Накопление нефти, газа и воды происходит в пустотном пространстве коллекторов, которое может быть представлено порами (межзерновое пространство), трещинами и кавернами.

В зависимости от строения и происхождения пород у одних преобладает **пористость** (это, как правило, гранулярные, терригенные коллекторы), у других **трещиноватость** (карбонатные отложения, сланцы) или смешанное строение – **трещиновато-пористые** коллекторы.





# Горные породы – коллекторы нефти и газа

---

По строению коллекторы делятся на 3 типа – гранулярные, трещиноватые и смешанные.

**Гранулярные коллекторы** сложены песчано–алевритовыми породами, поровое пространство которых состоит из межзерновых полостей. Подобным строением порового пространства характеризуются также некоторые пласты известняков и доломитов.

**Трещиноватые коллекторы** сложены преимущественно карбонатами, поровое пространство образуется системой трещин. Участки коллектора между трещинами представляют собой плотные малопроницаемые нетрещиноватые массивы (блоки) пород, поровое пространство которых практически не участвует в процессах фильтрации.

# Горные породы – коллекторы нефти и газа

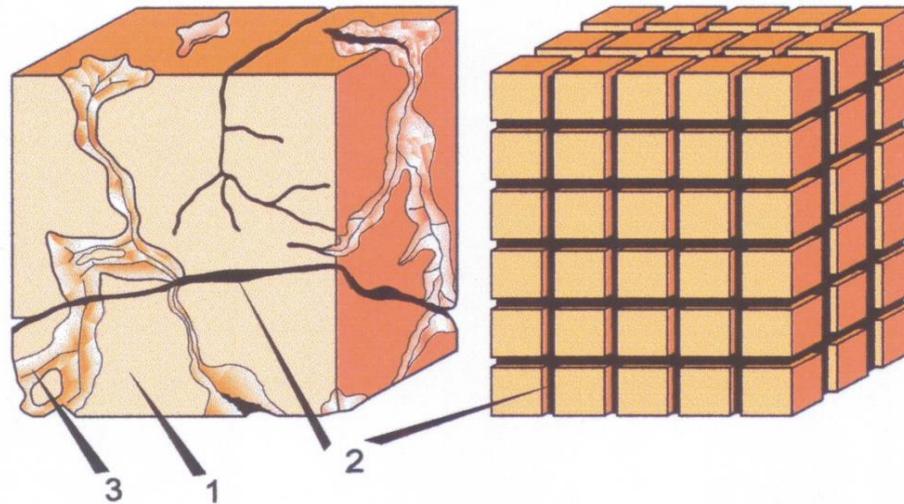
Трещиноватые коллекторы смешанного типа встречаются чаще всего, поровое пространство включает как системы трещин, так и поровое пространство блоков, а также каверны и карст.

Трещиноватые коллекторы смешанного типа в зависимости от наличия в них пустот различного типа подразделяются на подклассы – **трещиновато-пористые, трещиновато-каверновые, трещиновато-карстовые.**



# Горные породы – коллекторы нефти и газа

## Модель трещинно-кавернозного коллектора в массивных породах

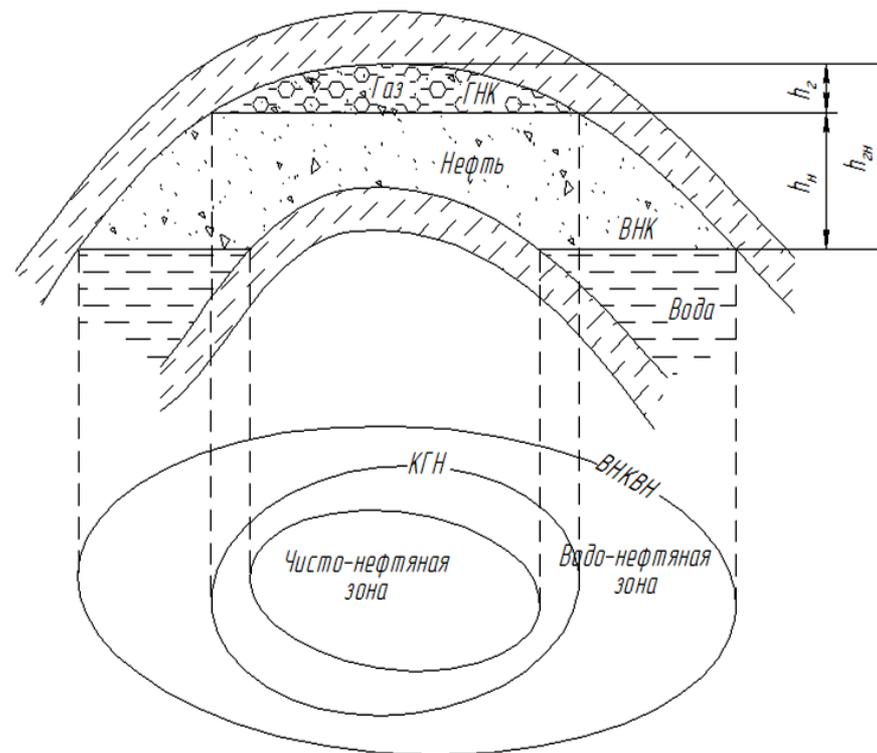


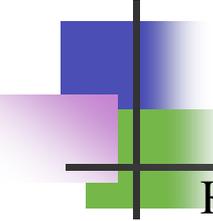
1 – матрица 2 – макротрещины 3 – измененная часть породы с кавернами и микротрещинами

Около 60% запасов нефти в мире приурочено к терригенным коллекторам, то есть к песчаным пластам и песчаникам, 39% – к карбонатным отложениям и 1% – к смешанным породам.

# Залежи нефти и газа

Породы-коллекторы, содержащие нефть и газ, в большинстве разрезов нефтегазоносных областей не образуют непрерывной пачки, а чередуются с пластами других пород. Такие комплексы называют *нефтегазоносными свитами*.





## Залежи нефти и газа

---

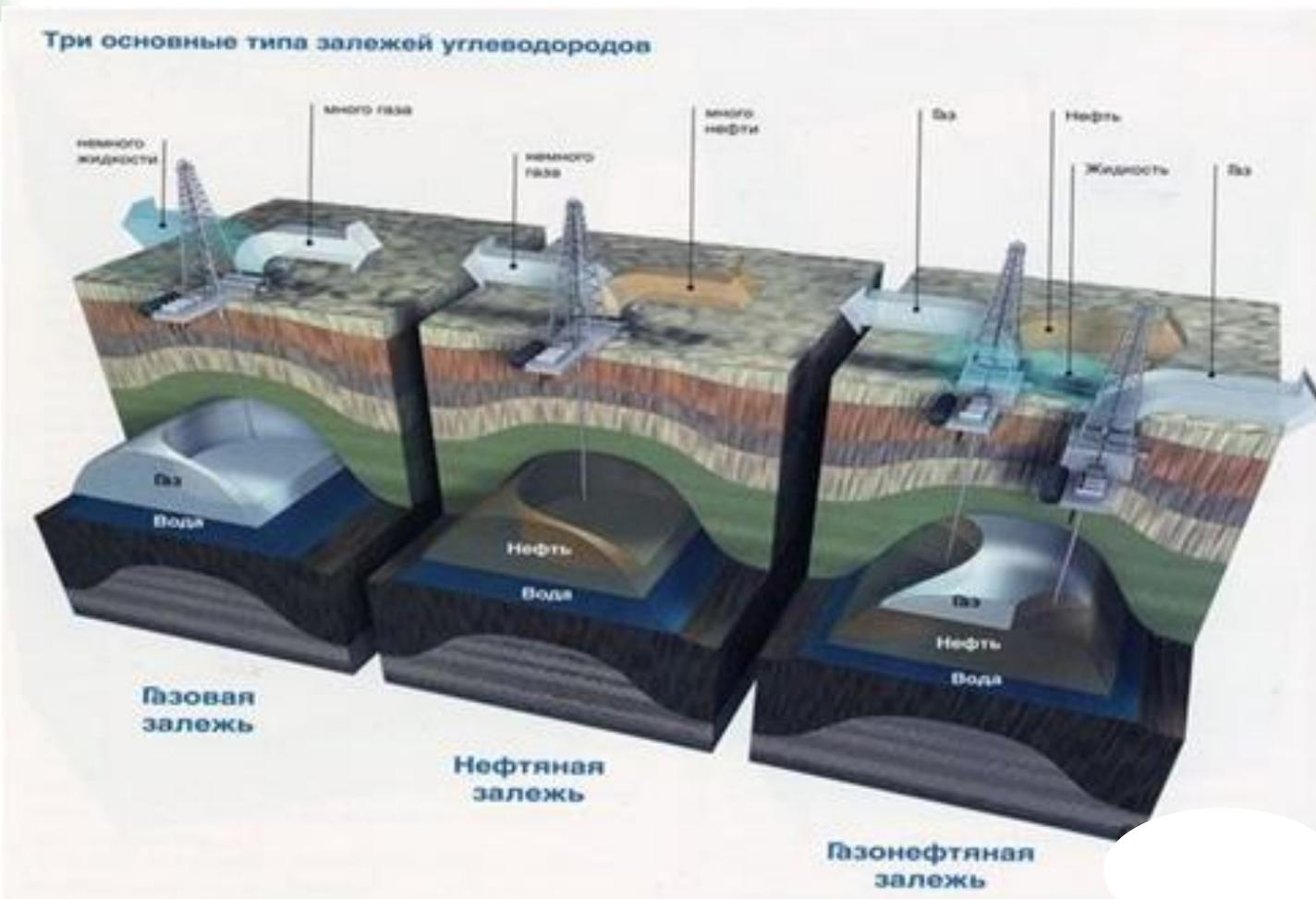
Как правило, продуктивные участки заключены в плотные, плохо проницаемые породы, то есть как бы образуют природный резервуар. В таких резервуарах нефть, газ и вода находятся совместно и распределены по плотности.

Сверху природный резервуар покрывает плотная непроницаемая порода – *покрышка*, благодаря чему образуется водонапорная (артезианская) система, а нефть и газ добываются на поверхность в основном за счет энергии воды.

Та часть природного резервуара, в которой установилось такое равновесие, называется *ловушкой*. Основные параметры нефтяной залежи – ее *высота* и *площадь*. Отдельные пласты залежи характеризуются их *толщиной* и *протяженностью*. Скопление газа в залежи называется *газовой шапкой*. Поверхность, разделяющая нефть и воду в залежи или отдельном пласте, называется *водонефтяным контактом* (ВНК).

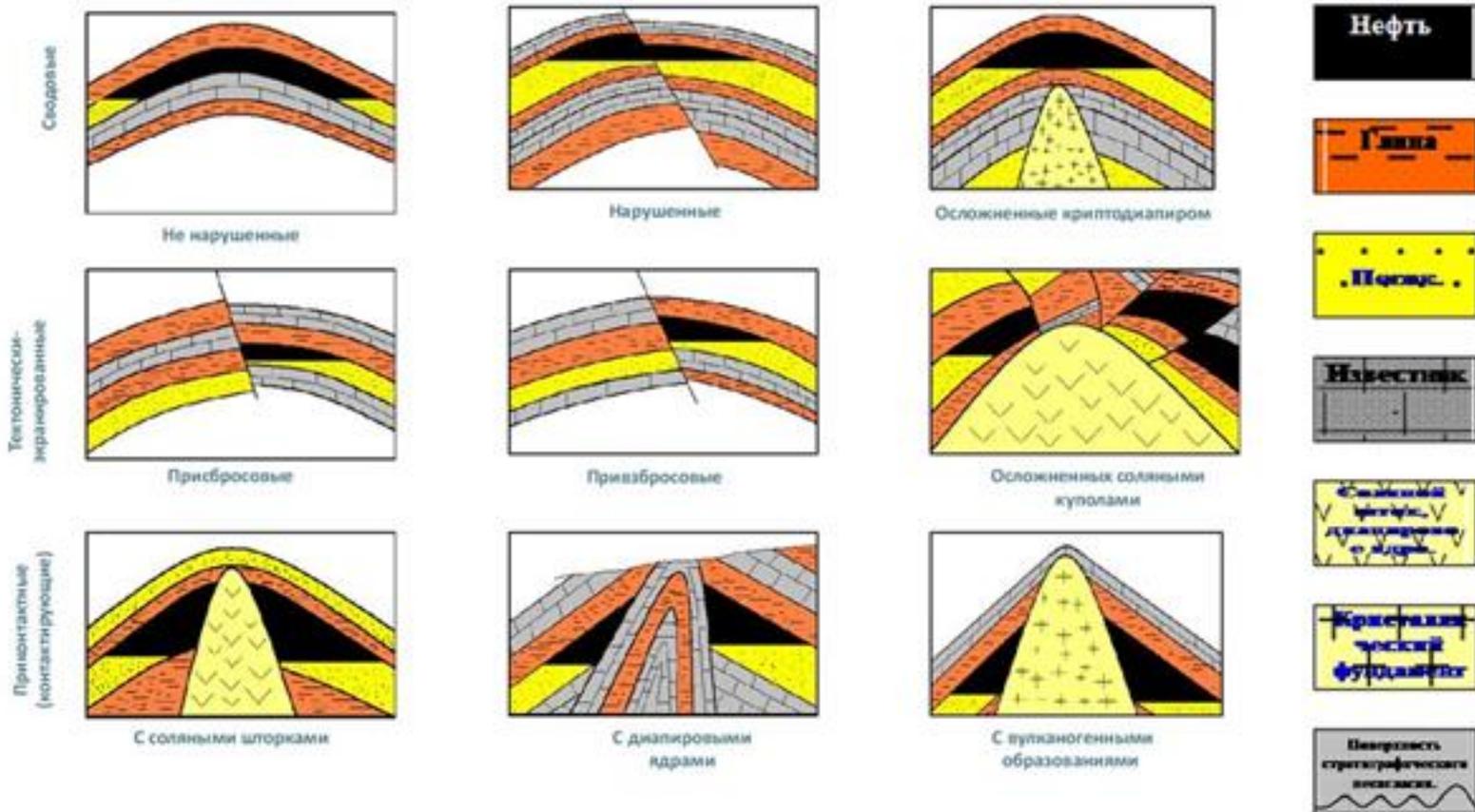
Линия пересечения ВНК с *кровлей* пласта (нижней поверхностью покрышки) называется *внешним контуром нефтеносности*, линия пересечения ВНК с *подошвой* пласта называется *внутренним контуром нефтеносности*. Соответствующим образом определяются *газонефтяной контакт* (ГНК), *внешний* и *внутренний контуры газоносности*.

# Типы залежей нефти и газа по составу

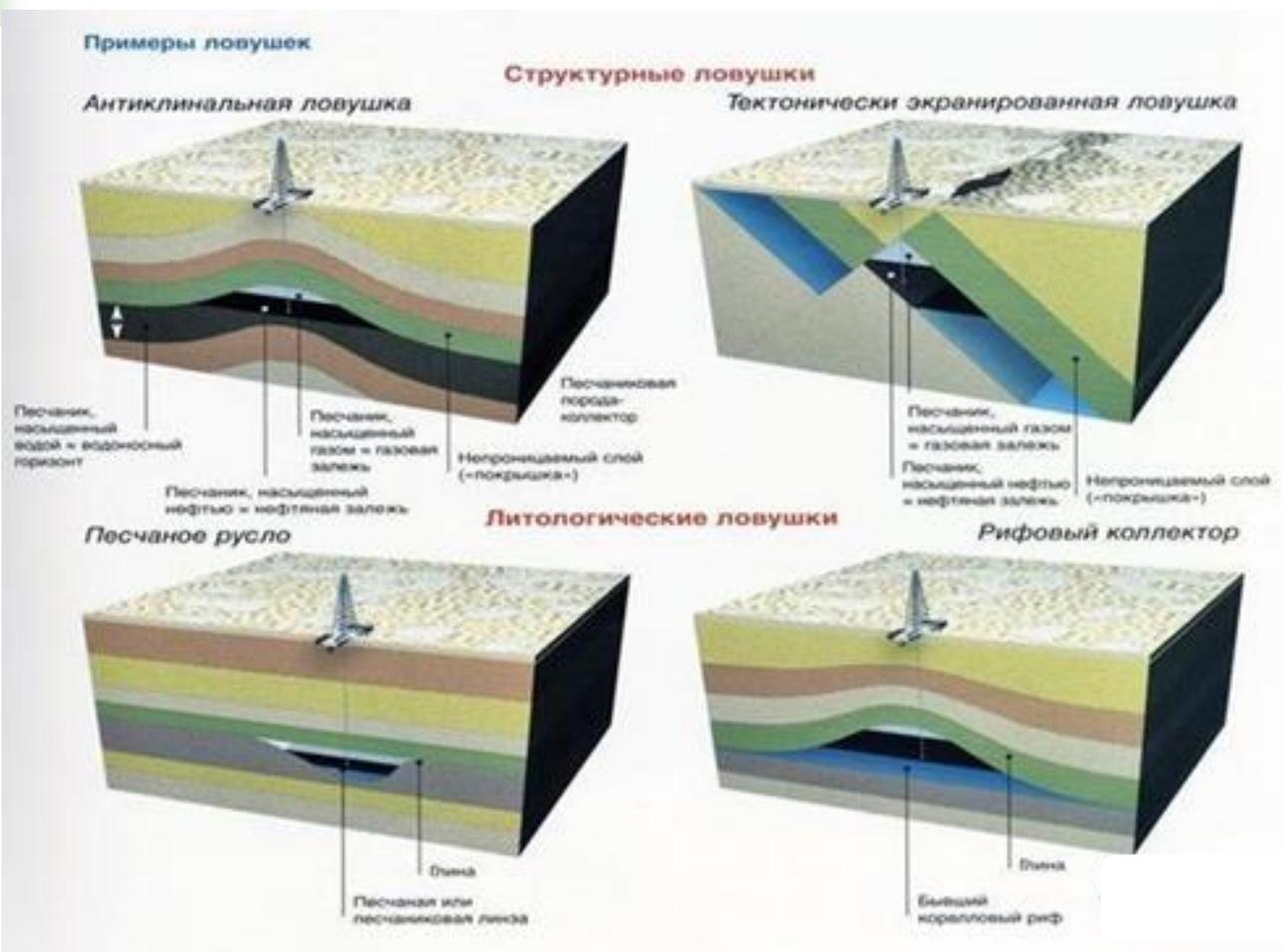


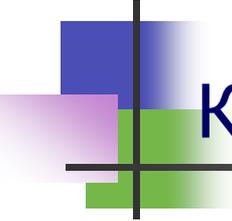
# Залежи нефти и газа структурного класса

Конфигурация залежей может быть самой разнообразной и связана с различными типами ловушек (**сводовая залежь**, **многопластовая система**, **рифовый массив**). На рисунке приведены типы залежей **структурного класса**.



# Основные типы ловушек нефти и газа





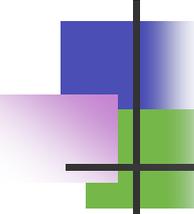
## Классификация запасов

---

Одним из основных параметров залежи являются ее запасы.

Нефть и газ в залежах находятся при больших давлениях и температурах. Поэтому, определенный объем, занятый в породе нефтью или газом в пластовых условиях, не будет равен объему извлеченного флюида.

Различают **геологические** и **извлекаемые** запасы. Под **геологическими запасами** подразумевают количество нефти и газа, содержащееся в залежи и приведенное к атмосферным условиям. Количество нефти и газа, также приведенное к атмосферным условиям, которое может быть извлечено из залежи существующими методами, называется **извлекаемыми запасами**. Извлекаемые запасы составляют примерно 50% от геологических для нефтяных месторождений и около 90% – для газовых.



# Классификация запасов

---

Запасы разделяют еще на две группы: балансовые и забалансовые.

Балансовые и забалансовые – это рентабельные или нерентабельные запасы на данной стадии разработки нефти или газа. Извлекаемые запасы входят в балансовые.

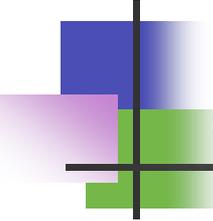
По степени изученности запасы нефти и газа подразделяются на 4 основные категории: А, В, С1, С2.

Запасы категории А – наиболее детально разведаны, подсчитаны по площади; детально изучены геолого-физические параметры пласта и свойства флюидов.

Запасы категории В – еще требуют детализации, имеются приближенные данные о геолого-физических данных пласта (приток нефти хотя бы по двум скважинам).

Запасы категории С1 – определены лишь по данным геологоразведочных и геофизических работ хотя бы по одной скважине и по аналогии с соседними месторождениями.

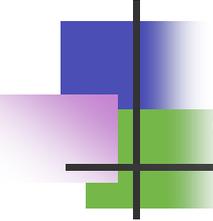
Запасы категории С2 – значительно не разведаны.



## Отбор и подготовка кернов к исследованию

Изучение физических и физико-химических свойств насыщенных пористых сред производится главным образом путем лабораторных анализов кернов и проб нефти, воды и газа (называемых пластовыми флюидами), отбираемых из скважин.

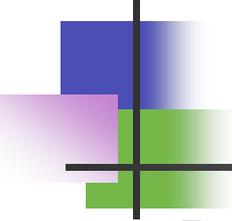
**Керном называется образец горной породы, отобранный из продуктивного нефтегазоносного коллектора.** Если анализ проб флюидов довольно точно может характеризовать их свойства по всему поровому пространству, то анализ керна дает характеристику слишком малой площади поперечного сечения пласта по сравнению с общей площадью, приходящейся на одну скважину. Изучение керна целесообразно и необходимо, но число и порядок отбора должен быть правильно организован. Отбор кернов производится в процессе бурения скважин.



## Отбор и подготовка кернов к исследованию

Отбор кернов – образцов горных пород производится по отдельным разведочным скважинам, расположенным по площади залежи с учетом геологических особенностей строения продуктивных пластов. Образцы отбираются в продуктивной части разреза скважины. Поскольку в пределах разреза скважины свойства пород могут меняться значительно, необходимо стремиться к тому, чтобы каждый метр разреза был представлен не менее чем тремя–четырьмя образцами породы для анализа.

После извлечения керна на поверхность куски породы очищают от глинистого раствора и осматривают. При описании керна указывают степень однородности и характеристику породы, крупность и характер «скатанности зерен», характер цементирующего материала, слоистость, трещиноватость, цвет, признаки нефтеносности.



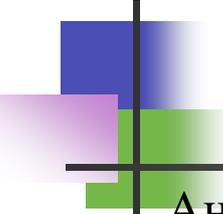
## Отбор и подготовка кернов к исследованию

---

В описание заносят номер образца, глубину и мощность интервала отбора и намечают образец к исследованию физических свойств и нефтеводонасыщенности.

Лучшим способом хранения керна, намеченного к исследованию нефтеводо-насыщенности, считается способ парафинирования. После описания образец помещается в плотно прилегающий к породе слегка увлажненный целлофановый пакет, который затем покрывается парафинированной марлей. При увлажнении пакета предотвращается испарение воды из керна.

**Каждый образец должен быть снабжен этикеткой с указанием номера образца, интервала отбора и номера скважины.**

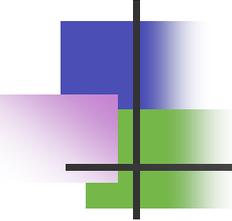


## Отбор и подготовка кернов к исследованию

---

Анализ кернов производится в следующем порядке. С образца снимают парафин и поверхностный слой породы толщиной не менее 5 мм. Затем вырезают среднюю часть образца длиной 4 см, распиливают ее вдоль оси на две части. Они предназначаются для определения коэффициентов нефтенасыщенности, водонасыщенности, пористости, а также содержания хлоридов, карбонатности и смачиваемости. С использованием верхней части образца определяют нефтеотдачу, проницаемость и зависимость остаточной насыщенности от калиллярного давления. Нижняя часть образца керна используется для механического и петрографического анализа породы.

При проведении некоторых анализов требуются образцы правильной геометрической формы. Изготовление образцов необходимой формы производится вручную с помощью напильника, наждачного круга, либо на специальных обдирочных станках. В таблице приведены наименьшие размеры образцов, необходимые при различных целях исследования керна материала.

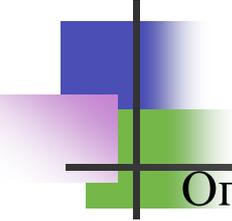


## Водонасыщенность горных пород

Образцы пород, насыщенные нефтью и водой, перед проведением всех анализов, кроме определения коэффициента нефтеводонасыщенности, освобождают от содержащегося путем промывки спиртобензольной смесью (или другими растворителями) в аппарате Сокслета и высушивают до постоянной массы при температуре 105–107 °С. **Определение водо- и нефтенасыщенности проводят на аппаратах Дина, Старка и Закса.**

Содержание воды в породе определяется через коэффициент водонасыщенности. **Коэффициентом водонасыщенности называется отношение объема  $V_v$  содержащейся в образце воды к суммарному объему пор  $V_n$  данного образца:**

$$S = \frac{V_v}{V_n}$$



## Водонасыщенность горных пород

Определение коэффициентов может быть составной частью лабораторных и экспериментальных исследований по изучению вытеснения нефти различными агентами из моделей пласта. Знание величин является важным и потому, что они определяют фазовые проницаемости для воды при их фильтрации, тем самым динамические характеристики фильтрационного потока.

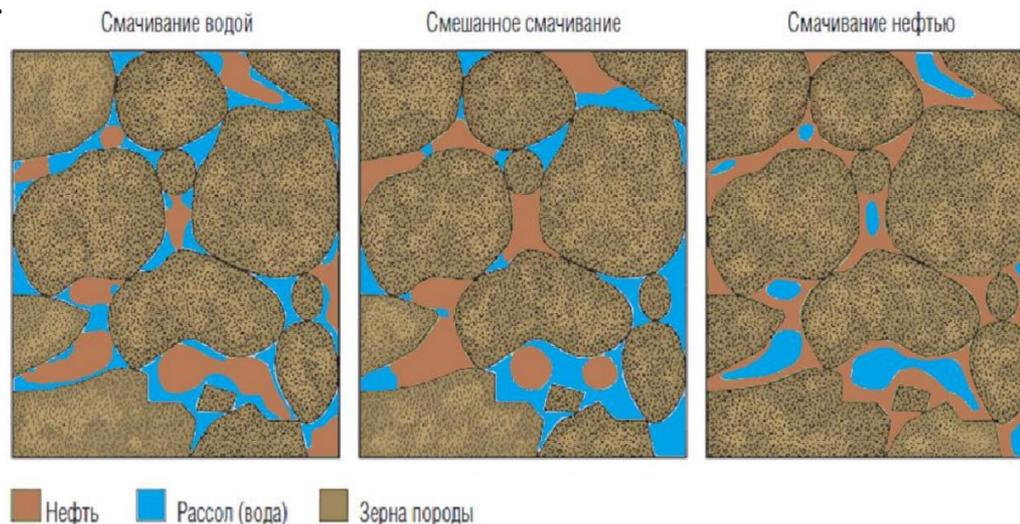
Состояние остаточной воды и начальное распределение нефти, газа и воды в пористой среде пласта определяются многочисленными свойствами пористой среды и пластовых жидкостей – **структурой пор и составом пород, физико-химическими свойствами пород и пластовых жидкостей, количеством и составом остаточной воды и т.д.**

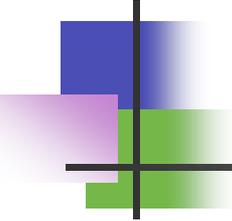
Начальное распределение нефти, остаточной воды и газа в пористой среде пласта влияет на процессы движения нефти в пористой среде и вытеснения ее водой из пласта.

В зависимости от количества, состава и состояния остаточных вод определяется молекулярная природа поверхности нефтяного коллектора.

# Водонасыщенность горных пород

Если остаточная вода в пласте в виде тонкой пленки покрывает поверхность поровых каналов, то поверхность твердой фазы остается **гидрофильной**, если же пленка воды отсутствует, то нефть непосредственно соприкасается с твердой поверхностью и вследствие адсорбции поверхностно-активных веществ нефти поверхность нефтяного коллектора становится в значительной степени **гидрофобной**. Формы существования остаточной воды необходимо учитывать во всех процессах, в которых молекулярная природа поверхности твердой фазы играет значительную роль. Это необходимо учитывать при изучении нефтеотдачи пласта.



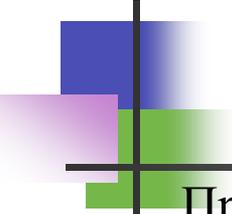


# Водонасыщенность горных пород

---

Различают следующие виды воды в горных породах:

1. Капиллярно-связанная вода в узких капиллярных каналах, где интенсивно проявляются капиллярные силы.
2. Адсорбционная вода, удерживаемая молекулярными силами у поверхности твердого тела и прочно связанная с частицами пористой среды (свойства адсорбционной воды значительно отличаются от свойств свободной).
3. Пленочная вода, покрывающая гидрофильные участки поверхности твердой фазы.
4. Свободная вода, удерживаемая капиллярными силами в дисперсной структуре (ограничивается менисками на поверхностях раздела вода-нефть, вода-газ).



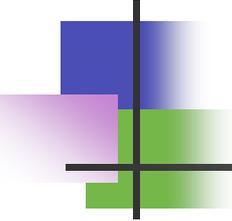
## Водонасыщенность горных пород

---

При анализе керна в образце породы определяется общее количество остаточной воды без количественной оценки различных ее видов. Это объясняется неопределенностью условий существования и классификации остаточной воды и сложностью отдельного ее определения по видам.

Состояние остаточной воды в нефтяном и газовом пластах определяется физико-химическими свойствами жидкостей. Чаще всего сплошная пленка воды между нефтью и твердой фазой отсутствует и большая часть остаточной воды находится в капиллярно-удержанном состоянии.

При этом от свойств воды в большой степени зависит состояние связанной воды. С увеличением концентрации солей в минерализованной остаточной воде, первоначально заполнявшей керн, в последующем увеличивается степень гидрофобизации твердой фазы нефтью вследствие десольватирующего (то есть разрушающего сольватные слои) действия ионов солей.



## Водонасыщенность горных пород

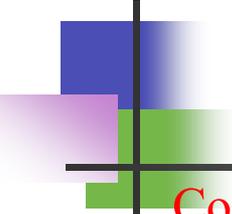
---

Устойчивые пленки возникают только при очень низком поверхностном натяжении между водой и нефтью и слабой минерализации воды.

На этом основании можно предполагать, *что в пластах, содержащих высокополярные нефти и слабоминерализованные сильно щелочные воды, последние находятся в капиллярно-удержанном и пленочном состоянии.*

При анализе кернового материала в образце породы определяется общее количество остаточной воды без количественной оценки различных ее видов.

Это объясняется неопределенностью условий существования и классификации остаточной воды и сложностью отдельного ее определения по видам.



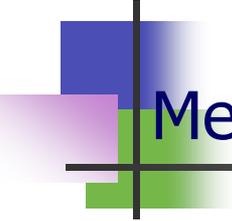
## Водонасыщенность горных пород

---

Состояние остаточной воды в нефтяном и газовом пластах определяется физико-химическими свойствами жидкостей. Чаще всего сплошная пленка воды между нефтью и твердой фазой отсутствует и большая часть остаточной воды находится в капиллярно-удержанном состоянии.

При этом от свойств воды в большой степени зависит состояние связанной воды. С увеличением концентрации солей в минерализованной остаточной воде, первоначально заполнявшей керн, в последующем увеличивается степень гидрофобизации твердой фазы нефтью вследствие десольватирующего (то есть разрушающего сольватные слои) действия ионов солей. Устойчивые пленки возникают только при очень низком поверхностном натяжении между водой и нефтью и слабой минерализации воды.

На этом основании можно предполагать, что в пластах, содержащих высокополярные нефти и слабоминерализованные сильно щелочные воды, последние находятся в капиллярно-удержанном и пленочном состоянии.



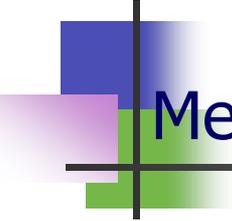
## Методы определения водонасыщенности горных пород

Получению точных данных о водонасыщенности мешает загрязнение кернов промывочным раствором, особенно сильное в случае, если промывочная жидкость имеет водную основу. Подавляющее большинство залежей нефти и газа содержит воду только в пленочном и капиллярно-связанном состоянии. Существующие прямые и косвенные методы рассчитаны на суммарное определение этих форм воды.

### Прямые методы.

Определение водонасыщенности пород по данным анализа кернов заключается в следующем. С помощью соответствующих приборов определяют содержание воды в образце и общую потерю веса образца после экстрагирования и высушивания. Количество нефти, содержащейся в образце, определяют вычитанием веса извлеченной воды из общей потери в весе.

Водонасыщенность образца породы методом перегонки определяют дистилляционными методами Дина и Старка (образец погружен в кипящий растворитель), Закса, Юстера, Сокслета, (образец установлен над кипящим растворителем). Растворителями служат ксилол, толуол.



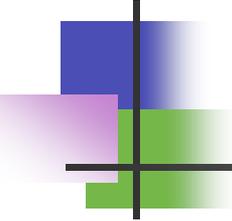
# Методы определения водонасыщенности горных пород

---

## Косвенные методы

Бурение скважин на известково-битумном растворе, позволяющем отбирать керны с пластовой влажностью, осуществляются редко, поэтому в практике лабораторных работ применяют ряд косвенных методов определения остаточной воды в образцах керна:

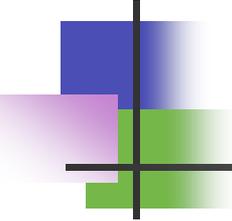
1. Полупроницаемой мембраны.
2. Центрифугирования.
3. Нагнетания нефти.
4. Испарения.
5. Хлоридный.
6. По данным электропроводности.
7. Капиллярного впитывания.
8. По остаточной керосинонасыщенности.
9. Фазовой газопроницаемости.



# Контрольные вопросы

---

1. Что такое коллекторы, типы коллекторов?
2. На какие группы подразделяются коллекторы нефти и газа по геологическому формированию?
3. Чем определяется структура породы, назовите их классификацию?
4. В чем сходство и различие терригенных и карбонатных коллекторов?
5. Что такое «кern»?
6. Каков порядок отбора кернового материала к анализу?
7. К каким основным видам относят залежи нефти и газа?
8. Как классифицируются запасы нефти и газа?
9. В чем различие между геологическими и извлекаемыми запасами?
10. Дайте определение коэффициентам водо- и нефтенасыщенности коллектора?
11. Единицы измерения водонасыщенности?
12. Какие существуют методы определения водонасыщенности?
13. Что такое остаточная вода, каковы основные виды ее нахождения в пористой среде?



## Рекомендуемая литература

---

1. Мухаметова З.С., Физика нефтяного и газового пласта. Электронный учебно-методический комплекс, 2-ое издание, переработанное, Уфа, 2013.
2. Физика пласта: Учебное пособие / Авт.-сост. Т.Б. Кочина, В.Н. Спиридонова, Н.Н. Родионцев, И.А. Круглов. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2017.
3. Мирзажданзаде А.Х., Аметов И.М., Ковалев А.Г. Физика нефтяного и газового пласта. М., Недра, 2012.
4. Гиматудинов Ш.К., Ширковский А.И. Физика нефтяного и газового пласта. М., Недра, 2012.
5. Ковалева Л.А. Физика нефтегазового пласта. – Учебное пособие. Уфа, РИО БашГУ, 2013.
6. Воронина Н.В., Чупров В.В. Лабораторный практикум по дисциплине Физика пласта, Ухта: УГТУ, 2017.
7. Ермилов О.М. и др. Физика пласта, добыча и подземное хранение газа. М., Недра, 2012.
8. Технология добычи нефти и газа. Лабораторный и расчетный практикум для студентов специальности 185 «Нефтегазовая инженерия и технологии»/В.Г. Топоров, С.Ф. Поверенный, Е.П. Варавина, Е.А. Яцкевич. – Х.: НТУ «ХПИ», 2018.
9. Физика пласта: Методические указания для практических занятий/Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: Тананыхин Д.С. СПб. 2015.