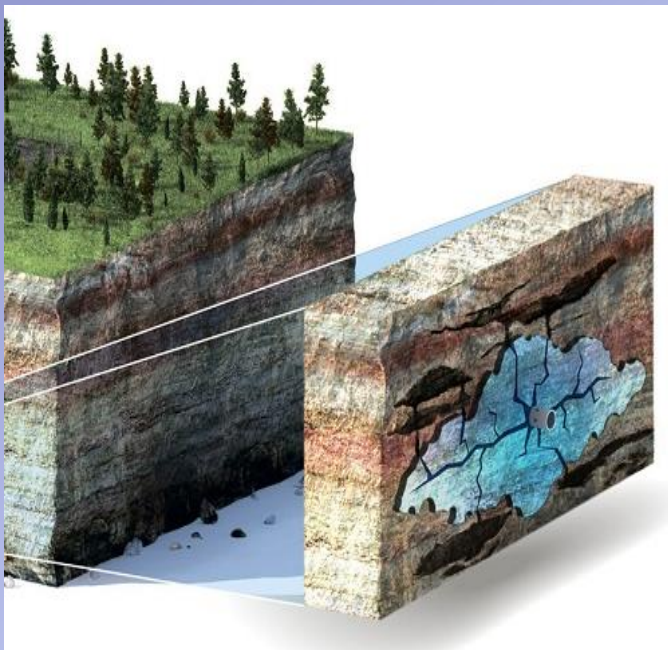


**НАО «КАРАГАНДИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АБЫЛКАСА САГИНОВА»**

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



# **ЛЕКЦИЯ**

**Тема: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ГОРНЫХ ПОРОД**

**Дисциплина: Петрофизика  
нефтяного пласта**



**Автор:**

**к.т.н., доц. Пономарева М.В.**

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



# План лекции

---

1. Виды поляризации горных пород.
2. Диэлектрическая проницаемость горных пород.
3. Электропроводность горных пород.
4. Удельное электрическое сопротивление горных пород.
5. Зависимость удельного сопротивления от пористости и водонасыщенности
6. Зависимость удельного сопротивления от температуры
7. Анизотропия горных пород по электрическим свойствам



## Цель лекции

---

*Цель лекции* – изучить виды поляризации горных пород, дать понятия диэлектрической проницаемости, электропроводности и удельного электрического сопротивления нефтяных пластов, рассмотреть зависимости удельного сопротивления от пористости, водонасыщенности, температуры.



## 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 электрических свойств горных пород, являющихся коллекторами нефти и газа.

Электрические свойства горных пород играют важную роль при проведении электроразведки полезных ископаемых. Электрические методы позволяют получить сведения о коэффициентах пористости, проницаемости и степени глинизации пород, нефте- и газонасыщенности, необходимые для рациональной разработки месторождений. Поэтому изучение электрических свойств горных пород 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.



# Электрические свойства горных пород

---

Электрические свойства горных пород играют важную роль при проведении электроразведки полезных ископаемых. Электрические методы исследования разрезов скважин дают возможность изучать характеристику вскрытых скважинами горных пород.

Эти методы также позволяют получить сведения о коэффициентах пористости, проницаемости и степени глинизации пород, нефте- и газонасыщенности, необходимые для рациональной разработки месторождений.

Микроэлектрические методы исследования разрезов скважин дают детальные сведения о микроструктуре отдельных горизонтов. Знание детального строения продуктивных горизонтов необходимо при поисках, разведке, и особенно при разработке нефтяных и газовых месторождений.



# Электрические свойства горных пород

---

Электрические свойства пород могут меняться в процессе разработки месторождения, а движение флюидов в пористой среде приводит к неэквивалентному обмену зарядами между твердым телом и жидкостью и возникновению так называемого двойного электрического слоя. Такие процессы происходят не только в пластах, но и между скважинным оборудованием и пластовой жидкостью.

**К основным характеристикам, характеризующим электрические свойства горных пород, относятся:**

- 1. Удельное электрическое сопротивление.**
- 2. Электропроводность.**
- 3. Относительная диэлектрическая проницаемость.**
- 4. Тангенс угла диэлектрических потерь.**
- 5. Электрическая прочность.**



## Виды поляризации горных пород

---

Внешнее электрическое поле может вызвать в ионно-проводящих горных породах (песках, песчаниках, известняках и др.) различного вида поляризационные процессы:

- 1) упругого смещения электронов, атомов, ионов, дипольных молекул;
- 2) релаксационной (тепловой) поляризации;
- 3) миграционной (объемной) поляризации;
- 4) концентрационно-диффузного перераспределения;
- 5) электролитической;
- 6) электроосмоса.

# Виды поляризации горных пород







## Виды поляризации горных пород

---

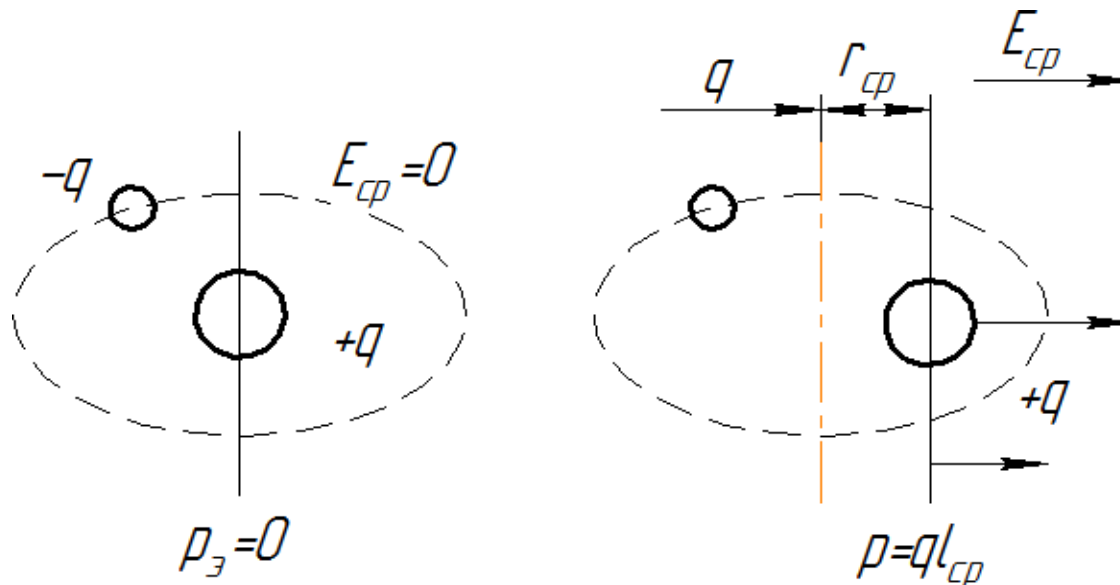
1) **Поляризация смещения** возникает в породах, содержащих заряженные и взаимосвязанные частицы, способные смещаться относительно друг друга под действием поля. **Она подразделяется на: электронную, атомную, ионную, дипольную.**

*Электронная поляризация* возможна у неполярных атомов и молекул пород. При этом орбиты электронов неполярных атомов и ионов смещаются в электрическом поле относительно ядер, и в объеме  $\Delta V$  возникает дипольный момент – вектор поляризации:

$$\vec{P}_e = \frac{\sum \vec{p}_e}{\Delta V}$$

где –  $\vec{p}_e = q \cdot \vec{l}$  дипольный момент атома (вектор с направлением от отрицательного к положительному заряду),  $q$  – заряд электрона,  $l$  – среднее расстояние между полюсами диполя, рисунок 1.

# Виды поляризации горных пород



Электронная поляризация при отсутствии (а) и при наличии (б) внешнего поля  
Рисунок 1



## Виды поляризации горных пород

Электронная поляризация происходит в течение  $10^{-14}$ – $10^{-15}$  с в диапазоне частот внешнего поля от нулевых до оптических.

*Атомная поляризация* наблюдается у пород с валентными кристаллами из разносортных атомов, между которыми в молекулах действуют ковалентные связи (силы обменного взаимодействия валентных электронов). При этом электроны внешних оболочек перераспределяются между атомами несимметрично. В результате относительного смещения в молекулах атомов различного сорта во внешнем поле происходит атомная поляризация, которая меньше электронной, а время ее установления несколько больше электронной и составляет  $10^{-11}$ – $10^{-13}$  с.

*Ионная поляризация* возможна у кварца, корунда, кальцита и других ионных кристаллов, кристаллическая решетка которых содержит разнотипные ионы. Ионная поляризация в электрическом поле сводится к смещению ионов разного знака от положения их равновесия в кристаллической решетке. Она происходит за время  $10^{-13}$ – $10^{-14}$  с.



## Виды поляризации горных пород

---

*Дипольная поляризация* – смещение дипольных молекул – характерна для дипольных диэлектриков с сильносвязанными полярными молекулами, способными поворачиваться под действием внешнего поля на небольшие углы.

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*.

2) *Релаксационная (тепловая) поляризация* происходит в породах, содержащих слабосвязанные частицы, которые при тепловом движении могут изменять положение равновесия. При этом различают ориентационную дипольную, ионную тепловую и электронно-релаксационную поляризацию.



## Виды поляризации горных пород

*Ориентационная дипольная* поляризация характерна для пород, в составе которых содержатся вещества (вода, нефть, газы) с дипольными полярными молекулами.

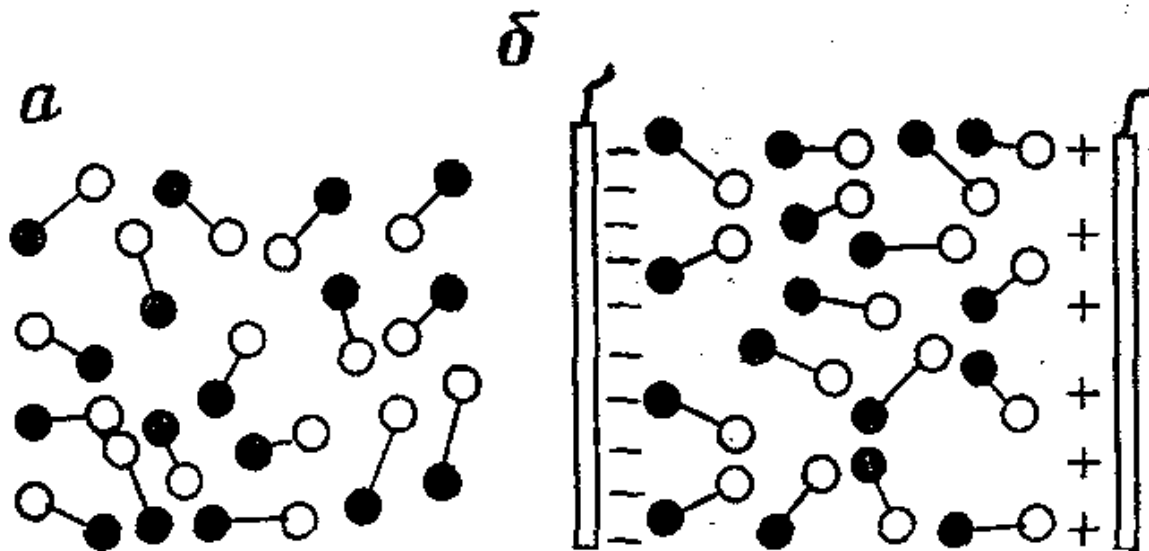
При наложении внешнего поля происходит преимущественная ориентация осей дипольных молекул по направлению поля. Тепловое движение препятствует этому процессу, дезориентируя молекулы, поэтому до наложения поля результирующий дипольный момент породы равен нулю. Время релаксации дипольных молекул полярных жидкостей (время установления релаксационной поляризации) равно:

$$\tau = A \cdot \exp(U / kT)$$

где  $U$  – высота потенциального барьера, разделяющего два положения равновесия дипольных молекул,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура,  $A$  – постоянная величина, слабо зависящая от температуры.

# Виды поляризации горных пород

Ориентационная поляризация при отсутствии (*a*)  
и при наличии (*б*) внешнего поля





## Виды поляризации горных пород

---

С ростом температуры и частоты внешнего поля ориентационная поляризация уменьшается. Время ее установления  $10^{-10}$ – $10^{-7}$  с. Ориентационная поляризация наблюдается не только у полярных жидкостей и газов, но и у минералов пород с решеткой кольцевого и каркасного типа и неплотно упакованными частицами (минералы глины, кристаллогидраты).

*Ионная тепловая* поляризация возможна у ионных кристаллов со слабосвязанными ионами из-за дефектов или особого строения кристаллической решетки. При наложении внешнего электрического поля ионы переносятся в кристаллах на расстояния, сравнимые с межатомными, что приводит к поляризации породы.

*Электронно-релаксационная поляризация* возникает из-за избыточных «дефектных» электронов или «дырок».



## Виды поляризации горных пород

---

3) **Миграционная поляризация** предполагается у пород, проводящие компоненты которых разделены непроводящими или воздухом

В этом случае положительные ионы проводящих включений перемещаются по полю, отрицательные – против поля, но задерживаются в пределах включений на межфазной границе, так как другая фаза практически не проводит электрический ток.

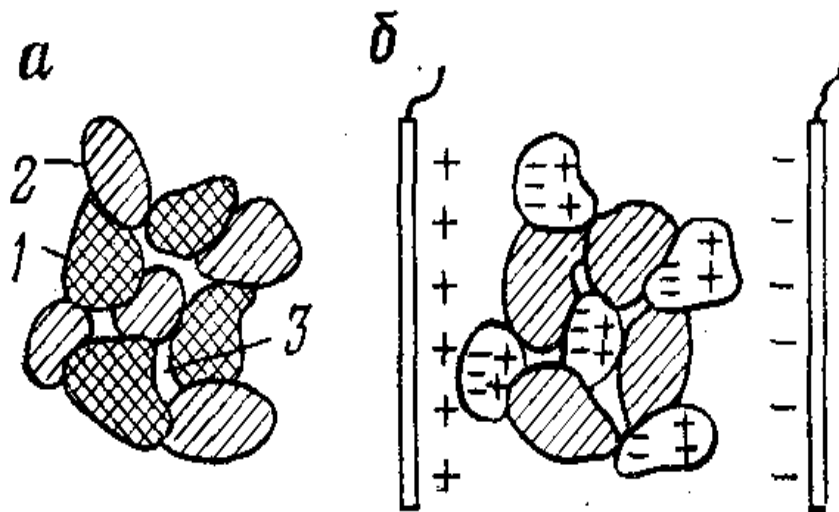
При этом возможны также миграция электронов к аноду и скопление положительных ионов в противоположном конце. В результате проводящие частицы породы поляризуются и приобретают дипольный момент подобно большой молекуле.

Миграционная поляризация осуществляется за время  $10^{-6}$ – $10^{-3}$  с, сравнимое со временем ориентационной (дипольной) поляризации.



# Виды поляризации горных пород

Миграционная поляризация при отсутствии (а) и при наличии (б) внешнего поля





## Виды поляризации горных пород

---

4) **Концентрационно – диффузная поляризация** возникает в ионно-проводящих породах, заполненных электролитом, как правило, при резкой неоднородности поровых каналов. При большой частоте поля такой вид поляризации отсутствует.

5) **Электролитическая поляризация** в большей степени проявляется в электронно-ионно-проводящих породах, одной из главных составляющих которой является адсорбционная или химическая поляризация из-за наличия на поверхности электронно-проводящих зерен прочно адсорбированного слоя. Время релаксации перенапряжения адсорбции составляет 100-200 мкс, а концентрационной поляризации от нескольких секунд до нескольких минут.



## Виды поляризации горных пород

---

б) **Электроосмотическая поляризация** породы возникает в результате электроосмоса – явления переноса электролита через породу при наличии градиента электрического поля. Ионы электролита, смещаясь к соответствующему электроду при наложении поля, создают градиент давления того же направления. При выключении поля это вызывает фильтрацию жидкости в порах в обратном направлении и способствует возникновению в породе электроосмотической разности потенциалов.

**Суммарная поляризация** горной породы складывается из всех видов поляризаций. Наибольшего значения она достигает у электронно-ионно-проводящих пород в постоянном, достаточно напряженном и длительно действующем электрическом поле, при низких температурах и давлениях. При очень большой частоте поля, превышающей 100 ГГц, поляризация породы связана только с быстрыми видами поляризации (электронной, атомной и ионной). В диапазоне частот внешнего поля 100 Гц–100 ГГц возможны релаксационная и миграционная виды поляризации.



# Диэлектрическая проницаемость горных пород

Все виды поляризации, успевшие проявиться при наложении на породу внешнего электрического поля, способствуют возникновению в ней собственного поля, направленного противоположно приложенному. Вследствие этого напряженность внешнего поля в породе ослабевает. Это явление характеризуется безразмерной величиной – **относительной диэлектрической проницаемостью**:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E_n}$$

где  $E_0$  – напряженность электрического поля в вакууме,  $E_n$  – напряженность электрического поля в породе,  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость вещества.

Выражая электрическое поле в породе через **вектор электрической индукции**  $\vec{D}$  (количество электричества, которое поле способно индуцировать на единицу площади), получим:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума (электрическая постоянная).

В переменных электромагнитных полях диэлектрическая проницаемость выражается комплексной величиной и зависит от частоты поля, то есть наблюдается дисперсия диэлектрической проницаемости.



# Электропроводность горных пород

---

Электропроводностью горных пород называется их способность проводить электрический ток при наличии внешнего электрического поля. Электропроводность горных пород по своей природе может быть **электронной и ионной**.

Первой обладают частицы породы, а второй – воды, насыщающие поровое пространство, легко гидролизующиеся минералы, входящие в состав глин, и в очень малой степени – кристаллы других минералов, составляющих породу. **Для большинства горных пород и особенно пород осадочного комплекса преобладает ионная электропроводность.**

В горных породах возможно возникновение всех видов токов:

- **тока проводимости (сквозной ток);**
- **абсорбционного тока;**
- **емкостного тока (смещения).**



# Электропроводность горных пород

---

Появление тока проводимости связано с наличием в породе свободных и слабосвязанных ионов, электронов и дырок. В первом случае перенос зарядов связан с электрохимическими реакциями в двойном электрическом слое, электронная и дырочная проводимость возникает, если в состав породы входят проводники и полупроводники.

Абсорбционный ток обусловлен проявлением процессов поляризации (в основном, медленных – релаксационной и миграционной поляризации). При этом электроны или ионы, пройдя в породе некоторое расстояние, прекращают свое направленное движение. Абсорбционные токи способствуют нагреву породы, то есть переводу части энергии наложенного электрического поля в тепловую.

Вследствие поляризации смещения и зарядки межэлектродной емкости в породе протекает и только емкостной ток. Полный ток представляет собой результирующую всех видов токов и имеет как активную, так и реактивную составляющую.



## Электропроводность горных пород

В **постоянном внешнем электрическом поле** преобладает только ток проводимости  $I$ , который пропорционален напряженности электрического поля  $E$  и сечению образца  $F$ :

$$I = \sigma \cdot F \cdot E$$

Здесь  $\sigma$  – удельная электропроводность горных пород,  $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ . Эта величина обратна удельному электрическому сопротивлению.

В **переменных полях** горным породам присущи все виды токов, так как в них имеются и проводящие компоненты (металлы), и диэлектрики (кварц), а также электролиты (пластовая вода). При наложении на породу переменного электрического поля часть его энергии теряется, точнее, преобразуется в тепло. Эти **потери** можно разделить на потери от **проводимости** и **релаксации** (связанной с различными видами поляризации). Их можно разделить на **обратимые** (заряд и разряд идеального конденсатора) и **необратимые** (они и вызывают нагрев породы). Рассеиваемая мощность (удельные электрические потери) может быть выражена формулой:

$$p = \frac{\varepsilon \cdot \text{tg} \delta}{1,3 \cdot 10^{10}} f \cdot E^2, \quad \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3} \right]$$

Здесь  $\text{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь среды,  $f$  – частота поля.



## Удельное электрическое сопротивление горных пород

Удельное электрическое сопротивление горных пород изменяется в широких пределах от долей Ом·м до сотен тысяч Ом·м. Эта особенность обеспечивает возможность детального изучения горных пород по их удельным электрическим сопротивлениям.

В практике геофизических методов исследования скважин числовое значение этого параметра относится к  $1\text{ м}^3$  породы с поперечным сечением  $1\text{ м}^2$  и длиной  $1\text{ м}$ ; единицей измерения удельного электрического сопротивления является Ом·м<sup>2</sup>/м или Ом·м.

Горные породы в естественном состоянии обычно содержат водные растворы солей. Вследствие этого удельное электрическое сопротивление пород зависит не только от удельного сопротивления твердых минералов, образующих скелет породы, и химического состава и концентрации водных растворов, заполняющих поровое пространство породы, но и от содержания этих минералов и растворов в единице объема породы и ее температуры.





## Удельное электрическое сопротивление горных пород

Кроме того, удельное сопротивление пород зависит от формы и размеров зерен породы и ее структуры.

**Удельное сопротивление минералов и вод.** Малая электропроводность большинства минералов обусловлена малой диссоциацией кристаллов и отсутствием свободных электронов. Удельное сопротивление минералов составляет тысячи и миллионы Ом·м за исключением самородных металлов, сульфидов, графита, углей и некоторых окислов. В целом удельное электрическое сопротивление большинства исследованных минералов изменяется в очень широких пределах:  $10^{-6}$ – $10^{17}$  Ом·м. Минералы с более высокими или низкими значениями удельного электрического сопротивления встречаются редко.

Удельное электрическое сопротивление  $\rho_v$  вод, насыщающих горные породы, зависит от химического состава и концентрации солей, растворенных в этих водах.

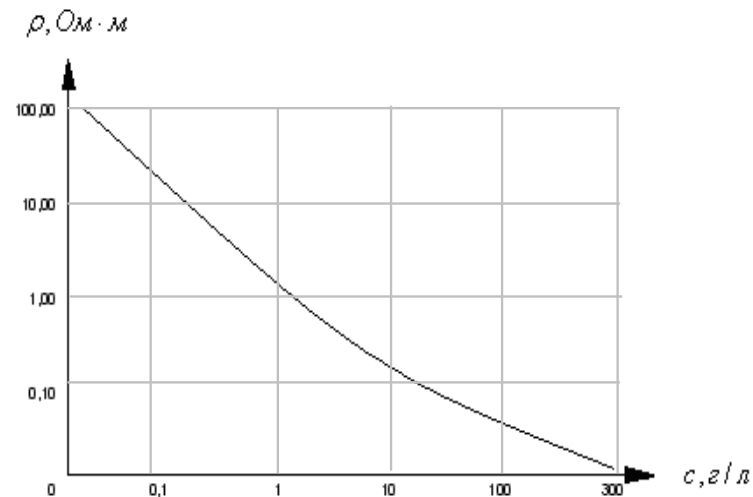
# Удельное электрическое сопротивление горных пород

Удельное сопротивление горных пород пропорционально удельному сопротивлению вод, насыщающих породу, величина которого

$$\rho_e = \frac{10}{\sum (c_a l_a f_{ea} + c_k l_k f_{ek})} [\text{Ом} \cdot \text{м}]$$

зависит от количества  $c_a$  анионов и  $c_k$ , катионов в растворе, их электролитических подвижностей  $l_a$  и  $l_k$  и Коэффициентов электропроводностей  $f_{ea}$  и  $f_{ek}$ . Величины последних зависят от концентрации растворенных солей и их химического состава.

На рисунке представлена зависимость удельного сопротивления пластовых вод от концентрации растворенных солей



## Удельное электрическое сопротивление горных пород

При расчетах удельного сопротивления пластовых вод часто бывает возможным заменить все растворенные соли эквивалентным количеством той из них, содержание которой в растворе наиболее велико. Такой солью обычно является хлористый натрий. Затем удельное сопротивление раствора приближенно определяется по его плотности в абсолютных значениях, или в градусах Боме, либо по процентному содержанию соли  $NaCl$ . Для определения удельного сопротивления растворов хлористого натрия по указанным данным используются номограммы.

Удельное электрическое сопротивление вод удобно определять по эквивалентному содержанию анионов, для чего используют соответствующие кривые. При малых концентрациях солей скорости ионов не зависят от величины последних, то удельное сопротивление вод, насыщающих поровое пространство, можно считать обратно пропорциональным концентрации растворенных солей:

$$\rho_v = \frac{A_c}{c} \quad , \quad \text{где} \quad A_c = \frac{10}{\sum \left( \frac{c_a}{c} l_a f_{ea} + \frac{c_k}{c} l_k f_{ek} \right)}$$

зависит от химического состава растворенных солей.



## Удельное электрическое сопротивление горных пород

---

В природных условиях концентрация солей, растворенных в водах, колеблется в широких пределах – от долей миллиграмма на литр (пресные воды) до сотен граммов на литр (соленые пластовые воды). Удельное сопротивление вод изменяется от сотых долей Ом·м до 150 Ом·м и выше, то есть более чем в 10000 раз.

Экспериментальное определение удельного электрического сопротивления горных пород проводится различными способами от простого измерения силы тока, проходящего через образец правильной формы до использования специальных серийных приборов. В лабораторных условиях наиболее распространенным является мостовой метод.

Зависимость удельного сопротивления пород от пористости в породах однородной структуры может быть установлена теоретически.



## Зависимость удельного сопротивления от пористости и водонасыщенности

---

В породах неоднородной структуры, сложенных непроводящими зернами, зависимость сопротивления горной породы от пористости имеет более сложный вид.

В этих породах  $\rho_{en}$  зависит также от коэффициента отсортированности породы и степени ее цементации. Зависимость удельного сопротивления горных пород от содержания водных растворов солей в порах породы определяется коэффициентом  $P_n$ , который показывает, во сколько раз возрастает сопротивление породы  $\rho$  при частичном насыщении ее пор водой или во сколько раз изменяется сопротивление  $\rho_{nn}$  нефтеносной (газоносной) породы при частичном насыщении ее пор нефтью или газом по отношению к сопротивлению  $\rho_{nn}$  той же породы при условии полного заполнения порового пространства минерализованной водой:

$$P_n = \frac{\rho}{\rho_{en}} = \frac{\rho_{nn}}{\rho_{en}}$$



## Зависимость удельного сопротивления от пористости и водонасыщенности

---

$\rho$  – удельное электрическое сопротивление пород;  $\rho_{nn}$  – удельное сопротивление нефтенасыщенных пород;  $\rho_{en}$  – удельное сопротивление водонасыщенных пород при 100%-м насыщении.

Коэффициент  $P_n$  называется коэффициентом относительного сопротивления при нефте- или газонасыщения породы или параметром насыщения (нефтенасыщения, водонасыщения) порового пространства породы. На основании большого числа экспериментальных исследований между коэффициентом  $S_g$  водонасыщения порового пространства породы и параметрами  $P_n$  установлена следующая зависимость:

$$P_n = \frac{a_n}{S_g^n} = \frac{a_n}{(1 - S_n)^n}$$



## Зависимость удельного сопротивления от температуры

*Электропроводность электролитов, к которым относятся воды, насыщающие поры пород, линейно зависит от температуры.* Повышение электропроводности водных растворов с температурой объясняется возрастанием подвижности ионов в связи с уменьшением вязкости растворителя. Как следствие этого, удельное сопротивление растворов постоянной концентрации и пород, насыщенных этими растворами, при повышении температуры понижается и при температуре  $t$  определяется по формуле:

$$\rho_t = \frac{\rho_{18^0}}{1 + a_t(t - 18^0)} = P_t \rho_{18^0}$$

где  $\rho_{18}$  – удельное сопротивление раствора или породы при температуре  $18^{\circ}\text{C}$ ;

$P_t = \frac{\rho_t}{\rho_{18^0}}$  – коэффициент, определяющий зависимость удельного сопротивления породы от температуры (параметр температуры);  $a$  – температурный коэффициент электропроводности.



## Зависимость удельного сопротивления от температуры

---

Отсюда следует, что удельное сопротивление горных пород уменьшается примерно в два раза при возрастании температуры на  $40^{\circ}\text{C}$  (от  $18$  до  $58^{\circ}\text{C}$ ) и при очень высоких температурах, наблюдающихся в глубоких скважинах, может достигнуть  $1/3$ – $1/4$  его значения при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ .

Во многих случаях сопротивление осадочных пород и особенно пород, являющихся коллекторами нефти и газа, определяется тремя известными параметрами:  $P_{\text{п}}$ ,  $P_{\text{н}}$  и  $P_{\text{в}}$ .

Зная удельное сопротивление породы и два из указанных параметров, можно определить третий.

*На этом основана методика определения пористости и нефтенасыщенности пород по данным электрометрии скважин методом сопротивлений.*





# Анизотропия горных пород по электрическим свойствам

Удельное сопротивление слоистых горных пород зависит от направления, в котором определяется этот параметр, по отношению к плоскостям напластования.

*Породы, обладающие этим свойством, носят название анизотропных.*

К ним относятся: сланцевые глины, глинистые сланцы, каменные угли, мергели, глины с тонкими пропластками песков и многие другие породы.

Анизотропные породы состоят из часто чередующихся тонких прослоев плотных пород и пород, характеризующихся повышенными пористостью, влажностью и содержащих менее дисперсный материал (например, присыпки песка).

Обозначая удельное сопротивление плотных прослоев через  $\rho_p$ , а прослоев повышенной пористости через  $\rho_s$  и полагая, что суммарная мощность первых в единице объема породы в  $\nu$  раз больше суммарной мощности вторых, получим следующие формулы, определяющие величину удельного электрического сопротивления породы:

# Анизотропия горных пород по электрическим свойствам

а) вдоль напластования

$$\rho_t = \frac{(\nu + 1)\rho_p\rho_s}{\nu\rho_s + \rho_p}$$

б) в направлении, ему перпендикулярном:

$$\rho_n = \frac{(\nu\rho_p + \rho_s)}{\nu + 1}$$

Корень квадратный из отношения  $\rho_n$  к  $\rho_t$  называется **коэффициентом анизотропии породы**:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_t}} = \sqrt{1 + \frac{\nu}{(\nu + 1)^2} \frac{(\rho_p - \rho_s)^2}{\rho_p\rho_s}}$$

Удельное сопротивление слоистых (анизотропных) пород в направлении, перпендикулярном напластованию, всегда выше, чем сопротивление тех же пород вдоль напластования.



# Контрольные вопросы

---

1. Какие виды поляризации горных пород существуют?
2. Что такое диэлектрическая проницаемость горных пород?
3. В каких случаях диэлектрическая проницаемость выражается комплексной величиной?
4. В чем состоит понятие дисперсии диэлектрической проницаемости?
5. Что такое тангенс угла диэлектрических потерь, поясните его физический смысл?
6. Что такое электропроводность горных пород? Единицы измерения?
7. Что такое удельное электрическое сопротивление горных пород, единицы измерения?
8. Как зависит удельное электрическое сопротивление горных пород от пористости и водонасыщенности?
9. В чем состоит анизотропия горных пород по электрическим свойствам?
10. Как зависит удельное электрическое сопротивление горных пород от температуры?



## 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.