

Дисциплина
«Электромагнитные и акустические
исследований скважин»
(1 - Удельное электрическое
сопротивление (У.Э.С.) осадочных
горных пород)

проф. Валерий Иванович Исаев
асс. Маргарита Фаритовна Галиева
гр. 3-2271, 2021 / 2022 уч. г.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ У. Э.С. ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Осадочная горная порода состоит из минерального скелета – породообразующих минералов - и порового пространства, заполненного флюидом – пластовой водой, нефтью, газом

Факторы, определяющие У.Э.С. породы:

1. У.Э.С. породообразующих минералов (минерального скелета)
2. % примеси рудных минералов и самородных элементов
3. Коэффициент пористости и структура порового пространства
4. Пластовые условия (минерализация, температура флюида)
5. У.Э.С. пластовых флюидов (пластовая вода, нефть, газ)

ВЛИЯНИЕ У.Э.С. ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Основные минералы, формирующие скелет осадочной горной породы – кварц и кальцит.

Минеральный скелет составляет до 95% объема осадочной горной породы.

У.Э.С. кварца и кальцита $\rho=10^9-10^{16}$ Ом*м

Наиболее высокоомная осадочная горная порода – карбонатная – обладает У.Э.С., **не превышающим** $\rho=10^2-10^3$ Ом*м

Минеральный скелет – породообразующие минералы – определяют У.Э.С. породы не более чем на 5% (!?).

ВЛИЯНИЕ У.Э.С. ПРИМЕСИ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ И САМОРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Основные рудные минералы в осадочных горных породах – пирит, магнетит.

Примесь рудных минералов обычно составляет не более 5%.

У.Э.С. пирита и магнетита $\rho = 10^{-5} - 10^1 \text{ Ом*м}$

Наиболее низкоомная осадочная горная порода – глина – обладает У.Э.С., **не меньшем** $\rho = 0,5 \text{ Ом*м}$

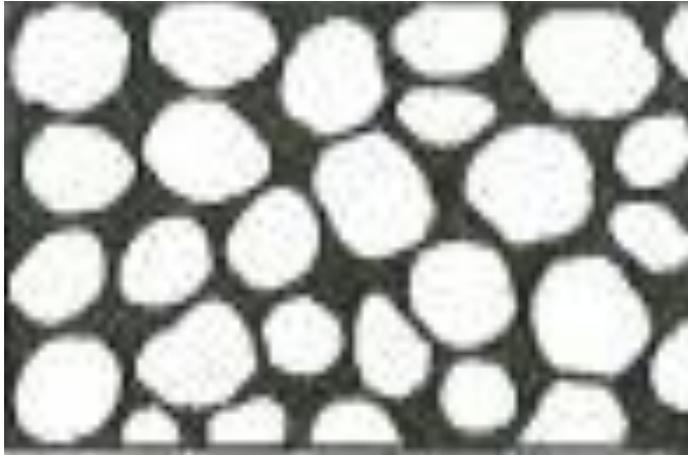
Если примесь рудных минералов не более 5%, то эта примесь практически не влияет на У.Э.С. породы.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА У. Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

Основные виды пористости:

- гранулярная, межзерновая (преимущественно **первичная** , **гидрофильная**);
- трещинная (преимущественно **вторичная**, **гидрофобная**),
- трещинно-карстовая (**вторичная**, **гидрофобная**),
- трещинно-каверновая (**вторичная**, **гидрофобная**).

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА У.Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ



Гранулярная пористость преобладает в терригенных разрезах, встречаются в карбонатных разрезах (пористых известняках)

В терригенных разрезах:

- значение коэффициента пористости K_n : от 7-10 до 30-40%

В карбонатных разрезах:

- значение коэффициента пористости K_n : 10-20%

Осадочные горные породы с гранулярной, межзерновой пористостью характеризуются минимальными значениями У.Э.С.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА У.Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ



Трещинная пористость
преобладает в карбонатных
разрезах

Значение коэффициента пористости K_n : 2-4 %

Осадочные горные породы с трещинной пористостью характеризуются максимальными значениями У.Э.С.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА У.Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ



Трещинно-кавернозная пористость преобладает в карбонатных разрезах

Значение коэффициента пористости K_n : 2-4 %

Осадочные горные породы с трещинно-кавернозной пористостью характеризуются максимальными значениями У.Э.С.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА У. Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

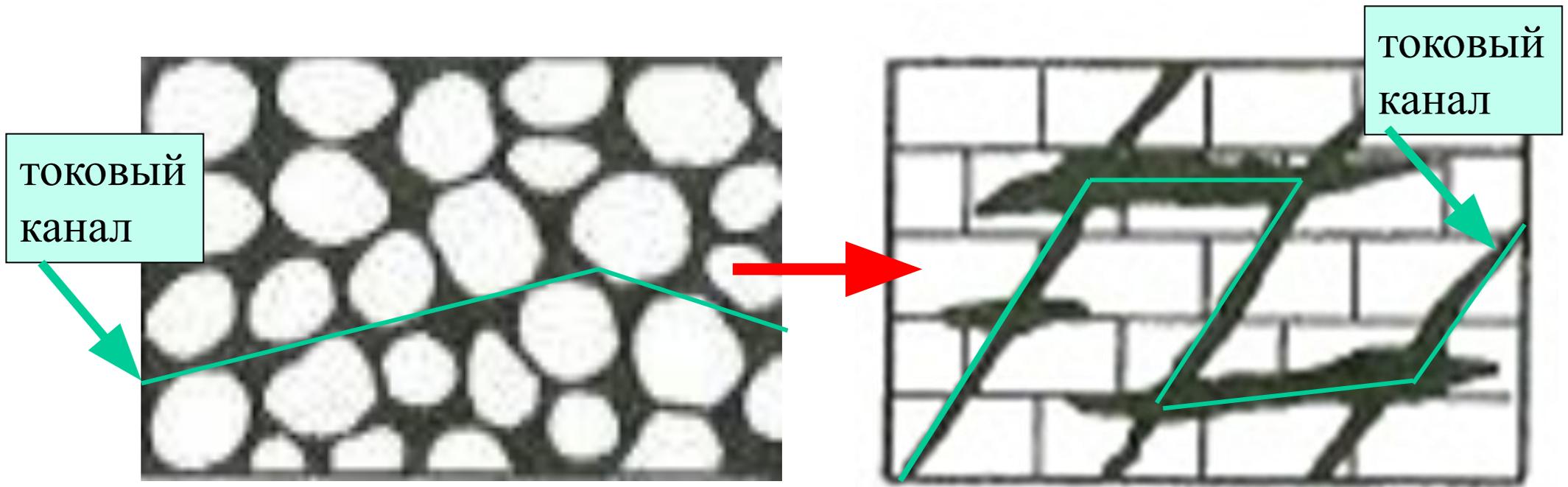


Трещинно-карстовая пористость преобладает в карбонатных разрезах

Значение коэффициента пористости K_n : 2-4 %

Осадочные горные породы с трещинно-карстовой пористостью характеризуются максимальными значениями У.Э.С.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА У. Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ



Сопротивление горной породы («проводника») $R = \rho \times L / S,$
здесь L – длина токового (капиллярного) канала;
 S – сечение токового канала; ρ – У.Э.С. флюида в капилляре

Чем меньше упорядочена структура порового пространства (чем длиннее поровые каналы), тем больше У.Э.С.

У.Э.С. горной породы увеличивается от преобладающей гранулярной пористости к преобладающей трещинно-кавернозной пористости

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТОВЫХ УСЛОВИЙ (МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА – C) НА У.Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

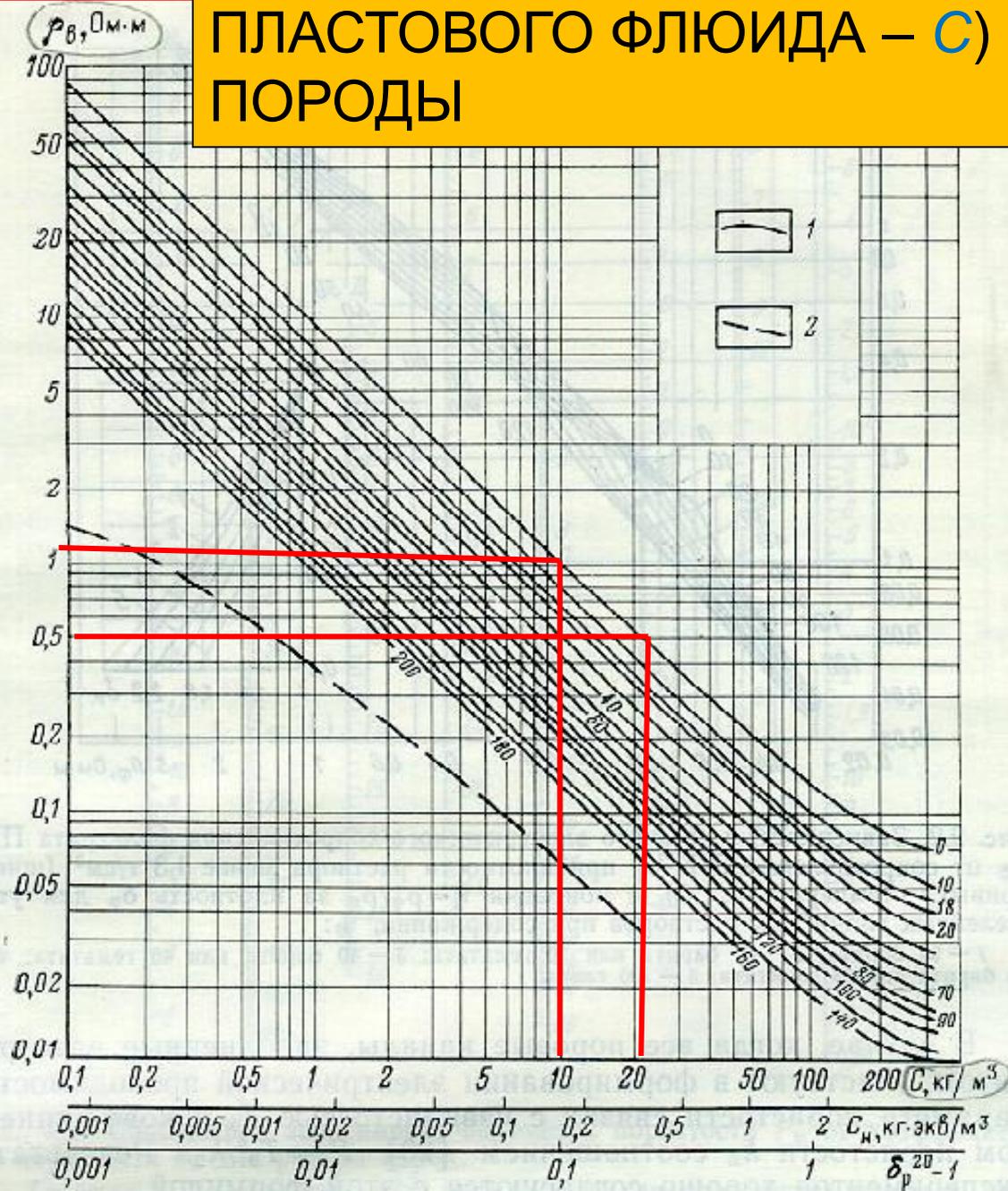


Рис. 2.1. Зависимость удельного электрического сопротивления раствора хлористого натрия от его концентрации (1) и плотности (при 20 °С) (2).
Шифр кривых — температура, °С

$$R = \rho \times L / S$$

При температуре $T = 0$

Минерализация $C = 10$, $\rho = 1,0$

Минерализация $C = 20$, $\rho = 0,5$

Линейная обратная
зависимость $\rho = f(C)$

С ростом минерализации
пластового флюида C
удельное электрическое
сопротивление ρ
уменьшается.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТОВЫХ УСЛОВИЙ (ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА – T) НА У.Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

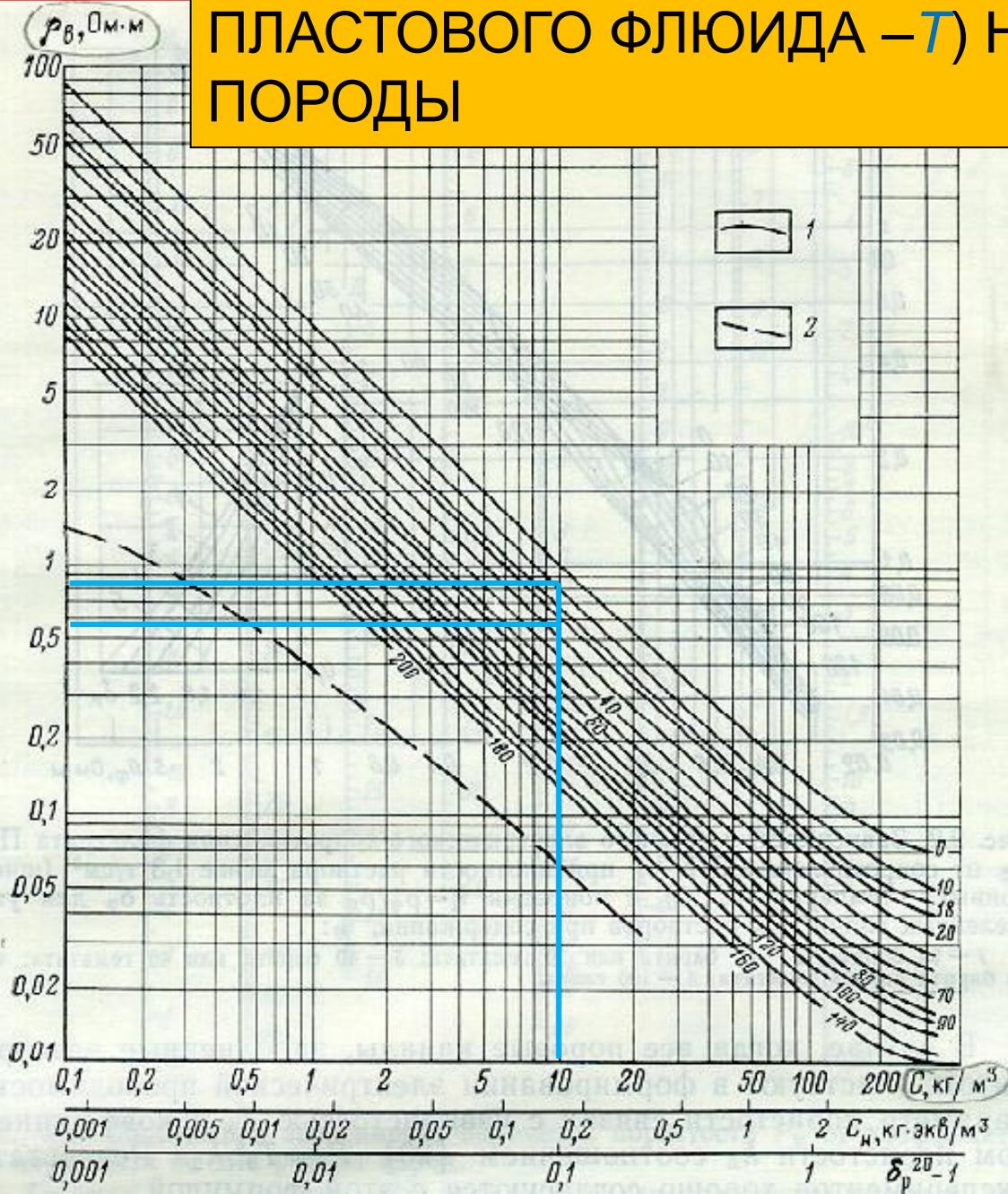


Рис. 2.1. Зависимость удельного электрического сопротивления раствора хлористого натрия от его концентрации (1) и плотности (при 20 °С) (2).
Шифр кривых — температура, °С

$$R = \rho \times L / S$$

При минерализации $C = 10$
 Температура $T = 10$, $\rho = 0,8$
 Температура $T = 20$, $\rho = 0,6$
 Нелинейная обратная
 обратная
 зависимость $\rho = f(T)$

С ростом температуры
 пластового флюида T
 удельное электрическое
 сопротивление ρ
 уменьшается.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТОВЫХ УСЛОВИЙ НА У.Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

$$R = \rho \times L / S$$

При температуре $T = 0$

Минерализация $C = 10$, $\rho = 1,0$

Минерализация $C = 20$, $\rho = 0,5$

Линейная обратная
зависимость $\rho = f(C)$

При минерализации $C = 10$

Температура $T = 10$, $\rho = 0,8$

Температура $T = 20$, $\rho = 0,6$

Нелинейная обратная
зависимость $\rho = f(T)$

С ростом минерализации пластового флюида C удельное электрическое сопротивление ρ уменьшается быстрее, чем при росте температуры T .

ВЛИЯНИЕ У.Э.С. ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА – ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ – НА У.Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

$$R = \rho \times L / S$$

Пласт водонасыщенный

С ростом У.Э.С. (ρ) пластовой воды У.Э.С. (R) осадочной горной породы растет в прямой пропорции

ВЛИЯНИЕ У.Э.С. ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА – НЕФТИ – НА У.Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

$$R = \rho \times L / S$$

*Пласт нефтенасыщенный, у нефти $\rho = 10^9 - 10^{16}$ Ом*м*

В нефтенасыщенном пласте всегда присутствует некоторое количество пластовой воды. Поэтому нефтенасыщенная осадочная горная порода характеризуется не столь высоким У.Э.С.

Но нефтенасыщенный пласт всегда имеет более высокое У.Э.С., чем этот же пласт, но водонасыщенный.

Для условий Западной Сибири существует и применяется для прогнозной оценки пласта эмпирическая зависимость:

- УЭС < 4 ом*м – пласт водонасыщенный*
- УЭС > 6 ом*м – пласт нефтенасыщенный*
- УЭС = 4-6 ом*м – характер насыщения не ясен*

ВЛИЯНИЕ У.Э.С. ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА – ГАЗА – НА У.Э.С. ОСАДОЧНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

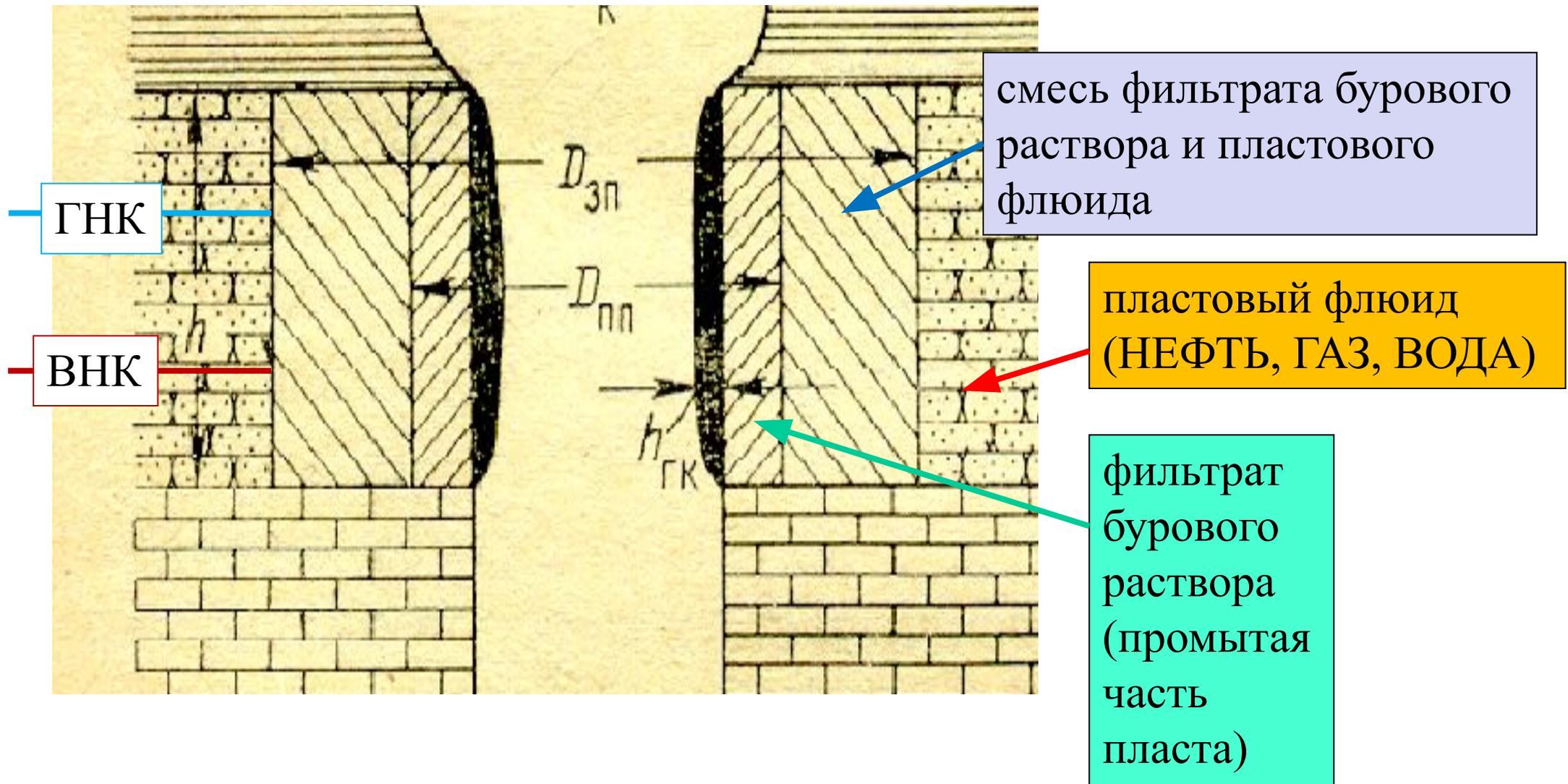
$$R = \rho \times L / S$$

Пласт газонасыщенный, газ – электрический изолятор

В газонасыщенном пласте всегда присутствует некоторое количество пластовой воды. Поэтому газонасыщенная осадочная горная порода характеризуется не столь высоким У.Э.С.

Но газонасыщенный пласт всегда имеет более высокое У.Э.С., чем этот же пласт, но нефтенасыщенный или водонасыщенный.

НЕОБСАЖЕННАЯ СКВАЖИНА, ГЛИНИСТЫЙ РАСТВОР НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ



ВЕЩСТВЕННЫЙ СОСТАВ ИНТЕРВАЛА
ПРОТИВ ПЛАСТА-КОЛЛЕКТОРА

ВЕЩСТВЕННЫЙ СОСТАВ ИНТЕРВАЛА ПРОТИВ ПЛАСТА-КОЛЛЕКТОРА

СКВАЖИНА (БУРОВОЙ РАСТВОР, $\rho=1-4$ OM^*M): техническая (маломинерализованная) вода + взвесь глинистых частиц.

ГЛИНИСТАЯ КОРКА, $\rho=4-5$ OM^*M : глина

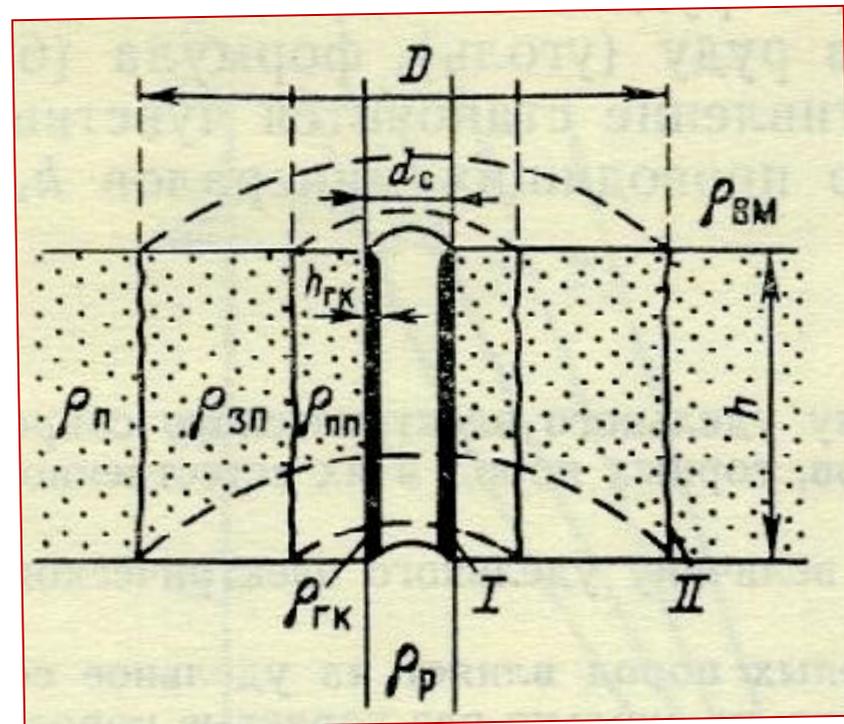
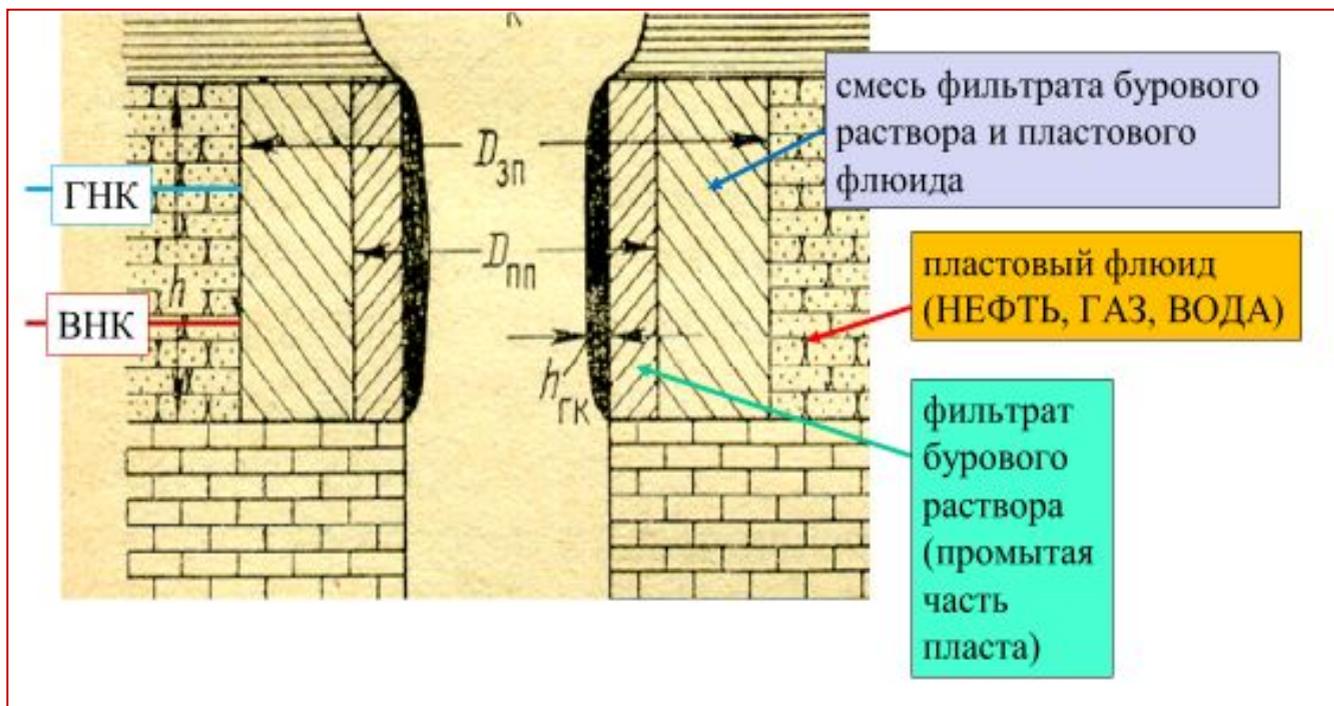
ПРОМЫТАЯ ЧАСТЬ ПЛАСТА: минеральный скелет + поровое пространство, заполненное **фильтратом** бурового раствора с некоторой долей остаточной (связанной) пластовой воды или нефти (газа).

ЗОНА ПРОНИКНОВЕНИЯ : минеральный скелет + поровое пространство, заполненное **смесью** фильтрата бурового раствора и пластового флюида (пластовая вода, нефть, газ).

НЕИЗМЕНЕННАЯ ЧАСТЬ ПЛАСТА: минеральный скелет + поровое пространство, заполненное пластовым флюидом (пластовая вода, нефть, газ).

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ У.Э.С. ИНТЕРВАЛА ПЛАСТА-КОЛЛЕКТОРА

НЕОБСАЖЕННАЯ СКВАЖИНА, ГЛИНИСТЫЙ РАСТВОР НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ



ρ_p – У.Э.С. скважины (бурового раствора)
 $\rho_{гк}$ – У.Э.С. глинистой корки
 $\rho_{пп}$ – У.Э.С. промытой части пласта
 $\rho_{зп}$ – У.Э.С. зоны проникновения
 ρ_p – У.Э.С. неизменной части пласта

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ У.Э.С.
ИНТЕРВАЛА ПЛАСТА-КОЛЛЕКТОРА

НЕОБСАЖЕННАЯ СКВАЖИНА, ГЛИНИСТЫЙ РАСТВОР НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ

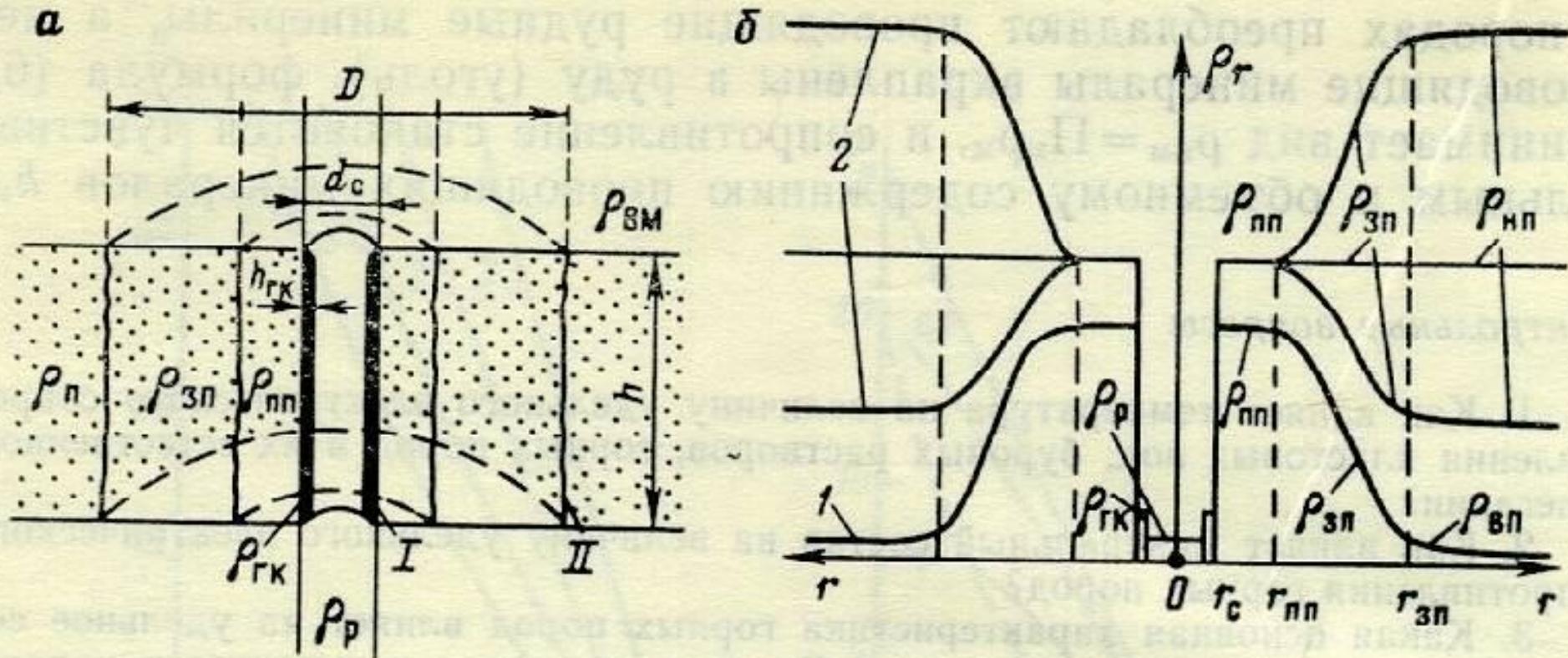


Рис. 8. Характеристика объекта исследования при изучении разреза методом сопротивления.

a — коллектор, вскрытый скважиной: *I* — стенка скважины, *II* — граница между зоной проникновения и неизменной частью пласта; *б* — радиальные характеристики в водоносном (1) и нефтеносном (2) коллекторах

