

Геофизические методы исследования скважин

Лектор: Колмаков А.Ю.

Список литературы

1. Дьяконов Д.И. и др. Общий курс геофизических исследований скважин. М., Недра, 1977, 1985, 2015
2. Латышева М.Г. Обработка и интерпретация результатов геофизических исследований скважин. М., Недра, 1975, 1981, 1991.
3. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. М., Недра, 1972, 1982.
4. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. М., Недра, 1972, 1987.
5. Комаров С.Г. Геофизические методы исследований скважин. М., Недра, 1973.
6. Мейер В.А. Геофизические исследования скважин, Ленинград, Из-во ЛГУ, 1981.
7. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. РД 153-39.0-072-01, 2001.

Геофизические методы исследования скважин

```
graph TD; A[Геофизические методы исследования скважин] --> B[Каротаж]; A --> C[Скважинная геофизика]; B --> D[Промысловая геофизика];
```

Каротаж

Скважинная геофизика

Промысловая геофизика

Промысловая геофизика

```
graph TD; A[Промысловая геофизика] --> B[Разведочный комплекс ГИС в открытом стволе]; A --> C[ГИС в процессе эксплуатации месторождения]; A --> D[Комплекс методов направленных на исследования технического состояния скважин]; B --- B1[Определение литологии]; B --- B2[Определение ФЕС]; B --- B3[Определение насыщенности]; C --- C1[Контроль за разработкой]; D --- D1[Тех. состояние скважины]; D --- D2[Качество цементирования];
```

Разведочный комплекс ГИС в открытом стволе

Определение литологии

Определение ФЕС

Определение насыщенности

ГИС в процессе эксплуатации месторождения

Контроль за разработкой

Комплекс методов направленных на исследования технического состояния скважин

Тех. состояние скважины

Качество цементирования

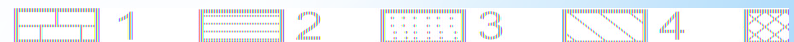
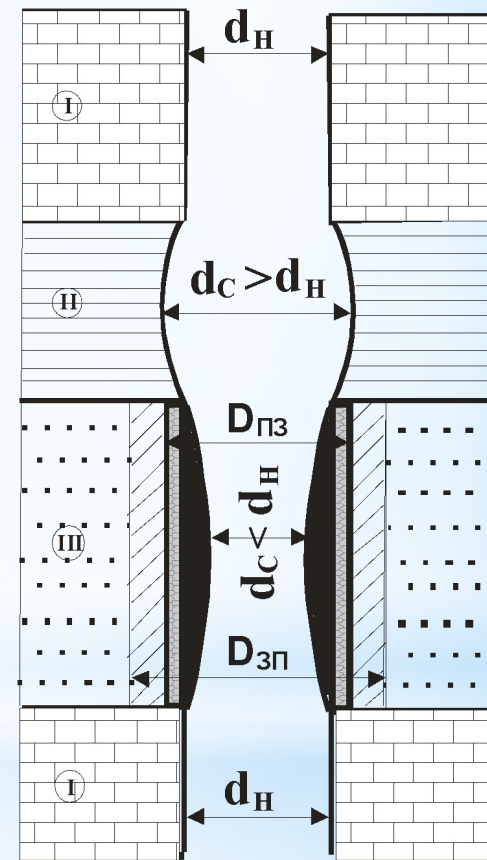
Раздел I Вводные понятия

Тема 1 Скважина как объект исследования

Классификация скважин по глубине:

1. Мелкие (<1000 м)
2. Глубокие (1000-5000 м)
3. Сверхглубокие (>5000 м)

1 - Известняк плотный; 2- аргиллиты (глина); 3- песчаник проницаемый; 4- зона проникновения фильтрата промывочной жидкости $D_{зп}$; 5- промытая зона $D_{пз}$ 6- глинистая корка, d_c - размер скважины, d_n - номинальный диаметр скважины.



Тема 2 Элементы петрофизики терригенно-осадочных толщ

§1 Геологические задачи, решаемые поисково-разведочным комплексом ГИС:

1. Литологическое расчленение

1. Песчаники
2. Глины
3. Песчаники с глинистым цементом
4. Песчаники с карбонатным цементом
5. Баженовская свита
6. Угольные пласты

2. Выделение коллекторов

3. Оценка глинистости коллектора

4. Оценка фильтрационно-емкостных свойств коллектора

5. Определение характера насыщения и коэффициентов водо-, газо-, и нефтенасыщения

6. Корреляция разрезов между скважинами.

§2 Пористость

1. Общая пористость
2. Открытая пористость
3. Закрытая пористость
4. Эффективная пористость
5. Динамическая пористость



Общая пористость

```
graph TD; A[Общая пористость] --> B[Открытая пористость]; A --> C[Закрытая пористость]; B --> D[Эффективная пористость]; B --> E[Динамическая пористость];
```

Открытая пористость

Закрытая пористость

Эффективная пористость
Динамическая пористость

Открытая пористость

$$K_{\text{оп}} = \frac{V_{\text{оп}}}{V_{\text{породы}}}$$

$V_{\text{оп}}$ - объем открытых пор

$V_{\text{породы}}$ - объем породы

Эффективная пористость

$$K_{\text{эп}} = \omega - K_{\text{гл}} \omega_{\text{св}}$$

$K_{\text{эп}}$ - коэффициент эффективной пористости

$K_{\text{гл}}$ - коэффициент глинистости

ω - объемная влажность среды

$\omega_{\text{св}}$ - доля связанной воды

Динамическая пористость

$$K_{\text{дин}} \leq K_{\text{эп}}$$

$K_{\text{дин}}$ — коэффициент динамической пористости

$K_{\text{эп}}$ - коэффициент эффективной пористости

§3 Проницаемость

1. Абсолютная проницаемость
2. Фазовая проницаемость

$$V = \frac{Q}{F} = K_{\text{пр}} \frac{\Delta P}{\Delta L} \cdot \frac{1}{\mu}$$

V - скорость фильтрации, м/с

Q - объемный расход жидкости через образец в единицу времени, м³/с

F - площадь поперечного сечения, м²

ΔP - перепад давления на противоположных торцах испытуемого образца, Па

ΔL - длина образца, м

μ - абсолютная вязкость жидкости, Па·с

$K_{\text{пр}}$ - коэффициент проницаемости, м²

§3 Проницаемость

$$K_{\text{пр}} = \frac{Q \cdot \mu \cdot \Delta L}{F \cdot \Delta P}$$

Единица измерения - Дарси

$$1\text{Д} = \frac{1\text{см}^3 \cdot 10^{-3}\text{Па} \cdot \text{с} \cdot 1\text{см}}{1\text{см}^2 \cdot 0,1 \cdot 10^6\text{Па}} = 10^{-8}\text{см}^2 = 10^{-12}\text{м}^2 = 1\text{мкм}^2$$

$$1\text{мД} = 10^{-3}\text{Д}$$

1. Массовая глинистость
2. Объемная глинистость $K_{\text{гл}}$
3. Относительная глинистость

$$\eta_{\text{гл}} = \frac{K_{\text{гл}}}{K_{\text{пор}} + K_{\text{гл}}}$$

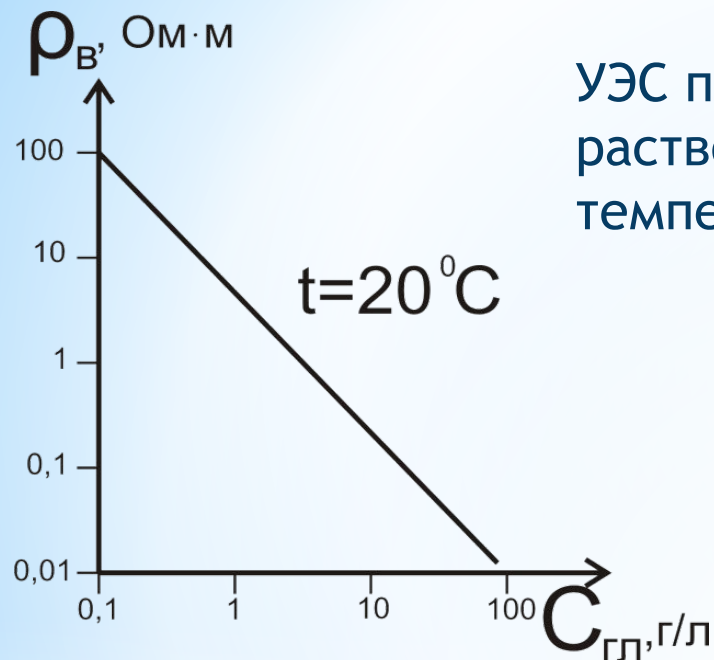
Раздел II Электрический каротаж

Тема 1 Определение характера насыщения коллектора по УЭС

§1 Факторы влияющие на УЭС

1. УЭС насыщающих породу пластовых водных растворов (пластовых вод)
2. Процентное содержание пластовых вод ($k_{оп}$)
3. Присутствия углеводородов в поровом пространстве
4. Текстурных особенностей породы

§2 Параметры пористости и насыщения. Уравнения Арчи-Дахнова



УЭС пластовых вод зависит от концентрации растворенных солей (минерализации) и температуры. Главная соль: NaCl

$$P_{\Pi} = \frac{\rho_{B\Pi}}{\rho_B}$$

P_{Π} - параметр пористости

$\rho_{B\Pi}$ - УЭС породы при 100%-ном насыщении

ρ_B - УЭС пластовой воды

Эмпирическая зависимость Арчи-Дахнова для водонасыщенного пласта

$$P = \frac{a}{k_{\text{О.П.}}^m}$$

где a - «литологический» коэффициент, изменяющийся от 0,8 до 1,0;
 m - коэффициент цементации, зависящий от извилистости пор и принимающий значения от 1,3 до 3,0 (для песков и рыхлых песчаников $m = 1,3$, для сильно сцементированных пород $m = 3,0$).

Параметры пористости для нефте- и газонасыщенного пластов

$$P_H = \frac{\rho_{HP}}{\rho_{ВП}}$$

-для нефтенасыщенного пласта

$$P_G = \frac{\rho_{ГП}}{\rho_{ВП}}$$

-для газонасыщенного пласта

где a - «литологический» коэффициент, изменяющийся от 0,8 до 1,0;
 m - коэффициент цементации, зависящий от извилистости пор и принимающий значения от 1,3 до 3,0 (для песков и рыхлых песчаников $m = 1,3$, для сильно сцементированных пород $m = 3,0$).

Эмпирическая зависимость Арчи-Дахнова для параметра насыщения

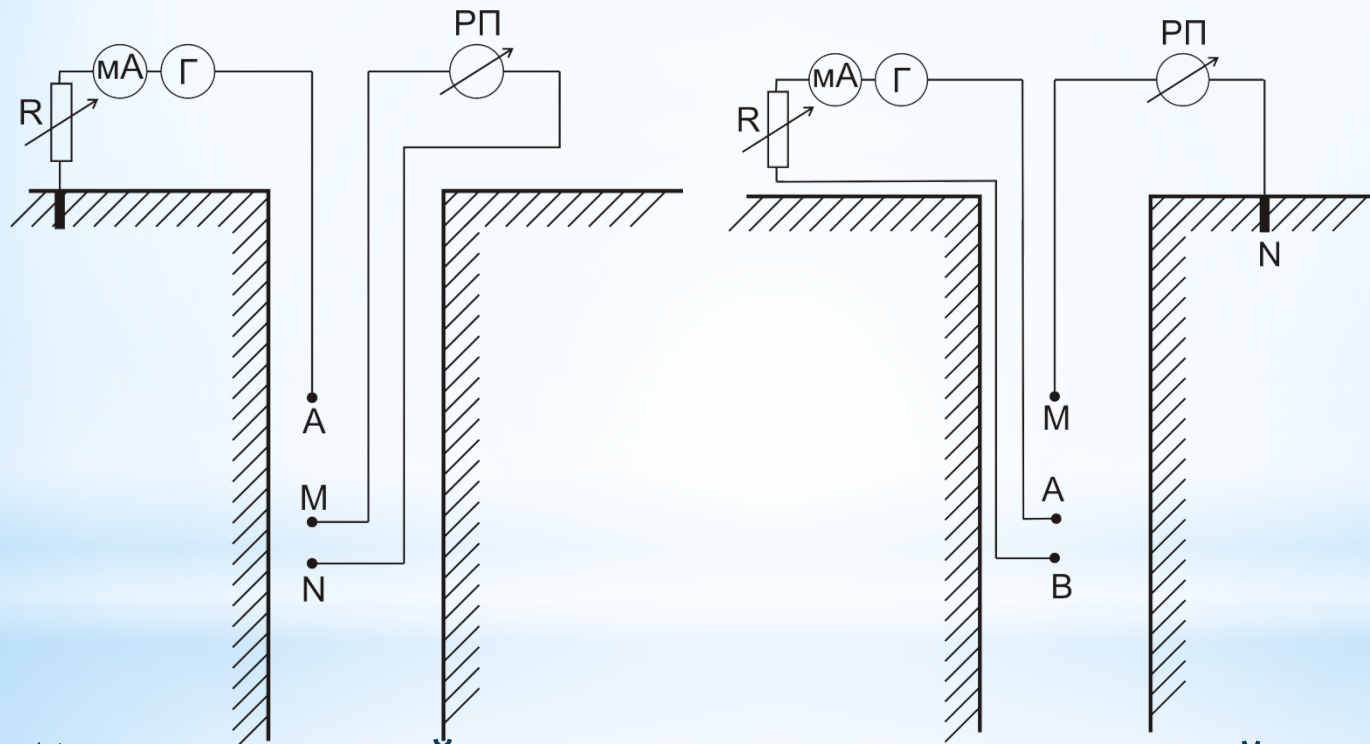
$$P_H = \frac{a}{k_V^n}$$

где a - «литологический» коэффициент, изменяющийся от 0,8 до 1,0;
 m - коэффициент цементации, зависящий от извилистости пор и принимающий значения от 1,3 до 3,0 (для песков и рыхлых песчаников $m = 1,3$, для сильно сцементированных пород $m = 3,0$).

Тема 2 Метод кажущегося удельного электрического сопротивления пород

§1 Установка для измерения

Принципиальная схема измерения кажущегося УЭС пород в скважине



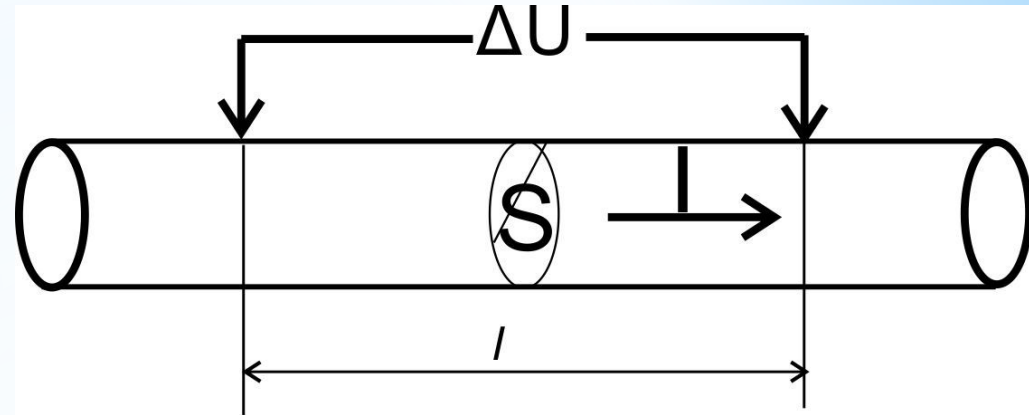
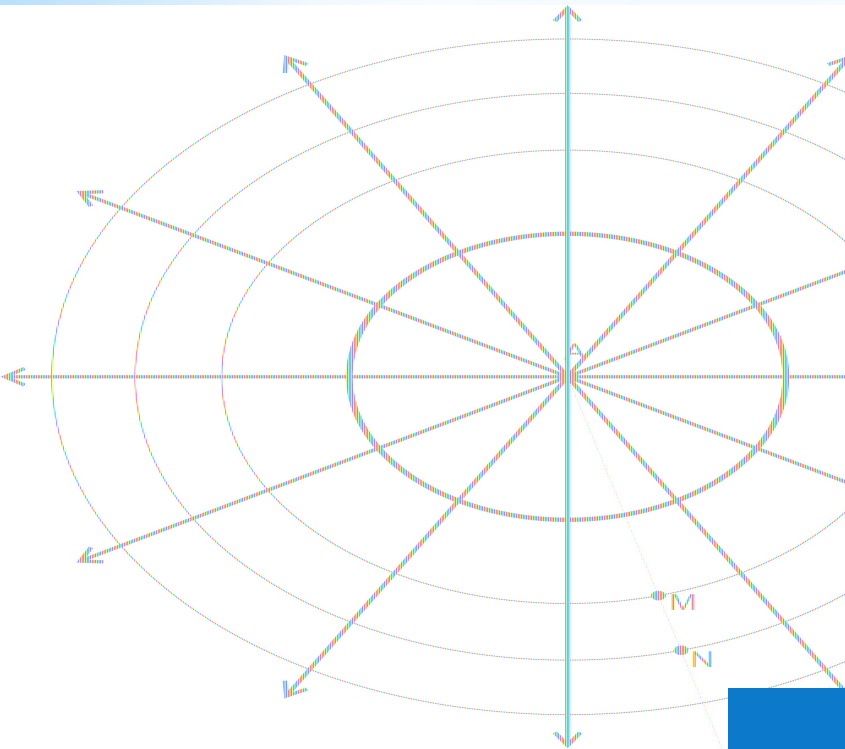
А) однополюсный зонд

Б) двухполюсный зонд

Г-генератор тока; R - реостат; РП - прибор для измерения разности потенциалов;
мА - миллиамперметр

§2 Электрическое поле точечного источника в однородной изотропной среде

Изотропная среда



$$\Delta U = R \cdot I = \frac{\rho l}{S} I$$

$$\Delta U = R \cdot I = \frac{\rho l}{S} I = \rho \frac{MN}{4\pi AO^2} I$$

$$\Delta U = \rho \frac{MN}{4\pi AO^2} I = \rho \frac{MN}{4\pi AM \cdot AN} I$$

$$\rho = \frac{\Delta U}{I} \frac{4\pi AM \cdot AN}{MN} = K \frac{\Delta V}{I}$$

$$\rho = K \frac{\Delta U}{I}$$

$$[\Delta U] = \text{мВ},$$

$$[I] = \text{мА},$$

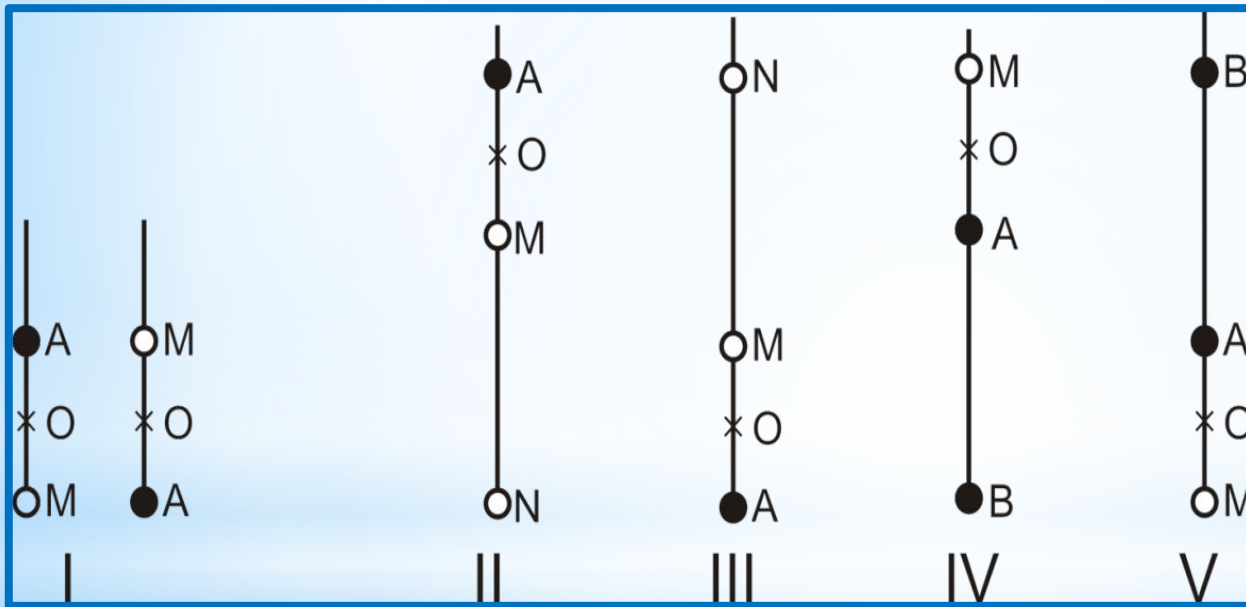
$$[K] = \text{м},$$

$$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}.$$

§2 Типы зондов кажущегося сопротивления

В случае, когда среда не однородна и не изотропна можно определить лишь кажущееся удельное электрическое сопротивление, в связи с тем, что невозможно рассчитать УЭС пород отдельно.

1. Потенциал-зонды



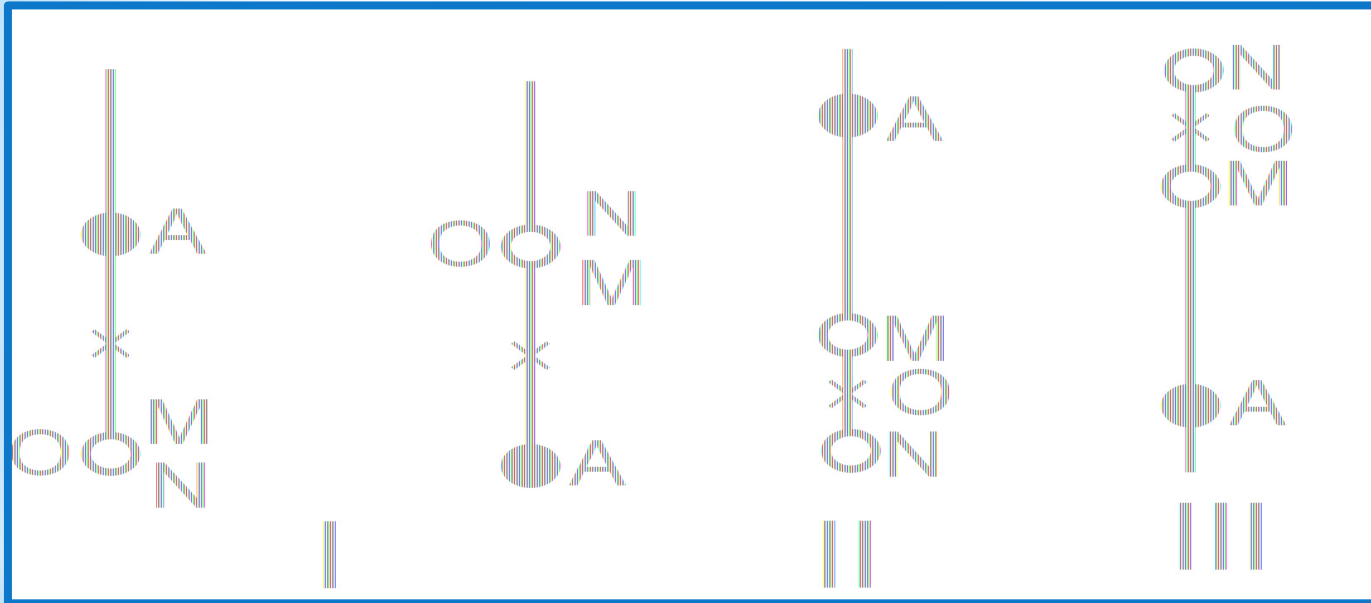
I - идеальные потенциал-зонды последовательный и обращенный

II - V - неидеальные (реальные) потенциал-зонды.

II, IV - последовательный (подошвенный); III, V - обращенный (кровельный)

Примеры: A0,5M4,0N; A0,5M6,0N; A0,5M8,0N

2. Градиент-зонды



I - идеальные потенциал-зонды последовательный и обращенный

II - V - неидеальные (реальные) потенциал-зонды.

II, IV - последовательный (подошвенный); III, V - обращенный (кровельный)

Примеры: A0,4M0,1N; A1,0M0,1N; A2,0M0,5N; M1,0A0,1B; N0,5M2,0A.

§3 Боковое электрическое зондирование

Используют 5 зондов

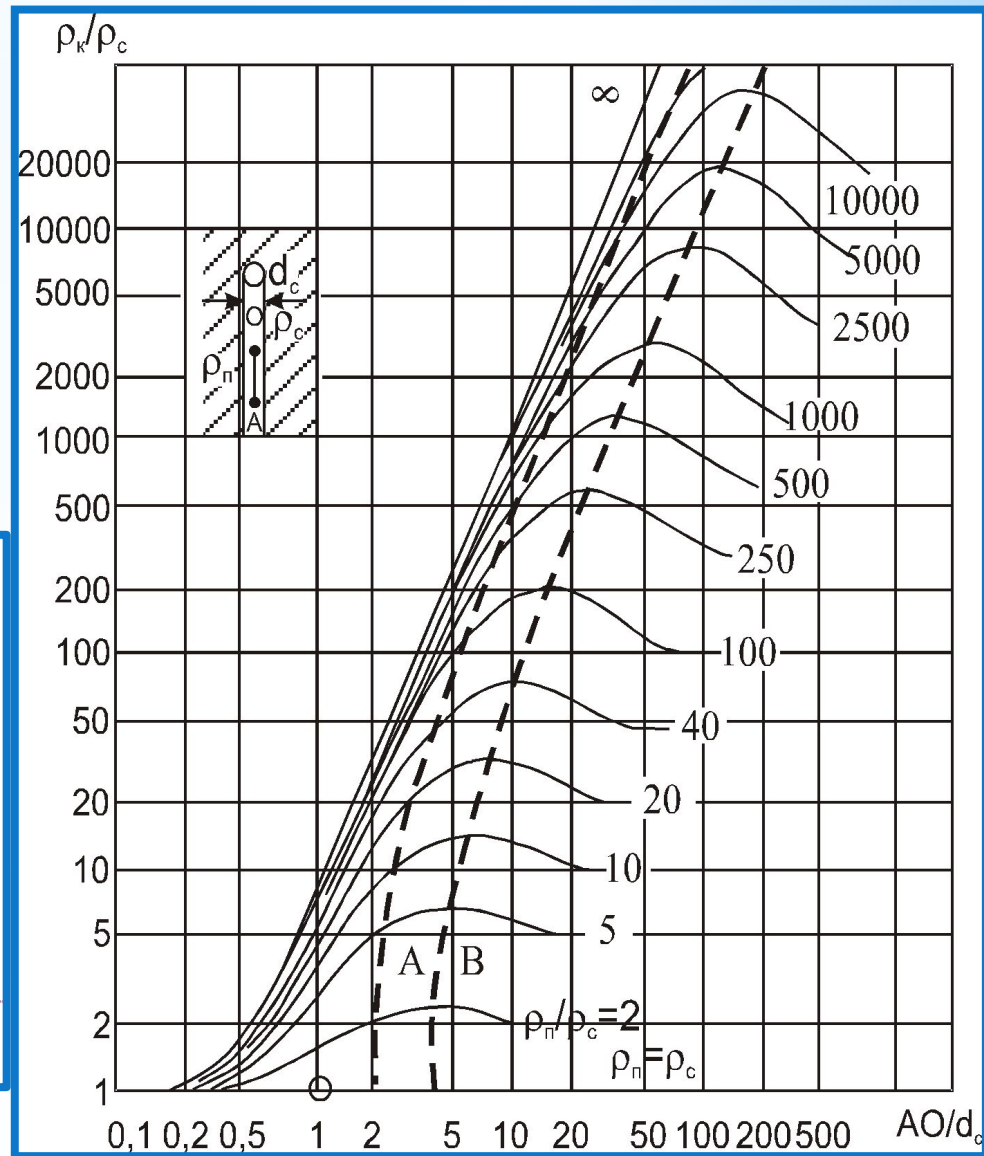
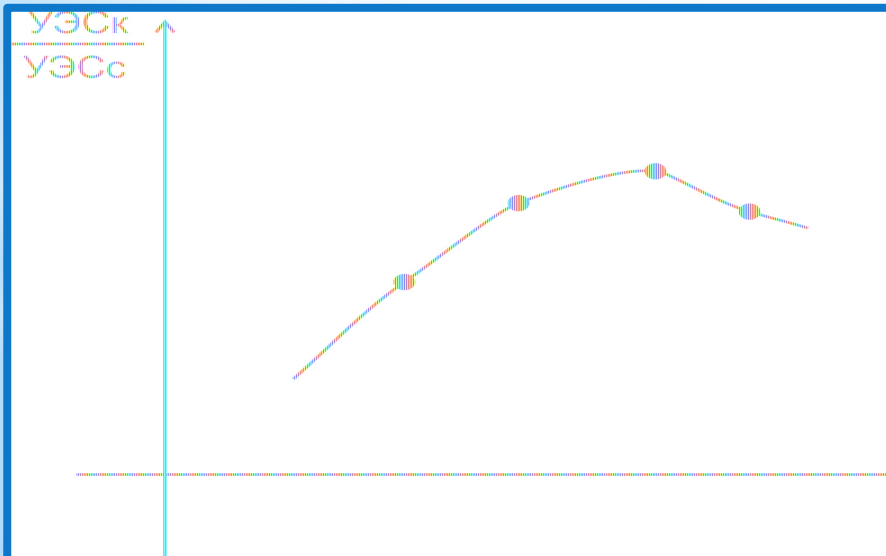
1. А4,0М0,1N

2. А1,0М0,1N

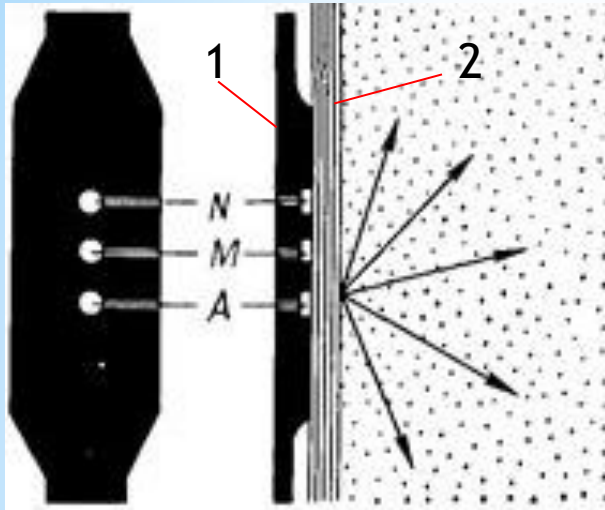
3. А2,0М0,5N

4. А4,0М0,5N

5. А8,0М1,0N



§4 Микрозондовые модификации метода кажущегося сопротивления



Микрозондовые модификации методов а) кажущегося сопротивления и б) бокового каротажа
1- башмак, 2- стенка скважина

1. Микропотенциал-зонды

На практике применяют А0,05М (длина 0,05 м)

Радиус исследования в 2-2,5 раза больше его длины, т.е. составляет 10-12 см

2. Микроградиент-зонды

На практике применяют А0,025М0,025N (АМ=МN)

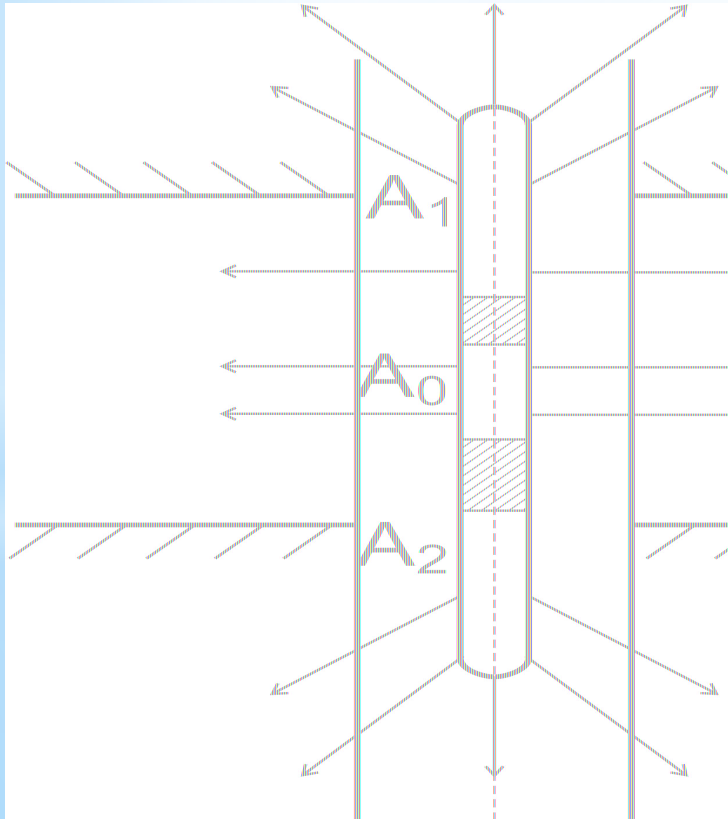
Радиус исследования равен его длине и составляет 3,75 см.

$$\rho_K = K_{МЗ} \frac{\Delta U}{I}$$

Тема 3 Боковой каротаж - каротаж сопротивления фокусированными зондами

§1 Установка трехэлектродного зонда

Трехэлектродный зонд состоит из трех цилиндрических зондов A_0, A_1, A_2

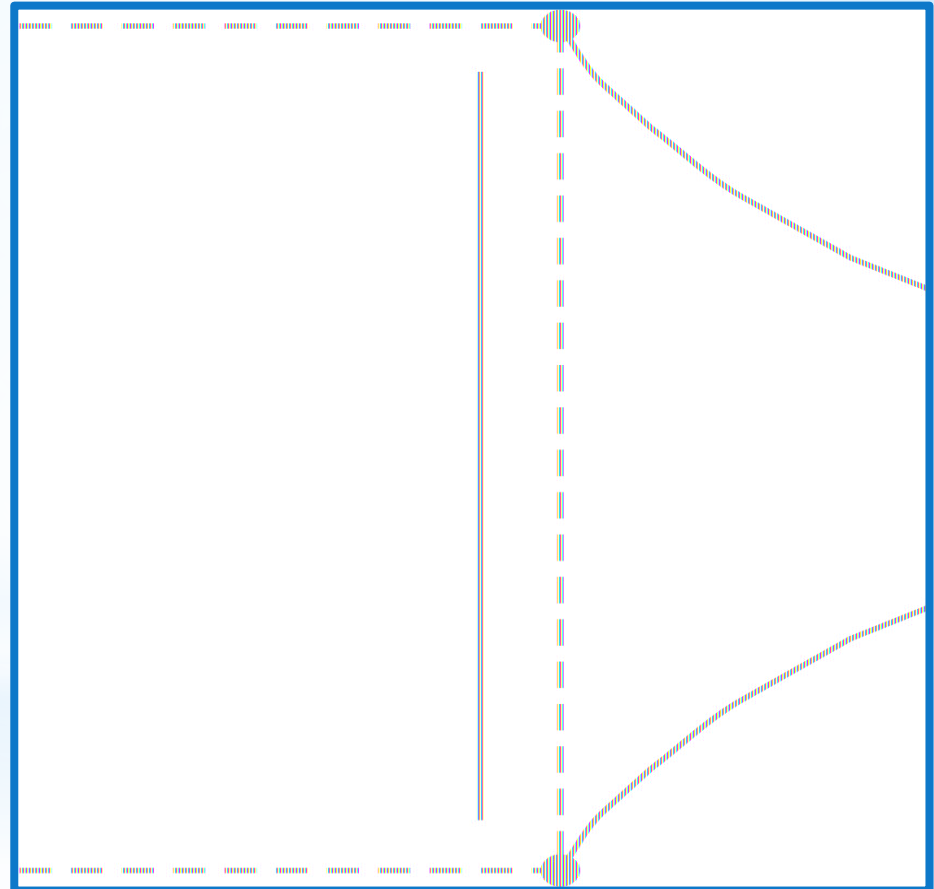
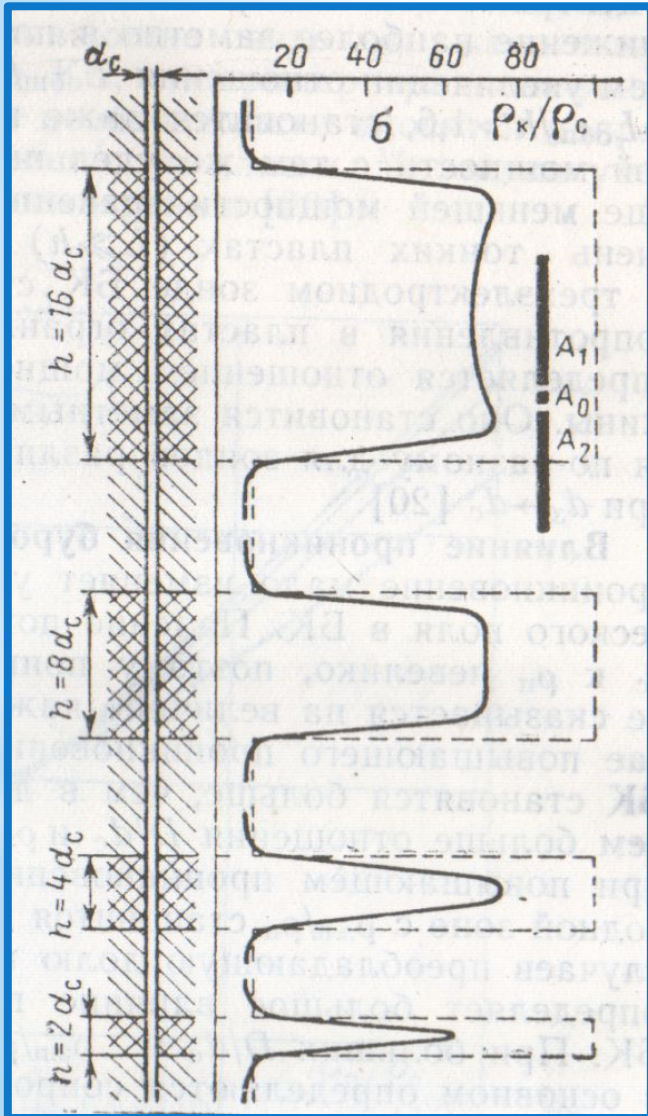


A_0 - центральный электрод

A_1, A_2 - фокусирующие электроды

$$\rho_K = K_{БК} \frac{\Delta U}{I_0}$$

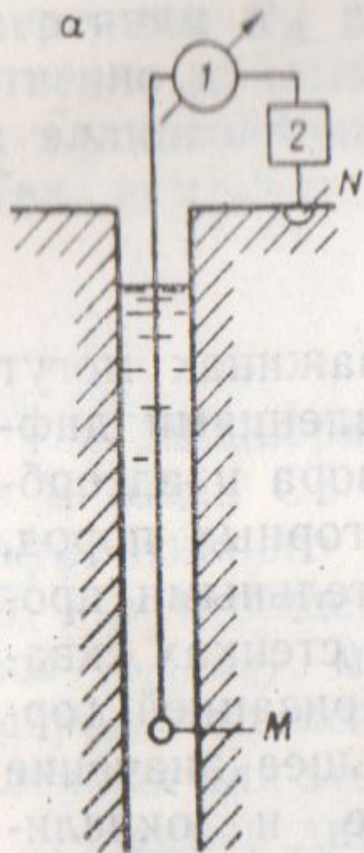
§2 Форма кривых бокового каротажа в пластах



Раздел III Электрохимические методы каротажа

Тема 1 Картаж по методу самопроизвольной поляризации

§1 Схема каротажа по методу самопроизвольной поляризации



§2 Виды потенциалов ПС

1. Диффузионно-адсорбционный потенциал
2. Фильтрационный потенциал
3. Электродный потенциал
4. Окислительно-восстановительный потенциал

Модель поры горной породы

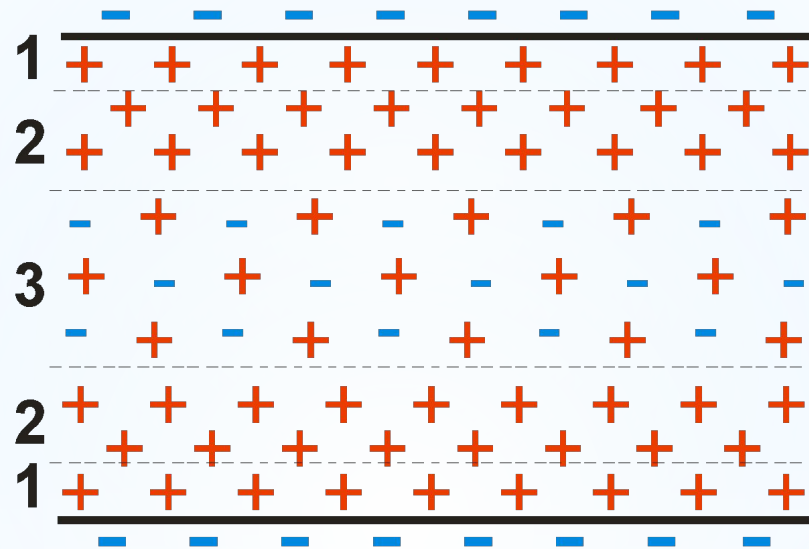


Схема распределения зарядов в идеальной широкой (а) и узкой (б) поре. 1 - адсорбированные ионы, 2 - подвижные ионы диффузного слоя, 3 - электронейтральный слой.

§4 Фильтрационный потенциал

$$E_{\phi} = A_{\phi} \cdot \rho_{\phi} \cdot \Delta P$$

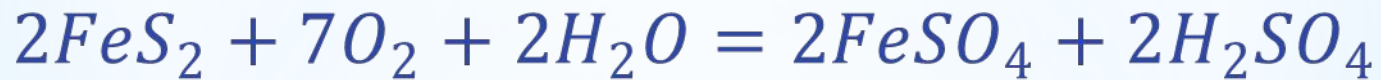
A_{ϕ} – фильтрационная электрохимическая активность

ρ_{ϕ} – УЭС фильтрата промывочной жидкости

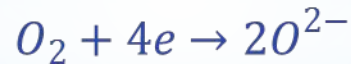
ΔP – перепад давлений

§5 Окислительно-восстановительный потенциал

Примером окислительной реакции является взаимодействие пирита с пластовыми водами или промывочной жидкостью и растворенным в них кислородом:



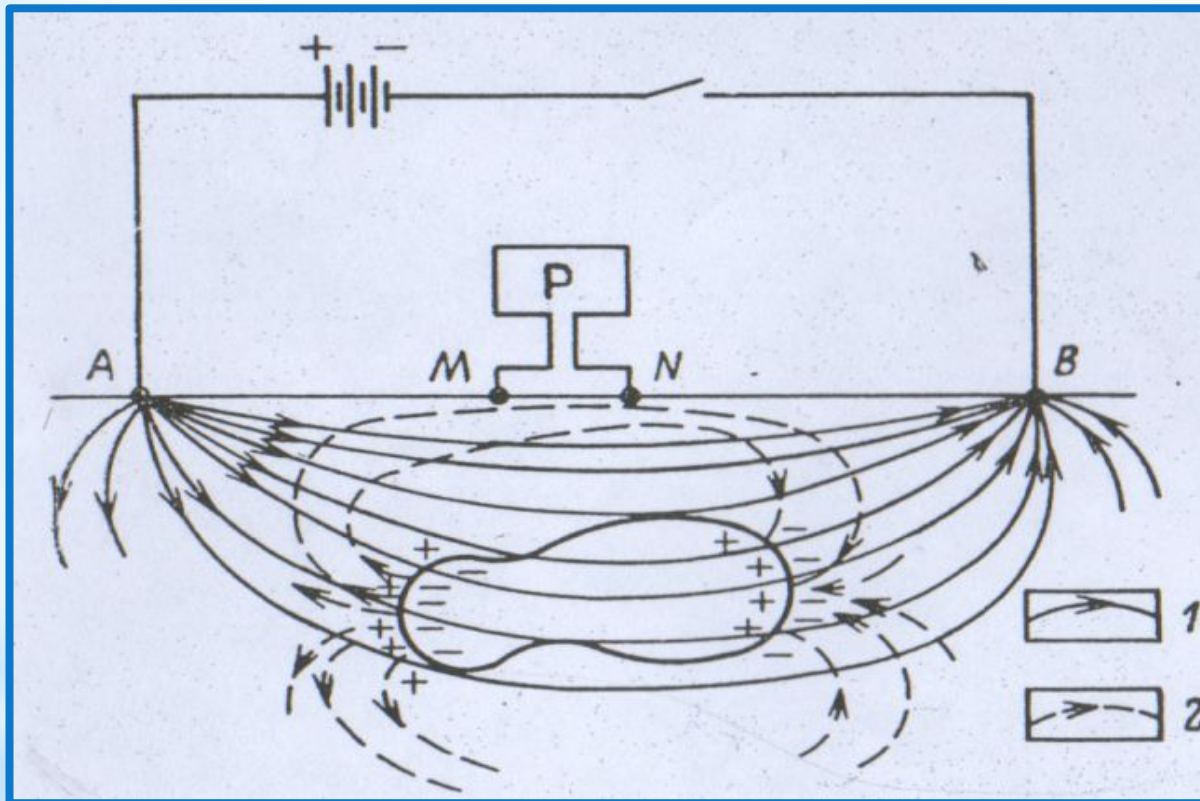
Электронный баланс



природные гальванические элементы, создающие окислительно-восстановительные поля, возникают не из-за неоднородности электродов, а благодаря различию окислительно-восстановительных свойств пластовых вод и бурового раствора.

Тема 2 Картаж по методу вызванной поляризации

Схема возникновения поля вызванной поляризации и способ его наблюдения



Токовые линии: 1- первичного поля; 2- вторичного поля