

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА



Институт геологии и нефтегазового дела имени К. Турысова
Кафедра: Геофизика

Комплексная интерпретация материалов ГИС

для специальности 7М07105
«Нефтегазовая и рудная геофизика»

АЛМАТЫ 2022

Истекова С.А.,
докт. геол.-минерал. наук,
проф. каф. Геофизики

Лекция 4

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН

Что такое электрический каротаж

- Электрический каротаж - широкий термин, включающий все электрические скважинные зонды, такие как потенциал-зонды самопроизвольной поляризации, сопротивления в одной точке, каротаж потенциал-зондом, боковой каротаж, зонды индукции и микросопротивления. Основной параметр, измеряемый электрическими зондами - сопротивление.

Электрический каротаж

- Наиболее развитой и разветвленный вид каротажа. Его назначение - дифференциация разрезов скважин по электрическим свойствам и определение этих свойств.
 - По типу измеряемых полей подразделяется:
 - Естественные -ПС
 - Искусственные- КС, ИК, ТК
- на постоянном токе –КС, ТК
и переменном токе -ИК

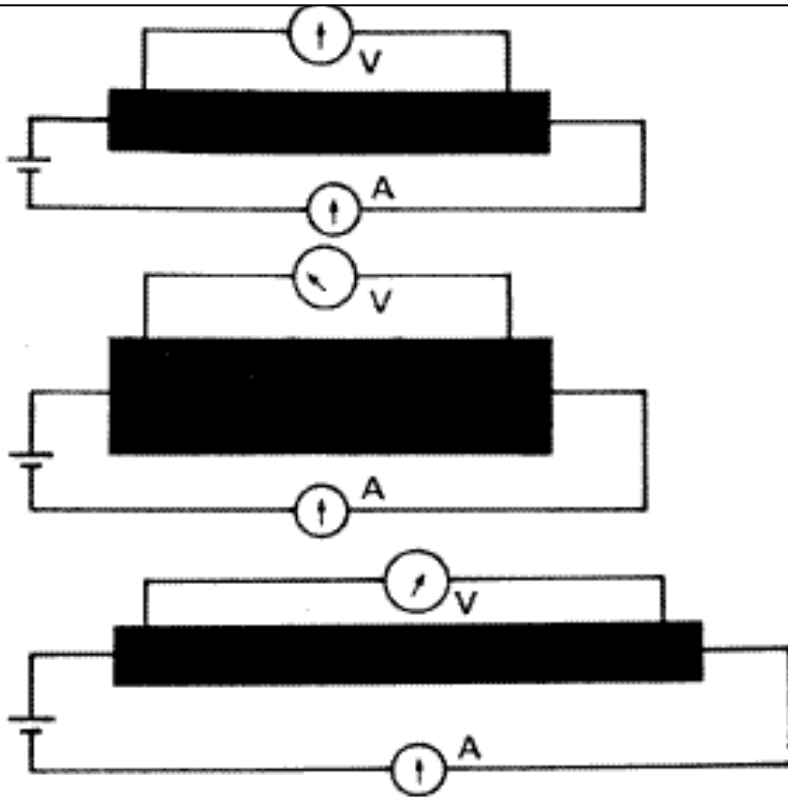
Классификация электрических методов

- ❑ Методы сопротивлений (conventional current logs)
 - нефокусированные методы (normal & lateral)
 - фокусированные методы (боковой каротаж - laterolog)
- ❑ Индукционные метод (Induction Logs)
- ❑ Микроэлектрические методы (Micrologs)

Что исследуется

- Из всех инструментов каротажа, те, что измеряют сопротивление является самым распространенным.
- Именно с измерения сопротивления Конрад Шлюмберже начал свою компанию в 1919 г.
- Каротаж сопротивления - измерение *сопротивления* пласта, которое является его сопротивлением прохождению электрического тока. Оно измерено *инструментами сопротивления*.
- Инструменты Проводимости измеряют *проводимость* пласта или его способность проводить электрический ток. Она измеряется *инструментами индукции*. Проводимость конвертируется в сопротивление на графиках каротажа.
- **Большинство гонимых пород - по существу изоляторы, в то время как их флюиды - проводники.**
- Углеводороды - исключение среди флюидов, они имеют бесконечно большое сопротивление.
- Когда пласт пористый и содержит соленую воду, полное сопротивление будет низкое.
- Когда пласт содержит углеводороды, его сопротивление будет очень высокое.
- Именно это свойство пласта эксплуатируется каротажом сопротивления: высокие значения сопротивления могут указывать на пористый углеводородсодержащий пласт.

Сопротивление увеличивается с длиной, уменьшается с увеличением площади поперечного сечения



Необходимо иметь более универсальную и не зависящую от изменений размера величину – удельное электрическое сопротивление – сопротивление единицы объема

$$R = \frac{ra}{L}$$

$$\frac{\text{OHM-METERS}^2}{\text{METER}}$$

R = resistivity
 a = area
 L = length
 r = resistance

В большинстве электрических методов ГИС измеряется удельное электрическое сопротивление

Что такое Сопротивление?

- Сопротивление (r в Омах) - противодействие или импеданс к течению тока.
- По Закону Ома,
 - $V = I * R$
- где V выражена в Вольтах, I - Ток и R =Сопротивление

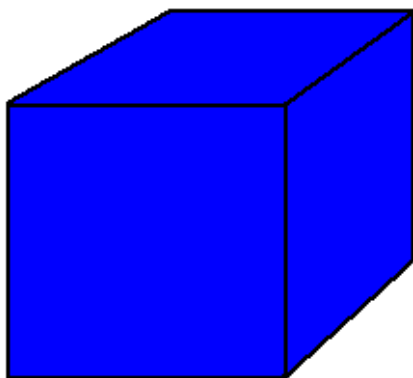
Что такое Сопротивление?

- Сопротивление (ρ В Ом метрах) определяется как сопротивление цилиндра с поперечным сечением A и длиной L
$$\rho = R * A / L,$$
где A = площадь поперечного сечения и
 L = длина
Электропроводность материала σ -
обратная величина сопротивлению или $1/\rho$

Удельное сопротивление водных растворов, горных пород и полезных ископаемых

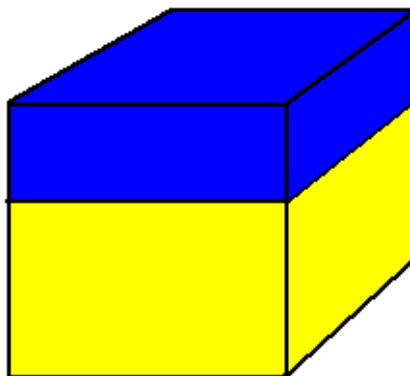
- **Удельное электрическое сопротивление проводников определяется по формуле $\rho = RS/l$,**
-
- где R —сопротивление проводника (Ом); l и S — его длина (м) и по-перечное сечение (м²).
- Пользуясь указанными размерностями, получим ρ в ом-метрах (Ом • м), что соответствует сопротивлению 1 куб. породы или жидкости, измеренному перпендикулярно к грани куба.
- **Способность горных пород проводить электрический ток** определяется также удельной проводимостью
- $\gamma = 1/\rho$ - выражается в сименсах на метр, См/м, что соответствует проводимости куб породы или жидкости.
- Для каждого прибора имеется специальный коэффициент K , который связывает измеренное сопротивление с калиброванным удельным электрическим сопротивлением

Скелет горной породы, пористость и флюиды



Единичный куб породы,
насыщенный водой
сопротивлением R_w

$$R_t = R_w$$



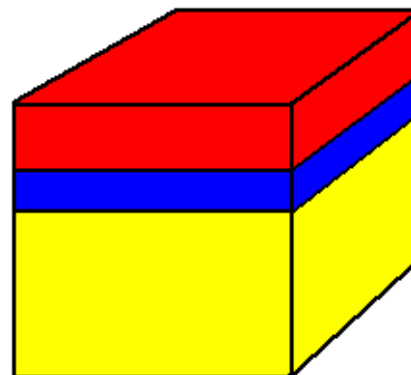
Единичный куб породы
с пористостью 40%,
насыщенный водой
сопротивлением R_w -
 $S_w=100\%$, $BVW=40\%$

$$R_t = R_o$$

$$R_o = F R_w$$

где

$$F = a / \Phi^m$$



Единичный куб породы
с пористостью 40%,
насыщенный водой
сопротивлением R_w -
($S_w=40\%$) и углеводородами.
 $S_{hy}=60\%$, $BVW=16\%$,
 $BV_{hy}=24\%$

$$R_t = F R_w / S_w^2$$

Уравнение Арчи:

Эмпирическая константа
(обычно около 1)

Водонасыщенность, доли ед.

Показатель насыщения
(обычно 2)

Пористость
доли ед.

Сопротивление пластовой воды, Омм

Показатель цементации, (обычно около 2)

Сопротивление пласта, Омм

$$S_w = \frac{a R_w}{\sqrt[n]{\phi^m R_t}}$$

Удельное сопротивление

Горные породы состоят из породообразующих минералов, сопротивление которых, очень высокое. Присутствие в породах минерализованной воды в значительной степени снижает их.

***Горные породы, насыщенные минерализованной водой
обладают ионной проводимостью.***

Содержание воды в породе в общем случае зависит от пористости k_n (выражается в %), т. е. от объема пустот в

Если пластовая вода сопротивлением $\rho_{пв}$ полностью насыщает породу, сложенную сферическими зернами, то удельное сопротивление такой породы

$$\rho_n = \frac{3 - k_n}{2k_n} \rho_{пв} = P \rho_{пв}$$

P- относительное электрическое сопротивление пласта

Удельное сопротивление

- Большая часть **минералов горных пород** имеет удельное сопротивление $10^7—10^{15}$ Ом • м,
- **нефть** — от $2 \cdot 10^9$ до 10^{16} Ом • м,
- **каменный уголь** — от 10^2 до 10^5 Ом • м,
бурый уголь — от 10 до 200 Ом • м.

Удельное электрическое сопротивление и литология - насыщение

- Низкое удельное сопротивление имеют водосодержащие породы.
 - Влажные пески/Карбонаты
 - Глины
- Высокое сопротивление имеют безводные породы.
 - Низкая пористость – нет пластовой воды
 - Наличие углеводородов – малый объем пластовой воды (Swirr)
 - Или, в коллекторе ОЧЕНЬ ПРЕСНАЯ вода

Измерение удельного сопротивления в скважине

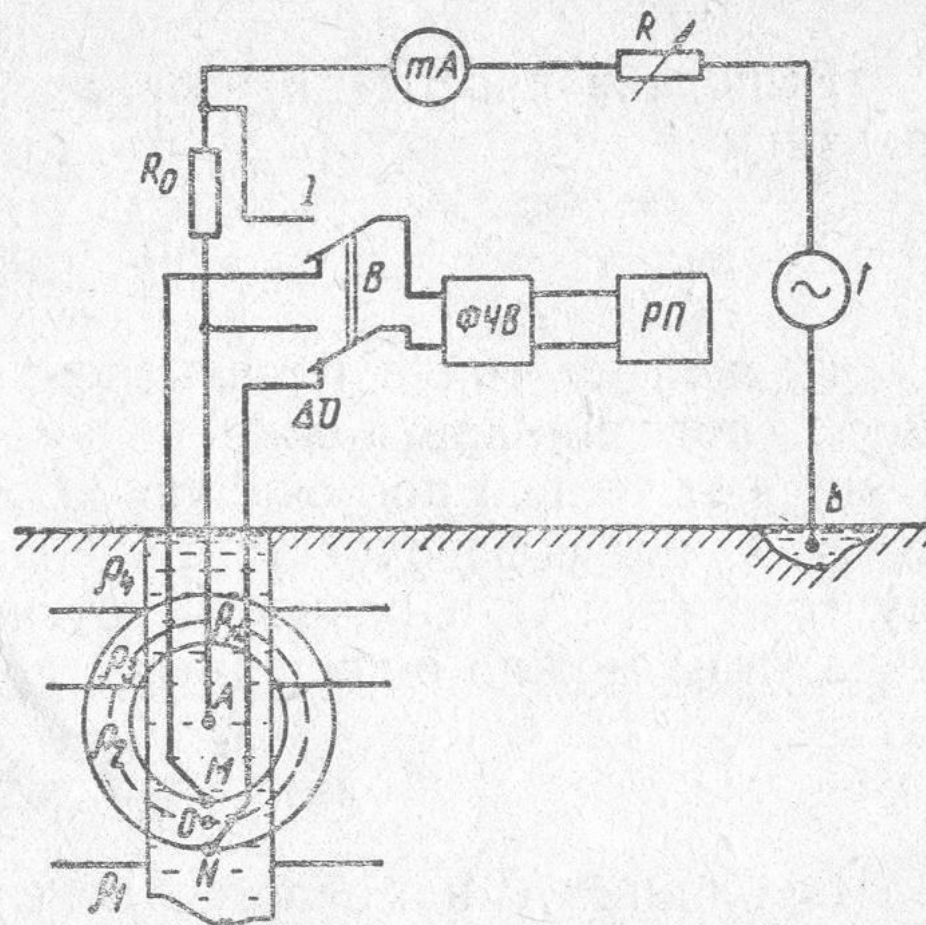
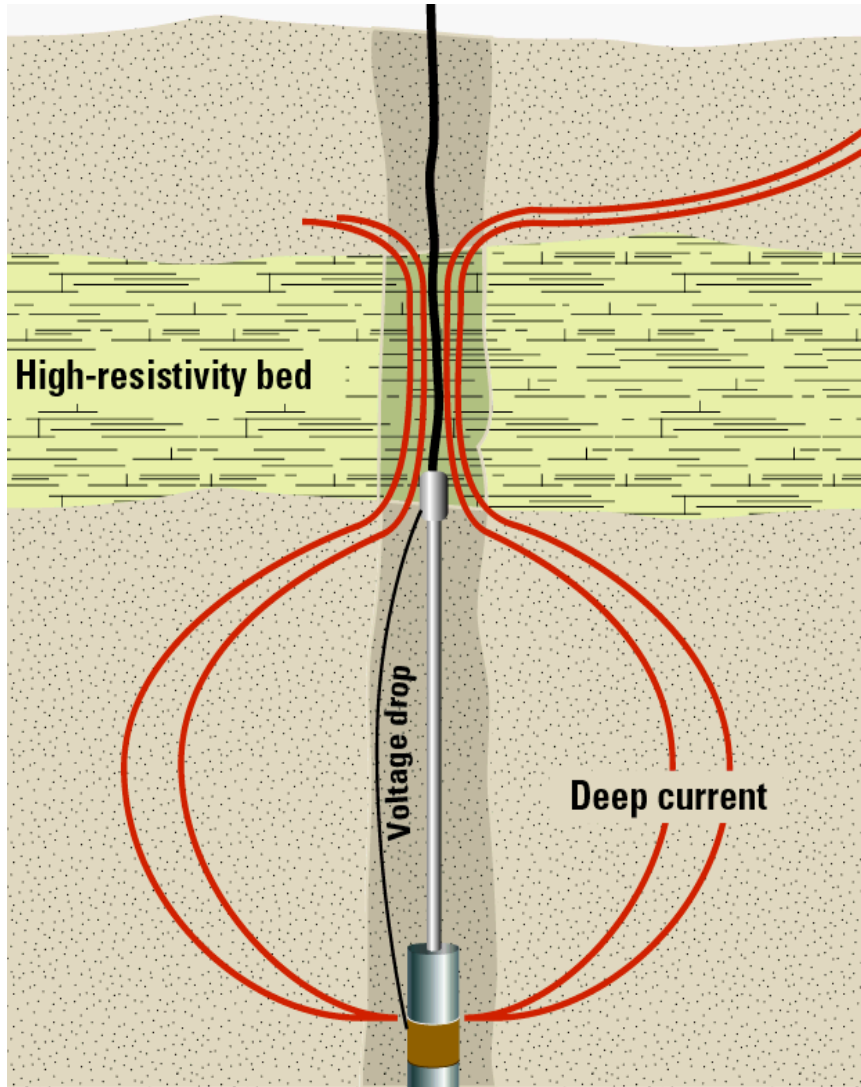


Рис. 4. Схема измерения КС в скважине

Groningen Effect

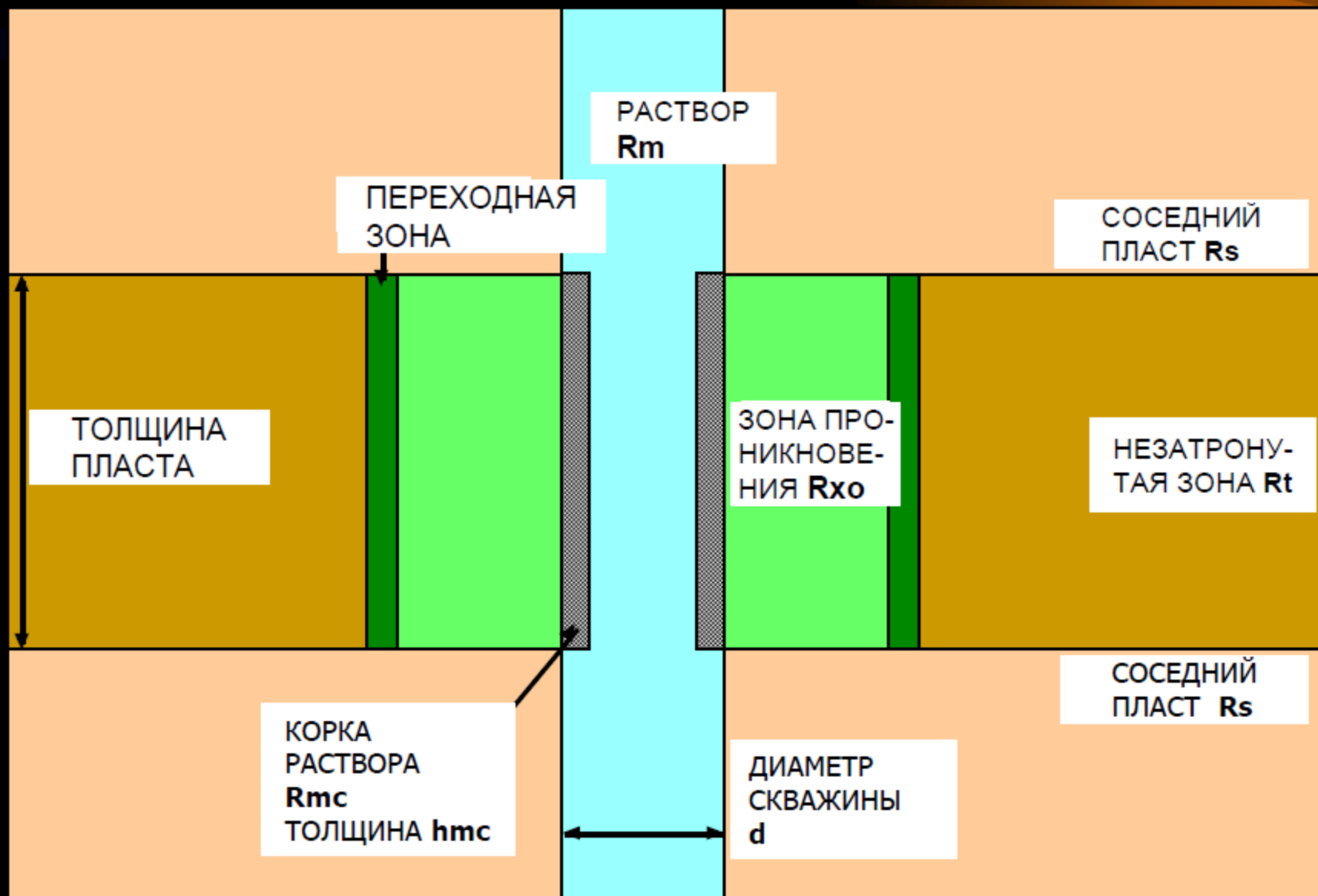


- Deep mode uses current returning at surface
- Currents take the path of least resistance
- High-resistivity bed forces current into borehole
- Creates an erroneously high deep resistivity reading.
- Drillpipe-conveyed logging and long tool strings cause similar effect

Факторы, влияющие на Сопротивление Скважины

- Значения каротажа сопротивления зависят и от бурового раствора и от пластовой жидкости
- В процессе бурения раствор вталкивается в проницаемый пласт, вызывая поглощение
- При бурении в растворе разбуренная порода отфильтровывается к стенке скважины, создавая эффект “буровой корки”, которая влияет на считываемое значение.
- Зона проникновения (соседняя со стенкой скважины) - зона, в которой буровой раствор вытеснил пластовую воду

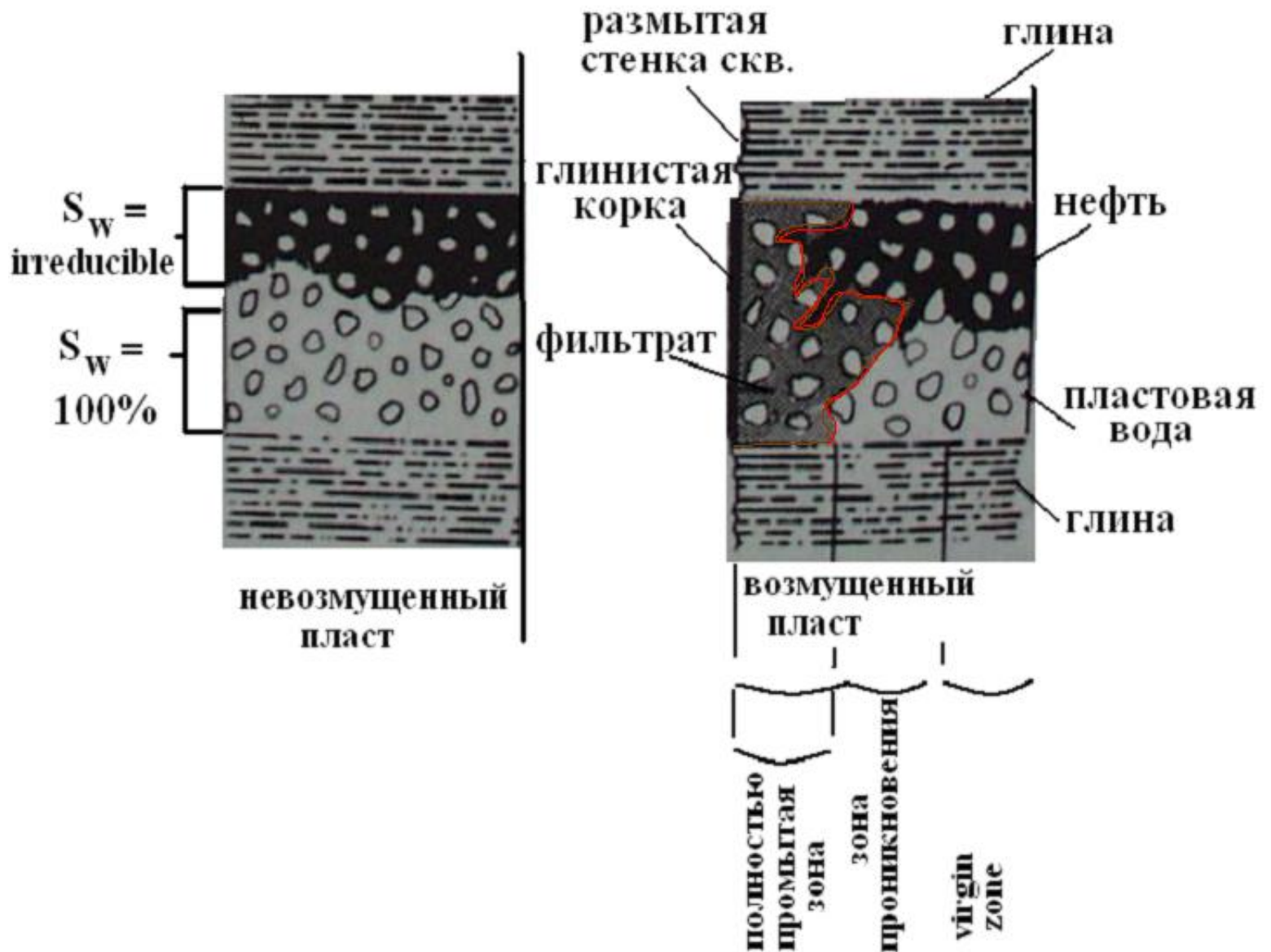
Комплексная Скважинная Схема



Факторы, влияющие на Сопротивление Скважины

- Оставшаяся часть зоны проникновения - смешение бурового раствора с пластовой водой
- На каротаж также влияет солёность бурового раствора и пластовой воды
- Диаметр скважины изменяет амплитуду значения каротажа

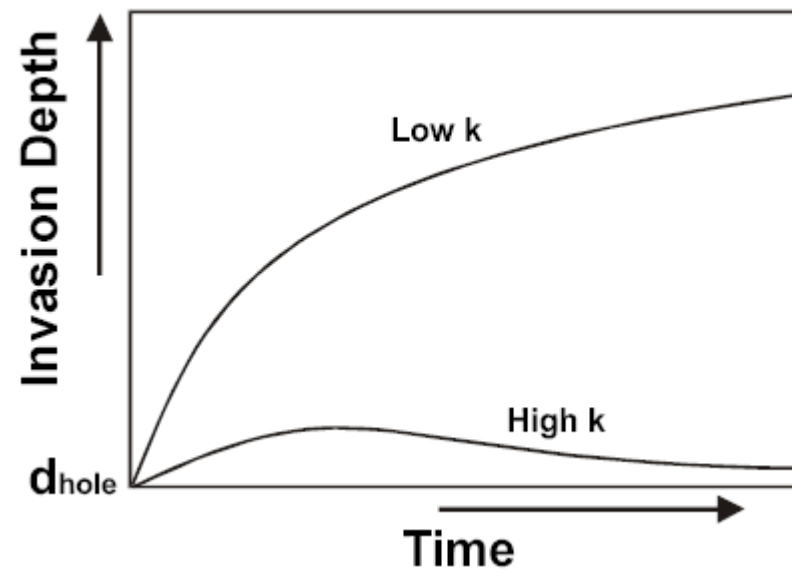
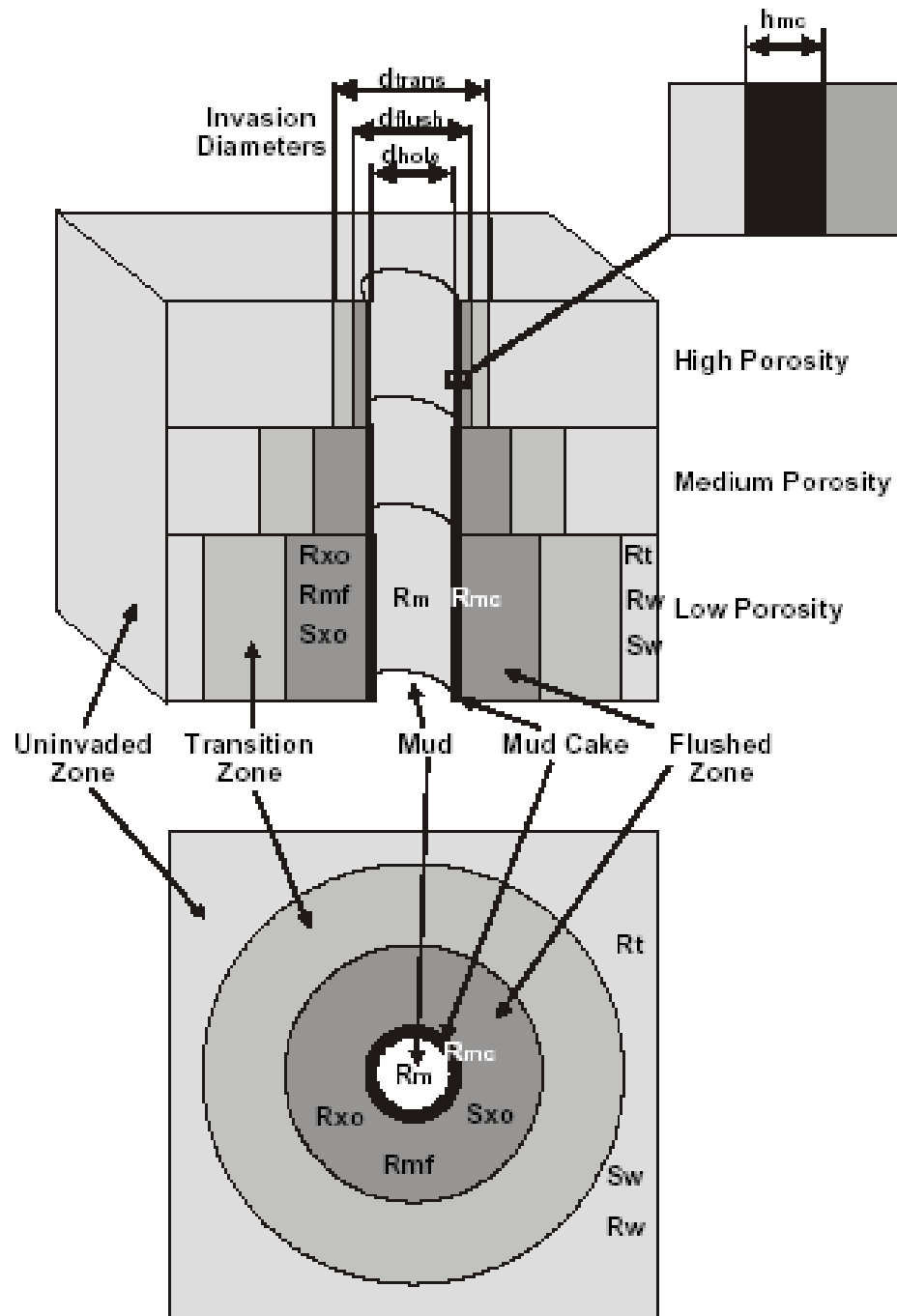
Структура зоны проникновения



Скважинные Зоны

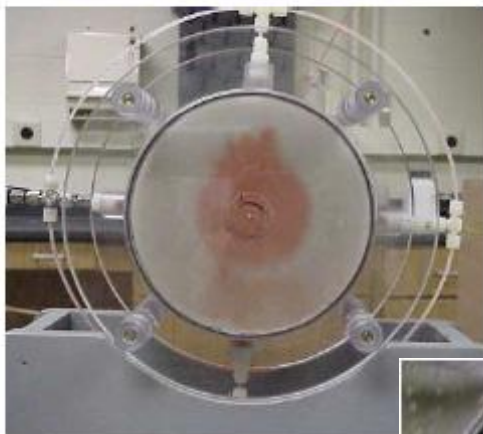
- Зона промывки, соседняя со стенкой скважины, содержала пластовую воду до замены её на буровой раствор
- Другая часть зоны проникновения содержит смесь бурового раствора с пластовой водой
- Разбуренная порода отфильтровывается к стенке скважины, создавая “буровую корку”
- Значение каротажа будет зависеть от солёности бурового раствора и пластовой воды
- Можно сделать коррекцию диаметра скважины и сопротивления бурового раствора
- Зонды электрического каротажа дают значение протекания электрического тока между зондом и толщей

Влияние параметров пласта на зону проникновения

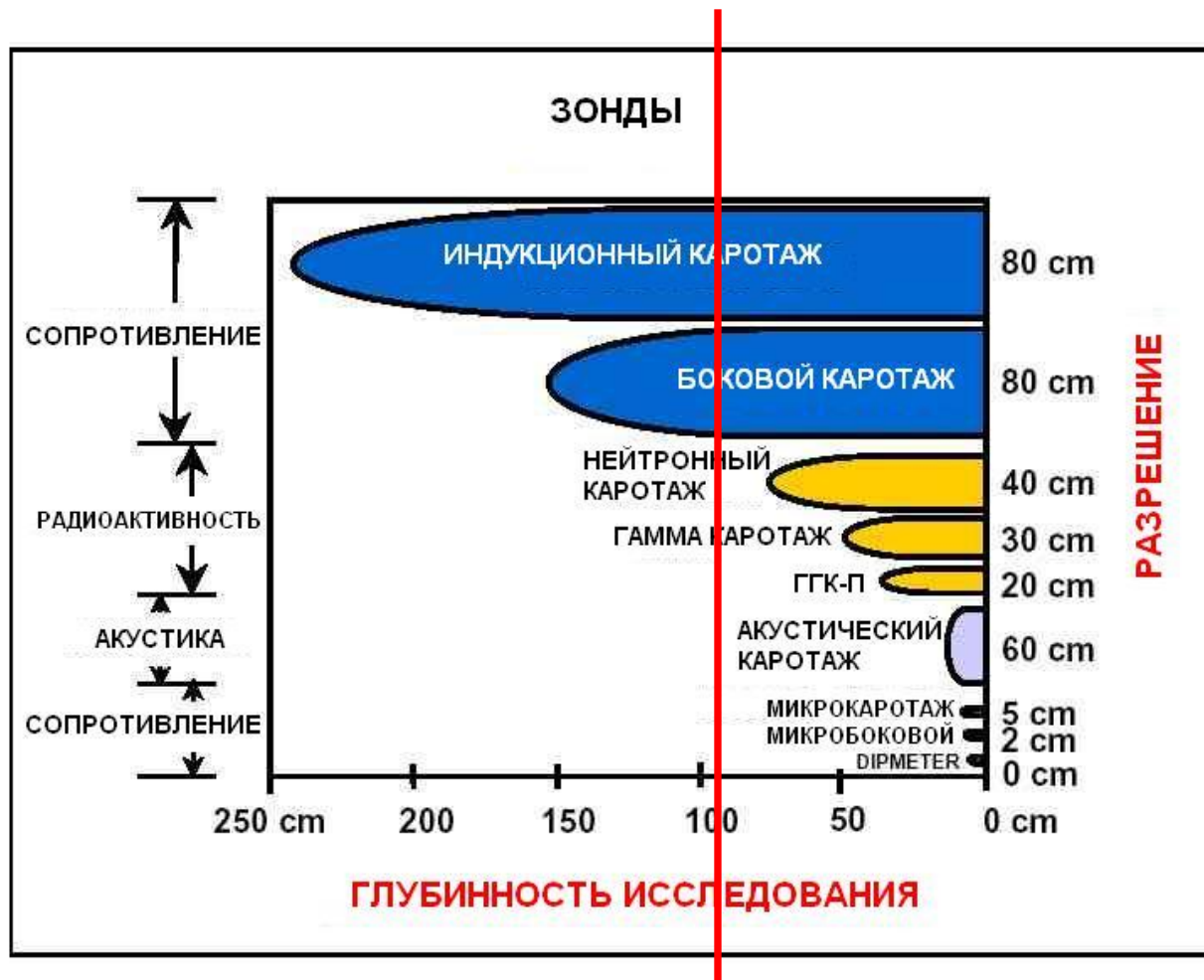


MUD- FILTRATE INVASION EXPERIMENT

Зона проникновения
фильтрата бурового
раствора в пласт



Разрешающая способность методов в сопоставлении с зоной проникновения



Метод кажущихся сопротивлений

- КС
- БКЗ,
- Резистивиметрия
- Микрозондирование

Принципы скважинных измерений

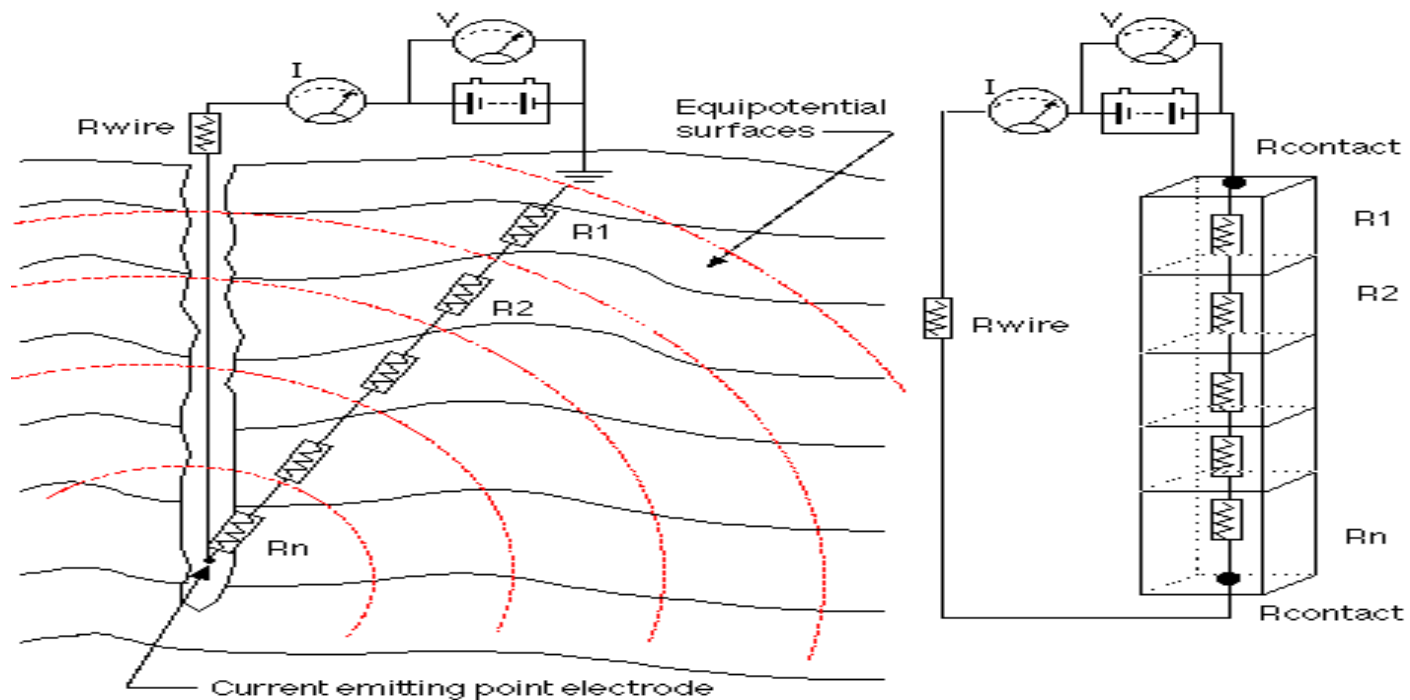
Basic Resistivity Measurement

Measuring the surface voltage and currents will give us a total resistance, affected by all the resistances involved.

$$V = I \cdot R$$

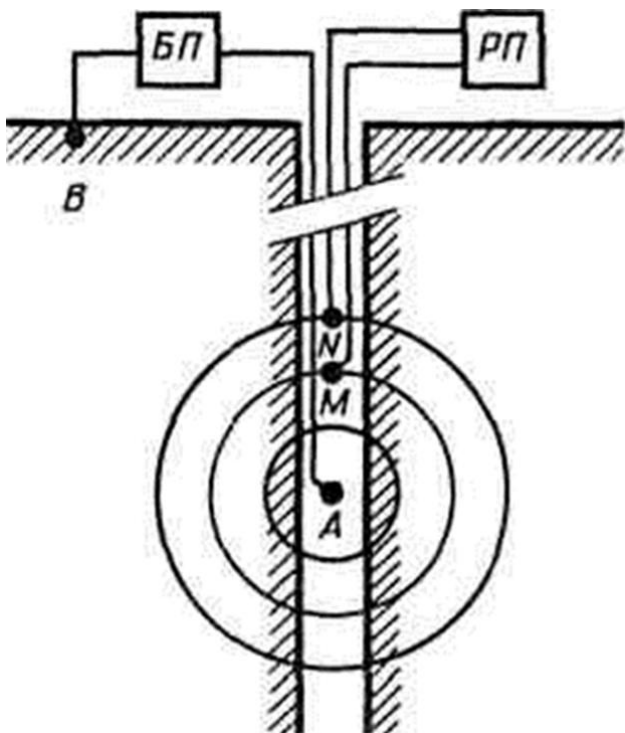
$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = R_{\text{wire}} + R_{\text{contacts}} + (R_1 \dots R_n)$$



Типы Зондов Электрического каротаж

- Нормального Сопротивления
- Сопротивление в одной точке
- Потенциал самопроизвольно Поляризации
- Сфокусированного сопротивления
- Микросопротивление
- Индуктивная электропроводность



Метод кажущихся сопротивлений (КС) –

измерение кажущегося удельного электрического сопротивления $УЭС$ (Омм) горных пород четырёхэлектродными установками

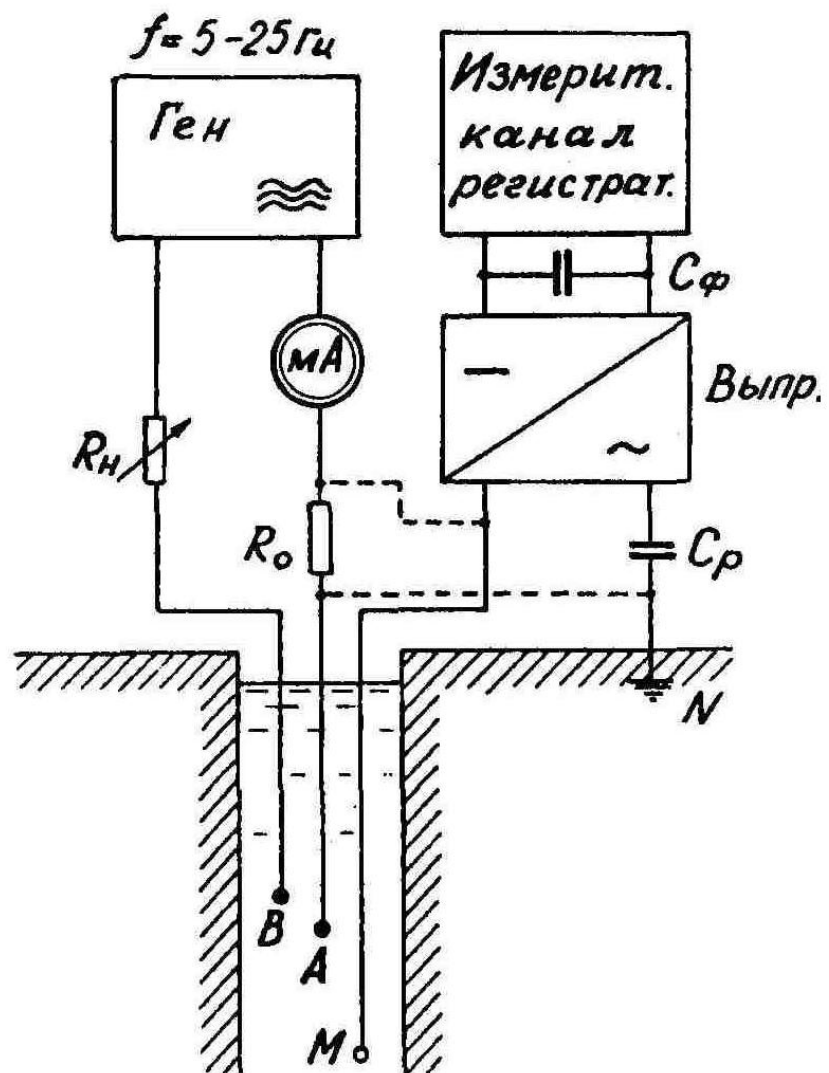
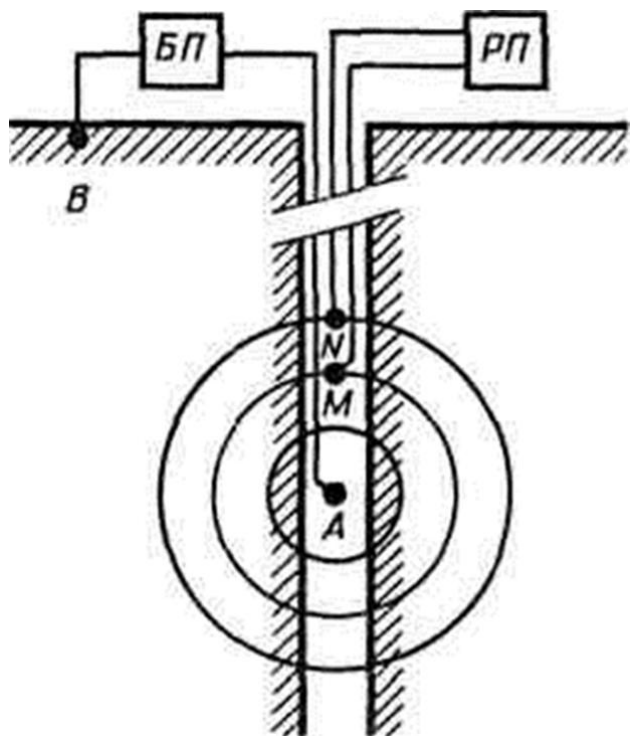


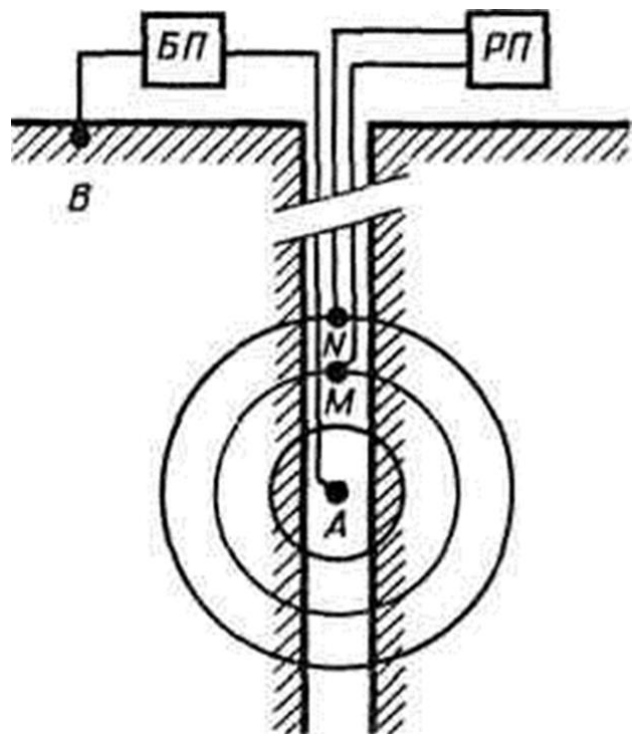
Рис. 5.6. Схема записи диаграммы КС на трехжильном кабеле

Устройство и шифр обычных каротажных зондов кажущегося сопротивления (КС). Схема измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) горных пород обычными зондами КС

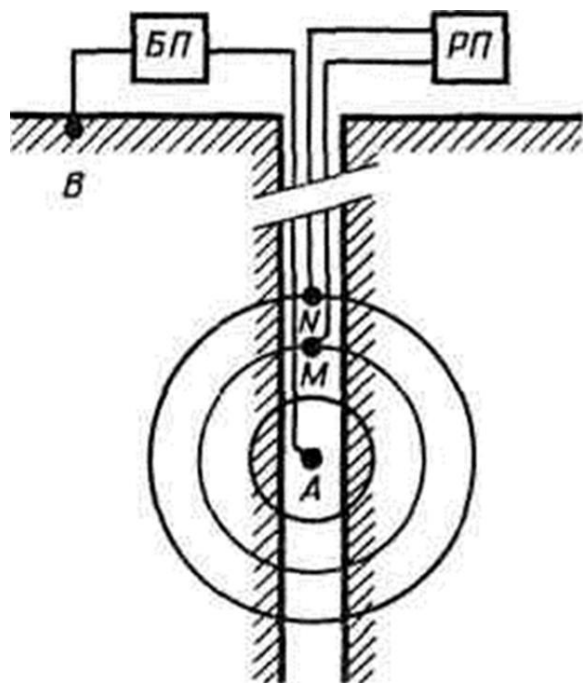


- Обычный каротажный зонд КС состоит из четырёх свинцовых электродов, укрепленных на кабеле. В скважине на кабеле размещаются три электрода. Четвёртый электрод находится на поверхности вблизи скважины. Зонды обозначаются шифрами, включающими буквы А, В, М, N (обозначение электродов) и цифры, указывающие в метрах межэлектродные расстояния. При этом используется буквенное обозначение трёх электродов, находящихся в скважине. Порядок букв в шифре зонда находится в соответствии с названием и расположением электродов сверху вниз в скважине.
- Запись N0.5M2.0A означает, что между электродом N и M расстояние 0,5 м, между M и A – 2 м. Электрод В находится на поверхности вблизи скважины.

Схема измерения удельного электрического сопротивления горных пород обычными зондами кажущегося сопротивления.



Схему измерения УЭС горных пород обычными зондами КС рассмотрим на примере зонда N0.5M2.0A. От блока питания БП через электроды A и B (токовые) подается электрический ток силой I , создающий электрическое поле. При помощи электродов M и N (измерительных), регистрируется (прибором РП) разность потенциалов ΔU электрического поля между двумя точками скважины.



Среда, окружающая скважину, неоднородна. Её УЭС ($\rho_{\text{п}}$) меняется в вертикальном и в горизонтальном направлении. Поэтому зондами КС регистрируется не истинное УЭС, а кажущееся УЭС ($\rho_{\text{к}}$):

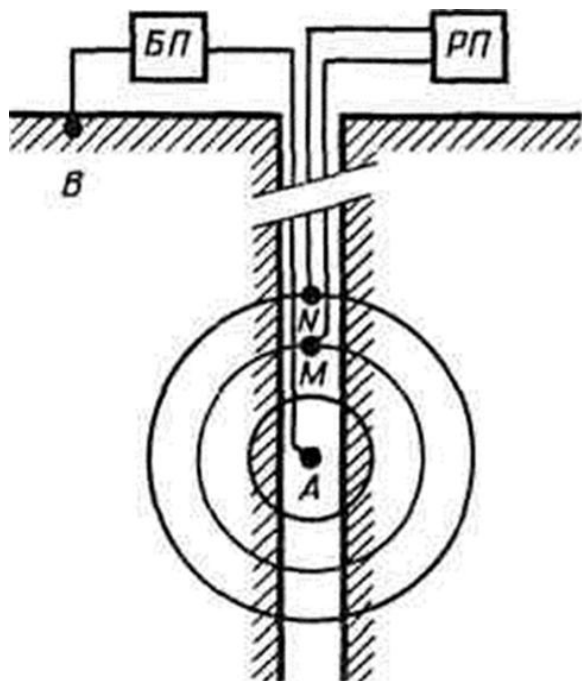
$$\rho_{\text{к}} = K(\Delta U/I),$$

где K носит название коэффициент зонда и является функцией межэлектродных расстояний;

ΔU - разность потенциалов между измерительными электродами M и N ,

I - сила тока, проходящего через токовые электроды A и B .

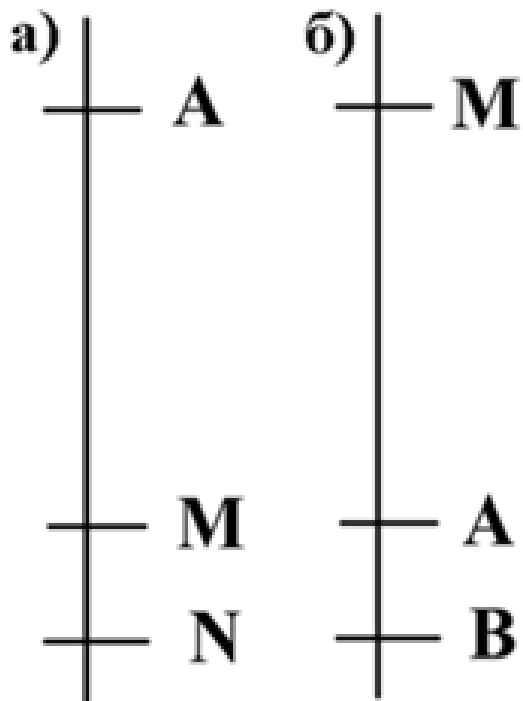
$$\rho = 4\pi \frac{AM \cdot AN}{MN} \cdot \frac{\Delta U}{I} = K \frac{\Delta U}{I}$$



Названия электродов обычных зондов кажущегося сопротивления.

Электроды включенные:

- в токовую цепь называются токовыми;
- в измерительную цепь — измерительными;
- в одну цепь (токовую или измерительную) - парными;
- в разные цепи называются непарными.

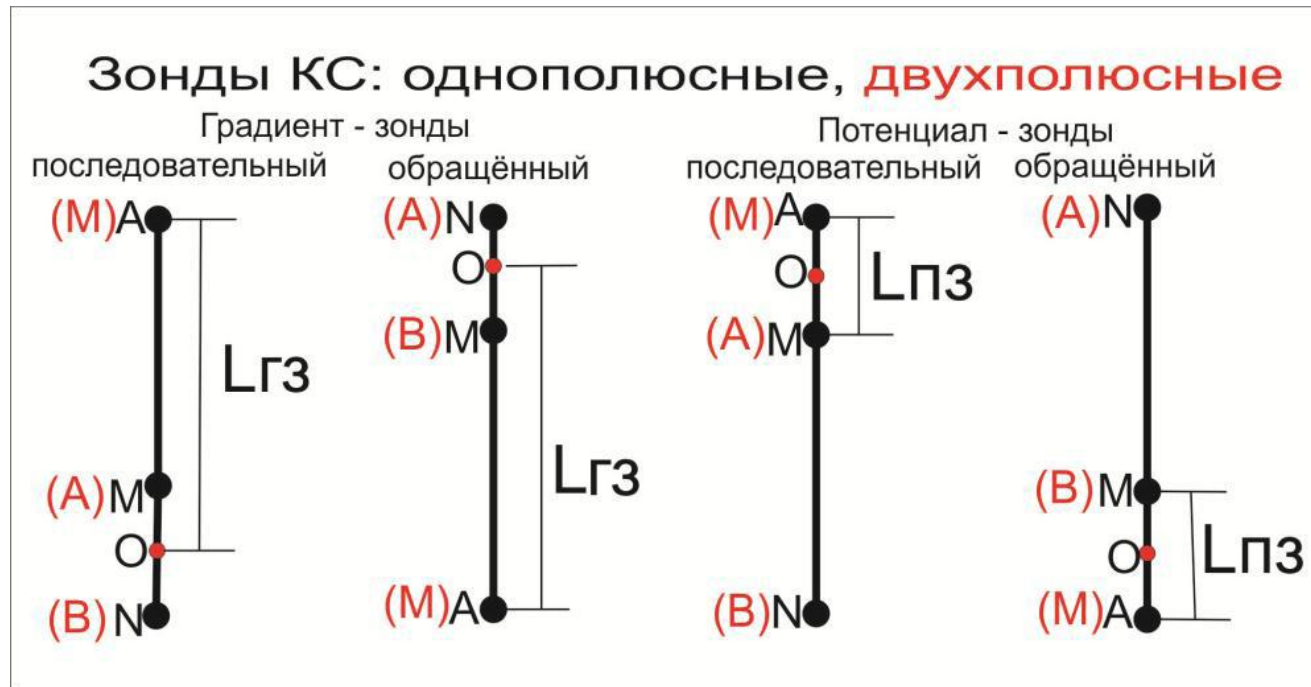


Названия обычных зондов кажущегося сопротивления в зависимости от количества токовых электродов, расположенных в скважине.

Зонд, у которого только один токовый электрод расположен в скважине, называется однополюсным. Зонд, у которого два токовых электрода расположены в скважине, называется — двухполюсным.

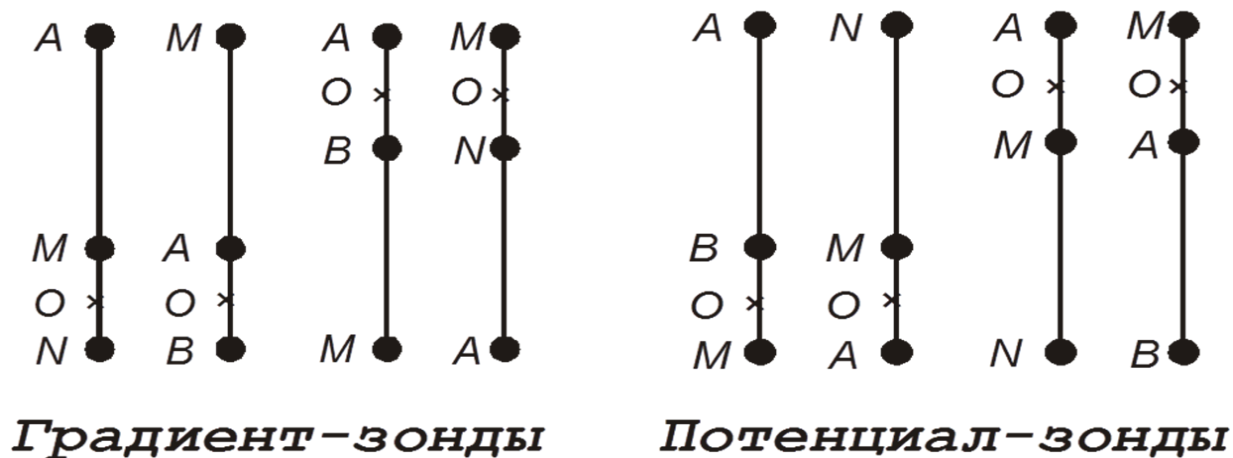
Название обычных зондов в зависимости от порядка расположения парных и непарных электродов в скважине

- По порядку расположения электродов зонды делятся на последовательные и обращенные. У последовательного зонда парные электроды находятся ниже непарного, у обращенного — парные электроды выше непарного.



Название обычных зондов в зависимости от соотношения расстояний между электродами

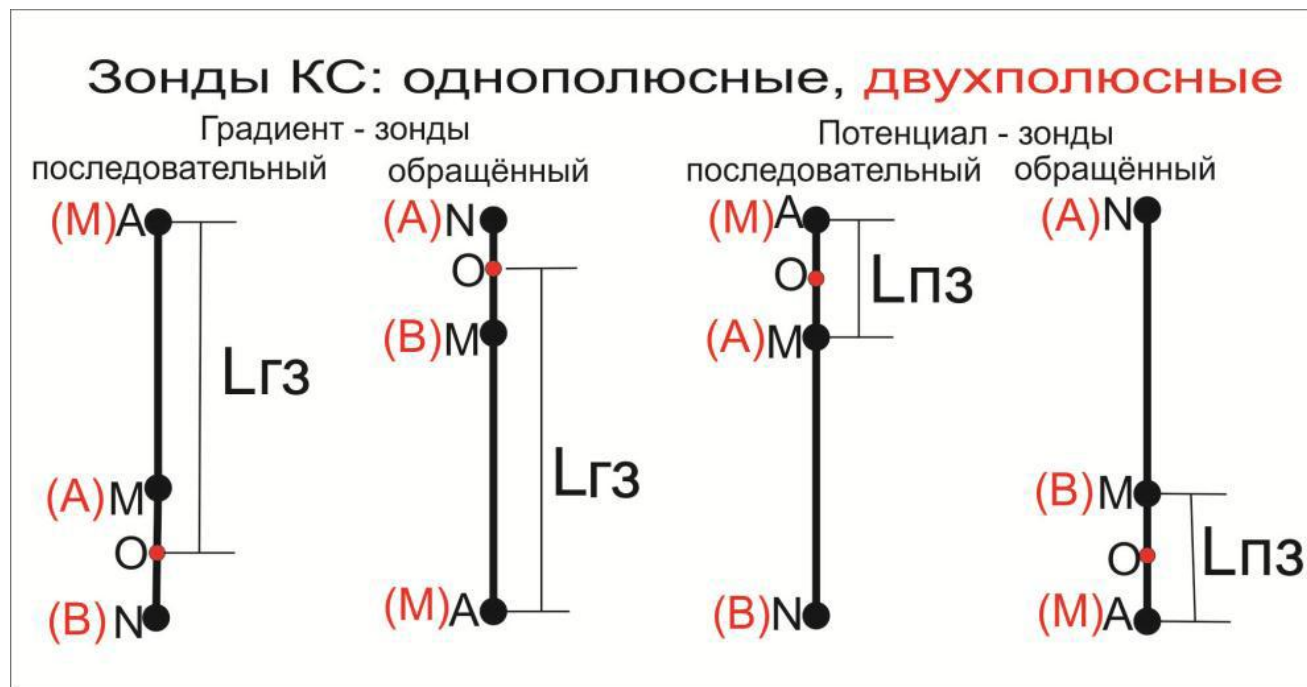
- Зонд, у которого расстояние между парными электродами во много раз больше расстояния между непарным называется потенциал - зондом. Зонд, у которого расстояние между парными электродами во много раз меньше расстояния между непарными электродами, называется градиент - зондом.



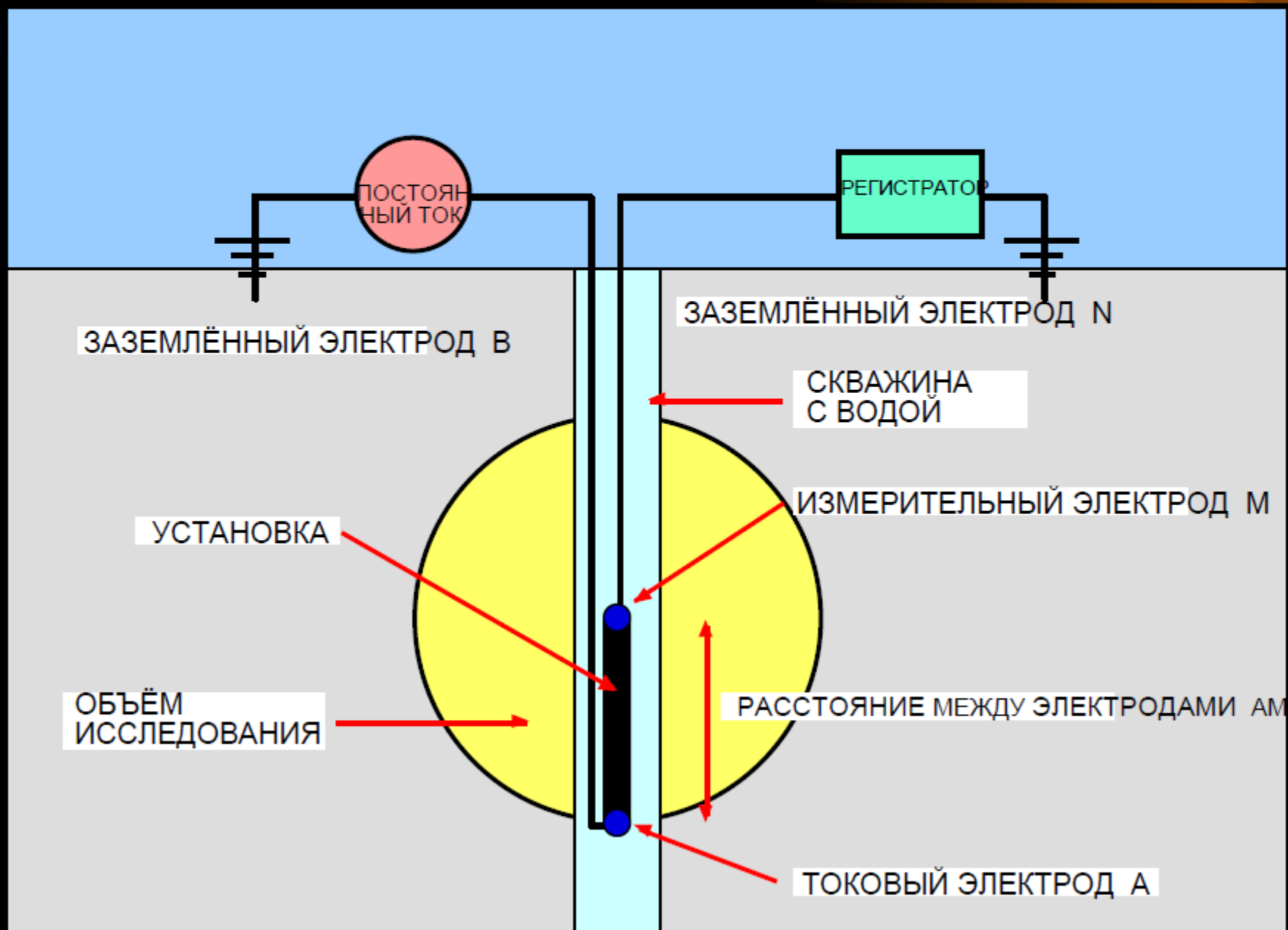
А и В - токовые электроды
М и N - измерительные электроды
О - точка записи зонда

Длины, радиусы исследования, точки записи потенциал и градиент – зондов

- Для потенциал – зонда (ПЗ) расстояние между сближенными непарными электродами называется длиной зонда и обозначается L . Радиус исследования ПЗ равен удвоенной его длине. Точка записи у ПЗ расположена посередине между непарными электродами и обозначается через O .
- Для градиент – зонда (ГЗ) расстояние между серединой сближенных парных электродов и непарным электродом называется длиной зонда и обозначается L . Радиус исследования ГЗ равен его длине. Точка записи у градиент - зонда расположена посередине между парными электродами обозначается через O .



Каротаж Потенциал-Зондом

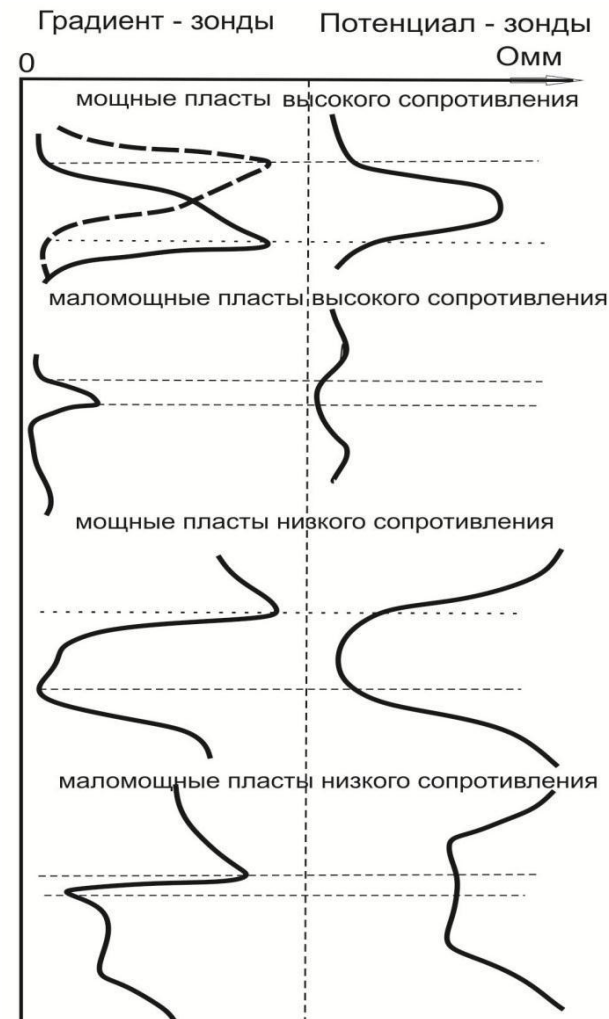


Кривые зондов кажущегося сопротивления. Обработка диаграмм зондов КС

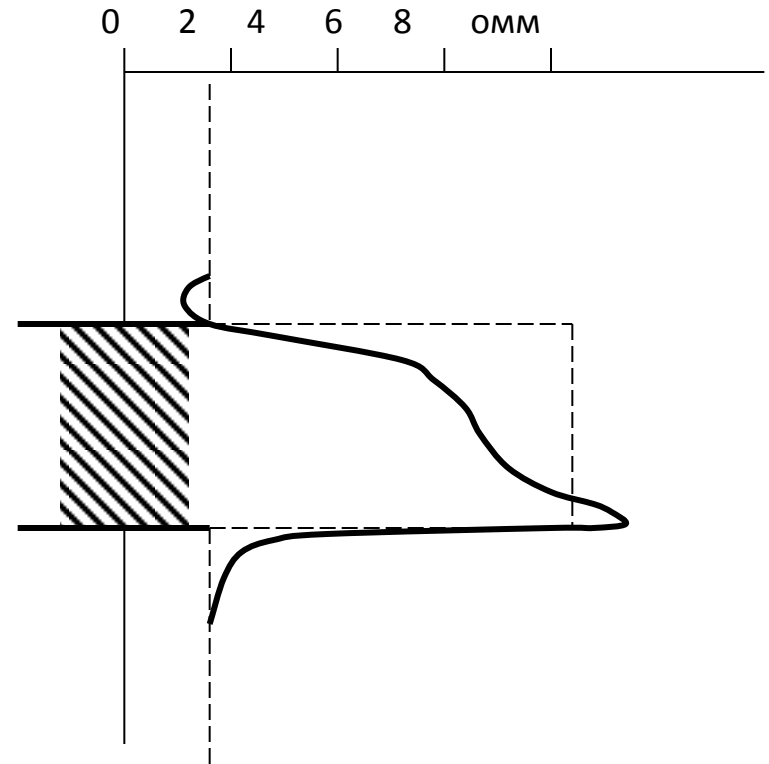
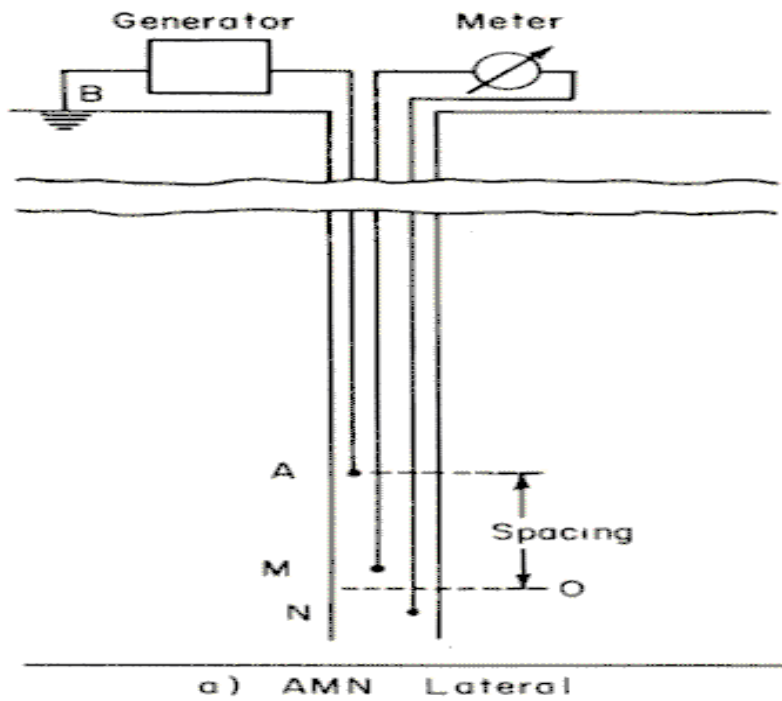
- **Кривые** потенциал – зонда (ПЗ) – симметричны относительно середины пласта. Кривые обычного градиент – зонда (ГЗ) – ассиметричны относительно середины пласта.
- **Обработка диаграмм** зондов КС сводится к нахождению границ пластов, снятию показаний, определению истинных сопротивлений пластов.

Границы мощных пластов высокого сопротивления находятся:

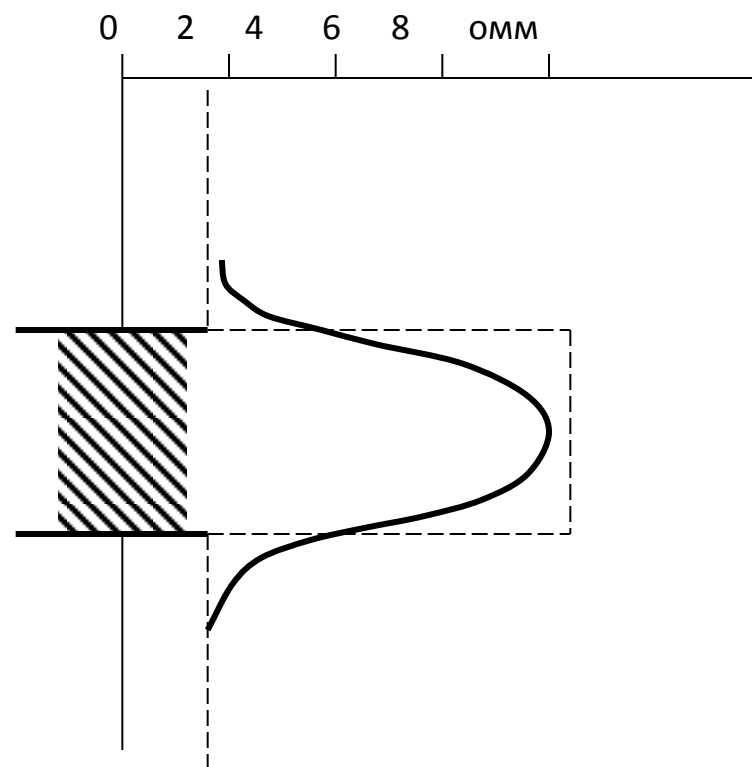
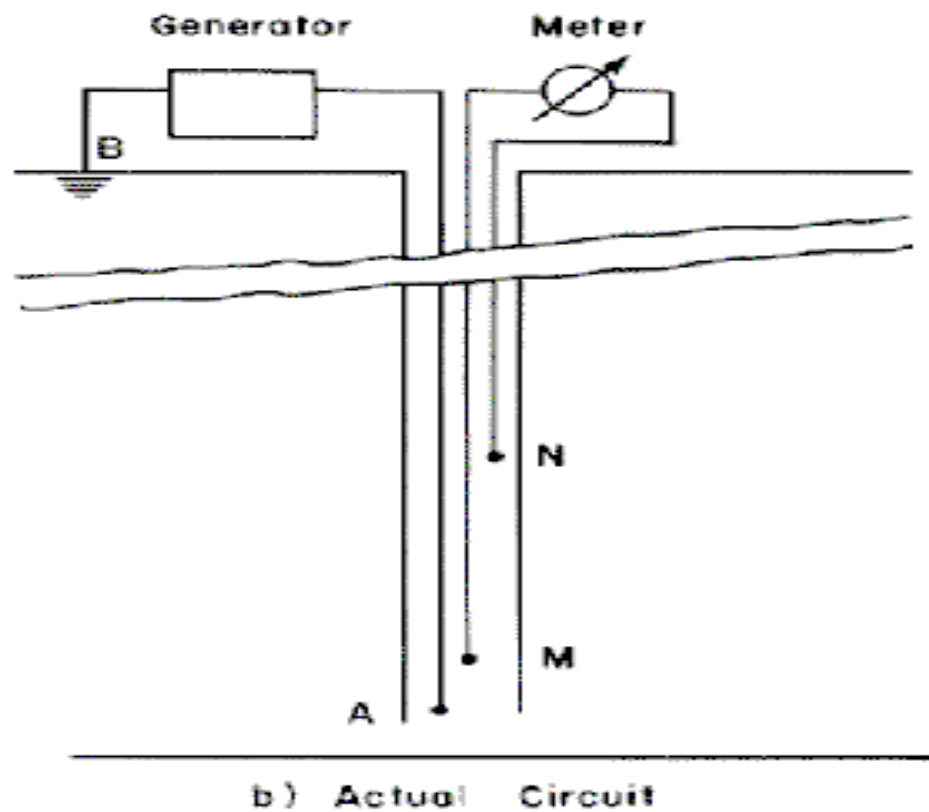
- в точке резкого подъёма кривой потенциал – зонда;
- по точкам минимальных и максимальных показаний на кривых градиент – зондов (с небольшой длиной зонда).



Градиент-зонд



Потенциал-зонд



Кривые КС на контакте пород разного сопротивления для зондов различного типа

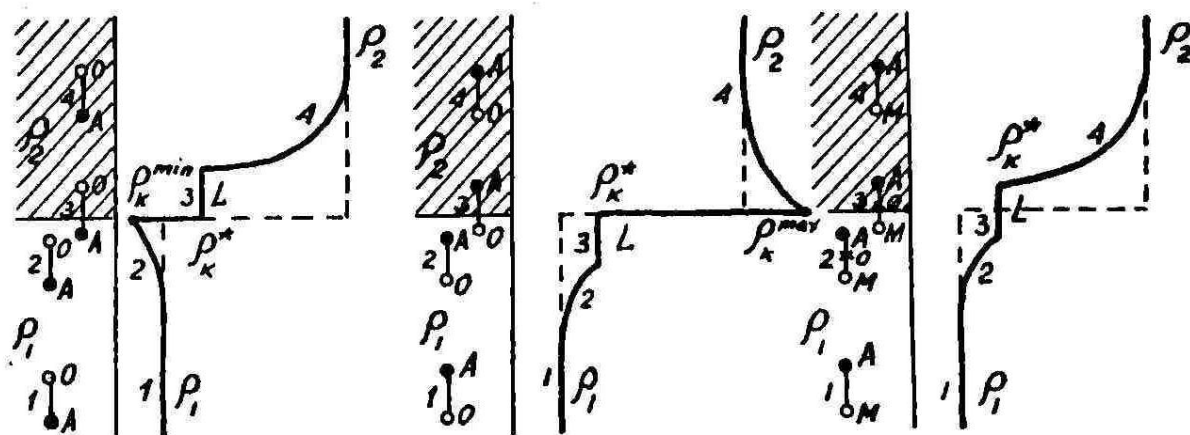


Рис. 5.7. Диаграммы КС на контакте пород низкого и высокого сопротивления для обращенного градиент-зонда (а), последовательного градиент-зонда (б) и потенциал-зонда (в)

Теоретические кривые КС

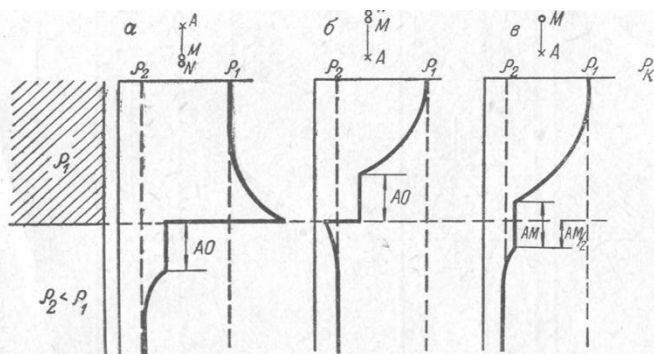


Рис. 120. Теоретические кривые КС при пересечении одной границы раздела. *а* — подошвенный градиент-зонд; *б* — кровельный градиент-зонд; *в* — потенциал-зонд.

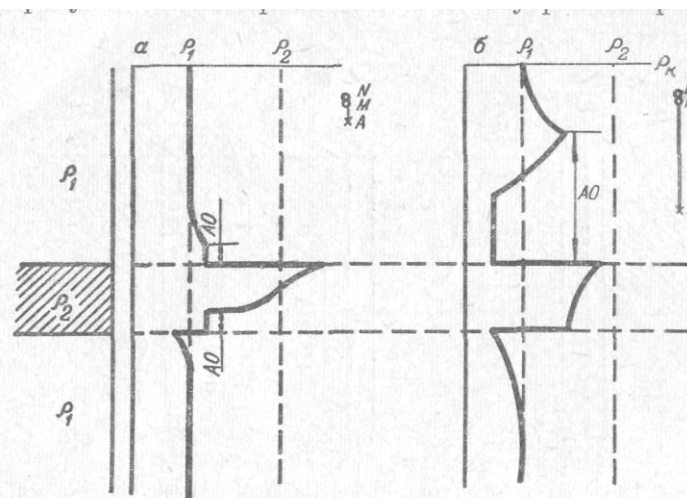
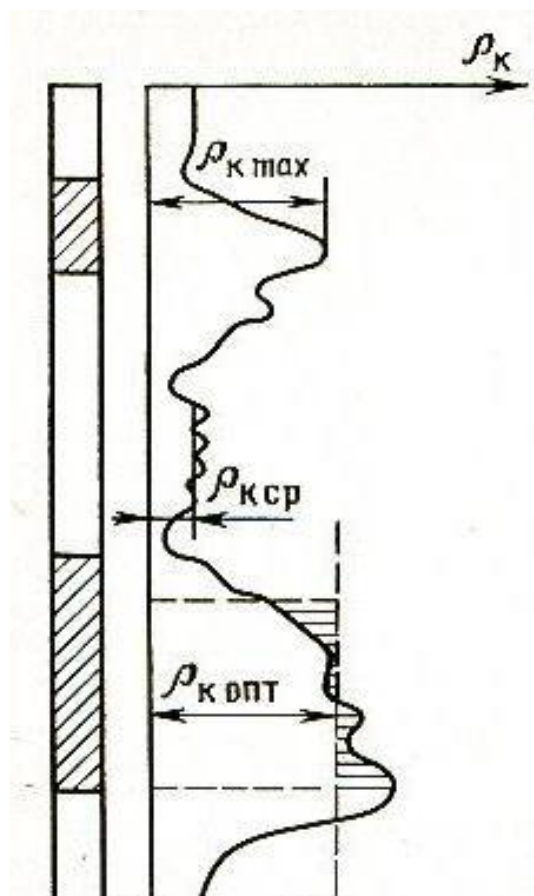


Рис. 121. Теоретические кривые КС при пересечении кровельным градиент-зондом. *а* — мощный пласт высокого сопротивления; *б* — тонкий пласт высокого сопротивления.



Для проведения количественной интерпретации, с диаграмм КС снимают существенные отчёты кажущихся сопротивлений (ρ_k):

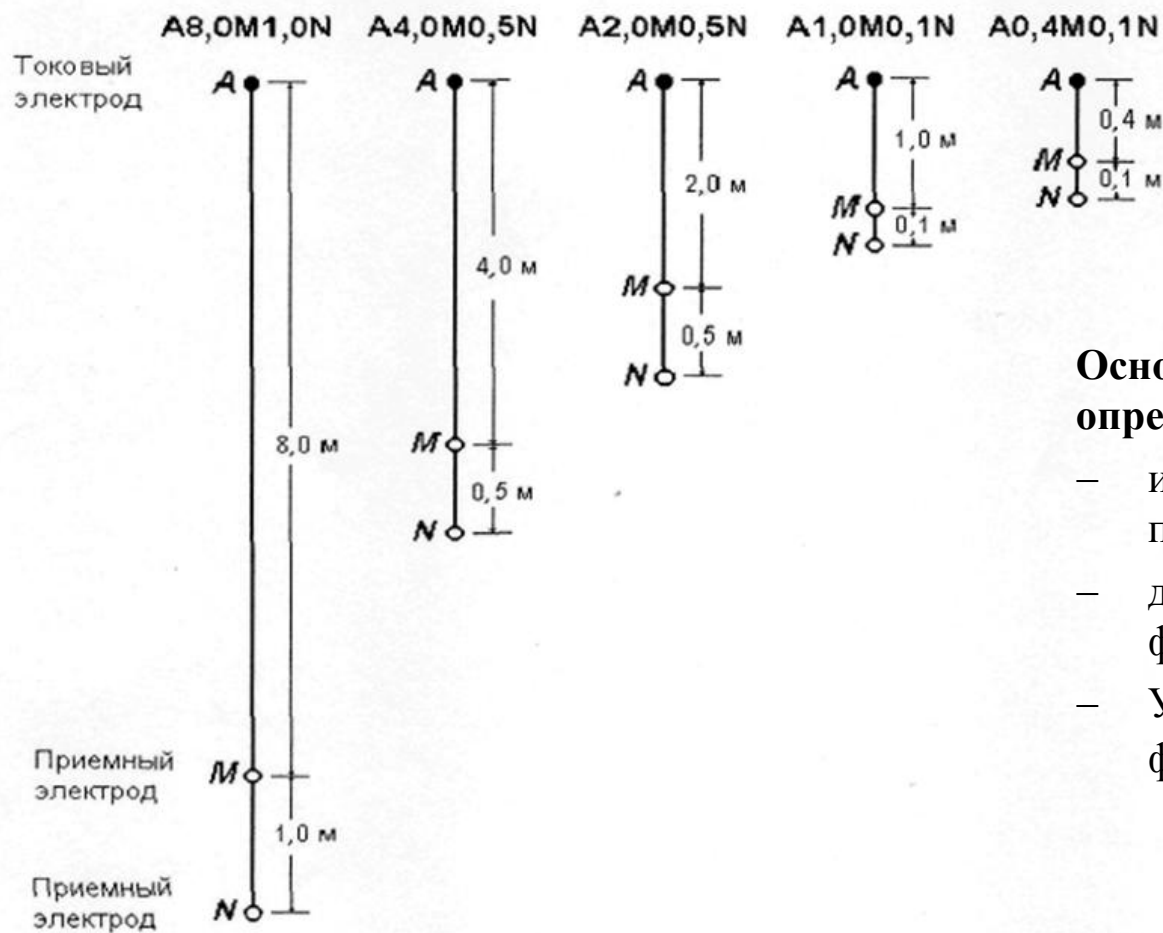
- либо средние ($\rho_k^{\text{сред}}$),
- либо максимальные (ρ_k^{max}),
- либо оптимальные ($\rho_k^{\text{опт}}$).

**Боковое каротажное зондирование
(БКЗ).**

Шифры зондов, входящих в БКЗ.

Цель проведения БКЗ

- **Боковое каротажное зондирование (БКЗ)** представляет собой исследование скважины серией однотипных обычных зондов, имеющих различные размеры, от которых зависит глубина исследования.
- В комплекс БКЗ входят следующие зонды КС:
A0,4M0,1N, A1,0M0,1N, A2,0M0,5N, A4,0M0,5N, A8,0M1,0N.



Основное назначение БКЗ – определение:

- истинного УЭС мощных пластов,
- диаметра зоны проникновения фильтрата бурового раствора,
- УЭС зоны проникновения фильтрата бурового раствора.

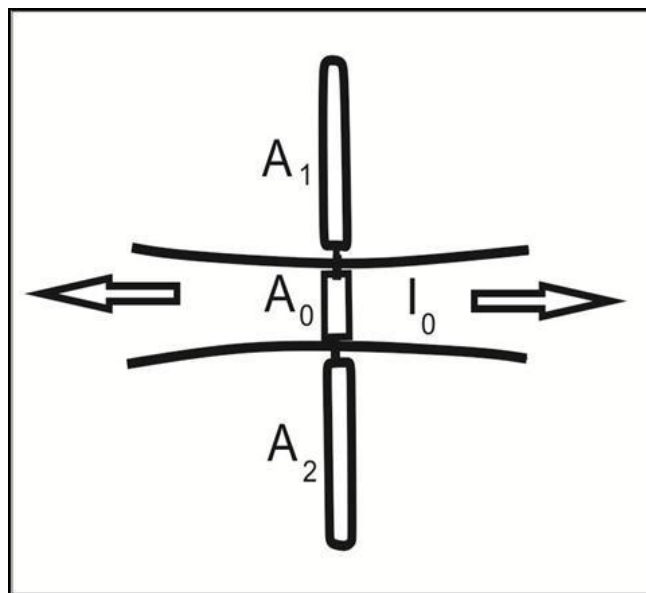
Боковой каротаж

- Короткий приёмный электрод с длинными экранными электродами сверху и снизу
- Постоянный ток в приёмном электроде
- Экранные электроды и передающие электроды поддерживаются о одном потенциале
- Потенциал между приёмным электродом и заземлённым относятся (по закону Ома) к сопротивлению и, при известном объёме материала, мы получаем сопротивление в Ом метрах

Боковой каротаж

- Результаты в круге исследования при известном объёме
- Влияние бурового раствора при малом диаметре скважины обычно мало, и данные каротажа можно принимать за собственное сопротивление толщи
- Сходные результаты с сопротивлением по потенциал-зонду более отчётливы, благодаря лучшему вертикальному разрешению
- Хорош для измерения тонких слоёв и каротажа угольных пластов

- **Боковой метод (БК)** - измерение УЭС (Омм) горных пород при помощи зонда, обеспечивающего распространение тока перпендикулярно стенке скважины.



- Трехэлектродный зонд бокового каротажа БК состоит из трех электродов удлиненной формы .

- Центральный электрод A_0 и, расположенные симметрично относительно него два экранирующие электрода A_1 и A_2 , представляют собой металлические цилиндры, разделенные между собой изоляционными прослойками.

- Через основной и экранные электроды пропускают *ток одной полярности* и обеспечивают этим равенство их потенциалов.

- Благодаря влиянию поля тока экранирующих электродов, ток I_0 центрального электрода направляется непосредственно в пласт слоем перпендикулярно оси скважины на значительное расстояние.

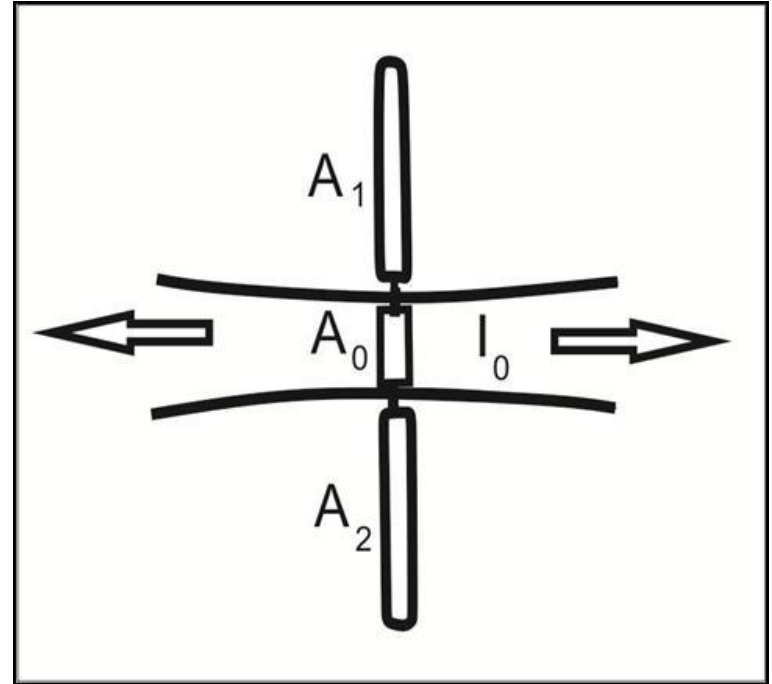
- Тем самым уменьшается влияние скважины и соседних пластов на результаты измерений.

- Сопротивление, регистрируемое при боковом каротаже, носит название эффективного и обозначается $\rho_{\text{э}}$ или $\rho_{\text{эф}}$ (иногда называют кажущимся и обозначают $\rho_{\text{к}}$). Величину $\rho_{\text{эф}}$ рассчитывают по формуле:

$$\rho_{\text{эф}} = K(\Delta U / I_0),$$

где K - коэффициент зонда, зависящий от размеров зонда; ΔU – разность потенциалов между любым из электродов зонда и удалённым от них электродом N, находящимся на кабеле

. Единицей измерения служит ом-метр (Омм).



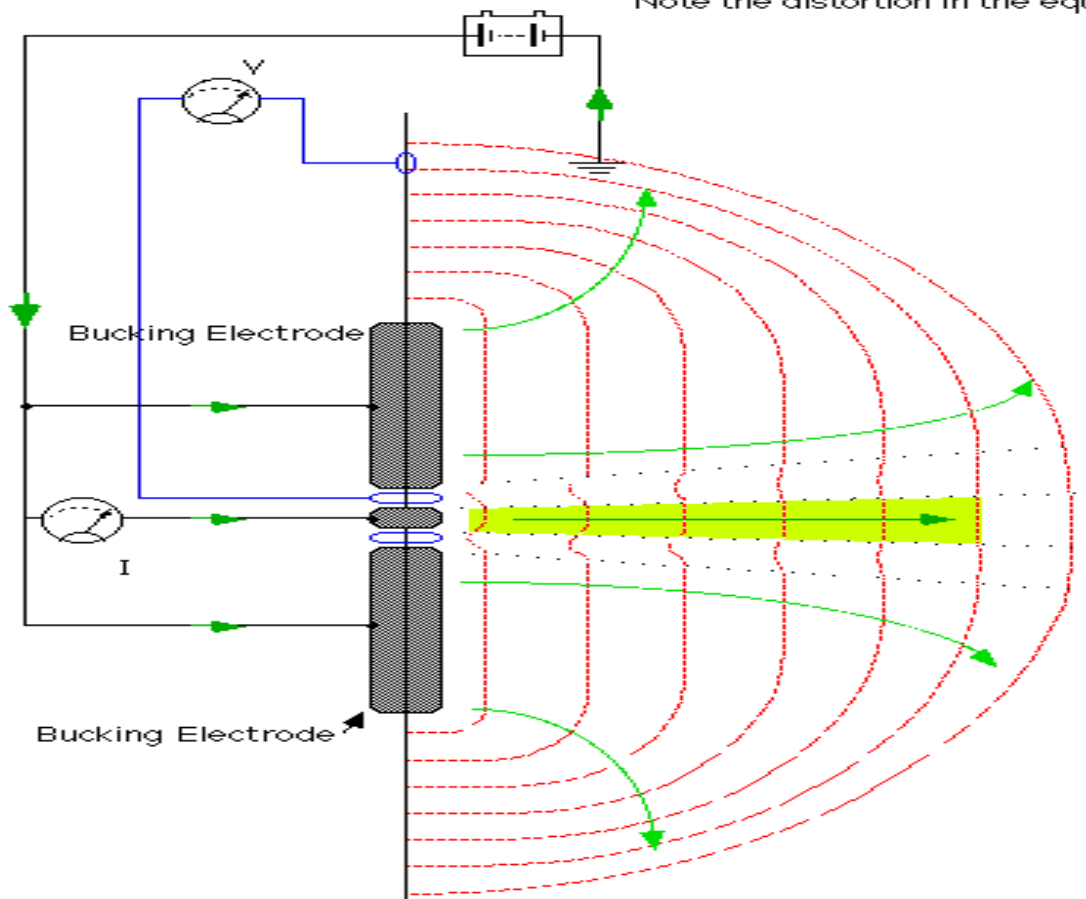
Фокусированные методы сопротивления

БК 3

Laterolog 3 (LL3)

To insure the measure current flows laterally into the formation, we place bucking or guard electrodes above and below the emitting electrode. The voltage is measured against a remote electrode.

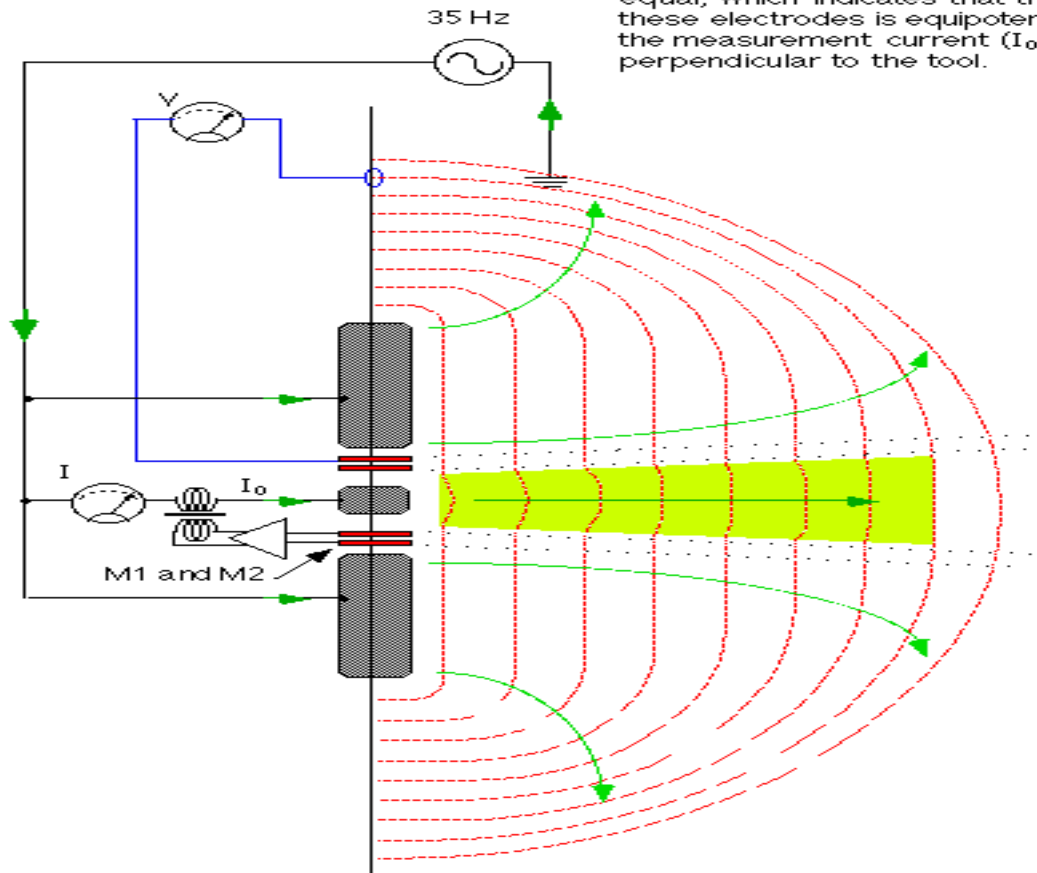
Note the distortion in the equipotential surfaces.



Фокусированные методы сопротивления

БК 7

Laterolog 5
(LL5)

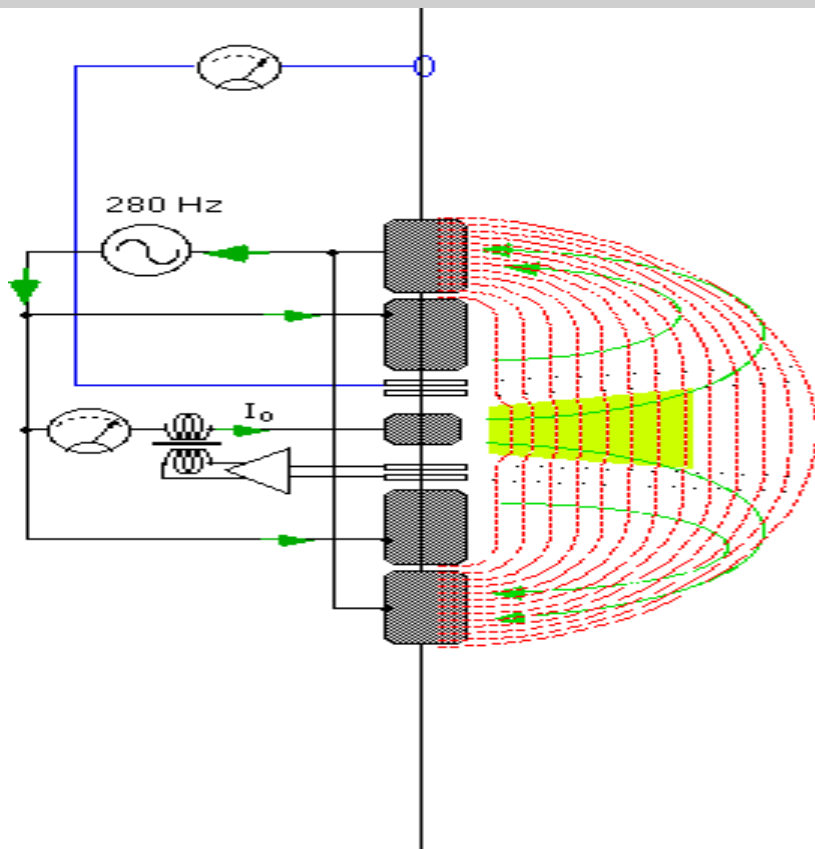


M1 and M2 electrodes are introduced. They measure the voltage in front of them, and in turn modulate the measurement (I_o) current. This ensures that the voltage in front of them is equal, which indicates that the area in front of these electrodes is equipotential, in other words, the measurement current (I_o) is flowing perpendicular to the tool.

Фокусированные методы сопротивления

БК средней глубины исследования

В данном случае оба токовых электрода располагаются на самом зонде. В результате все токовые линии замыкаются на зонде, искажая очень быстро эквипотенциальные поверхности. Таким образом, измеренное сопротивление будет отражать главным образом прискважинную и неглубокую зону пласта.



Фокусированные методы сопротивления

БК 9

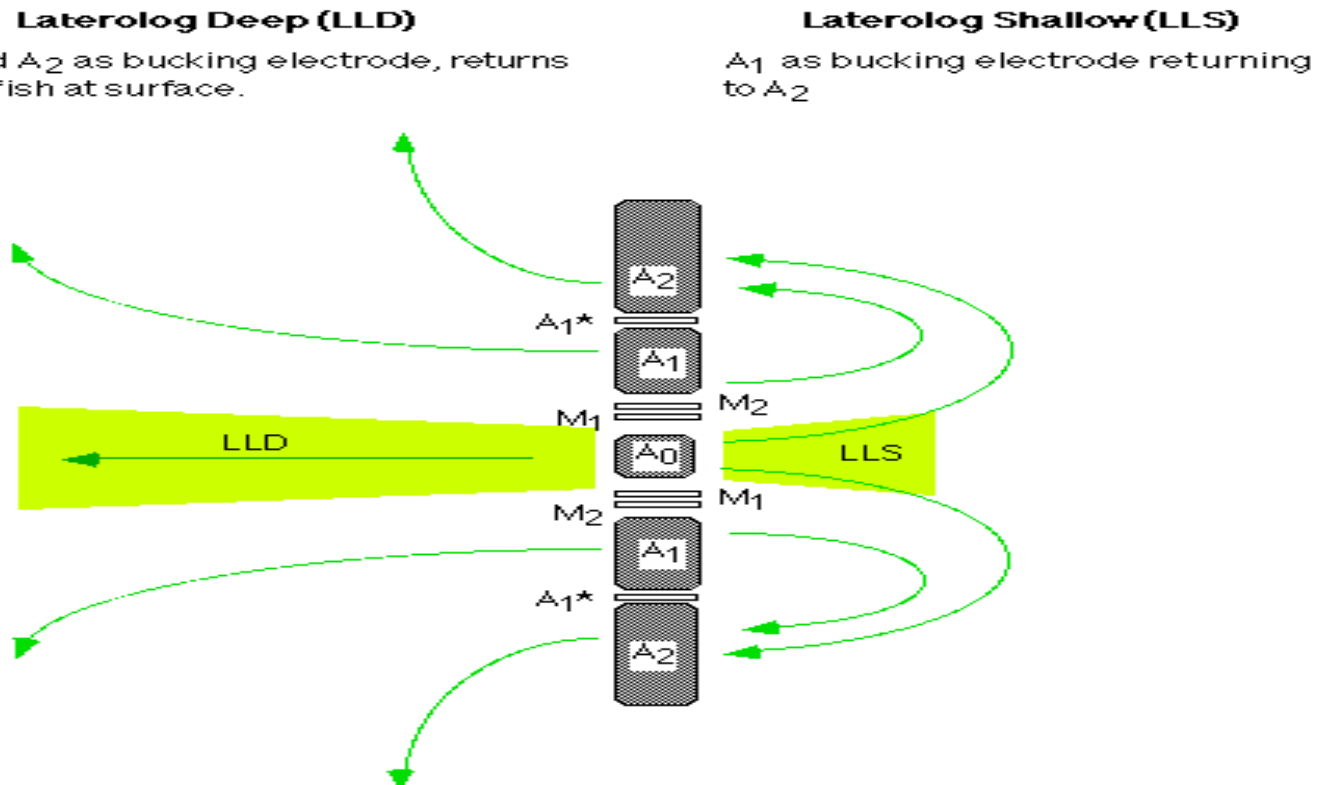
Dual Laterolog (DLT)

In practice, a single dual-laterolog sonde can do both LLD and LLS simultaneously. LLD uses 35 Hz and LLS uses 280 Hz.

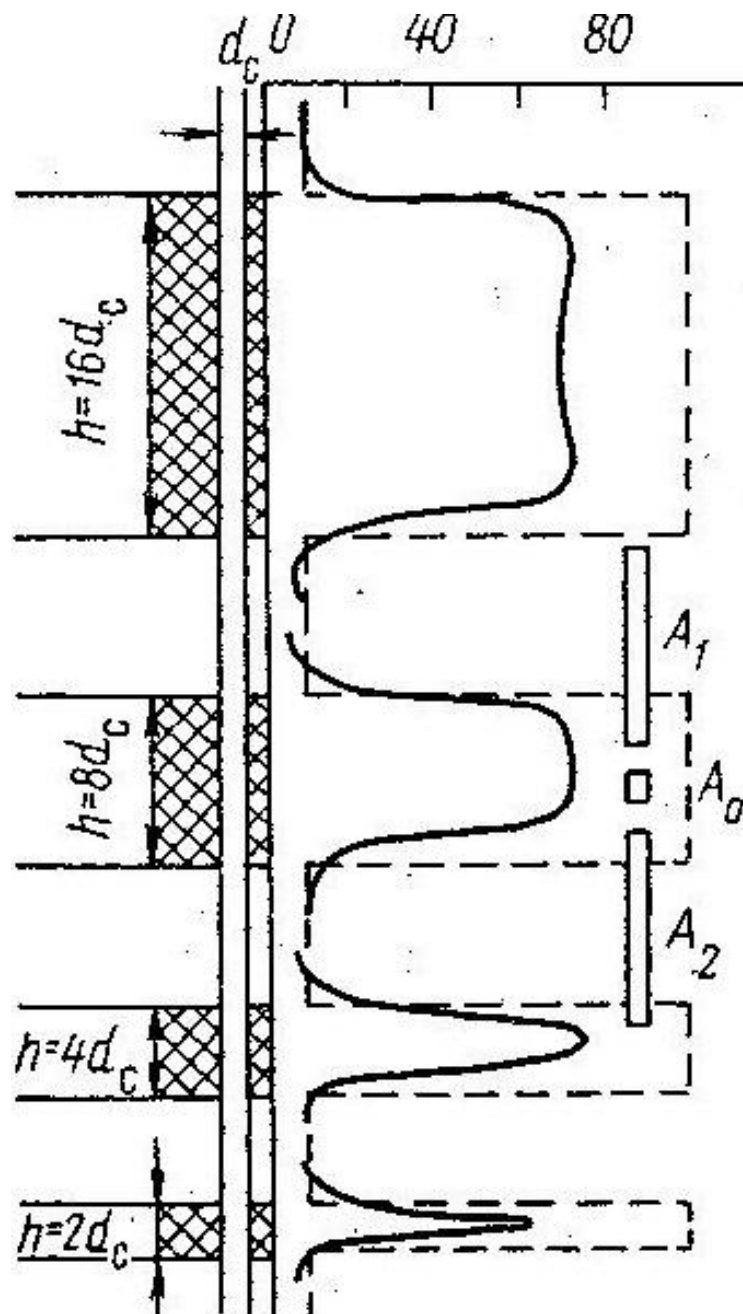
There are extra circuits to make sure that:

For LLD: A₁ and A₂ are together working as one bucking electrode

For LLS: A₁ worked as the bucking electrode, returning to A₂.



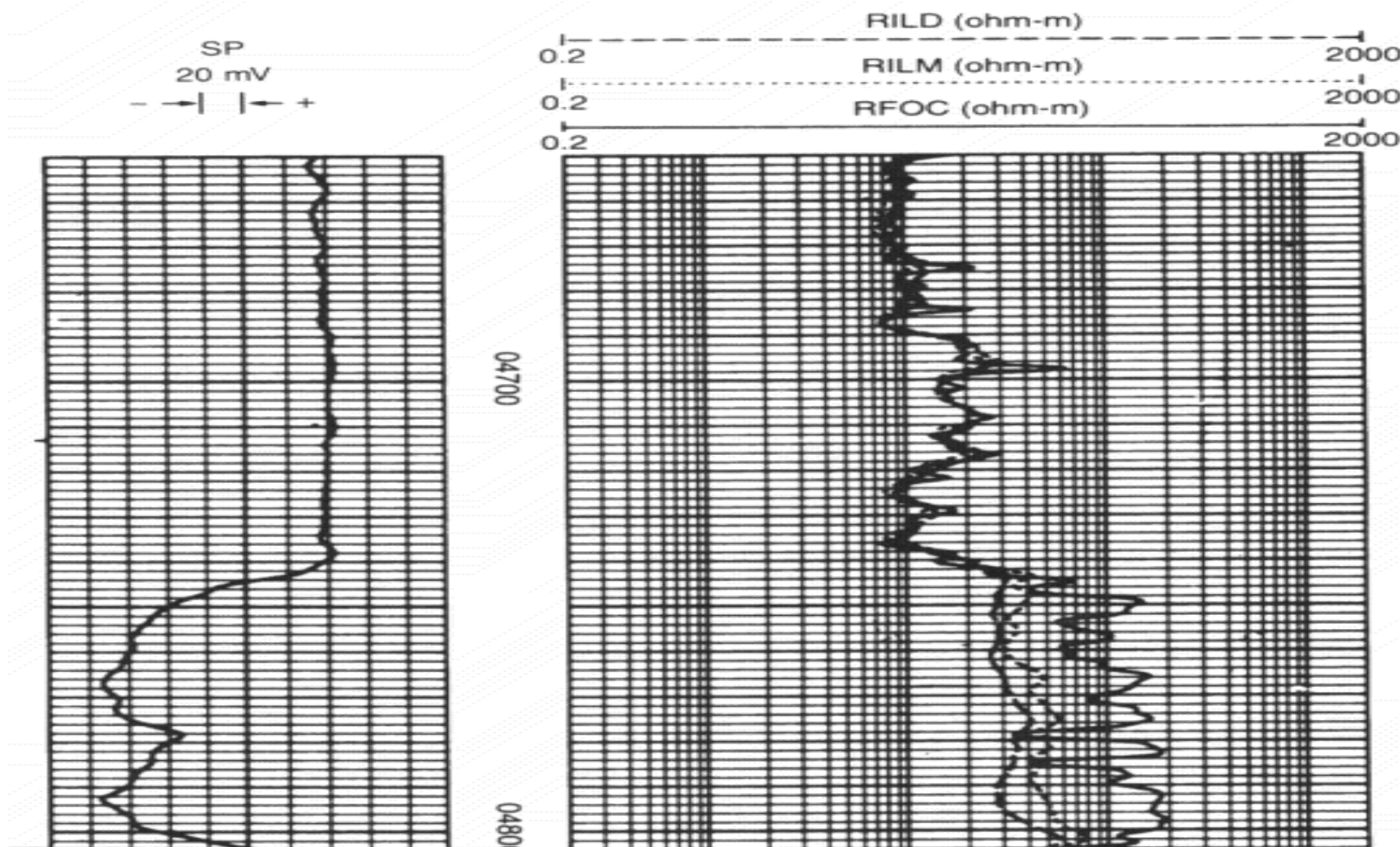
Кривые БК симметричны относительно середины пласта. Границы пластов высокого сопротивления отбиваются по кривым трёхэлектродного зонда БК по её резкому подъёму.



Основное применение

- Корреляция
- Водонасыщенность
- Профиль проникновения
- Выявление коллекторов

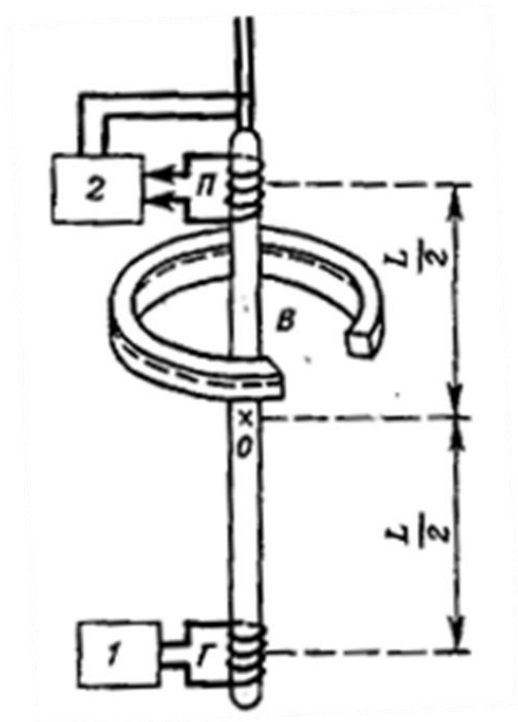
Профиль проникновения бокового каротажа



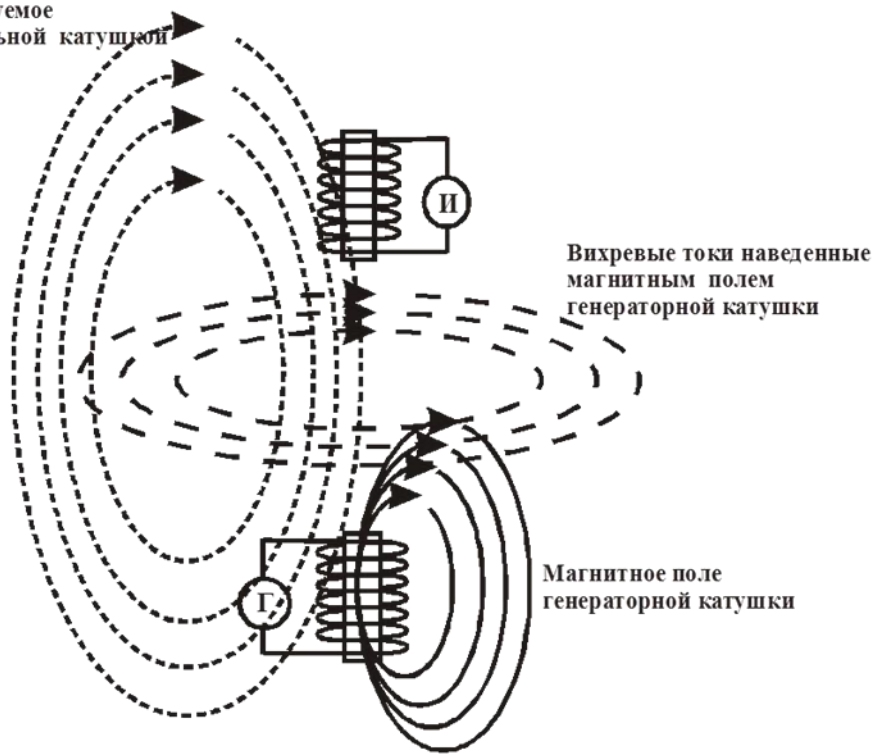
Индукционный каротаж (ИК) -
измерение кажущейся удельной
электропроводности горных пород.

Физические основы индукционного каротажа (ИК)

Простейший зонд ИК представлен двумя катушками индуктивности: генераторной Γ и приемной Π , которые расположены на токонепроводящей основе. Генераторная катушка подключена к генератору 1, который вырабатывает переменный ток ультразвуковой частоты 20—80 кГц и питается стабилизированным по частоте и амплитуде током.

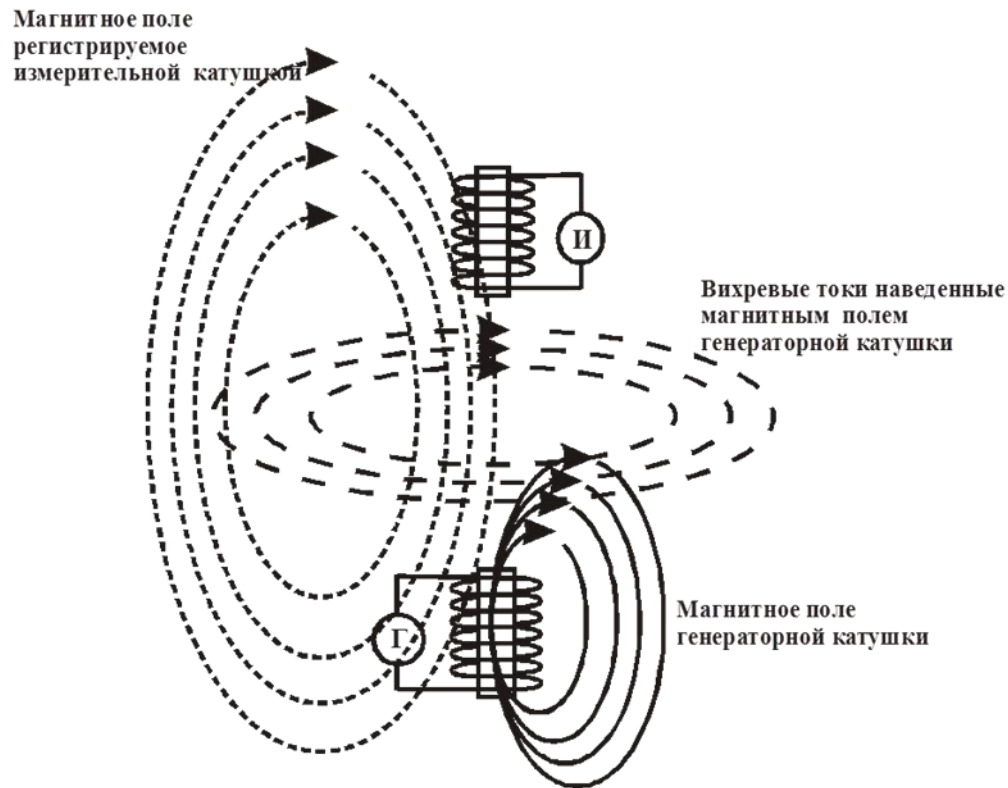


Магнитное поле
регистрируемое
измерительной катушкой



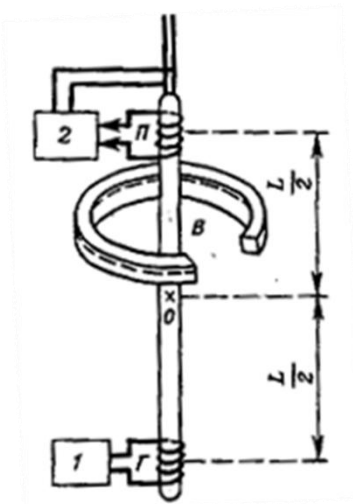
Протекающий по генераторной катушке ток создает переменное магнитное поле (прямое или первичное), которое возбуждает в окружающих скважину горных породах вихревые токи. В однородной среде силовые линии вихревых токов представляют собой окружности с центром по оси прибора. Вихревые токи создают переменное магнитное поле, называемое вторичным. Первичное и вторичное переменные магнитные поля индуцируют в измерительной катушке электродвижущую силу (ЭДС).





Электродвижущая сила, возбуждаемая первичным полем, является помехой и компенсируется вводом в цепь приемной катушки ЭДС, равной ей по величине и противоположной по фазе. ЭДС от вторичного поля усиливается и передается на поверхность, где записывается регистрирующим устройством. Регистрируемая ЭДС пропорциональна электропроводности горных пород σ_{Π} .

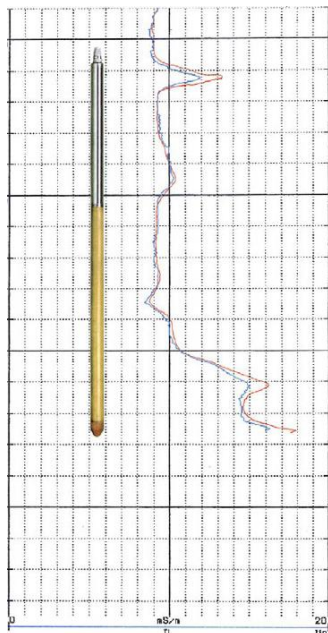
Единицей удельной электропроводности является $1/(\text{Омм})$ или Сименс на метр (См/м); в практике ГИС пользуются тысячной долей См/м — мСм/м .



Длина индукционного зонда (L) – расстояние между генераторной и приёмной катушками. Зонды индукционного каротажа имеют шифры. В шифре на первом месте – количество основных катушек, на втором месте – тип основных катушек, на третьем месте – длина зонда. Например, зонд 6Ф1 обозначает – 6 фокусирующих катушек и длина зонда 1 м. Кривые ИК симметричны относительно середины пласта и используются для определения сопротивления пластов и их характера насыщения. Границы пластов отбиваются по середине спуска – подъёма кривой.

Индукционный каротаж:

- эффективен для исследования низкоомных разрезов;
- позволяет определять сопротивления маломощных пластов;
- может проводиться в скважинах, заполненных непроводящей промывочной жидкостью.



INDUCTION TOOLS

SUMMARY:

- Measurement of formation resistivity in boreholes filled with nonconducting fluid such as oil based mud, water-in-emulsion mud, air or gas.
- Primary resistivity tool in fresh water mud systems.
- Accurate at high conductivities.
- Inaccurate at high resistivities in salt mud systems.

Tool	Measurement Range [†]	Diameter of Investigation [†]	Vertical Resolution [†]
ILD (6FF40)	0.2-100 Ω -m (± 2 ms/m)	130"	8'
ILM (5FF40)	0.2-100 Ω -m (± 2 ms/m)	60"	6'
IDPH	0.2-266 Ω -m (± 0.75 ms/m)	124"	8'
IMPH	0.2-266 Ω -m (± 0.75 ms/m)	62"	6'
IDER*	0.2-266 Ω -m (± 0.75 ms/m)	124"	3'
IMER*	0.2-266 Ω -m (± 0.75 ms/m)	62"	3'
IDVR**	0.2-266 Ω -m (± 0.75 ms/m)	124"	2'
IMVR**	0.2-266 Ω -m (± 0.75 ms/m)	62"	2'

Зонды фиксированной фокусировки

6FF40 Fixed
Focus Coil Configuration

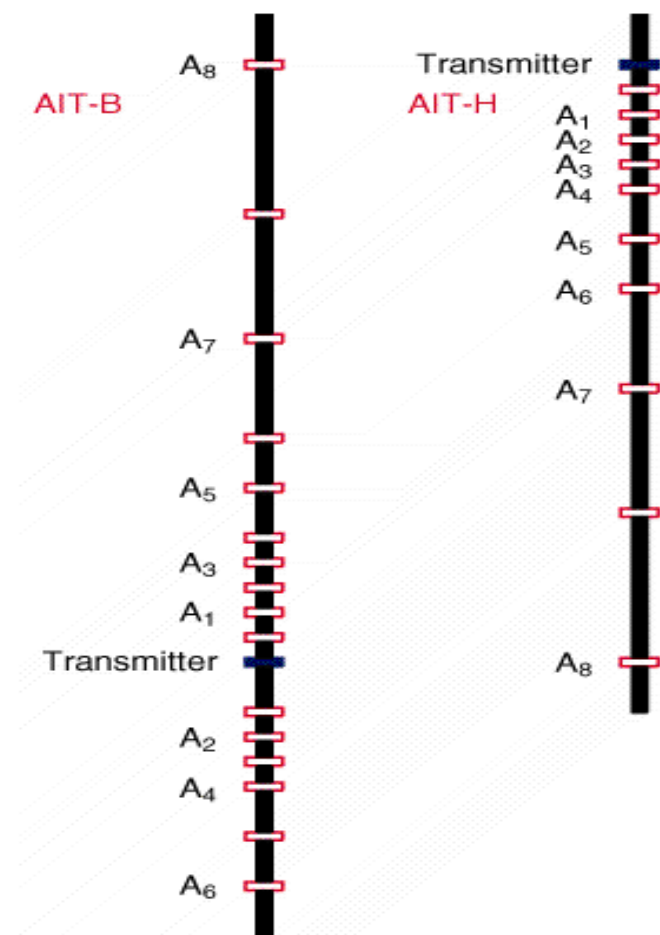


Необходимые показания получаются за счет механического перемещения источников и приемников.

Комбинируя конфигурацию катушек добиваются желаемой фокусировки.

В процессе регистрации происходит обработка сигналов с целью удаления факторов неблагоприятно влияющих на показания получаемого сигнала.

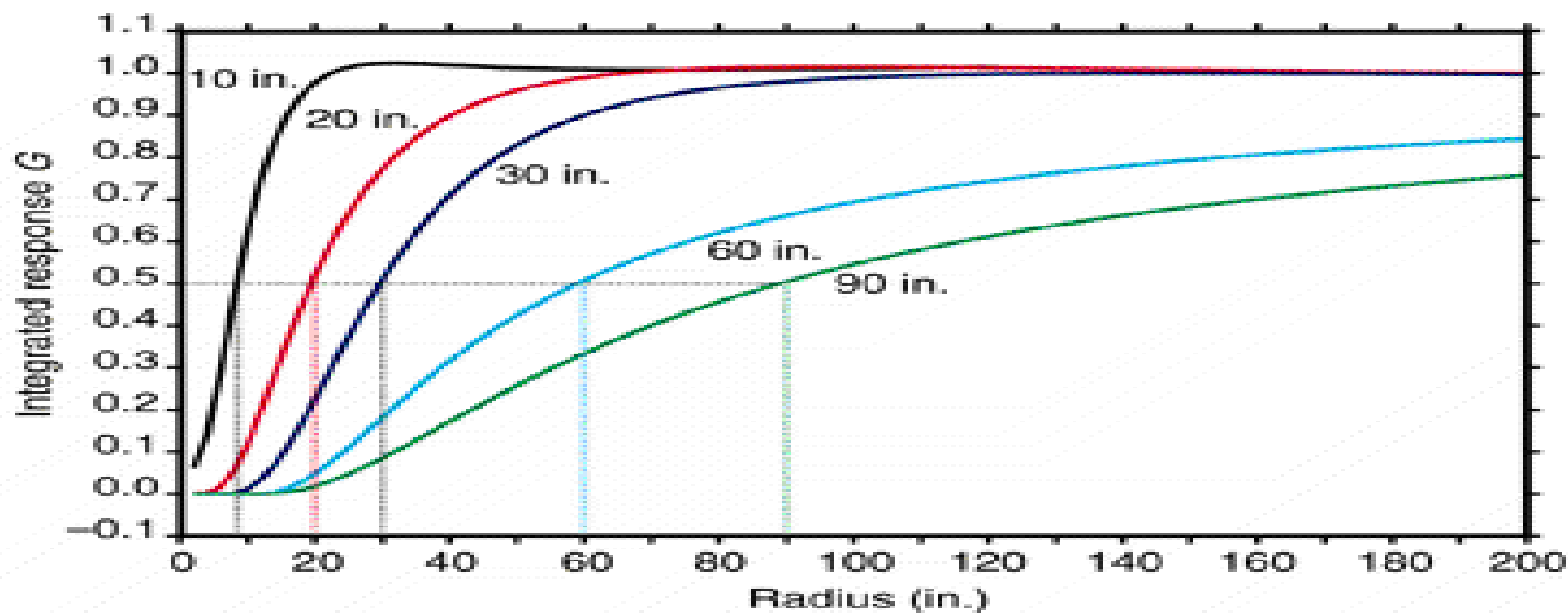
Широкополосные индукционные зонды



Многовекторные каротажные системы отходят от концепции фиксировано фокусированных датчиков и состоят из 8 независимых векторов с диапазоном расстояний между основными катушками от 15 см до 1,8 м. Исключительная стабильность сохраняется при любой дозированной температуре и давлении с помощью применения металлической оправы и керамических катушек. В конструкции зонда нет частей из стекловолокна, как это было в стандартных индукционных зондах. Идея метода состоит в том, чтобы скомбинировать множество векторов с целью получения группы замеров с разных глубин исследования пласта, а затем инвертировать их радиально, чтобы получить значение R_t . На рисунке показана конфигурация катушек зондов. Каждый вектор состоит из одного источника и 2-х приемников.

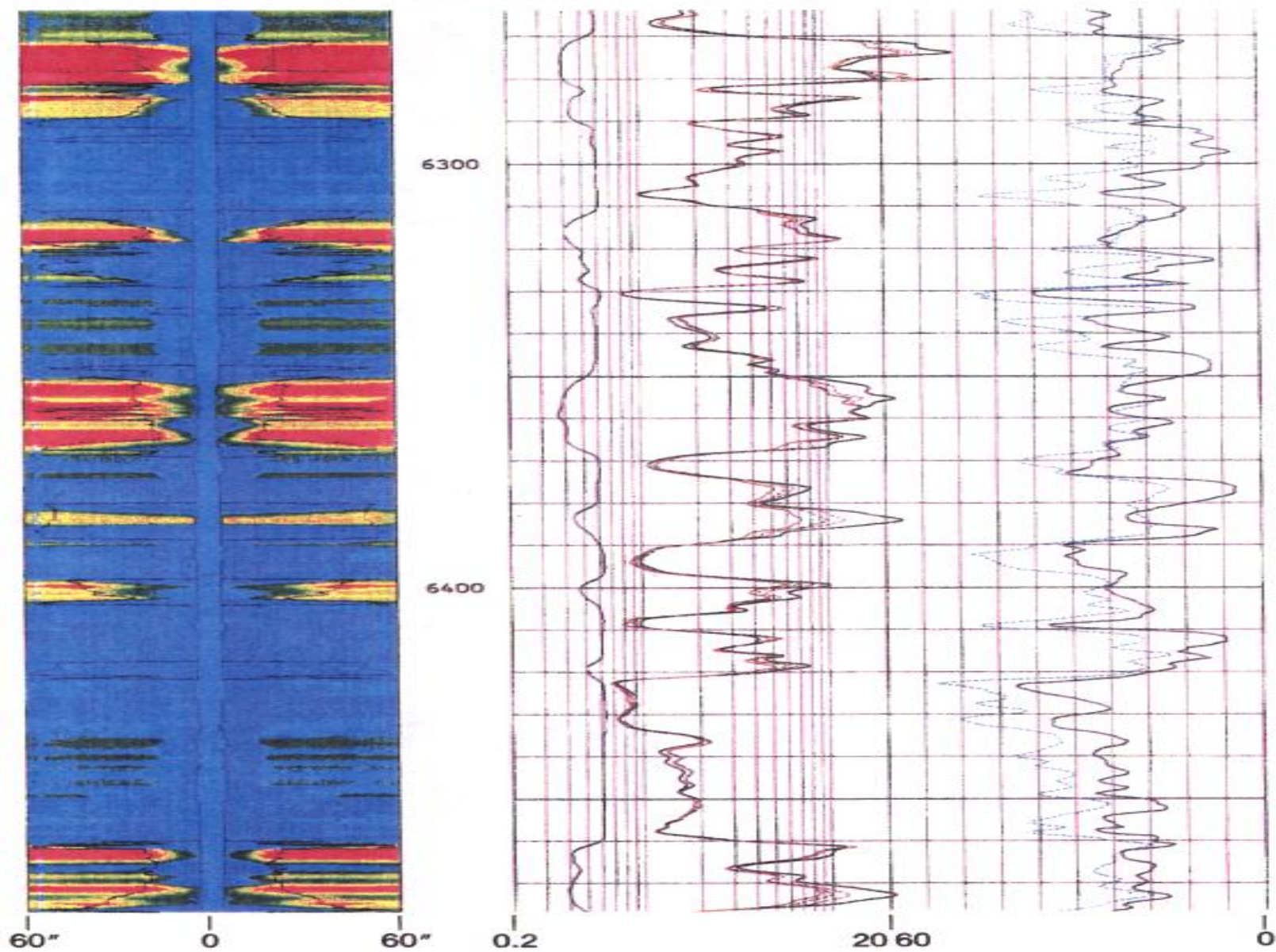
Векторные индукционные зонды

Радиальные параметры кривых AIT

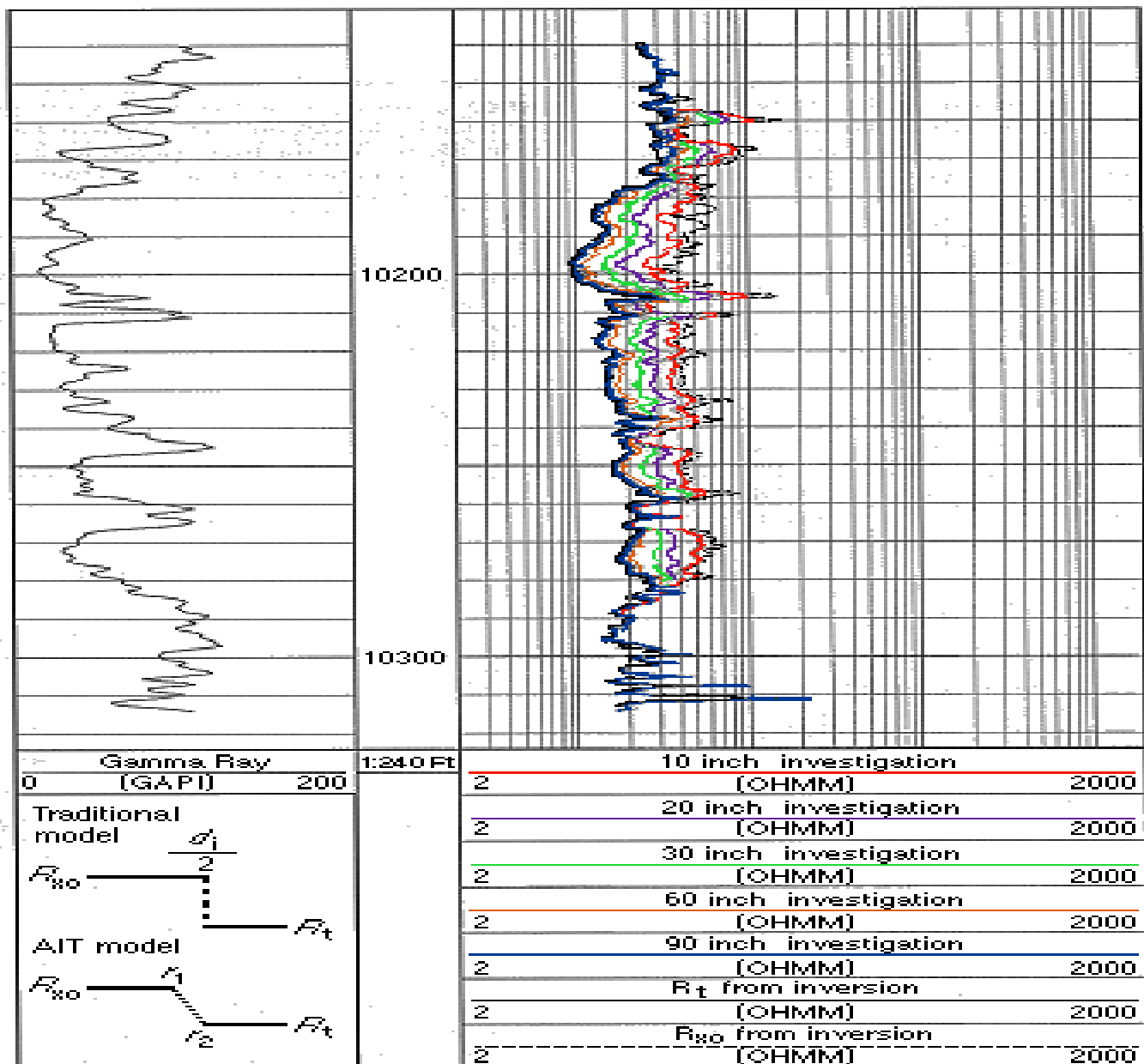


Пример AIT

AIT Radial Saturation Image



Улучшенная модель профиля проникновения



Микроустановки.

Физические основы обычных нефокусированных микрозондов. Кривые нефокусированных микрозондов и их использование для отбивки границ пластов

Микроустановки

Зонды малых размеров называют микрозондами или микроустановками. Электроды микроустановок размещены на внешней стороне пластины из изоляционного материала - башмака, который в процессе исследования прижимается к стенке скважины.

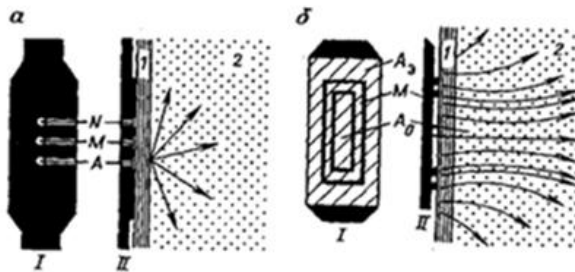
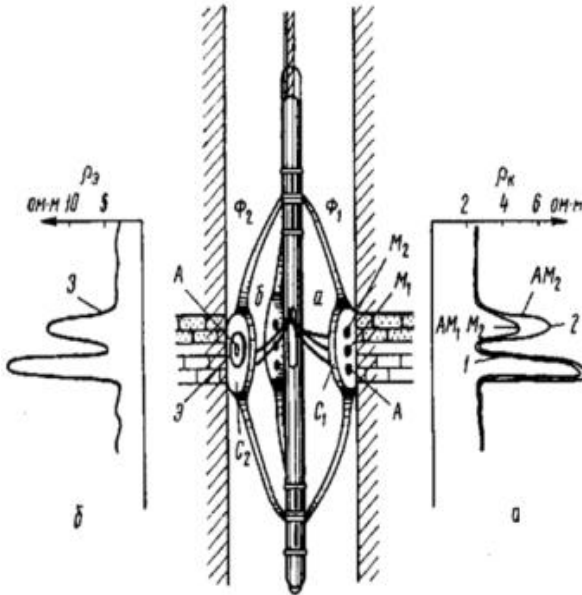
Применяется два вида микроустановок:

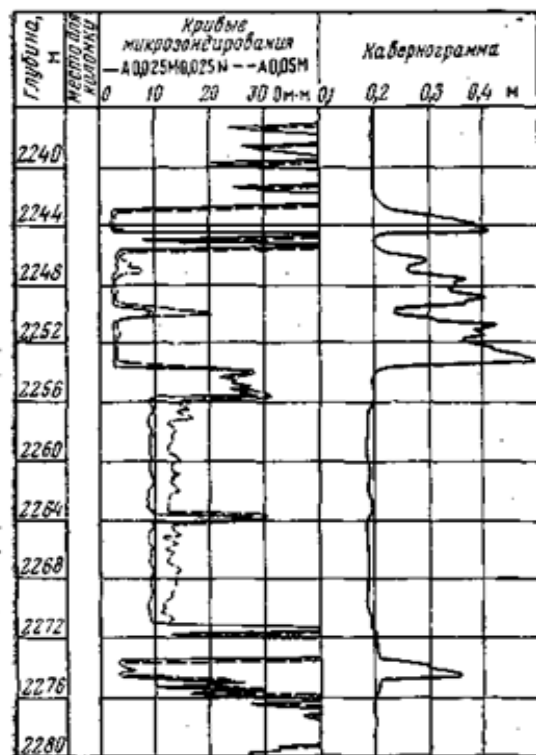
- нефокусированные микрозонды (МК или МКЗ);
- фокусированный микробоковой зонд (БМК).

Физические основы обычных нефокусированных микрозондов

В средней части башмака обычного микрозонда на расстоянии 25 мм друг от друга вмонтированы три электрода. С их помощью образуется два микрозонда:

- микроградиент - зонд (МГ) А0.025М0.025N;
- микропотенциал - зонд (МП) А0.05М, в котором электродом N служит корпус скважинного прибора.





Зонды А0.025М0.025N (МГЗ) и А0.05М (МПЗ) имеют соответственно длины 0,0375 м и 0,05 м.

Радиус исследования зонда А0.025М0.025N составляет 0,0375 м, зонда А0.05М - 0,1 м.

Запись зондами МК производится одновременно.

Кажущееся сопротивление ρ_k определяется по формуле:

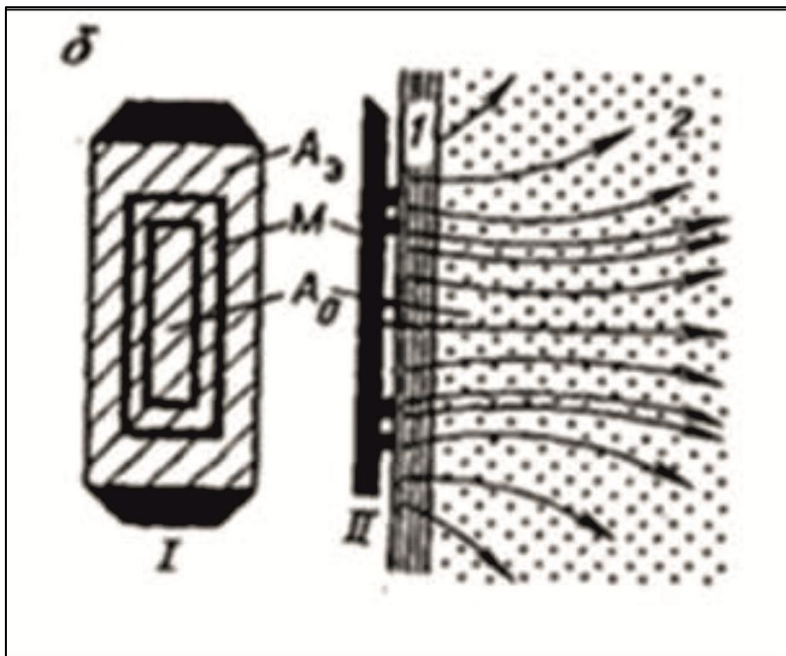
$$\rho_k = K(\Delta U/I) \text{ где, } K - \text{коэффициент зонда.}$$

Единица измерения – Омм.

Использование кривых МК для отбивки границ пластов.

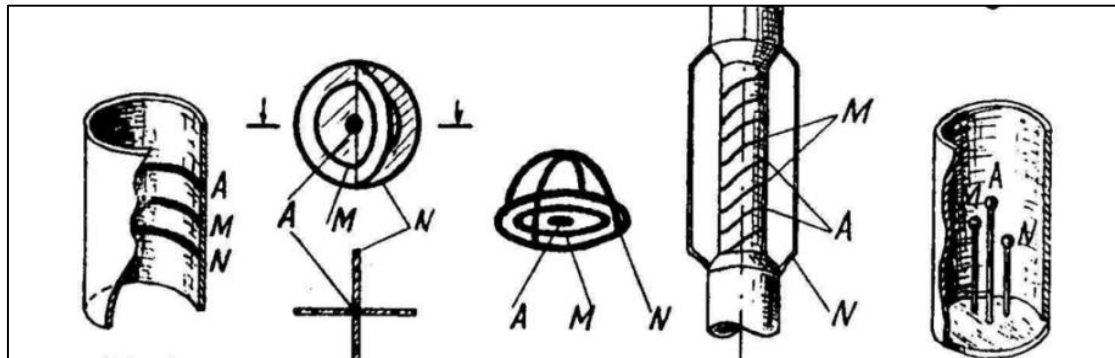
Границы пластов по диаграммам МК находятся по крутым подъёмам кривых. Используются МК для литологического расчленения разрезов скважин, выделения коллекторов. Пласт является:

- коллектором, если показания МГЗ ($\rho_{k, \text{МГ}}$) и МПЗ ($\rho_{k, \text{МП}}$) невысокие и $\rho_{k, \text{МП}} > \rho_{k, \text{МГ}}$;
- неколлектором - глиной, если показания МГ и МП - невысокие и $\rho_{k, \text{МП}} \approx \rho_{k, \text{МГ}}$;
- неколлектором – плотной породой, если показания МГ и МП - высокие и $\rho_{k, \text{МП}} \approx \rho_{k, \text{МГ}}$.



- **Физические основы фокусированных микрозондов.** В трехэлектродном зонде БМК центральный электрод A_0 окружен рамочным измерительным электродом M , который, в свою очередь, окружен экранным электродом A_3 . Через электрод A_0 пропускают ток I_0 , а через A_3 - ток I_3 , регулируемый так, чтобы разность потенциалов между A_0 и электродом M равнялась нулю.
- Применение такой системы фокусировки приводит к тому, что токовый пучок от электрода A_0 несколько сжимается вблизи башмака, и расширяется при удалении от него, что способствует существенному росту глубины исследования.
- Радиус исследования зонда БМК в пределах 10 см, поэтому БМК позволяет получать информацию о сопротивлении промытой зоны пласта. Единица измерения – Ом. Кривые БМК симметричны относительно середины пласта и по конфигурации повторяют форму кривых БК, но более дифференцированы. Границы пластов высокого сопротивления отбиваются по резкому подъёму кривой.

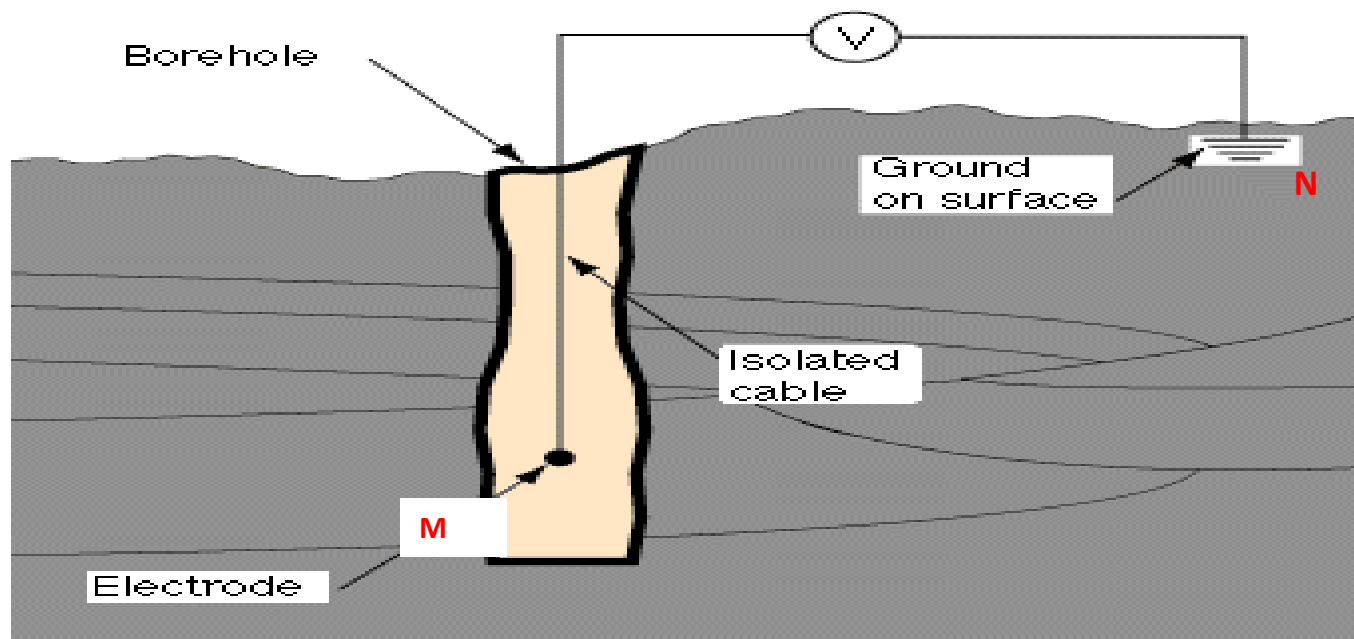
- Для учета влияния промывочной жидкости ПЖ на результаты электрических методов каротажа, измеряют ее удельное сопротивление. **Метод называется резистивиметрией.** Прибор, которым проводятся измерения сопротивления ПЖ называется — резистивиметром.
- Резистивиметры имеют различную конструкцию. Они представляют собой систему электродов, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга и помещённых в специальный корпус, который позволяет исключить влияние горных пород и обсадной колонны на величину измеряемого сопротивления жидкости. Единица измерения – Омм.



- *Метод потенциалов самопроизвольной (собственной) поляризации* (СП или ПС) - измерение потенциалов самопроизвольной поляризации горных пород (мВ)

Метод Потенциалов Самопроизвольной поляризации

Spontaneous Potential Measurement



Показание ПС представляет собой разницу потенциалов между электродом, перемещающимся вдоль ствола скважины, и электродом, расположенным на земной поверхности вблизи устья скважины

$$\Delta U_{MN} = U_M - U_N = U_M - \text{const}$$

Разность потенциалов указывает на изменение электрического потенциала вдоль ствола скважины. Причина этого - наличие в скважине и около нее самопроизвольно возникающего электрического поля.

A013: Зонд SP/SPR

- Что он измеряет?
- Как он выглядит?
- Как он работает?
- Как мы его калибруем?
- Где он определяется?

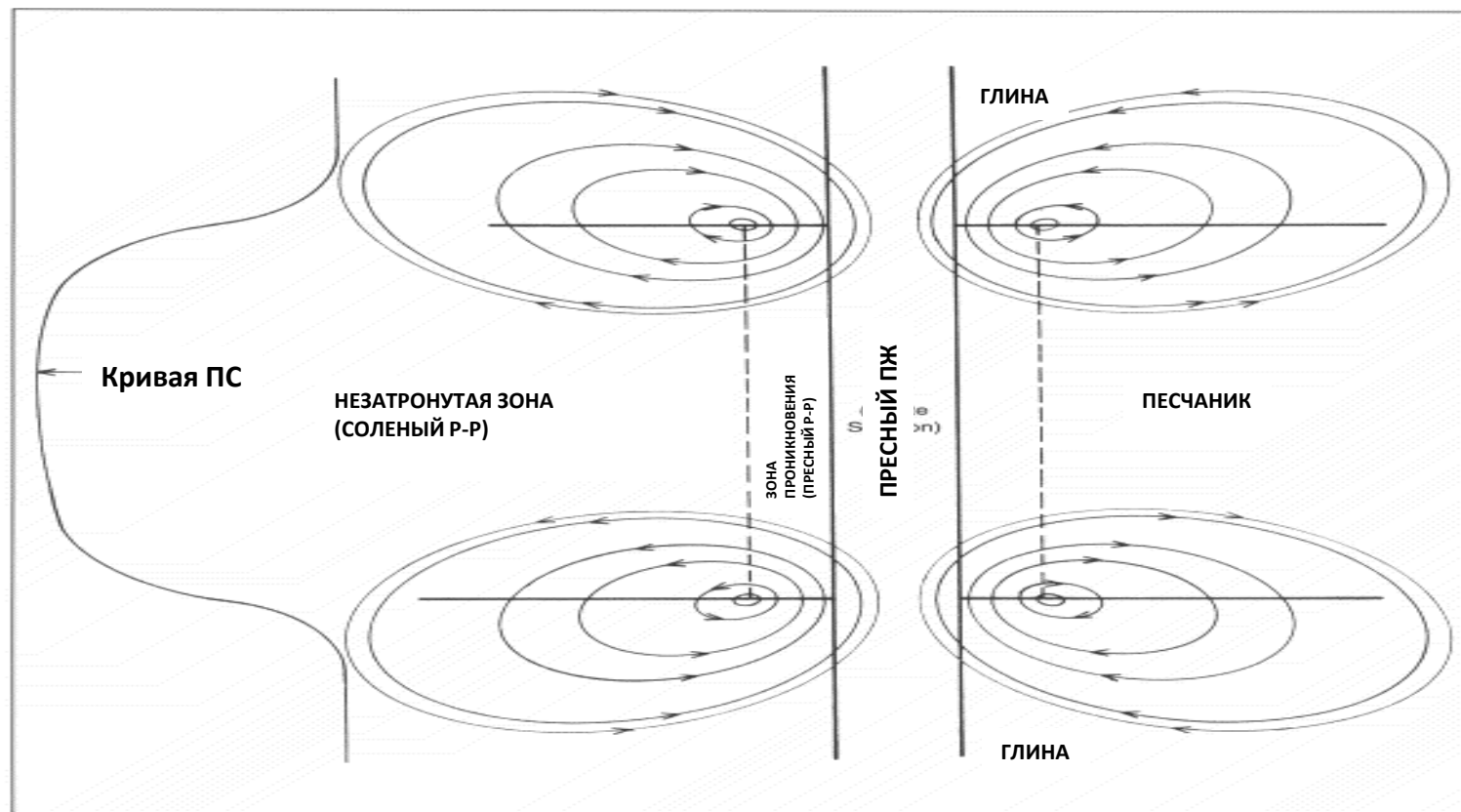
Что измеряет А013?

ПОТЕНЦИАЛ САМОПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ (SP)

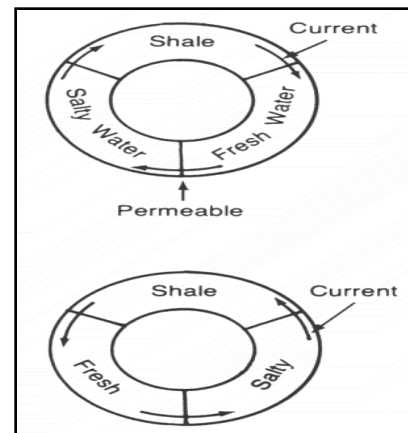
- SP измеряет естественно появляющиеся малые потенциалы порядка миллиВольт
- Самопроизвольный Потенциал возникает к
 - Диффузионный Потенциал
 - Фильтрационный Потенциал
 - Сланцевый потенциал

Источники электропотенциалов

- **Диффузионно-адсорбционный**
 - диффузия
 - адсорбция
- **Фильтрационный**
- **Окислительно-восстановительный**



Сила и направление тока зависят от относительного сопротивления флюида пласта и фильтрата



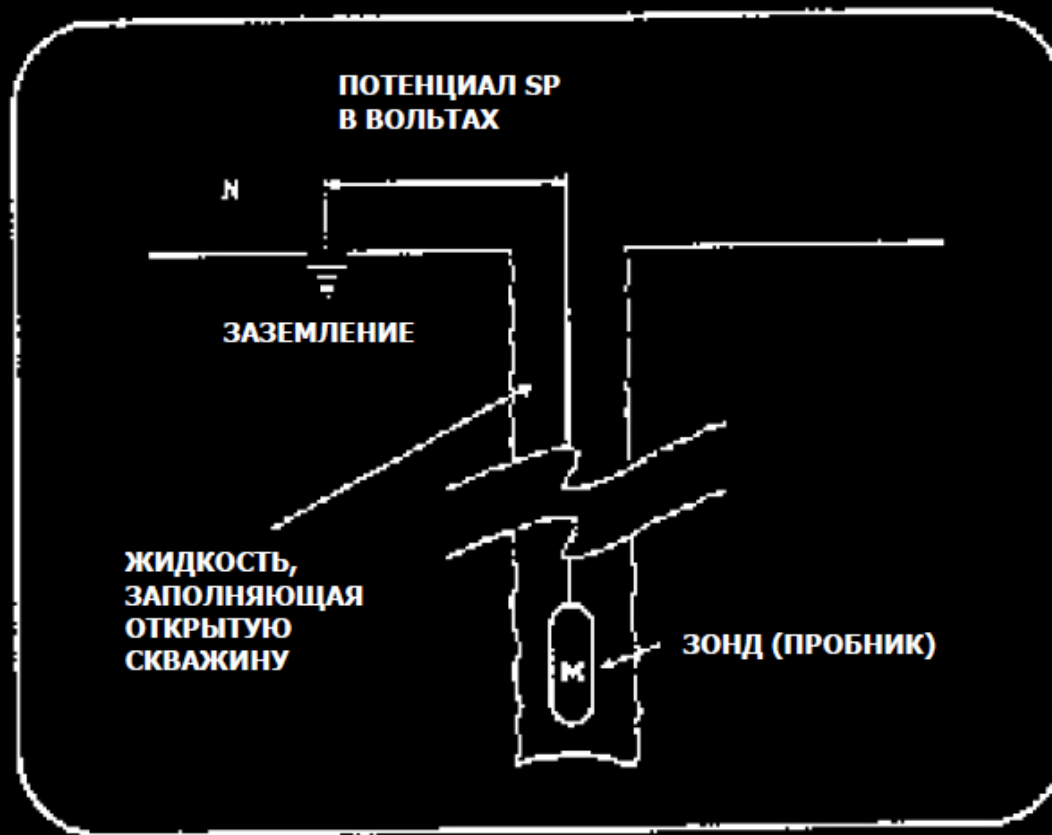
SP потенциал -1

- Фильтрационный потенциал, генерируемый электролитом, поступающим под давлением через проницаемую мембрану или границу раздела.
- Потенциалы перехода жидкости генерируются когда два электролита разной концентрации ионы контактируют друг с другом или отделяются проницаемой мембраной, например, если пластовая жидкость более соленая чем буровой раствор -Na и Cl ионы

SP потенциал - 2

- Потенциал сланца - диффузионный механизм, в котором сланец выступает в роли избирательно проницаемой мембраны, пропускающей медленные натриевые ионы и удерживающей отрицательные ионы Cl . Это означает, что буровой раствор более солёный, чем вода в сланцевом пласте, создаёт положительное значение SP.

Упрощённая цепь SP



Упрощённая цепь SP

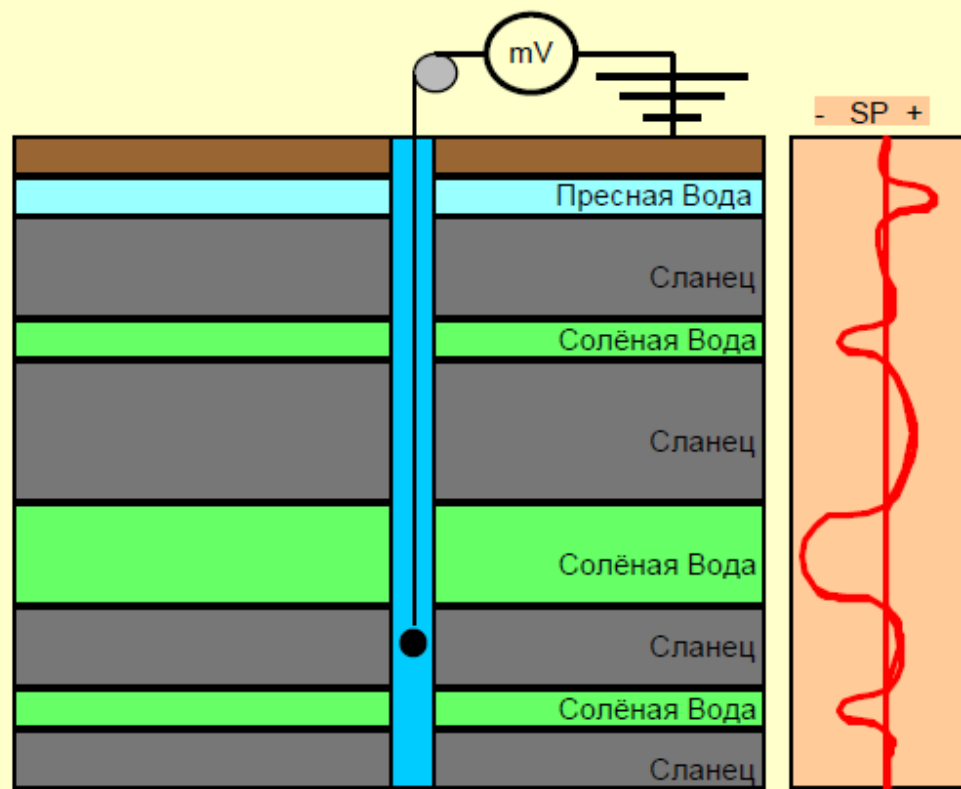
Измерение SP

- Измерение толщины пласта
- Отделение пористых толщ от не-пористых
- Может выводить линейные значения для непроницаемых толщ
- Постоянная отрицательная линия песка для чистого проницаемого песка
- Положительное значение SP линии сланца в песках, заполненных водой, где $R_w > R_{fl}$

Факторы, влияющие на измерение S

- солёность/Ионное содержание пластовой воды
- сопротивление бурового раствора
- глиняное содержание в проницаемых пластах
- степень фильтрации
- влияние границ толщи

Значение SP Каротажа



SP ПЕСЧАНО/СЛАНЦЕВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Схема возникновения диффузионных потенциалов на контакте

Ионы солей (Na^+) и (Cl^-) перемещаются из области высокой концентрации солей в область низкой концентрации. В силу того, что ионы Cl^- более подвижны, наблюдается переизбыток отрицательных зарядов в р-ре низкой солёности. В результате получается электрический ток по направлению из области низкой концентрации солей в область высокой концентрации. Таким образом на контакте 2-х электролитов создается диффузионная разность потенциалов, ЭДС которой определяется уравнением Нернста)

$$E_d = -11,5 \cdot \log (R_2/R_1)$$

E_d обычно составляет 1/5 диффузионно-адсорбционного потенциала ($E_{да}$)

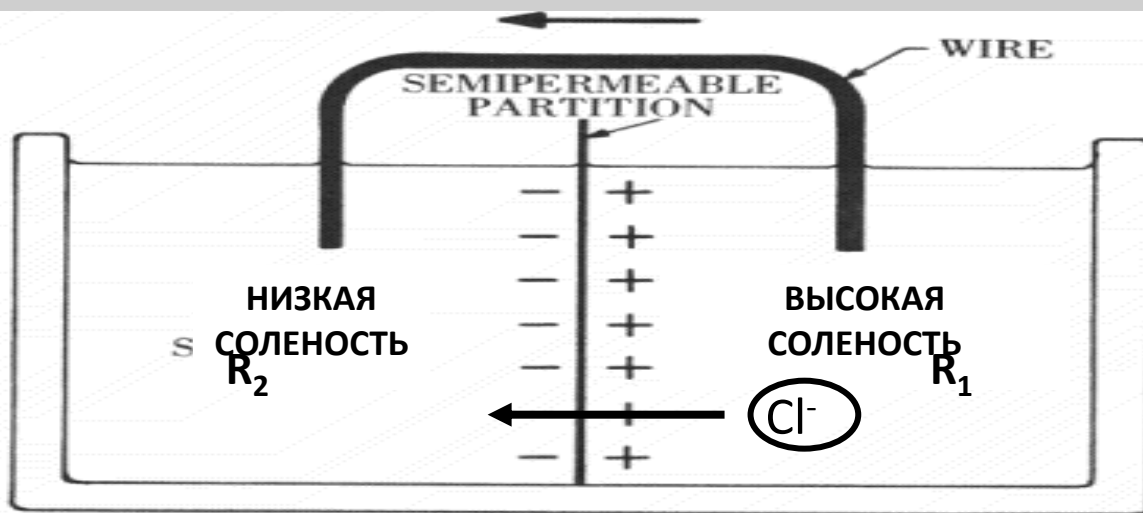
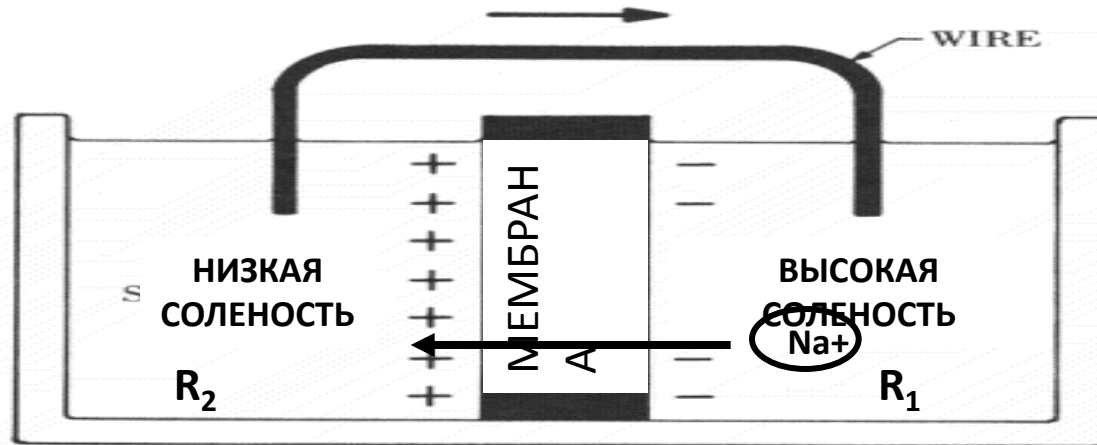


Схема возникновения диффузионно-адсорбционных (мембранных) потенциалов

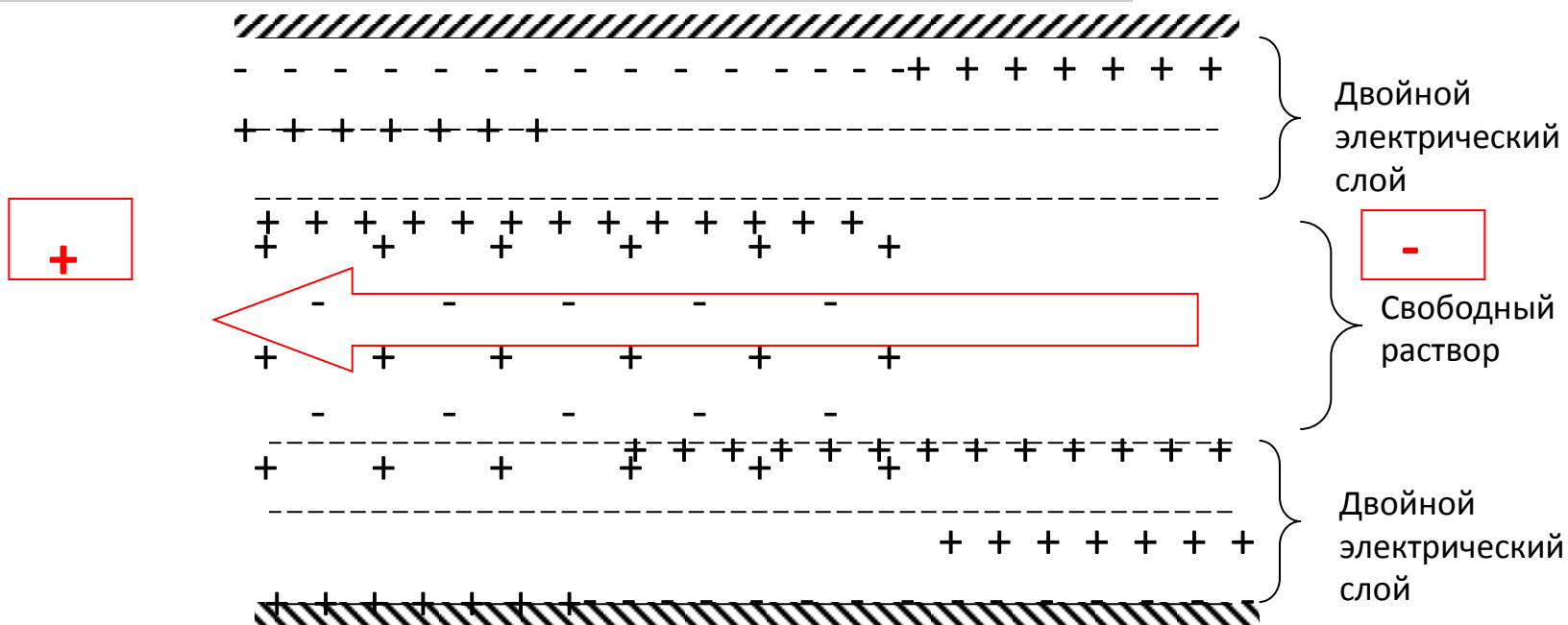


При разделении двух электролитов тонкопористой перегородкой-мембраной (глина), через нее будет происходить диффузия солей. Мембрана пропускает через себя лишь ионы определенного заряда. В природе подобно мембране ведет себя глина, пропускающая только катионы (положительно заряженные ионы). ЭДС создаваемая разностью мембранных потенциалов определяется по формуле

$$E_{да} = 59,1 * \log (R_2/R_1)$$

Фильтрационный (электрокинетический) потенциал

При фильтрации жидкости через капилляры пород возникают потенциалы течения, или фильтрационные потенциалы **ЕФ**. Это обусловлено наличием двойного электрического слоя на поверхности пород.

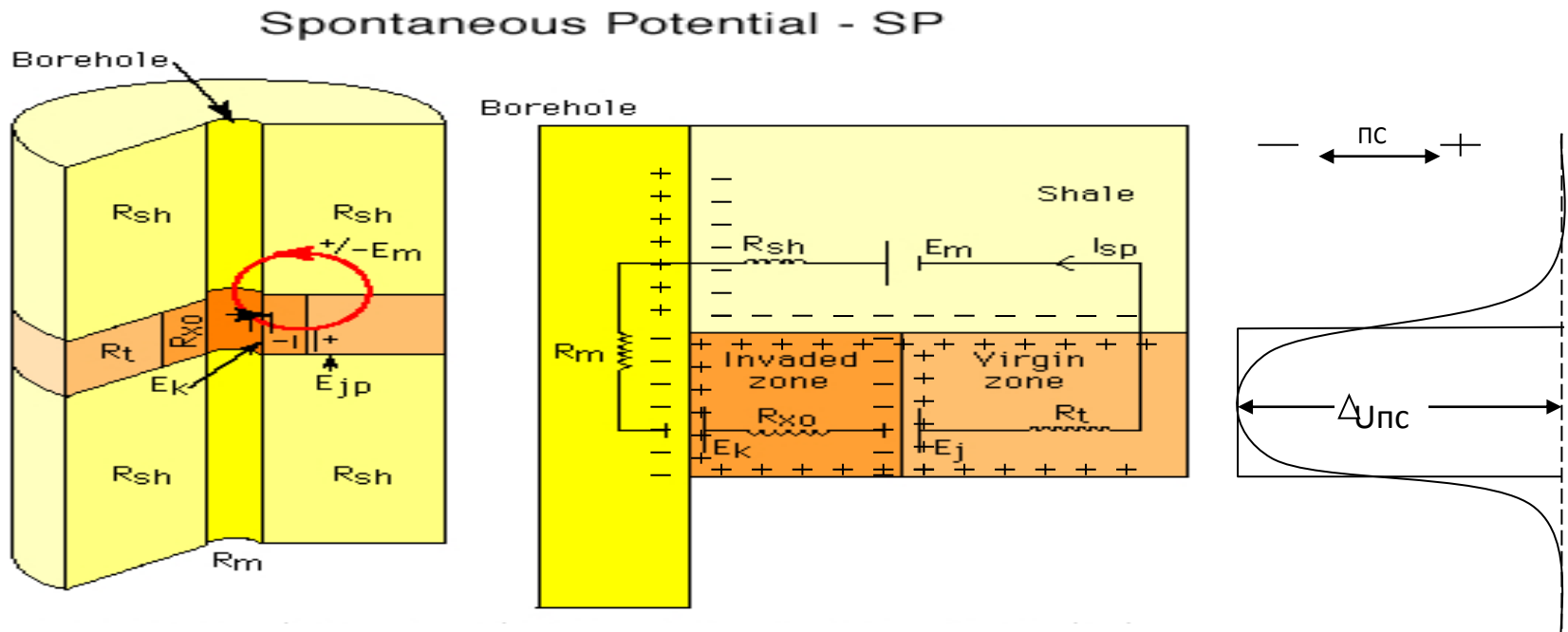


Суммарные потенциалы $E_{пс}$ в скважине

СП является результатом суммирования электрохимических потенциалов (E_d и $E_{да}$). Данная суммарная величина называется статической амплитудой **ССП** и отражает амплитуду изменения потенциала естественного поля.

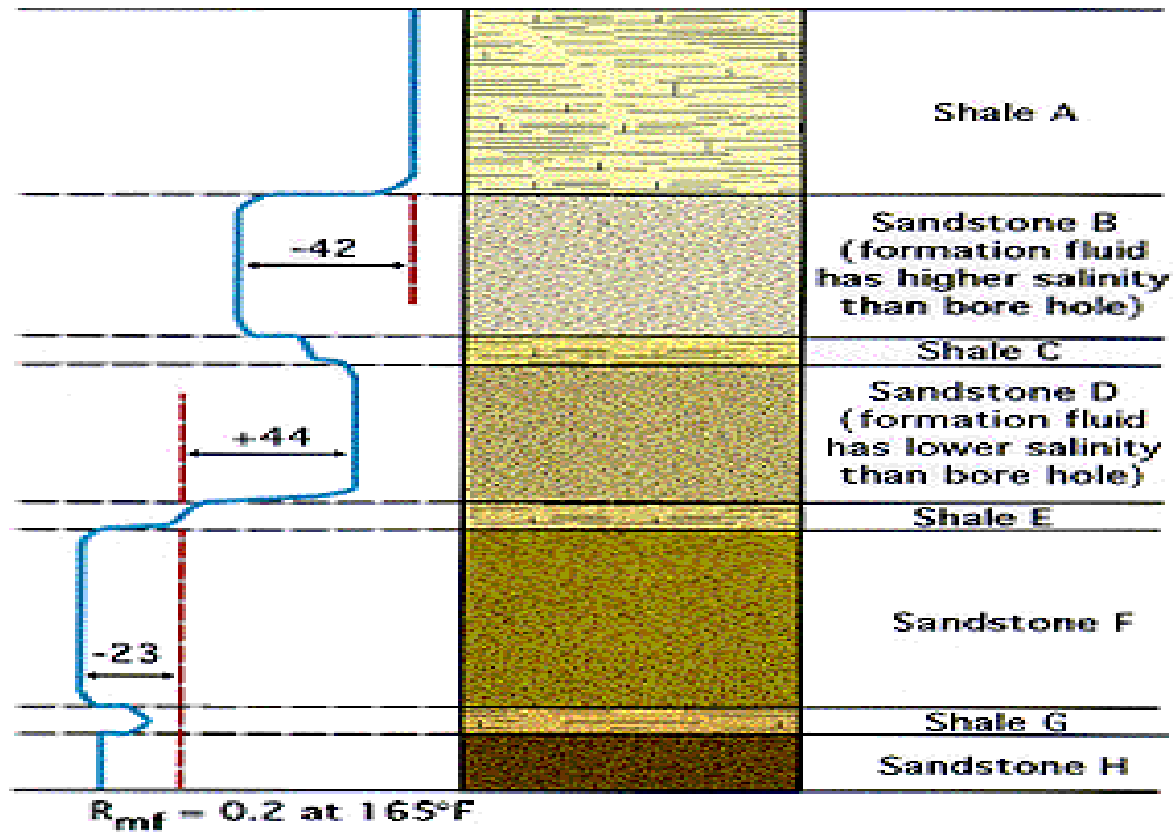
$$E_{пс} = E_{да} + E_d = I \cdot (R_{sh} + R_t + R_m)$$

Разность потенциалов определяется произведением силы тока на сопротивление участка цепи, поэтому потенциалы, полученные против песчанного пдаста и на границе его с глиной, будут различны



Пример использования ПС

SP Salinity Effects



The primary SP response is due to the relative salinities between the mud filtration and the formation fluids.

- SP

- Определение границ толщ, геологическая корреляция
- Определение положения водных горизонтов и качества воды
- Указание пористости и проницаемости толщ
- Определение солёности воды
- указание фильтрационного потенциала, создаваемого продуктами, поступающими и покидающими скважину

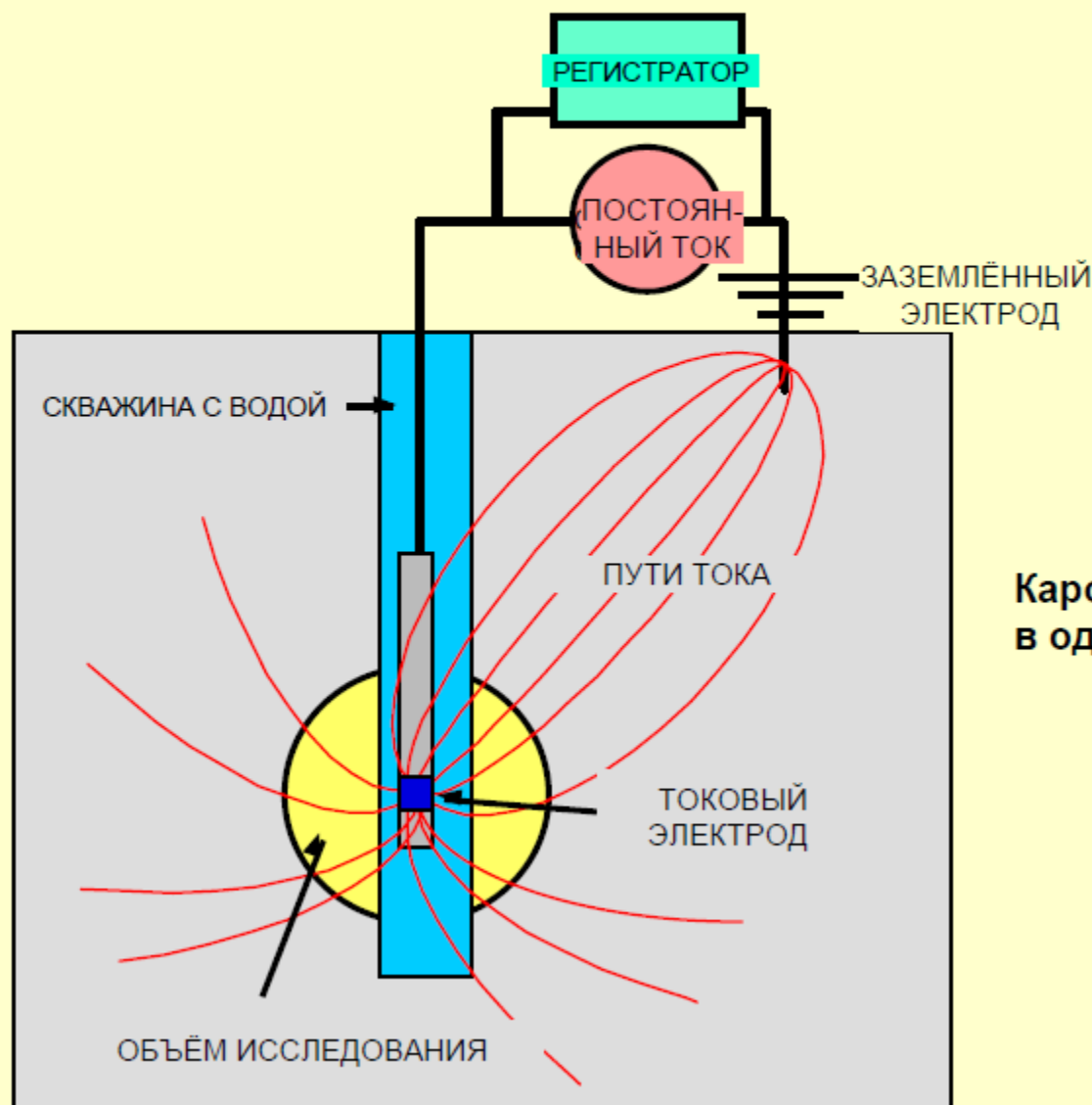
Использования ПС

- Корреляция
- Выявление глинистых зон
- Определение сопротивления пластовой воды

Что измеряет А013?

- Сопротивление в одной точке
 - Измеряет сопротивление окружающей толщи в Омах
 - Один наземный и один погружённый в скважину электрод
 - Полезен при определении стратиграфических границ

Схема Сопротивления в Одной Точке



**Каротаж сопротивления
в одной точке**

Глубина исследования
и вертикальное
разрешение примерно
в 5 раз превышают
диаметр электрода

Как работает A013? 1

- Наземный генератор тока подаёт АС прямоугольный импульс между электродами
- Сигнал поступает в толщу пород возле скважинного электрода
- АС напряжение пропорционально сопротивлению толщи
- Напряжение прикладывается к чувствительному к фазе детектору в DLS

Как работает A013? 2

- Постоянный ток (DC), выходящий из чувствительного к фазе детектора, фильтруется
- Отфильтрованный сигнал подаётся с точным напряжением на преобразователь частоты
- DC потенциал налагается на высокое сопротивление, сигнал AC сопротивления измеряется в SP цепи DLS

- Сопротивление в одной точки

- Глубина и толщина конкретных пластов
- Геологическая и стратиграфическая корреляция в разведке минералов, горных разработках
- Определение угольных пластов, окисления
- Локализация водоносных горизонтов
- Полезен в исследовании качества и загрязнения воды

A034E Электропроводность расширенного диапазона

- Зонд A034E (HI-381E) Индукционной Электропроводности создан для измерения электрической проводимости пород в скважине. Высокая стабильность и исключительно широкий динамический диапазон позволяет проводить точные измерения электропроводности песчано-глиняных слоёв, а также минерализацию. Зонд можно использовать в скважинах, заполненных водой, сухих и обсаженных пластиковыми муфтами.

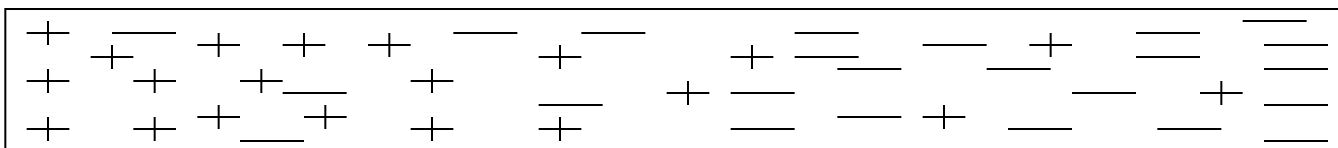
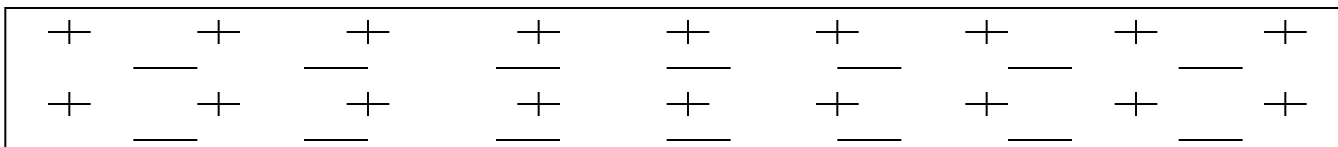
Измеряемые Параметры

- Датчик - система двух катушек
- Расстояние между катушками 30 см
- Рабочая Частота ~ 900 Гц
- Диапазон Электропроводности 300 сСм/м - 1000 С/м
- Точность < 30 С/м (5% F.S.)
- 30 - 300 С/м (3% F.S.)
- 300 - 1000 мС/м (10% F.S.)
- Связь (отрицательный импульс) 0 - 20000 cps
- Импульс амплитудой в 10 В и 2 микросек длительности наложенный на положительное напряжение источника

Диэлектрический каротаж

- Электропроводники
- **Диэлектрики**
- Изоляторы

Диэлектрики - вещества, в которых при наличии ЭДС заряды перераспределяются таким образом, что “центры тяжести” положительных и отрицательных зарядов смещаются относительно друг друга (происходит поляризация вещества). Горные породы относятся к диэлектрикам



Диэлектрический каротаж

Для характеристики диэлектрических свойств среды вводится понятие диэлектрическая проницаемость, измеряемая в фарадах

$$\epsilon_p = 1 + \chi$$

На практике пользуются относительной величиной ϵ , показывающей во сколько раз $\epsilon_p > \epsilon_0$ вакуума .

$$\epsilon = \epsilon_p / \epsilon_0$$

$$\epsilon_p > 1$$

$$\epsilon = 4 - 10 \text{ (большинство минералов)}$$

$$\epsilon = 4,7 \text{ (кварц)}$$

$$\epsilon = 8,1 \text{ (кальцит)}$$

$$\epsilon = 9,8 \text{ (доломит)}$$

$$\epsilon = 2 - 3 \text{ (нефть)}$$

$$\epsilon = 81 \text{ (вода)}$$

Диэлектрический каротаж

Для мономинерального коллектора справедливо следующее уравнение

$$\varepsilon_n = \Phi \varepsilon_{\text{фл}} + (1-\Phi) \varepsilon_{\text{ск}}$$

Применение

- разделение коллекторов на продуктивные и водоносные при их слабой глинизации
- дифференциация разреза по пористости
- литологическое расчленение разреза по глинистости в тонкослоистых чередующихся пластах

Контрольные вопросы

1. Классификация методов электрического каротажа
2. Какие физические параметры изучает электрический каротаж?
3. Как проводят измерение удельного сопротивления в скважине методом КС
4. Какие виды зондов используют в КС и для чего?
5. Принцип измерения в скважине при БКЗ
6. Основное применение БКЗ
7. Дайте характеристику метода индукционного каротажа .
8. Что регистрируем, чем отличается от КС?
9. Дайте характеристику микрокаротажа и резистивиметрии
10. Физические основы и технология метода ПС
11. Задачи решаемые методом ПС