

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



SATBAYEV
UNIVERSITY

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

Комплексная интерпретация материалов ГИС

для специальности 7M07105
«Нефтегазовая и рудная геофизика»

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

АЛМАТЫ 2023

ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Лекция 5

**Электрические параметры бурового
раствора, фильтрата и глинистой корки**

Параметры пластов, подлежащие определению

- Сопротивление промытой зоны пласта
- Истинное сопротивление пласта и параметры зоны проникновения (диаметр и сопротивление)
- Границы пластов различного сопротивления
- Литологический состав и характер насыщения

Необходимая дополнительная информация

- Условия измерений (диаметр скважины и установка прибора)
- Электрические параметры бурового раствора, фильтрата и глинистой корки
- Толщина глинистой корки

Электрические параметры бурового раствора, фильтрата и глинистой корки

- Геофизические исследования обычно проводятся в скважинах, заполненных промывочной жидкостью или глинистым раствором, представляющим собой суспензию твердых глинистых частиц в воде.

Различают удельное сопротивление глинистого раствора ρ_r , находящегося в скважине, и удельное сопротивление его фильтрата ρ_f в зоне проникновения.

- Обычно удельное сопротивление последнего отличается от сопротивления раствора.

Удельное электрическое сопротивление бурового раствора определяют

- с помощью скважинного резистивиметра (при этом значение ρ_p соответствует температуре пласта), поверхностного резистивиметра при температуре эксперимента (при этом требуется приведение ρ_p к пластовой температуре).
- Уточнение ρ_p производится при интерпретации данных БЭЗ в плотном пласте большой толщины без проникновения фильтрата бурового раствора в пласт

а Для нахождения ρ_f по ρ_r используют график, приведенный на рис.3

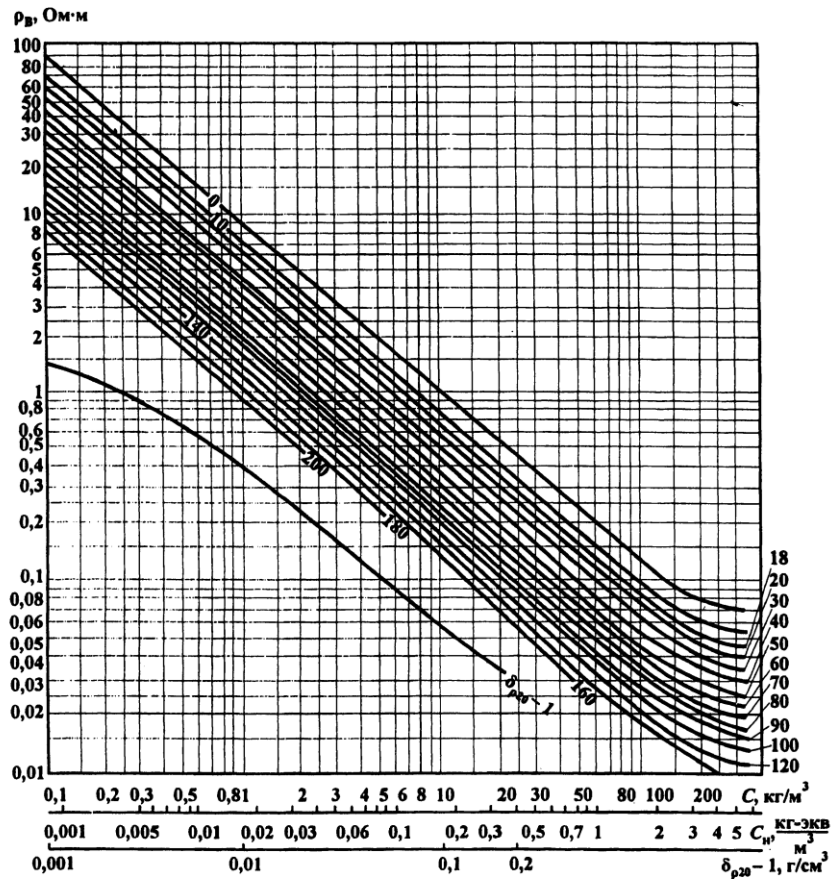
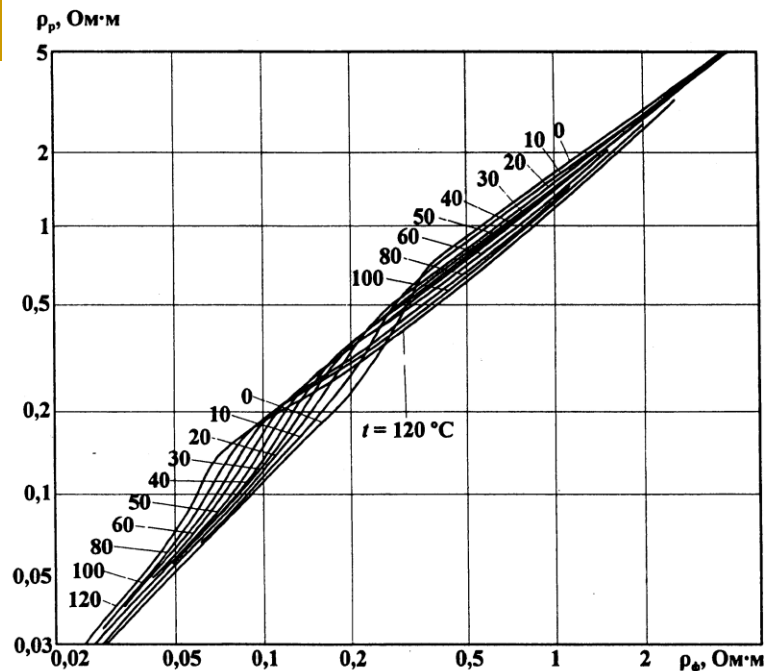


Рис. 1. Зависимость удельного электрического сопротивления пластовых вод от концентрации и плотности раствора NaCl. Шифр кривых – t , °C

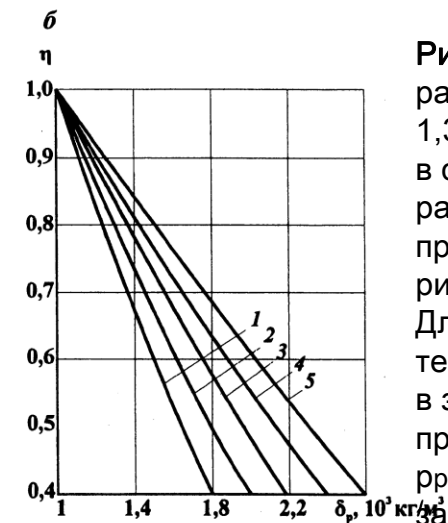
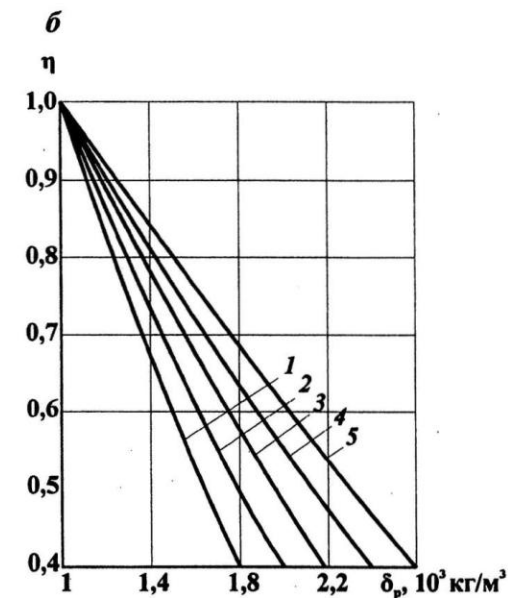
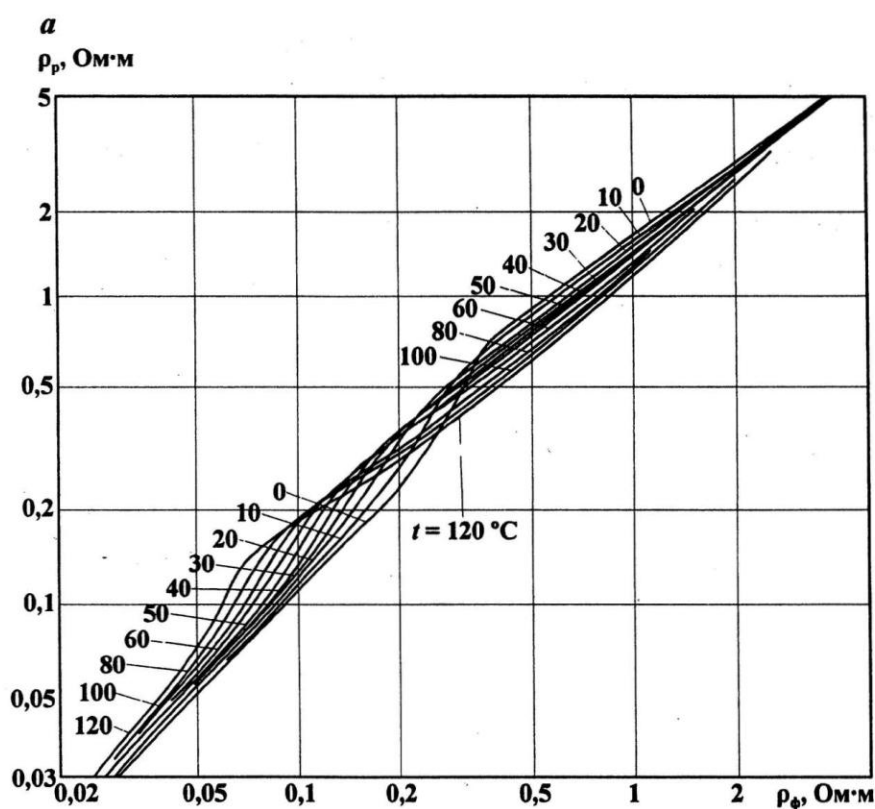


Рис 3 а - если плотность раствора не превышает $1,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, в случае утяжеленных растворов - график, представленный на рис.б.

Для введения температурных поправок в значения ρ_f и в первом приближении в значения ρ_r можно пользоваться зависимостями на рис 1

Пример: Определить удельное сопротивление фильтрата бурового раствора, если его плотность $1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, удельное сопротивление бурового раствора $\rho_r = 1,6 \text{ Ом·м}$ и температура в исследуемом интервале $t = 36 \text{ °C}$. Для определения ρ_f выбираем соответствующую кривую на а. Для заданных условий $\rho_f = 1,2 \text{ Ом·м}$.



Зависимость R_{ϕ} от R_p и t при $\sigma_p < 1,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (а) и

$\eta = Q_{p\phi} / Q_p$ от σ_p для тяжелых растворов (б):

1 - чистая глина;

2 - то же + 20 % барита или 23 % гематита;

3 - то же + 40 % барита или 46 % гематита;

4 - то же + 60 % барита или 70 % гематита;

5 - то же + 90 % барита

Для вычисления удельного сопротивления

- промытой части пласта $R_{пп}$ в зоне проникновения глинистого песчаника следует использовать параметр пористости **$R_{п.п}$ пресн.** измененный за счет поверхностной проводимости согласно формуле

$$\rho_{зп} \leq \rho_{пп} = R_{п.п.пресн} \rho_{ф} = \Pi R_{п} \rho_{ф}.$$

- При изменении глинистости от 0 до 15 % и $R_{ф} = 2,4$ Ом·м $\Pi = 0,65-5-1,00$ и, следовательно,

$$\rho_{пп} = 12,4(0,65 \div 1,00)2,4 = 19,3 \div 29,8 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

ЗАДАЧИ 1

2. Найти удельное сопротивление пластовой воды, если ее плотность $1,18 \text{ г/см}^3$ при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

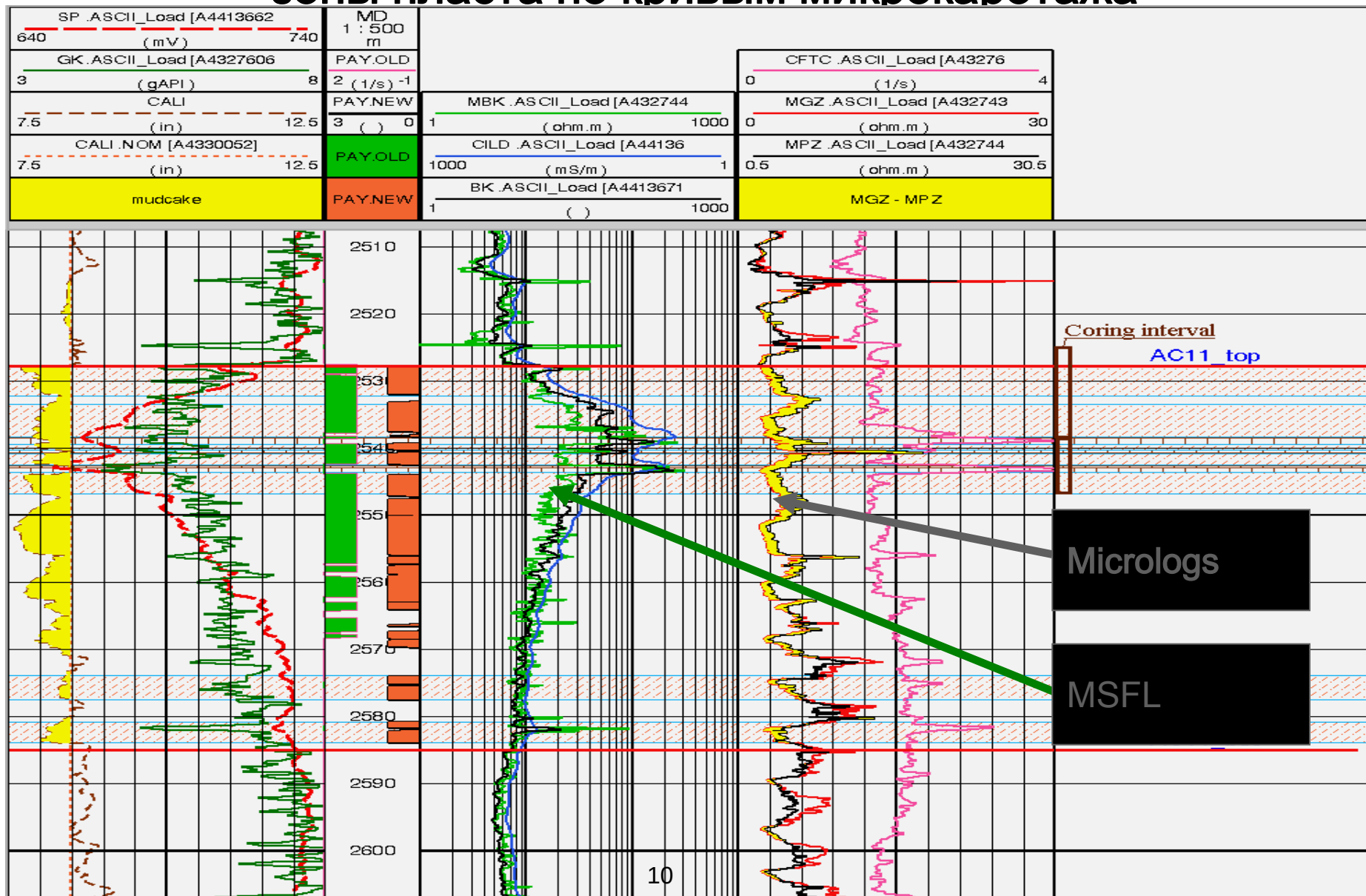
Привести удельное сопротивление этой воды к пластовым условиям при $t = 65 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Найти пределы изменения удельного сопротивления пластовой воды для свиты медистых песчаников месторождения Шебелинка, если плотность воды в среднем равна $1,17 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, а пластовая температура варьирует от 50 до $75 \text{ }^\circ\text{C}$.

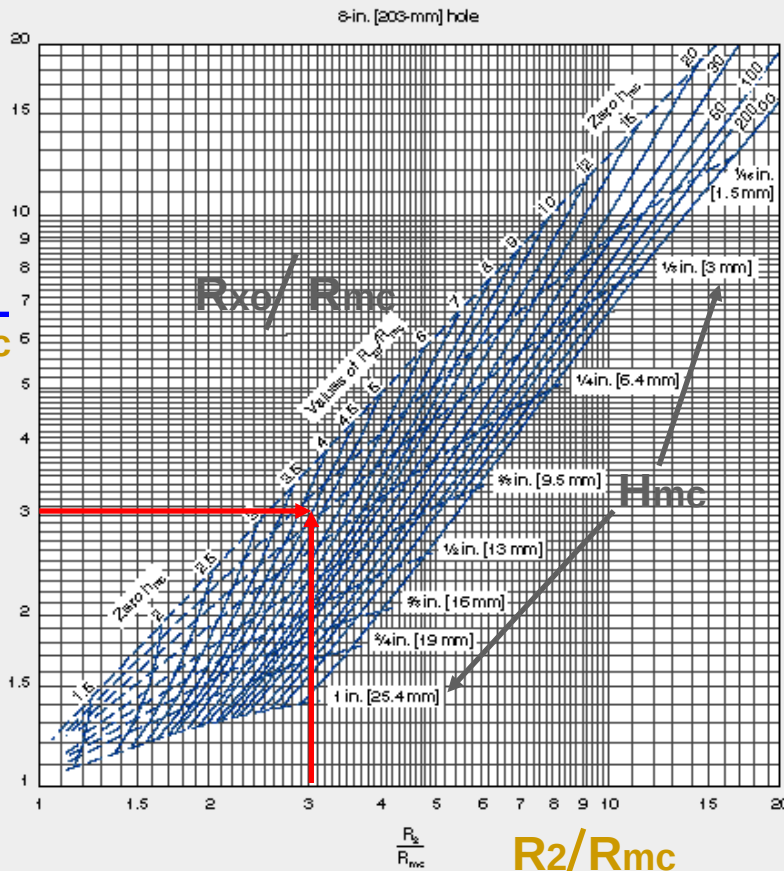
4. Привести удельное сопротивление глинистого раствора к условиям $t = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, если по данным поверхностного резистивиметра его удельное сопротивление при $t = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ равно $2,6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

5. Определить удельное сопротивление раствора и его фильтра в скважине для условий задачи 4, если температура против пласта $82 \text{ }^\circ\text{C}$, $\delta_p = 1,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Определение сопротивления промытой зоны пласта по кривым микрокаротажа



$$\frac{R_{1x}}{R_{mc}}$$

$$\frac{R_{1x1}}{R_{mc}}$$


© Schlumberger

Enter the chart with the ratios R_{1x1}/R_{mc} and R_2/R_{mc} . The point of intersection defines the R_{xo}/R_{mc} ratio and the mudcake thickness, h_{mc} . Knowing R_{mc} , R_{xo} can be calculated.

For hole sizes other than 8 in. [203 mm], multiply R_{1x1}/R_{mc} by the following factors before entering the chart: 1.15 for 4½-in. [120-mm] hole, 1.05 for 6-in. [152-mm] hole, and 0.93 for 10-in. [254-mm] hole.

Note: An incorrect R_{mc} will displace the points in the chart along a 45° line. In certain cases this can be recognized when

the mudcake thickness is different from direct measurement by the microcaliper. To correct, move the plotted point at 45° to intersect the known h_{mc} . For this new point, read R_{xo}/R_{mc} from the chart and R_2/R_{mc} from the bottom scale of the chart.

$$R_{xo} = R_2 \left(\frac{R_{xo}/R_{mc}}{R_2/R_{mc}} \right)$$

Микрозонды - Micrologs

Определение сопротивления промытой зоны R_{xo} и толщины глинистой корки h_{mc}

Resistivity In The Flushed Zone

$$\frac{R_{xo}}{R_{mf}} = F = \frac{a}{\phi^m}$$

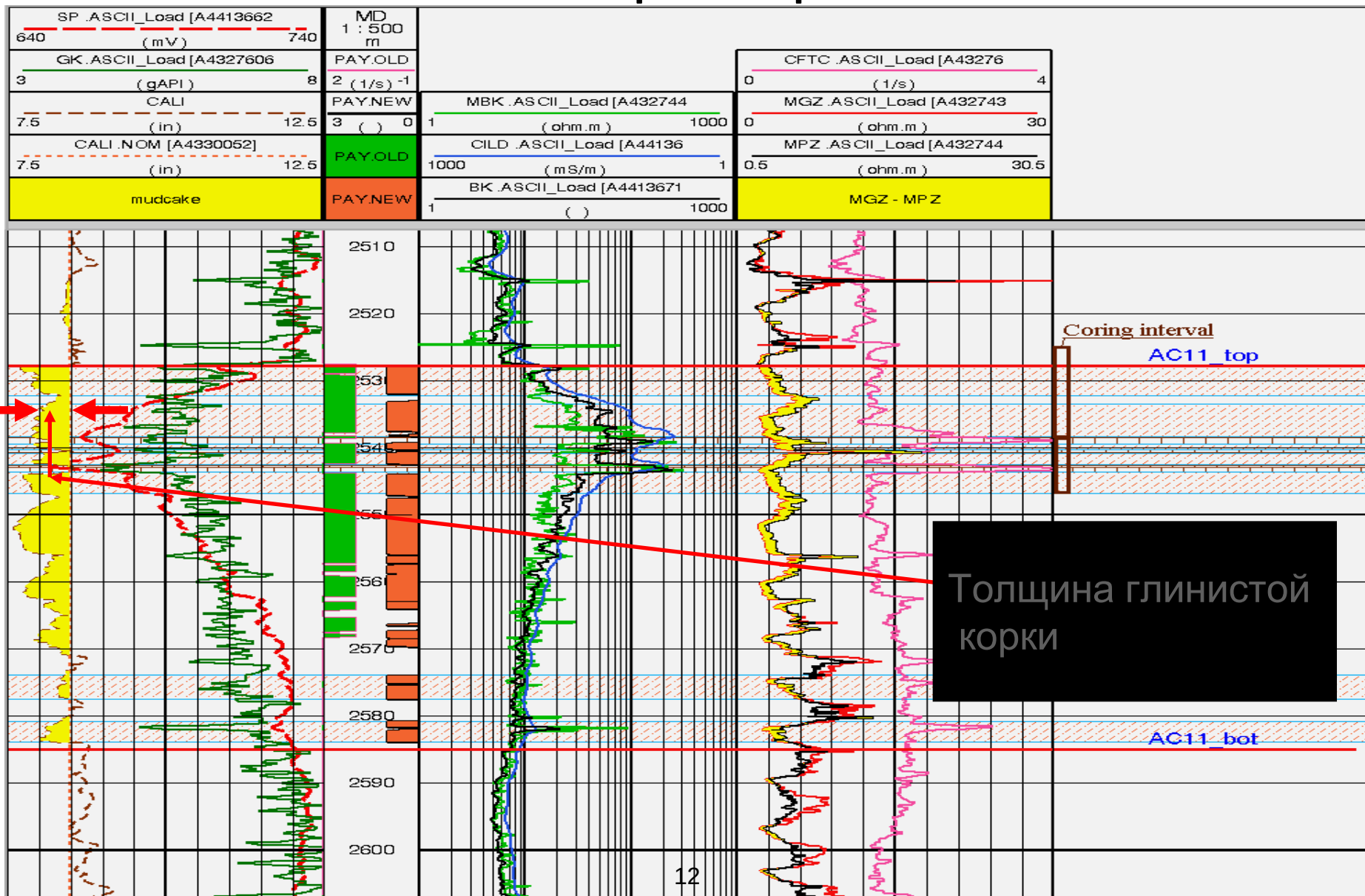
F = Formation Factor
 R_{xo} = Resistivity of the flushed zone

R_{mf} = Resistivity of the mud filtrate

ϕ = Porosity, fraction

However this only works where S_{xo} is 100% water.

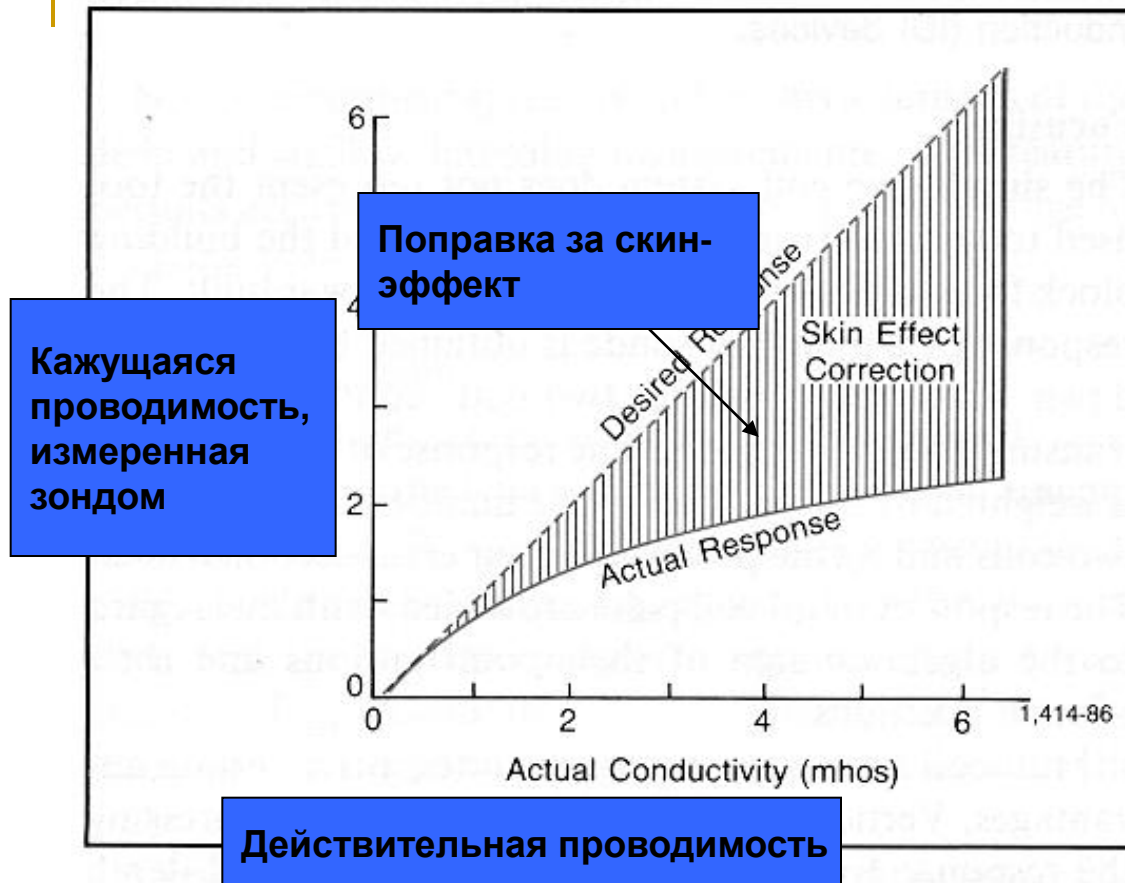
Определение толщины глинистой корки по кавернометрии



- В каверне при относительно низком сопротивлении окружающих пород (глин) и условии, что башмак микрозонда не касается стенки скважины, регистрируется обычно кажущееся сопротивление, близкое к сопротивлению глинистого раствора ($\rho_k = \rho_p$).
- В плотных, а также в трещиноватых породах высокого сопротивления показания микрозондов зависят от условий прилегания башмака к неровной стенке скважины.
- Поскольку башмак микрозонда отделен от плотной породы очень неравномерным по толщине слоем глинистого раствора, то регистрируются резко дифференцированные кривые при достаточно высоких показаниях на диаграммах обоих зондов. Аналогично отмечаются пористые, но слабопроницаемые и неразрушающиеся разности (глинистые песчаники, глинистые алевролиты).
- Они отличаются от плотных пород только несколько меньшими значениями ρ_k .

- Фильтрующие пласты, на поверхности которых образуется глинистая корка, отмечаются несовпадающими средними показаниями обоих микрозондов ($R_{кгмз} < R_{кпмз}$)-
- Показания $R_{кгмз}$ градиент-микрозонда, имеющего меньшую глубину исследования, определяются удельным сопротивлением глинистой корки $R_{гк}$, с которой соприкасается башмак микрозонда.
- Значение $R_{гк}$ обычно несколько больше или близко к R_p , и кажущееся сопротивление градиент-микрозонда бывает несколько выше, чем r_k в каверне.
- Показания $R_{кпмз}$ потенциал-микрозонда, обладающего относительно большей глубиной исследования, зависят от сопротивления промытой части пласта-коллектора $R_{пп}$.
- В связи с этим $R_{кпмз}$ в обычных условиях больше, чем $R_{кгмз}$ -
- Это соотношение может нарушиться, если глинистая корка имеет большую толщину или отсутствует.
- Тогда показания обоих микрозондов практически совпадают.

Индукционный метод



Влияющие эффекты:

- Скин-эффект
- Диаметр скважины
- Вмещающие породы
- Наклонное падение слоев
- Геометрический фактор
- Зона проникновения

Действительный отклик индукционного каротажа в сравнении с ожидаемым

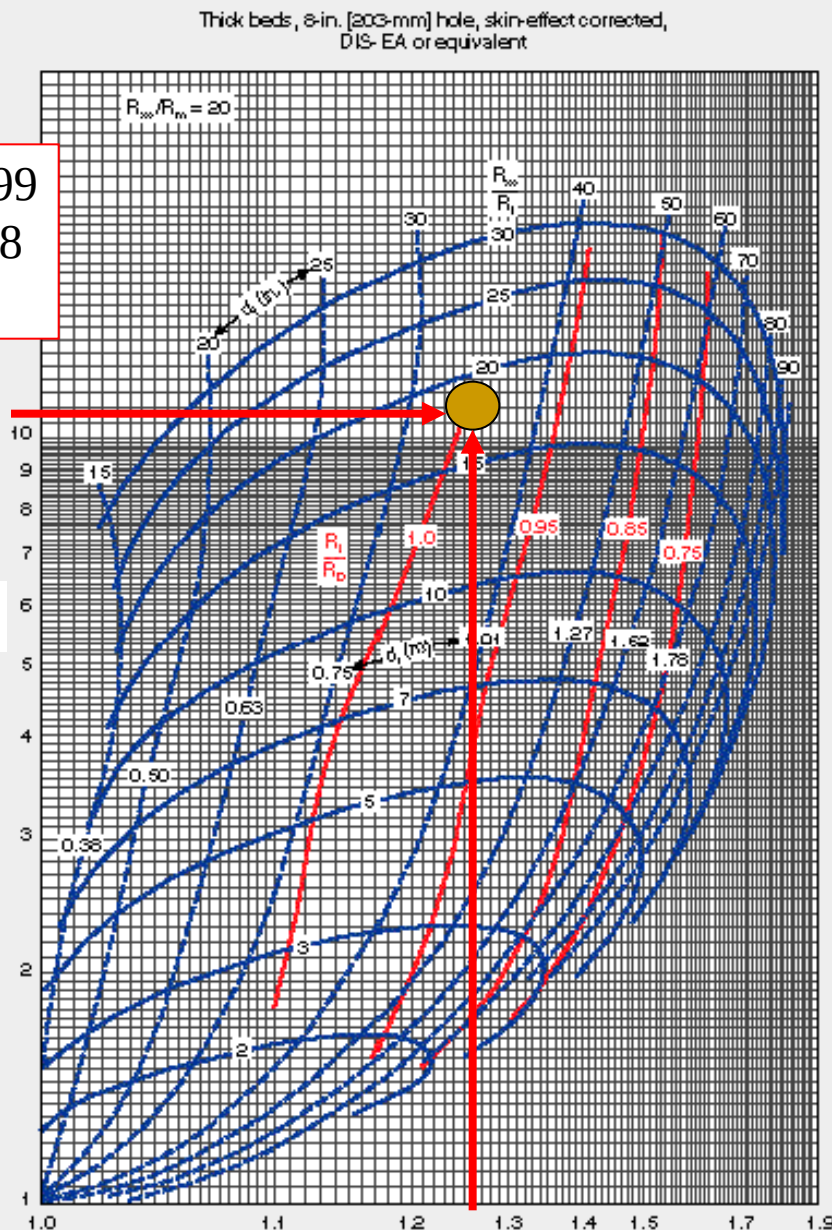
Fig. 7-20—Actual response of an induction log compared to the “desired” response.

Индукционный – боковой каротажи (DIL-SFL) – коррекция за зону проникновения и определение R_t

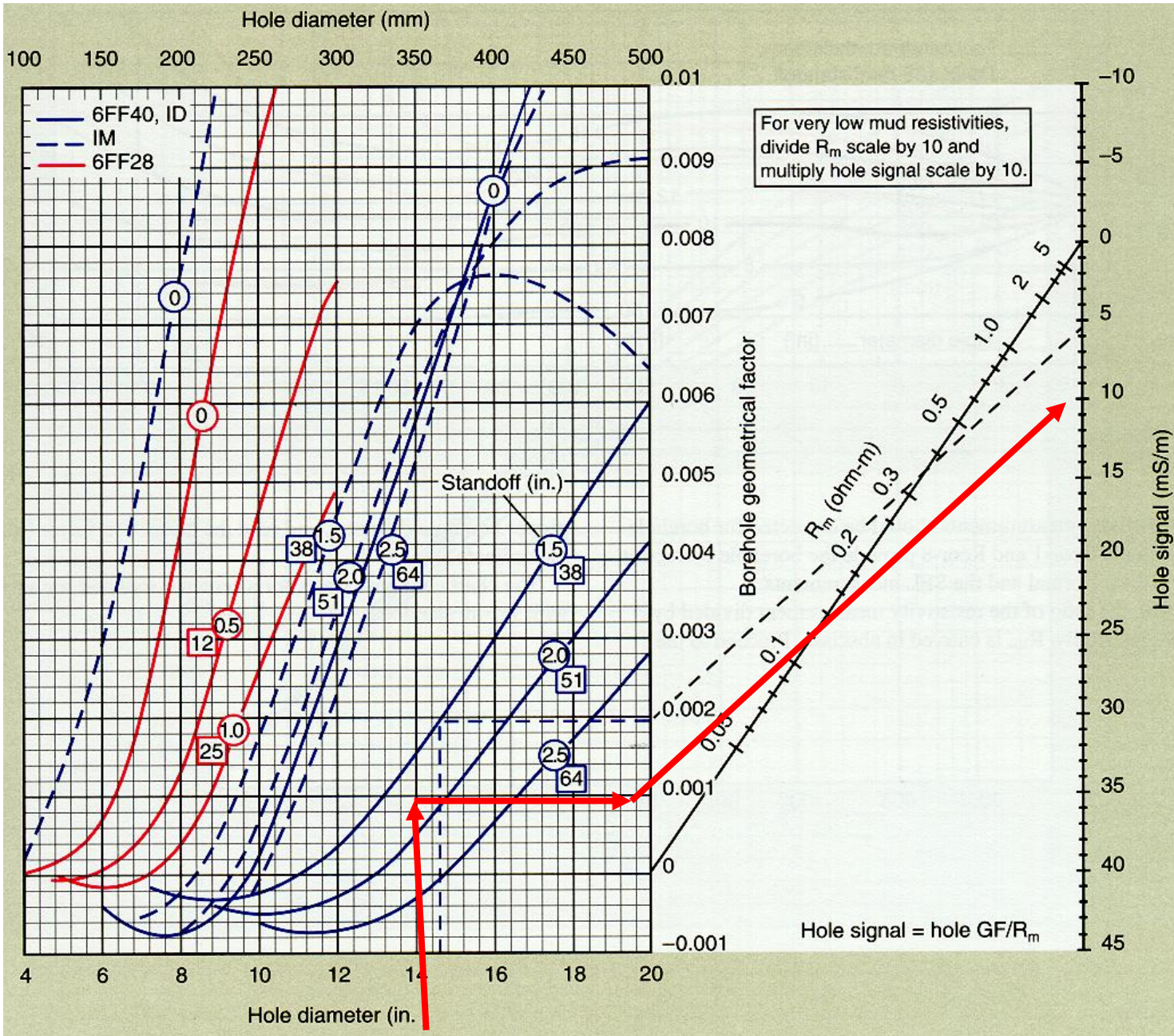
Вводят отношения R_{sfl}/R_{ild} и R_{ilm}/R_{ild} и определяют отношение R_t/R_{ild} , диаметр проникновения (d_i) и отношение R_{xo}/R_t . Диаграмма предполагает толстые слои (16 ft – 4.8 м), последовательное проникновение в пласт и пресный буровой раствор. Каждая комбинация измерений будет иметь свою собственную Торнадо номограмму, так что необходимо тщательно знать входное значение R_{xo} для выбора номограммы и тип индукционного зонда. Коррекция измерений за скважинные условия должна производиться перед использованием номограммы для коррекции за проникновение

$R_t/R_{ild} = .99$
 $R_{xo}/R_t = 18$
 $d_i = 35 \text{ in.}$

R_{sfl}/R_{ild}

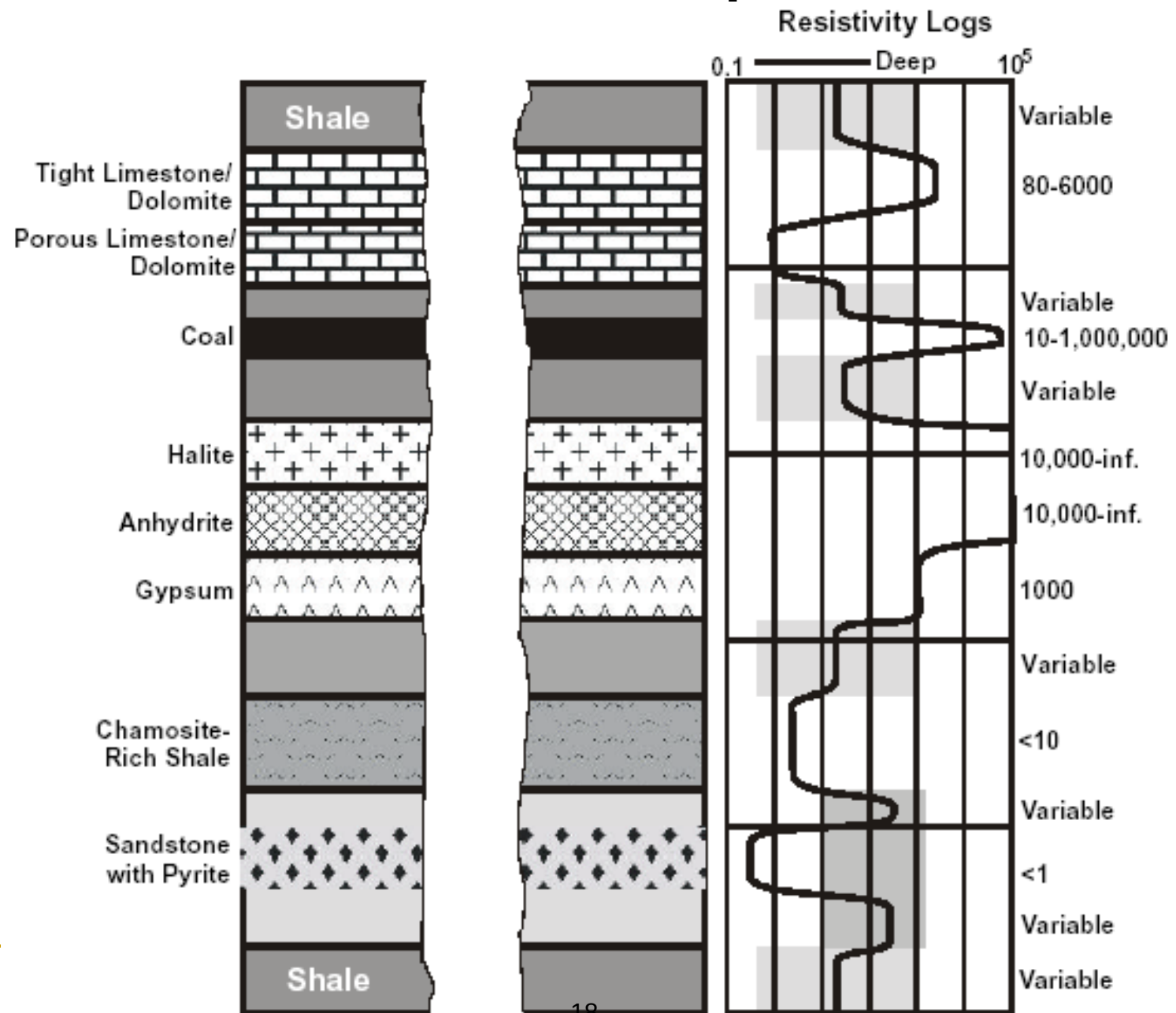


R_{ilm}/R_{ild}

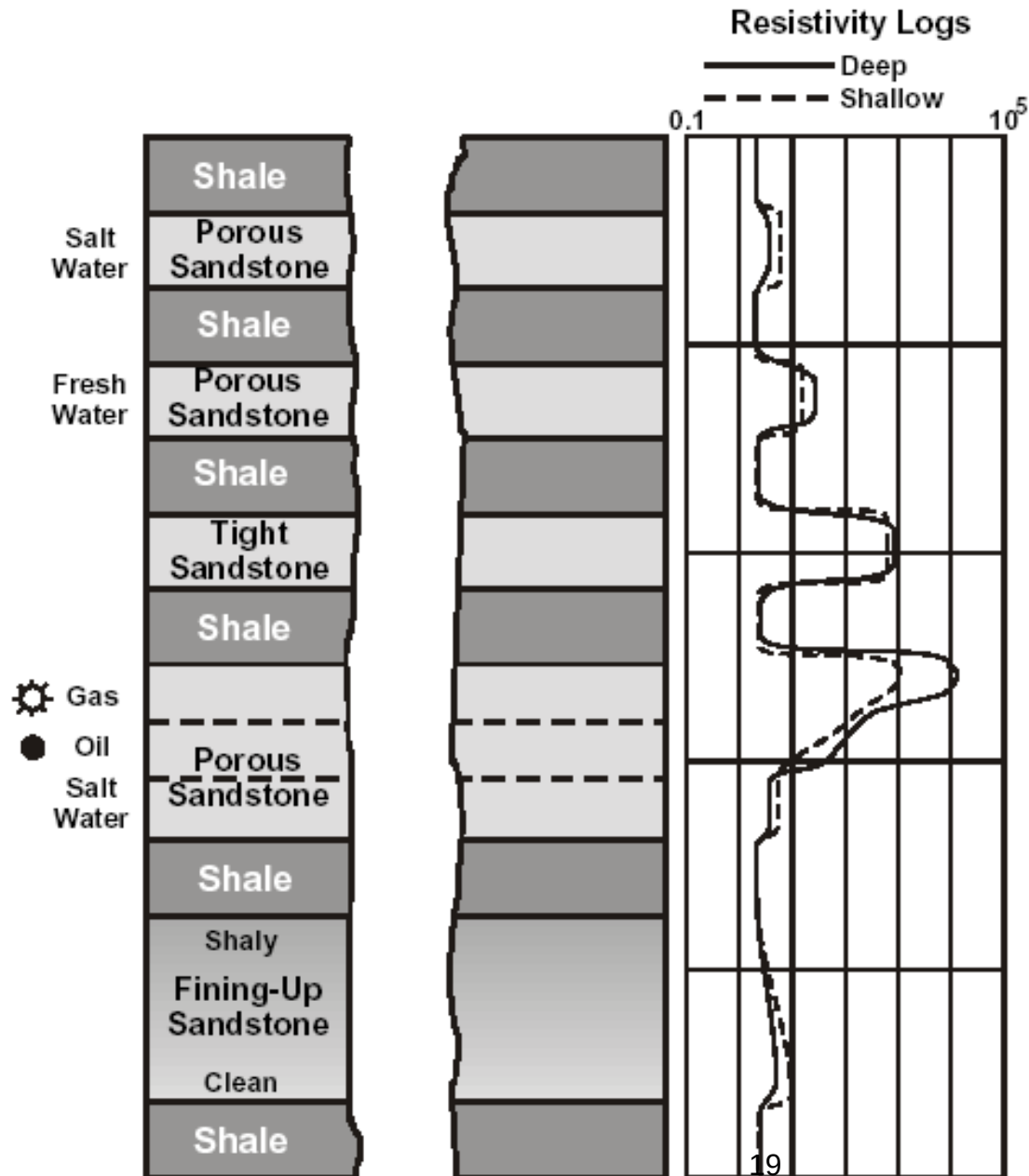


Коррекция за
скважину
Двойной
индукционны
й зонд - DIL

Литология и показания электрических методов

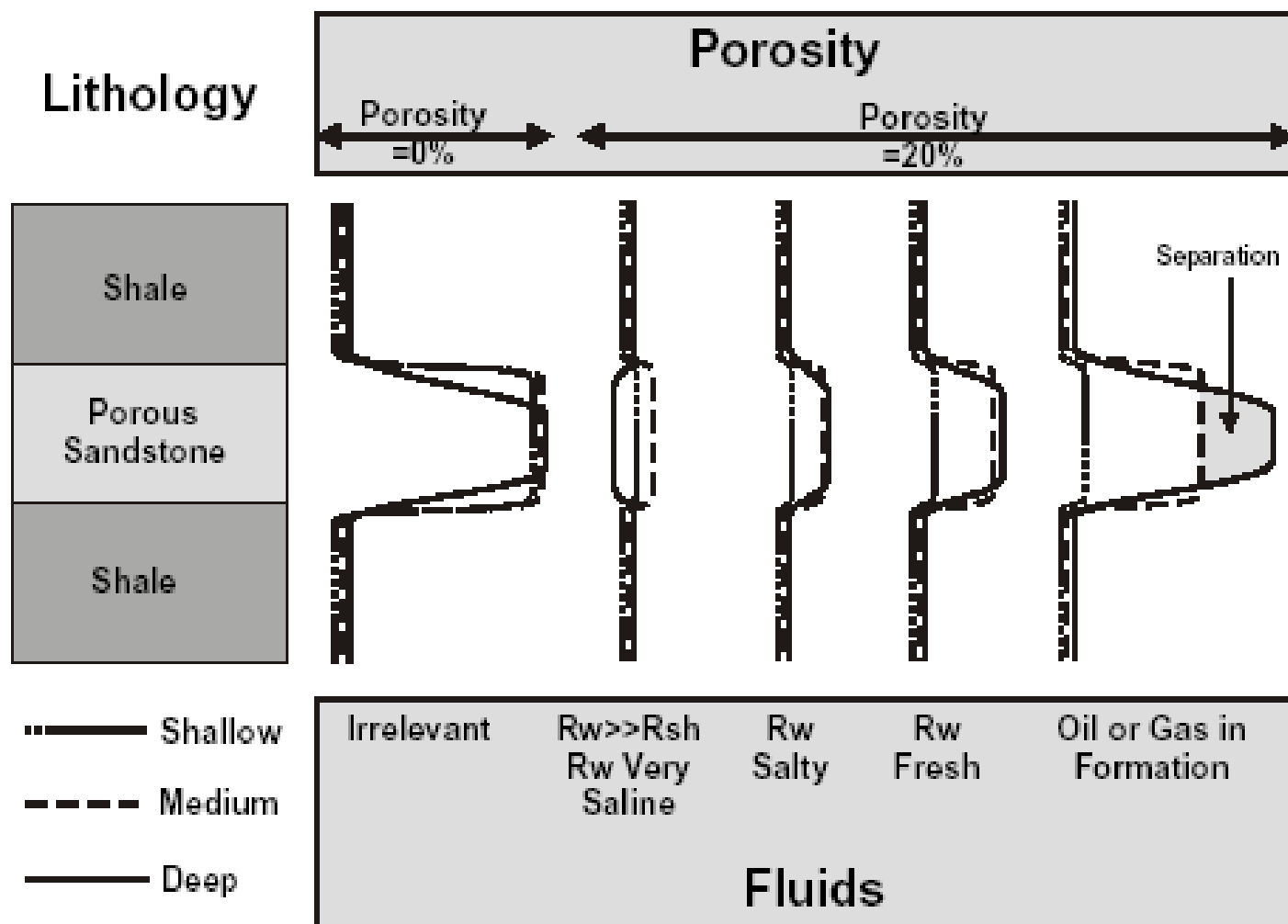


Литология и показания электрических методов



Песчано-глинистый разрез

Литология, насыщение пород и показания электрических методов



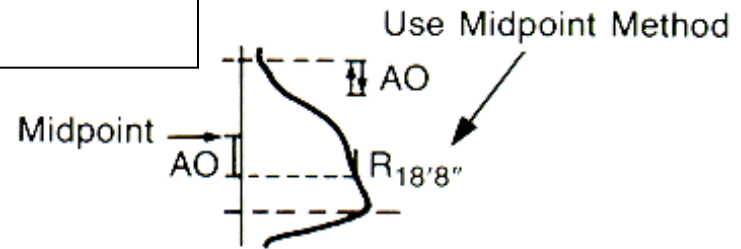
Метод КС - определение сопротивления пласта

градиент-зонд 18'8" lateral (18 футов 8 дюймов – 5,6 м)

Экспресс-методы оценки R_t

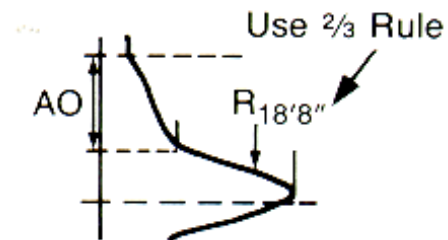
$h > 40 \text{ ft}$

Метод средней
точки



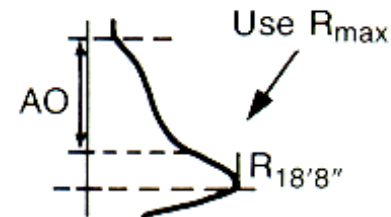
$h = 28 \text{ ft}$

Правило 2/3



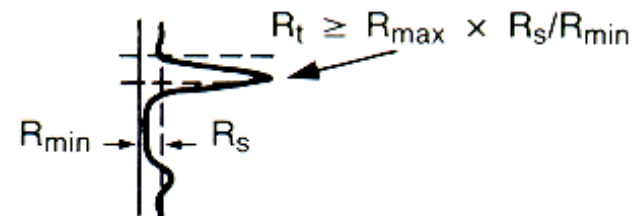
$h = 24 \text{ ft}$

Метод максимума



$5\text{ft} < h < 10 \text{ ft}$

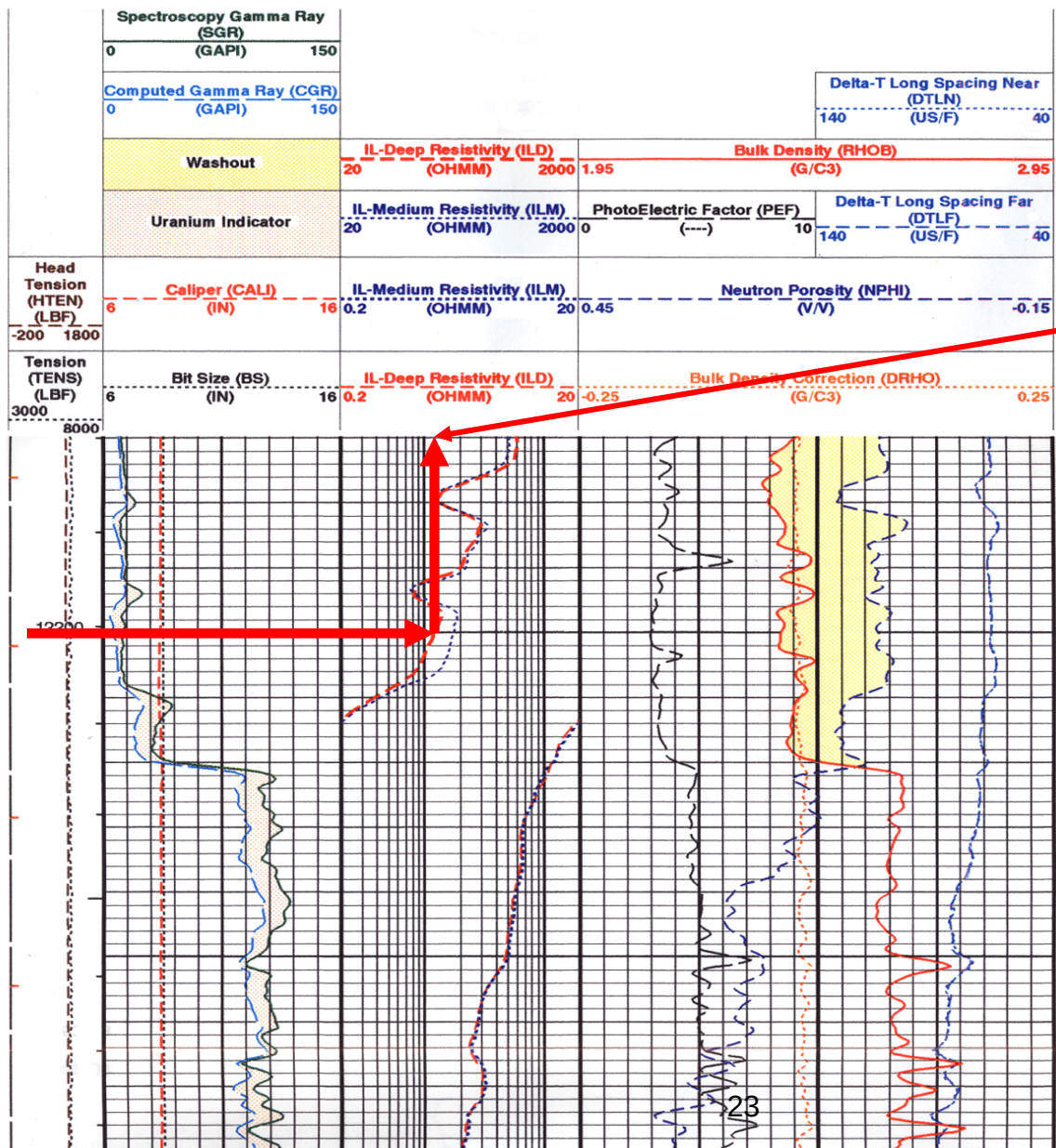
Метод тонких
пластов



ИНДУКЦИОННЫЕ ЗОНДЫ

- В отличие от всех предыдущих методов сопротивления, диаграммы индукционных зондов записываются в масштабе кажущихся электропроводностей σ_k (в мСм/м) в линейном масштабе. Поэтому обработка диаграмм индукционного метода осуществляется по следующим схемам:
- $\sigma_k \rightarrow \sigma_{k1} \rightarrow R_{k1} \rightarrow R_{k2} \rightarrow R_{k\infty}$
- $\sigma_k \rightarrow \rho_k \rightarrow \rho_{k1} \rightarrow \rho_{k2} \rightarrow R_{k\infty}$.
- Масштабы регистрации σ_k для основного гальванометра выбирают в зависимости от электропроводности пластов в разрезе, но обычно не крупнее, чем 20-25 мСм/м в 1 см шкалы.
- В этом случае на расстоянии 1 см от нулевой линии электропроводности значение $\rho_k = 50-40$ Ом-м, а нулевая линия электропроводности соответствует значению $\rho_k = \infty$.
- Таким образом, масштаб диаграммы в пересчете на ρ_k в первом сантиметре шкалы соответствует изменению удельного сопротивления от 50-40 Ом-м до ∞ .
- Такое загромождение масштаба составляет существенный недостаток индукционного метода, ограничивающий его применение верхним пределом $\rho_k = 40-50$ Ом-м (на практике даже ниже).

Индукционный метод



Определение
измеренного
сопротивления
пласта по
диаграмме

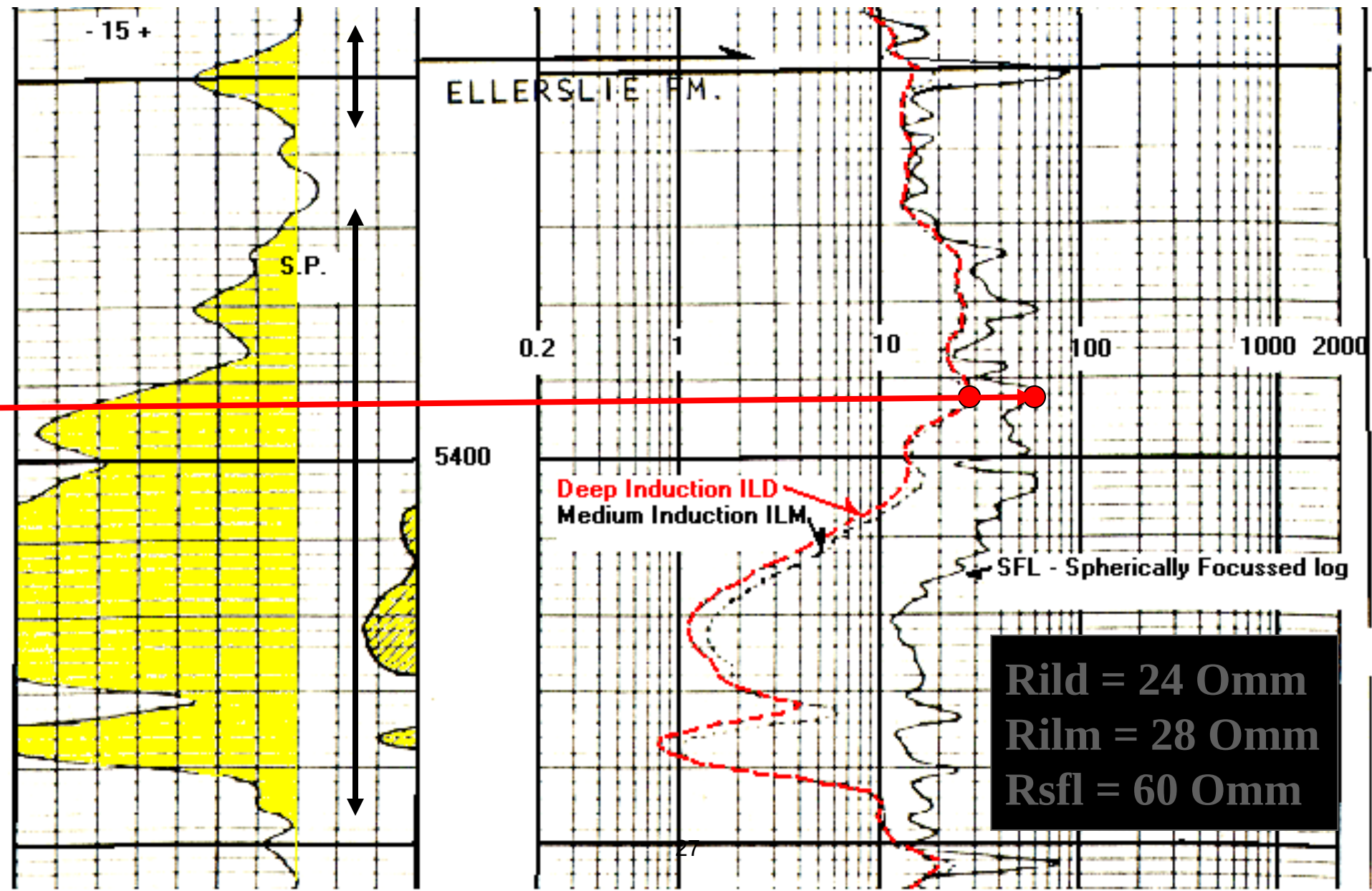
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ПО ДАННЫМ ВИКИЗ

- Метод ВИКИЗ (высокочастотное индукционное каротажное изопараметрическое зондирование) представляет собой изучение электрических свойств пород в разрезах нефтяных и газовых скважин с помощью пяти зондов разных размеров, различающихся глубиной исследований.
- Метод характеризуется высокой вертикальной разрешающей способностью и может использоваться как на качественном, так и на количественном уровне.

- На качественном уровне метод используется для литологического расчленения пород в разрезе скважин, выделения коллекторов, определения их эффективной толщины, характера насыщения.
- Количественно метод позволяет оценить удельное сопротивление пласта коллектора, его зоны проникновения и размера зоны проникновения в скважинах, бурящихся на слабо-минерализованной (более 0,2 Омм) или непроводящей промы-вочной жидкости, а также в сухих скважинах.
- Особенностью метода является возможность определения параметров окаймляющей кольцевой зоны пласта, возникновение которой обусловлено осолонением пресного фильтрата бурового раствора при его взаимодействии с остаточной водой.
- Метод обладает при значительной глубинности высокой пространственной разрешающей способностью, что позволяет выделять и оценивать электрические характеристики тонких пластов.
- **Положение границ пласта на кривых ВИКИЗ устанавливается по характерным точкам, соответствующим максимальному изменению сигналов с глубиной в показаниях трех средних зон-дов.**
- Снятие отсчетов производится способом осреднения показаний зонда в пределах выделенных границ

- Алгоритм интерпретации сводится к переходу от разности фаз к удельному сопротивлению, учету влияния скважинных условий и вмещающих пород на показания зондов.
- Переход от показаний метода, выраженных в единицах разности фаз (Аф), к единицам удельного сопротивления осуществляется с помощью графика.
- В скважинах, заполненных минерализованной промывочной жидкостью, производится учет искажения сигнала за счет влияния эксцентриситета на показания трех коротких зондов с помощью графиков
- Учет этого фактора производится по одному из графиков, в зависимости от положения прибора в стволе скважины - соосного или смещенного на стенку скважины.
- Наибольшее влияние эксцентриситета проявляется при заполнении ствола скважины минерализованным буровым раствором ($\rho_s \ll 0,2 \text{ Ом-м}$).
- В этом случае следует учитывать вытеснение корпусом прибора части проводящей промывочной жидкости и при внесении поправки за эксцентриситет
- Следует отметить, что значение этой поправки не превышает погрешности измерения в диапазоне 2-20 Ом-м и влияние ее становится более существенным для коротких зондов при значениях $\rho_{\text{с}}$, превышающих 50-60 Ом-м.

**Двойной индукционный (Dual Induction) – боковой (SFL) - ПС (SP)
каротажи – определение электрических параметров пласта.**



ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАСТОВ ПО ДАННЫМ БОКОВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (БЭЗ)

- Боковое электрическое зондирование представляет собой исследование скважины серией зондов, имеющих различные размеры, от которых зависит глубина исследования. Будем рассматривать методику интерпретации данных БЭЗ, выполненных серией градиент-зондов.
- Размер наименьшего градиент-зонда выбирается близким к диаметру скважины, а каждый последующий зонд должен быть в 2-2,5 раза больше предыдущего.
- Размер наибольшего градиент-зонда обычно не превышает 8 м.
- Для лучшего определения границ пластов в боковое зондирование, проводимое последовательными градиент-зондами, включается один обращенный градиент-зонд, и наоборот

- **Первичная обработка данных БЭЗ** заключается в выделении наиболее однородных пластов, для которых возможна количест-венная интерпретация.
- Границы пластов определяются обычным способом по диаграммам рк стандартных и малых зондов БЭЗ.
- В сложных случаях границы уточняются по сочетанию диаграмм последовательного и обращенного зондов, микрозондов, каверномера, потенциалов собственной поляризации и других методов.
- По результатам интерпретации диаграмм всего применяемого комплекса геофизических методов делают заключение о литологических особенностях пород разреза и выявляют объекты, представляющие интерес для количественной интерпретации данных БЭЗ.

При интерпретации данных бокового электрического зондирования для каждого исследуемого пласта строится фактическая кривая зависимости кажущегося сопротивления от размера зонда.

Значения ρ_k снимаются с диаграмм, записанных разными зондами БЭЗ.

При этом следует придерживаться правил, учитывающих влияние на величину ρ_k удельного сопротивления пласта $\rho_{\text{п}}$ и вмещающих пород $\rho_{\text{вм}}$, а также толщины пласта h , диаметра скважины d_c и размера градиент-зонда AO .

1. При $\rho_{\text{п}} > \rho_{\text{вм}}$ и $h/d_c \gg 16-25$ наиболее целесообразно снимать оптимальные значения $\rho_{\text{копт}}$

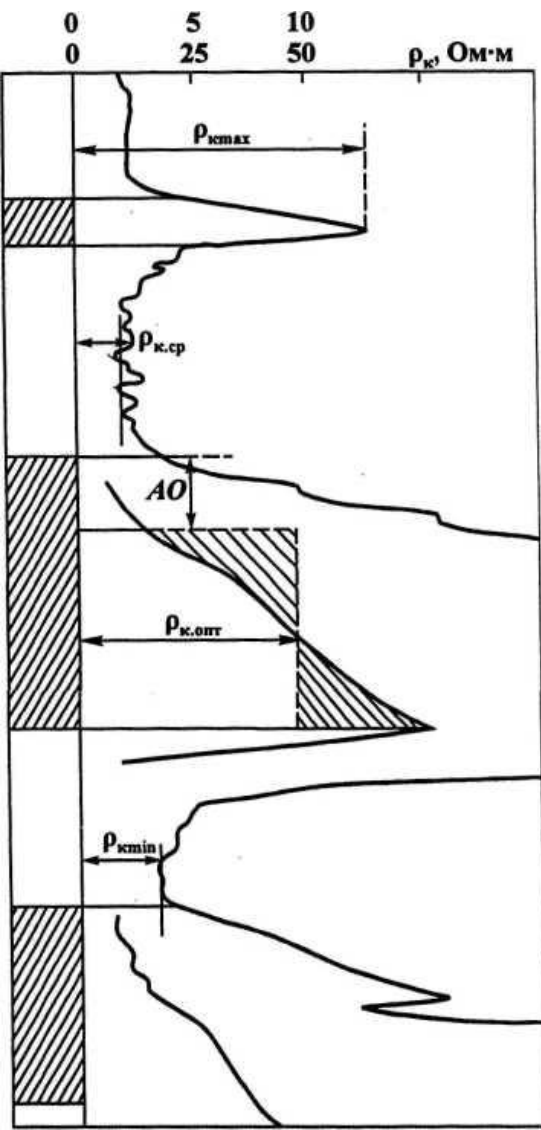
Для этого, определяют среднее кажущееся сопротивление в интервале пласта, равном $(h - AO)$.

Интервал, соответствующий длине зонда, вычитается из толщины пласта со стороны минимума (от кровли пласта при последовательном градиент-зонде, от подошвы - при обратном).

2. При $\rho_{\text{п}}$, мало отличающемся от сопротивления вмещающих пород, и $h/d_c > 16-25$ следует снимать средние значения кажущегося сопротивления $\rho_{\text{ксп}}$ в средней части пласта.

При $h < 16 d_c$ (3-5 м) целесообразно снимать экстремальные значения $\rho_{\text{кмах}}$, если $\rho_{\text{п}} > \rho_{\text{вм}}$ и $\rho_{\text{кмин}}$, если $\rho_{\text{п}} < \rho_{\text{вм}}$.

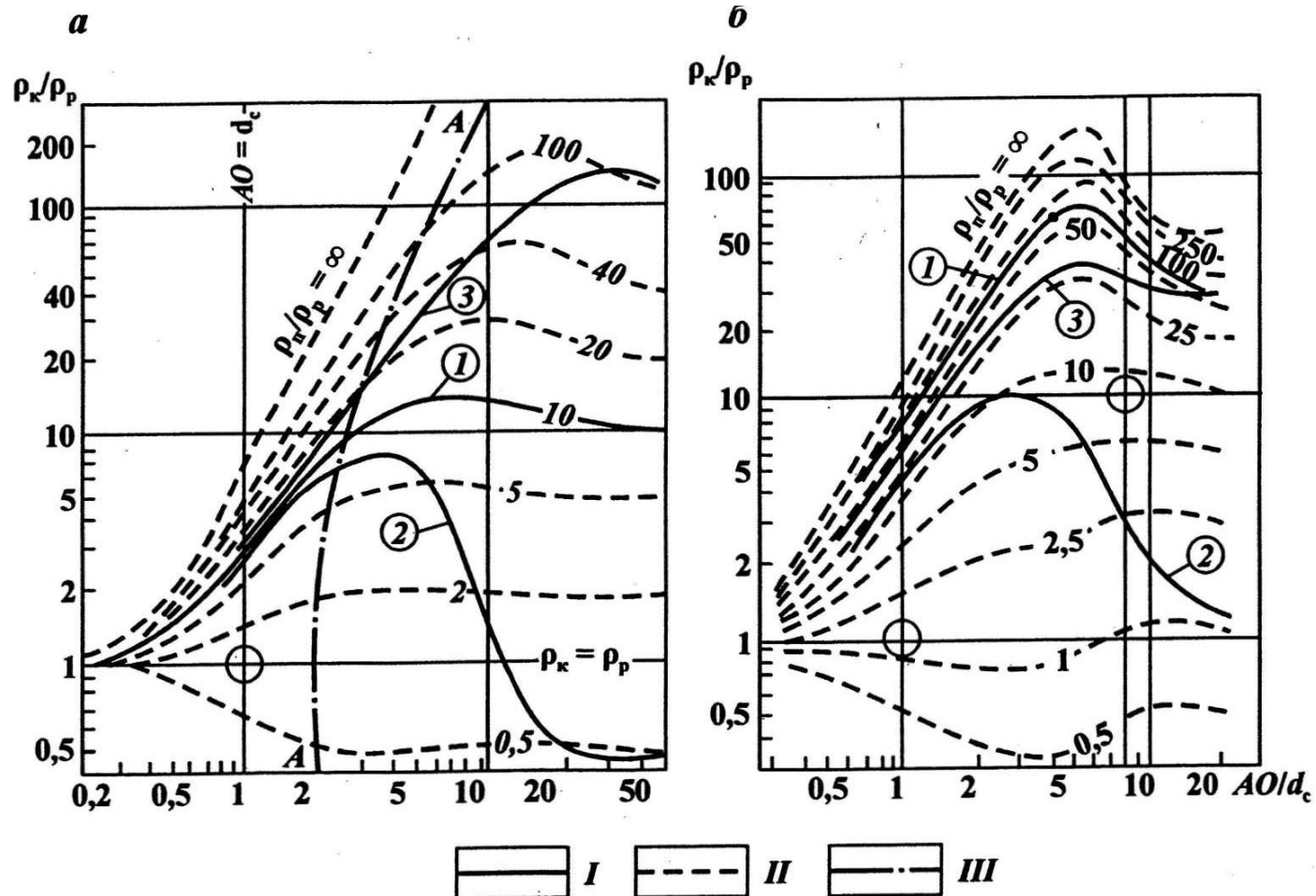
Данные БЭЗ по объектам интерпретации вносятся в таблицу



При интерпретации данных БЭЗ используется прием совмещения фактической кривой зондирования с палеточными кривыми

- Чтобы выбрать соответствующую палетку, необходимо установить тип фактической кривой зондирования.
 - В некоторых случаях тип кривой и нужную палетку устанавливают по ряду явных признаков, а если их бывает недостаточно, то тип кривой определяют только после сопоставления фактической кривой зондирования с двухслойной палеткой
-

Типы кривых бокового электрического зондирования:



а- $h = \infty$ б- $h = 8 d_c$. $\rho_{вм} = 10\rho$; / - типичные кривые зондирования (цифры в кружках):
 1 - двухслойные, 2 - $D\rho < \rho_p < \rho_0$, 3 - $\rho_p < \rho_{зп} < \rho_p$; II - двухслойные палеточные кривые;
 III - геометрическое место точек на палетке, где $\rho_k/\rho_p = \rho_p/\rho_p$ (кривая AA)

Контрольные вопросы

- 1. Основные параметры получаемые в результате интерпретации электрического каротажа
- 2. Какая дополнительная информация используется для интерпретации кривых электрического каротажа
- 3. Как определяют сопротивление бурового раствора?
- 4. Методика определения сопротивления фильтрата бурового раствора
- 5. Методика определения сопротивления промытой зоны пласта
- 6 Решите задачу на слайде 9
- 7.Как определяется толщина глинистой корки
- 8. Принцип литологического расчленения по кривым электрического каротажа
- 9. Методика определения сопротивления пласта по кривым КС
- 10. Методика определения сопротивления пласта по кривым ИК