

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Дальневосточный государственный технический университет  
(ДВПИ им. В.В.Куйбышева)

**Интерпретация данных каротажа по методу сопротивлений (КС)  
и бокового электрического зондирования**

Методические указания к практическим работам  
для студентов специальности 130201  
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»

Владивосток  
2006

Одобрено методическим советом университета

**УДК 550.834**

**И73**

Интерпретация данных каротажа по методу сопротивлений (КС) и бокового электрического зондирования (БЭЗ): метод. указания/сост. Т.В.Селиванова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006 – 25 с.

Методические указания к выполнению лабораторных работ содержат описание методики построения кривых КС, бокового электрического зондирования, необходимые для расчетов формулы, задания и примеры их выполнения.

Предназначены для студентов дневной формы обучения при самостоятельном выполнении практических работ по курсу «Геофизические исследования скважин» и для дипломного проектирования по соответствующей тематике.

Печатается с оригинал-макета, подготовленного автором.

© Т.В.Селиванова, 2006

© ДВГТУ, изд-во ДВГТУ, 2006

## Введение

Геофизические исследования скважин (ГИС) позволяют улучшить геологическую изученность разрезов скважин, ускорить и удешевить процесс бурения и поэтому служат одним из прогрессивных средств повышения эффективности и качества геолого-разведочных работ.

По особенностям решаемых задач, теоретического обеспечения и интерпретации результатов геофизические исследования, выполняемые в скважинах, четко подразделяются на следующие две группы:

1. Объемные геофизические исследования с использованием скважин относятся к так называемой скважинной геофизике, цели и задачи которой сходны с полевой разведочной геофизикой. В скважинной геофизике выделяют соответственно скважинную электроразведку со всем многообразием ее методов, скважинную магниторазведку и пр.

2. Геофизические измерения, выполняемые с целью изучения геологических разрезов скважин и дающие информацию о ближней зоне, т.е. о породах, непосредственно примыкающих к стенке скважины, называют *геофизические исследования скважин*, известных также под названием *каротаж*.

В отличие от скважинной геофизики, методы которой направлены на увеличение дальности исследований, в каротаже - это детальное изучение геологических разрезов скважин, точное определение границ пластов, включая тонкие пропластки, мощностью до первых сантиметров, получение возможно более полной информации о вещественном составе горных пород и полезных ископаемых и их физических свойствах.

Настоящие методические указания являются руководством для выполнения лабораторных занятий по курсу «Геофизические исследования скважин».

Указания содержат краткое описание некоторых основных приемов комплексной, качественной и количественной интерпретации диаграмм геофизических исследований скважин. В конце практической работы даются основные указания по ее выполнению. Перед выполнением практических работ студенты должны ознакомиться с соответствующими разделами лекций и учебной литературы, приведенной в отдельном списке.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

### Построение кривых КС в присутствии контактов и пластов

Изучение электрического сопротивления горных пород в скважине обычно производится с трехэлектродным зондом (рис. 1), который в простейшем случае состоит из одного питающего электрода  $A$  и находящихся на некотором расстоянии от него двух приемных электродов  $M$  и  $N$ . Второй питающий электрод  $B$  устанавливается на поверхности Земли. Зонд питается знакопеременным током для того, чтобы исключить влияние э.д.с., обусловленных естественными токами в скважине и электродными процессами. Напряженность электрического поля, создаваемого током, эмиттируемым электродом  $A$  в точке  $O$ , к которой

относятся измерения, а следовательно, и разность потенциалов между электродами  $MN$ , зависят от удельного сопротивления  $\rho$  горных пород, что позволяет дифференцировать их по этому параметру. При расчетах и на практике точку, к которой относятся значения  $\rho_k$ , называемую также *точкой записи*, в потенциал-зондах выбирают в середине отрезка  $\overline{AM}$ , а в градиент-зондах – в середине отрезка между сближенными электродами  $\overline{MN}$  или  $\overline{AB}$ .

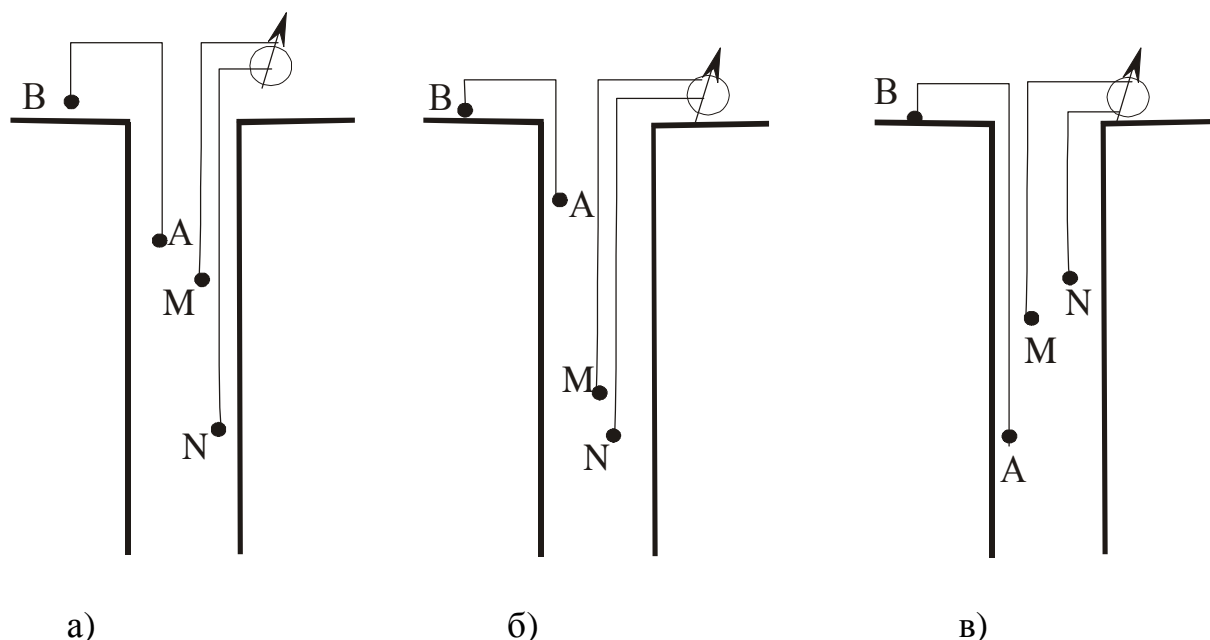


Рис.1. Схема зондов ГИС:

а) последовательный однополюсной градиент-зонд; б) последовательный однополюсной градиент-зонд; в) обращенный однополюсной градиент зонд

В неоднородной среде формула расчета сопротивления дает не истинное, а кажущееся удельное сопротивление  $\rho_k$ , которое определяется характером неоднородностей, типом и длиной зонда и его расположением относительно неоднородностей. Изменение  $\rho_k$  в присутствии границ раздела сред с разным удельным сопротивлением и под влиянием скважины рассматривается ниже.

В зависимости от расстояния между приемными электродами показания зонда КС определяются разными характеристиками электрического поля.

Если один из приемных электродов  $N$  (так же, как и второй питающий электрод  $B$ ) вынести на поверхность (удалить на «бесконечность»), то  $\overline{AN} \rightarrow \infty$  и  $U_N \rightarrow 0$ . Измеряемая разность потенциалов в этом случае  $\Delta U \cong U_M$ , т.е. определяется величиной потенциала электрического поля в точке  $M$ , а величина  $\rho_k$  вычисляется по формуле

$$\rho_k = K \frac{\Delta U}{I}, \quad (1)$$

где  $K = 4\pi \overline{AM}$ .

Двухэлектродный зонд  $\overline{AM}$  носит название *идеального (предельного) потенциал-зонда*. Расстояние  $\overline{AM} = L$  называют *длиной потенциал-зонда*. Предельный потенциал-зонд очень выгоден при определении  $\rho$  мощных пластов высокого сопротивления, однако в связи с  $\overline{MN} \rightarrow \infty$  применение его ограничено трудностью подавления промышленных и иных электрических помех. Поэтому на практике чаще пользуются трехэлектродными потенциал-зондами исходя из того, что равенство  $\Delta U \cong U_m$  выполняется во всех случаях, когда  $\overline{MN} \geq 10 \overline{AM}$ .

Если в противоположность потенциал-зондам  $\overline{MN} \rightarrow 0$ , то измеренная разность потенциалов стремится к пределу  $\Delta U = E$  и  $\rho_k$  определяется величиной градиента потенциала в точке О, расположенной в середине промежутка между приемными электродами:

$$\rho_k = K \frac{E}{I}, \quad (2)$$

где  $K = 4\pi \overline{AO}^2$ .

Зонды с  $\overline{MN} \rightarrow 0$  именуют идеальными (предельными) градиент-зондами. Расстояние  $\overline{AO} = L$  называют *длиной градиент-зонда*. Осуществить предельные градиент-зонды еще сложнее, чем предельные потенциал-зонды, из-за конечных размеров электродов и трудностей измерения малых разностей потенциалов. Поэтому применяют градиент-зонды с конечными  $\overline{MN}$ , удовлетворяющими условию  $\overline{MN} \leq 0,1 \overline{AO}$ .

При измерениях с одним и тем же зондом характер кривых  $\rho_k$  зависит от того, как он ориентирован в скважине. Объясняется это тем, что при разной ориентировке зонда меняются положение электродов относительно неоднородностей, структура электрического поля, а следовательно, и параметр  $\rho_k$ . Поэтому, если электрод  $A(M)$  находится выше парных электродов  $MN$  ( $AB$ ), зонды называют *последовательными*, а в противоположном случае (непарный электрод ниже парных электродов) – *обращенными* (рис.1, в). Зонды КС обозначаются сочетанием (сверху вниз) буквенных индексов электродов с указанием расстояния между ними в метрах. Так, например, однополюсный последовательный градиент-зонд с  $\overline{AM} = 2,5$  м и  $\overline{MN} = 2,5$  м обозначается так:  $A \ 2,5 \ M = 0,25 \ N$  и т.п.

Для выяснения характера кривых КС воспользуемся решением задачи о распределении электрического поля точечного источника тока вблизи границ раздела сред с разным удельным сопротивлением, полученным в предположении, что среда является «сплошной», т.е. скважина отсутствует. Этот, хотя и идеализированный случай, позволяет наиболее наглядно представить закономерности поведения кривых  $\rho_k$  против контактов и пластов и установить правила интерпретации диаграмм КС.

Согласно определению,  $\rho_k$  представляет не свойство среды, а параметр электрического поля, который зависит как от удельного сопротивления  $\rho$ , так и от структуры поля в данной точке.

Кажущееся удельное сопротивление совпадает с удельным сопротивлением только в случае однородной изотропной среды, когда электрическое поле также однородно и изотропно. Среда с высоким сопротивлением отталкивает токовые линии. Эквипотенциальные поверхности в направлении к контакту вытягиваются, становятся более выпуклыми, и потенциал электрического поля в среде более низкого сопротивления, в точках, расположенных на определенном расстоянии от источника тока, по сравнению с однородной средой повышается. Среда с низким сопротивлением, наоборот, втягивает токовые линии. Эквипотенциальные поверхности в среде с более высоким сопротивлением в направлении к контакту сплющиваются, сближаются друг с другом, и потенциал электрического поля в равноотстоящих от контакта точках по сравнению с однородной средой понижается.

Перейдем к анализу расчетных кривых. Как это делается обычно, анализ будем вести для однополюсных зондов, с которыми легче представить физическую сущность наблюдаемых явлений.

*Построение кривой  $r_k$  потенциал-зонда в присутствии контакта ( $r_1 > r_2$ ).* Из рис. 2 видно, что вдали от контакта величины  $\rho_k$  близки к сопротивлению  $\rho_1$ . Когда зонд приближается к контакту, значения  $\rho_k$  повышаются. Между асимптотическими ветвями кривых видна переходная зона в виде площадки, на протяжении которой кажущееся сопротивление сохраняется неизменным.

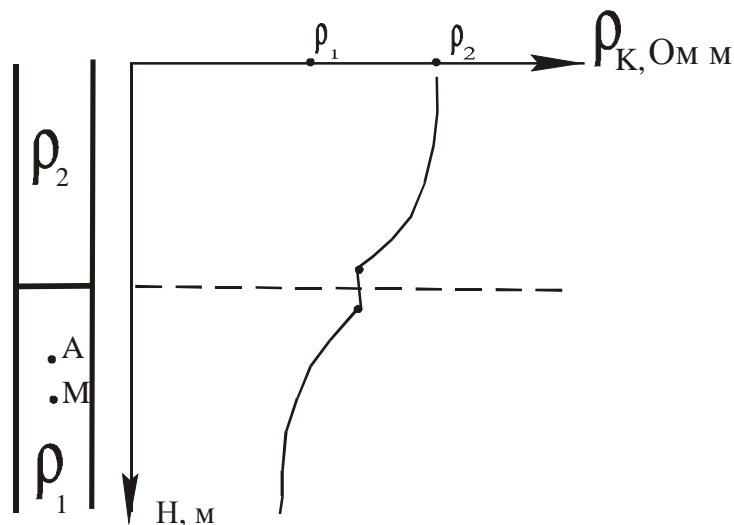


Рис.2. Форма кривых  $\rho_k$  потенциал-зонда в присутствии контакта ( $\rho_1 < \rho_2$ )

Влияние контакта ощутимо начинает сказываться, когда питающий электрод  $A$  приблизится к нему на расстояние двух-трех длин зонда ( $L$ ), что приводит к возрастанию плотности тока на промежутке  $M_\infty$  вследствие экранирующего действия вышележащей среды большего сопротивления. С увеличением плотности тока ( $j$ ) связано постепенное повышение  $\rho_k$ . Влияние экранирования  $L$ , максимально, когда электрод  $A$  вплотную подойдет к контакту. Поэтому с

учетом точки замера  $r_{k1}$  достигает наибольшего значения на расстоянии от контакта, равном  $L/2$ . Предельное значение  $r_{k1} \rightarrow 2\rho_1$  будет при  $\rho_2 \rightarrow \infty$ , так как в этом случае ток полностью отражается контактом и распространяется только в нижнем полупространстве. Практически  $r_{k1} \cong 2\rho_1$  уже при  $\rho_2/\rho_1 \cong 100$ .

Далее, когда зонд продолжает двигаться вверх, его питающий и приемный электроды разделяются контактом и на кривой  $r_k$  наблюдается площадка, протяженность которой равна  $L$ .

При входе зонда целиком в верхнюю среду, плотность тока на промежутке  $M_\infty$  существенно больше ее нормального значения  $j_0$  в среде  $\rho_2$ , однако, кажущееся сопротивление  $r_k$ , даже при  $\rho_2 \gg \rho_1$ , вначале намного ниже  $\rho_2$ . Это объясняется тем, что средняя величина выражения  $(\frac{j}{j_0}\rho_{M_\infty})$  здесь еще мала, несмотря на повышенное значение плотности тока, поскольку в интервал промежутка  $M_\infty$  при расположении приемного электрода  $M$  вблизи контакта включена в основном среда  $\rho_1$  с относительно низким удельным сопротивлением.

С удалением зонда вверх от контакта вклад нижней среды в сопротивление  $\rho_{M_\infty}$  и втягивание ею части токов ослабевают, плотность тока стремится к ее нормальному значению в верхней среде и  $\rho_k$  приближается к величине  $\rho_2$ , достигая ее, когда электрод  $M$  отойдет на расстояние  $(3-5)L$  от плоскости раздела.

*Построение кривой  $r_k$  потенциал-зонда в высокоомных пластах.* Рассмотрим особенности кривых  $\rho_k$  потенциал-зонда в пластах конечной мощности, когда на распределение поля источника тока из-за близости расстояний одновременно влияют и подошва, и кровля пласта, т.е. не одна, а две границы раздела.

При расположении зонда в подстилающих породах на большом удалении от пласта, последний не искажает поля источника, плотность тока в окрестности электрода  $M$  близка к ее нормальному значению в нижней среде ( $j = j_0$ ) и  $r_{k1} = r_1$  (рис. 3).

Влияние пласта начинает сказываться на расстоянии двух-трех длин зонда ( $L$ ) от его подошвы и приводит к постепенному увеличению плотности тока  $j$  и увеличению кажущегося  $r_k$  по мере приближения зонда к пласту. Отметим, что максимальное значение  $r_{k1}$  при расположении электрода  $M$  на контакте в

данном случае может быть ниже, чем при исследовании пласта бесконечной мощности, в связи с включением в промежуток  $M_\infty$  верхней среды низкого со-

противления. Влияние среды с  $\rho_3 < \rho_2$  проявляется и в том, что при разделении электродов  $A$  и  $M$  нижней границей раздела  $r$  не остается постоянным, а продолжает уменьшаться, поэтому площадка в переходной зоне, в которой ранее  $\rho_k = \text{const}$ , является *наклонной*.

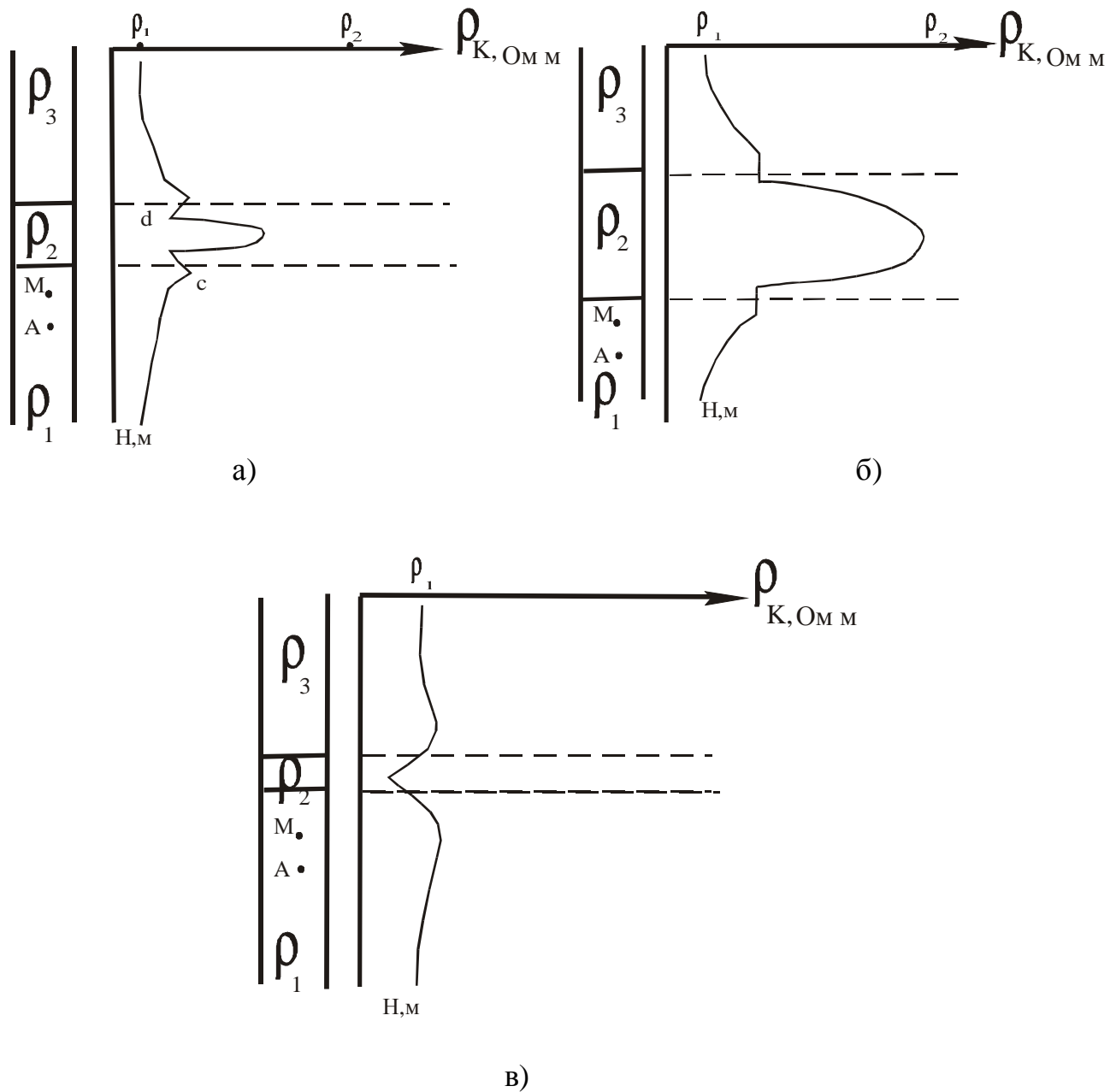


Рис.3. Форма кривой  $\rho_k$  потенциал зонда в пласте ( $\rho_1 = \rho_3 < \rho_2$ );  
а)  $h=2L$ ; б)  $h=4L$ ; в)  $h=L$



При входе электродов зонда в пласт  $r_{k11}$  сначала значительно ниже  $\rho_2$

из-за ответвления тока в нижнюю проводящую среду. При дальнейшем продвижении зонда по пласту экранирующее действие последнего ослабевает, и  $r_k$  достигает максимума в центре пласта. Поскольку при этом в промежуток  $M_\infty$  значительный вклад вносит верхняя среда  $\rho_3$  с низким сопротивлением (рис.3,а), величина  $j$  здесь ниже  $j_0$  и  $r_{k11}^{\max}$  в отличие от пласта неограниченной

мощности меньше  $\rho_2$  (рис.3, б). Далее вклад среды  $\rho_3$  в  $\rho_{M_\infty}$  возрастает, поэтому  $\rho_k$  снижается, образуя верхний слой максимума, формирование которого заканчивается на расстоянии от кровли пласта, равном  $\overline{AM}/2$  ( $L/2$ ). Подъем площадки на верхней границе раздела связан с ослабевающим влиянием нижней, более проводящей среды.

При выходе зонда из пласта плотность тока в конце площадки завышена, так как питающий электрод находится на верхнем контакте, отталкивающих токовых линии. Затем  $j$  постепенно падает, поле становится все более однородным и  $r_{k11}$ , приближается к  $\rho_3$ , уравниваясь с ним на расстоянии  $(2-3) L$ .

Особое место при исследованиях с потенциал-зондом занимает случай, когда  $h \ll L$  (рис.3, в). Он характерен тем, что наблюдавшийся ранее максимум в центре пласта полностью исчезает и вместо него возникает минимум («кратер»), ограниченный двумя «горбами». Объясняется это тем, что, во-первых, в пласте высокого сопротивления малой мощности занижена плотность тока из-за ответвления его в нижнюю проводящую среду, во-вторых, велик вклад в  $\rho_{M_\infty}$  верхней среды с низким сопротивлением из-за невыгодного соотношения объемов сред с сопротивлением  $\rho_2$  и  $\rho_3$ . Все это приводит к тому, что при  $h < L$  минимум  $\rho_k$  с уменьшением мощности пласта становится все более глубоким. Потенциал-зонд практически непригоден для выделения маломощных пластов высокого сопротивления. По данным КС с потенциал-зондом не удастся даже однозначно выделить такие пласты, не говоря уже об оценках их удельного сопротивления.

Более благоприятно применение потенциал-зондов для исследования пластов низкого сопротивления (рис. 4).

Значение  $\rho_k$  в середине пластов конечной мощности здесь выше, чем при  $h \rightarrow \infty$ , однако, даже при  $h < L$  (см. кривую б) характерная особенность кривых  $\rho_k$  (минимум против пласта) сохраняется. Связано это с тем, что вклад маломощного проводящего пласта в  $\rho_{M_\infty}$  больше, чем вклад тонкого непроводящего пласта.

Границы пластов низкого сопротивления относятся к середине наклонных площадок, за исключением случая  $h < L$  (кривая б). Длина наклонных площадок в данном случае сокращается из-за наблюдаемого разделения электродов не только контактами, но и самим пластом.

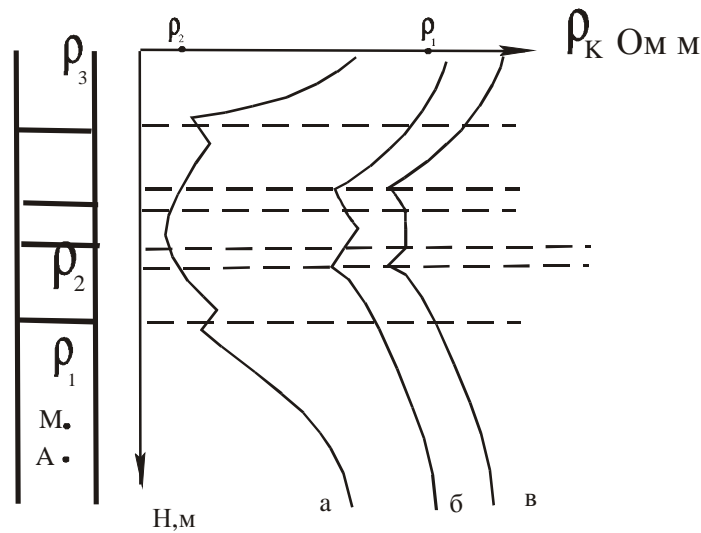


Рис. 4. Форма кривых  $\rho_k$  потенциал-зонда ( $\rho_1 = \rho_3 < \rho_2$ ):  
а)  $h=4L$ ; б)  $h<L$ ; в)  $h=L$

Согласно теории [10–12], при этом плотность тока и  $\rho_k$  стабильны, что выражается в появлении площадки теперь уже в центре пласта, протяженность которой равна  $L-h$  (рис.4, в).

*Построение кривых КС для градиент-зонда в присутствии контакта.* Когда зонд находится в среде низкого сопротивления  $\rho_1$ , вдали от границы раздела со средой высокого сопротивления (см. рис. 5),  $j = j_0$  и  $\rho_{k_1} = \rho_1$ . Приближение питающего электрода к контакту вызывает повышение  $j$  вследствие экранирования тока верхней средой высокого сопротивления и увеличение  $\rho_{k_1}$ , которое достигает максимума при расположении электрода  $A$  на контакте. Далее питающий и приемные электроды разделяются контактом и на кривой  $\rho_k$  возникает площадка с  $r_{k_{1-11}} = \text{const}$ . Точку замера  $O$  в градиент-зондах, как уже говорилось, выбирают в середине отрезка  $\overline{MN}$ , поэтому площадка начинается на расстоянии  $L = \overline{AO}$  от контакта. Протяженность ее равна длине зонда  $L$ .

Момент пересечения контакта приемными электродами характеризуется ярко выраженным скачком  $\rho_k$ , который вызван резким изменением величины  $\rho_{MN}$  при входе приемных электродов в среду с  $\rho_2$ . Величину кажущегося сопротивления  $r_{k_1}^{\max}$  в этом максимуме можно оценить как  $r_{k_1} = \frac{2r_1 r_2}{r_1 + r_2}$  и при  $\rho_2 \rightarrow \infty$   $\rho_{k_{II}} \rightarrow 2\rho_2$ , достигая этого асимптотического значения при  $\rho_2/\rho_1 \cong 100$ .

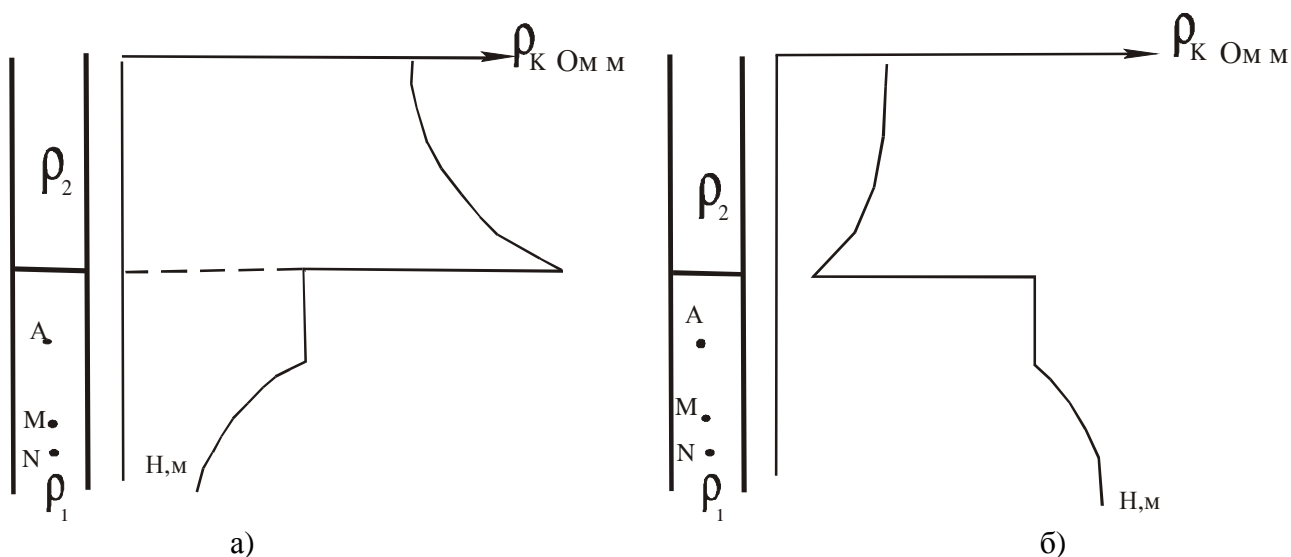


Рис.5. Форма кривых  $\rho_k$  градиент-зонда в присутствии контакта: а)  $\rho_1 < \rho_2$ ; б)  $\rho_1 > \rho_2$

Распределение плотности тока вблизи плоскости раздела при пересечении последовательным градиент-зондом контакта сред высокого и низкого сопротивлений (рис.5, б) обусловлено втягиванием тока в верхнее полупространство. Поэтому в отличие от случая а плотность тока  $j$  в среде с  $\rho_1$  и кажущееся сопротивление  $\rho_k$  здесь уменьшается до тех пор, пока электроды зонда  $A$  и  $MN$  не расположатся по разные стороны от контакта. После площадки с  $\rho_{k_{I-II}} = \text{const}$  на кривых  $\rho_k$  возникает минимум, обусловленный скачкообразным уменьшением удельного сопротивления в окрестности приемных электродов, а также пониженным значением плотности тока в этой области из-за того, что электрод  $A$  в этот момент находится всего на расстоянии  $L$  от контакта. Минимум тем резче и глубже, чем больше отношение  $\rho_1/\rho_2$ .

Величину  $r_{k_{11}}^{\min}$  нетрудно оценить как значение  $r_{k_{11}}^{\max}$  в случае а:

$$r_{k_{11}}^{\min} = \frac{2r_2}{1 + \frac{r_2}{r_1}}. \quad (3)$$

*Построение кривой  $r_k$  градиент-зонда в пластах.* В отличие от кривых потенциал-зондов, кривые  $\rho_k$  градиент-зондов в пластах асимметричны, причем последовательный зонд максимумом  $\rho_k$  отбивает подошву, а обращенный – кровлю пласта высокого сопротивления (отсюда часто употребляемые названия «подошвенный» и «кровельный» зонды).

Кривые  $\rho_k$  обращенного зонда представляют зеркальное изображение кривых последовательного градиент-зонда в плоскости, проходящей через середину пласта и параллельной ее границам. Поэтому, имея кривые, снятые каким-либо одним типом градиент-зонда, легко представить кривые для градиент-зонда той же длины, но с противоположной ориентацией электродов.

Остановимся на особенностях кривых  $\rho_k$  градиент-зонда в пластах конечной мощности при одновременном влиянии на электрическое поле источника тока обеих границ раздела. Соответствующие расчетные кривые для последовательного градиент-зонда приведены на рис. 6. Прежде чем рассматривать, как выделяются пласты малой мощности при разных соотношениях между  $h$  и  $L$ , заметим, что при  $L < h < 5L$  кривые  $\rho_k$  градиент-зондов сохраняют все особенности кривых для  $h \rightarrow \infty$ , за исключением наклонов площадок на границе пластов.

Наибольшие изменения кривых наблюдаются, когда  $L \geq h$  (рис. 6а). Главные элементы кривых  $\rho_k$  последовательного градиент-зонда при  $h=1,14L$  еще сохраняются: отчетливо видны максимум в подошве пласта, минимум в его кровле и площадки при разделении питающего и приемных электродов контактом, однако последние из-за усиления эффектов экранирования и втягивания тока становятся даже не наклонными, а изогнутыми, поскольку плотность тока из-за близости плоскостей раздела изменяется не линейно. На формирование экстремума, обусловленного самим пластом, уже не хватает места (для этого остается лишь  $1/7 h$ ). Он очень узок и  $\rho_{k_{II}}$  в нем едва достигает  $\rho_2$ , в то время, как в мощном пласте при том же соотношении сопротивлений величина  $r_{k_{II}}^{\max}$  превосходила бы  $\rho_2$  более, чем в 1,5 раза.

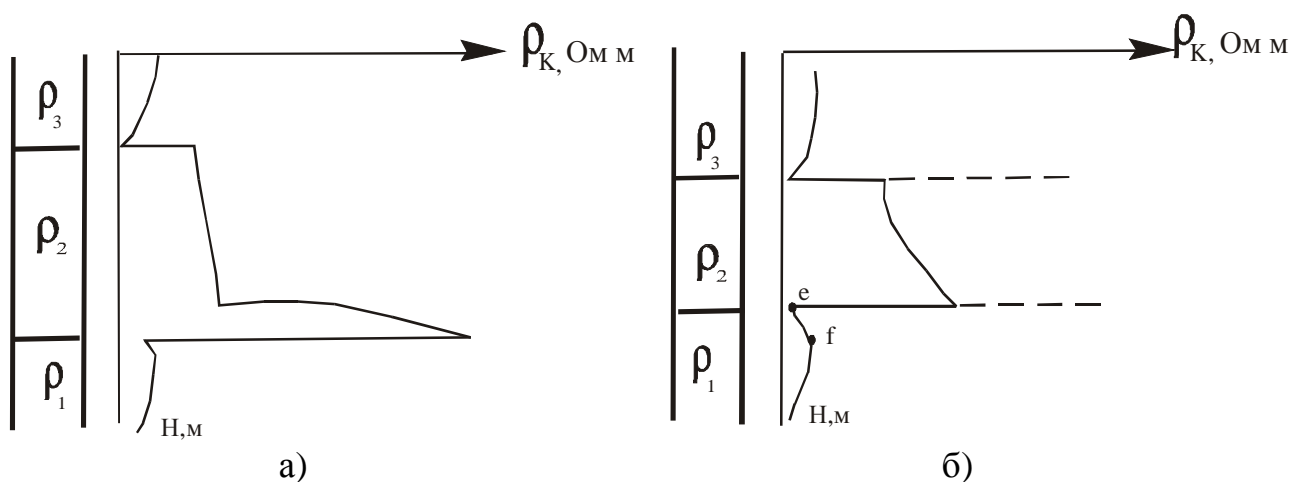


Рис.6. Форма кривых последовательного  $\rho_k$  градиент-зонда в пластах высокого сопротивления: а)  $h/L=1,14$ ; б)  $h/L=1$

Самыми невыгодными для градиент-зондов являются пласты высокого сопротивления с  $h=L$  (рис. 6б). Основной максимум при  $h/L=1$  полностью исчезает и вместо него остается лишь подъем  $\rho_{k_{I-II}}$  в данном случае от  $2\rho_1$  до  $3\rho_1$ , который должен зависеть не только от  $\rho_2/\rho_1$ , но и от соотношения между  $h$  и  $L$ . В целом из-за нивелирования кривых  $\rho_k$  пласт с большим  $\rho$  при  $h=L$  выделяется

на диаграммах  $\rho_k$  градиент-зондов нечетко, и применять их для исследования таких пластов нецелесообразно.

#### *Форма кривых КС в пачках пластов*

Теперь, когда имеется представление о характере кривых  $\rho_k$  градиент-зондов при исследовании одиночных пластов, рассмотрим более сложный случай пачки пластов. Из всего многообразия возможных сочетаний возьмем пачку, представленную чередованием тонких однородных пластов высокого и низкого сопротивлений одинаковой мощности, где видно, что происходит преобразование не только значений  $\rho_k$ , но и всего вида кривых с изменением соотношения между мощностью пласта и длиной зонда вследствие разного проявления эффективности экранирования тока.

Общая особенность кривых кажущегося сопротивления в пачке пластов состоит в том, что они представляют сочетание характерных элементов для отдельных пластов и прослоев, проявляющиеся на фоне экранирующего действия всех остальных пластов пачки. Форма кривых зависит от мощности  $h$  пластов и прослоев, типа зонда и соотношения между его длиной  $L$  и суммарной мощностью  $H$  пачки в целом.

При расчленении пачки обычно ориентируются на выделение проводящих прослоев по закономерностям кривых  $\rho_k$  для тонких пластов низкого сопротивления: одна из границ проводящего прослоя устанавливается по максимуму в его подошве или кровле в зависимости от применения соответственно обращенного или последовательного градиент-зонда, а другая – по смежному с этим экстремумом минимуму, выбор которого также производится с учетом типа зонда. Если картина получается неясной, привлекают диаграмму  $\rho_k$ , полученную с зондом другой длины. В общем же для исследования пачек пластов более благоприятно проведение КС с микрозондами.

Кривые  $\rho_k$  последовательного градиент-зонда в пачках пластов, как и во всех других случаях, представляют зеркальное изображение кривых обращенного градиент-зонда в плоскости, проходящей через середину пачки и параллельной ее границам.

Уже говорилось, что для выделения маломощных пластов высокого сопротивления потенциал-зонды непригодны. В тонкослоистых средах потенциал-зонды дают трудно интерпретируемые результаты и поэтому для исследования пачек пластов вообще не применяются.

*Факторы, искажающие формы кривых КС.* Меньше всего влияет наклон пластов на форму кривых  $\rho_k$  потенциал-зонда: в пластах высокого сопротивления они имеют обычный вид симметричных максимумов и в основном лишь увеличивается их ширина, которая определяется уже не истинной, а видимой мощностью пласта, равной  $h/\cos \alpha$  ( $\alpha$  – угол пересечения пласта скважиной) [10-12].

Большие изменения могут претерпевать кривые  $\rho_k$  градиент-зондов. Главные элементы их сохраняются лишь до  $\alpha \leq 45^\circ$ , хотя максимумы  $\rho_k$  уменьшаются по амплитуде, смещаются в сторону падения пласта, а минимумы при

$\alpha > 45^\circ$  вообще исчезают [10-12]. Очевидно, что ширина «пиков» в пределах пласта, экранных максимумов в тонких пластах и протяженность сопряженных с ними площадок также определяются не истинной, а видимой мощностью пласта. При  $\alpha > 45^\circ$  кривые  $\rho_k$  практически утрачивают все особенности кривых градиент-зондов и становятся похожими на кривые потенциал-зондов.

Буровой раствор, заполняющий скважину, обычно имеет более низкое удельное электрическое сопротивление, чем породы. Часть тока поэтому при проведении измерений в реальных условиях ответвляется в скважину. Эффекты экранирования на контактах ослабляются, и кривые  $\rho_k$  в итоге сглаживаются. В связи с тем, что плотность тока в породах по сравнению со случаем сплошной среды падает, значения  $\rho_k$  в максимумах уменьшаются и даже в мощных пластах высокого сопротивления могут стать много ниже удельного электрического сопротивления. Не говоря о маломощных пластах, где занижения  $\rho_k$  проявляются еще более заметно.

Величина  $\rho_k^{\max}$  при  $\rho_2 \rightarrow \infty$  прямо пропорциональна сопротивлению бурового раствора, обратно пропорциональна квадрату диаметра скважины и зависит от отношения  $L/h$ .

При использовании трехэлектродных потенциал-зондов влияние скважины может привести к нарушению симметрии кривой  $\rho_k$ . Эти изменения вызваны тем, что оба приемных электрода оказались в пределах пласта. Поскольку сопротивление бурового раствора скважины ( $\rho_c$ ) низкое, падение потенциала на интервале  $\overline{MN}$  небольшое ( $U_M \approx U_N$ ) и потенциал-зонд  $AMN$  становится подобным соответствующему градиент-зонду с вытекающими из этого последствиями: в подошве пласта появляется максимум, характерный для последовательного градиент-зонда. Приведенный пример показывает недостатки трехэлектродных и целесообразность использования идеальных потенциал-зондов для исследования пластов очень высокого сопротивления, о чем упоминалось выше. Если по тем или иным причинам необходимо все же применять трехэлектродные потенциал-зонды, то они должны удовлетворять условию  $\overline{MN} (\overline{AB}) > h$  при  $\overline{AM} \cong 1/3 h$ , тогда значения  $\rho_k^{\max}$  в центре пласта будут наиболее высокими.

Задание к выполнению практической работы.

1. Построить кривые  $\rho_k$  для одной границы раздела и отношений  $\rho_2/\rho_1 = 1/8; 1/4; 1/2; 3; 4; 8$  в случае применения потенциал - и градиент-зонда.
2. Произвести анализ результатов, выяснить:
  - а) для какого типа зонда  $\rho_k$  быстрее стремится к истинному сопротивлению по мере удаления его от границы раздела;
  - б) с какими зондами против границ раздела получаются экстремальные значения  $\rho_k$ .
3. Построить кривые кажущегося сопротивления для мощного пласта высокого сопротивления, если известно, что  $\rho_1 = \rho_3$ ;  $\rho_2 = 10 \rho_1$ ;  $h = 10L$ :
  - а) для потенциал-зонда;
  - б) для последовательного и обращенного градиент-зонда.

4. Построить кривые кажущегося сопротивления для мощного пласта низкого удельного сопротивления, если  $\rho_2 = 0,1 \rho_1$ ;  $\rho_1 = \rho_3$ ;  $h = 10L$ :

а) для потенциал-зонда;

б) для последовательного и обращенного градиент-зондов.

Объяснить характер кривых, причины асимметрии на диаграммах градиент-зондов, причины возникновения максимумов и минимумов против границ раздела.

5. Построить кривые кажущегося сопротивления для условий  $\rho_2 = 10\rho_1$ ;  $\rho_2 = \rho_3$ ;  $h = 5L, 2L, L, 0,5L, 0,25L$ :

а) для потенциал-зонда;

б) для последовательного и обращенного градиент-зондов.

Объяснить особенности полученных кривых, отметить, при каких условиях возникают экранные максимумы и минимумы на диаграммах  $\rho_k$ , объяснить причины их возникновения.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

### Правила определения границ и мощности пластов по диаграммам КС

Поскольку кровля пластов с большим  $\rho$  одновременно служит подошвой пластов с малым  $\rho$ , и наоборот, то приведены данные только для пластов высокого сопротивления.

*Кривые потенциал-зонда при  $h > L$*

При интерпретации кривых  $\rho_k$  потенциал-зондов площадки перехода границ чаще всего выражены нечетко. Согласно рис. 2, 3, подошва пласта расположена на расстоянии  $\overline{AM}/2 = L/2$  от нижнего края этого купола (точка  $c$ ), а кровля – на том же расстоянии от верхнего края этого купола (точка  $d$ ). Мощность пласта  $h = \overline{cd} + \overline{AM}$ . Если применяется зонд небольшой длины ( $\approx 10$  см), что имеет место при исследованиях скважин угольных месторождений, поправками на длину зонда иногда пренебрегают и границы пластов устанавливают непосредственно по точкам  $c$  и  $d$  резкого изменения  $\rho_k$ .

Ниже приведены основные формулы определения параметров пластов

1. Глубина отметки кровли  $H_k$  определяется как

$$H_k = H_d - L/2, \quad (4)$$

где  $H_d$  – глубинная отметка начала верхнего участка квазипостоянного сопротивления кривой.

2. Глубина отметки подошвы  $H_n$  пласта определяется по формуле

$$H_n = H_c + L/2, \quad (5)$$

где  $H_c$  – глубинная отметка начала нижнего участка квазипостоянного сопротивления

3. Мощность пласта  $h$  находится как

$$h = H_c - H_d + L. \quad (6)$$

*Кривые последовательного градиент-зонда при  $h > L$  интерпретируются в следующем порядке:*

1. Глубина отметки кровли пласта определяется по формуле

$$H_k = H_m - L, \quad (7)$$

где  $H_m$  – глубинная отметка начала нижнего участка постоянного тока.

2. Мощность пласта находится как

$$H_{r_k}^{\max} - H_{r_k}^{\min} = h, \quad (8)$$

где  $H_{r_k}^{\max}$ ,  $H_{r_k}^{\min}$  – глубинные отметки соответственно максимального и минимального значения  $\rho_k$  на диаграмме КС.

3. Глубина залегания подошвы пласта находится после того, как найдены глубинная отметка кровли пласта и его мощность.

*На кривых обращенного градиент-зонда при  $h > L$  параметры определяются по следующим формулам:*

1. Глубина отметки подошвы пласта ( $H_n$ ) определяется как

$$H_n = H_m + L. \quad (9)$$

Определение  $H_m$  см. формулу (7).

2. Мощность пласта в данном случае определяется как:

$$H = H_{r_k}^{\min} - H_{r_k}^{\max}. \quad (10)$$

3. Глубина залегания кровли пласта находится после определения глубинного положения подошвы пласта и его мощности.

*Кривые градиент-зонда при  $h \leq L$  интерпретируются по следующим правилам:*

1. Глубина залегания подошвы пласта определяется в случае последовательного расположения электродов по формуле:

$$H_n = H_f - L, \quad (11)$$

где глубинная отметка  $H_f$  определяется в соответствии с рис. 6,б

2. В этом же случае расположение питающего и приемного электродов в скважине позволяет определить мощность пласта как

$$h = H_f - H_e, \quad (12)$$

где глубинные отметки  $H_f$  и  $H_e$  определяются в соответствии с рис. 6, б.

3. Мощность пласта может определяться способом А.И. Железняк, основанным на определении мощности  $h$  по ширине главного пика  $\rho_k$  в пласте на уровне 2/3 его амплитуды:

$$H = 2/3h r_k^{\max}. \quad (13)$$

Глубинные отметки кровли пласта находятся после установления его мощности и глубины залегания подошвы.

В случае исследования скважин обращенными градиент-зондами:

1. Глубина залегания подошвы пласта при  $h > L$  определяется как

$$H_n = H_m + L, \quad (14)$$

где положение точки  $m$  определяется в соответствии с рис. 6а.

2. Мощность пласта при  $h > L$  рассчитывается по разности:



$$h = H r_k^{\min} - H r_k^{\max}. \quad (15)$$

Затем определяется кровля пласта.

*Задание к выполнению практической работы*

По вышеприведенным формулам определить глубинные отметки кровли, подошвы пластов и их мощность по кривым КС различных типов зондов и различным соотношениям мощности пласта к длине зонда.

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

#### Интерпретация кривых бокового каротажного зондирования

При интерпретации данных КС наряду с отбивкой границ пластов необходимо оценивать величину их удельного электрического сопротивления. Знание удельного сопротивления позволяет более однозначно судить о природе пластов, поскольку удельное сопротивление является одним из характерных физических параметров геологических образований определенного литологического типа, в том числе таких полезных ископаемых, как нефть, уголь, каменная соль и др. Определить удельное сопротивление по измерениям с каким-либо одним зондом удастся лишь в немногих случаях из-за влияния скважины, ограниченной мощности пласта и других причин. Поэтому для определения  $r$  используют закономерности изменения  $r_k$  при измерениях с зондами разной длины, которые устанавливают с помощью бокового каротажного зондирования.

Измеряя  $r_k$  с зондами все возрастающей длины, можно избавиться от искажающего влияния скважины и определить истинное значение  $r$ . В этом заключается сущность методики БКЗ.

#### *Палетки бокового каротажного зондирования (БКЗ)*

Серии расчетных двухслойных кривых представляют собой палетку для интерпретации данных бокового каротажного зондирования с градиент-зондами (БКГЗ). Для удобства сопоставления с фактическими кривыми, так же, как и в вертикальном электрическом зондировании (ВЭЗ) в полевой электроразведке, палетки БКЗ строятся в двойном логарифмическом масштабе. Значения кажущихся сопротивлений нормированы к сопротивлению бурового раствора  $r_c$  ( $r_p/r_c$  – модуль кривой) и отложены по вертикали (ось сопротивлений). Нормированные к диаметру скважины  $d_c$  длины зондов  $L$  отложены по горизонтали (ось зондов). Пересечение осей сопротивлений и зондов в точке с координатами ( $r_p/r_c = 1$ ,  $L/d_c = 1$ ) образует так называемый крест палетки, который служит отправной точкой при интерпретации.

Все палеточные кривые имеют левую и правую асимптоты. Левая асимптота  $\rho_k = \rho_c$ , наблюдаемая при малых  $L$ , характеризует скважину, и кажущееся сопротивление здесь равно удельному сопротивлению бурового раствора.

При  $\rho_p > \rho_c$  (кривые БКЗ1- а) с увеличением длины зонда значения  $\rho_k$  возрастают, а при больших  $L$  приближаются к  $\rho_p$ . Характерным свойством кривых

БКЗ1- а является наличие у каждой из них максимумов перед правой асимптотой, обусловленных особенностями деформации электрического поля при цилиндрических границах раздела: вследствие экранирования тока «со всех сторон» поле сжимается так, что плотность тока в скважине на определенном расстоянии от источника становится большей, чем в среде с  $\rho_{\text{п}}$ .

При  $\rho_{\text{п}} < \rho_{\text{с}}$  с увеличением длины зонда  $\rho_{\text{к}}$  уменьшается, и перед тем, как кривая БКЗ выйдет на правую асимптоту, на ней формируется минимум  $\rho_{\text{к}} < \rho_{\text{п}}$ , который обусловлен более сильным втягиванием поля проводящей средой с цилиндрической границей раздела по сравнению со средой с плоскими границами (БКЗ1-б).

Отличие кривых (БКПЗ) состоит в том, что влияние среды с  $\rho_{\text{п}}$  на  $\rho_{\text{к}}$  потенциал-зондов начинает сказываться при меньших отношениях длины зонда к диаметру скважины. К правой асимптоте они подходят при меньших  $L$ , чем кривые градиент-зонда.

Двухслойные палетки БКПЗ для потенциал-зондов по своей форме в принципе более благоприятны для определения удельного сопротивления. Они проще, и поэтому легче выбрать необходимую кривую даже по левой ветви. К тому же БКПЗ при тех же  $r_{\text{п}}/r_{\text{с}}$  можно осуществить с меньшими по длине зондами, чем БКГЗ. Однако при выборе типа зондирования необходимо иметь в виду, что БКЗ чаще всего используется для исследования пластов высокого сопротивления, которые при  $h \leq L$  потенциал-зондом не выделяются. Поэтому на практике обычно отдают предпочтение БКГЗ.

Остановимся на особенностях трехслойных палеток БКГЗ.

В данном случае значения  $\rho_{\text{к}}$  определяются не одним, а тремя относительными параметрами:  $r_{\text{п}}/r_{\text{с}}$ ,  $D/d_{\text{с}}$  и  $r_{\text{з.п}}/r_{\text{с}}$ , (где  $r_{\text{з.п}}$  – сопротивление зоны проникновения). При расчетах трехслойных кривых значения двух параметров фиксируются так, что имеются серии палеток, различающихся значением отношений  $D/d_{\text{с}}$  и  $r_{\text{з.п}}/r_{\text{с}}$ . Форма трехслойных кривых зависит от того, больше или меньше единицы отношение  $r_{\text{з.п}}/r_{\text{с}}$ .

При  $r_{\text{з.п}}/r_{\text{с}} < 1$  проникновение бурового раствора в пласт уменьшает удельное сопротивление породы в переходной зоне и проникновение называется понижающим. Кривые БКГЗ при понижающем проникновении по форме сходны с двухслойными кривыми, однако отличаются от них более пологой левой ветвью, смещением максимума вправо и меньшим превышением его над правой асимптотой. При очень большом понижающем проникновении трехслойные кривые приближаются к двухслойной кривой с модулем  $r_{\text{п}}/r_{\text{с}} = r_{\text{з.п}}/r_{\text{с}}$ .

При повышающем проникновении, наоборот, максимум  $\rho_{\text{к}}$  перед правой асимптотой по сравнению с двухслойными кривыми увеличивается по амплитуде, он смещается влево, так что средняя часть трехслойной кривой оказывается как бы приподнятой относительно двухслойной кривой. Предельной для трехслойной палетки БКГЗ является также двухслойная кривая, которая отвечает случаю бесконечно большого повышающего проникновения с модулем  $r_{\text{п}}/r_{\text{с}} = r_{\text{з.п}}/r_{\text{с}}$ .

Общая закономерность для всех трехслойных палеток состоит в том, что трехслойные кривые достигают правых асимптот  $\rho_k = \rho_n$  при относительно больших длинах зондов по сравнению с двухслойными кривыми.

#### *Условия эквивалентности трехслойных кривых БКЗ*

В БКЗ, так же, как и при интерпретации данных вертикальных электрозондирований, необходимо учитывать действие принципа эквивалентности, состоящего в том, что при определенных условиях трехслойные кривые могут не отличаться друг от друга или совпадать с двухслойными кривыми. Например, при понижающем проникновении правая ветвь трехслойной кривой эквивалентна двухслойной кривой с тем же модулем, но для некоторой фиктивной скважины с параметрами  $\rho_f, d_f$ , если проводимость двухслойного и трехслойного разрезов в направлении оси скважины одинакова.

#### *Использование палеток БКЗ*

В основе методики интерпретации БКЗ лежит метод подбора, который состоит в сравнении фактических кривых зондирований, построенных по характерным значениям  $\rho_k$ , с палеточными кривыми. Начинают сопоставление с двухслойными палетками, прибегая в случае необходимости к интерполяции между соседними расчетными кривыми. Это позволяет установить факт наличия или отсутствия проникновения раствора. Если фактическая кривая хорошо совпадает с какой-либо палеточной двухслойной кривой, по асимптоте последней находят значение  $\rho_n$ . Когда выяснено, что интерпретируемая кривая – трехслойная, определяют характер проникновения. Если фактическая кривая пересекает палеточные, переходя от кривых с меньшим модулем к кривым с большим модулем, имеет место повышающее проникновение, и наоборот. Выяснение характера проникновения облегчает выбор необходимых трехслойных палеток БКЗ. Для упрощения интерпретации пользуются вспомогательными палетками и приемами замены трехслойных кривых эквивалентными двухслойными.

#### *Приближенные определения удельного электрического сопротивления*

В случаях, когда достаточно ориентировочных оценок удельного сопротивления, прибегают к упрощенным способам определения его величины по замерам с одним-двумя зондами. Эти оценки можно также осуществить с помощью палеток БКЗ. Зная  $\rho_k / \rho_c$  и  $L/d_c$ , находят двухслойную кривую на палетках БКПЗ или БКГЗ, на которую ложится точка с этими координатами, и по модулю кривой определяют величину  $\rho$ . Для ориентировочных оценок составлены также специальные палетки зависимостей  $\rho_n / \rho_k$  при  $L/d_c$  или  $h/d_c = \text{const}$ , пользоваться которыми удобнее.

Упрощенные способы оценки удельного сопротивления по двухслойным или составленным по ним специальным палеткам целесообразно применять для определения  $r$  пластов большой мощности, так как дополнительные поправки на ограниченную мощность и влияние вмещающих пород сводят на нет все их преимущества. Они правомочны только при малой пористости пород и дают

большие погрешности при исследовании проницаемых пластов в песчано-глинистых разрезах.

*Задание к выполнению практической работы*

Данные БЭЗ интерпретируются в следующем порядке.

1. Для каждого выделенного пласта по диаграмме КС определенной длины зонда устанавливается значение его кажущегося сопротивления. При этом следует придерживаться правил, учитывающих влияние на величину  $r_k$  удельного сопротивления пласта  $r_n$  и вмещающих пород  $r_{вм}$ , также мощности пласта  $h$ , диаметра скважины  $d_c$  и длины зонда

При  $r_n > r_{вм}$  и  $h / d_c > 16$  наиболее целесообразно снимать оптимальные значения  $r_k$ ,  $опт$ . Для этого определяется среднее кажущееся сопротивление в интервале пласта.

При сопротивлении пласта, мало отличающемся от вмещающих пород, и  $h/d_c > 16$  следует снимать с кривой  $r_k$ ,  $ср$  в средней части пласта.

При  $h \leq 16 d_c$  целесообразно снимать экстремальное значение  $r_k$ ,  $max$  если  $r_n > r_{вм}$  и  $r_k$ ,  $min$ , если  $r_n < r_{вм}$ .

2. На билогарифмическом бланке с модулем 6,25 для каждого исследуемого пласта строится фактическая кривая зависимости кажущегося сопротивления от размера зонда. На этот же бланк наносится точка с координатами, равными диаметру скважины  $d_c$  и сопротивлению бурового раствора  $r_p$ . В случае пластов малой мощности строится дополнительный «крест», представляющий собой пересечение линий  $x = h$  и  $y = r_{вм}$  и носящий название точки учета мощности.

3. При интерпретации данных БЭЗ используются палеточные кривые. Чтобы выбрать соответствующую палетку, необходимо установить тип фактической кривой зондирования. В некоторых случаях тип кривой и нужная палетка могут быть установлены по следующему ряду признаков:

3.1. Двухслойные кривые наблюдаются в плотных породах, в коллекторах с глубокой зоной проникновения; в коллекторах, где сопротивление зоны проникновения  $r_{zn}$  мало отличается от сопротивления пласта.

3.2. Трехслойные кривые при наличии проникновения, повышающего сопротивление пласта ( $r_{zn} > r_n$ ) наблюдается чаще всего в водоносных коллекторах с межзерновой пористостью и в нефтеносных и газоносных пластах с невысоким начальным нефтегазонасыщением при вскрытии их при пресном фильтре промывочной жидкости.

3.3. Трехслойные кривые при наличии проникновения, понижающего сопротивление пласта ( $r_{zn} < r_n$ ), наблюдаются в продуктивных нефте- газонасыщенных коллекторах.

Если фактическая кривая БЭЗ не имеет явных указанных выше признаков, то типы кривой определяются после сопоставления данной кривой с двухслойной палеткой.

Из числа двухслойных палеток БЭЗ выбирают ту, на которой при совмещении крестов палетки и практической кривой зондирования кривые палеточная и практическая совпадают наилучшим образом.

4. В случае, когда практическая кривая не совпадает с двухслойными палеточными кривыми, она может быть рассмотрена как трехслойная, левая ветвь которой обычно характеризует сопротивление зоны проникновения фильтрами бурового раствора ( $r_{zn}$ ), а правая – сопротивление исследуемого пласта.

Левая часть интерпретируемой кривой совмещается с двухслойной палеткой. Находится отношение  $r_{zn}/r_p$  и выбирается нужная группа палеток трехслойных кривых.

При совмещении кривых с палетками отмечается положение крестов последних на бланке. По совпадению практической кривой с одной из палеточных судят об истинном удельном сопротивлении пласта. Палеточные кривые имеют своим модулем отношение  $r_{nl}/r_p = m$ ; зная  $r_p$ , находят  $r_{nl} = m r_p$ .

Для определения  $r_{nl}$  необходимо:

4.1. Совместить практическую кривую зондирования с двухслойной палеточной кривой и определить модуль левой ветви или отношение  $r_{zn}/r_p$ . Последнее позволяет выбрать группу соответствующих трехслойных палеток с модулем, близким к  $r_{zn}/r_p$ .

4.2. Из данной группы палеточных кривых по лучшему совпадению с практической кривой зондирования подбирается палетка с наиболее близкими значениями модуля  $D/d_c$ , где  $D$  – глубина зоны проникновения, определяемая по практической трехслойной кривой.

5. Результаты интерпретации данных БЭЗ регистрируются в табличной форме (табл.1).

Таблица 1

Пример интерпретации данных бокового электрического зондирования

№ пласта	$h_1, м$	$h_2, м$	$H, м$	$d_c, м$	$S_p, Ом·м$	$r_k$ пласта, Ом·м						$r_n, Ом·м$	$r_{zn}, Ом·м$	$D, м$
						AO=0.3	AO=0.65	AO=1.3	AO=2.67	AO=4.24	AO=8.25			
1	10	20.8	10.8	0.25	2.8	12	24	22	6.2	2.4	1.4	1.6	28	1.5

Строятся точки кривой  $r_k = f(AO)$  на логарифмическом бланке.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

### Выбор стандартных зондов КС

Чтобы облегчить сопоставление получаемых данных, при документации разрезов скважин производственный каротаж по методу сопротивления обычно проводят одним стандартным зондом. Стандартный зонд должен отвечать требованиям четкого выделения пластов, а измеренные кажущиеся сопротивления по возможности должны быть близки или, по крайней мере, пропорциональны удельному сопротивлению пород. С учетом рассмотренных зависимостей показаний КС от соотношения между длиной зонда и мощностью пласта, влияния скважины и расстояния между приемными электродами подобрать один универсальный зонд, который удовлетворял бы всем требованиям, невозможно. Поэтому при выборе стандартного зонда стремятся выполнить указанные условия для большинства пластов, представляющих практический интерес.

Обычно стандартный зонд выбирают с учетом данных БКЗ. Опыт проведения КС в районах с различным геологическим строением позволяет прийти к следующему заключению.

При исследованиях разрезов песчано-глинистых отложений в скважинах диаметром  $> 200$  мм в качестве стандартного чаще всего используется градиент-зонд *M2A0,5B*, фиксирующим пласты мощностью  $h > 0,5$  м, что достаточно для решения задач разведки нефтяных и газовых месторождений. Выбор последовательного градиент-зонда обусловлен тем, что он лучше устанавливает наличие подошвенной воды в нефтяных пластах, а это имеет значение для эксплуатации нефтяных скважин.

В скважинах структурного бурения диаметром 80-150 мм применяются зонды меньшей длины: градиент-зонд с  $L \cong 1$  м (*M1A 0,1B*) или потенциал-зонд длиной около 0,3 м (*B4A0,25M*).

При разведке угольных месторождений наиболее распространены малые зонды: градиент-зонд с  $L \cong 0,25-0,5$  м и потенциал-зонд длиной 0,2 м. Для выделения одиночных тонких пластов каменных углей высокого сопротивления рекомендуются градиент-зонды большой длины ( $L = 2-4$  м) при  $MN(AB) < h$ , хотя последнее не всегда можно использовать из-за трудностей измерения малых разностей потенциалов.

В скважинах рудных месторождений КС проводится с градиент-зондами длиной 1-2 м и потенциал-зондами длиной 0,2-0,3 м. Последние при изучении мощных толщ пород очень высокого сопротивления должны быть идеальными (двухэлектродными), поскольку при  $MN(AB) < h$  показания потенциал-зонда резко занижаются из-за влияния скважины.

В качестве дополнительных применяются зонды большего или меньшего размера по сравнению со стандартным. При исследовании пластов высокого сопротивления и тонкослоистых разрезов на нефтяных и газовых месторождениях КС дополняют боковым каротажем и микрозондовыми модификациями, которые рассматриваются ниже.

### Задание к выполнению практической работы

1. Сделать анализ БЭЗ нескольких скважин для различных геолого-геофизических участков исследуемого района и выбрать стандартный зонд КС для исследования пластов, представляющих практический интерес, с учетом диаметра зоны проникновения фильтра бурового раствора в горные породы.

2. Обосновать выбор дополнительных зондов для исследования пластов, расположенных в типовых геолого-геофизических участках района работ.

## Библиографический список

1. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. – М.: Недра, 1982.
2. Дьяков Д.И. и др. Общий курс геофизических исследований скважин./Дьяков Д.И., Леонтьев Е.Н., Кузнецов Г.С. – М.: Недра, 1984.
3. Зайченко В.Ю. Лексика прикладной геофизики // Геофизика. Тверь: ГЕРС. - 1966. - № 3.
4. Зайченко В.Ю. Основы терминологии прикладной геофизики // НТВ «Каротажник». Тверь: ГЕРС. - 1995. - № 20.
5. Зверев Г.Н., Дембицкий С.И. Оценка эффективности геофизических исследований скважин. - М.: Недра, 1982. - 224 с.
6. Ивакин Б.Н. и др. Акустический метод исследования скважин/ Ивакин Б.Н., Карус Е.В., Кузнецов О.Л. - М., 1978.
7. Кнеллер Л.Е. Алгоритм прогнозирования погрешности определения удельного электрического сопротивления по данным электрокаротажа и некоторые результаты его использования // Регион. разведка и промысловая геофизика. М.: ВИЭМС. - 1983. № 20. - С. 1-8.
8. Комаров С.Г. Каротаж по методу сопротивлений. Интерпретация. – Л., 1950.
9. Кудрявцев Ю.И., Мейер В.А. Интерпретация диаграмм каротажа магнитной восприимчивости// Вопросы геофизики: Вып.14. - Л., 1963,
10. Кудрявцев Ю.И. и др. Теоретические и экспериментальные основы каротажа магнитной восприимчивости с двухкатушечным зондом// Вопросы геофизики: Вып.16. - Л., 1966.
11. Латышева М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов исследования скважин. – М.: Недра, 1981.
12. Макаров А.Н. Метод КС и его место в комплексе каротажных работ на угольных месторождениях// Учен. зап. ЛГУ. - 1960. - № 286
13. Макаров А.Н. Скважинные геофизические исследования (каротаж)// Методы корреляции угленосных толщ и синонимии угольных пластов / Под ред. И.И. Горского. - Л., 1960.
14. Мейер В.А. Геофизические исследования скважин. - Л.: Изд-во ЛГУ 1981. - 465 с.
15. Мечетин В.Ф., Королев В.А. Двойной электромагнитный и боковой каротаж: Метод. руководство. - М.: Недра, 1991. – 80 с.
16. Павлова В.И. Решение прямой задачи для зондов БКЗ с реальными размерами электродов // Прикладная геофизика. - Вып.97. - М.: Недра. 1980. С. 209-215.
17. Петрофизика: Справочник. - М.: Недра, 1992.
18. Словарь терминов разведочной геофизики. - М.: Недра, 1989.



## Содержание

Введение.....	3
Практическая работа №1	
Построение кривых КС в присутствии контактов и пластов.....	3
Практическая работа №2	
Правила определения границ и мощности пластов по диаграммам КС.....	15
Практическая работа №3	
Интерпретация кривых бокового каротажного зондирования.....	17
Практическая работа №4	
Выбор стандартных зондов КС.....	22
Библиографический список.....	24

**Интерпретация данных каротажа по методу сопротивлений (КС)  
и бокового электрического зондирования**

Методические указания  
для студентов специальности 130201  
Составитель Т. В. Селиванова

Редкатор В.В.Сизова  
Техн.редактор Н.М.Белохонова

Подписано в печать                      Формат 60x84/16  
Усл.печ. л. 1,4 . Уч.изд.л. 1,1  
Тираж 100 экз.заказ

---

Издательство ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10  
Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10



