

УДК 550.837.6

ГЕОФИЗИКА

Б. С. ЭНЕНШТЕЙН

ОБЩИЙ МЕТОД ИНТЕРПРЕТАЦИИ КРИВЫХ ЧАСТОТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ

(Представлено академиком А. Н. Тихоновым 16 I 1975)

Широкое использование электромагнитных методов для геологических исследований связано с необходимостью существенного повышения их эффективности. В (1) дано сравнение геологической эффективности различных методов (ЧЗ, МТЗ, ДЭЗ и ЗСП) на примере большого и наиболее важного класса многослойных структур, оканчивающихся трехслойной частью класса H типа $\mu_n = \infty$ *. Показано, что метод ЧЗ характеризуется существенно повышенной эффективностью по сравнению с другими методами.

Исследованиями последнего времени выявлены новые источники повышения эффективности метода ЧЗ, связанные с возможностью: а) проведения ЧЗ с относительно малыми разносами, равными порядка одной глубине исследования (h) вместо $3h$ и более, используемых в настоящее время; б) беспараметрической количественной интерпретации результатов зондирования; в) создания общего (унифицированного) метода интерпретации, однотипного для различных классов кривых ЧЗ.

В описываемом методе интерпретации используется свойство правых асимптот кривых $ЧЗB_{z\alpha}$, наклоненных под углом $63^\circ 30'$ к оси абсцисс, состоящее в том, что их координаты не зависят от класса и типа разреза, а только от длины зондирования — разноса (r). Это определяется непосредственно из расчетов кривых $ЧЗB_{z\alpha}$ и физически вытекает из закона Био — Савара (B — вектор магнитной индукции, z указывает на его вертикальную составляющую, α указывает, что эта составляющая создана заземленным питающим электрическим диполем).

По результатам расчетов, с точностью порядка 0,5%, уравнение правых асимптот теоретических кривых $ЧЗB_{z\alpha}$ следующее:

$$\left(\frac{\rho_m}{\rho_1} \right)_a = \frac{13r^2}{(\lambda_1/h_1)_a^2} \quad (1)$$

$(\rho_m/\rho_1)_a$ — ординаты, а $(\lambda_1/h_1)_a$ — абсциссы правых асимптот кривых $ЧЗB_{z\alpha}$, ρ_m — кажущееся удельное сопротивление в ом·м, ρ_1 — удельное сопротивление верхнего слоя в ом·м, λ_1 — длина волны в верхнем слое в км, равная $\sqrt{10\rho_1/f}$, f — частота тока в гц, h_1 — мощность верхнего слоя в км).

Для практических кривых уравнение правой асимптоты следующее:

$$(\rho_m)_a = \frac{1,3r^2}{(1/\sqrt{f})_a^2} \quad (2)$$

* Обозначения, используемые в статье, общеизвестны. Их можно найти в книге А. И. Заборовского «Электроразведка», 1963.

Это означает, что правые асимптоты теоретических кривых пересекают ось абсцисс на уровне $\rho_m/\rho_{\perp}=1$ в точке $\lambda_1/h_1=3,6$ при $r=1$ км; $\lambda_1/h_1=7,2$ при $r=2$ км и т. д. Правые асимптоты практических кривых пересекают ось абсцисс на уровне $\rho_m=1$ ом·м в точке $1/\sqrt{f}=1,14$ при $r=1$ км; $1/\sqrt{f}=2,28$ при $r=2$ км и т. д. независимо от класса разреза и количества слоев.

Поскольку разнос всегда известен, то для любой кривой ЧЗВ_з легко провести на графике правую асимптоту независимо от того, достаточно ли полно выражена ее правая ветвь и даже вся кривая в целом. Это свойство

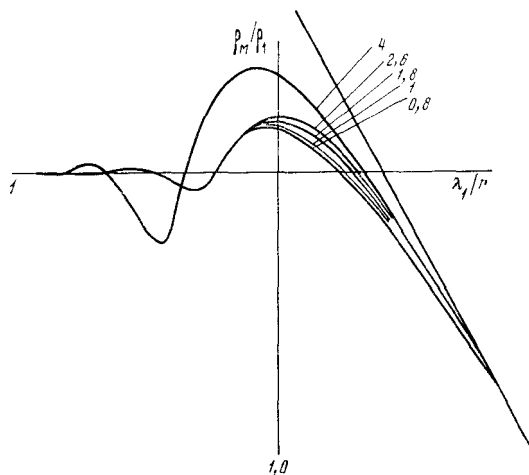


Рис. 1

правой асимптоты позволяет использовать ее в качестве универсальной опорной системы при осуществлении количественной интерпретации по координатам различных точек кривых ЧЗ.

Рассмотрим метод интерпретации на примере двухслойного разреза типа $\mu_2=\infty$. На рис. 1 представлена группа двухслойных кривых ЧЗВ_з типа $\mu_2=\infty$ для одного разноса $r=4$ км, но для разных мощностей верхнего слоя, а именно, кривая I — $h_1=5$ км ($r/h_1=0,8$); кривая II — $r/h_1=1$; кривая III — $r/h_1=1,8$; кривая IV — $r/h_1=2,6$ и кривая V — $r/h_1=4$. Поскольку у всех кривых $r=4$ км, то у них общая правая асимптота, пересекающая горизонтальную ось на уровне $\rho=1$ ом·м в точке с абсциссой $1/\sqrt{f}=4,56$ или $\lambda_1/h_1=14,4$ соответственно при их рассмотрении как практических или теоретических кривых.

Из рис. 1 видно, что координаты точек правых нисходящих ветвей кривых $(\rho_m)_k$ и $(1/\sqrt{f})_k$ различны в зависимости от величины h_1 (r/h_1) и кроме того взаимно связаны с координатами правой асимптоты $(\rho_m)_a$, $(1/\sqrt{f})_a$ и разномом (r).

Остановимся на методике определения мощности верхнего слоя (h_1). Рассмотрим зависимость между ординатами различных точек правых ветвей теоретических кривых ЧЗВ_з $(\lambda_1/h_1)_k$ и разномом (r/h_1) для одинаковых значений $(\lambda_1/h_1)_a$: $(\lambda_1/h_1)_k$

$$\left(\frac{\lambda_1}{h_1}\right)_k^2 = \frac{10(1/\sqrt{f})_k^2 \rho_1}{h_1^2} = \frac{10(1/\sqrt{f})_k^2}{h_1 S} = F\left(\frac{r}{h_1}\right), \quad (3)$$

S определяется по правой ветви кривой известной методикой. Следовательно, из величин, входящих в выражение (3), неизвестной является h_1 .

На рис. 2 представлены пять кривых, характеризующих выражение (3). Каждая кривая соответствует определенному значению $(\lambda_1/h_1)_a: (\lambda_1/h_1)_k$ или $(1/\sqrt{f})_a: (1/\sqrt{f})_k$, которым она оцифрована (1,1; 1,15; 1,2; 1,3 и 1,4).

Чтобы использовать номограмму на рис. 2 для определения h_1 по практической кривой ЧЗВ_{зв}, необходимо определить кроме величины S_1 , хотя бы одно из указанных на рис. 2 фиксированных значений $(1/\sqrt{f})_a: (1/\sqrt{f})_k$ и соответствующую ему величину $(1/\sqrt{f})_k$. Для этой цели необходимо построить вспомогательный график, характеризующий зависимость между координатами правой ветви, интерпретируемой кривой и правой асимптотой

$$(1/\sqrt{f})_k = F[(1/\sqrt{f})_a: (1/\sqrt{f})_k]. \quad (4)$$

Для построения графика выбирают ряд произвольных значений $(1/\sqrt{f})_k$ на правой нисходящей ветви кривой ЧЗ и соответствующие им значения $(1/\sqrt{f})_a$ (рис. 3). Выбирают одну из кривых рис. 2 (например, с индексом 1,1) и определяют для нее по рис. 3 значение $(1/\sqrt{f})_k$, соответствующее величине $(1/\sqrt{f})_a: (1/f)_k = 1,1$. Затем задают какое-либо произвольное значение h_1 и определяют величины $10(1/\sqrt{f})_k^2/h_1 S_1$ и r/h_1 (формула 3). Если h_1 выбрано правильно (случайно), то вычисленные координаты попадут в одну точку на кривую рис. 2 с оцифровкой 1,1. В противном случае выбирают другие значения h_1 , пока не будет достигнуто необходимое совпадение.

Наличие нескольких кривых у номограммы рис. 2 с различными индексами позволяет провести многократную проверку и уточнение величины h_1 .

Хотя номограммы, приведенные на рис. 2, рассчитаны для $r=4$ км, они тем не менее пригодны для интерпретации двухслойных кривых ЧЗВ_{зв} типа $\mu_2=\infty$, полученных с любыми разностями. Действительно, с увеличением r и при постоянном r/h_1 форма кривой ЧЗ не меняется, но она сдвигается по оси абсцисс на величину (λ_1/h_1) или $(1/\sqrt{f})$, пропорциональную изменению r . При этом для кривой ЧЗ с фиксированным r/h_1 , каждой абсциссе $(1/\sqrt{f})_k$ будет соответствовать определенное $(\lambda_1/h_1)_a: (\lambda_1/h_1)_k$ или $(1/\sqrt{f})_a: (1/\sqrt{f})_k$ независимо от величины r .

Более того, номограммы на рис. 2 могут быть в равной мере использованы для интерпретации трехслойных кривых класса H типа $\mu_3=\infty$ и многослойных кривых, оканчивающихся трехслойной частью этого класса и типа. При этом, в результате интерпретации по рис. 2 определяется суммарная мощность слоев разреза (h).

Такая возможность, как известно, объясняется тем, что любая многослойная кривая ЧЗВ_{зв}, оканчивающаяся трехслойной частью класса H

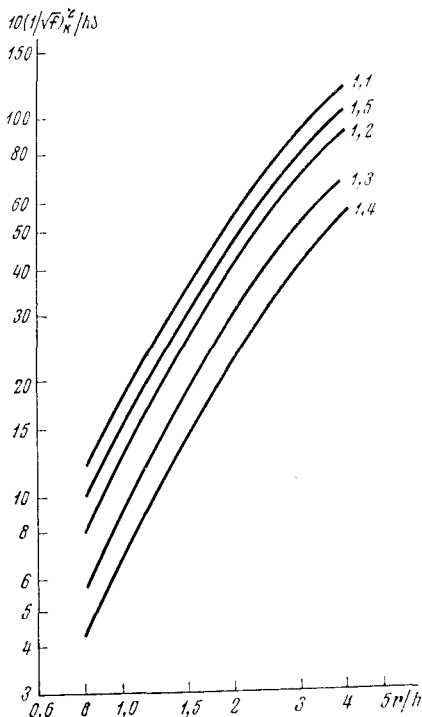


Рис. 2

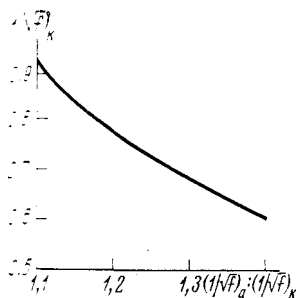


Рис. 3

типа $\mu_n = \infty$, может быть заменена двухслойной кривой, полученной с таким же разномом, для которой $\rho_1 = \rho_l$, $h_1 = h$ и $S_1 = S$, а правые нисходящие ветви, в пределах которых влияет продольная проводимость разреза (S), совпадают между собой.

Погрешности количественной интерпретации в описанном методе определяются, так же как и в других методах, главным образом, его разрешающей способностью и действием принципа эквивалентности ⁽²⁾.

Геологический институт
Академии наук СССР
Москва

Поступило
8 I 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. С. Энштейн, ДАН, т. 222, № 4 (1975). ² Б. С. Энштейн, Физика Земли, № 3 (1974).