

УДК 550.837.6

ГЕОФИЗИКА

Б. С. ЭНЕНШТЕЙН

О ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

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

1. Задачи, стоящие в настоящее время перед электромагнитными методами геологических исследований, связаны с необходимостью получения количественных характеристик геоэлектрического разреза. Учитывая изменчивость электрических параметров горных пород в естественных условиях не только по глубине, но и по простиранию, эффективное решение указанных задач в значительной мере связано с необходимостью осуществления беспараметрической интерпретации результатов зондирований. В этой связи требуется прежде всего определить существование в рассматриваемом методе принципиальной возможности практического осуществления беспараметрической интерпретации и затем найти оптимальные условия ее реализации.

Разберем эти вопросы на примере большого и важного класса геоэлектрических структур класса H типа $\mu_3 = \infty^*$. Для этого достаточно остановиться на одной типичной группе этого класса структур, например, структур, у которых $S=17$ и $S_2/S_1 = \nu_2/\mu_2 = 16$.

2. Обратимся к методу ЧЗ и рассмотрим зависимость между r/h и координатами минимумов правых ветвей амплитудных кривых ЧЗВ_{за}, полученных измерительной установкой: питающий электрический диполь (э) и приемный вертикальный магнитный диполь (B_z), для трехслойных разрезов, у которых $S=17$ и $S_2/S_1 = \nu_2/\mu_2 = 16$, имеющих различные значения ν_2 и соответствующие им значения μ_2 (r — разнос, h — суммарная мощность двух верхних слоев):

$$\frac{r}{h} = \mathcal{F} \left(\frac{\rho_{\min}}{\rho_l} \right) = \mathcal{F} \left(\frac{\rho_{\min} S}{h} \right) = \mathcal{F}(c). \quad (1)$$

Графики $I-VI$ на рис. 1 характеризуют зависимость r/h (ось абсцисс) от $\rho_{\min}/\rho_l$ (ось ординат). Кривые различаются по величинам $\nu_2 (\mu_2)$. О кривых $VII-XII$ сказано ниже. Чтобы использовать графики рис. 1 для интерпретации, необходимо: а) определить по кривой ЧЗ величины S и $\rho_{\min}$; б) выбрать произвольную величину ρ_l и соответствующее значение h ; в) если величина ρ_l выбрана правильно (случайно), то точка с координатами $\rho_{\min}/\rho_l$ и r/h совпадает с одной из кривых $I-VI$ с индексами μ_2 и ν_2 , соответствующими их действительным значениям. В противном случае μ_2 и ν_2 будут определены неправильно. Поскольку величина ρ_l может быть выбрана с погрешностью, то методика интерпретации, основанная только на использовании ординаты минимума ($\rho_{\min}$), не дает однозначных результатов.

3. Однако выражение (1) позволяет использовать только часть информации о параметрах разреза, которую несут координаты минимума.

* Обозначения, используемые в статье, общеизвестны, их можно найти в книге А. Н. Заборовского «Электроразведка», 1963. Величины h , r , λ даны в км; ρ — в ом·м; S — в км·(ом·м)⁻¹ и f — в гц.

Дополнительная информация получается, если использовать другую зависимость между r/h и абсциссами минимумов, выраженными в единицах ρ_l и h вместо ρ_l и h_1 , а именно:

$$\frac{r}{h} = F\left(\frac{\lambda}{h}\right)_{\min} = F\left[\left(\frac{\lambda_1}{h_1}\right)_{\min} - \frac{\rho_l}{h^2}\right] = F\left[\frac{10(1/\sqrt{f})_{\min}^2}{hS}\right] = F(q). \quad (2)$$

Графики VII–XII на рис. 1 характеризуют эту зависимость. Индексом кривых является также величина v_2 (μ_2). Горизонтальный масштаб для всех кривых одинаков, вертикальный — для VII–XII указан с правой стороны, а для I–VII — с левой.

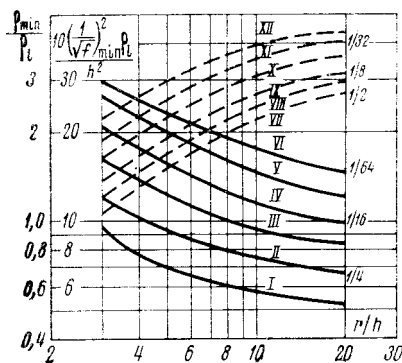


Рис. 1

Для дальнейшей интерпретации необходимо: а) определить абсциссу минимума правой ветви кривой $(1/\sqrt{f})_{\min}$, б) по формуле (2) найти величину $F(q)$, используя выбранные для интерпретации значения ρ_l или h , в) по абсциссе r/h и ординате $F(q)$ найти по рис. 1 величины v_2 и μ_2 . Если значение ρ_l или h , выбранное для интерпретации, соответствует истинному, то точка с координатами $F(q)$ и r/h должна совпасть с одним из графиков VII–XII, у которого μ_2 и v_2 равны μ_2 и v_2 , полученным

по графикам I–VI. Если же величина h была выбрана ошибочной, то μ_2 и v_2 , определенные по графикам I–VI и VII–XII, будут различными. Следовательно, чтобы получить правильные значения параметров разреза необходимо методом проб, выбирая для интерпретации различные значения ρ_l или h , добиться, чтобы величины μ_2 (v_2), определенные по графикам I–VI и VII–XII, были одинаковыми. В этом случае будут получены истинные значения h , ρ_l , μ_2 и v_2 .

4. Сравним описанные возможности метода ЧЗ, на примере рассмотренного класса и группы разрезов, с возможностями других методов зондирования, используемых в практике, а именно МТЗ, ЗСП и ДЭЗ.

Обратимся к методу МТЗ. Поскольку в этом методе $r=\infty$, то нельзя воспользоваться соотношениями типа (1) и (2). По аналогии целесообразно использовать для различных значений S соотношения типа

$$\mu_2 = \mathcal{F}_1\left(\frac{\rho_{\min}}{\rho_l}\right) = \mathcal{F}_1\left(\frac{\rho_{\min} S}{h}\right) = \mathcal{F}_1(m); \quad (3)$$

$$\mu_2 = F_1\left(\frac{\lambda}{h}\right)_{\min} = F_1\left(\frac{10}{hST_{\min}}\right) = F_1(n). \quad (4)$$

На рис. 2 представлены две группы графиков, отвечающих формулам (3) и (4), позволяющих установить возможность беспараметрического определения характеристик разреза (h и ρ_l) по трехслойным кривым МТЗ класса II типа $\mu_3=\infty$. Левая группа графиков показывает зависимость $\mathcal{F}_1(m)$ (ось абсцисс) от μ_2 (ось ординат) для различных значений S , являющихся индексами кривых. Правая группа графиков показывает зависимость $F_1(n)$ (ось абсцисс) от μ_2 (ось ординат) для тех же значений S . Анализ приведенных графиков показывает, что, независимо от раздельного или совместного их использования, определить по координатам минимума $\rho_{\min}/\rho_l$ и $(\lambda/h)_{\min}$ характеристики разреза (h и ρ_l) не представляется практически возможным. Действительно, предположим, что величина ρ_l разреза равна 30, а $\rho_{\min}/\rho_l=0,78$. Если величина ρ_l выбрана для интерпре-

тации меньше истинного значения на 80% и вследствие этого $\mathcal{F}_1(m)$ окажется равной 1,35 вместо 0,78, то величина μ_2 (v_2) будет определена по левым графикам с погрешностью в 16 раз (0,032 вместо 0,5). При выбранном значении ρ_i величина $F_1(n)$ также окажется на 80% больше истинного значения и, что особенно неблагоприятно, μ_2 будет определена по правым графикам также примерно в 16 раз меньше истинного значения (0,032 вместо 0,5).

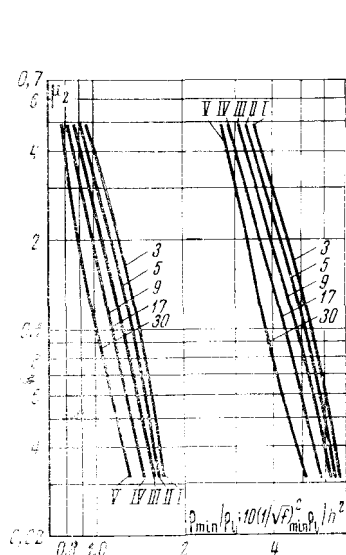


Рис. 2

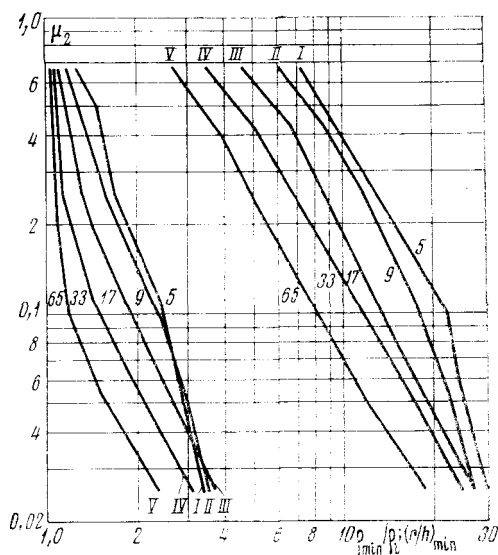


Рис. 3

Таким образом, по координатам минимума рассматриваемого класса кривых МТЗ нельзя определить отдельно h и ρ_i геоэлектрического разреза даже в тех случаях, когда кривые получены над разрезами, находящимися далеко за пределами области эквивалентности.

5. Выясним теперь интерпретационные возможности метода ДЭЗ (ВЭЗ) в пределах рассматриваемого класса разрезов при использовании координат минимумов правых ветвей кривых. В методе ДЭЗ также не могут быть использованы соотношения типа (1) и (2), а только типа (3) и (4):

$$\mu_2 = \mathcal{F}_2 \left(\frac{\rho_{\min}}{\rho_i} \right) = \mathcal{F}_2 \left(\frac{\rho_{\min} S}{h} \right) = \mathcal{F}_2(u); \quad (5)$$

$$\mu_2 = F_2 \left(\frac{r}{h} \right)_{\min} = F_2(p). \quad (6)$$

На рис. 3 представлены две группы графиков, отвечающих формулам (5) и (6) и характеризующих возможность раздельного определения величин h и ρ_i для рассматриваемого класса разрезов по координатам минимумов правых ветвей кривых ДЭЗ.

Левая группа графиков показывает зависимость $\mathcal{F}_2(u)$ (ось абсцисс) от μ_2 (ось ординат) для различных значений S , являющихся индексами кривых. Правая группа графиков показывает зависимость $F_2(p)$ (ось абсцисс) от μ_2 (ось ординат) для тех же значений S . Горизонтальный и вертикальный масштабы для $\mathcal{F}_2(u)$ и $F_2(p)$ одинаковы.

Из приведенных графиков видно, что, так же как и в методе МТЗ, практически не представляется возможным определить отдельно величины h и ρ_i по координатам минимумов кривых.

6. Для выяснения возможности беспараметрической интерпретации в методе ЗСП могут быть использованы соотношения типа (1) и (2) в следующем виде:

$$\frac{r}{h} = \mathcal{F}_3 \left(\frac{\rho_{\min}}{\rho_l} \right) = \mathcal{F}_3 \left(\frac{\rho_{\min} S}{h} \right) = \mathcal{F}_3(d); \quad (7)$$

$$\frac{r}{h} = F_3 \left(\frac{2\pi t_{\min} \rho_l}{h^2} \right) = F_3 \left(\frac{6,28 t_{\min}}{Sh} \right) = F_3(k). \quad (8)$$

На рис. 4 представлены две группы графиков, отвечающих формулам (7) и (8). Нижние графики I–VI характеризуют зависимость r/h (ось абсцисс) от $\mathcal{F}_3(d)$ (ось ординат) для разрезов, у которых $S=17$, $S_2/S_1=16$, а верхние графики VII–XII характеризуют зависимость r/h (ось абсцисс) от $F_3(k)$ (ось ординат). Индекс кривых — значение $\mu_2(v_2)$. Горизонтальный масштаб для всех графиков одинаков. Вертикальный масштаб для I–VI указан с левой стороны, а для VII–XII — с правой.

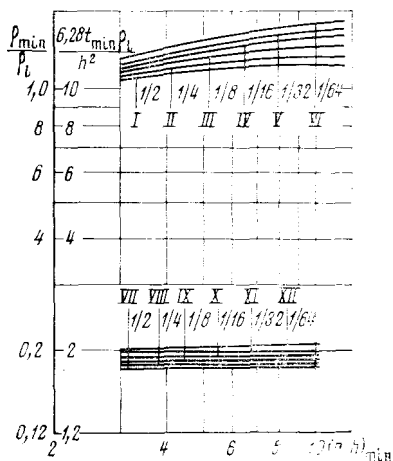


Рис. 4

Принцип использования графиков рис. 4 для интерпретации кривых ЗСП аналогичен принципу использования графиков рис. 1 для интерпретации кривых ЧЗ. Однако между графиками рис. 1 и рис. 4 имеются существенные различия, заключающиеся в следующем.

а) Величины $\mathcal{F}_3(d)$ и $F_3(k)$ мало зависят от разноса ($r, r/h$), что видно из того, что графики VII–XII рис. 4 горизонтальны, а графики I–VI почти горизонтальны; б) графики для различных $\mu_2(v_2)$ мало отличаются по ординатам; в) с ростом абсцисс $(r/h)_{\min}$ растут также и ординаты (хотя и незначительно) как у графиков I–VI, так и у VII–XII. В среднем относительное изменение $\mathcal{F}_3(d)$ по сравнению с $F_3(k)$ не превышает 3% на 100% изменения $\mu_2(v_2)$ в пределах всего интервала (от $1/2$ до $1/64$).

Указанные особенности свидетельствуют о неблагоприятных условиях для реализации принципа беспараметрической интерпретации по координатам минимумов в методе ЗСП по рассматриваемому классу разрезов.

1. Приведенные данные по разрезам класса H показывают повышенную эффективность метода ЧЗ по сравнению с методами МТЗ, ДЭЗ и ЗСП, состоящую прежде всего в принципиальной возможности практического использования способов беспараметрической количественной интерпретации результатов зондирования.

2. Реализация принципа беспараметрической интерпретации в методах МТЗ и ДЭЗ практически не представляется возможным, а в методе ЗСП его реализация неэффективна из-за низкой разрешающей способности.