

Б. С. ЭНЕНШТЕЙН

ОБ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ В МЕТОДЕ ЧАСТОТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

(Представлено академиком А. Н. Тихоновым 19 V 1972)

1. Действие принципа эквивалентности в различных геофизических методах геологических исследований ограничивает в той или иной мере возможности получения достоверных количественных характеристик разреза по результатам полевых измерений и теоретических расчетов. Поэтому важно определить область действия указанного принципа, поскольку это определяет геологическую эффективность метода.

Принято считать, что в методе частотных зондирований (ЧЗ) диапазон эквивалентных геоэлектрических разрезов более узок, чем в других электрических (электромагнитных) методах и во всяком случае уже, чем в методе ВЭЗ*. Это одно из важных преимуществ метода ЧЗ по сравнению с другими методами электроразведки, однако количественная сторона оставалась невыясненной.

Имеется ряд особенностей в методе ЧЗ по сравнению с другими методами, требующих выяснения в связи с установлением количественных характеристик области эквивалентности: 1) форма кривых ЧЗ и координаты характерных точек, по которым определяется эквивалентность разрезов, зависит не только от их параметров, но также от длины зондирования; 2) частотные зондирования могут быть осуществлены по различным компонентам поля (электрическим и магнитным) и их составляющим (амплитудным и фазовым); 3) правые ветви кривых ЧЗ (за исключением правых ветвей амплитудных кривых по электрическим составляющим), в отличие от правых ветвей кривых ВЭЗ и МТЗ, имеют не только минимумы, но и максимумы, координаты которых связаны с проводимостью всего геоэлектрического разреза, охватываемого измерительной установкой и используемым диапазоном частот.

2. В настоящее время проведены расчеты амплитудных и фазовых характеристик электрической E_x и магнитной B_z компонент поля для различных разносов при экваториальном расположении зондирующих установок, позволяющие сделать количественный анализ области эквивалентности для трехслойных геоэлектрических разрезов класса H^{**} .

Проведенный анализ показывает, что для всех компонент поля (B_z , E_x , φ_{Bz} , φ_{Ex}) область эквивалентности оказывается меньше для координат минимумов кривых ЧЗ, чем для координат максимумов; причем это имеет место независимо от разноса, с которым получено зондирование.

В качестве примера на рис. 1 представлена серия графиков, показывающих зависимость координат минимумов $\rho_{\min}$, $\varphi_{\min}$ и максимумов $\rho_{\max}$, $\varphi_{\max}$ правых ветвей трехслойных кривых ЧЗ класса H для различных компонент поля от величин v_2 и μ_2 геоэлектрических разрезов, характеризующихся оди-

* Различные обозначения, используемые в статье для классов геоэлектрических разрезов (H , A и др.), их характеристик (v_2 , μ_2 , ..., h_1 , h_2 , ..., ρ_1 , ρ_2 , ...) и для частотных зондирований (ЧЗ) по различным компонентам поля (E_x , B_z и др.), можно найти в книге А. И. Заборовского, «Электроразведка», 1963.

** В статье использованы результаты расчетов, полученные В. И. Дмитриевым, Л. Л. Ваньяном, О. А. Скугаревской, К. П. Королевой и др.

наковым значением $S_2/S_1 = 8$. Все графики соответствуют кривым ЧЗ для одного разноса, $r/h_1 = 8$. Кривые 1 и 2 соответствуют $\rho_{\min}/\rho_1 = F_1(v_2/\mu_2)$ и $\rho_{\max}/\rho_1 = F_2(v_2/\mu_2)$ для амплитудных кривых ЧЗ B_z ; кривые 3 и 4 соответствуют $\varphi_{\min} = F_3(v_2/\mu_2)$ и $\varphi_{\max} = F_4(v_2/\mu_2)$ для фазовых кривых ЧЗ B_z ; кривая 5 соответствует $\rho_{\min}/\rho_1 = F_1(v_2/\mu_2)$ для амплитудной кривой ЧЗ E_x и кривые 6 и 7 соответствуют $\varphi_{\min} = F_3(v_2/\mu_2)$ и $\varphi_{\max} = F_4(v_2/\mu_2)$ для фазовых кривых ЧЗ E_x (кривая 6 совпадает с кривой 3).

В согласии с условиями, принятыми в методе ВЭЗ при анализе вопроса об эквивалентности, мы принимаем и в методе ЧЗ точность измерений

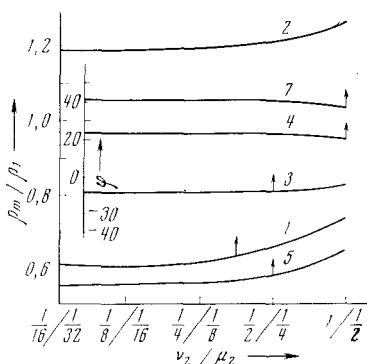


Рис. 1

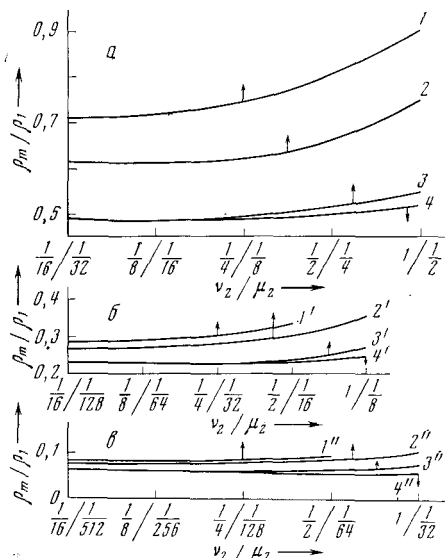


Рис. 2

амплитудных величин в пределах 5%. Точность измерений фаз принята $\pm 1^\circ$.

На графиках нанесены вертикальные стрелки, указывающие границы областей эквивалентных разрезов. Из рис. 1 видно, что для всех составляющих поля область эквивалентных разрезов меньше для координат минимумов кривых, чем для соответствующих координат максимумов; кроме того, минимальный размер области эквивалентных разрезов соответствует $\rho_{\min}/\rho_1$ для амплитудных кривых ЧЗ B_z . Аналогичные характеристики имеют место и для других значений S_2/S_1 независимо от величины разноса r/h_1 .

Мы приводим данные только по ординатам экстремумов кривых ЧЗ главным образом потому, что их удобно сравнивать с имеющимися данными на постоянном токе. Однако такие же соотношения имеют место и для абсцисс минимумов и максимумов правых ветвей кривых ЧЗ.

3. Обратимся далее к вопросу о связи между величиной разноса r/h_1 и размерами области эквивалентных разрезов. Остановимся на анализе величин $\rho_{\min}(\rho_{\min}/\rho_1)$ кривых ЧЗ B_z , учитывая их оптимальные свойства для наших целей.

Для характеристики результатов анализа достаточно ограничиться тремя значениями S_2/S_1 (2; 8 и 32), поскольку подавляющая часть разрезов в природных условиях заключена в диапазоне этих значений S_2/S_1 .

На рис. 2 представлены графики, характеризующие зависимость величины $\rho_{\min}/\rho_1$ кривых ЧЗ B_z от v_2/μ_2 соответственно для значений $S_2/S_1 = 2(a)$, 8(б) и 32(в). Границы диапазонов эквивалентных разрезов отмечены на графиках вертикальными стрелками.

Из рис. 2 видно, что размеры области эквивалентных разрезов существенно уменьшаются с уменьшением разности. Если для $S_2/S_1 = 2$ при $r/h_1 = \infty$ (рис. 2, 4) область ограничена значением $v_2/\mu_2 = 0,95/0,475$, то для $r/h_1 = 16$ $v_2/\mu_2 = 0,63/0,315$ (в 1,5 раза меньше), несмотря на то что $r/h_1 = 16$ является достаточно большим разностью, для которого график сливается с графиком для $r/h_1 = \infty$, начиная от $v_2/\mu_2 \approx 0,25/0,125$. Для $r/h_1 = 6$ область эквивалентных разрезов ограничена значением $v_2/\mu_2 = 0,25/0,125$, что почти в 4 раза меньше, чем для $r/h_1 = \infty$. Такое же положение имеет место для других значений S_2/S_1 , что видно из рис. 2б и в.

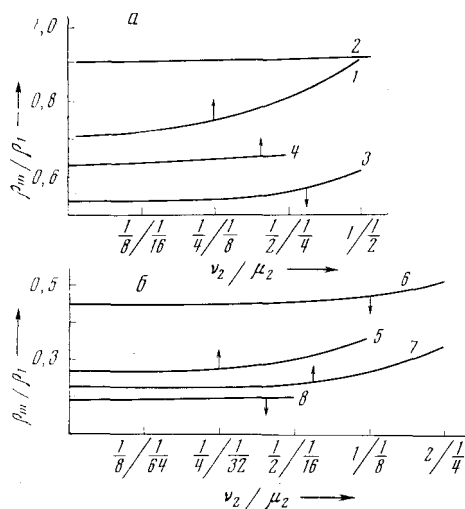


Рис. 3

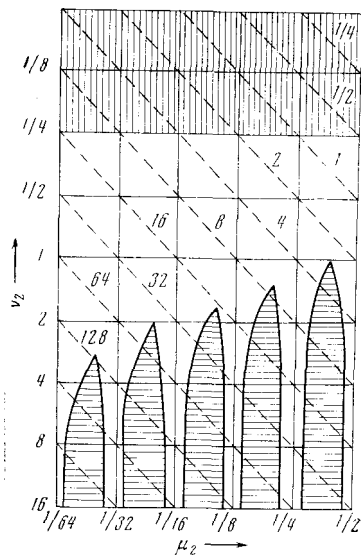


Рис. 4

Независимо от величины S_2/S_1 диапазон эквивалентных разрезов по значению v_2 одинаков (практически, приблизительно) для одинаковых значений r/h_1 , а именно: для $r/h_1 = 6$ $v_2 \approx 0,25$, для $r/h_1 = 8$ $v_2 \approx 0,38$, для $r/h_1 = 16$ $v_2 \approx 0,63$ и для $r/h_1 = \infty$ $v_2 \approx 1$.

Уменьшение области эквивалентных разрезов с уменьшением величины r/h_1 имеет место также и для ЧЗ по другим составляющим поля.

4. Чтобы количественно оценить преимущество метода ЧЗ по сравнению с другими методами электроразведки в отношении действия принципа эквивалентности, обратимся к графикам $\rho_{min}/\rho_1 = F_1(v_2/\mu_2)$, представленным на рис. 3 и соответствующим значениям $S_2/S_1 = 2$ (рис. 3а) и $S_2/S_1 = 8$ (рис. 3б). Кривые 1 и 5 построены для амплитудных кривых ЧЗ B_z ($r/h_1 = 6$), кривые 2 и 6 — для кривых ВЭЗ, кривые 3 и 7 — для кривых МТЗ и кривые 4 и 8 — для кривых становления поля (ЗСП). Границы области эквивалентных разрезов отмечены на графиках вертикальными стрелками.

Из рис. 3а видно, что для $S_2/S_1 = 2$ область эквивалентных разрезов в методе ЧЗ ограничена значением $v_2/\mu_2 = 0,25/0,125$, тогда как в методе ВЭЗ разрезы для всех значений v_2/μ_2 эквивалентны между собой, поскольку величины ρ_{min}/ρ_1 у кривых ВЭЗ для v_2/μ_2 от 0,06/0,03 до 1/0,5 различаются только на 1%.

Область эквивалентности в методе МТЗ для $S_2/S_1 = 2$ ограничена значением $v_2/\mu_2 = 0,63/0,315$, что в 2,5 раза больше, чем в методе ЧЗ.

Из рис. 3б видно, что для $S_2/S_1 = 8$ область эквивалентности в методе ЧЗ ограничена значением 0,25/0,031, что в 4 раза меньше, чем в методе ВЭЗ (1/0,125) и в 2,5 раза меньше, чем в методе МТЗ (0,63/0,078). Примерно такие же соотношения имеют место и для других значений S_2/S_1 .

5. Приведенные результаты позволяют сделать ряд выводов, связанных с разрешающей способностью метода и возможностью использования этих результатов для интерпретации.

1) Диапазон эквивалентных разрезов класса H уменьшается с уменьшением длины частотного зондирования, что создает благоприятные условия для полевых измерений, увеличивает их точность и экономичность разведки.

2) Диапазон эквивалентных разрезов класса H в методе ЧЗ в среднем до 6 раз меньше, чем в методе ВЭЗ, и в 2—2,5 раза меньше, чем в методе МТЗ. Это расширяет возможности беспараметрической интерпретации результатов полевых измерений. Благоприятно также, что именно магнитная компонента поля имеет преимущество перед электрической компонентой, поскольку она, в отличие от последней, эффективна также в разведке геоэлектрических структур, экранированных промежуточными непроводящими или плохопроводящими пластами.

3) Граница области эквивалентных разрезов по значению v_2 не зависит от величины S_2/S_1 , а практически зависит только от величины r (r/h_1).

Сделанные выводы действительны также для многослойных разрезов, оканчивающихся трехслойной частью класса H . При этом для многослойных разрезов величине h_1 соответствует суммарная мощность всех слоев разреза за исключением надпорного слоя, а величине h_2 соответствует мощность надпорного слоя.

На рис. 4 представлена номограмма, характеризующая диапазон эквивалентных разрезов класса H типа $\mu_3 = \infty$. Наклонные пунктиры являются линиями равных значений S_2/S_1 . Верхняя (заштрихованная) часть рисунка до уровня $v_2 = 1/4$ является областью эквивалентных разрезов в методе ЧЗ для разнесов $r/h_1 = 6$, тогда как вся остальная (подавляющая) площадь рисунка характеризует область неэквивалентных разрезов. Для сравнения на рисунке приведена область неэквивалентных разрезов для метода постоянного тока, занимающая площадь шести вытянутых заштрихованных участков, остальная же (подавляющая) часть площади рисунка характеризует область эквивалентных разрезов.

Геологический институт
Академии наук СССР
Москва

Поступило
10 V 1972