Записки Санкт-Петербургского горного института имени Г.В.Плеханова.
Т.130. СПб, 1992

УДК 550.837

К.М.РМОХИН

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СЕМЕЙСТВА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ РЕШЕНИЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ МТЗ В ГОРИЗОНТАЛЬНО-СЛОИСТЫХ СРЕДАХ

Одной из основных задач при интерпретации данных магнитотеллурических зондирований является определение нормального разреза, под которым понимается одномерное распределение удельного сопротивления по глубине (горизонтально-слоистый разрез). От результата этой операции существенно зависят все дальнейшие построения неоднородных моделей сред. Фундаментальная модель среды Тихонова – Каньяра является, таким образом, базовой. Параметры, подлежащие определению в этой модели, есть мощности (h_i) и удельные сопротивления (ρ_i) слоев, слагающих геоэлектрический разрез. Их получают по данным измерений кажущегося сопротивления ρ_T на поверхности Земли по формулам [1]

$$\rho_T = \rho_1 \left| \mathcal{R} \right|^2, \qquad (1)$$

где

$$\mathcal{R} = th\left(k_1 h_1 + arth\sqrt{\rho_2/\rho_1}\, th\left[k_2 h_2 + \ldots + arth\sqrt{\rho_{N-1}/\rho_{N-2}}\, th\left(k_{N-1} h_{N-1} + arth\sqrt{\rho_N/\rho_{N-1}}\right)\ldots\right]\right);$$

$k_i = \sqrt{-2\pi\mu_0/T\rho_i}$; N – число слоев в модели среды; T – период электромагнитных колебаний; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума.

Все современные компьютерные методы решения обратной задачи МТЗ, т.е. определения h_i и ρ_i по наблюденной зависимости ρ_T, так или иначе сводятся к минимизации функционала невязки с применением регуляризующих алгоритмов. В результате получают вектор параметров одного из эквивалентных разрезов, отвечающих данным измерений в рамках принятого критерия оптимальности. В статистических методах решение дополняют оценкой достоверности и пределов действия принципа эквивалентности.

Недостатком такого подхода является получение одного единственного решения, выбранного на основе критерия, имеющего чаще всего чисто математическое происхождение и не связанного прямо с физической сущностью задачи. Кроме того, оценки достоверности возможны лишь в окрестности полученного решения, что не гарантирует полного описания всего семейства эквивалентных моделей среды.

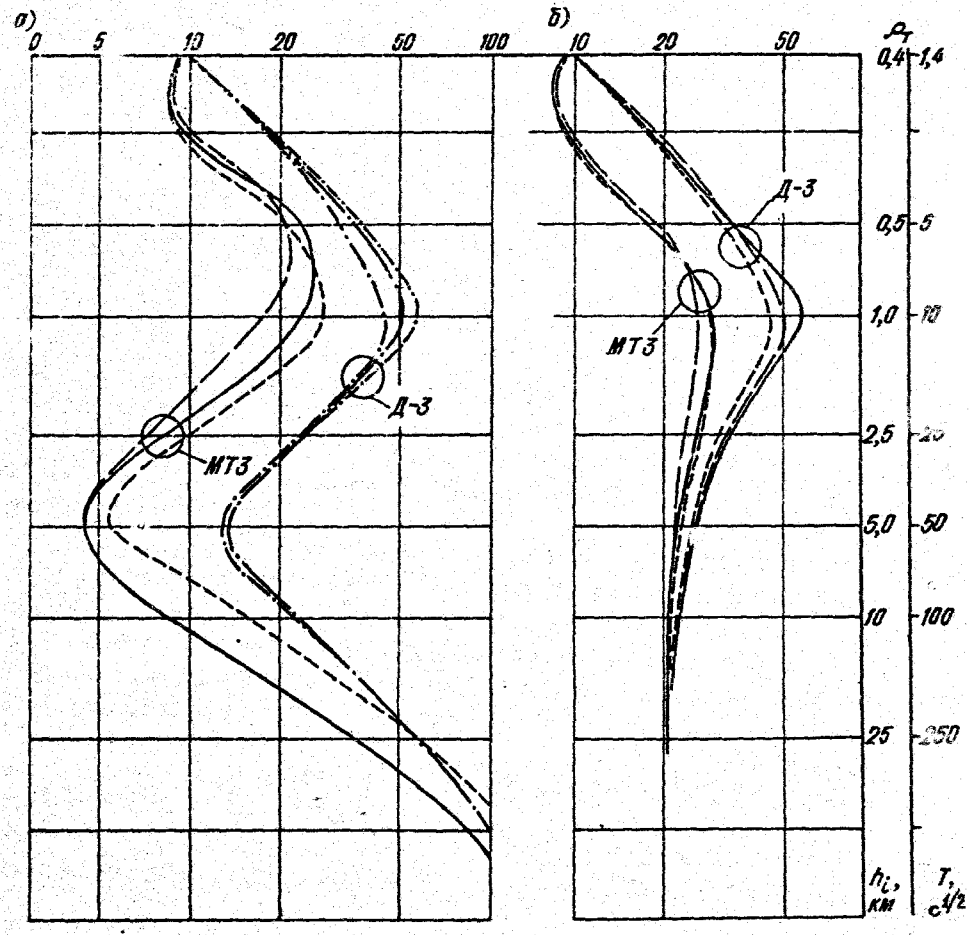
Выходом из этого положения является изначальное построение всего семейства эквивалентных решений и последующего отбора из него одного или нескольких геологически содержательных. Такой подход к решению обратных задач в рамках рудной геофизики и построения формы контактных поверхностей

был развит в работах А.В.Цирульского [4] и его школы. Аналогичный в широком смысле подход к решению основной обратной задачи геоэлектрики предлагается и в данной работе.

Для его реализации необходимо обратиться к обобщенной характеристике одномерного распределения проводимости – кривым Дар-Заррук (Д-З), подробно описанным, например, в работах [2, 3]. Напомним способ построения этих кривых. Пусть задано удельное сопротивление среды как функция глубины $\rho(z)$. По ней вычисляют функцию суммарной продольной проводимости $S(z)=\int_0^z dz/\rho(z)$ и функцию суммарного поперечного сопротивления $T(z)=\int_0^z \rho(z)dz$; затем определяют эффективную глубину и сопротивление:

$$h_э = \sqrt{TS}\,; \quad \rho_э = \sqrt{T/S}\,. \qquad (2)$$

График зависимости $\rho_э(h_э)$ называется кривой Дар-Заррук. Легко видеть, что $h_э$ монотонно растет вместе с z. Асимптотические значения кривой Д-З



Кривые МТЗ и Дар-Заррук для эквивалентных разрезов типа КН (а) и К (б)

равны ρ_1 и ρ_N, и в целом кривая в сглаженном виде отражает изменение удельного сопротивления с глубиной.

Главной особенностью является зависимость кривой Д-З при фиксированном $h_э$ только от параметров вышележащих слоев, что позволяет принципиально по кривой восстановить разрез сверху вниз. Для практического применения этой возможности необходимо предположить, что эквивалентность кривых ρ_T и $\rho_э(h_э)$ – понятия взаимные, т.е. эквивалентным разрезам соответствуют эквивалентные кривые ρ_T и $\rho_э(h_э)$ одновременно.

Примем это пока в качестве гипотезы, подтверждением которой является вычислительный эксперимент, проведенный на серии кривых различного типа, из которых для примера приведены кривые типа КН и К (см. рисунок и таблицу). По вертикальной оси для кривых Д-З отложена эффективная глубина $h_э$, а для кривых ρ_T (МТЗ) – $\sqrt{T}$.

Параметры эквивалентных разрезов типа К и КН

Разрез	Тип К		Тип КН	
	ρ_i, Ом·м	h_i, км	ρ_i, Ом·м	h_i, км
1	10	1,4	10	1,4
	100	6,0	100	6,0
			2	9,0
2	10	1,4	10	1,4
	150	4,4	150	4,0
			3	13,5
3	10	1,4	10	1,4
	75	7,5	70	8,5
			1,4	6,3

Примечание. Удельное сопротивление последнего слоя для кривых типа К равно 20 Ом·м, для кривых типа КН – 300 Ом·м.

Результаты численных экспериментов на ЭВМ ИСКРА-1030 по программам, разработанным на основе формул (1) и (2), показали, что эквивалентным кривым МТЗ соответствуют эквивалентные кривые Д-З и наоборот. Более того, коридор эквивалентности кривых Д-З существенно уже, чем для кривых МТЗ, что свидетельствует о более широком действии принципа эквивалентности для них, а следовательно, о содержании в них информации о полном семействе эквивалентных решений.

Исходя из вышесказанного, можно представить алгоритм построения эквивалентного семейства решений обратной задачи МТЗ в следующем (обобщенном) виде:

I. Решение обратной задачи МТЗ для модели среды с большим числом слоев фиксированной мощности, т.е. определение ρ_i при фиксированной сет-

ке глубин подошв слоев z_i. Сетка z_i выбирается равномерной в логарифмическом масштабе. Задача эта является корректной [3] и решается значительно проще, чем общая обратная задача. Что более существенно, в этом случае нет потребности в регуляризации, так как пригодно любое решение, соответствующее измерениям, по которому можно построить кривую Д-З, поскольку она является единственной (в пределах эквивалентности), соответствующей всем эквивалентным разрезам.

2. Построение по полученному решению соответствующей кривой Д-З.

3. Начиная с границы раздела земля - воздух проводится спуск по дискретной сетке глубин с определением возможных значений ρ_i на каждой глубине на основе критерия невыхода из коридора эквивалентности Д-З. Поскольку, как уже отмечалось, $\rho_э(h_э)$ для данного $h_э$ зависит только от параметров вышележащих слоев, то эта процедура корректна.

Для практического использования алгоритма необходимо выбрать дискретную сетку значений z_i, по которым ведется перебор возможных значений ρ_i. Степень дискретности в выборе глубин и удельных сопротивлений ρ_i определяется необходимой детальностью расчленения геоэлектрического разреза. Дальнейший выбор геологически содержательного решения из полученного семейства может быть выполнен на основе самых различных критериев и соображений и в данной работе не обсуждается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жданов М.С. Электроразведка. М.: Недра, 1986. 316 с.

2. Кунуд О. Зондирование методом сопротивлений. М.: Недра, 1984. 270 с.

3. Модин И.Н., Шевнин В.А., Дроздова О.Л. Анализ геологических возможностей ЬЭЗ с использованием кривых Дар-Заррук // Вестник МГУ. Сер.4. Геология. 1988. № 3. С.88-95.

4. Цирульский А.В. Вопросы теории и методы интерпретации потенциальных геофизических полей / Ленинградский горный ин-т. Л., 1989. 96 с.