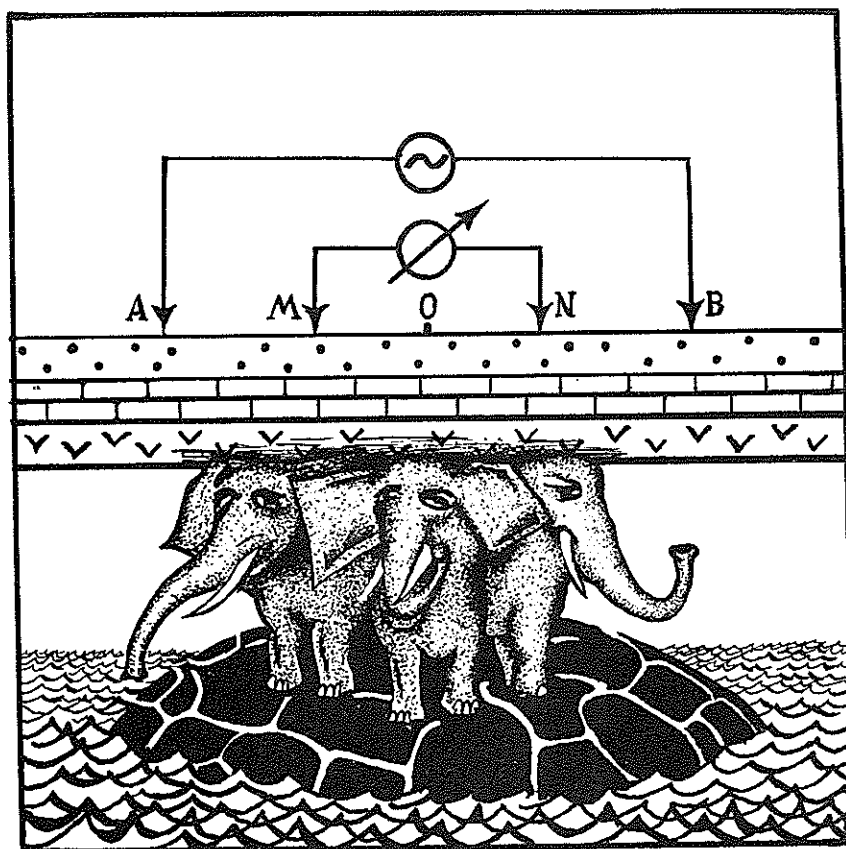


ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ НА МИКРОЭВМ



Зел

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

РСФСР

НОВОСИБИРСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

Кафедра геофизики

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ЗОНДИРОВАНИЙ НА МИКРОЭВМ

Методические указания к курсу
"ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА"

Новосибирск
1989

Методические указания к курсу "Электроразведка" содержат описание алгоритма и программы интерпретации вертикальных электрических зондирований на микроЭВМ ДЗ-28 и предназначены для студентов геолого-геофизического факультета специальностей "геология" и "геофизика", изучающих метод ВЭЗ и применяющих его в процессе летней геофизической практики.

Составители: канд. техн. наук Ю.А. Дашевский,
ст. инж. Н.В. Кривоногов.

Рецензент: д-р техн. наук Л.А. Табаровский

© Новосибирский государственный университет, 1989

Введение

Учебный процесс на кафедре геофизики геолого-геофизического факультета НГУ нельзя представить без применения ЭВМ. На примере электроразведочных дисциплин можно видеть, что ряд фундаментальных понятий (локальность, глубинность, разрешающая способность, эквивалентность) без применения ЭВМ вообще не могут быть корректно описаны, поскольку для этого необходимо вводить модельную базу, решать прямые задачи и проводить вычислительно емкий анализ. Программно-вычислительные средства используются как на лекциях, так и в ходе семинарских и лабораторных занятий. В последнее время ЭВМ стала неотъемлемым компонентом геофизических работ во время полевой учебной практики. Это позволяет устранить рутинные действия при подготовке данных и применять при обучении современные графы обработки информации, отражающие производственную деятельность геофизика при решении гравитационно-магнитно-электроразведочных задач. Во время учебных полевых работ студенты выполняют серию экспериментов по электрическому зондированию геологического разреза.

В методических указаниях содержится описание алгоритма и программы интерпретации ВЭЗ методом подбора на микроЭВМ ДЗ-28 в режиме диалога. Излагается также порядок запуска программы и работы с ней.

1. АЛГОРИТМЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Методика вертикальных электрических зондирований геологического разреза заключается в последовательном измерении электрического поля на различных расстояниях от источника. Выбор такой системы наблюдений обусловлен теоремой единственности А.Н.Тихонова для задач электрических зондирований неоднородных сред. Согласно этой теореме распределение проводимости с глубиной или, в частном случае, параметры N -слоистой геоэлектрической разреза (сопротивления и мощности) $\rho_1, h_1, \rho_2, h_2, \dots, \rho_{N-1}, h_{N-1}, \rho_N$ однозначно определяются по кривой зондирования $\rho_k = \rho_k(r)$ (где r — разнос установок), заданной на всей положительной полуоси $0 < r < \infty$ /2/.

На практике условия теоремы не выполняются: экспериментальные данные — значения кажущегося сопротивления — могут быть получены лишь для дискретного набора значений $r : r_1, \dots, r_n$ (n — количество наблюдений) и содержат в себе ошибки измерений. Все это делает интерпретацию данных ВЭЗ принципиально неоднозначной, если рассматривать ее как процесс согласования экспериментальных и модельных данных методом подбора.

В настоящее время существует большое количество технологий разной строгости и сложности, предназначенных для интерпретации зондирований, ниже излагается одна из них.

В процессе интерпретации выделяются четыре основных этапа:

1) формирование начального приближения для подбора параметров геоэлектрической модели;

2) подбор параметров;

3) упрощение геоэлектрического разреза;

4) оценка области эквивалентных решений.

Остановимся на содержании этапов.

1. Формирование начального приближения для подбора параметров геоэлектрической модели. Формирование начального приближения является весьма важным элементом алгоритма. Если известна априорная информация о распределении удельного сопротивления с глубиной, основанная на сведениях, полученных вне рамок метода ВЭЗ (геологические данные, бурение, результаты других геофизических методов), то на основе этой ин-

формации можно построить гипотетическое распределение удельного сопротивления в рамках горизонтально-слоистой модели. Однако возможна ситуация, когда дополнительных сведений нет и невозможно задать ни количество слоев, ни начальные значения параметров модели. В этом случае единственным источником информации является сама кривая зондирования.

Программа позволяет строить начальное приближение как при наличии, так и в отсутствие априорной информации. Если информация есть, то пользователь, работая в режиме диалога, задает количество слоев в модели, удельное сопротивление и мощность каждого слоя. В противном случае в программе возможно автоматическое построение начального приближения, основанное на подобии, которое во многих случаях существует между кривыми кажущегося сопротивления и кривыми 'DAR ZARROUK' (DZ) /3,5,6/.

Кривые DZ отражают зависимость эффективного сопротивления разреза ($\rho_{эф}$) от его эффективной мощности ($h_{эф}$). Параметры $\rho_{эф}$ и $h_{эф}$ введены в /6/ и вычисляются по значениям суммарной продольной проводимости S и поперечного сопротивления T на интервалах глубин $0, Z$:

$$\rho_{эф}(z) = \sqrt{T(z)/S(z)}, \quad h_{эф}(z) = \sqrt{T(z) \cdot S(z)} \quad (1)$$

где

$$T(z) = \int_z^\infty \rho(z) dz, \quad S(z) = \int_0^z \frac{dz}{\rho(z)} \quad (2)$$

В случае горизонтально-слоистой модели

$$T(z_k) = \sum_{i=1}^k h_i \rho_i, \quad S(z_k) = \sum_{i=1}^k h_i / \rho_i \quad (3)$$

Здесь z_k — координата подошвы слоя с номером k .

Рассмотрим вначале основные свойства трансформаций, определенных соотношением (1). Прежде всего следует отметить, что переход к переменным $\rho_{эф}$, $h_{эф}$ означает новую параметризацию геоэлектрического разреза. При этом параметры DZ и параметры среды связаны между собой взаимно однозначным соответствием. Действительно, по известному $\rho(z)$, как следует из (1), $\rho_{эф}$ и $h_{эф}$ определяются однозначно. Пусть теперь задана зависимость $\rho_{эф}(h_{эф})$. Тогда из (1), (3) получаем, что

$$T(z_k) = \rho_{\text{эф}}(z_k) \cdot h_{\text{эф}}(z_k), \quad S(z_k) = h_{\text{эф}}(z_k) / \rho_{\text{эф}}(z_k),$$

$$T(z_{k+1}) = \rho_{\text{эф}}(z_{k+1}) \cdot h_{\text{эф}}(z_{k+1}), \quad S(z_{k+1}) = h_{\text{эф}}(z_{k+1}) / \rho_{\text{эф}}(z_{k+1}), \quad (4)$$

откуда $h_{k+1} \cdot \rho_{k+1} = T(z_{k+1}) - T(z_k), \quad h_{k+1} / \rho_{k+1} = S(z_{k+1}) - S(z_k). \quad (5)$

Здесь $h_{k+1} = z_{k+1} - z_k$.

Сравним теперь формы кривых ВЗЗ ($\rho_k^T(r)$) и DAR ZAR-ROUK ($\rho_{\text{эф}}(h_{\text{эф}})$) на примере горизонтально-слоистой модели. Это сравнение удобно проводить, если уметь вычислять $\rho_{\text{эф}}$ для любого, наперед заданного значения $h_{\text{эф}}$, например $h_{\text{эф}} = r$.

Из (I) следует, что при $z \leq h_1$ $\rho_{\text{эф}} = \rho_1$ для произвольного $z_k \leq z \leq z_{k+1}$

$$\rho_{\text{эф}}(z) = \sqrt{\frac{T_k + \rho_{k+1} \cdot z}{S_k + z / \rho_{k+1}}}, \quad T_k = T(z_k), \quad S_k = S(z_k). \quad (6)$$

Выразим отсюда z :

$$z = \frac{\rho_{\text{эф}}^2 \cdot S_k - T_k}{\rho_{k+1} - \rho_{\text{эф}}^2 / \rho_{k+1}}. \quad (7)$$

С учетом (I), (2) функция $\rho_{\text{эф}}$ при $z_k \leq z \leq z_{k+1}$ допускает и другое представление

$$\rho_{\text{эф}} = \frac{T_k + \rho_{k+1} \cdot z}{h_{\text{эф}}} \quad (8)$$

Исключая из (7), (8) параметр z , приходим к уравнению, связывающему $\rho_{\text{эф}}$ и $h_{\text{эф}}$:

$$h_{\text{эф}} \cdot \rho_{\text{эф}}^2 + (\rho_{k+1}^2 \cdot S_k - T_k) \rho_{\text{эф}} - h_{\text{эф}} \rho_{k+1}^2 = 0. \quad (9)$$

С учетом условия $\rho_{\text{эф}} > 0$ решение (9) имеет следующий вид:

$$\rho_{\text{эф}} = \frac{-(\rho_{k+1}^2 S_k - T_k) + \sqrt{(\rho_{k+1}^2 S_k - T_k)^2 + 4 h_{\text{эф}}^2 \rho_{k+1}^2}}{2 h_{\text{эф}}} \quad (10)$$

Выражение (10) описывает зависимость $\rho_{\text{эф}}(h_{\text{эф}})$ при $z_k \leq z \leq z_{k+1}$.

В табл. I приведены значения отношения $\rho_k^T / \rho_{\text{эф}}$ в зависимости от r/h_1 для двухслойной модели среды ($\rho_2/\rho_1 = 10$). Проанализируйте, пожалуйста, эти данные и оцените возможность приближенного описания кривых зондирования с помощью параметров DZ.

Т а б л и ц а I

Сопоставление графиков ρ_k^T и $\rho_{\text{эф}}$ для двухслойной модели среды

r/h_1	0,1	1	2	8	16	32	64	128
$\rho_k^T / \rho_{\text{эф}}$	1,00	1,17	0,90	0,86	0,92	0,99	1,00	1,01

С учетом изложенных свойств кривых начальное приближение строится следующим образом: экспериментальная кривая кажущегося сопротивления (ρ_k^3) рассматривается как нулевое приближение DZ. кривой DZ для исследуемого неизвестного геоэлектрического разреза. Поэтому значения ρ_k^3 , соответствующие разносам r_i, r_{i+1} ($i = 1, 2, \dots, n-1$), можно рассматривать как $\rho_{\text{эф}}(z_i), \rho_{\text{эф}}(z_{i+1})$ в зависимости от $h_{\text{эф}}(z_i), h_{\text{эф}}(z_{i+1})$.

Найденная таким образом модель используется для расчета теоретической кривой кажущегося сопротивления ($\rho_k^T, 0$).

Далее осуществляется построение первого приближения кривой DZ. Для этого все координаты DZ. изменяются по следующему правилу:

$$DZ_1 = DZ_0 \frac{\rho_k^3}{\rho_k^T, 0}. \quad (11)$$

Такая коррекция основана на предположении, что небольшое изменение в какой-либо точке $\rho_{\text{эф}}$ ведет к такому же относительному изменению кажущегося сопротивления ρ_k^T . Имея первое приближение, можно определить по формулам (4) новые значения параметров модели и рассчитать кривую ($\rho_k^T, 1$). Отсюда возникает итерационный процесс

$$DZ_i = DZ_{i-1} \frac{\rho_k^3}{\rho_k^T, i-1}. \quad (12)$$

Смысл преобразования (12) можно усмотреть, приняв во внимание, что $\rho_{\text{эф}}(h_{\text{эф}})$ — это новая параметризация геоэлектрической модели.

Процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто хорошее соответствие полевых и модельных данных. Решение о прекращении процесса принимает интерпретатор, ведущий диалог. При этом во внимание должны приниматься априорные оценки дисперсии, сопровождающие полевой материал.

2. Подбор параметров. В настоящее время существует большое количество алгоритмов, позволяющих проводить подбор параметров модели автоматически, минимизируя различие между экспериментальными и модельными данными.

Технические возможности ДЗ-28 /1/ не позволяют применять алгоритмы автоматического подбора. Вариация параметров в процессе подбора осуществляется интерпретатором, который привносит в эту процедуру опыт, квалификацию и в конечном счете интуицию.

3. Упрощение геоэлектрического разреза. Предположим, что процесс подбора завершен успешно. Модельные и экспериментальные данные удалось согласовать в рамках выбранного критерия. В программе критерием служит величина ε , определяемая следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \left(\frac{\log p_j^3 - \log p_j^T}{\log p_j^T} \right)^2. \quad (13)$$

Если построение начального приближения выполнялось автоматически, то модель после подбора содержит $(n-1) \cdot 2$ параметров. Это приводит к сильной эквивалентности, связанной с неоднозначностью выбора модели в рамках зафиксированной экспериментом структуры данных /4/.

Рассмотрим алгоритм упрощения N -слойного разреза. На билогарифмическом бланке строим кривую DZ . Выберем в разрезе два слоя, имеющих общую границу. Пусть их номера — $i, i+1$ ($i = 1, 2, \dots, N-1$). На кривой этим слоям соответствуют отрезки AB и BC (рис.1). Вертикальный отрезок DE изображает стандартное отклонение для соответствующего отсчета на полевой кривой. Проведем отрезок AC . Возможны два случая:

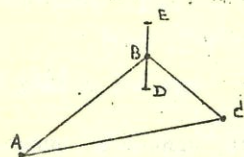


Рис.1

- а) DE и AC имеют общую точку пересечения;
- б) отрезки не пересекаются.

В первом случае происходит объединение слоев. Параметры результирующего слоя определяются по отрезку AC , который рассматривается как элемент кривой DZ . Процесс упрощения продолжается до тех пор, пока существуют отрезки, удовлетворяющие условию "а". Все указанные действия реализуются в процессе диалога.

После окончания упрощения программа предоставляет возможность рассчитать теоретическую кривую p_K^T для упрощенного разреза и сравнить ее с экспериментальными данными. При необходимости возможны вариации параметров модели с целью уменьшения величины ε .

4. Оценка области эквивалентных решений. Программа приближенно оценивает размеры области эквивалентных решений. Пусть p_j — значение j -го параметра модели после процедуры упрощения. Путем подбора ищется диапазон $p_j - \Delta p_j, p_j + \Delta p_j$, в пределах которого погрешность, определенная соотношением (13), удовлетворяет неравенству $\varepsilon < \varepsilon^*$ (ε^* — наперед заданное значение). Остальные $2 \cdot N$ параметров в процессе вариации p_j сохраняют свои значения.

II. ОПИСАНИЕ ДИАЛОГОВОГО СЕАНСА

Перед тем как приступить к работе с программой, необходимо подготовить экспериментальные данные. Для этого возьмите свой полевой журнал и убедитесь, что значения кажущегося сопротивления, рассчитанные на профиле, правильны. Затем внимательно изучите характер разрывов на графике зондирования, соответствующих различным приемным линиям. Прямая задача рассчитывает параметр p_K для предельной установки, поэтому разрывы необходимо устранить. У вас все готово? Априорные оценки дисперсии для экспериментальных данных имеются? Тогда за дело.

1. Включаем систему в сеть с помощью тумблеров, установленных на микроЭВМ, дисплее и принтере. После включения на клавишном пульте (клавиатуре) дисплея клавиши ДУП, ЛИН, РЕД должны быть нажаты.

2. В лентопротяжное устройство магнитофона микроЭВМ ДЗ-28 вставляем кассету с записанной на нее программой Бэйсик-интерпретатор. Последовательно нажимая клавиши пульта микроЭВМ Р, С, СЛ, осуществляем пуск магнитофона и считывание Бэйсик-интерпретатора в ОЗУ. Если загорелась лампочка индикатора сбоя записи, нажимаем клавиши С и СЛ и повторяем чтение и т.д. до нормального завершения процесса загрузки.

3. Проверяем контрольную сумму программы интерпретатора нажатием клавиши КР на пульте микроЭВМ. Сумма должна совпадать с указанной на кассете с Бэйсик-интерпретатором (для Бэйсик-

Плюс сумма равна 151500).

4. Запускаем Бейсик, нажав клавишу Δ микроЭВМ. На экране дисплея появится сообщение
D3-28 BASIC PLUS

4.1/19.06.85

TAKE OFF CASSETTE!

Исполните, пожалуйста, эту просьбу. Теперь управление работой системы будет производиться с пульта дисплея. Нажимаем клавишу ПС и получаем еще один запрос
NUMBERS OF SUBROUTINES?

Вводим код 74, и на экране появляется сообщение
MOUNT CASSETTE WITH SUBROUTINES.

Устанавливаем кассету с подпрограммой 74. Это подпрограмма расчета прямой задачи ВЭЗ. Для повышения быстродействия она написана в машинных кодах. Нажатием клавиши ПС производим загрузку подпрограммы. Начальный диалог заканчивается выдачей надписи

TAKE OFF CASSETTE

READY

:

5. Устанавливаем на магнитофон кассету с программой интерпретации ВЭЗ. Имя программы DIALOG. Перематываем ленту на кассете так, чтобы вся лента оказалась в правой части кассеты. С клавиатуры дисплея задается команда LOAD DIALOG <ПС> и производится загрузка программы.

6. Запуск программы осуществляется командой
RUN <ПС>

На экране появляется сообщение

ОБРАБОТКА ВЕРТИКАЛЬНОГО

ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

ВАШИ ДАЛЬНЕЙШИЕ ДЕЙСТВИЯ?

1 - ЗАГРУЗКА ВСТРОЕННЫХ ДАННЫХ, ИНТЕРПРЕТАЦИЯ.

2 - ВВОД ДАННЫХ, РЕДАКТИРОВАНИЕ, ИНТЕРПРЕТАЦИЯ.

Если вы впервые обдаетесь с программой DIALOG, то полезно будет поработать с тестовым примером. Введите код 1 и вам будет предоставлена кривая ВЭЗ с неизвестными параметрами. Какими? Это вы узнаете сами. Перед вами на экране дисплея график зондирования, состоящий из 13 точек.

Перед началом работы ответьте, пожалуйста, на вопрос: к

какому типу кривых его можно отнести и сколько слоев визуально можно выделить?

Встроенные данные вы загрузили, теперь можно переходить к их интерпретации. В качестве ответа введите код 5 и получите вопрос:

ОТКУДА ВЗЯТЬ НАЧАЛЬНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ?

1-ВВЕСТИ 2-СФОРМИРОВАТЬ

Давайте поработаем в автоматическом режиме. Вводим 2 и получаем приглашение задать сопротивление и мощность первого слоя. Значение этих параметров несложно определить по двухслойной палетке ВЭЗ, если представленную кривую изобразить на билотарифмическом бланке. Если вы все сделали правильно, то значения параметров будут следующими:

$$\rho_1 \approx 130 \text{ Ом}\cdot\text{м}, h_1 \approx 0,9 \text{ м}.$$

Для того чтобы ответить на следующий запрос и ввести сопротивление последнего слоя, также воспользуйтесь двухслойной палеткой. У вас должно получиться приблизительно 395 Ом·м.

Программа уведомляет вас, что
СТРОИТСЯ НАЧАЛЬНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ДЛЯ ОСТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ (ИСПОЛЮЮТСЯ ФУНКЦИИ DAR ZARROUK).

В результате этого вы получите в качестве начального приближения 14-слойную модель.

Подумайте, пожалуйста, почему в модели именно 14 слоев?

В ответ на запрос введите код 7. Этим вы запустите итерационный процесс (I2). Повторите эти действия еще четыре раза и перейдите к работе по каналу 2. Сейчас вы проверяли, насколько хорошо построено начальное приближение. Внимательно изучите графики на экране дисплея (на рис.2 представлен вид экрана дисплея на этом этапе интерпретации). Знаком '+' изображена интерпретируемая кривая, знак '*' соответствует теоретической кривой, рассчитанной для 14-слойной модели. Получилось совсем неплохо. Интерпретируемые и модельные данные совпадают с погрешностью, не превышающей 1% на каждом дискрете. В табл.2 приведены значения ϵ для каждой итерации. Эти данные иллюстрируют сходимость итерационного процесса (I2).

Оказалось, что попутно с построением начального приближения решена проблема подбора: кривые на рис.2 совпадают с погрешностью меньшей, чем та, которая соответствует экспериментальным данным (3 - 5%).

Таблица 2

Сопоставление экспериментальных и модельных данных в ходе построения начального приближения

Номер итерации	1	2	3	4	5
Значение ϵ	10,2	3,6	1,6	0,8	0,6

Начнем упрощение разреза. Для этого в качестве ответа вводим код 6. Выполняем этот процесс до тех пор, пока расчетная погрешность объединения по каждому слою не превысит 1 %. В результате в модели остается восемь слоев. Результаты сравнения модельных и интерпретируемых данных, построенных для 8-слойной модели, приведены на рис.3. Проанализируйте эти результаты. Как вы считаете, упрощение разреза было удачным?

Обратите внимание на слои с сопротивлением 34 Ом·м, 35 Ом·м. Очевидно, их можно заменить одним слоем с параметром $\rho = 35$ Ом·м, $h = 6,8$ м. Кроме этого, если вычислить параметр S для пятого слоя: $S = 5,9$ (м)/51 (Ом·м) = 0,115 (см), то можно, не меняя значения, изменить параметры пятого слоя следующим образом: $\rho_5 = 35$ Ом·м, $h_5 = 4$ м (продольная проводимость слоя осталась неизменной). Тогда в модели остается шесть слоев. Результаты сопоставления модельных данных с экспериментальными представлены на рис.4. Анализ этих графиков позволит вам провести вариацию параметров модели с целью дальнейшего упрощения разреза. Один из возможных результатов представлен на рис.5. Итак, от 14-слойной модели, удовлетворяющей полевым данным с $\epsilon = 0,6$ %, мы пришли к более простому разрезу, содержащему четыре слоя, а значение погрешности практически не изменилось ($\epsilon = 0,9$ %).

ХОРОШИЙ ПОВОД ПОРАССУЖДАТЬ О ЕДИНСТВЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ!

Перейдем теперь к заключительному этапу интерпретации. Оценим размеры области эквивалентности для 4-слойного разреза с параметрами, представленными на рис.5. Результаты этих расчетов представлены в табл.3. При этом величина $\epsilon^* = 3$ %.

Таблица 3

Диапазон погрешностей определения параметров разреза

Слой	Диапазон сопротивлений (Ом·м)	Диапазон мощностей (м)
1	103 - 161	0,8 - 1,0
2	35 - 37	9,8 - 11,4
3	88 - 161	5,8 - 13,9
4	360 - 442	

Сопоставьте полученный класс эквивалентных решений с истинными параметрами разреза

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 130 \text{ Ом·м}, & h_1 &= 0,9 \text{ м}, \\ \rho_2 &= 36 \text{ Ом·м}, & h_2 &= 10 \text{ м}, \\ \rho_3 &= 100 \text{ Ом·м}, & h_3 &= 12 \text{ м}, \\ \rho_4 &= 400 \text{ Ом·м} \end{aligned}$$

и оцените качество интерпретации.

Библиографический список

1. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. - М.: Наука, 1977. - 240 с.
2. Жданов М.С. Электроразведка. - М., 1986. - 315 с.
3. Куфуд О. Зондирование методом сопротивлений. - М., 1984. - 270 с.
4. Табаровский Л.А., Эпов М.И., Сосунов О.Г. Оценка разрешающей способности электромагнитных методов и подавление помех в системах многократного наблюдения (теория, алгоритмы, программы). Новосибирск, 1985. - 47 с. (Препринт / АН СССР. Сиб. отд-ние. Институт геологии и геофизики; № 7).
5. Электрическое зондирование геологической среды / Под ред. В.К.Хмелевского, В.А.Шевнига. - М.: Изд-во МГУ, 1988. Ч.1. - 177 с.
6. Mallett R. The fundamental equations of electrical prospecting // Geophysics. - 1947. - Vol.12, N 4. - P.529-556.

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ
 R(1)=130 D(1)= -9
 R(2)=34 D(2)= 1.1
 R(3)=37 D(3)= 1.9
 R(4)=34 D(4)= 3.8
 R(5)=51 D(5)= 5.9
 R(6)=111 D(6)= 8.0
 R(7)=242 D(7)= 8.7
 R(8)=435 D(8)= 12.5
 R(9)=428 D(9)= 23.7
 R(10)=367 D(10)= 43.6
 R(11)=596 D(11)= 52.7
 R(12)=324 D(12)= 119.8
 R(13)=443 D(13)= 133.9
 R(14)=395

B33 N 11111

R0K(+) Z(*)
 96.0 -1
 55.0 -1
 42.0 -1
 40.0 0
 46.0 0
 61.0 -0
 85.0 0
 122.0 -0
 165.0 -0
 209.0 1
 259.0 -1
 302.0 1
 336.0 0

НОМЕР ИТЕРАЦИИ = 5 СР. ПОГР. (%) = .6

РИС. 2

I4

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ
 R(1)=130 D(1)= -9
 R(2)=34 D(2)= 1.1
 R(4)=35 D(4)= 5.7
 R(5)=51 D(5)= 5.9
 R(6)=111 D(6)= 8.0
 R(9)=384 P(9)= 46.2
 R(11)=478 D(11)= 99.1
 R(14)=380

B33 N 11111

R0K(+) Z(*)
 96.0 -1
 75.0 -2
 42.0 -3
 40.0 -1
 46.0 1
 61.0 1
 85.0 0
 122.0 2
 165.0 2
 209.0 2
 259.0 3
 302.0 4
 336.0 2

НОМЕР ИТЕРАЦИИ = 2 СР. ПОГР. (%) = 2.0

РИС. 3

I5

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ
 R(1)= 130 D(1)= .9
 R(4)= 35 D(4)= 10.8
 R(7)= 111 D(6)= 8.0
 R(9)= 384 D(9)= 46.2
 R(11)= 478 D(11)= 99.1
 R(14)= 380

R33 N 1111

RC (+) %(*)
 96.0 -1
 55.0 -1
 42.0 -3
 40.0 -3
 46.0 -3
 61.0 -1
 85.0 2
 122.0 2
 165.0 2
 209.0 2
 259.0 2
 302.0 4
 336.0 2

AB/2
 1.5
 3.0
 5.0
 9.0
 15.0
 25.0
 40.0
 65.0
 100.0
 150.0
 220.0
 340.0
 480.0

НОМЕР ИТЕРАЦИИ = 9 СР. ПОГР. (%) = 2.2

РИС. 4

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ
 R(1)= 130 D(1)= .9
 R(4)= 36 D(4)= 10.8
 R(6)= 111 D(6)= 10.0
 R(14)= 395

R33 N 1111

RC (+) %(*)
 96.0 -1
 55.0 1
 42.0 -1
 40.0 -1
 46.0 -1
 61.0 -1
 85.0 1
 122.0 1
 165.0 0
 209.0 0
 259.0 -2
 302.0 -1
 336.0 -2

AB/2
 1.5
 3.0
 5.0
 9.0
 15.0
 25.0
 40.0
 65.0
 100.0
 150.0
 220.0
 340.0
 480.0

НОМЕР ИТЕРАЦИИ = 9 СР. ПОГР. (%) = 0.9

РИС. 5

О г л а в л е н и е

Введение	3
I. Алгоритм интерпретации вертикальных электрических зондирований	4
II. Описание диалогового сеанса	9
Библиографический список	13

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ НА МИКРОЭВМ

Методические указания к курсу "ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА"

Составители: Ю.А.Дашевский, Н.В.Кривоногов
Отв. редактор Ю.И.Антонов
Редактор С.Д.Андреева

Подписано в печать 13.02.80
Формат 60x84 1/16. Тираж 400 экз.
Заказ № 239 Объем I уч.-изд. л. Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии НГУ.
630090, Новосибирск, 90, Пирогова, 2.