

С. А. Вагин

АЛГОРИТМ ДВУМЕРНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ *E*- И *H*-ПОЛЯРИЗАЦИЙ ПОЛЯ

В регионах с преобладающей двумерной (2D) структурой корового и мантийного распределения электропроводности при одномерной (1D) интерпретации данных магнитотеллурических зондирований (МТЗ) возможны большие ошибки. В настоящее время имеются работы, посвященные 2D-инверсии [1–4]. Однако по ряду причин не всегда удается ими воспользоваться. В данной работе предлагается простой эффективный алгоритм для 2D-интерпретации данных МТЗ, включающий в себя также и 1D-интерпретацию.

Постановка задачи и метод решения

На профиле x имеется N точек зондирования, расположенных с произвольным шагом. Зондирования произведены в диапазоне периодов $T(j)$, $j = 1, 2, \dots, M$. В результате предварительной обработки, которую мы здесь не рассматриваем, получены сглаженные значения кажущегося удельного сопротивления (модуля) с погрешностью, не превышающей δ_ρ , и фазы импеданса с погрешностью, не превышающей δ_α , во всех точках зондирований при *E*- и *H*-поляризациях поля: $\rho_{yx}(i, j)$, $\rho_{xy}(i, j)$, $\arg Z_{yx}(i, j)$, $\arg Z_{xy}(i, j)$, $i = 1, 2, \dots, N$. По этим данным построим псевдоразрез, разрез по результатам 1D-интерпретации и разрез по результатам 2D-интерпретации с использованием *E*- и *H*-поляризаций поля. Прямую 1D-задачу будем решать по известным рекуррентным формулам, которые можно найти, например, в [5]. Прямую 2D-задачу будем решать сеточным методом по программе И. Л. Варданянц [6]. В основе 1D- и 2D-интерпретации лежит метод, предложенный А. А. Zohdy [7] для 1D-интерпретации, дополненный фазовой интерпретацией и механизмом определения нижней границы сопротивления плохо проводящих слоев и модифицированный для 2D-интерпретации. Интерпретация проводится по модулю кажущегося эффективного сопротивления $\rho_{\text{эф}}(i, j)$ и отдельно по $\rho_{yx}(i, j)$ и $\rho_{xy}(i, j)$ для *E*- и *H*-поляризаций поля соответственно. Аналогичная интерпретация проводится и для фаз: $\arg Z(i, j)$, $\arg Z_{yx}(i, j)$ и $\arg Z_{xy}(i, j)$. Рассмотрим подробно случай интерпретации по $\rho_{\text{эф}}(i, j)$ или $\arg Z_{\text{эф}}(i, j)$.

Алгоритм 1D-интерпретации

В основе алгоритма лежит идея А. А. Zohdy об использовании связи удельного сопротивления скин-слоя с соответствующим ему значением кажущегося сопротивления на кривой зондирования, изначию им реализованная при 1D-интерпретации.

1. В качестве начального приближения берутся кажущиеся эффективные сопротивления $\rho_{\text{эф}}(i, j)$ скин-слоев и мощности слоев $h(i, j)$:

$$\rho^{(0)}(i, j) = \rho_{\text{эф}}(i, j), \quad h(i, 1) = z_c(i, 1),$$

$$h(i, j + 1) = z_c(i, j + 1) - z_c(i, j), \quad j = 1, 2, \dots, M - 1,$$

$$\rho_{\text{эф}}(i, j) = \sqrt{\rho_{xy}(i, j)\rho_{yx}(i, j)}, \quad z_c(i, j) = \sqrt{\rho_{\text{эф}}(i, j)T(i, j)/(2\pi\mu_0)}, \quad (1)$$

где $z_c(i, j)$ — глубина скин-слоя.

2. Решается прямая 1D-задача, определяются новые (модельные) значения $\rho_k^{\text{мод}}(i, j)$ и $\text{arg } Z^{\text{мод}}(i, j)$.

3. Определяется невязка для модуля кажущегося эффективного сопротивления

$$\varepsilon^{(l)} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \left(\frac{\rho_{\text{эф}}(i, j) - \rho_k^{\text{мод}}(i, j)}{\rho_{\text{эф}}(i, j)} \right)^2} \quad (2)$$

и невязка для фазы (в радианах) эффективного импеданса

$$\tau^{(l)} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (\text{arg } Z_{\text{эф}}(i, j) - \text{arg } Z^{\text{мод}}(i, j))^2}, \quad (3)$$

где $\text{arg } Z_{\text{эф}}(i, j) = (\text{arg } Z_{xy}(i, j) + \text{arg } Z_{yx}(i, j))/2$. Значение $l = 0$ соответствует начальному приближению, $l = 1$ — первой итерации, и т. д. Здесь и дальше все углы приведены к одной четверти.

4. При $\varepsilon^{(l)} > \delta_\rho$ или $\tau^{(l)} > \delta_a$, если интерпретация проводится по фазе, выполняется следующий пункт.

5. Определяются новые значения сопротивлений слоев

$$\rho^{(l)}(i, j) = a(i, j)\rho^{(l-1)}(i, j), \quad (4)$$

где

$$a(i, j) = \frac{\rho_{\text{эф}}(i, j)}{\rho_k^{\text{мод}}(i, j)}. \quad (5)$$

В случае фазовой интерпретации

$$\rho^{(l)}(i, j) = b(i, j)\rho^{(l-1)}(i, j), \quad (6)$$

где

$$b(i, j) = \frac{\text{arg } Z^{\text{мод}}(i, j)}{\text{arg } Z_{\text{эф}}(i, j)}. \quad (7)$$

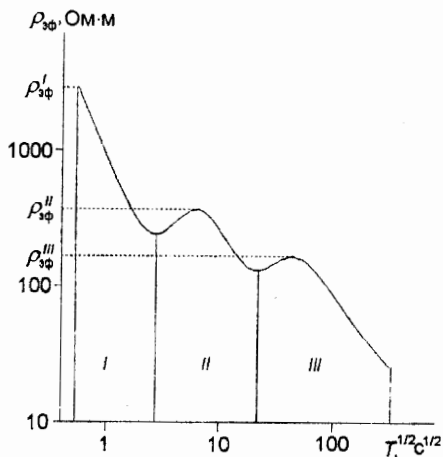


Рис. 1. К определению нижней границы сопротивления плохо проводящих слоев.

6. Решается прямая 1D-задача для новых сопротивлений $\rho^{(l)}(i, j)$.

7. Вычисляется невязка по формуле (2) или (3).

8. Итерационный процесс по пп. 5–7 прекращается на итерации l , если выполнено одно из условий: а) $\varepsilon^{(l)} \leq \delta_\rho$; б) $(\varepsilon^{(l-1)} - \varepsilon^{(l)})/\varepsilon^{(l-1)} \leq \delta_1$; в) $l = L$, где $\delta_1 = 0,02 \pm 0,05$, L — максимальное число итераций. В случае фазовой интерпретации записываются аналогичные выражения.

Однако в таком виде алгоритм может столкнуться с неприятностью, связанной с коррекцией сопротивлений плохо проводящих слоев, особенно когда их мощность незначительна. При этом может происходить чрезмерное завышение сопротивлений. В связи с этим сделаем следующее. Экспериментальную кривую $\rho_{\text{эф}}(i, j)$ разобьем на отдельные области вертикальными прямыми, проходящими через крайние точки и минимумы кривой, как показано на рис. 1. В каждой из полученных областей определим максимальные значения сопротивлений $\rho_{\text{эф}}^I(i, j)$, $\rho_{\text{эф}}^{II}(i, j)$ и т. д. Описанный выше алгоритм применим сначала для области I, затем для области I + II и т. д.

Будем делать итерации по коррекции $\rho(i, j)$ в области I согласно пп. 5–8 алгоритма так, чтобы выполнялось условие $\rho(i, j) \leq \rho_{\text{эф}}^I(i, j)$, и запомним невязку, которая при этом получится. Теперь вместо $\rho_{\text{эф}}^I(i, j)$ возьмем $2\rho_{\text{эф}}^I(i, j)$ и опять выполним пп. 5–8 алгоритма, но уже с условием $\rho(i, j) \leq 2\rho_{\text{эф}}^I(i, j)$. Итерационный процесс по удвоению сопротивления $\rho_{\text{эф}}^I(i, j)$ закончим тогда, когда скорость изменения невязки этого процесса станет меньше δ_ρ или δ_α при интерпретации по фазе. Таким образом, мы получаем нижнюю оценку сопротивления плохо проводящего слоя, которая равна $R_1(i) = 2^{l_r-1} \rho_{\text{эф}}^I(i, j)$, где l_r — число проделанных итераций по уточнению этого сопротивления. Теперь добавим к области I область II . Коррекцию сопротивлений проводим так, чтобы сопротивление $\rho(i, j)$ в области I не превосходило найденного $R_1(i)$, сопротивление же в области II корректируем так же, как в области I . Затем к областям I и II добавляется область III и т. д.

Описанный механизм определения нижней границы сопротивления плохо проводящих слоев был опробован на разных моделях и дал хорошие результаты. Полученные при этом значения

$$R_1(i), R_2(i), \dots, i = 1, 2, \dots, N, \quad (8)$$

в дальнейшем будем использовать при 2D-интерпретации.

Построение рабочей сетки для прямой 2D-задачи

Рассмотрим механизм построения рабочей сетки. Обозначим цифрами $i = 1, 2, \dots, N$ точки зондирования с координатами $X(i)$. Между этими точками введем дополнительные $N - 1$ точек с координатами $(X(i) + X(i + 1))/2$, $i = 1, 2, \dots, N - 1$. Слева от точки $X(1)$ введем дополнительно m_1 точек следующим образом: первая на расстоянии $d_1 = (X(2) - X(1))/2$, вторая на расстоянии $2d_1$, третья на расстоянии $4d_1$ и т. д., пока m_1 -я точка не окажется от точки $X(1)$ на расстоянии, большем, чем длина полуволны для точки с максимальным скин-слоем на периоде $T(M)$. Аналогично делается и справа от точки $X(N)$. Всего получается $2N + m_1 + m_2 - 1$ точек по оси x . При таком построении каждая точка зондирования будет давать два одинаковых столбца сопротивлений. При построении точек сетки по вертикали воспользуемся глубинами скин-слоев, определенными по формуле (1). Найдем минимальную глубину скин-слоя z_c^{\min} на периоде $T(1)$ и максимальную z_c^{\max} на периоде $T(M)$ среди всех точек зондирования и отметим их на оси z . Расстояние от нуля до точки z_c^{\min} разделим на три равные части. Расстояние между точками z_c^{\min} и z_c^{\max} поделим в логарифмическом масштабе на N_c частей таким образом: $\Delta_z = (\lg z_c^{\max} - \lg z_c^{\min})/N_c$, тогда координаты следующих точек определяются из соотношения

$$\lg z(k) = \lg z_c^{\min} + (k - 3)\Delta_z, \quad k = 4, 5, \dots, N_c.$$

Добавим к полученным точкам по оси z еще две точки $z(N_c + 4)$ и $z(N_c + 5)$ так, что

$$\lg z(N_c + 4) = \lg z(N_c + 3) + \Delta_z,$$

$$\lg z(N_c + 5) = \lg z(N_c + 3) + 2\Delta_z.$$

Через эти точки на осях x и z проведем параллельные этим осям прямые. Полученная рабочая сетка будет использована при решении прямой 2D-задачи. В качестве N_c оптимально взять число периодов, т. е. $N_c = M$.

После того как определены глубины скин-слоев, проведена локально 1D-интерпретация и построена рабочая сетка для прямой 2D-задачи, можно построить

псевдоразрез и разрез по результатам 1D-интерпретации. Заполним рабочую сетку псевдосопротивлениями так, чтобы в каждой точке зондирования сопротивление скин-слоя попадало в соответствующую по глубине ячейку сетки в области интерпретации (между точками $X(1)$ и $X(N)$). Для этого двумерной ячейке (k_x, k_z) припишем значение псевдосопротивления ближайшего снизу по оси z скин-слоя $z_c(i, j)$. При этом окажется, что часть нижних клеток в некоторых точках зондирований не будет заполнена. В таких случаях можно либо использовать априорную информацию, например глобальную кривую для изучаемого района, если она есть, либо, самое простое, заполнить пустые клетки сопротивлениями, беря точку с максимальной глубиной скин-слоя. Это достаточно деликатный момент в интерпретации, который рекомендуется делать в несколько этапов, используя, по возможности, несколько вариантов и анализируя все полученные при интерпретации разрезы. Заполним рабочую сетку вне области интерпретации. Для этого клеткам с координатами $z(N_c + 4)$ и $z(N_c + 5)$ по оси z припишем сопротивление, соответствующее z_c^{\max} . Оставшимся пустым клеткам слева припишем, в соответствии с глубиной, сопротивления клеток первой точки зондирования, а клеткам справа — сопротивления клеток последней точки. Таким образом мы получаем рабочую сетку с сопротивлениями двумерных ячеек $\rho^{(0)}(k_x, k_z)$, $k_x = 1, 2, \dots, 2N + m_1 + m_2 - 2$, $k_z = 1, 2, \dots, N_c + 5$.

Точно так же рабочая сетка заполняется сопротивлениями, полученными в результате локальной 1D-интерпретации. Затем решается прямая 2D-задача для E - и H -поляризации поля на сетке псевдосопротивлений и сетке сопротивлений, полученных при 1D-интерпретации, и определяется невязка для модуля эффективного сопротивления по формуле

$$\varepsilon^{(l)} = \max_{i=1, N} \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \left(\frac{\rho_{\text{эф}}(i, j) - \rho_{\text{эф}}^{\text{мод}}(i, j)}{\rho_{\text{эф}}(i, j)} \right)^2} \quad (9)$$

и невязка для фазы (в радианах) импеданса

$$\tau^{(l)} = \max_{i=1, N} \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (\arg Z_{\text{эф}}(i, j) - \arg Z_{\text{эф}}^{\text{мод}}(i, j))^2}, \quad (10)$$

где модельные $\rho_{\text{эф}}^{\text{мод}}(i, j)$ и $\arg Z_{\text{эф}}^{\text{мод}}(i, j)$ находятся по формулам

$$\rho_{\text{эф}}^{\text{мод}}(i, j) = \sqrt{\rho_{xy}^{\text{мод}}(i, j) \rho_{yx}^{\text{мод}}(i, j)}, \quad (11)$$

$$\arg Z_{\text{эф}}^{\text{мод}}(i, j) = (\arg Z_{xy}^{\text{мод}}(i, j) + \arg Z_{yx}^{\text{мод}}(i, j))/2. \quad (12)$$

Алгоритм 2D-интерпретации

В качестве начального приближения для 2D-интерпретации возьмем в зависимости от найденных в последнем пункте невязок либо псевдоразрез, либо разрез, полученный при 1D-интерпретации. Однако в любом случае будем использовать сопротивления (8), вычисленные при 1D-интерпретации. Будем так же, как и в случае 1D, полагать, что изменение сопротивления уже не слоя, а двумерной (k_x, k_z) ячейки приведет к изменению положения соответствующей глубине скин-слоя точки на кривой зондирования $\rho_{\text{эф}}^{\text{мод}}(i, j)$, а именно: увеличение (уменьшение) сопротивления (k_x, k_z) ячейки приведет к увеличению (уменьшению) $\rho_{\text{эф}}^{\text{мод}}(i, j)$ на соответствующем периоде. Вместо (4)–(7) возьмем для коррекции более “осторожные” формулы:

$$\rho^{(l)}(k_x, k_z) = c(i, j) \rho^{(l-1)}(k_x, k_z), \quad (13)$$

где

$$c(i, j) = \sqrt{\rho_{\text{эф}}(i, j) / \rho_{\text{эф}}^{\text{МОД}}(i, j)}; \quad (14)$$

в случае фазовой интерпретации

$$\rho^{(l)}(k_x, k_z) = d(i, j) \rho^{(l-1)}(k_x, k_z), \quad (15)$$

где

$$d(i, j) = \sqrt{\arg Z_{\text{эф}}^{\text{МОД}}(i, j) / \arg Z_{\text{эф}}(i, j)}. \quad (16)$$

Приведем теперь алгоритм 2D-интерпретации.

1. Берется начальное приближение либо в виде псевдореза, либо в виде разреза, полученного при 1D-интерпретации, с найденной невязкой по формуле (9) или (10), если интерпретация проводится по фазе.

2. Если $\varepsilon^{(0)} > \delta_\rho$ или $\tau^{(0)} > \delta_a$, то производится коррекция сопротивлений по формулам (13), (14) в случае интерпретации по $\rho_{\text{эф}}(i, j)$ или по формулам (15), (16) в случае интерпретации по $\arg Z_{\text{эф}}(i, j)$, причем корректируемые сопротивления не должны превышать соответствующих им сопротивлений, определенных выше (см. (8)).

3. Решается прямая 2D-задача для *E*- и *H*-поляризаций поля, и по формулам (11), (12) определяются новые (модельные) значения $\rho_{\text{эф}}^{\text{МОД}}(i, j)$ и $\arg Z_{\text{эф}}^{\text{МОД}}(i, j)$.

4. Определяется невязка по формуле (9) или (10).

5. Итерационный процесс 2-4 прекращается, если выполнено одно из условий: а) $\varepsilon^{(l)} \leq \delta_\rho$; б) $(\varepsilon^{(l-1)} - \varepsilon^{(l)}) / \varepsilon^{(l-1)} \leq \delta_1$; в) $l = L$, где L — максимальное число итераций.

Численные эксперименты показали, что в качестве останова для п. 5, б можно взять $\delta_1 = 0,02$. При интерпретации по фазе записываются аналогичные выражения.

Мы рассмотрели случай интерпретации раздельно кажущегося эффективного сопротивления и фазы эффективного импеданса. Раздельная интерпретация для *E*- и *H*-поляризаций поля проводится по этому алгоритму точно так же путем замены соответствующих величин на $\rho_{yx}(i, j)$ и $\rho_{yx}^{\text{МОД}}(i, j)$, $\rho_{xy}(i, j)$ и $\rho_{xy}^{\text{МОД}}(i, j)$, $\arg Z_{yx}(i, j)$ и $\arg Z_{yx}^{\text{МОД}}(i, j)$, либо $\arg Z_{xy}(i, j)$ и $\arg Z_{xy}^{\text{МОД}}(i, j)$.

Результаты тестирования алгоритма на моделях

Для иллюстрации качества работы приведенного алгоритма рассмотрим две модели, изображенные на рис. 2. Модель 2 взята из работы [8].

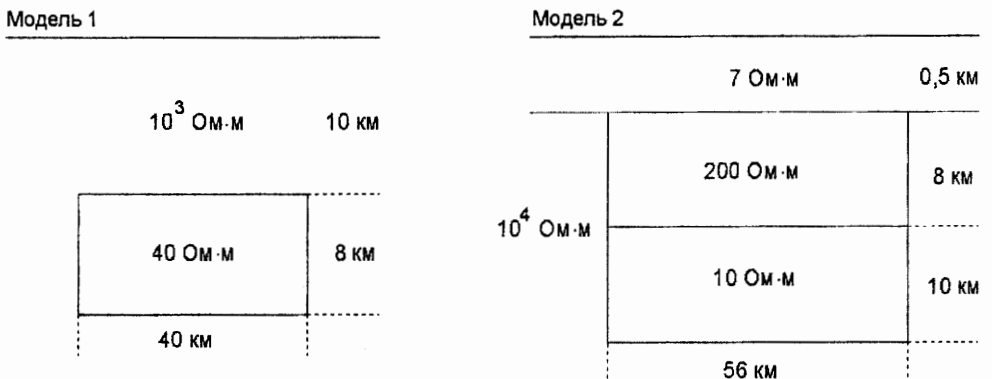


Рис. 2. Тестовые двумерные модели.

Для этих моделей были рассчитаны $\rho_{yx}(i, j)$ и $\arg Z_{yx}(i, j)$, $\rho_{xy}(i, j)$ и $\arg Z_{xy}(i, j)$ для E - и H -поляризации поля соответственно. Отметим, что основные закономерности, о которых пойдет речь, имели место и для других рассмотренных, но не представленных в данной работе моделей.

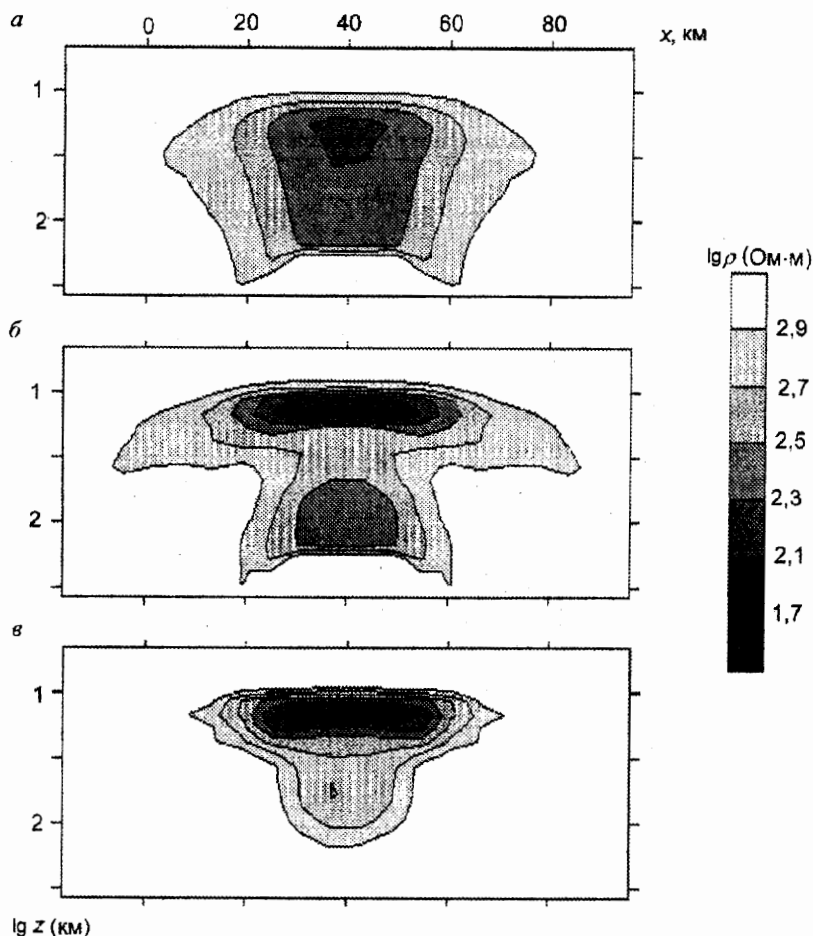


Рис. 3. Результаты интерпретации по модулю $\rho_{\text{эф}}(i, j)$ для модели 1:

a — псевдоразрез; b — разрез по 1D-интерпретации; c — разрез по 2D-интерпретации.

На рис. 3 и 4 приведены псевдоразрезы и разрезы, полученные по результатам 1D- и 2D-интерпретации с использованием $\rho_{\text{эф}}(i, j)$. Все три разреза на рис. 3 хорошо отражают глубину залегания верхней части проводящего включения, причем четкость фиксации при 1D- и 2D-интерпретации последовательно улучшается. Мощность проводящего включения по псевдоразрезу оказывается завышенной более чем в 10 раз, а при 1D- и 2D-интерпретации — примерно в 1,5 раза.

При переходе от псевдоразреза к разрезу, полученному в 2D-интерпретации, проводящее включение начинает стягиваться по мощности к истинному значению, при этом в 1D-интерпретации появляется еще одно проводящее включение, которое исчезает в 2D-интерпретации. Псевдоразрез и 1D-интерпретация дают по оси

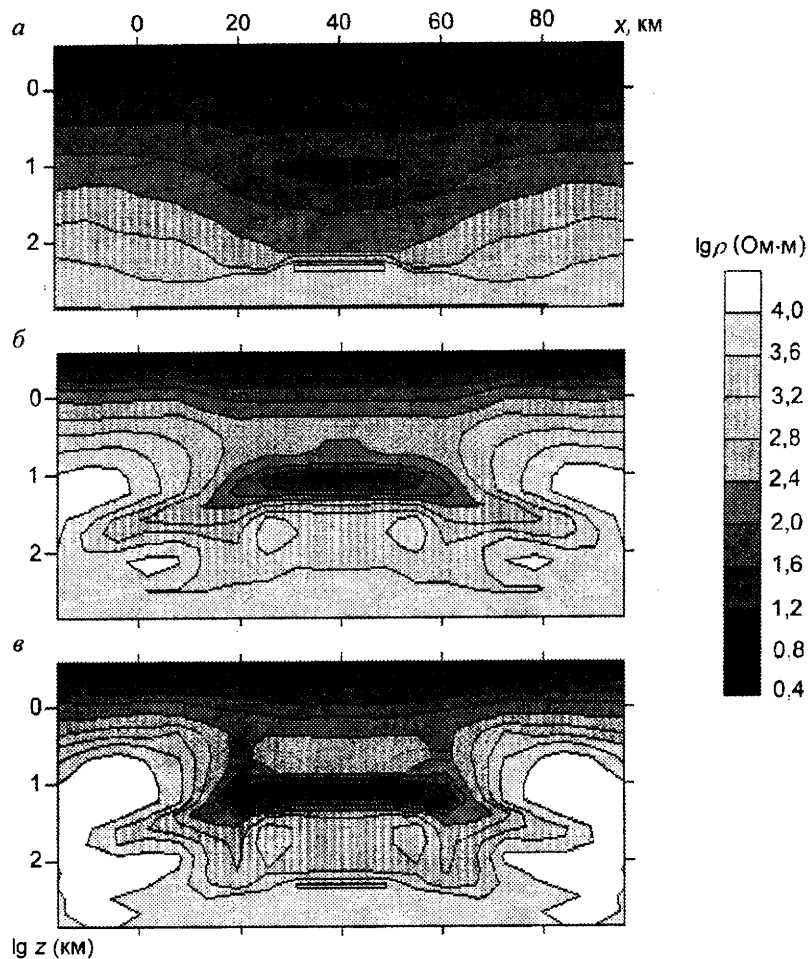


Рис. 4. Результаты интерпретации по модулю $\rho_{эф}(i, j)$ для модели 2:

a — псевдоразрез; *b* — разрез по 1D-интерпретации; *v* — разрез по 2D-интерпретации.

x сильно размытые края включения, 2D-интерпретация хорошо отражает эти края. Сопротивление проводящего включения наиболее точно определяется в результате 2D-интерпретации, по псевдоразрезу оно завышено примерно в 5 раз, а при 1D-интерпретации лишь центральная часть соответствует истинному значению.

Для второй модели (см. рис. 4) по псевдоразрезу очень трудно определить какие-либо из ее параметров. Разрезы, полученные при 1D- и 2D-интерпретации, хорошо передают структуру модели, причем при 2D-интерпретации так же, как и для первой модели, уменьшается размывание ее краев. Сопротивление верхнего проводящего слоя и первой части 2D-включения при 1D- и 2D-интерпретации передаются верно, сопротивление же второй части оказывается завышенным примерно в два раза.

На рис. 5 приведены разрезы, полученные по результатам фазовой 2D-интерпретации по арг $Z_{эф}(i, j)$. Сравнение этих результатов с интерпретацией по модулю $\rho_{эф}(i, j)$ показывает, что для данных моделей фазовая интерпретация по арг $Z_{эф}(i, j)$ лишь незначительно улучшает 1D-интерпретацию.

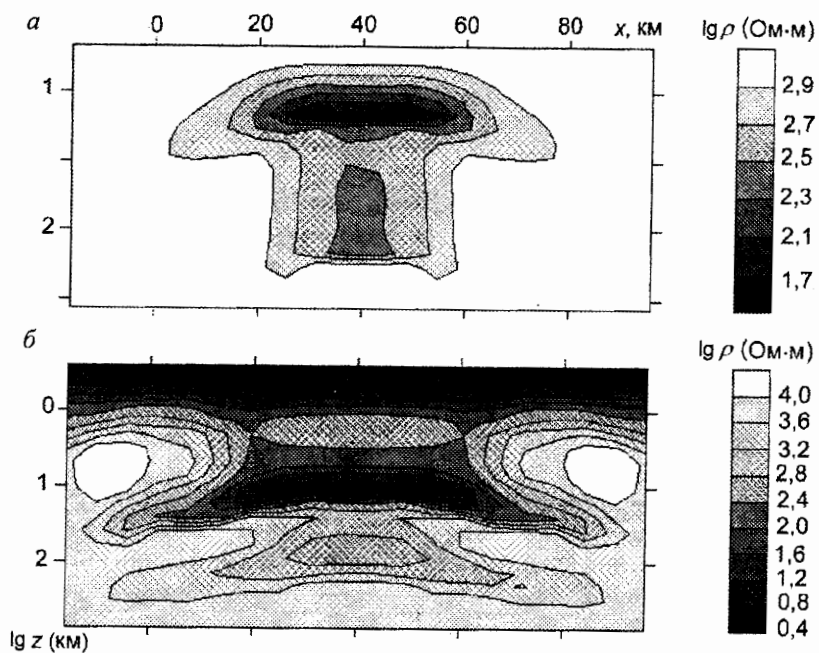


Рис. 5. Результаты 2D-интерпретации по фазе $arg Z_{\epsilon\phi}(i, j)$:

а — модель 1; б — модель 2.

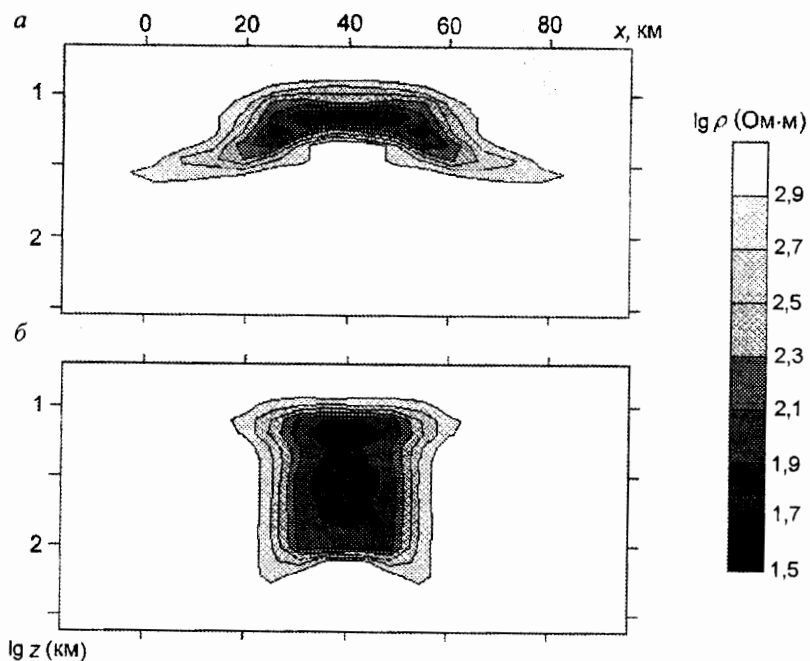


Рис. 6. Результаты 2D-интерпретации по модулю $\rho_{yx}(i, j)$ и $\rho_{xy}(i, j)$ для модели 1:

а — E-поляризация; б — H-поляризация.

На рис. 6 представлены результаты 2D-интерпретации по $\rho_{yx}(i, j)$ и $\rho_{xy}(i, j)$ (E - и H -поляризации соответственно) для первой модели (см. рис. 2, а). Интерпретация по E - и H -поляризации, как и по $\rho_{\Phi}(i, j)$, верно отражает глубину залегания верхней части включения. Нижняя часть включения по E -поляризации передается точнее, чем по $\rho_{\Phi}(i, j)$, а боковые края — хуже. В случае H -поляризации лучше отражаются края включения, но, как и в псевдоразрезе, сильно завышается его мощность. Все сказанное для первой модели при сравнении результатов интерпретации по $\rho_{yx}(i, j)$, $\rho_{xy}(i, j)$ и $\rho_{\Phi}(i, j)$ можно повторить и для второй модели (рис. 7).

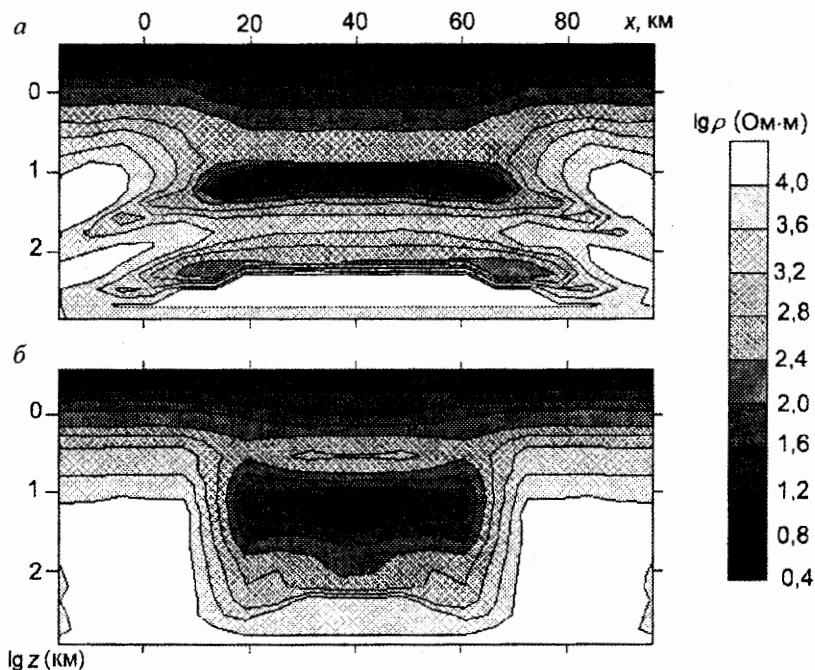


Рис. 7. Результаты 2D-интерпретации по модулю $\rho_{yx}(i, j)$ и $\rho_{xy}(i, j)$ для модели 2:

а — E -поляризация; б — H -поляризация.

Сравним теперь результаты 2D-интерпретации по фазе импеданса и модулю кажущегося сопротивления. На рис. 8 и 9 изображены разрезы, полученные по $\arg Z_{yx}(i, j)$ и $\arg Z_{xy}(i, j)$ для E - и H -поляризаций поля для рассматриваемых моделей. Для первой модели E -поляризация дает примерно одинаковые результаты при интерпретации как по $\rho_{yx}(i, j)$, так и по $\arg Z_{yx}(i, j)$, причем в случае фазовой интерпретации несколько точнее определяется мощность включения (см. рис. 6, а и 8, а). В случае H -поляризации при интерпретации по фазе включение лучше локализуется, чем при интерпретации по модулю, но появляется еще одно ложное на глубине 50...100 км (см. рис. 6, б и 8, б). Для второй модели интерпретация по модулю и фазе как для E -, так и для H -поляризации не имеет существенных отличий (см. рис. 7 и 9). Таким образом, при рассмотрении теоретических моделей интерпретация по фазе импеданса примерно совпадает с интерпретацией по модулю кажущегося сопротивления для обеих поляризаций.

Основной вывод из результатов тестирования следующий: хотя интерпретация по эффективному сопротивлению и улучшает 1D-интерпретацию, однако она не

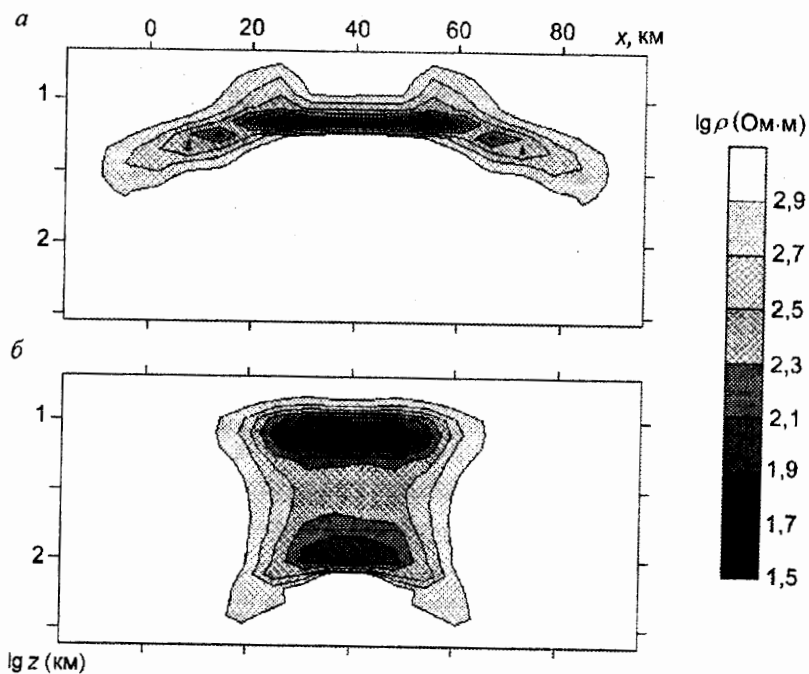


Рис. 8. Результаты 2D-интерпретации по фазе $\arg Z_{yx}(i, j)$ и $\arg Z_{xy}(i, j)$ для модели 1:
 а — E-поляризация; б — H-поляризация.

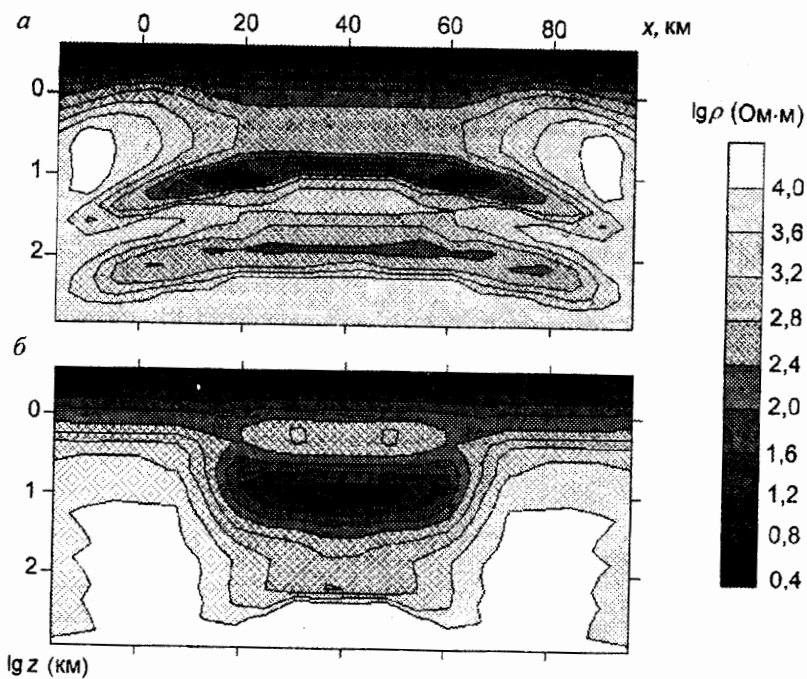


Рис. 9. Результаты 2D-интерпретации по фазе $\arg Z_{yx}(i, j)$ и $\arg Z_{xy}(i, j)$ для модели 2:
 а — E-поляризация; б — H-поляризация.

позволяет в полной мере объединить то лучшее, что есть у обеих поляризаций. Поэтому следует отдать предпочтение одновременному анализу результатов 2D-интерпретации E - и H -поляризаций, беря информацию по глубине из E -поляризации и корректируя ее по горизонтали H -поляризациями.

Рассмотренные модели были проинтерпретированы на двумерной сетке 60×40 . При этом число варьируемых сопротивлений ячеек сетки было 1200, число периодов — 40. Максимальное число итераций при решении прямой 2D-задачи как для E -, так и для H -поляризации равнялось 100. При этих условиях время одной итерации при 2D-интерпретации для E -поляризации составляло около 2 мин, для H -поляризации — 1 мин, при интерпретации по эффективному сопротивлению — 3 мин на компьютере Pentium 150. Невязка при интерпретации по модулю была 0,05–0,08; по фазе — 0,02–0,05; число итераций не превышало 30.

В заключение отметим, что описанный алгоритм может быть опробован и для трехмерной (3D) интерпретации, для чего необходимо ввести в него прямую 3D-задачу и 3D-ячейки сетки с удельными сопротивлениями $\rho(k_x, k_y, k_z)$ и выполнить необходимые преобразования.

Указатель литературы

1. Jupp D. L. B., Vozoff K. Two-dimensional magnetotelluric inversion // Geophys. J. R. Astr. Soc. 1977. Vol. 42. P. 957–976.
2. Madden T. R., Mackie R. L. Three-dimensional magnetotelluric modelling and inversion // Proc. IEEE. 1989. Vol. 77. N 2. P. 37–52.
3. Oristagio M. L., Wortington M. N. Inversion of surface and borehole electromagnetic data for two-dimensional electrical conductivity models // Geophys. Prosp. 1980. Vol. 28. P. 633–657.
4. Porokhova L. N., Morozov L. A., Vardanyants I. L. Interpretation of magnetotelluric sounding data for the 2-D inhomogeneous model of the Earth // Geophys. J. Int. 1991. Vol. 106. P. 77–84.
5. Жданов М. С. Электроразведка. М., 1986. 316 с.
6. Варданянц И. Л. Расчеты методом сеток магнитотеллурических полей над двумерными средами // Вопросы геофизики. Вып. 27. II., 1977. С. 36–40.
7. Zohdy A. A. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves // Geophysics. 1989. Vol. 54. N 2. P. 245–253.
8. Ковтун А. А. Строение коры и верхней мантии на северо-западе Восточно-Европейской платформы. II., 1989. 284 с.

Работа выполнена благодаря поддержке РФФИ, грант № 97-05-65488.