

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ И ГЛУБИННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПРИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ

Валерий Викторович Плоткин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ведущий научный сотрудник, e-mail: plotkinvv@ipgg.sbras.ru

Дмитрий Игоревич Губин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, инженер, e-mail: GubinD9@mail.ru

Разработана математическая модель для расчёта кривых магнитотеллурического зондирования (МТЗ) над геоэлектрическим разрезом, осложнённым приповерхностными и глубинными неоднородностями электропроводности.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, кажущееся сопротивление, приповерхностные и глубинные неоднородности электропроводности.

NUMERICAL MODEL OF THE INFLUENCE OF NEAR-SURFACE AND DEEP CONDUCTIVITY INHOMOGENEITIES AT MAGNETOTELLURIC SOUNDING

Valery V. Plotkin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Leading Research Scientist, e-mail: plotkinvv@ipgg.sbras.ru

Dmitry I. Gubin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Engineer, e-mail: GubinD9@mail.ru

The mathematical model is developed for calculation of magnetotelluric sounding (MTS) curves over the geoelectric section complicated by near-surface and deep conductivity inhomogeneities.

Key words: magnetotelluric sounding, apparent resistivity, the near-surface and deep conductivity inhomogeneities.

Интерпретация кривых МТЗ в рамках одномерной модели среды нередко приводит к построению ложных геоэлектрических разрезов. Искажения магнитотеллурических кривых, возникающие при отклонениях от модели Тихонова-Каньяра, часто проявляются при наличии латеральных неоднородностей электропроводности. Для дальнейшего развития метода МТЗ необходимо создание эффективного алгоритма, позволяющего получать решения прямых и обратных задач для сложных геологических структур за минимальное расчётное время.

Для анализа особенностей искажений кривых МТЗ будем использовать модель среды, включающую поверхностный и глубинный неоднородные по электропроводности слои, между которыми располагается горизонтально-слоистая модель среды. Подстилает глубинный слой также латерально-однородный геоэлектрический разрез.

Для решения прямой задачи неоднородные слои разбиваются на конечное число параллелепипедов, в каждом из которых среда однородна. Электромагнитное поле в них определяется с помощью метода Треффца [1]. Граничные условия на кровле поверхностного неоднородного слоя и на подошве глубинного основаны на двумерном Фурье-преобразовании электромагнитного поля. Их вывод подробно рассмотрен в работе [2]. Основная задача заключается в получении граничных условий в области между неоднородными слоями.

Из уравнений Максвелла следует, что пространственный спектр электромагнитного поля в каждом слое латерально однородной модели среды, расположенной между неоднородными слоями, представим в виде:

$$\begin{aligned}
 e_x &= a^+ e^{n_j(z-z_m)} + a^- e^{-n_j(z-z_m)}, \\
 e_y &= b^+ e^{n_j(z-z_m)} + b^- e^{-n_j(z-z_m)}, \\
 h_x &= -\frac{ik_x k_y}{\omega \mu n_j} \left(a^+ e^{n_j(z-z_m)} - a^- e^{-n_j(z-z_m)} \right) - \left(\frac{ik_y^2}{\omega \mu n_j} + \frac{n_j}{i\omega \mu} \right) \left(b^+ e^{n_j(z-z_m)} - b^- e^{-n_j(z-z_m)} \right), \\
 h_y &= \left(\frac{ik_x^2}{\omega \mu n_j} + \frac{n_j}{i\omega \mu} \right) \left(a^+ e^{n_j(z-z_m)} - a^- e^{-n_j(z-z_m)} \right) + \frac{ik_x k_y}{\omega \mu n_j} \left(b^+ e^{n_j(z-z_m)} - b^- e^{-n_j(z-z_m)} \right),
 \end{aligned}$$

где $a^{+,-}$ $b^{+,-}$ – некоторые константы, которые в общем случае могут зависеть от пространственных частот k_x и k_y , $n_j = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 - i\omega \mu \sigma_j}$, z_m – координата центра слоя, σ_j – электропроводность слоя.

Далее, пользуясь непрерывностью $e_{x,y}$ и $h_{x,y}$ на всех горизонтальных границах в пространстве между неоднородными слоями, можно составить необходимое количество уравнений, учитывая все возможные комбинации пар k_x и k_y [2].

На внешних боковых гранях неоднородных слоёв поставлены периодические граничные условия. Этот тип граничных условий связан с использованием в алгоритме двумерного Фурье представления поля, которое автоматически предполагает, что поле меняется в неоднородных слоях периодически по оси x с периодом $T_x = L_x n$ и по оси y с периодом $T_y = L_y m$ ($L_{x(y)} n(m)$ – размер блоков и их число вдоль оси $x(y)$).

Рис. 2 и 3 отражают влияние глубинной аномалии на искажения кривых МТЗ (ρ_{xy} и ρ_{yx} – искажённые кривые, ρ_L – неискажённая). Все графики по-

строены для центральной точки полигона. На рис. 2 кривые с индексом 1 ($\rho_{xy1}, \rho_{yx1}, \rho_{L1}$) рассчитаны для модели среды, представленной на рис. 1, а с индексом 2 ($\rho_{xy2}, \rho_{yx2}, \rho_{L2}$) – для той же модели, но с отсутствием аномалии в глубинном слое. Кривые на рис. 3 построены для той же модели (рис. 1), но с большей мощностью 3-го слоя (h_3) латерально-однородной среды между неоднородными слоями (не 30 м, а 400 м, смысл индексов тот же). Из рисунков видно уменьшение влияния глубинной аномалии на искажения кривых МТЗ при увеличении мощности 3-го слоя, что очевидно из физических соображений.

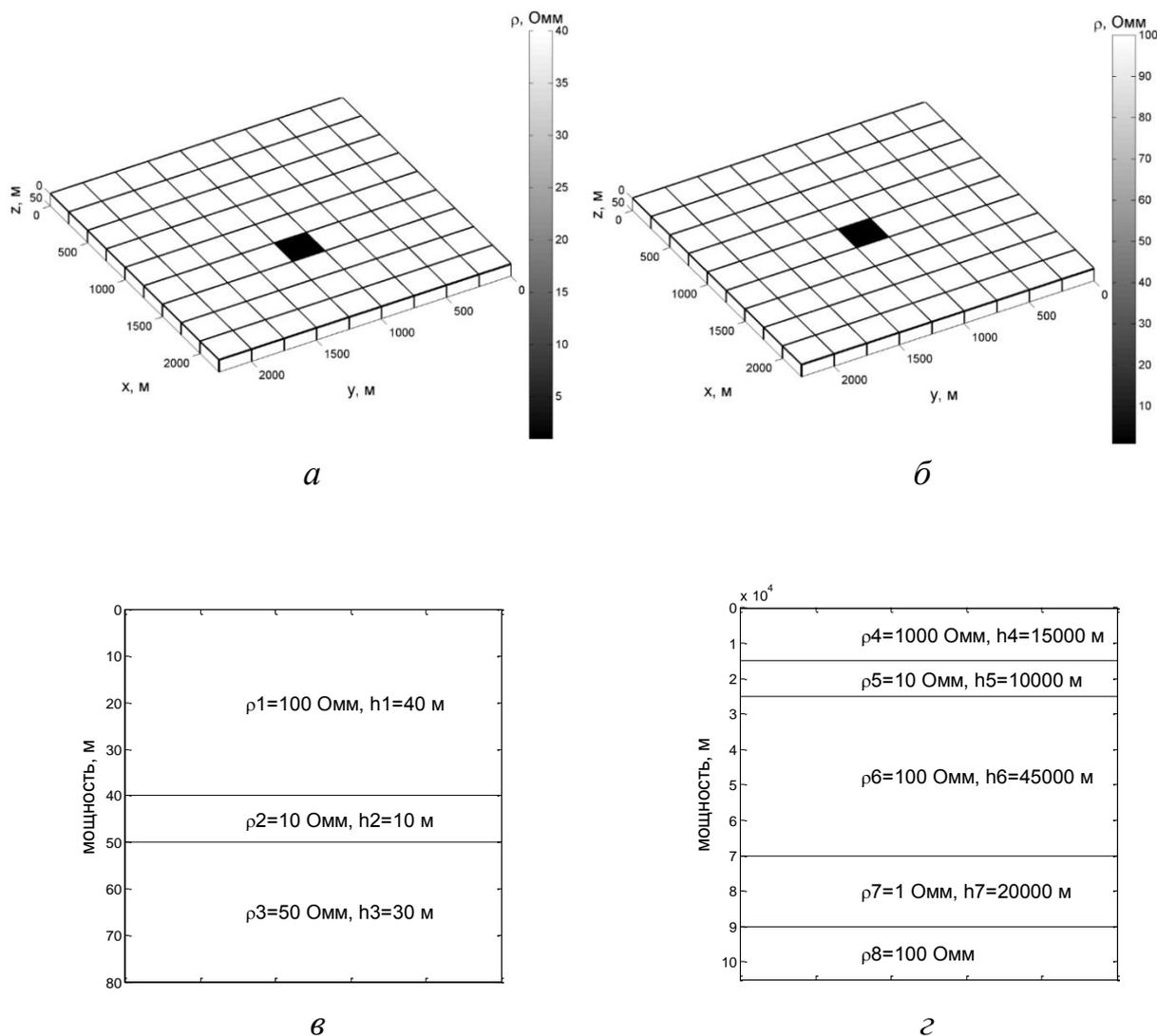


Рис. 1. Модель среды:

a – поверхностный неоднородный слой, *б* – глубинный неоднородный слой,
в – горизонтально-слоистая модель среды между неоднородными слоями,
г – горизонтально-слоистая модель среды под глубинным неоднородным слоем

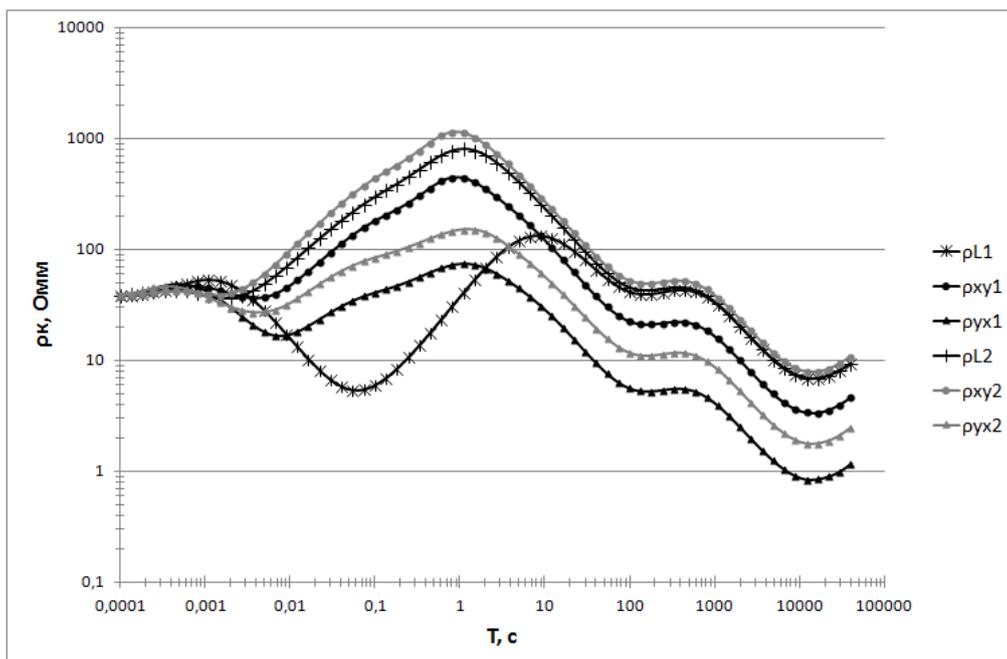


Рис. 2. Кривые кажущихся сопротивлений

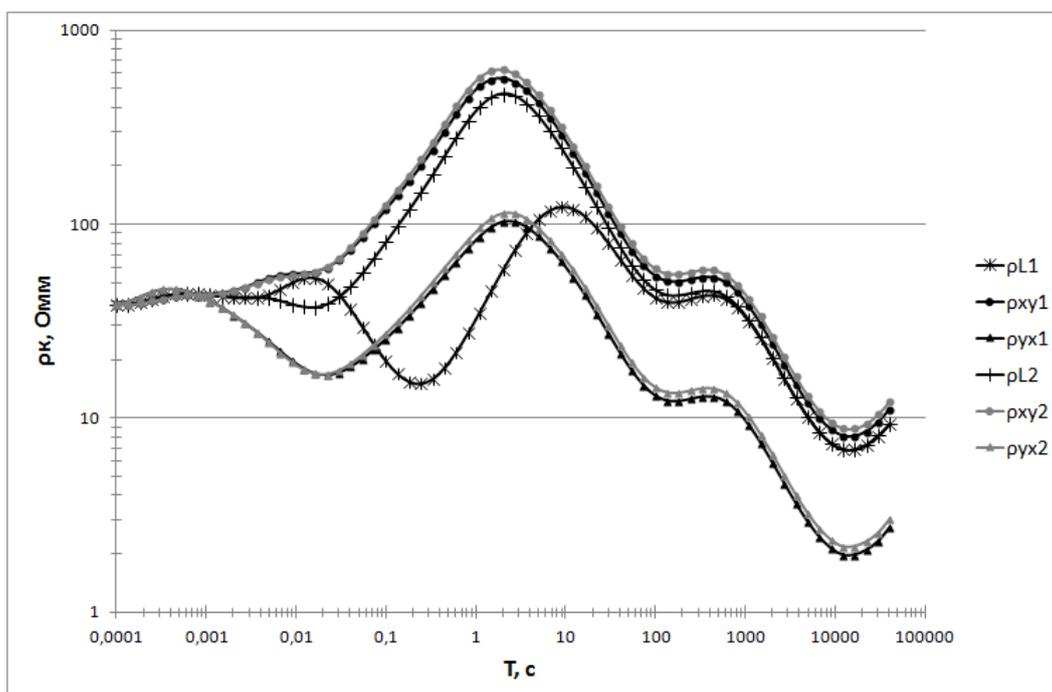


Рис. 3. Кривые кажущихся сопротивлений

На рис. 4 и 5 приведены распределения векторов электрического поля в плоскости $y=1250$ м от поверхности до уровня подошвы глубинного слоя (для двух моментов времени $t_1=66,2$ с и $t_2=66,3$ с модель среды, как на рис. 1, но в отсутствие аномалии в поверхностном неоднородном слое и однородной средой с УЭС 200 Ом/м и мощностью 400 м между неоднородными слоями). Поля

рассчитаны для периода зондирования 1000 с. Из рис. 4 и 5 видно, что в пространстве между неоднородными слоями возбуждается токовое кольцо, центр которого с течением времени колеблется между слоями.

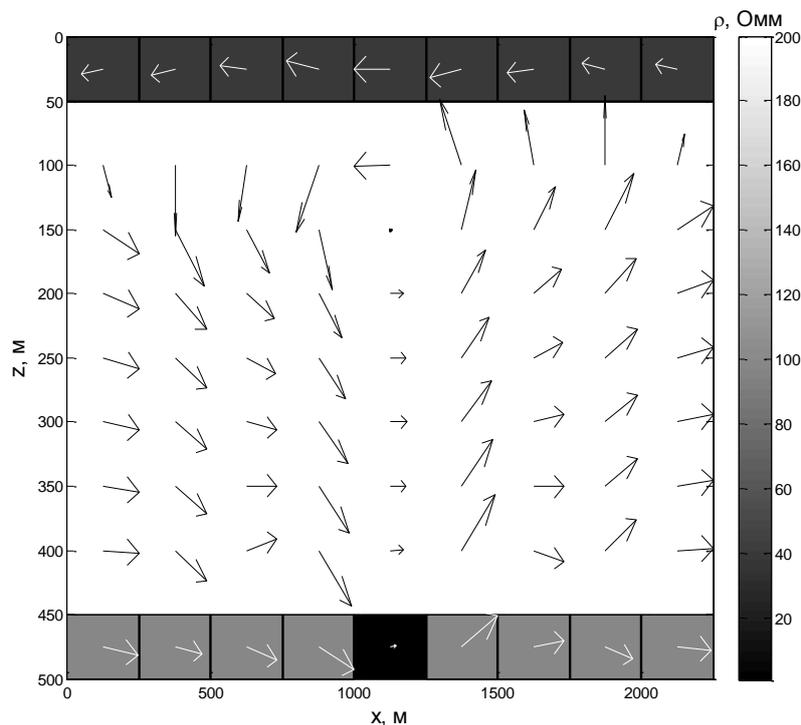


Рис. 4. Распределение направлений электрического поля в момент времени $t_1=66,2$ с

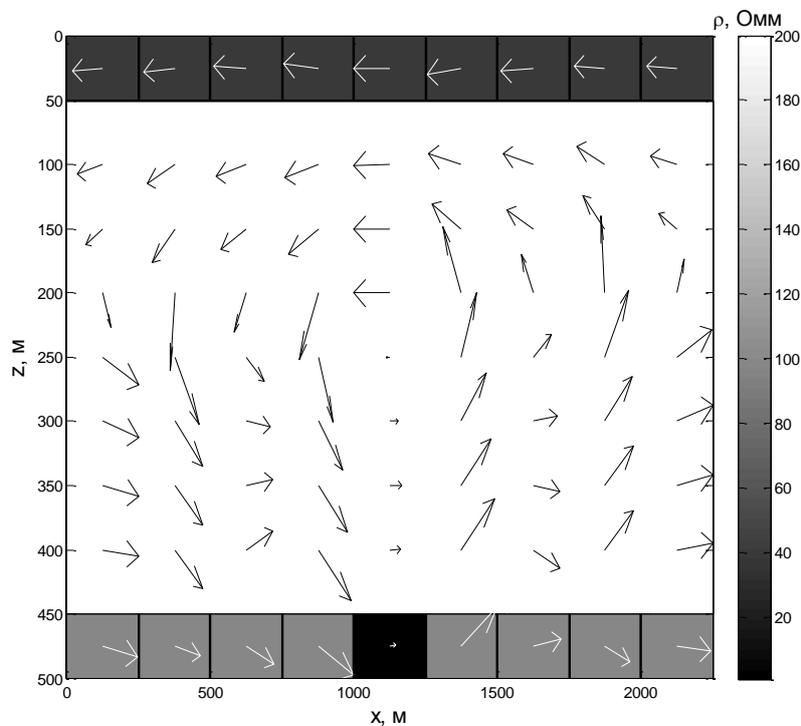


Рис. 5. Распределение направлений электрического поля в момент времени $t_2=66,3$ с

Можно видеть, что представленная модель пригодна для детального анализа искажений магнитотеллурических кривых над геоэлектрическим разрезом, осложненным латеральными и глубинными неоднородностями электропроводности. Проведенные расчеты указывают на сложный характер взаимодействия токов, возникающих в рассмотренных неоднородных слоях вблизи поверхности и в глубине среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров И.В. Метод Треффца для решения трехмерных прямых и обратных задач геоэлектрики // Физика Земли. - 2011. - Т. 47, № 2. - С. 15–26.

2. Плоткин В.В., Губин Д.И. Учет приповерхностных неоднородностей над горизонтально слоистым разрезом при магнитотеллурическом зондировании // Геология и геофизика. - 2015. - Т. 56.

© В. В. Плоткин, Д. И. Губин, 2015