

## ОБ ИНФОРМАТИВНОСТИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИЗМЕНЕНИЯМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В СТОРОНЕ ОТ ПРОФИЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ

П.В. Иванов, П.Ю. Пушкарев

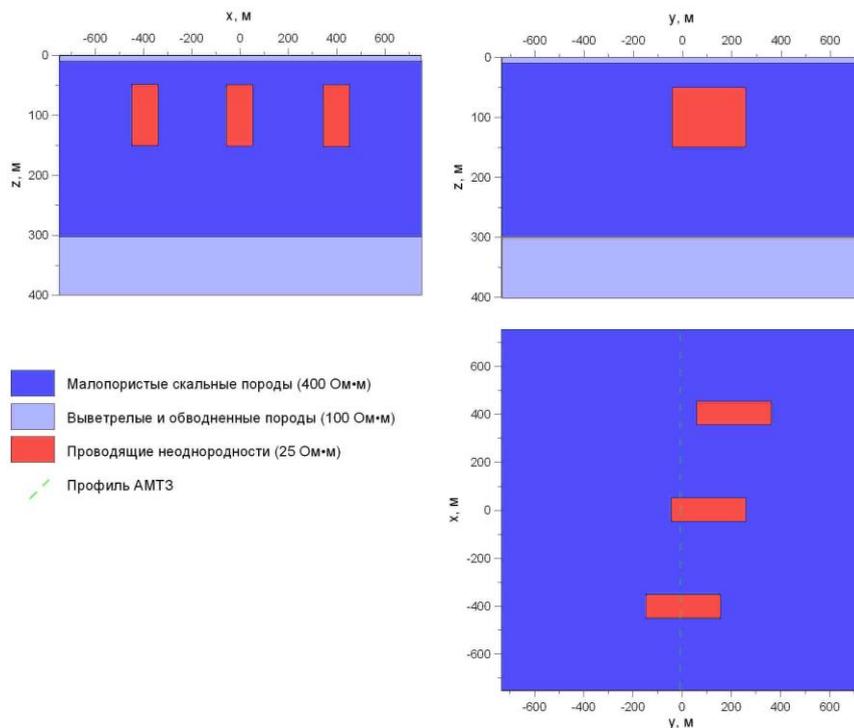
*Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

### Введение

Магнитотеллурические (МТ) зондирования в большинстве случаев выполняются по одиночным профилям или системам из небольшого числа профилей. В результате интерпретации МТ-данных строятся геоэлектрические разрезы, при этом информация о поведении геоэлектрических структур вне профилей теряется, если не считать тех артефактов, которые они могут создавать на разрезах.

Недавно М.Н. Бердичевским и В.И. Дмитриевым была предложена методика «бокового зондирования» геоэлектрических структур. В ней важная роль отведена качественному анализу МТ-данных, позволяющему локализовать эти структуры, оценить их простирание и степень вытянутости. Грубые оценки некоторых геоэлектрических параметров могут быть сделаны по результатам 2D инверсии с учетом информативности компонент данных и их устойчивости к 2D аппроксимации структур. На этой основе строится 3D модель, характеризующая не только разрез по линии профиля, но и примыкающую к нему полосу. На последнем этапе эта модель может быть скорректирована с помощью программы для 3D инверсии МТ-данных.

На примере несложной геоэлектрической модели мы исследуем возможности методики «бокового зондирования», пока не затрагивая слабо проработанные этапы построения и коррекции 3D модели.



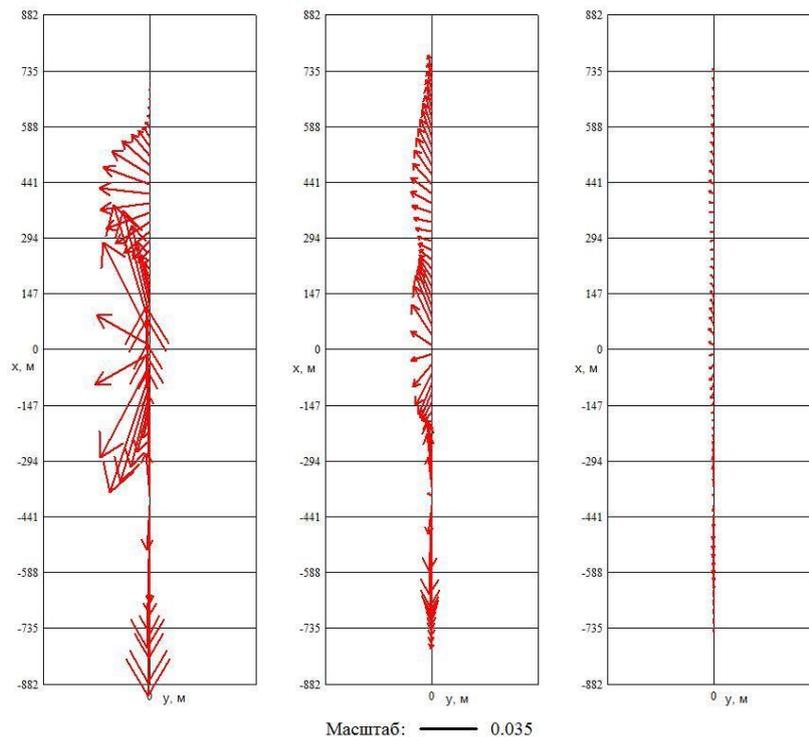
**Рисунок 1.** Разрезы геоэлектрической модели по плоскостям  $y=100$  м и  $x=0$  и карта при  $z=100$  м.

Геоэлектрическая модель представляет собой трехслойную среду с тремя прямоугольными призмами во втором слое (рисунок 1). С помощью программы 3D моделирования МТ3DFwd (автор – R. Mackie) были рассчитаны МТ-данные на профиле длиной 1500 м (шаг 25 м, частоты от 10 Гц до 10 кГц), пересекающему первую призму в ее центре, вторую – вблизи края (третья призма – вне профиля).

Тем самым мы имитируем ситуацию, при которой МТ-зондирования в диапазоне аудио-частот (АМТ-зондирования) выполнены на одиночном профиле над массивом скальных пород, выветрелых в верхней (до глубины 10 м) и обводненных в нижней (более 300 м) его части. Целью работ может быть локализация глинистых или обводненных зон, представляющих опасность при строительстве проектируемого тоннеля, над осью которого проложен профиль. Впрочем, можно представить себе много других геологических ситуаций, которые можно описать такой геоэлектрической моделью.

## Анализ МТ-данных

На этапе анализа МТ-данных определяется степень неоднородности среды, локализуются геоэлектрические структуры, оценивается их простирание, распознается влияние приповерхностных неоднородностей. Рассмотрим два простых метода, применяемых на этом этапе.

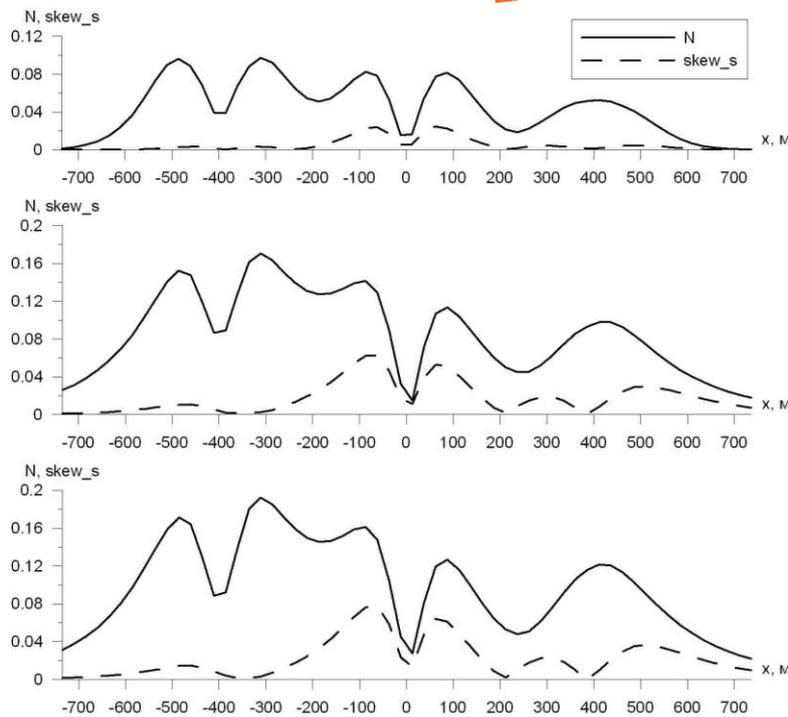


**Рисунок 2.** Карты вещественных индукционных стрелок на частотах: 2500, 250 и 25 Гц.

На рисунке 2 приведены карты вещественных индукционных стрелок, определяемых по формуле  $\text{Re}W = \text{Re}W_{zx} \cdot \mathbf{1}_x + \text{Re}W_{zy} \cdot \mathbf{1}_y$ , где  $W_{zx}$  и  $W_{zy}$  – компоненты матрицы типпера (Бердичевский и Дмитриев, 2009). Вещественные индукционные стрелки указывают направления от проводящих зон. В южной части профиля они расходятся вдоль него в разные стороны от точки  $x = -400$  м. На этой основе можно утверждать, что здесь располагается проводящая неоднородность, причем либо ее центр находится на профиле, либо она довольно далеко вытянута в обе стороны от профиля. В центральной ( $x = 0$  м) и северной ( $x = 400$  м) частях профиля стрелки позволяют выделить два проводящих объекта, причем центры этих объектов находятся к востоку от профиля. Также характер стрелок позволяет судить, что центр северной аномалии находится дальше от профиля. Но по рассматриваемым картам трудно оценить, попадают ли края этих двух объектов на профиль. С понижением частоты аномалии вначале накладываются друг на друга, а затем затухают.

Графики инвариантных (по отношению к вращению системы координат) параметров неоднородности  $N$  и асимметрии Свифта  $\text{skew}_s$  приведены на рисунке 3. Эти параметры получены из компонент тензора импеданса  $Z_{xx}$ ,  $Z_{xy}$ ,  $Z_{yx}$  и  $Z_{yy}$  по формулам (Бердичевский и Дмитриев, 2009):

$$N = \sqrt{1 - 4 \frac{Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx}}{(Z_{xy} - Z_{yx})^2}}, \quad \text{skew}_s = \frac{Z_{xx} + Z_{yy}}{Z_{xy} - Z_{yx}}.$$



**Рисунок 3.** Графики параметра неоднородности  $N$  и параметра асимметрии Свифта  $skew_s$  на частотах (сверху вниз): 2500, 250 и 25 Гц.

На графиках параметра  $N$  присутствуют 5 максимумов, которые отвечают местам наиболее резких горизонтальных изменений сопротивления. Поскольку на карте индукционных стрелок мы видели три аномалии, то логично предположить, что две пары острых максимумов, разделенных столь же острыми минимумами, связаны с границами двух неоднородностей, через которые проходит профиль. Широкий максимум связан с третьей неоднородностью, расположенной вне профиля, при этом точка профиля с максимальным значением  $N$  наиболее близка к ней.

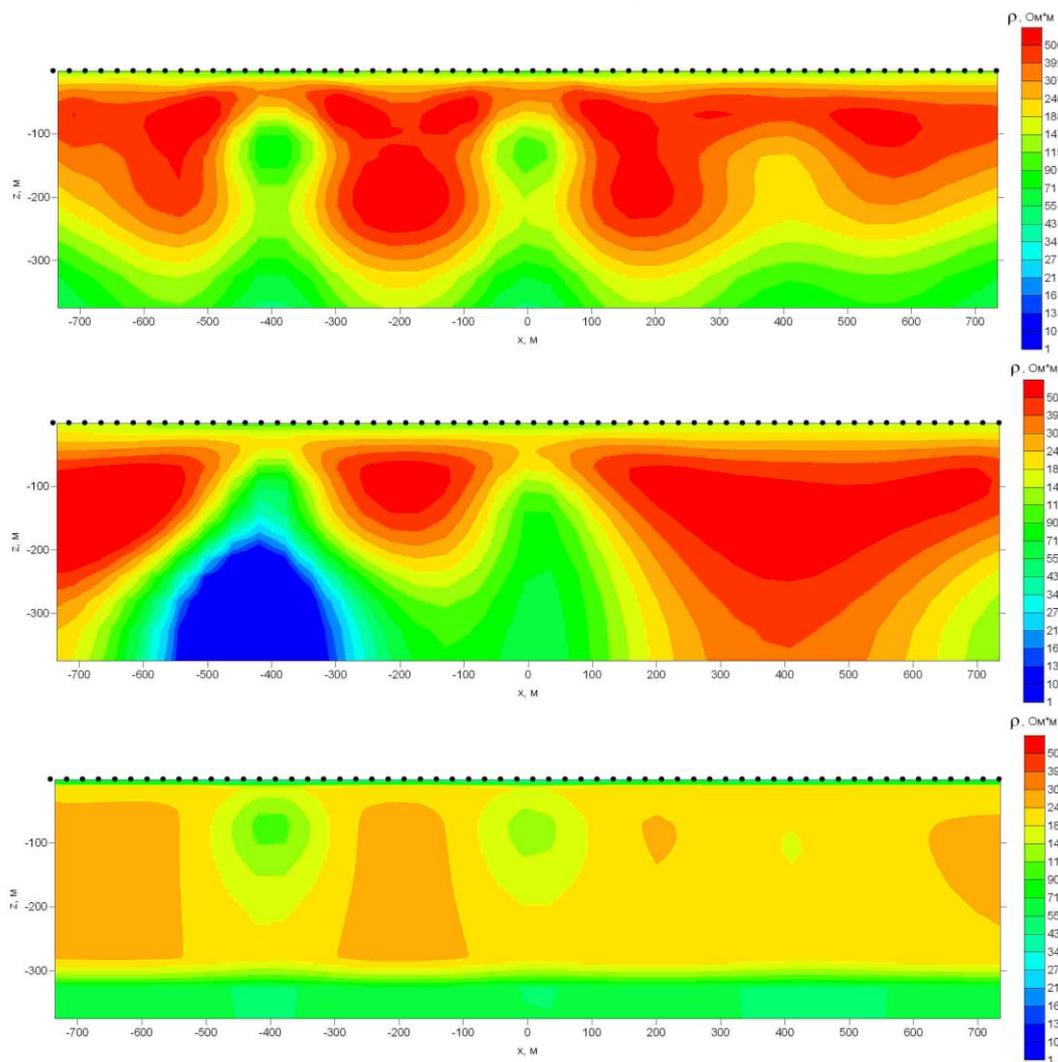
Параметр асимметрии  $skew_s$ , характеризующий 3D эффекты, очень мал на частоте 2500 Гц, однако на 250 Гц возрастает, и при дальнейшем понижении частоты почти не меняется. Первая неоднородность слабо видна на графике, значит, ее углы наиболее удалены от профиля. Другие две неоднородности дают аномалии  $skew_s$  в точках профиля, наиболее приближенных к их углам.

### Инверсия МТ-данных

На этапе анализа МТ-данных нам удалось выявить аномалии электропроводности и приблизительно определить их местоположение. Однако не менее важно оценить их глубины залегания, мощности и примерные значения УЭС. Также необходимо получить представление о вмещающем разрезе. Для этого можно использовать быструю «сглаживающую» 2D инверсию.

Мы применили программу REBOCC (автор – W. Siripunvaraporn) и выполнили инверсии трех компонент МТ-данных: квази-поперечного импеданса  $Z^{\perp}$  (связанного с поперечными по отношению к вытянутым структурам токами), квази-продольного импеданса  $Z^{\parallel}$  и типпера  $W^{\parallel}$  (связанных с продольными токами). Они обладают разной чувствительностью к геоэлектрическим структурам и устойчивостью к их 2D аппроксимации. Результаты 2D инверсии приведены на рисунке 4.

На разрезе, построенном по квази-поперечному импедансу  $Z^{\perp}$ , наиболее устойчивому к 2D аппроксимации проводящих структур, неплохо восстановлен фоновый разрез и видны все три неоднородности, но у них появились глубинные «корни». При инверсии квази-продольного импеданса  $Z^{\parallel}$  не удалось добиться небольших невязок «наблюденных» и модельных данных, а на полученном разрезе отсутствует третья неоднородность. Таким образом, наличие проводящей структуры на разрезе, построенном по  $Z^{\perp}$ , и ее отсутствие на разрезе, построенном по  $Z^{\parallel}$ , может объясняться тем, что она находится в стороне от профиля.



**Рисунок 4.** Геоэлектрические разрезы, полученные в результате 2D инверсии компонент (сверху вниз):  $Z^{\perp}$ ,  $Z^{\parallel}$ ,  $W^{\parallel}$ .

По типперу, инверсия которого была выполнена с использованием априорной горизонтально-слоистой модели (которую можно получить в результате 1D инверсии), удалось восстановить положение двух проводящих неоднородностей, пересекаемых профилем. На этом разрезе проводящие «корни» у них отсутствуют.

## Выводы

Мы применили простые методы анализа и инверсии МТ-данных к синтетическим данным по одиночному профилю, рассчитанным для 3D геоэлектрической модели. По индукционным стрелкам и графикам параметров неоднородности и асимметрии среды можно выявить все три присутствующие в геоэлектрической модели неоднородности и, пусть приближенно, определить их проекции на профиль и положение их центров. В результате 2D инверсии можно грубо оценить глубины залегания неоднородностей и их сопротивление, а также восстановить фоновый разрез. На этой основе, а также учитывая априорную геолого-геофизическую информацию, можно составить 3D модель, характеризующую более или менее широкую полосу вокруг профиля. Далее эту модель можно скорректировать с помощью программы 3D инверсии МТ-данных.

Наша работа была поддержана РФФИ, грант 08-05-00345-а.

## Ссылки

Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., 2009. Модели и методы магнитотеллурики. Москва, Научный мир, 680 с.