

# АНАЛИЗ И ПОДАВЛЕНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

**Суконкин М.А., Пушкарев П.Ю.**

*msukonkin@mail.ru; pavel\_pushkarev@list.ru.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

**Введение.** Верхняя часть разреза при магнитотеллурических исследованиях зачастую представляет собой проблемную зону. Связано это с наличием там приповерхностных неоднородностей (ППН) – контрастных объектов, размеры которых сильно меньше глубины проникновения поля. Из-за накопления их поверхности электрических зарядов в наблюдаемых данных появляются гальванические аномалии, проявляющегося в виде статического смещения по уровню кривых кажущегося сопротивления, в то время как фазовые кривые остаются неизменными [2]. Существуют различные подходы к подавлению эффекта от ППН: методы пространственной фильтрации, привлечение априорной информации, комплексирование геофизических методов, а также подход, основанный на декомпозиции тензора импеданса. Относящиеся к последнему подходу методики будут рассмотрены в этой работе, а именно методы Бара [3] и фазового тензора [4].

Разделение тензора импеданса на множители, связанными с региональной и локальной составляющими может быть представлено следующим образом [1]:

$$[Z^S] = [e][Z^R][h]^{-1} \quad (1)$$

где  $[Z^S]$  – тензор импеданса, включающий в себя влияние и локальной и региональной структур,  $[Z^R]$  – региональная составляющая, а  $[e]$  и  $[h]$  – матрицы локальных электрических и магнитных искажений

Задача состоит в том, чтобы выделить региональную составляющую  $[Z^R]$ . Если предположить, что локальные ППН сосредоточены в тонком приповерхностном слое и частота настолько низкая, что электрические искажения имеют чисто гальванический характер и не затрагивают фазы, а магнитными искажениями вовсе можно пренебречь, то последняя формула упрощается:

$$[Z^S] = [e][Z^R].$$

В метода Бара предполагается, что региональная модель является двухмерной, и оценивается азимут простирания региональных структур (с точностью до  $90^0$ ):

$$\alpha_R = \frac{1}{2} \arctg \frac{\text{Im}(Z_{yx}Z_{xx}^* + Z_{xy}Z_{yy}^*)}{\text{Im}(Z_{xx}Z_{yy}^* + Z_{xy}Z_{yx}^*)} \quad (2)$$

где звёздочка означает комплексно-сопряжённую величину.

Метод фазового тензора был предложен в работе [3]. Его отличием и сильной стороной является отсутствие требования к двухмерности регионального разреза. Он основывается на том же локально-региональном разложении (1), что и метод Бара, из которого можно выделить отдельно:

$$[ReZ^S] = [e][ReZ^R], \quad [ImZ^S] = [e][ImZ^R].$$

Далее введём вещественный фазовый тензор:

$$[\Phi] = \frac{[ImZ^S]}{[ReZ^S]} = \frac{[e][ImZ^R]}{[e][ReZ^R]} = \frac{[ImZ^R]}{[ReZ^R]} = \begin{bmatrix} \Phi_{xx} & \Phi_{xy} \\ \Phi_{yx} & \Phi_{yy} \end{bmatrix}.$$

Как видно, он связан только с региональным импедансом, и не подвержен влиянию ППН.

**Геоэлектрическая модель.** Для оценки влияния ППН удобно использовать синтетические данные. Используемая геоэлектрическая модель включает в себя глубинный фоновый слоистый разрез, глубинную трёхмерную неоднородность, а также приповерхностный слой. В первом варианте модели этот слой является однородным, а во втором варианте – содержит в себе множество трёхмерных ППН. Фоновый разрез состоит из трёх слоёв, имитирующих проводящий осадочный чехол, высокоомную литосферу, в которой расположен грабен, а также проводящую мантию (рис. 1).

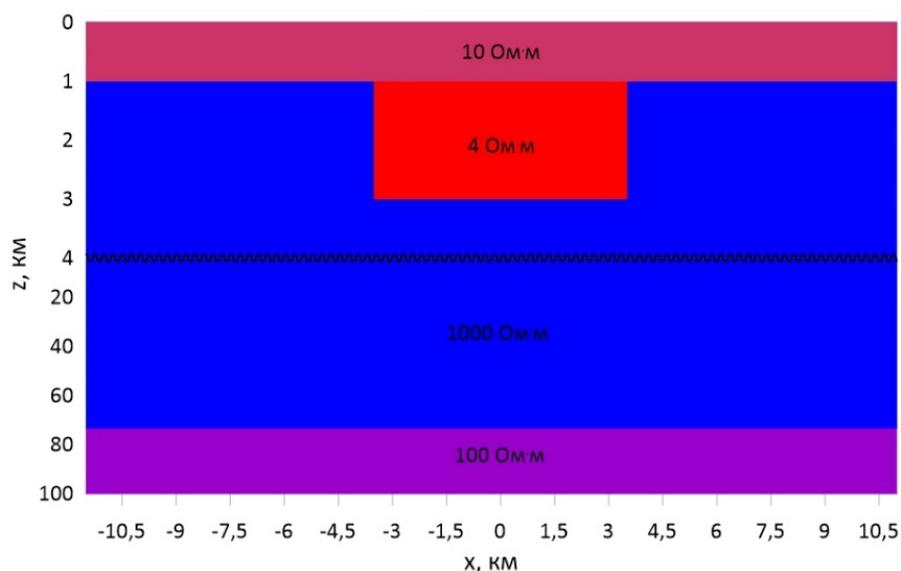


Рисунок 1 – Разрез геоэлектрической модели

Для оценки приповерхностных искажений, помимо варианта модели с однородным верхнем слоем, был создан вариант с ППН (рис.2). Эти неоднородности были помещены в верхние две ячейки модели, высотой 10 и 15 м, то есть в слой мощность 25 метров. Значения УЭС неоднородностей варьируется от 1 Ом·м до 100 Ом·м, при фоновом УЭС верхнего слоя 10 Ом·м.

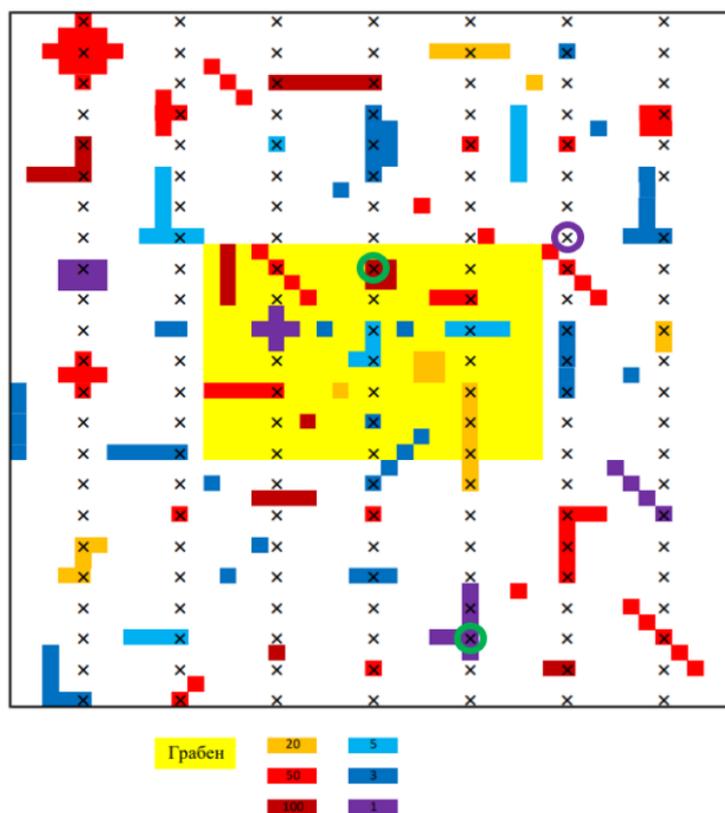


Рисунок 2 – Карта верхнего слоя модели, содержащего ППН. Фоновое значение УЭС – 10 Ом·м, УЭС ППН меняются от 1 до 100 Ом·м. Жёлтым прямоугольником показано положение глубинного грабена. Крестики – точки МТЗ. Зелёными кружками обведены точки, кривые в которых представлены на рис. 3, фиолетовым кружком точка, в которой строились полярные диаграммы на рис.5

**Анализ тензора импеданса.** В данной работе будут сопоставляться МТ данные, полученные для моделей с однородным и с неоднородным верхним слоем. На рис. 3 представлены кривые эффективного кажущегося сопротивления и фазы эффективного импеданса, полученные в точках, обведённых кружками на карте на рис. 2. Как уже упоминалось во введении, под влиянием от аномального поля, связанного с ППН, происходит статический сдвиг кривых кажущегося сопротивления, а фазовые кривые остаются неизменными. На рис. 3 а,б изображены кривые МТЗ над проводящей ППН, здесь кривая кажущегося сопротивления смещается вниз (по сравнению с результатами для модели с однородным приповерхностным слоем). На рис. 3 в,г показаны кривые над высокоомной ППН, здесь, соответственно, кривая кажущегося сопротивления смещается вверх.

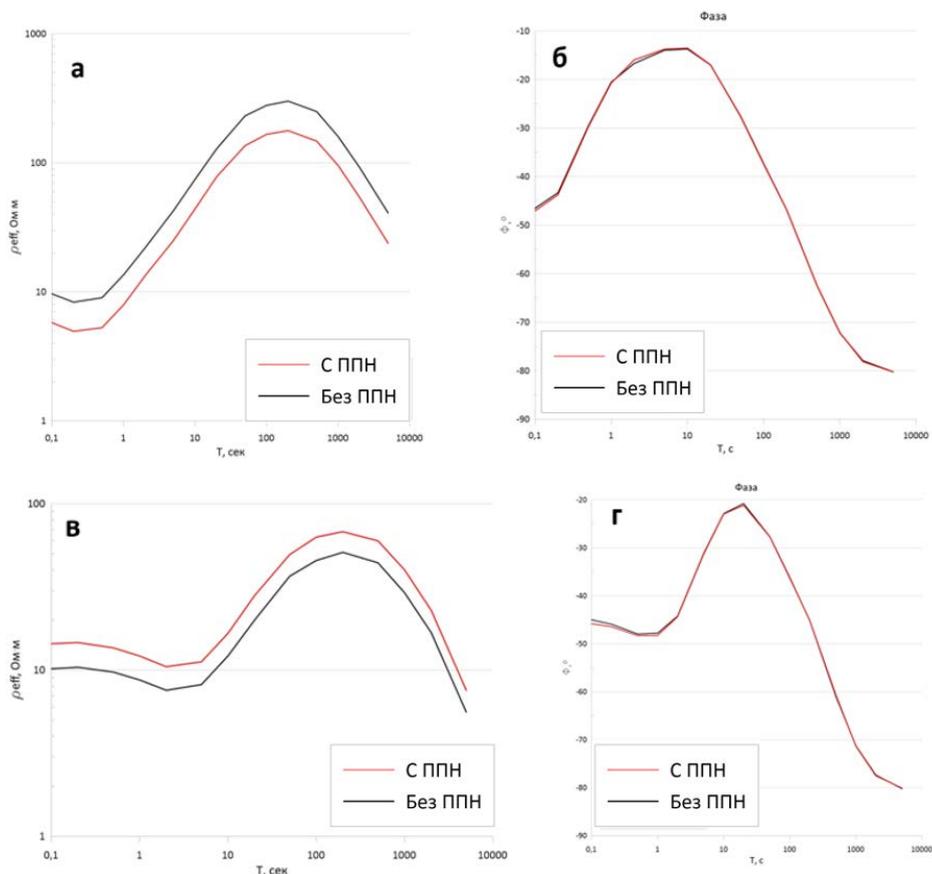


Рисунок 3 – Кривые эффективного кажущегося сопротивления (а, в) и фазы эффективного импеданса (б, г). Вверху (а, б) – точка над проводящей ППН (1 Ом·м), внизу (в, г) – над высокоомной ППН (50 Ом·м)

**Применение методов декомпозиции.** Как уже было сказано выше, методы декомпозиции позволяют разделить локальные и региональные эффекты и определить азимут простирания региональной структуры при искажении наблюдаемых данных от приповерхностных неоднородностей. Оценивать возможности методов декомпозиции на площади удобнее накладывая азимуты простирания на карты параметров асимметрии. Для метода Бара это будет карта параметра асимметрии Бара  $SkewB$ , который не зависит от влияния ППН, а для метода Эггерса [5] – параметр асимметрии Свифта  $SkewS$ , на который ППН оказывают свое влияние. Большие параметры асимметрии говорят о трехмерности наблюдаемой структуры. На рисунке 4 продемонстрированы такие карты, построенные для периода 10 секунд. Крестами на картах обозначены азимуты простирания, рассчитанные по формуле 2.

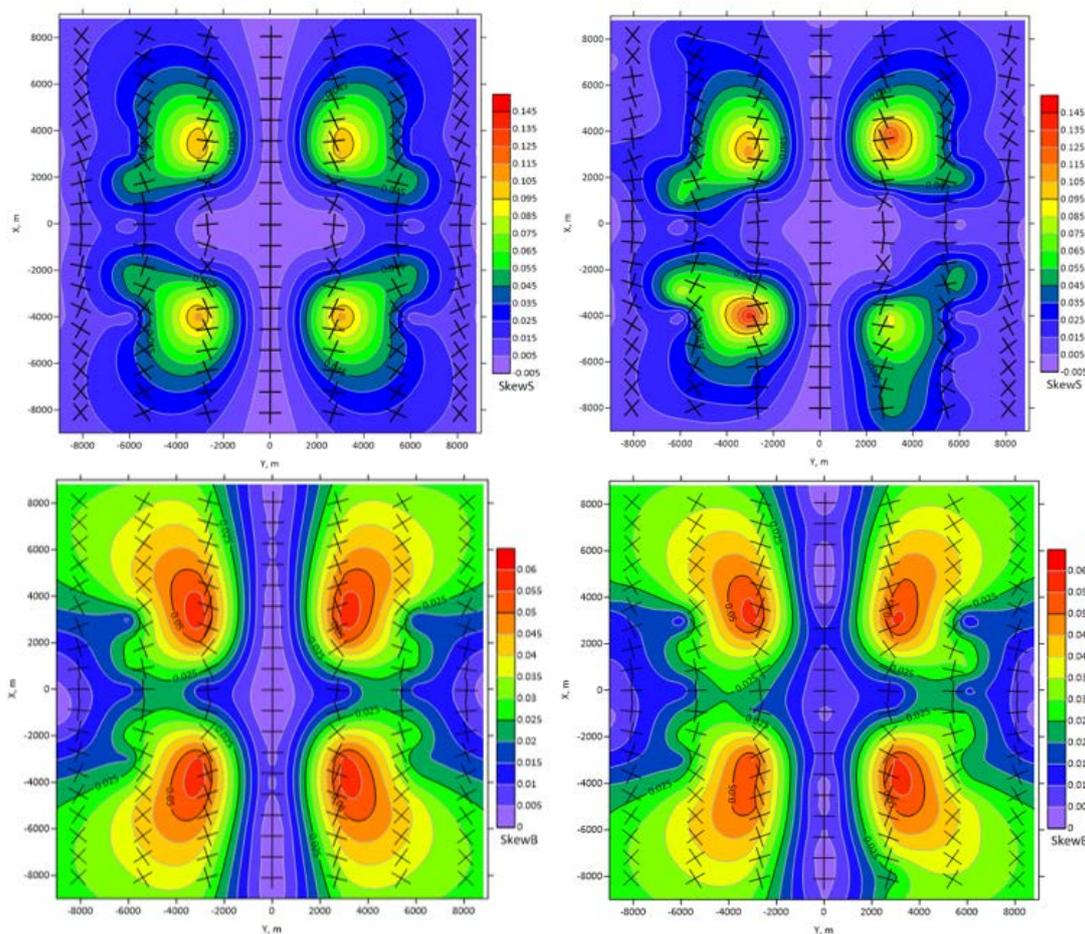


Рисунок 4 – Карты параметров асимметрии Свифта SkewS сверху (а, б) и Бара SkewB(в, г). Слева (а, в) – модель без ППН, справа (б, г) – модель с ППН. Крестами обозначены азимуты простираения региональной структуры, определенные соответствующими методами

Метод фазового тензора позволяет получать информацию о структуре и среде путем анализа непосредственно самого фазового тензора. На рисунке 5 представлены полярные диаграммы главной и побочной компонент фазового тензора. Главная компонента в 1D среде представляет собой окружность, в 2D – эллипс, а в 3D – сжатый в талии эллипс или «боб». Побочная компонента в одномерной среде сжимается в точку, а в двумерных и трехмерных средах принимает вид правильного или искаженного четырехлистника.

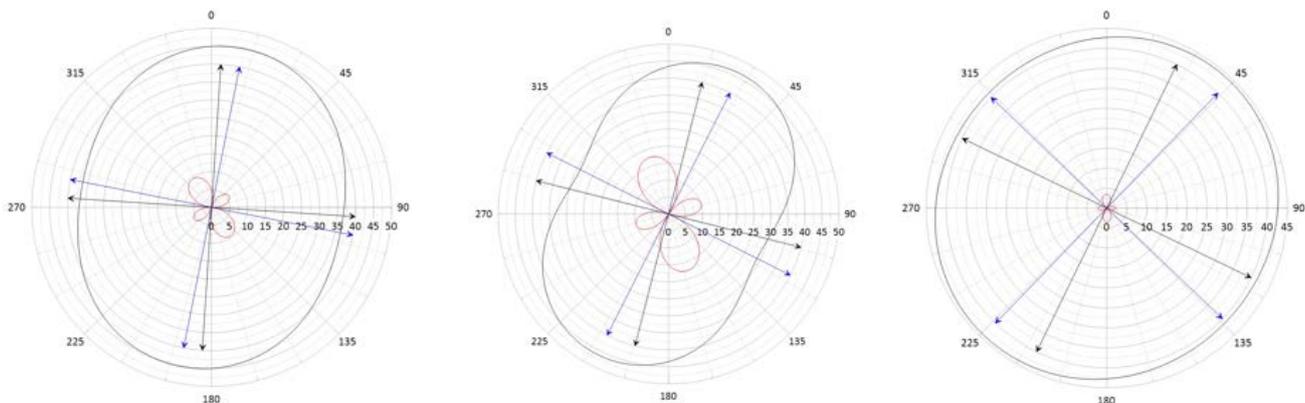


Рисунок 5 – Полярные диаграммы фазового тензора для периодов 1, 10 и 100 секунд (слева направо). Черным цветом обозначена главная компонента, красным – побочная. Черная стрелка отображает азимут простираения структуры, синяя – азимут простираения структуры с учетом асимметрии среды.

**Заключение.** В работе были представлены две геоэлектрические модели с одинаковой глубинной структурой, но отличающиеся отсутствием и наличием приповерхностного неоднородного слоя. Влияние ППН на кривые МТЗ проявляется в статическом смещении кривых кажущегося сопротивления, при этом оно не затрагивает фазовые кривые. Также были использованы методы декомпозиции тензора импеданса для определения азимута простирания региональной структуры. Анализ данных показал, что такие методы хорошо показывают себя в осесимметричных средах, а при уменьшении разницы между продольным и поперечным импедансом определение азимутов становится все менее устойчивым.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-27-00147).*

### **Литература**

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 680 с.
2. Jones A. Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environment // *Geophysics*, 1988, 53, p. 967-978.
3. Bahr K. Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion // *Geophysics*, 1988, 62, p. 119-127.
4. Caldwell T.G., Bibby H.M., Brown C. Controlled source apparent resistivity tensors and their relationship to the magnetotelluric impedance tensor // *Geophysics*, 2002, 151, p. 755-770.
5. Eggers D.W. An eigenstate formulation of the magnetotelluric impedance tensor // *Geophysics*, 1982, 47, p. 1204-1214.