

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НА СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Суконкин Максим Алексеевич¹, Пушкарев Павел Юрьевич¹

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Геологический факультет

Введение

Магнитотеллурические (МТ) исследования основаны на изучении естественного переменного электромагнитного поля Земли. Высокочастотная составляющая МТ поля несет информацию о верхних слоях разреза, т.к. она сильно затухает с глубиной, в то время как низкочастотная, за счет явления скин-эффекта дает представление о глубинной части разреза. Однако при использовании низких частот, когда глубина проникновения поля значительно больше размеров наблюдаемых неоднородностей, возникает квазистационарное аномальное поле, которое пропорционально нормальному полю и имеет ту же фазу и частотную зависимость. В этом случае разность потенциалов между измерительными электродами становится завышенной, что вызывает сдвиг кривой кажущегося сопротивления, но фазовые кривые остаются без изменений [Jones, 1988].

Для подавления влияния ППН применяют различные методы коррекции статических смещений. Они включают методы нормализация кривых МТЗ с помощью пространственной фильтрации или с привлечением данных других геофизических методов (например, ЗСБ или ГИС), а также методы декомпозиции тензора импеданса, позволяющие разделить региональные и локальные эффекты [Бердичевский, Дмитриев, 2009]. Подобное разложение рассматривается как матричное уравнение, позволяющее разделить локальные и региональные эффекты [Berdichevskiy, Dmitriev, 1976]. Одним из способов оценки эффективности методов подавления влияния ППН является использование синтетических данных, то есть рассчитанных для известной геоэлектрической модели. В данной работе рассмотрена трёхмерная геоэлектрическая модель в двух вариантах: без ППН и осложнённая ППН. Также проанализированы возможности методов декомпозиции тензора импеданса, а именно метода Бара [Bahr, 1988] и Фазового тензора [Caldwell et al, 2002].

Геоэлектрическая модель

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 и проводящую мантию. Глубинная неоднородность представляет собой проводящую вставку, имитирующую грабен под осадочным чехлом (рис. 1).

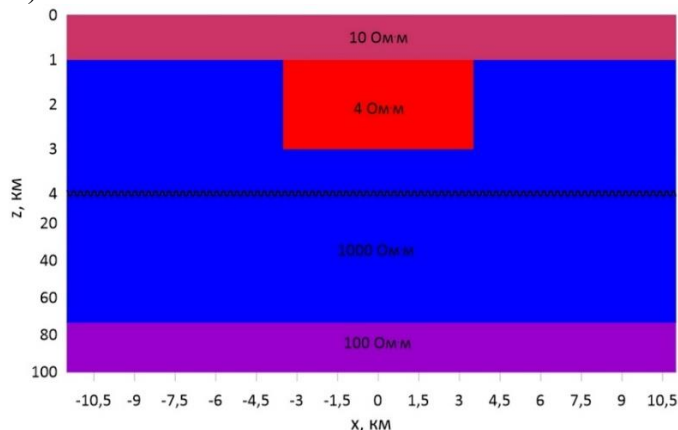


Рисунок 1. Разрез геоэлектрической модели

Для оценки приповерхностных искажений, помимо варианта модели с однородным верхним 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.

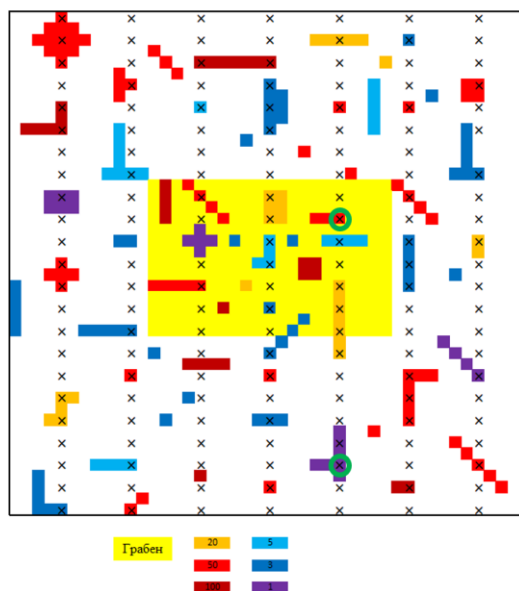


Рисунок 2. Карта верхнего слоя модели, содержащего ППН. Фоновое значение УЭС – 10 Ом·м, УЭС ППН меняются от 1 до 100 Ом·м. Жёлтым прямоугольником показано положение глубинного грабена. Крестики – точки МТЗ. Зелёными кружками обведены точки, кривые в которых представлены на рис. 3

Анализ тензора импеданса и его инвариантов

Мы будем сравнивать МТ данные, полученные для моделей с однородным и с неоднородным верхним слоем. Отметим, что в общем случае тензор импеданса $[Z]$ можно представить в виде разложения $[Z] = [e][Z^R][h^{-1}]$. Здесь $[Z^R]$ – региональный тензор импеданса, не искажённый влиянием ППН, а $[e]$ и $[h]$ – матрицы локальных (приповерхностных) электрических и магнитных искажений. Причём на низких частотах, когда глубина проникновения поля существенно превышает мощность неоднородного слоя, матрица $[e]$ становится вещественной, а матрица $[h]$ превращается в единичную и может не рассматриваться [1]. В нашем случае модели с однородным верхним слоем будет отвечать тензор $[Z^R]$, а модели с неоднородным верхним слоем – тензор $[Z]$.

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. Если точка наблюдения располагается рядом с приповерхностной неоднородностью, искажающий эффект проявляется слабее, и полностью затухает при удалении от ППН.

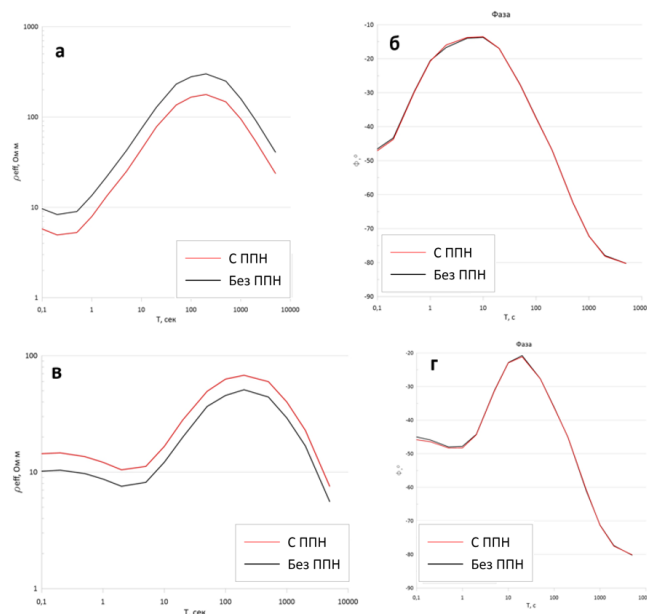


Рисунок 3. Кривые эффективного кажущегося сопротивления (а, в) и фазы эффективного импеданса (б, г). Вверху (а, б) – точка над проводящей ППН (1 Ом·м), внизу (в, г) – над высокоомной ППН (50 Ом·м)

При анализе площадных данных МТЗ удобно использовать карты, которые строятся на различных периодах. На рис. 4 приведены карты эффективного кажущегося сопротивления для периода 100 секунд. При добавлении в модель слоя с ППН границы грабена видны менее точно, появляются мелкие аномалии. Их характерной особенностью является то, что они проявляются не зависимо от периода.

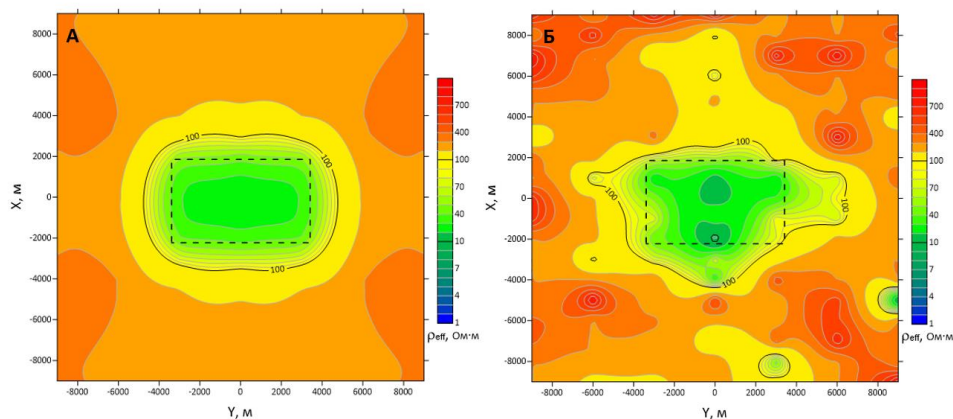


Рисунок 4. Карты эффективного кажущегося сопротивления для периода 100 с. Слева (а) – модель без ППН, справа (б,) – модель с ППН. Пунктирным прямоугольником обозначены границы грабена

Рассмотрим также инвариантов тензора имеданса. На рис. 5 приведены карты параметра неоднородности N для периода 100 с. Он определяется ко компонентам тензора $[Z]$ и позволяют классифицировать среду по размерности: при больших значения N среду нельзя считать одномерной [Бердичевский и Дмитриев, 2009]. Из рис. 6 видно, что N принимает большие значения вблизи границ грабена. ППН усложняют картину, приводя к появлению новых аномалий, но местами и ослабляя аномалии от региональной структуры.

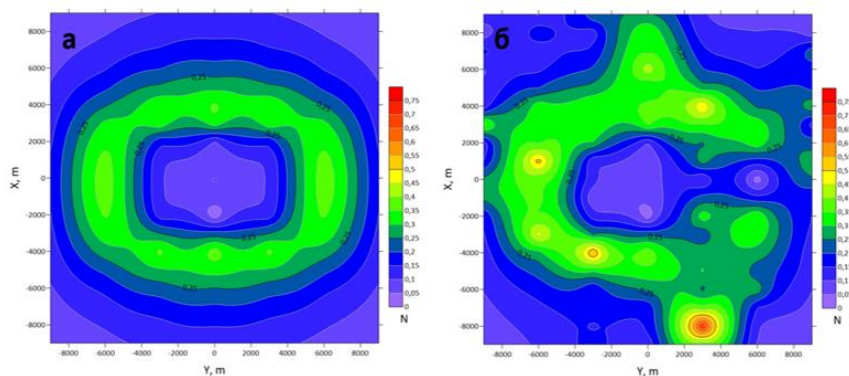


Рисунок 5. Карты параметра неоднородности N для периода 100 сек. Слева (а) – модель без ППН, справа (б) – модель с ППН

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 [Bahr, 1988] это будет карта параметра асимметрии Бара SkewB, который не зависит от влияния ППН, а для метода Эггерса [Eggers, 1982] – 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. Сразу заметно, что карты параметров, определенных по Бару абсолютно идентичны для обеих моделей, в то время как параметр SkewS оказывается несколько искаженным.

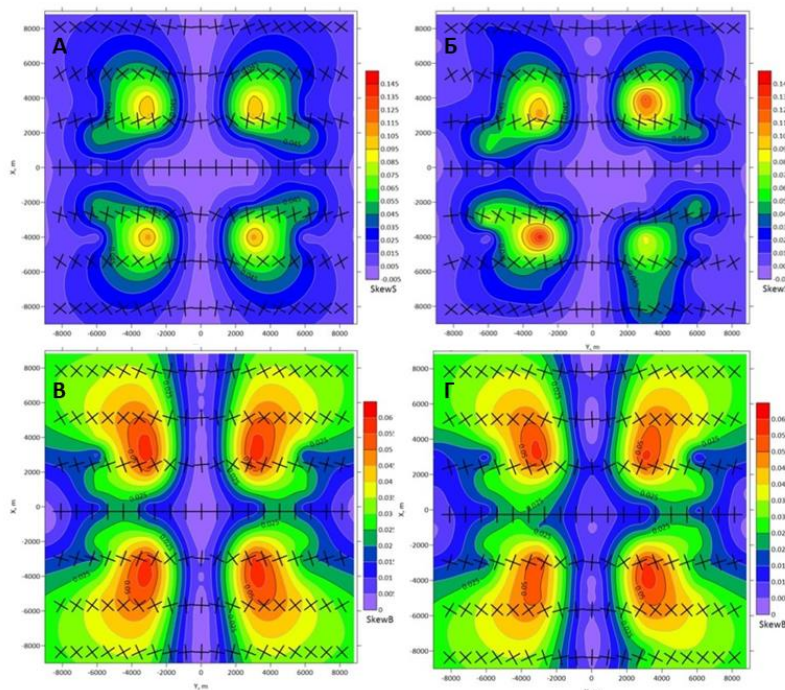


Рисунок 6. Карты параметров асимметрии Свифта SkewS сверху (а, б) и Бара SkewB(в, г). Слева (а, в) – модель без ППН, справа (б, г) – модель с ППН. Крестами обозначены азимуты простирания региональной структуры, определенные соответствующими методами

Наглядно сравнить отклонения в определении азимуты простирания можно на рисунке 7. Слева продемонстрированы данные, полученные по методу Эггерса, по сути, наложены друг на друга направления с рисунков 6а и 6б. Видно, что на многих пикетах направления сильно

отличаются. В то же время, направления, определенные по методу Бара абсолютно идентичны, и не зависят от влияния приповерхностных неоднородностей.

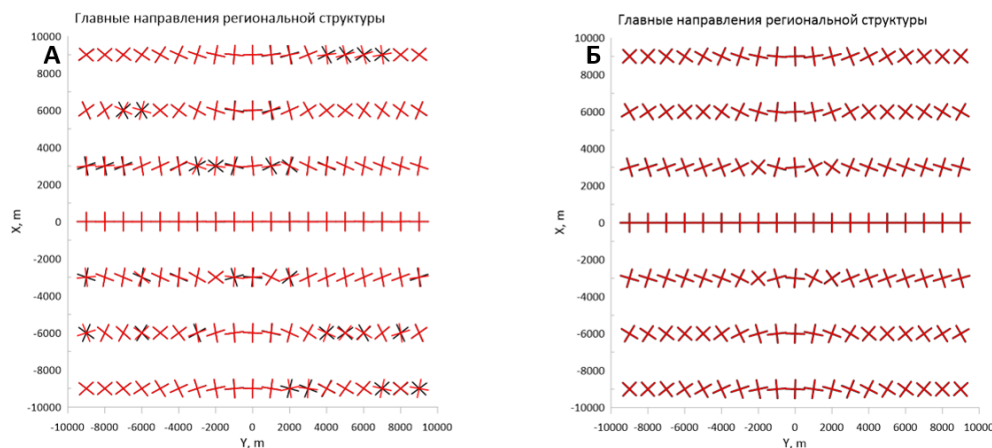


Рисунок 7. Сравнение направлений простирания региональной структуры, определенных по Эггерсу (а) и Бару (б). Черными крестами обозначены направления для модели без ППН, красными – с ППН

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 двухмерных средах, а при уменьшении разницы между продольным и поперечным импедансом определение азимутов становится все менее устойчивым.

Дальнейшее развитие работы предполагает использование представленных синтетических МТ данных для оценки эффективности методов подавления аномалий от ППН, в частности, методов декомпозиции тензора импеданса и методов нормализации кривых МТЗ (пространственной фильтрации и др.).

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-27-00147.

Список литературы

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. Научный мир, 2009, 680 с.
2. Bahr K. Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion. *Geophysics*, 1988, 62, p. 119-127.
3. Berdichevskiy M.N., Dmitriev V.I. Distortion of magnetic and electrical fields by near-surface lateral inhomogeneities. *Acta Geodaet., Geophys. et Montanist. Acad. Sci. Hung.*, 1976, p. 447-483.
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.
6. Jones A. Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environment. *Geophysics*, 1988, 53, p. 967-978.