

Приповерхностные искажения в магнитотеллурических данных на примере грабена

М. А. Суконкин, П. Ю. Пушкарев

msukonkin@mail.ru; pavel_pushkarev@list.ru.

Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. 119234, г. Москва, Россия.

Abstract

A typical resistivity model of the lithosphere is presented, containing a three-layer background section and a conductive graben in the top of the basement, and two variants of it are considered: with a homogeneous upper layer and with many near-surface inhomogeneities in this layer. Using synthetic magnetotelluric data calculated for these model variants, we analyze the effect of near-surface inhomogeneities on low-frequency data. Sounding curves and apparent resistivity pseudo-sections are studied, as well as maps of the main invariant parameters of magnetotelluric matrices: the impedance tensor, the Wiese-Parkinson matrix, the horizontal magnetic tensor, and the telluric tensor.

Введение

Во многих глубинных геофизических методах верхняя часть разреза представляет собой проблемную зону, порождающую искажения получаемых данных. Магнитотеллурические (МТ) исследования не являются исключением. При использовании низких частот, когда глубина проникновения поля много больше размеров неоднородностей верхней части разреза, существует связанное с ними аномальное электрическое поле. Оно пропорционально нормальному полю и обладает той же фазой и частотной зависимостью. Наблюдаемая разность потенциалов между измерительными электродами искажается, имеет место статический сдвиг кривой кажущегося сопротивления, при этом фазовые кривые остаются неискажёнными [1]. В случае, если МТ-данные осложнены аномалиями от приповерхностных неоднородностей (ППН), формальное решение обратной задачи может привести к получению искажённых геоэлектрических моделей [2]. Для подавления влияния ППН применяют различные методы коррекции статических смещений. Они включают методы нормализации 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 [3]. Одним из способов оценки эффективности методов подавления влияния ППН является использование синтетических данных, то есть рассчитанных для известной геоэлектрической модели. В данной статье рассмотрена трёхмерная геоэлектрическая модель в двух вариантах: без ППН и осложнённая ППН. Также проанализировано проявление влияния ППН в синтетических МТ данных, представленных в виде характеристик, обычно используемых для анализа и интерпретации.

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).

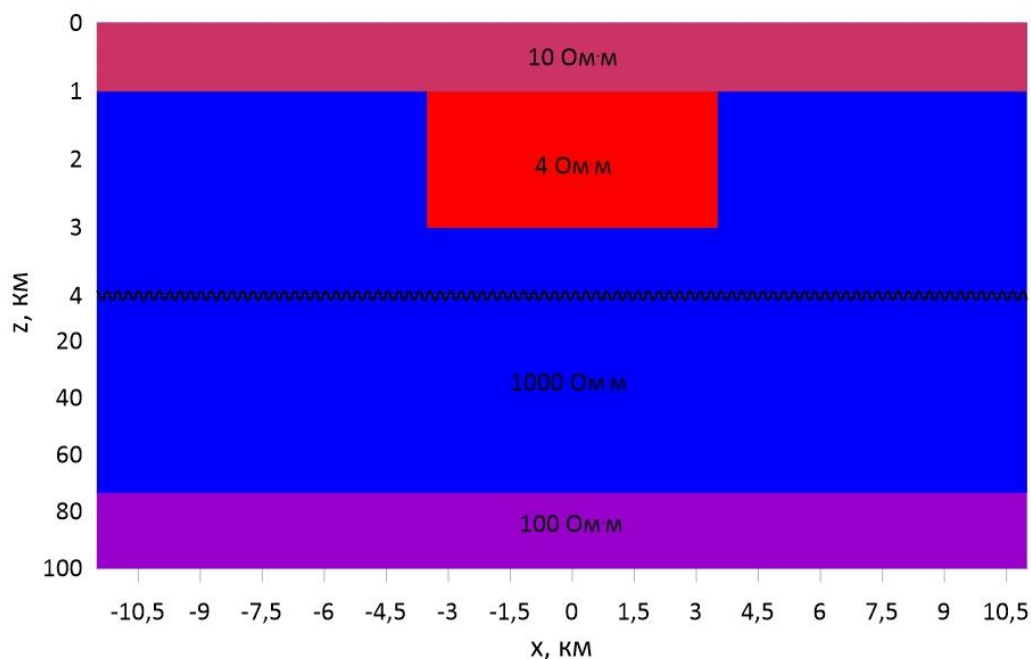


Рис. 1. Разрез геоэлектрической модели.

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.

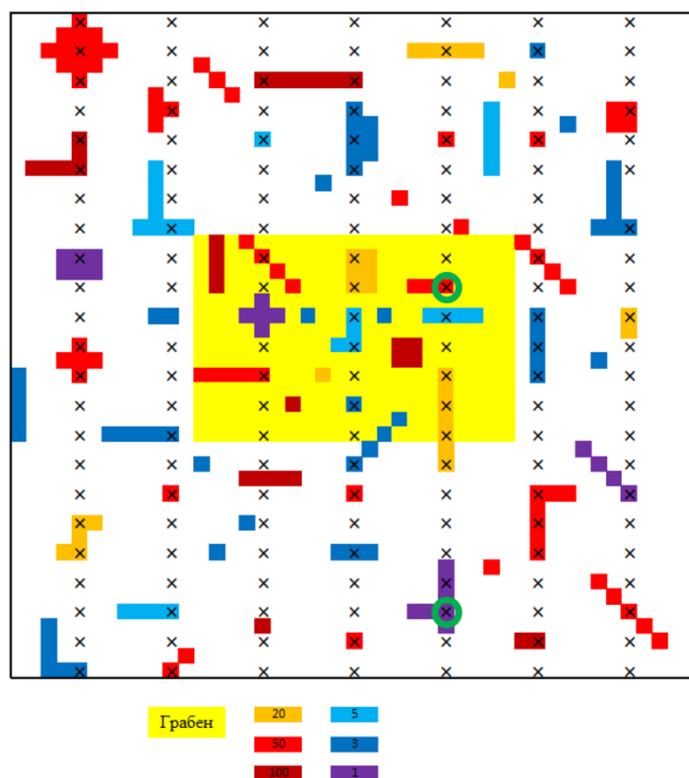


Рис. 2. Карта верхнего слоя модели, содержащего ППН. Фоновое значение УЭС – 10 Ом·м, УЭС ППН меняются от 1 до 100 Ом·м. Жёлтым прямоугольником показано положение глубинного грабена. Крестики – точки МТЗ. Зелёными кружками обведены точки, кривые в которых представлены на рис. 3.

Анализ тензора импеданса.

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.

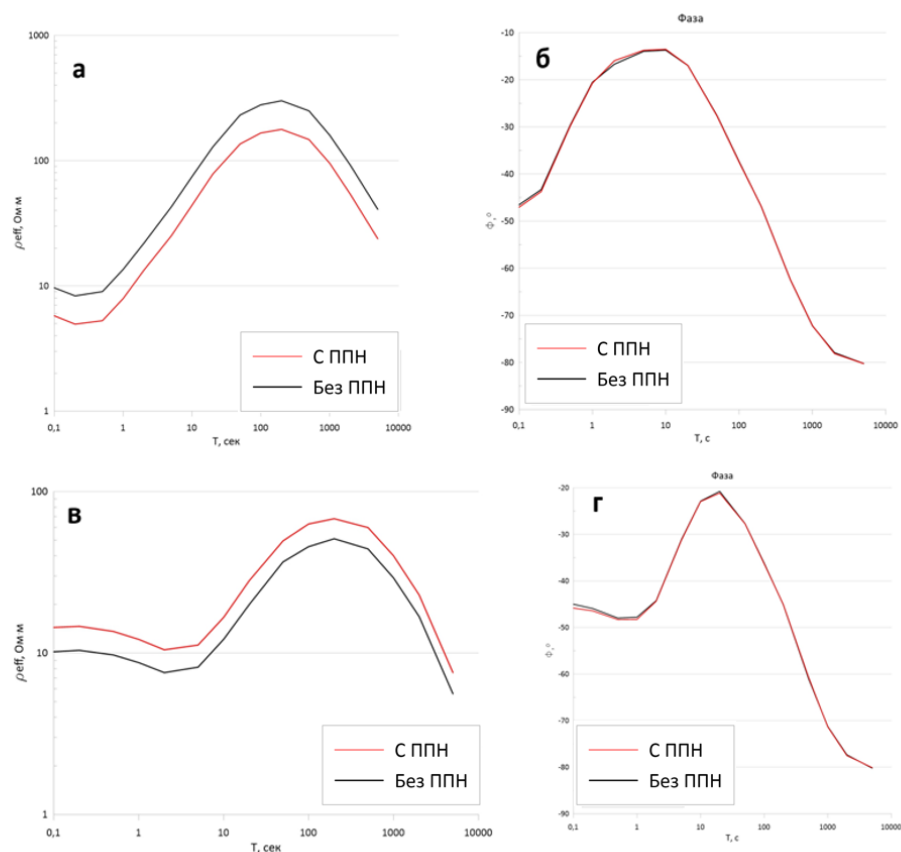


Рис. 3. Кривые эффективного кажущегося сопротивления (а, в) и фазы эффективного импеданса (б, г). Вверху (а, б) – точка над проводящей ППН (1 Ом·м), внизу (в, г) – над высокоомной ППН (50 Ом·м).

При анализе данных МТЗ по профилю обычно используются частотные разрезы или псевдоразрезы. При этом по горизонтали откладывается расстояние по профилю (дистанция), а по вертикали – период колебаний поля. На рис. 4 представлены частотные разрезы эффективного кажущегося сопротивления по центральному профилю (расположение профилей см. на рис. 2). Верхний частотный разрез (а) получен для модели без ППН, нижний (б) – для модели с ППН. На рис. 4а глубинный грабен отчетливо наблюдается как область пониженных сопротивлений по центру разреза между периодами 1 и 10 секунд, его влияние сохраняется и до самых больших периодов. На рис. 4б также можно выделить эту область пониженных сопротивлений, но она маскируется влиянием ППН, которые приводят к появлению на частотном разрезе характерных вертикальных «столбов».

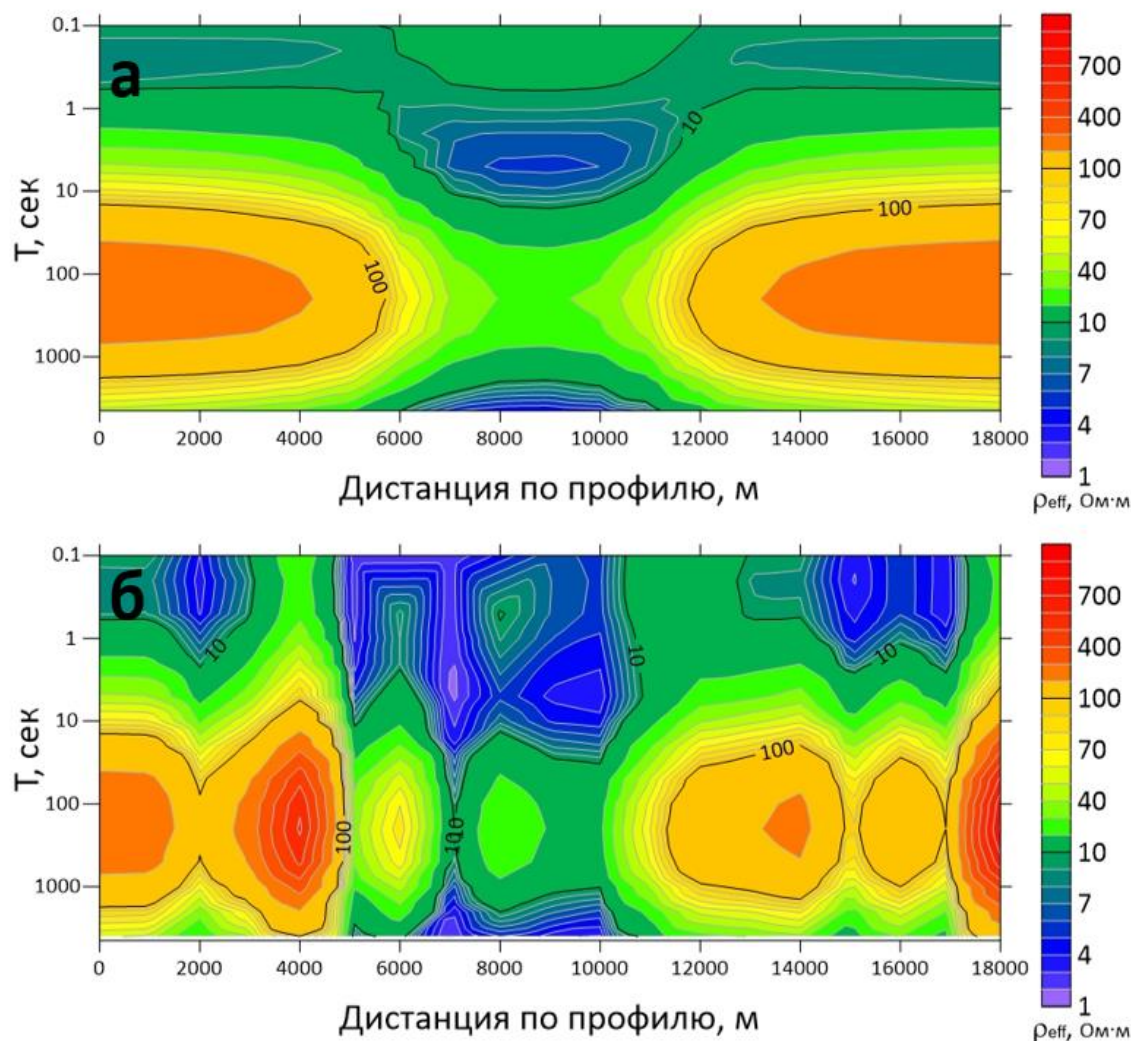


Рис. 4. Частотные разрезы эффективного кажущегося сопротивления по центральному профилю: а – модель без ППН, б – модель с ППН.

Помимо продемонстрированных выше данных в работе были проанализированы карты эффективного кажущегося сопротивления, а также карты распределения инвариантов магнитотеллурических матриц, а именно: параметр неоднородности N (рис 5а,б), параметр асимметрии Свифта $Skews$ (рис 5в,г) и Бара $Skew_B$, матрицы Визе-Паркинсона $[W]$, горизонтального магнитного тензора $[M]$ и теллурического тензора $[T]$.

Для добавления в модель приповерхностных неоднородностей, расчета матриц компонент тензора импеданса и инвариантов использовались программы, написанные авторами в системе MATLAB. Для решения прямой 3D задачи для вариантов модели с однородным и с неоднородным верхним слоем применялась программа MT3DFwd [4].

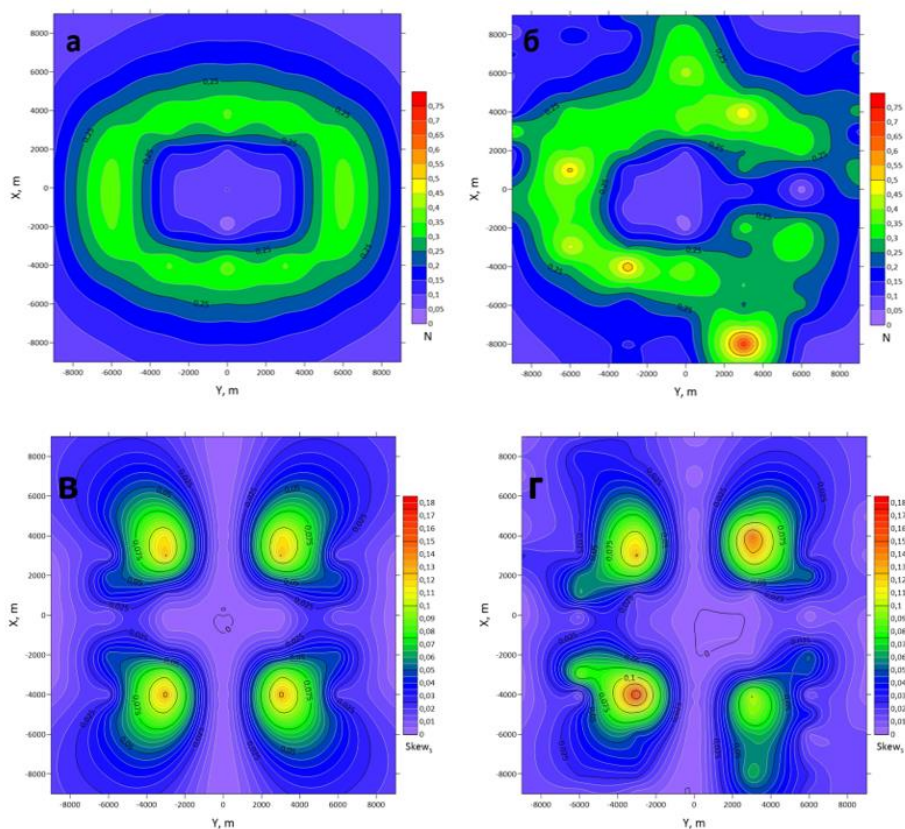


Рис. 5. Карты параметра неоднородности N (а, б) и параметра асимметрии $Skew_s$ (в, г) для периода 100 сек. Слева (а, в) – модель без ППН, справа (б, г) – модель с ППН.

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. На частотных разрезах кажущегося сопротивления ППН приводят к появлению характерных вертикальных «столбов». На картах инвариантов тензора импеданса присутствуют значительные искажения. 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.).

Литература.

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. Научный мир, 2009, 680 с.
2. 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.
3. Jones A. Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environment. Geophysics, 1988, 53, p. 967-978.
4. Mackie R.L., Madden T.R., Wannamaker P.E. Three-dimensional magnetotelluric modeling using difference equations - theory and comparison to integral equation solutions. Geophysics, 1993, 58, p. 215-226.