

ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ СИНХРОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ В ТРЕХ ПУНКТАХ

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

С помощью численного эксперимента показана возможность синтеза площадного распределения поля по данным синхронной регистрации в трех пунктах наблюдений.

Ключевые слова: кажущееся сопротивление, магнитотеллурическое зондирование.

POSSIBILITIES OF MAGNETOTELLURIC SOUNDING AT SYNCHRONOUS DATA RECORDING IN THREE POINTS

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

Using simulation, it is shown possibility of synthesis of a surface field distribution by synchronous data registration in three points.

Key words: apparent resistance, magnetotelluric sounding.

Основой магнитотеллурического зондирования является индукционное возбуждение Земли в поле естественных источников, обусловленное слабой проводимостью атмосферы. На больших удалениях от источника первичное поле (ТЕ-мода) на поверхности Земли хорошо представляется вертикально падающей плоской волной. Однако в зонах, близких к источнику, а также в общем случае в следующем приближении поле вдоль земной поверхности является неоднородным. Преодолеть возникающие в этой ситуации трудности теоретически можно с помощью синхронного площадного зондирования. Но на практике оно по причине высокой стоимости реализуется редко. Поэтому актуальным представляется эксперимент с регистрацией поля лишь тремя синхронно работающими пунктами, которых вполне достаточно для определения амплитуд двух преобладающих пространственных гармоник – вертикально падающей на среду волны и преобладающей волны наибольшей амплитуды, распространяющейся от источника вдоль земной поверхности. Важно также, что это дает возможность снизить вычислительные затраты при решении обратной и прямой задач за счет постановки верхних граничных условий на поверхности Земли – задания на ней в правых частях уравнений поля амплитуд пространственных гармоник, определенных экспериментально. Конечно, с увеличением количества пунктов синхронной регистрации данных (но и соответственно затрат) можно определить больший набор амплитуд простран-

ственных гармоник и точнее зарегистрировать неоднородную структуру поля на земной поверхности.

Существенно, что особенность данного подхода – задание на поверхности Земли в качестве источника части поля, представленной пространственными гармониками с амплитудами, надежно определенными из эксперимента. При постановке верхнего граничного условия можно использовать двумерное Фурье преобразование неоднородного поля на земной поверхности. Количество пространственных гармоник при решении прямой задачи определяется задаваемой детальностью описания неоднородной среды (размерами шагов по латеральным координатам). При малом количестве пунктов регистрации детальность описания среды не может быть высокой из-за существующей неопределенности эксперимента, проявляющейся в том, что неоднородность поля на земной поверхности обусловлена как первичными источниками, так и неоднородностью среды. Поскольку структура источника первичного поля неизвестна, верхние граничные условия для пространственных гармоник, не определяемых экспериментом, приходится связывать с неоднородностью среды, предполагая их затухание вглубь атмосферы. Следует отметить, что достоверность получаемых сведений о среде при таком подходе вполне контролируема: она зависит от количества пунктов регистрации.

При индукционном возбуждении горизонтально слоистого разреза поле ТМ-моды в среде не возникает, поскольку на границе с непроводящей атмосферой обращается в нуль вертикальная компонента электрического поля. Однако при наличии латеральных неоднородностей среды даже на границе с непроводящей атмосферой на поверхности Земли возникают ненулевые горизонтальные компоненты электрического поля ТМ-моды, обеспечивающие растекание поступающих из глубины токов вдоль этой поверхности. Таким образом, поле ТМ-моды обусловлено лишь латеральной неоднородностью среды, а источником первичного поля в непроводящей атмосфере не возбуждается. Поэтому высказанное выше предположение о затухании части пространственных гармоник вглубь атмосферы полностью выполняется по отношению к полю ТМ-моды.

Латеральные неоднородности вносят вклад и в компоненты магнитного поля обеих мод на поверхности Земли. Важно, что вклад приповерхностных неоднородностей в компоненты магнитного поля равен нулю на больших временных периодах, когда толщина скин-слоя существенно превышает мощность слоя неоднородностей. Это свойство поля ТМ-моды приводит к тому, что на земной поверхности удобнее выделять поле ТЕ-моды и задавать амплитуды преобладающих пространственных гармоник, определяемые по зарегистрированным компонентам магнитного поля.

Используя бимодальное представление электромагнитного поля на земной поверхности, в эксперименте можно выделить моды при наличии лишь трех пунктов синхронной регистрации. Это можно сделать как по данным о компонентах только электрического или только магнитного полей, так и по компонентам обоих полей совместно [1].

При площадном синхронном зондировании многими пунктами на полигоне фиксируется мгновенное неоднородное распределение поля и затем вычисляются спектры пространственных гармоник компонент этого поля на поверхности, чтобы использовать их для определения неоднородностей среды. Можно предположить, что из-за изменчивости естественных источников неоднородность первичного поля будет меняться от сеанса к сеансу. Возникает возможность последовательно в разных сеансах найти искомые спектры пространственных гармоник компонент поля на поверхности даже в случае трех пунктов синхронного зондирования. Действительно, в предположении неизменности среды в течение всего эксперимента в разных сеансах будут регистрироваться ее отклики на возбуждение различными пространственными гармониками первичного поля. Используя совместно результаты всех сеансов, можно синтезировать возбуждение исследуемой среды произвольно неоднородным первичным полем, тем самым осуществляя мало затратное “площадное синхронное зондирование”. Такой подход также позволит найти неоднородности среды.

Конечно, при трех пунктах регистрации можно определить лишь характеристики преобладающих пространственных гармоник в полях обеих мод электромагнитного поля. Это дает приближенное представление об отклике среды. Поэтому условия применимости данного подхода должны быть изучены в численных экспериментах и на практике.

С этой целью были проведены численные расчеты для модели трехмерно неоднородной среды – проводящего слоя с меняющимся по глубине и латерали удельным сопротивлением ρ , находящегося в однородном полупространстве с сопротивлением $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$:

$$r_s = 25 + 25 \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{x}{144} \right)^2 - \left(\frac{y}{162} \right)^2 \right\},$$

$$\rho^{-1}(x, y, H) = 0.001 + 0.01 \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{H - r_s}{7} \right)^4 \right\},$$

$$0 \leq H \leq 80,$$

Используются положительные значения глубины $H > 0$, x, y, H, r_s , задаются в км, ρ – в Ом·м. В середине проводящего слоя на глубине 25 км сопротивление падает до $\sim 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Слой неоднороден по латерали: он испытывает локальное погружение в центре полигона. Размеры полигона составляют по оси ординат $L_y = 1620 \text{ км}$ и по оси абсцисс $L_x = 1440 \text{ км}$.

Расчеты электромагнитного поля выполнялись на основе представления поля в виде взаимосвязанных в трехмерно неоднородной среде ТЕ- и ТМ-мод [2, 3]. Вводились потенциалы магнитного и электрического полей обеих мод. Из уравнений Максвелла была получена система трех уравнений для введенных потенциалов, которая решалась с помощью метода матричной прогонки. Граничные условия на боковых гранях изучаемого объема представлялись условиями периодичности поля и среды по горизонтальным осям. На глубине 300 км

(нижнее граничное условие) потенциалы поля задавались равными нулю. Считалось также, что ниже 200 км электропроводность с глубиной экспоненциально увеличивается по закону Лаири-Прайса [4]. На поверхности Земли для ТМ-моды ставилось условие равенства нулю вертикального тока, а магнитный потенциал ТЕ-моды задавался в соответствии со сказанным одной из пространственных гармоник $\sim \exp(ik_x x + ik_y y)$. Волновые числа определялись размерами полигона $k_{x,y} = 2\pi m / L_{x,y}$, $m = 1, 2$. Были проведены расчеты поля в неоднородной среде отдельно для каждой из этих пространственных гармоник. В силу линейности уравнений Максвелла их решением будет также сумма всех рассчитанных полей пространственных гармоник. Расчеты выполнены для временного периода 15,71 с.

В качестве экспериментальных данных выбирались компоненты полей в трех пунктах регистрации с координатами $x_j, y_j = (0, 0), (240, 0)$ и $(0, -270)$ в км, начало системы координат – в центре полигона. Обработка экспериментальных данных проводилась по схеме, описанной в [1]. В качестве данных различных сеансов наблюдений использовались значения компонент поля, полученные для выбранных пространственных гармоник. При обработке с использованием данных синхронной регистрации в трех пунктах для всех сеансов определялись характеристики ТЕ- и ТМ-мод и волновые числа пространственных гармоник. Это позволяло затем синтезировать поля на всей поверхности полигона.

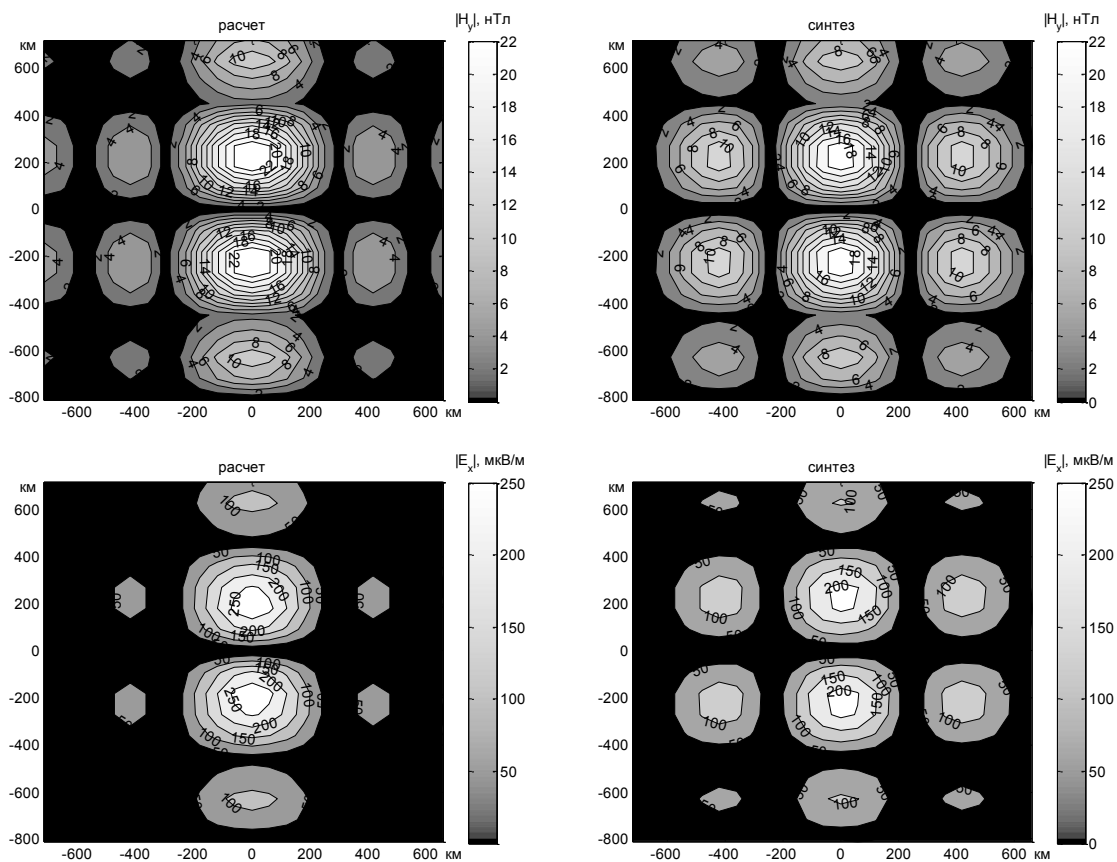


Рис. 1. Карты распределений суммарных полей до и после фильтрации

Качество подобной фильтрации данных проверялось сравнением расчетных и восстановленных полей. Для примера на рис.1 приведены карты распределений некоторых суммарных полей до и после фильтрации. Соответствие этих карт подтверждает возможность синтеза площадного распределения поля по данным синхронной регистрации тремя пунктами наблюдений.

Еще одним доказательством этого вывода может быть построение карт латерального распределения кажущейся электропроводности по площадным данным с помощью метода согласования компонент. Способы построения карт описаны в [2, 3]. На рис. 2 для примера приведено распределение кажущегося электрического сопротивления, полученное обычным способом по расчетным данным для полей одной пространственной гармоники, и для сравнения распределение кажущегося электрического сопротивления, найденное методом согласования компонент по данным о синтезированном поле. Карты вполне отражают основные особенности латерального распределения удельного электрического сопротивления исследуемого проводящего слоя.

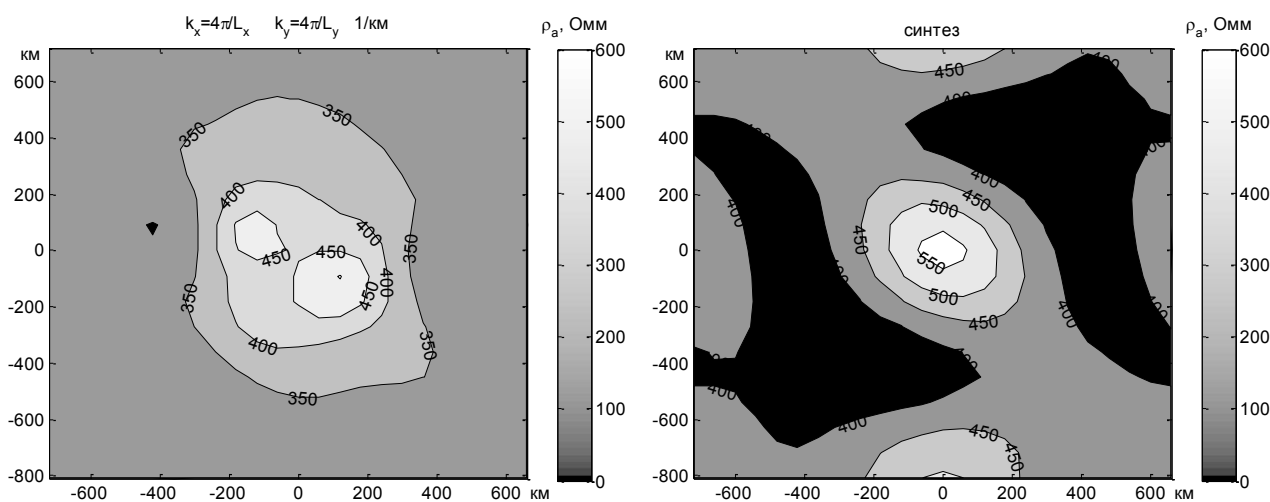


Рис. 2. Карты распределений кажущегося электрического сопротивления

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Plotkin V.V. Synchronous magnetotelluric sounding with non-uniform source field excitation [Electronic resource] // Problems of Geocosmos: Proceedings of the 10th International Conference (St. Petersburg, Petrodvorets, October 6-10, 2014). - St. Petersburg, 2014. - P. 45–51. - Режим доступа: http://geo.phys.spbu.ru/materials_of_a_conference_2014/Geocosmos2014proceedings.pdf
2. Плоткин В.В., Белинская А.Ю., Гаврыш П.А, Губанов А.И. Эффект нелокальности электромагнитного отклика при региональном магнитотеллурическом зондировании // Геология и геофизика. - 2008. - Т. 49., № 11 - С. 1152–1160.
3. Плоткин В.В. Зона влияния неоднородности среды и поля при магнитотеллурическом зондировании // Геология и геофизика. - 2012. - Т. 53, № 1. - С. 140–149.
4. Рокитянский И.И. Индукционные зондирования Земли: монография. - Киев: Наукова Думка, 1981. - 296 с.

© В. В. Плоткин, 2015