

We C 12

Wavefield Transformation of Transient Electromagnetic Induction Soundings Data

G.A. Gretskov* (IPGG SB RAS), M.I. Epov (IPGG SB RAS) & E.Y. Antonov (IPGG SB RAS)

SUMMARY

The report is devoted to the development of the algorithms and programs to perform wavefield transformation (Q-transform) of quasi-stationary TEM responses. Two different ways of implementation of Q-transform are shown, first is based on singular value decomposition and latter - on Tikhonov regularization method. Results of different Q-transformations for horizontally-layered, polarized and quasi-3D geoelectrical models are provided.

Введение

Доклад посвящен преобразованию сигналов квазистационарных электромагнитных зондирований в волновую область. При выполнении преобразования использовались два метода регуляризации: на основе сингулярного разложения и метод регуляризации Тихонова. В качестве результатов представлены преобразованные волновые поля для горизонтально-слоистых, поляризующихся и квазитрёхмерных геоэлектрических моделей.

На сегодняшний день в разведочной геофизике широко применяется метод зондирований становлением поля, основанный на изучении переходных характеристик электромагнитного поля (см. например [1]). В качестве источника используется замкнутый токовый контур, в котором в определенный момент времени выключается электрический ток. Интерпретация данных при использовании множества генераторных и приемных петель становится ресурсоемкой задачей. Одним из возможных направлений развития интерпретации, является использование сейсмических методов обработки геоэлектрических данных. Для того, чтобы применять сейсмические методы к диффузионным данным ЗС необходимо применить отображение в волновую область. Данные преобразования записываются в виде интегральных уравнений [2-6]:

$$B(t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi t^3}} \int_0^\infty F(q) \sqrt{\alpha q} e^{-\frac{\alpha q^2}{4t}} dq,$$

$$E(t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi \alpha t}} \int_0^\infty G(q) \left[\frac{\alpha q^2}{2t} - 1 \right] e^{-\frac{\alpha q^2}{4t}} dq,$$

где $E(t)$ и $B(t)$ – компоненты электромагнитного поля, $F(q)$ и $G(q)$ – фиктивные векторные поля, удовлетворяющие системе волновых уравнений, q – фиктивное время, а α – масштабирующий множитель. После дискретизации интегральные уравнения могут быть записаны в матричной форме:

$$A_1 F = B \text{ и } A_2 G = E$$

Так как решение F первого интегрального уравнения является неустойчивым, возникает необходимость в применении различных методов регуляризации [6]. Одним из подходов к решению является сингулярное разложение (SVD) матрицы A_1 . В результате разложения получается произведение трех матриц:

$$A_1 = U L V^T \text{ где } U^T U = V^T V = V V^T = I$$

Матрица L содержит на своей главной диагонали собственные значения матрицы A_1 , а I – является единичной. Тогда решение F может быть записано в следующем виде:

$$F = V L^{-1} U^T B$$

Это решение необходимо стабилизировать, добавив к сингулярным значениям регуляризационный параметр k :

$$F = V(L^2 + kI)^{-1} L U^T B$$

Другой способ стабилизировать решение уравнения - это использовать регуляризацию Тихонова. Определив матрицу регуляризации Γ можно представить решение в виде:

$$F = (A_1^T W A_1 + \lambda \Gamma^T \Gamma)^{-1} A_1^T W B,$$

где λ – параметр регуляризации, а W – диагональная матрица содержащая, ошибки вычисления [6]. В рамках данного исследования были реализованы оба алгоритма. Далее приводятся результаты использования процедур трансформаций для нескольких геоэлектрических моделей. Все расчеты выполнялись для индукционных разнесенных установок «петля-петля» с закрепленным источником и набором приемных рамок, удаляющихся с постоянным шагом по линии, исходящей из центра генераторной петли.

Рассмотрим трёхслойную горизонтально-слоистую модель: $\rho_1=10$ Ом·м, $h_1=2000$ м, $\rho_2=200$ Ом·м, $h_2=2500$ м, $\rho_3=1000$ Ом·м и рассчитаем переходные ЭДС для многоразносной установки. К полученным в результате расчетов данным применим обратное преобразование, используя

SVD-регуляризацию и регуляризацию Тихонова (рис.1). Используя положения экстремумов, полученных в результате преобразований «вэйвлетов», построим график зависимости времени прихода волны от разноса установки – годографы.

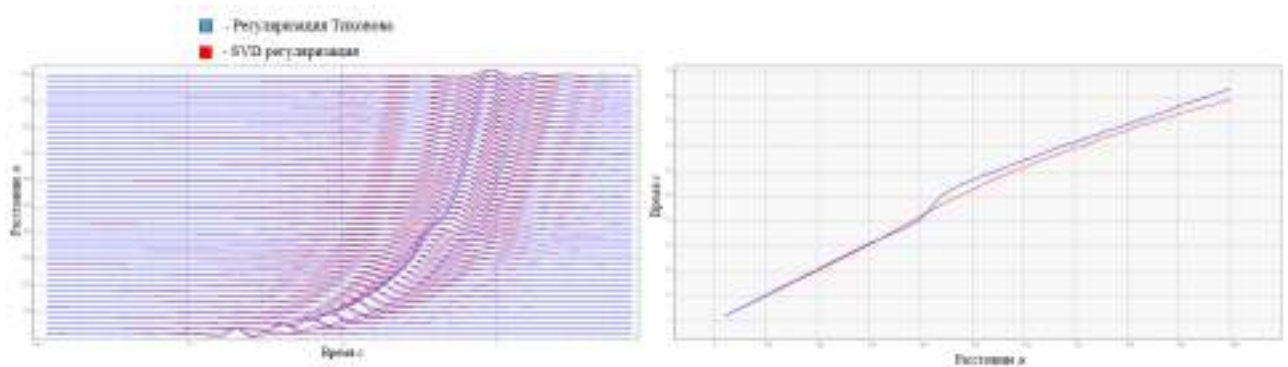


Рисунок 1 Волновые поля и соответствующие им годографы для SVD и регуляризации Тихонова.

На рис. 2 слева показаны годографы при изменяющемся (от 10 до 70 Ом·м) удельном электрическом сопротивлении (УЭС) первого слоя. Изменения годографа при увеличении УЭС второго слоя показано на рис.2 справа.

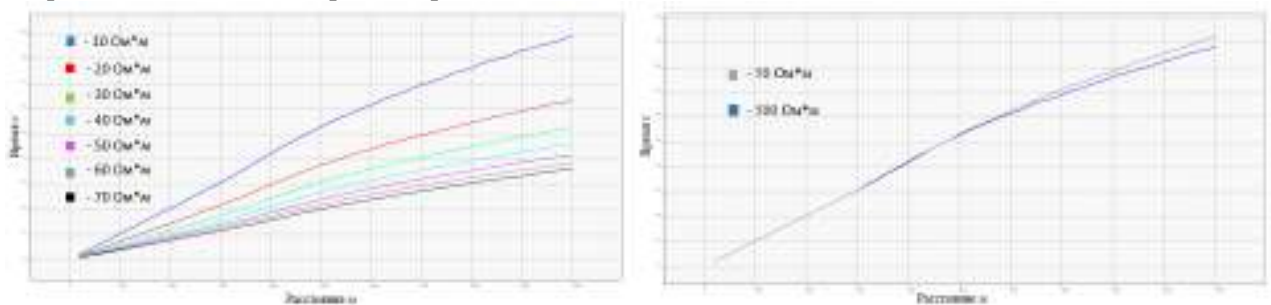


Рисунок 2 Чувствительность годографа к сопротивлению первого (слева) и второго (справа) слоя.

На рис.3 показаны годографы в зависимости от мощности первого слоя:

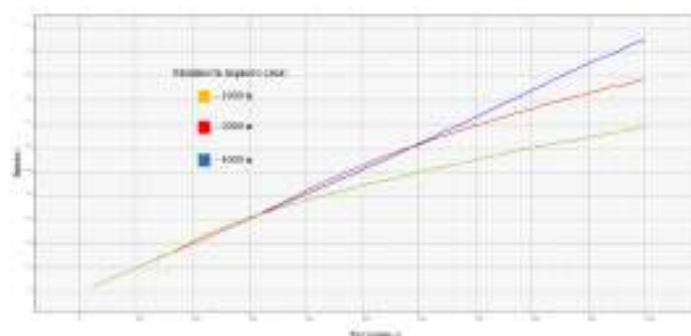


Рисунок 3 Чувствительность годографа к мощности первого слоя.

Рассмотрим горизонтально-слоистую модель и поместим во второй слой проводящую куполообразную структуру (рис. 4). Для данной модели методом ЗС с разнесенной установкой петля-петля рассчитаем кривые ЭДС, к которым применим преобразование в волновую область. На рис. 5 изображена волновая картина и соответствующие ей годографы для моделей в присутствии неоднородности и без нее.

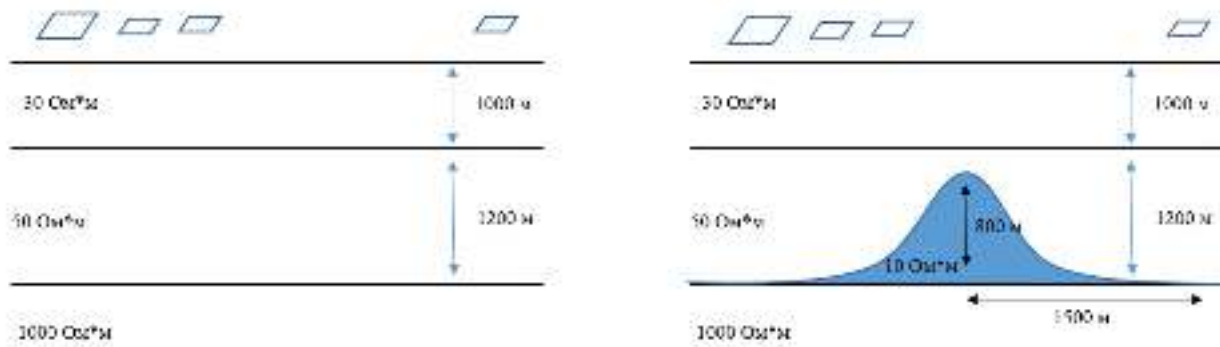


Рисунок 4 Модель с неоднородностью.

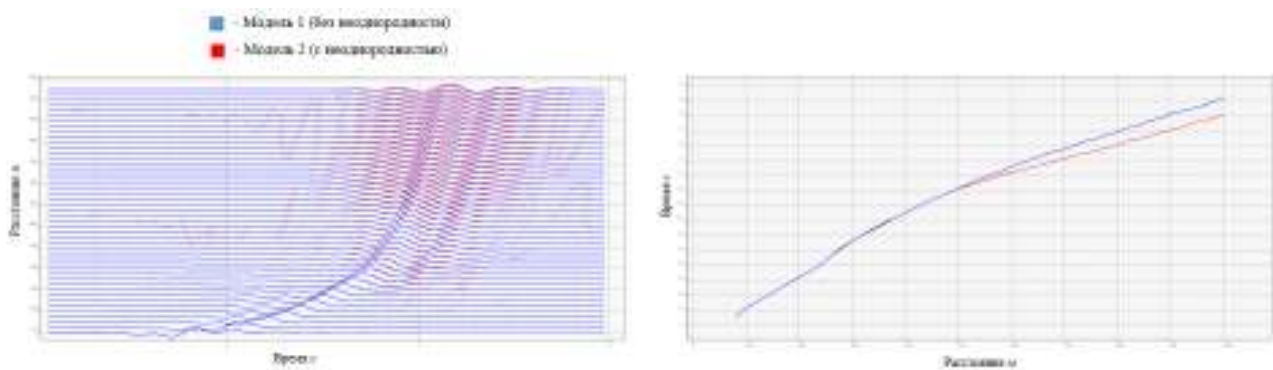


Рисунок 5 Волновые поля и соответствующие им годографы модели с неоднородностью и без нее.

Чтобы оценить влияние вызванной поляризации (ВП), рассмотрим следующую модель $\rho_1=50$ Ом·м, $h_1=1000$ м, $\rho_2=150$ Ом·м, $h_2=1000$ м, $\rho_3=50$ Ом·м, $h_3=2500$ м, $\rho_4=1000$ Ом·м с поляризующимся вторым слоем с параметрами поляризуемости: $m=0.5$, $\tau=0.01$ с, $c=1$. Для описания низкочастотной дисперсии удельного сопротивления использовалась модель Cole-Cole [7]:

$$\rho(\omega) = \rho_2 \left\{ 1 - m \left[1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right] \right\}$$

Расчет переходных характеристик выполнялся для модели с учетом и без учета ВП, источник петля $1000 \text{ м} \times 1000 \text{ м}$, шаг по профилю 200 м от центра до 10000 м . На рис. 6 представлены результаты трансформации сигналов в виде волновой картины и годографов.

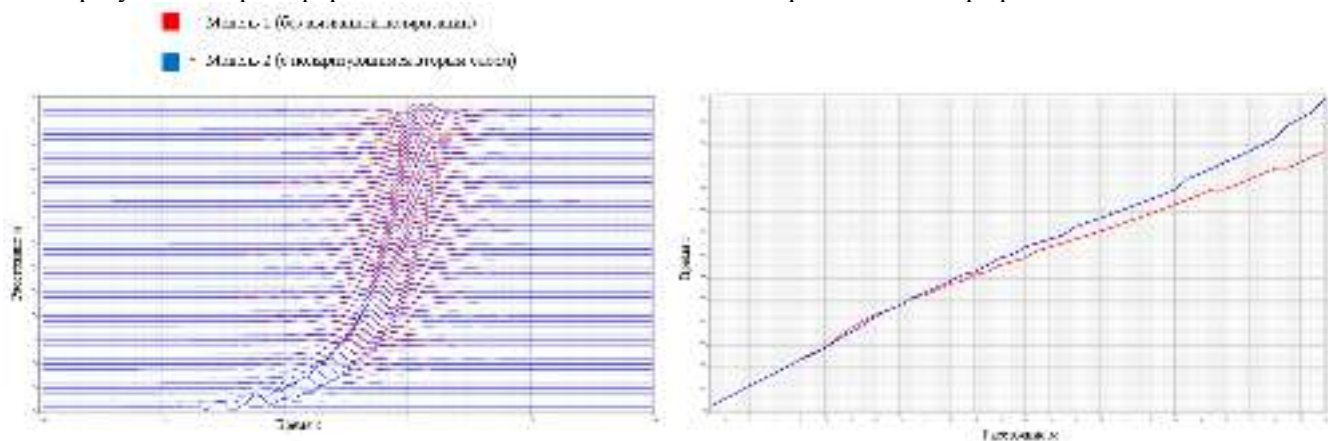


Рисунок 6 Волновые поля и соответствующие им годографы для модели с учётом и без ВП.

Выводы

Реализованы процедуры трансформации данных импульсных электромагнитных зондирований в пространство функций, являющихся решением волнового уравнения.

Сопоставлены методы построения процедур трансформации с использованием SVD-разложения и метода регуляризации по Тихонову.

Рассмотрены примеры использования трансформации для горизонтально-слоистых, поляризующихся и квазитрёхмерных моделей геологических сред.

Список литературы

1. Каменецкий, Ф.М. [1997] *Электромагнитные геофизические исследования методом переходных процессов*. М.: ГЕОС, 162 с.
2. Резницкая, К.Г. [1974] Связь между решениями задачи Коши для уравнений различных типов и обратные задачи. В кн.: *Математические проблемы геофизики*. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1974. Вып. 5, ч. I. С. 55-62.
3. De Hoop, A.T. [1996] A general correspondence principle for time-domain electromagnetic wave and diffusion fields. *Geophys. J. Int.*, **127**, 757-761.
4. Lee, K.H., Lui, G., Morrison, H.F. [1989] A new approach to modeling the electromagnetic response of conductive media. *Geophysics*, **54**(9), 1180-1192.
5. Zhdanov, M. and Portniaguine O. [1997] Time-domain electromagnetic migration in the solution of inverse problems. *Geophys. J. Int.*, **131**, 293-309.
6. Swidinsky, A. [2011] *Transient Electromagnetic Modelling and Imaging of Thin Resistive Structures: Applications for Gas Hydrate Assessment*. A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Department of Physics University of Toronto, 255.
7. Pelton, W.H., Ward, S.H., Hallof, P.G., Sill, W.R. and Nelson, P.H. [1978] Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP. *Geophysics*, **43**(3), 588-609.