

ВОПРОСЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 1 (9)

2 0 1 6

Редакционная коллегия

А. П. Хоменко – главный редактор, д. т. н., профессор, ректор ИрГУПС, Иркутск;
А. И. Илларионов – зам. главного редактора, д. ф.-м. н., профессор, ИрГУПС, Иркутск;
Ю. Я. Харитонов – д. х. н., профессор, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва;
С. А. Ишанов – д. ф.-м. н., доцент, БФУ им. И. Канта, Калининград;
В. М. Григорьев – д. ф.-м. н., член-корр. РАН, ИСЗФ СО РАН, Иркутск;
Е. А. Илларионова – д. х. н., профессор, ИГМУ, Иркутск;
М. Р. Бакланов – д. х. н., Международный центр микроэлектроники, Лювен, Бельгия;
Н. М. Буднев – д. ф.-м. н., с. н. с., ИГУ, Иркутск;
Г. Я. Смольков – д. т. н., профессор, ИСЗФ СО РАН, Иркутск;
В. И. Белоконь – д. ф.-м. н., профессор, ДВФУ, Владивосток;
Т. А. Степанова – ф. фарм. н., профессор, ДВГМУ, Хабаровск;
О. А. Букин – д. ф.-м. н., профессор, МГУ им. адм. Г. И. Невельского, Владивосток;
В. Ф. Лосев – д. ф.-м. н., профессор, ИСЭ СО РАН, Томск;
Л. Д. Михеев – к. ф.-м. н., ФИАН, Москва;
Б. П. Адуев – д. ф.-м. н., профессор, ИУХМ, Кемерово;
Б. И. Кидяров – д. ф.-м. н., с.н.с., ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск;
В. М. Лисицын – д. ф.-м. н., профессор, НИТПУ, Томск;
Е. Ф. Мартынович – д.ф.-м. н., профессор, ИЛФ СО РАН, Иркутск;
О. В. Кузьмин – д. ф.-м. н., профессор, ИМЭИ ИГУ, Иркутск;
Е. М. Лыткина – ответственный секретарь, к. т. н., доцент ИрГУПС, Иркутск

Редакционный совет

Н. А. Корчевин – д. х. н., профессор, ИрГУПС, Иркутск;
М. А. Никитин – д. ф.-м. н., профессор, БФУ им. И. Канта, Калининград;
В. В. Демьянов – д. т. н., доцент, ИрГУПС, Иркутск;
Г. В. Попов – д. ф.-м. н., профессор, ИрГУПС, Иркутск;
И. П. Сыроватский – к. фарм. н., доцент, ИГМУ, Иркутск;
Т. А. Асеева – д. фарм. н., профессор, ИОЭБ СО РАН, Улан-Удэ;
Г. Г. Николаева – д. фарм. н., профессор, ИОЭБ СО РАН, Улан-Удэ;
А. П. Кузьменко – д. ф.-м. н., профессор, ЮЗГУ, Курск;
В. И. Барышников – д. ф.-м. н., профессор, ИрГУПС, Иркутск;
Ю. А. Давыденко – к. т. н., ИЗК СО РАН, Иркутск;
А. Е. Будяк – к. г.-м. н., Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск;
А. В. Паршин – к. г.-м. н., Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск;
С. Ю. Мешалкина – к. фарм. н., доцент, ДВГМУ, Хабаровск;
Т. М. Янчук – к. б. н., доцент, ИГУ, Иркутск;
Н. Т. Афанасьев – д. ф.-м. н., профессор, ИГУ, Иркутск;
В. В. Криштоп – д. ф.-м. н., профессор, ДВГУПС, Хабаровск;
О. Г. Струсовская – д. фарм. н., СГМУ, Архангельск;
В. Ю. Яковлев – д. ф.-м. н., профессор, НИТПУ, Томск;
В. И. Иванов – д. ф.-м. н., профессор, ДВГУПС, Хабаровск

Ответственный за выпуск Е. М. Лыткина

Дизайн обложки: В. В. Гасельник

Макет издания и компьютерная верстка: Е. М. Лыткина, Н. Е. Кильдишева

Уважаемые читатели!

Журнал публикует статьи по следующим направлениям:

01.00.00 – «Физико-математические науки», из них группы специальностей 01.01.00 – «Математика», 01.04.00 – «Физика», 01.03.00 – «Астрономия»;
14.00.00 – «Медицинские науки», из них группа специальностей 14.04.00 – «Фармацевтические науки»;
25.00.00 – «Науки о земле».

Редакция приглашает вас к участию в последующих номерах издания в качестве авторов, рекламодателей и читателей. К публикации в журнале принимаются статьи ученых, аспирантов и студентов, занимающихся научно-исследовательской деятельностью.

Электронный вариант журнала можно найти на сайте Иркутского государственного университета путей сообщения <http://irgups.ru>, а также в ЭБС издательства «Лань» по адресу <http://e.lanbook.com>. Аннотации статей на двух языках можно найти на сайте РИНЦ http://elibrary.ru/title_about.asp?id=51245.

Адрес редакции: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15
E-mail: v.estestvozn@gmail.com, тел. (3952) 63-83-10, доп. 0263

Журнал издается с 2013 г.
Периодичность – 4 раза в год.

Учредитель: Иркутский государственный университет путей сообщения

СОДЕРЖАНИЕ

ДЛЯ АВТОРОВ	6
-------------------	---

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Базилевский М.П.</i> Сведение задачи выбора спецификации модели парной регрессии к задаче поиска глобального минимума	9
<i>Кидяров Б.И.</i> Структурно-физическая систематизация ацентричных кристаллов боратов	16
<i>Марюхненко В.С., Мудрая Н.Г.</i> Физико-технические аспекты изменения сопротивления балласта железнодорожных путей	25

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Некрасова Д.О., Заяц Д.В.</i> Определение ресурсного потенциала и некоторых числовых показателей майника двулистного	37
<i>Илларионов А.И., Илларионова Е.А., Сыроватский И.П.</i> Спектрофотометрическое определение пирлиндола	43

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Агеев В.В.</i> О сторонних токах в электрокинетических процессах	51
<i>Ингеров И.А., Рудак Т.В., Ермолин Е.Ю.</i> О своевременности внедрения в практику картировочных и поисковых работ метода ЧЭЗ	54
<i>Петруняк Г.М.</i> Углеродородно-минеральный метасоматоз украинских Карпат	59
<i>Варенцов Ив.М., Иванов П.В., Аутио У., Смирнов М.Ю.</i> Совместная 3d инверсия мт/мв данных, имитированных в модели <i>commem-3d3</i>	69
<i>Варенцов И.М., Лозовский И.Н.</i> Комплексирование разведочной и длиннопериодной аппаратуры при проведении синхронных мт/мв зондирований литосферы	74
<i>Агеенков Е.В., Легайдо П.Ю.</i> Изучение параметров вызванной поляризации одномерных сред при индукционном возбуждении и приёме электромагнитного поля	79
<i>Алексеев Д.А., Нурмухамедов А.Г., Чернев И.И., Яковлев А.Г.</i> Трёхмерная геоэлектрическая модель мутновского месторождения парогидротерм	86
<i>Белявский В.В.</i> Геоэлектрическая модель шагонарского очага землетрясений (алтае-саянский регион)	89
<i>Бессмертный С.Ф.</i> Прогнозирование площадей локализации кимберлитопроявлений на территории якутской алмазоносной провинции по результатам изучения геоэлектрического строения земной коры магнитотеллурическими зондированиями	95
<i>Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Ильин А.И., Агафонов Ю.А., Поспеев А.В.</i> Стадийность постановки электроразведочных работ на примере Ковыктинского ГКМ	100
<i>Великин А.Б., Великин А.А.</i> Новый корреляционный метод импульсной электроразведки с шумоподобными сигналами <i>stem</i> для электромагнитного зондирования недр при поисках углеводородного сырья	103

<i>Грецов Г.А., Эпов М.И., Антонов Е.Ю.</i> Алгоритмы и программы для преобразования данных зондирований становлением поля в пространство решений волнового уравнения	115
<i>Давыденко А.Ю.</i> Интерпретация геофизических данных с использованием технологии geliosmi	120
<i>Егоров И.В., Пальшин Н.А.</i> Учет электрических шумов, генерируемых волнами на водной поверхности	124
<i>Ермолин Е.Ю., Ингеров О., Савичев А.А.</i> Опыт применения амт-мвп при картировании золотоносных кварцевых жил на Чукотке	131
<i>Ингеров И.А., Рудак Т.В., Ермолин Е.Ю.</i> Выполнение электромагнитных исследований на мелководных акваториях (шельф и транзитные зоны)	136
<i>Голубцова Н.С., Израиль М., Пушкарев П.Ю., Смирнов М.Ю., Соколова Е.Ю.</i> Первый опыт трёхмерной интерпретации магнитотеллурических данных, полученных в гарвальских гималаях	142
ФОРМА АВТОРСКОГО ДОГОВОРА	147
ФОРМА АНКЕТЫ АВТОРОВ	148
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ	149

Библиографический список

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. Великин А.Б. Способ электроразведки и устройство для его осуществления (варианты): патент 2354999 РФ: МПК G01V 3/08/; заявл. 04.07.07; опубл. 10.05.09, Бюл. № 13.
3. Дубицкий С.Д. Программный комплекс *Elcut*, <http://elcut.ru/publications/dubitsky2.pdf>. (05.04.2015).
4. Жданов М.С. Сто лет электромагнитной геофизике: заметки о прошлом и дорога в будущее. Материалы V Всероссийской школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям земли ЭМЗ-2011. – Кн. 1. – СПб. : СПбГУ, 2011. – С. 54–87.
5. Ильичев П.В., Бобровский В.В. Применение шумоподобных сигналов в системах активной геоэлектроразведки (результаты математического моделирования и полевого эксперимента). Сейсмические приборы, 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 5–9.
6. Светов Б.С., Алексеев Д.А. и др., Применение шумоподобных сигналов в зондированиях становлением поля. Геофизика, 2012. – № 1. – С. 52–60.
7. Duncan P.M. et al. The development and applications of a wide band electromagnetic sounding system using a pseudo-noise source, Geophysics, vol. 45, no. 8, August, 1980. – P. 1276–1296.
8. Velikin A.B., Bulgakov Ju.I. Transient electromagnetic method (One loop version), Proceedings of the UNO International Seminar. – Moscow. – 52 pp. – 1967.
9. Kamenetsky F.M., Stettler E.H., Trigubovich G.M. Transient geo-electromagnetics. Ludwig-Maximilian-University of Munich. – 2010. – Munich.
10. Ziolkowski A., Wright D. Shallow water Multi-Transient EM Surveys in the North Sea, 3rd International Oil and Gas Symposium in Western Newfoundland, 14/09/2008.



УДК 550.837

Г.А. Грецов¹, М.И. Эпов¹, Е.Ю. Антонов¹

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В ПРОСТРАНСТВО РЕШЕНИЙ ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ

Аннотация. Статья посвящена преобразованию сигналов квазистационарных электромагнитных зондирований в волновую область. Рассмотрены два способа преобразований: на основе сингулярного разложения (SVD) и метода регуляризации Тихонова. Приведены примеры трансформаций для горизонтально-слоистых, поляризующихся и квазитрёхмерных геоэлектрических моделей.

Ключевые слова: transient electromagnetic sounding, wavefield transform of electromagnetic data, *Q*-transform, singular value decomposition, regularization.

Об авторах:

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН.

G.A. Gretskov, M.I. Epov, E.Yu. Antonov

ALGORITHMS AND PROGRAMS FOR DATA CONVERSION SOUNDING IN THE SPACE OF SOLUTIONS OF THE WAVE EQUATION

Abstract. The article is devoted to the transformation of the signals is quasi-stationary electromagnetic soundings in the wave region. Two ways of transformation have been considered: method, based on singular value decomposition (SVD) and Tikhonov regularization. Examples of transformations for horizontally layered, polarized and quasicriminal geoelectric models are presented.

Keywords: transient electromagnetic sounding, wavefield transform of electromagnetic data, Q -transform, singular value decomposition, regularization.

На сегодняшний день в разведочной геофизике широкое применение получил метод зондирования становлением поля (ЗС), основанный на изучении переходных характеристик электромагнитного поля от импульсного источника тока. Для интерпретации данных ЗС обычно используется метод инверсии, что является весьма ресурсоемким процессом, особенно в случае большого объема полевого материала (см. например [1]). В этой связи чрезвычайно полезны различные трансформации измеренных сигналов, например в кажущееся удельное сопротивление ρ_t или продольную проводимость $S_t(H_t)$. Использование трансформаций позволяет составить достаточно точное представление об исследуемом геоэлектрическом разрезе. Одним из возможных направлений развития данного типа интерпретации является использование сейсмических методов обработки геоэлектрических данных. Для того чтобы успешно применять сейсмические методы, к диффузионным данным ЗС необходимо применить отображение в волновую область. Данные преобразования записываются в виде интегральных уравнений [2-6]:

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

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

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:

$$A_1 F = B \text{ и } A_2 G = E. \quad (3)$$

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:

$$A_1 = U L V^T \text{ и } U^T U = V^T V = V V^T = I. \quad (4)$$

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:

$$F = V L^{-1} U^T B. \quad (5)$$

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

$$F = (L^2 + kI)^{-1}LU^TB. \quad (6)$$

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

$$F = (A_1^T W A_1 + \lambda \Gamma^T \Gamma)^{-1} A_1^T W B, \quad (7)$$

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 контрастную 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 «взвешиваний», построим график зависимости времени прихода волны от разности установок – годографы.

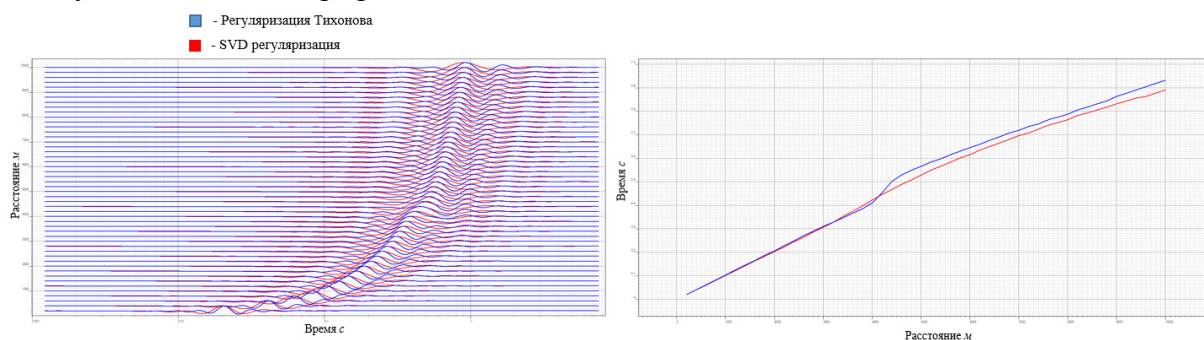


Рис. 15. Волновые поля и соответствующие им годографы для SVD и регуляризации Тихонова

Далее рассмотрим чувствительность годографа к изменению сопротивлений первого и второго слоев (рис. 2), а также мощности первого слоя (рис. 3).

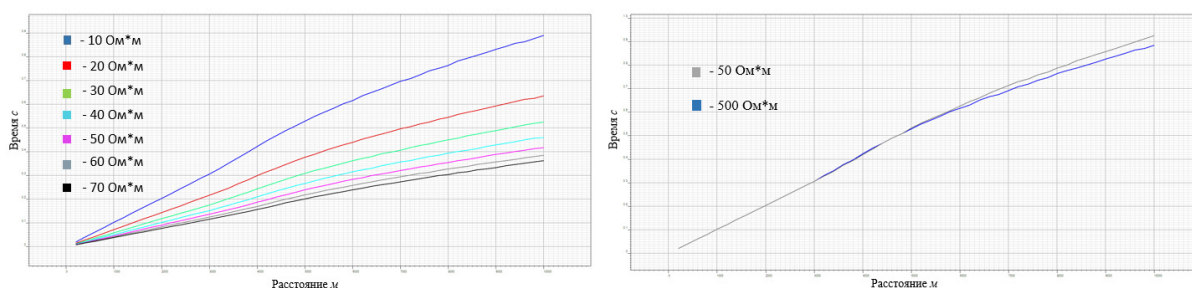


Рис. 16. Чувствительность годографа к сопротивлению первого (слева) и второго (справа) слоя

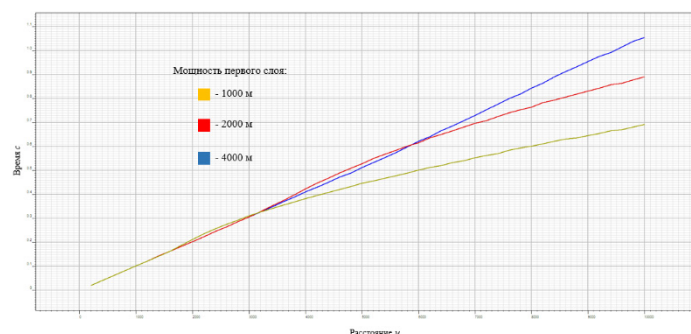


Рис. 17. Чувствительность годографа к мощности первого слоя

Чтобы оценить влияние вызванной поляризации (ВП), рассмотрим следующую модель $\rho_1 = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $h_1 = 1000 \text{ м}$, $\rho_2 = 150 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $h_2 = 1000 \text{ м}$, $\rho_3 = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $h_3 = 2500 \text{ м}$, $\rho_4 = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ с поляризующимся вторым слоем с параметрами поляризуемости: $m = 0,5$, $\tau = 0,01 \text{ с}$, $c = 1$. Для описания низкочастотной дисперсии удельного сопротивления использовалась модель Cole-Cole [7]:

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left\{ 1 - m \left[1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right] \right\}. \quad (8)$$

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. 4 представлены результаты трансформации сигналов в виде волновой картины и годографов.

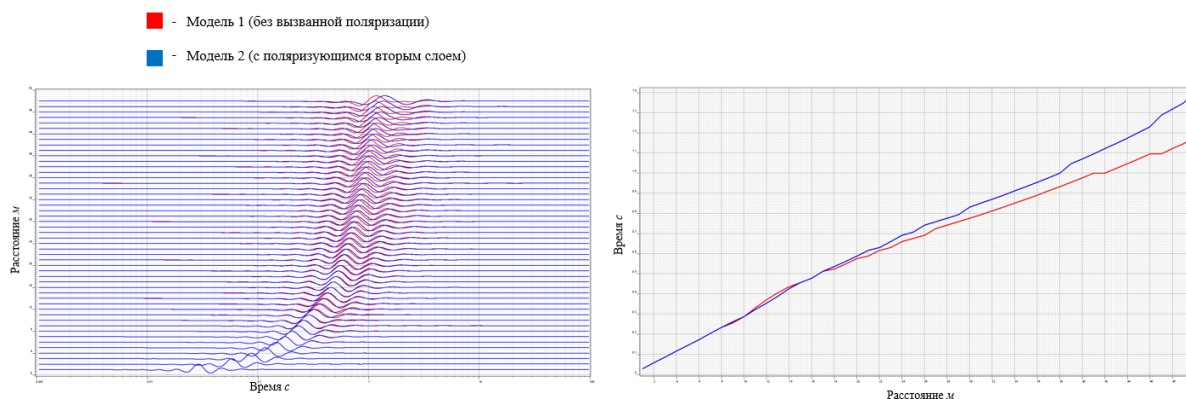


Рис. 18. Волновые поля и соответствующие им годографы для модели с учётом и без ВП

Рассмотрим горизонтально-слоистую модель и поместим во второй слой проводящую неоднородность, представляющую собой куполообразную структуру (рис. 5). Для данной модели методом ЗС с разнесенной установкой петля-петля рассчитаем кривые ЭДС, к которым применим преобразование в волновую область. На рис. 6 изображена волновая картина и соответствующие ей годографы в присутствии неоднородности и без нее.

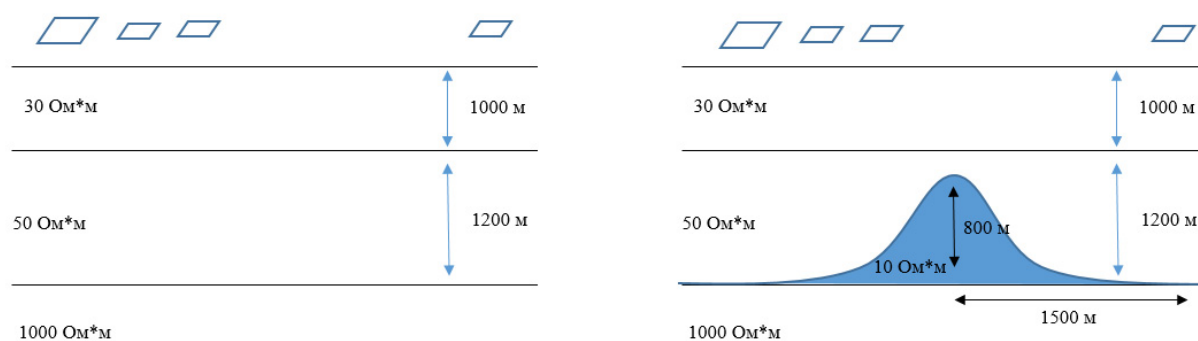


Рис. 19. Модель с неоднородностью

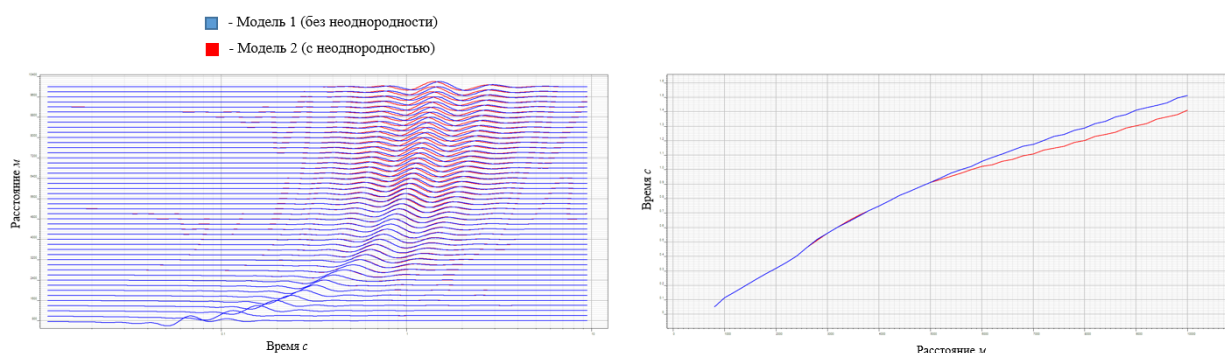


Рис. 20. Волновые поля и соответствующие им годографы модели с неоднородностью и без нее

Заключение

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.

Библиографический список

1. Каменецкий Ф.М. Электромагнитные геофизические исследования методом переходных процессов. – М. : ГЕОС, 1997. – 162 с.
2. Резницкая К.Г. 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. A general correspondence principle for time-domain electromagnetic wave and diffusion fields // Geophys. J. Int., 1996, 127. – Pp. 757–761.
4. Lee K.H., Lui G., Morrison H.F. A new approach to modeling the electromagnetic response of conductive media // Geophysics. – 1989. – V. 54, № 9. – Pp. 1180–1192.
5. Zhdanov M., Portniaguine O. Time-domain electromagnetic migration in the solution of inverse problems // Geophys. J. Int., 1997. – 131. – Pp. 293–309.
6. Swidinsky A. 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, 2011. – 255 p.
7. Pelton W.H., Ward S.H., Hallof P.G., Sill W.R., Nelson P.H. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP // Geophysics. – Vol. 43. – NO 3. – 1978. – P. 588–609.

