

## **ОГРАНИЧЕНИЯ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО ПОДХОДА 3D-ИНВЕРСИИ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ СТАНОВЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО (БОРНОВСКОГО) ПРИБЛИЖЕНИЯ**

*Александр Николаевич Шеин*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории геоэлектрики, тел. (383)330-41-22, e-mail: SheinAN@ipgg.sbras.ru

*Владимир Сергеевич Могилатов*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории геоэлектрики, тел. (383)330-96-02, e-mail: MogilatovVS@ipgg.sbras.ru

*Евгений Юрьевич Антонов*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией геоэлектрики, тел. (383)333-28-16, e-mail: AntonovEY@ipgg.sbras.ru

В работе приводится ряд ограничений алгоритма томографической инверсии, основанного на приближенном (борновском) 3D-моделировании нестационарного электромагнитного поля. Для исследования используются синтетические данные, полученные программой для моделирования процесса становления над трехмерными средами Modem3D.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, зондирование становлением поля, томографическая инверсия.

## **LIMITATIONS TOMOGRAPHIC INVERSION OF TEM-DATA BY APPROXIMATE (BORN) 3D MODELLING**

*Alexandr N. Shein*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Research Scientist, tel. (383)333-41-22, e-mail: SheinAN@ipgg.sbras.ru

*Vladimir S. Mogilatov*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Doctor of Sciences, Main Research Scientist, tel. (383)330-96-02, e-mail: MogilatovVS@ipgg.sbras.ru

*Evgeniy Yu. Antonov*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Research Scientist, Doctor of Sciences, Head of the Laboratory, tel. (383)333-28-16, e-mail: AntonovEY@ipgg.sbras.ru

The paper presents limitations of tomographic inversion of transient electromagnetic data. Inversion based on approximate (Born) 3D modelling. Synthetic transient induction responses used for investigations. This data were obtained by program Modem3D for calculating transient electromagnetic field.

**Key words:** mathematic modeling, transient electromagnetic sounding, tomographic inversion.

В настоящее время в разработке программных средств трёхмерного моделирования для задач электроразведки, в том числе нестационарных, достигнуты большие успехи. Однако практическая интерпретация данных зондирований становлением (ЗС), как правило, производится в рамках модели горизонтально-слоистой геологической среды. Переход к трёхмерной инверсии данных осложняется тем, что даже прямое моделирование электромагнитных полей в сложнопостроенных средах требует больших временных и вычислительных ресурсов. Поэтому потребность в решении обратных трехмерных задач подвигает к использованию приближённых методов, например, с помощью линейной томографической инверсии в рамках борновского приближения.

В предыдущих работах проводилось тестирование алгоритма приближённого расчёта нестационарного электромагнитного поля, основанного на теории возмущений [1]. Тестирование программы для приближённого расчёта переходных характеристик – MAG3D (автор Могилатов В.С.) выполнялось путем сравнения с точными трёхмерными расчётами векторным методом конечных элементов (Modem3D, авторы Кремер И.А, Иванов М.И.). Также проводилось опробование созданной на основе MAG3D программы томографической инверсии [2], которое показало состоятельность и работоспособность предложенного и реализованного алгоритма инверсии данных зондирований становлением поля в рассмотренных случаях сложнопостроенных сред. У любого метода существует ряд ограничений, некоторые из которых мы попытались представить в данной работе.

Для тестирования были выбраны 2 модели (рис. 1). Это двухслойная среда ( $\rho_1 = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $h_1 = 1000 \text{ м}$ ,  $\rho_2 = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) с погружённым в неё объектом с удельным сопротивлением  $50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  и размерами  $2000 \times 1500 \times 300 \text{ м}$ . Центр аномалии-параллелепипеда смещен на  $1250 \text{ м}$  по оси  $Y$  (модель 1) и находится в центре координат (модель 2), а верхняя кромка находится на глубине  $300 \text{ м}$ . Для получения синтетических кривых становления программой Modem3D использовалась часто применяемая на практике многообразная установка. На рис. 1 показана система измерения: окружность – это источник радиусом  $564 \text{ м}$  (эквивалент квадратной петли со стороной  $1000 \text{ м}$ ), а точки – приемные рамки. Как показала томографическая инверсия синтетических данных, полученных для 2х описанных моделей, восстановить объект, находящийся в стороне от крестовой установки, практически невозможно. На рис. 2 (слева) представлены результаты томографической инверсии для модели 1 и контур объекта (белый пунктирный прямоугольник). Видно, что восстановление аномалии плохого качества. И наоборот, если объект находится вблизи измерительной системы (модель 2), такая аномалия восстанавливается с достаточной точностью (рис. 2, справа). Дополнительные исследования показывают, что удовлетворительная инверсия становится возможной при сгущении приемников над объектом. Таким образом, благоприятный исход томографической инверсии для крестовой установки возможен, если объект соизмерим с системой наблюдений и аномалия находится в непосредственной близости к источнику.

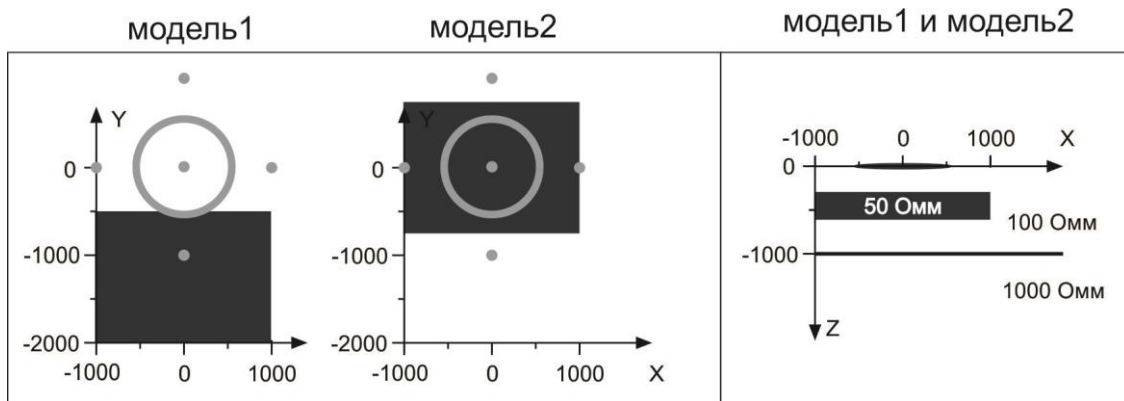


Рис. 1. Модели 1, 2 для тестирования программы томографической инверсии

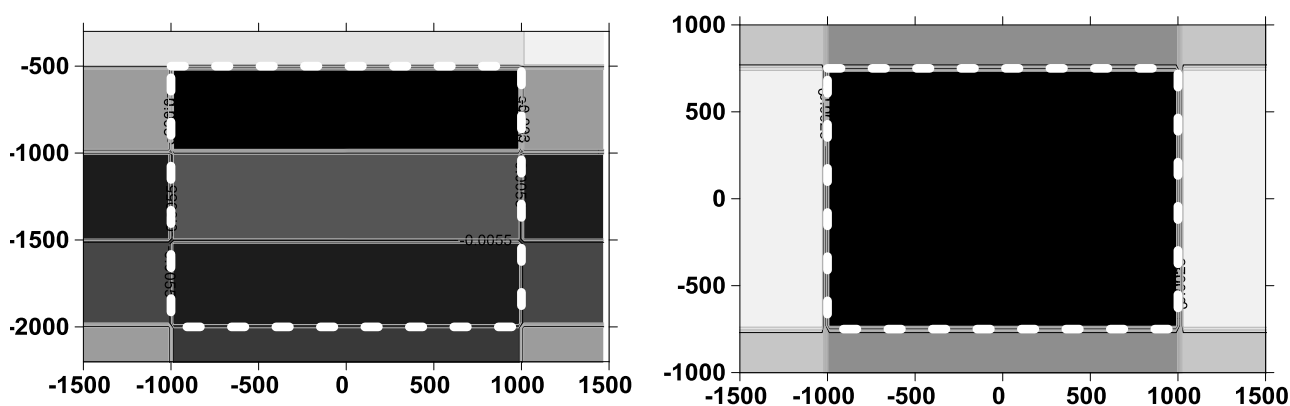


Рис. 2. Графическое представление результатов томографической инверсии для моделей 1 и 2

Следующий этап исследования – это восстановление 2-х объектов (рис. 3). Как и в первом случае, установка использовалась крестовая и референтной была двухслойная среда ( $\rho_1 = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $h_1 = 1000 \text{ м}$ ,  $\rho_2 = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ). В нее погружены 2 объекта. Размеры первого  $2000 \times 1500 \times 300 \text{ м}$ , центр аномалии совпадает с центром координат XY, верхняя кромка находится на глубине 300 м, а удельное сопротивление равно 50 Ом·м. Второй объект имеет размеры  $2000 \times 1250 \times 300 \text{ м}$ , центр смещен по оси Y на 1375 м, верхняя кромка также находится на глубине 300 м, а сопротивление равно 150 Ом·м. Сначала мы восстановим каждый объект по отдельности, предварительно рассчитав синтетические данные для соответствующих моделей. На рис. 4 (б, в) графически представлены результаты томографической инверсии отдельных объектов. Видно, что даже при несовпадении томографической сетки с контурами объектов (рис. 4 б, в, сплошной и пунктирный прямоугольники соответственно) восстановление аномалии достаточно хорошее. Теперь, если в модели будет 2 объекта, как показано на рис. 3, то восстанавливаться будет только 1 объект, который

вносит большее аномальное возмущение в сигнал (рис. 4а). На рисунке 4а видно, что хорошо восстанавливается объект, который имеет большие по сравнению со вторым размеры, а также является более проводящим. Второй, менее проводящий объект, никак не проявляется при томографической инверсии данных, полученных программой Modem3D над моделью 3 с 2-мя объектами.

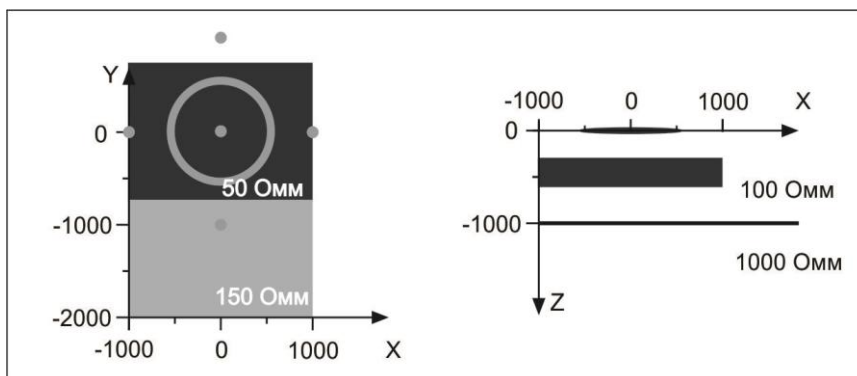


Рис. 3. Модель 3 для тестирования программы томографической инверсии

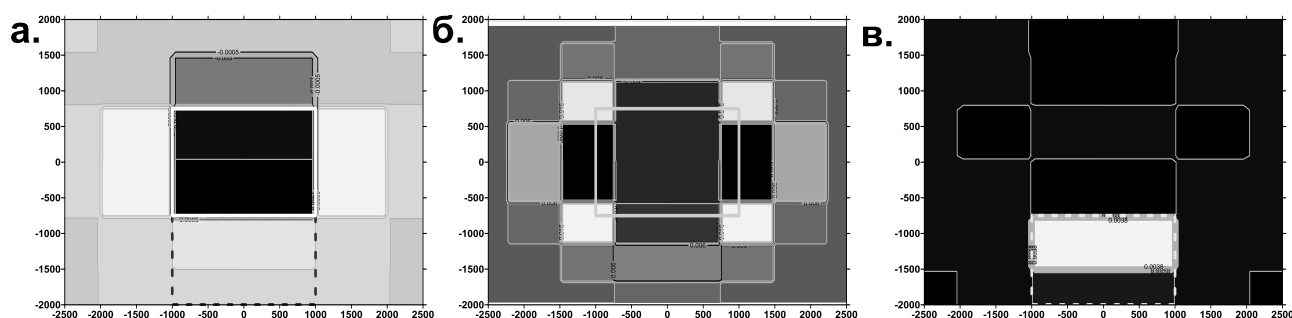


Рис. 4. Графическое представление результатов томографической инверсии модели 3 (а), центрального (б) и смещенного объектов (в) по отдельности

Благоприятный исход томографической инверсии возможен, если объект соизмерим с системой измерения и аномалия находится в непосредственной близости к источнику.

В случае более сложной трехмерной модели с несколькими аномалиями восстанавливается объект, который вносит большее аномальное возмущение в измеряемый сигнал.

Программа для томографической инверсии требует дальнейшей доработки, а ее совместное использование с Modem3D позволит совершенствовать предлагаемый алгоритм, выявлять и устранять особенности, а в случае практического применения выбирать оптимальную систему наблюдений.

Авторы благодарят И.А. Кремера и М.И. Иванова за предоставленную возможность использовать программу Modem3D для научных расчётов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шеин А.Н., Могилатов В.С., Антонов Е.Ю. Оценка возможностей приближенного (борновского) 3D моделирования для томографической инверсии данных зондирований становлением [электронный ресурс] // VI Всероссийская школа-семинар имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям Земли: материалы – ЭМЗ-2013. URL: [http://emf.ru/ems2013/section1/Шеин\\_Могилатов\\_Антонов.pdf](http://emf.ru/ems2013/section1/Шеин_Могилатов_Антонов.pdf) (дата обращения 10.10.2013)
2. Шеин А. Н., Могилатов В. С., Антонов Е. Ю. Опробование томографической 3D-инверсии данных зондирований становлением на основе линейного (Борновского) приближения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 159–165.
3. Могилатов В.С. Импульсная электроразведка: учеб. пособие. - Новосибирск: НГУ, 2002. - 208 с.
4. Шеин А.Н. Особенности программы для расчёта нестационарных электромагнитных полей в трехмерных средах Modem3D // Всероссийской научной конференции в 2-х т. Т.2: материалы. - Старооскольский филиал ФГЮОУ ВПО МГРИ-РГГРУ/ИПК «Кириллица». – Старый Оскол, 2013. - С. 99–104.

© А. Н. Шеин, В. С. Могилатов, Е. Ю. Антонов, 2015