

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ им. А.А. ТРОФИМУКА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



Гео  **динамика,
механика и
физика**



ДЕВЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

22-28 ИЮЛЯ 2019 Г., ИНГГ СО РАН, НОВОСИБИРСК
СТАЦИОНАР «ДЕНИСОВА ПЕЩЕРА», АЛТАЙСКИЙ КРАЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ им. А.А. ТРОФИМУКА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Геодинамика. Геомеханика и геофизика

Материалы девятнадцатой Всероссийской конференции

22–28 июля 2019 г., ИНГГ СО РАН, Новосибирск
Стационар «Денисова пещера», Алтайский край

Новосибирск
2019

УДК 551.2+ 550.3+ 539.3
ББК 26.2
Г354

Геодинамика. Геомеханика и геофизика: Материалы девятнадцатой Всероссийской конференции (22-28 июля 2019, Новосибирск, Алтайский край). – Новосибирск: Издательство ИНГГ СО РАН, 2019. – 237 с.

ISBN 978-5-4262-0099-9

В сборнике представлены материалы XIX Всероссийской конференции «Геодинамика. Геомеханика и геофизика» (22–28 июля 2019 г., Новосибирск, Алтайский край) и освещены вопросы моделирования глубинных геодинамических процессов, затрагивающих состояние земной коры и их отображение в геофизических полях, физико-механические свойства пород, их напряженное состояние, процессы деформирования и разрушения, происходящие под влиянием природных и технологических факторов, результаты изучения строения земной коры физическими методами, развитие теории и технологий геофизических методов поисков полезных ископаемых, вопросы комплексирования геофизических методов в региональных задачах, результаты исследования геодинамических процессов в сейсмоактивных районах с использованием контролируемых и неконтролируемых источников сейсмических волн.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, занимающихся исследованиями в различных областях наук о Земле.

Организатор: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск).

Ответственные редакторы:
академик Н.Л. Добрецов, академик М.И. Эпов

Редколлегия:
д.ф.-м.н. В.Н. Глинских
к.г.-м.н. Е.А. Мельник
к.т.н. М.Й. Шумская
к.т.н. И.В. Михайлов
М.С. Резепина
А.Г. Ажбаков

*Проведение конференции и издание материалов осуществляются при поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (проект 19-05-20114\19) и
Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН*

Утверждено к печати Ученым советом ИНГГ СО РАН

Публикация выполнена с авторских оригиналов

ISBN 978-5-4262-0099-9

© Коллектив авторов, 2019
© ИНГГ СО РАН, 2019

ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММЫ MODEM3D ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ ГЕОЭЛЕКТРИКИ

А.Н. Шеин^{1,2}

¹*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск*

²*Забайкальский государственный университет, г. Чита*

В работе описываются возможности программы Modem3D для моделирования переходных процессов. Представлены практические и теоретические задачи нестационарной геоэлектрики, где использовалась программа Modem3D. Обозначены перспективы применения данного программного продукта.

USING PROGRAMM MODEM3D FOR THE SIMULATION OF TRANSIENT ELECTROMAGNETIC SIGNALS IN SOME PROBLEMS OF GEOELECTRIC

A.N. Shein^{1,2}

¹*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk*

²*Transbaikal State University, Chita*

The paper describes the capabilities of the program Modem3D for modeling transients. There are presents practical and theoretical problems of non-stationary geoelectrics, where we used Modem3D. The perspectives of software Modem3D are outlined.

В последние десятилетия достигнут значительный прогресс в разработке программных средств для трехмерного моделирования электромагнитных полей. Одной из разработок в данной области является программный комплекс для расчета нестационарных электромагнитных полей в трехмерных проводящих и поляризующихся средах – Modem3D (авт. И.А. Кремер, М.И. Иванов) [Иванов и др., 2009]. Задача моделирования устанавливающегося электромагнитного поля решается векторным методом конечных элементов на неструктурированной трехмерной тетраэдральной сетке. Такой подход позволяет вычислять любую компоненту электромагнитного поля в произвольной точке заданной модели. Для повышения производительности программы Modem3D алгоритмы были распараллелены, что позволило эффективно использовать многоядерность современных процессоров. Также для выполнения массовых расчетов была выполнена адаптация программы Modem3D для работы в системе распределенных вычислений (GRID-система) и облачных средах [Мартьянов и др., 2011]. Тестирование программы на простых геометрических объектах и в случае горизонтально-слоистых сред показало, что для широкого класса моделей расчеты выполняются с высокой точностью [Шеин, 2013]. Для создания сложных трехмерных моделей в программе Modem3D была реализована возможность импорта тетраэдральных сеток, которые создаются в специализированных программах, например, Gmsh [Geuzaine, Remacle].

К практическим задачам, которые решались с использованием программы Modem3D, можно отнести уточнение геоэлектрической модели после одномерной инверсии данных зондирований становление (ЗС), для чего и используется трехмерное моделирование. Один из примеров – это уточнение геоэлектрической модели Барабинско-Пихтовской моноклинали, Пихтовской интрузии (Новосибирская область) [Шеин, Антонов, 2016]. В данном случае выделялась проводящая рудная аномалия, размеры которой в результате одномерной интерпретации сильно искажались. Аналогичным образом проводилось поэтапное уточнение модели при нефтепоисковых исследованиях [Неведрова, 2013].

Еще одно направление, где использовалась программа – это стандартная задача оценки чувствительности и/или разрешающей способности той или иной установки ЗС над определенными структурами. В качестве примера можно привести работу [Бобров и др., 2017], где проводится оценка потенциала электромагнитных зондирований становлением

поля в районах развития соляно-купольной тектоники для двух электроразведочных систем: установка с индуктивным источником – горизонтальной петлей и установка с источником смешанного типа – горизонтальной токовой линией. К исследованиям этого же типа можно отнести моделирование нестационарного электромагнитного поля над простыми телами, которые представляют упрощенную модель геологического объекта: кимберлитовая трубка [Шеин, 2014], геобатарея (крутопадающие проводящие пласты, которые находятся в менее проводящей среде) [Шеин, 2013], мирный подземный ядерный взрыв [Шеин и др., 2019] и др.

Теоретическими работами можно считать моделирование переходных характеристик (создание синтетического набора данных) над моделями трехмерных сред, чтобы в дальнейшем использовать их для проверки теории, тестирования алгоритма или программы. Modem3D использовалась для создания синтетических данных ЗС, что позволило доказать работоспособность алгоритма для трехмерной томографической инверсии, основанной на борновской линейаризации прямой задачи [Mogilatov et al., 2019]. В работе [Грецков и др., 2019; Корсаков и др., 2018] исходные данные (расчетные кривые) для отладки процедуры волновой трансформации данных зондирований становления получены с использованием программного комплекса Modem3D. В результате рассчитаны псевдодолновые трансформанты сигналов нестационарных электромагнитных зондирований в средах с наклонной границей и построены их годографы.

Программа Modem3D используется в гранте РФФИ (17-05-00083), где исследуется проявление эффекта Холла в геологических средах. Планируется моделирование сигналов от кругового электрического диполя в рамках проекта по разработки технологии глубинных исследований со льда в Арктике (РНФ № 18-17-00095).

За годы использования программа Modem3D зарекомендовала себя как эффективный инструмент для расчета индукционных переходных характеристик над сложно-построенными геоэлектрическими моделями. Более того, некоторый потенциал этой программы до сих пор не раскрыт в полной мере. В частности, не использовалась возможность моделирования сигналов в трехмерных диспергирующих средах (вызванная поляризация). Несомненным плюсом программного комплекса является расчет полного набора компонент электромагнитного поля в любой точке заданной области. Это позволяет построить трехмерную картину его распространения со временем и дает возможность понять особенности нестационарных зондирований над сложными геологическими средами.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0007 «Геоэлектрика в исследованиях геологической среды: технологии, полевой эксперимент и численные модели».

Литература

1. Иванов М.И., Катешов В.А., Кремер И.А., Эпов М.И. Программное обеспечение Modem3D для интерпретации данных нестационарных зондирований с учетом эффектов вызванной поляризации // Записки Горного института. – 2009 – Т. 183. – С. 242–245.
2. Мартыанов А.С., Тейтельбаум Д.В., Сердюк К.С., Власов А.А., Ельцов И.Н. Использование свободных сетевых ресурсов предприятия для решения емких вычислительных геофизических задач // Каротажник. – 2011. – № 1(209). – С. 56–64.
3. Шеин А.Н. Особенности программы для расчета нестационарных электромагнитных полей в трехмерных средах Modem3D // Материалы Всероссийской научной конференции в 2-х т. Т.2 – Старый Оскол, 2013. – С. 99–104.
4. Geuzaine C., Remacle J.-F. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2009. – Vol. 79, No. 11. – P. 1309–1331.
5. Шеин А.Н., Антонов Е.Ю. Некоторые практические примеры применения программы Modem3D для моделирования нестационарных электромагнитных сигналов // Сборник

- тезисов XIII-го международного геофизического научно-практического семинара. – СПб., 2016. – С. 159–163.
6. Неведрова Н.Н., Санчаа А.М., Шеин А.Н. Трехмерное моделирование становления электромагнитного поля для нефтепоисковых исследований в западной Сибири // Трофимовские чтения – 2013: Материалы всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых. – Новосибирск, 2013. – С. 295–298.
7. Бобров Н.Ю., Крылов С.С., Антонов Е.Ю., Шеин А.Н., Смилевцев Н.П. Физическое и численное моделирование зондирования становлением поля над соляно-купольными структурами // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 2. – С. 323–333.
8. Шеин А.Н., Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Моделирование индукционных переходных характеристик кимберлитовых трубок с помощью программы Modem3D // 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 3 т. Т.2. – Новосибирск: СГГА, 2014. – С. 153–159.
9. Шеин А.Н. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Трехмерная геоэлектрическая модель чернорудной зоны приольхонья: описание и результаты расчетов индукционных переходных характеристик с помощью программы Modem3D // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр., 15-26 апреля 2013 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. материалов в 3 т. Т.2. – Новосибирск: СГГА, 2013. – С. 18–23
10. Шеин А.Н., Кожевникова Н.О., Артамонова С.Ю. Влияние изменений геологической среды под действием подземного ядерного взрыва на индукционные переходные характеристики (по результатам 3D моделирования) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: сб. материалов в 9 т. Т. 2 – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – № 2. – С. 195–202.
11. Mogilatov V.S., Antonov E.Yu., Shein A.N. 3D Tomographic Inversion of TEM Sounding Data // Russian Geology and Geophysics. – 2019. – Vol. 60, No. 1. – P. 97–107.
12. Грецов Г.А. Эпов М.И. Шеин А.Н. Применение псевдодолновых трансформант в импульсной электроразведке для выделения наклонных геологических границ // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 7. – С. 114–122.
13. Корсаков М.А., Эпов М.И., Шеин А.Н., Антонов Е.Ю. Программа обработки данных многоканальных импульсных электромагнитных зондирований Q-Trans // Вычислительная математика и математическая геофизика: Тр. Междунар. конф., посвященной 90-летию со дня рождения академика А.С. Алексеева. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2018. – С. 210–217.