

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ФГБУН «Институт
вычислительной математики и
математической геофизики Сибирского
отделения Российской академии наук»
(ИВМиМГ СО РАН), профессор РАН, доктор
физико-математи

Марченко М.А.

«_09_» декабря 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт
вычислительной математики и математической геофизики Сибирского
отделения Российской академии наук»

на диссертацию Киселева Дмитрия Сергеевича на тему: «Разработка методов
моделирования геоэлектромагнитных полей и восстановления трехмерных
сред с искривленными границами геоэлектрических слоев», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы
программ

1. Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Киселева Д.С. посвящена актуальной проблеме
создания методов и программного обеспечения для решения задач
геологоразведки: разработке и реализации методов и алгоритмов многомерной
нелинейной геометрической инверсии данных электроразведки и
магниторазведки с учетом градиентометрии.

При обработке данных, снятых на участках, имеющих сложный рельеф, возникают проблемы, связанные с эффектами, которые оказывает геометрия среды на сигнал. Используемые на сегодняшний день методы не всегда способны корректно восстановить модель среды по таким данным. В таком случае требуется более детальная и сложная обработка, что подразумевает и использование больших вычислительных ресурсов. В этой связи методы обработки и реализующее их программное обеспечение должны обладать высокой вычислительной эффективностью. Диссертационная работа Киселева Д.С. направлена на решение этой проблемы и поэтому является актуальной.

2. Структура и содержание работы

Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы (123 наименования), приложения. Общий объем диссертации – 191 страница.

Во введении приведен достаточно полный обзор современного состояния решаемой проблемы, обоснована актуальность темы исследования, поставлены цели и задачи исследования, указаны основные научные результаты, их новизна и практическая ценность.

В первой главе диссертационной работы приводится математический аппарат, используемый для моделирования электромагнитных полей в задачах электроразведки и магниторазведки. Автором предлагается моделировать электромагнитное поле с помощью модели, основанной на выделении поля источника. Магнитное поле, создаваемое объектами, обладающими собственной намагниченностью или аномальной магнитной проницаемостью, предлагается рассчитывать с помощью решения краевой задачи или на основе численного интегрирования.

Во второй главе рассмотрены способы учета сложной геометрии среды при аппроксимации прямых задач электроразведки с использованием конечных элементов разной формы. Поскольку в работе применяются несогласованные конечно-элементные сетки, приводится способ построения согласованного базиса на таких сетках. Для повышения вычислительной эффективности предлагается использование схем группирования задач по

положениям установки и по временам, что позволяет сократить число факторизаций матриц СЛАУ, получаемых при аппроксимации соответствующих задач.

В третьей главе описан математический аппарат геометрической инверсии данных электроразведки и магнитной разведки с учетом градиентометрии. Рассмотрена схема инверсии и параметризация, нацеленные на восстановление сложной геометрии среды, включая форму искривленных границ слоев и неоднородностей в них, совместно с электрофизическими свойствами среды. Для задач магниторазведки приводится обоснование выбора схемы инверсии с результатами сопутствующих исследований. Предлагается восстанавливать 3D неоднородности намагниченности или магнитной проницаемости среды с помощью точечных источников магнитного поля, а в качестве сигналов использовать инварианты тензора производных магнитного поля.

В четвертой главе представлены результаты исследований и примеры инверсий. Приводится верификация решения прямых задач путем их решения в различных постановках и сравнения результатов моделирования с результатами других авторов. Сравняются вычислительные затраты на решение прямых задач с затратами реализаций других авторов. Сравнение показывает превосходство разработанных методов по эффективности.

Исследуется влияние изгибов слоев на сигналы в приемниках на предмет возможных ошибок при моделировании и обработке данных. Показано, что учет искривлений путем коррекции высоты установки не позволяет полностью учесть искривления слоев при сильных перепадах высот рельефа, что может привести к ошибкам интерпретации. Проведено сравнение предложенных методов учета геометрии слоев, по результатам которого предложены рекомендации, в каких условиях лучше применять тот или иной метод. Для решаемых задач определены оптимальные параметры группирования подзадач исходя из результатов исследований их влияния на скорость решения прямой задачи.

Приводятся примеры инверсии данных аэро и морской электроразведки с восстановлением целевых объектов, сигналы от которых перекрываются другими 3D неоднородностями, дающими более существенные отклики в сигналах. Присутствуют примеры инверсий как с фиксированными поверхностями между слоями, так и с их восстановлением в ходе инверсии. Приводятся временные затраты и характеристики оборудования, используемого для проведения расчетов.

Приводятся примеры инверсии данных аэромагниторазведки с восстановлением целевых объектов в присутствии мощных объектов-помех. Приводятся промежуточные и конечные результаты, позволяющие отследить ход инверсии с перемещением точечных источников и определением в них намагниченности. Показана возможность помимо геологических объектов распознавать техногенные объекты.

В пятой главе представлены особенности разработанного программного обеспечения - описание основных разработанных средств, особенности некоторых наиболее важных алгоритмов. Представлена архитектура программного комплекса, реализующего 3D-инверсии геофизических данных, в том числе с возможностью использования распределенных вычислительных систем. Рассмотрены алгоритмы аппроксимации сред со сложной геометрией, включая аппроксимацию неоднородностей сложной формы и аппроксимацию искривленных границ. Рассмотрены основные сложности, возникающие при построении аппроксимаций, и меры по их устранению. В частности, рассмотрены проблемы построения сглаживающих сплайнов в условиях нехватки данных на некоторых участках обрабатываемой площади. Приведено описание разработанного графического интерфейса для работы с комплексом и его инструментария в части задания сред, установок, стартовых распределений электрофизических характеристик, визуализации построенных и полученных в ходе инверсий моделей и сигналов в приемниках.

В заключении приводятся основные результаты работы, сделанные по ним выводы и рекомендации.

Представленные результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях автора. Основные результаты диссертации были представлены на множестве международных и российских научно-практических конференций. Таким образом, апробация результатов исследований, представленных в диссертации, проведена в достаточной мере. По теме диссертации опубликовано 22 работы, в том числе 3 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией, 6 статей в изданиях, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и Scopus, 6 статей в изданиях, индексируемых в Scopus. Получено 12 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

3. Обоснованность и достоверность результатов, выводов и заключений

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждаются большим количеством выполненных вычислительных экспериментов и верификаций процедур решения прямых и обратных задач.

Верификации прямых задач посвящен отдельный раздел диссертационной работы. Проведено сравнение результатов моделирования электромагнитного поля с результатами, опубликованными в высокорейтинговых журналах другими авторами. Для этого было использовано несколько трехмерных моделей. Отклонения полученных сигналов составили несколько процентов. При этом следует учитывать, что графики сигналов, полученных другими авторами, были оцифрованы, а такая процедура вносит свою погрешность. Для этих моделей автором диссертационной работы была проверена и сходимость решения при измельчении сетки по пространству и времени. Эта погрешность составила порядка 2-3%.

Для задачи магниторазведки было проведено сравнение решений, полученных методом конечных элементов и с помощью аналитических формул. Сравнение проводилось для моделей, включающих как тела с собственной намагниченностью, так и с аномальной магнитной проницаемостью. Отклонение таких решений не превышало 1% для объектов с собственной намагниченностью и 2% для объектов с измененной магнитной проницаемостью.

Верификации обратных задач посвящены разделы 4.5-4.7, в них приводятся примеры инверсии данных разных технологий. Для этого были выбраны довольно сложные модели геологических сред. На основании данных, полученных из решения прямых задач для этих сред, выполнялась процедура инверсии. В результате инверсии были получены вполне адекватные распределения искомых параметров, близкие к истинным.

Дополнительным критерием корректности разработанных процедур решения обратных задач является тот факт, что при получении исходных данных для них и при выполнении инверсий использовались разные, генерируемые автоматически конечно-элементные сетки. В этом случае неизбежно возникают отклонения в сигналах, определяемые погрешностью аппроксимации, которые влияют на результаты инверсии аналогично случайному шуму.

4. Научная новизна

1) Предложены новые подходы к выполнению 3D-инверсий данных электроразведки с учетом сложной геометрии среды - искривленных границ между слоями и трехмерных неоднородностей в них

2) Предложена параметризация обратных задач электроразведки, нацеленная на восстановление геометрии границ изогнутых слоев переменной толщины и неоднородностей в них совместно с определением их электрофизических свойств

3) Предложен новый подход к выполнению 3D-инверсий данных магниторазведки с учетом градиентометрии, основанный на представлении искомым объектов в виде множества "плавающих" точечных источников магнитного поля

4) Разработан программный комплекс, предоставляющий новые возможности решения актуальных как научных, так и практических задач электроразведки в сложных средах.

5. Практическая значимость работы

Результаты диссертации имеют серьезное практическое значение, поскольку они позволяют решать задачи в сложных средах, многократно ускорить решение трехмерных прямых и обратных задач и повысить качество интерпретации геофизических данных.

Разработанные Киселевым Д.С. программные средства являются довольно ценным инструментом, существенно увеличивающим возможности современной геологоразведки. Они были использованы при обработке реальных практических данных аэроэлектроразведки, аэромагниторазведки и морской электроразведки, снятых в различных регионах по России и за рубежом. Разработанные средства в рамках реализующего многомерные инверсии программного комплекса предоставляют более широкие возможности обработки геофизических данных.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные в диссертационной работе результаты представляют большой практический интерес и уже применяются при обработке геофизических данных. Рекомендуется их дальнейшее применение для решения практических задач.

7. Замечания по диссертации

1) В работе решаются задачи с большим количеством положений приемно-генераторной установки, требующие огромных вычислительных затрат, но не дается подробного описания схем распараллеливания решения

таких задач, хотя и упоминается, что задачи решаются в распределенной вычислительной системе.

2) Разработка программного обеспечения на современном уровне все больше тяготеет к созданию кроссплатформенных реализаций, в то время как для разработки препроцессора использовались средства WPF, ориентированные на Windows. При этом решаемый класс задач требует больших вычислительных ресурсов, а на подавляющем большинстве современных суперкомпьютеров используются системы Linux.

3) На Рис. 5.2.6 (стр. 144 диссертации) видно появление объекта с «щелевидной» формой, что, вероятно, вызовет ухудшение аппроксимационных свойств задачи. Чем вызвано появление объектов такого вида? Судя по описанию алгоритма построения объектов, его можно было избежать.

8. Заключение

Диссертационная работа Киселева Д.С. «Разработка методов моделирования геоэлектромагнитных полей и восстановления трехмерных сред с искривленными границами геоэлектрических слоев» в целом представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, посвященную решению актуальной научной и практической проблемы. Разработанные автором средства и полученные научные результаты имеют существенное значение для решения важных практических задач. Выводы автора достаточно обоснованы и подтверждены многочисленными вычислительными экспериментами с достаточно подробным описанием.

Работа соответствует требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней» и специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, поскольку в работе присутствуют результаты по всем трем составляющим специальности:

1) Математическое моделирование:

- предложены новые подходы к описанию геометрии сред с изогнутыми границами латерально неоднородных слоев переменной толщины и рекомендации по их применению

- предложены методы параметризации обратных задач электроразведки, нацеленные на восстановление форм искривленных границ слоев с помощью опорных точек

- предложена параметризация обратных задач магниторазведки для восстановления искомым объектов с помощью точечных источников

2) Численные методы:

- разработаны методы повышения вычислительной эффективности решения больших серий трехмерных прямых задач за счет группирования подзадач по положениям приемно-генераторной установки и во временной области с полностью автоматическим построением конечно-элементных сеток, учитывающих сложную геометрию среды

3) Комплексы программ:

- разработаны пре- и постпроцессор реализующего многомерные инверсии геофизических данных программного комплекса, позволяющего решать практические задачи обработки геофизических данных с широкими возможностями задания сложных сред и систем наблюдений и просмотра результатов решения прямых и обратных задач с отображением сложной геометрии среды в трехмерном виде, срезах и разрезах

- разработаны модули программного комплекса, обеспечивающие аппроксимацию объектов сложной формы и автоматическое построение конечно-элементных сеток в ходе инверсии с учетом перемещения приемно-генераторной установки и сложной геометрии среды – изогнутых границ слоев и неоднородностей в них сложной формы.

Диссертационная работа Киселева Д.С. соответствует следующим областям исследований паспорта специальности:

1) «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»

3) «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»

4) «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»

8) «Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования».

Автор диссертации, Киселев Дмитрий Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа Д.С. Киселёва и отзыв на нее обсуждены и одобрены на объединенном семинаре ИВМиМГ СО РАН и кафедры вычислительной математики ММФ НГУ, протокол № 3 от 3.12.2019.


Отзыв подготовил г.н.с. лаборатории вычислительной физики ИВМиМГ СО РАН, д.ф.-м.н. по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» В.М. Свешников

 Свешников Виктор Митрофанович

Подпись Свешникова
секретарь ИВМиМГ СО РАН

новича заверяю. Ученый
сова

 «09» декабря 2019г.

Отзыв поступил в совет 9.12.2019


С отзывом ознакомлен 9.12.2019
