

Отзыв

официального оппонента, доктора физико-математических наук М.Ю. Филимонова на диссертацию Цидаева Александра Григорьевича «Прямые и обратные задачи гравиметрии при построении плотностных структур в земной коре», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Цель исследований – разработка алгоритмов и программного обеспечения для методики поэтапного построения трехмерных плотностных моделей на основе гравитационных и скоростных сейсмических данных, а также создание эффективной компьютерной технологии, использующей разработанные алгоритмы, что является актуальной научной проблемой, решение которой имеет важное значение для интерпретационной геофизики.

В рамках реализации поставленной цели диссертантом получены следующие новые научные результаты.

1. Обобщен метод локальных поправок для обратной структурной задачи гравиметрии, в результате чего стало возможным использовать его для нахождения не только глубокозалегающих, но и приповерхностных границ, что расширяет возможности для его применения. Обобщенный метод локальных поправок для решения структурной обратной задачи гравиметрии имеет следующие отличия от метода в первоначальной формулировке:

- a. Используется граница нулевого приближения (построенная по априорным данным) вместо плоской асимптоты, что позволяет инициировать процесс подбора в требуемом направлении, благодаря чему повышается скорость сходимости;
- b. Используется схема конечных элементов для этапа расчета прямой задачи, что позволяет использовать метод для выходящих на поверхность границ;
- c. Для приповерхностных границ используется особая формула, не требующая регуляризации.

Для обобщения постановок структурной обратной задачи гравиметрии введено понятие структурного интеграла. Использование обобщенного метода протестировано на модельных примерах. В частности, проведена демонстрация уменьшения невязки восстановления (для фиксированного числа итераций) в зависимости от имеющейся априорной информации. Использование построенной по трем профилям границы начального приближения вызывает уменьшение невязки на 46%. Добавление в начальное приближение информации о глубинах искомой поверхности вдоль еще одного профиля дополнительно уменьшает невязку на 21%. В главе 3 приводятся примеры практического применения метода для уточнения положения границ земной коры.

2. Разработаны вычислительные методы и алгоритмы, на базе которых создана последовательная методика построения трехмерных

плотностных моделей начального приближения на основе двумерных сейсмических данных. В настоящее время в практике структурно-картировочных и разведочных работ принят подход, основанный на построении разломно-блоковых моделей. Предложенная в диссертации методика позволяет получать градиентные модели распределения плотности, построенные на регулярной трехмерной сетке. В качестве исходных данных выступают набор сейсмических профилей (в виде двумерных массивов скорости распространения продольных волн в точке) и наблюдаемое гравитационное поле. Для профилей по предложенной автором методике производится пересчет значений скорости в значения плотности с одновременным уточнением характера зависимости между скоростью и плотностью по наблюдаемому полю, а также разбиение мантии на блоки. Дальнейшие шаги включают в себя сведение профилей в единую трехмерную модель, после чего по горизонтальным слоям модели выполняется интерполяция. В диссертации приведено большое количество практических моделей, построенных с использованием разработанной методики.

3. Предложен и реализован алгоритм расчета аномалий литостатического давления, выходные данные которого могут использоваться для разделения по глубине тектонических структур в земной коре и верхней мантии. Аномальное литостатическое давление рассчитывается для плотностной модели в двух- и трехмерном варианте. Показано, что в двумерном случае при помощи анализа литостатических аномалий на глубинном уровне (в частности, на предполагаемом уровне изостатической компенсации) возможно определить вертикальные границы мантийных блоков. Для трехмерного случая продемонстрировано, что анализ распределения аномалий литостатического давления позволяет локализовать тектонические структуры по глубине, что было бы невозможно при их картировании по одному гравитационному полю. Приводятся результаты применения методики для практических данных.

4. Разработано программное обеспечение, позволяющее в частично-интерактивном режиме осуществлять построение трехмерных моделей распределения плотности на основе двумерных сейсмических данных.

В диссертации приводится подробное описание масштабного программного комплекса, разработанного автором. Программно реализованы все описанные в диссертации алгоритмы. Для ускорения вычислений применялись методики параллельного программирования – MPI, CUDA, ROCm. Приводится сравнение скорости работы программы для решения структурной обратной задачи гравиметрии обобщенным методом локальных поправок. Для оценки коэффициента ускорения сравнивается программа, работающая на одном ядре одного процессора, с параллельным вариантом, запускаемым на суперкомпьютере «Уран» (ИММ УрО РАН), а также на супервычислителях, построенных на бытовых (игровых) видеокартах. Разработана библиотека для упрощения процесса запуска программ на удаленных суперкомпьютерах, скрывающая от программиста все взаимодействие по протоколу SSH. Также разработана оболочка,

позволяющая представлять последовательность вычислений и операций обработки данных в виде вычислительного графа. С ее помощью автоматизирован процесс решения и сводится к минимуму количество ошибок, вызванное необходимостью производить большое количество операций вручную.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Объем работы – 172 страницы текста, 76 рисунков, 6 таблиц. Список литературы состоит из 158 наименований. Оформление работы соответствует предъявляемым требованиям, все исследования и результаты достаточно подробно и понятно изложены.

Замечания.

1. На рис. 1 территории исследований существенно пересекаются. В диссертации отсутствует сопоставление полученных в разное время результатов для участков пересечения.
2. Часть рисунков хорошего качества, перенесенных из диссертации в автореферат, стали плохо читаемые (например, рис. 3 в автореферате на стр. 13).
3. Имеются грамматические опечатки (пунктуация на с. 44 и с. 76) не выделены деепричастные обороты, на стр. 135 ошибка в слове конечноразностные. (желательно писать через дефис).
4. В диссертации большое внимание уделяется подробному описанию программного комплекса, который автор разместил в Интернете в открытом доступе. При этом в диссертации при обсуждении актуальности утверждается, что на рынке программного обеспечения отсутствуют лидеры, предлагающие решения для интерпретации гравитационных данных. Если воспользоваться ссылкой в диссертации на этот комплекс, то очень сложно, найти на указанной платформе описание программ автора и их предназначение. Поэтому было бы полезно зарегистрировать эти программы в Роспатенте.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки проведенных исследований.


Считаю, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научная проблема по разработке новых методов и алгоритмов для построения плотностных структур в земной коре. Разработанные диссертантом алгоритмы и программы протестированы на модельных примерах и опробованы на практических данных. Корректное использование аппарата вычислительной математики и широкая апробация на практических данных позволяют сделать вывод о высокой степени обоснованности и достоверности проведенного исследования. Все результаты, полученные в диссертации, полностью отражены в опубликованных работах. Основные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, доложены на международных и российских конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Цидаева Александра Григорьевича «Прямые и обратные задачи гравиметрии при построении плотностных структур в земной коре» соответствует специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (физико-математические науки) и соответствует критериям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

Филимонов Михаил Юрьевич,
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник отдела прикладных задач
Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения
Российской академии наук
620990, Россия, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 16.
Тел. +7 (343) 374-83-32.
Email: fny@imm.uran.ru

Дата «20» августа 2024 г.

 / Филимонов М.Ю. /

брио
Подпись заверяю
Ученый секретарь
ИММ УрО РАН