

**ОТЗЫВ на автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук Чепиго Льва Станиславовича
на тему: «Методы анализа гравитационного поля с учетом сферичности»
по специальности 1.6.9 – Геофизика (технические науки)**

В автореферате диссертации, посвященной повышению точности численных способов моделирования гравитационного поля, соискателем выделяются два основных направления исследования – для задач планетарного и регионального масштаба это повышение точности моделей за счет учета сферичности (использование более «точной» физико-математической модели) и, для поисково-разведочных задач, это использование моделей с учетом градиента плотности (использование более «точной» аппроксимации). Основное внимание автор уделяет вопросам исследования способов решения прямых и обратных задач гравиразведки для случая, когда гравитационное поле задано на сферической поверхности.

Автором обосновывается выбор объекта исследований и предлагается комплекс аналитических и численных способов решения прямых и обратных задач.

Актуальность исследования предложенных направлений связана, во-первых, с возможностью создания планетарных плотностных моделей основе анализа планетарных моделей гравитационных полей, полученных с использованием результатов спутниковых миссий, во-вторых, с использованием аномалий гравитационного поля для изучения осадочных бассейнов и «составления детальных плотностных моделей, учитывающих изменения плотности как по латерали, так и по глубине» и, в-третьих, с разработкой методики («аппарата и средств»), которая позволяет «регулировать процедуру подбора плотностной модели».

Несомненным достоинством представленной работы является последовательное решение теоретических и практических задач от разработки вычислительных алгоритмов решения прямых и обратных задач до практической реализации алгоритмов в виде программных продуктов и далее до построения модели распределения плотности внутри Луны.

Текст автореферата включает два основных раздела – «Общая характеристика работы» и «Основное содержание работы», которые позволяют составить представление об основных результатах научных исследований, представленных в диссертации.

В разделе «Общая характеристика работы» представлены необходимые элементы – «Актуальность», «Степень разработанности», «Объект

исследования», «Цели и задачи», «Новизна исследования», «Теоретическая и практическая значимость», «Методология и методы исследования», «Защищаемые положения», «Степень достоверности. Апробация», «Личный вклад» и «Объем и структура работы», которые содержат соответствующие характеристики диссертационной работы.

В разделе «Основное содержание работы» представлены подразделы – «Введение», «Глава 1. Обзор методов решения прямой и обратной задачи гравиразведки на плоскости и сфере», «Глава 2. Решение прямой и обратной задачи гравиразведки для простых моделей с учетом сферичности», «Глава 3. Решение обратной задачи гравиразведки с глубинной нормализацией функционала невязки», «Глава 4. Построение плотностных моделей для областей лунных масконов» и Заключение, в которых отражены структура и основные положения соответствующих глав диссертационной работы.

Краткое изложение известных методов решения прямой и обратной задачи в прямоугольной и сферической системе координат представлены в Главе 1 «Обзор методов решения прямой и обратной задачи гравиразведки на плоскости и сфере». Автором также выполнены тестовые расчеты, в которых оценивается глубина точечного источника с учетом и без учета сферичности, и сделан вывод о значительных погрешностях при решении обратной задачи без учета сферичности.

Во второй главе «Решение прямой и обратной задачи гравиразведки для простых моделей с учетом сферичности» рассмотрены теоретические основы и подходы к решению прямой и обратной задач гравиразведки для тел правильной (простой) геометрической формы на сферической поверхности. Для проведения численных экспериментов автором были разработаны вычислительные алгоритмы и программные продукты. Приведены результаты численных экспериментов по расчету элементов гравитационного поля сферической призмы с использованием аналитических выражений потенциала и притяжения для радиального стержня.

Также в этом разделе работы автором представлены результаты определения параметров элементарных источников при задании поля на поверхности сферы – аналог «метода характерных точек на плоскости».

По результатам исследований, представленных в Главе 2, сформулированы первое и второе защищаемые положения.

Глава 3 «Решение обратной задачи гравиразведки с глубинной нормализацией функционала невязки» является наиболее содержательной и фундаментальной по полученным результатам. Автором приведен обзор теоретических основ решения прямых и обратных задач гравиразведки для

сеточных моделей в частотной области и предложен способ использования переменной скорости градиентного спуска, зависящей от глубины.

Для проведения численных экспериментов автором были разработаны вычислительные алгоритмы и программные продукты. По результатам численных экспериментов при решении обратной задачи в двумерном случае, в трехмерной прямоугольной и сферической системах координат автором получены «эмпирические» значения параметра (показателя) степенной функции, которая используется для задания «переменной скорости (шага) градиентного спуска».

По результатам исследований, представленных в Главе 3, сформулировано третье защищаемое положение.

Четвертая глава «Построение плотностных моделей для областей лунных масконов» посвящена использованию предложенных автором способов решения обратной задачи гравиразведки для аномалий силы тяжести Луны. Автором построены сеточные модели распределения избыточной плотности планетарная – до центра Луны и глубинная - до глубины 200 км. Полученные автором модели согласуются с гипотезой о расположении источников аномалий лунных масконов вблизи поверхности.

В Заключение автором представлены основные результаты выполненных исследований. Автор справедливо отмечает, что задача «минимизации временных затрат и автоматизации процесса плотностного моделирования» «актуальна как при решении задач в локальных, так и в региональных и глобальных масштабах». Также вполне обоснованным является вывод о том, что использование «оптимального подхода к решению прямой задачи для сферической призмы в дальнейшем позволит снижать временные затраты как при решении прямой задачи для сеточных моделей, так и при решении обратной задачи в ручном или автоматическом режиме». Использование предложенного автором способа «переменной скорости (шага) градиентного спуска» является новым результатом в направлении создания «аппарата и средств, позволяющих регулировать процедуру подбора плотностной модели, в частности, глубины залегания источников аномалий гравитационного поля».

По тематике диссертации автором опубликовано 4 статьи, опубликованные в российских журналах, входящих в список Russian Science Citation Index (RSCI) Web of Science RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности. Также автор имеет 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Соответствующие сведения представлены в

разделах «Список основных работ по теме диссертации» и «Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ».

Отдельные замечания касаются использования терминологии и необходимости дополнительного описания отдельных элементов методики, имеют рекомендательный характер и не снижают качества выполненной работы. Все нижеследующие предложения и рекомендации сделаны на основе текста автореферата и, возможно, соответствующие положения отражены в полном тексте диссертации.

По итогам исследований автора, изложенных в Главе 1, в автореферате, к сожалению, остался за пределами текста важный вывод из результатов тестовых расчетов о размере исследуемой площади, для которой можно использовать модели без учета сферичности.

Пояснительный текст для выражения (1) рекомендуется дополнить описанием переменной R_0 и ее дифференциала.

Утверждение о том, что выражение (3) может использоваться для «изучения неоднородностей внутри малых космических тел, например, астероидов» представляется не вполне обоснованным.

При описании методики тестирования различных способов решения прямой задачи для сферической призмы путем сравнения результатов численных расчетов (а именно при постановке задачи) в тексте говорится об аппроксимации сферической призмы многогранником, а при описании результатов первого теста появляется утверждение о том, что «более быстрая сходимость результатов к эталонному для аппроксимации сферической призмой». Для полноты описания численного эксперимента можно было бы предложить дополнить текст описанием «эталонного результата» и размеров ячеек сети разбиения при численном интегрировании и при использовании радиальных стержней, а также указать какие элементы поля рассчитывались (потенциал, притяжение). При описании результатов второго теста автор говорит об «оптимальном количестве элементов разбиения, позволяющем достичь заданной точности», однако, к сожалению, не описывает, собственно, сам способ определения «оптимального количества». При этом можно предположить, что способ определения оптимального количества является элементом «Алгоритма решения прямой задачи гравиразведки для сферической призмы на основе ее аппроксимации набором тонких радиальных стержней».

При описании способов решения обратной задачи не совсем очевидным является использование такой характеристики как «чувствительность решения обратной задачи». Возможно соответствующее определение приведено в полном тексте диссертации.

В качестве одного из формальных замечаний можно высказать пожелание о том, чтобы на иллюстрациях с плотностными разрезами приводился график аномалий гравитационного поля по соответствующему профилю.

В целом можно сделать вывод о том, что предлагаемые в диссертационной работе способы решения прямых и обратных задач для гравитационного поля на сферической поверхности опробованы практических примерах и являются научно обоснованными.

С большой степенью уверенности можно предположить, что развиваемое научное направление имеет широкие перспективы при решении практических задач гравиразведки, связанных с изучением гравитационного поля как в планетарном масштабе, так и в региональном масштабе при изучении крупных осадочных бассейнов.

Тема представленной диссертации соответствует заявленной специальности (1.6.9 – Геофизика (технические науки)). Чепиго Лев Станиславович заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Кривошея Константин Валериевич
105118, Москва, Шоссе Энтузиастов, дом 36

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт» (ФГБУ «ВНИГНИ»)

Заведующий сектором

04/12/2023

К.В.Кривошея

Я, Кривошея Константин Валериевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Кривошея К.В.