

УТВЕРЖДАЮ

и. о. ректора Федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Университет «Дубна»

к. ф.-м. н., доцент



Деникин А.С.

« 10 » сентября 2023 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Университет «Дубна» на диссертационную работу Мицына Сергея Валерьевича на тему «Геоинформационный метод объёмного моделирования глубинного строения территории на основе данных геопотенциальных полей», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.6.20 – «Геоинформатика, картография»

#### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Задача построения глубинных моделей актуальна в различных областях, прежде всего в геологии, геофизике, подземной гидрологии и других науках о Земле. Такие модели являются основой для решения задачи развития минерально-сырьевой базы, которая может быть решена только благодаря обоснованному управлению геологоразведочными работами. Информационным ресурсом такого управления являются, в том числе, объёмные модели глубинного строения изучаемых территорий.

Диссертационное исследование Мицына С.В. ориентировано на первую (региональную) стадию изучения территорий. На этой стадии проводятся буровые и сейсмические работы, но их объем не позволяет получить достаточно данных для построения адекватных физико-геологических

моделей. В то же время данные, полученные с помощью дистанционного зондирования, в частности материалы гравитационной и магнитной съемок в мелких и средних масштабах, имеются для большей части территории России. С использованием данных этих геопотенциальных полей возможно построение объемных моделей и определение соответствующих физических параметров, что играет большую роль для оптимизации направлений поиска и проведения прогнозных оценок.

Таким образом, развитие методов и компьютерных технологий трехмерного моделирования, учитывающих гравитационное и магнитное поле, позволит увеличить точность и адекватность моделирования глубинного строения территории. Это определяет актуальность темы диссертации Мицына С.В., в которой поставлена научная задача разработки методов построения трехмерных моделей глубинного строения территории на основе анализа и обработки данных геопотенциальных полей.

При этом необходимо обеспечить согласованность создаваемых моделей с другими источниками данных: сейсмическими, буровыми и др., рассматриваемыми как априорные. Последнее объясняет потребность использования геоинформационной системы (ГИС), ориентированной на геолого-геофизическое моделирование, для интегрирования всех имеющихся априорных данных в модель трёхмерного строения территории и использование исчерпывающего спектра методов геофизического моделирования для обработки гравимагнитных полей.

В настоящее время в ФГБУ ВНИГНИ функционирует импортозамещающий программный комплекс ГИС INTEGRO, предназначенный для геоинформационной поддержки решения геологических задач. Создание методического и алгоритмического обеспечения для геоинформационного объёмного моделирования глубинного строения территории на основе данных геопотенциальных полей, заявленное в цели исследования, обусловлено необходимостью актуализации и совершенствования методик геоинформационного моделирования.

Интегрирование в используемую геоинформационную систему новых методик и алгоритмического обеспечения решения обратных задач, предназначенных для поддержки физически обоснованного моделирования глубинного строения территории на основе обработки данных поля силы тяжести и магнитного поля, позволит улучшить качество создаваемых моделей, особенно на региональном этапе.

### **Состав и содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения общим объёмом 156 страниц, содержит список литературы из 78 источников.

Во введении изложена актуальность решаемой научной задачи, степень научной проработанности темы, сформулированы объект, предмет, цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также научные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ предметной области геоинформационного моделирования глубинного строения территории на основе решения обратных задач для геопотенциальных полей, выявлены факторы, затрудняющие региональное геоинформационное моделирование трёхмерного строения территории, обоснована роль геоинформационных систем при моделировании глубинного строения территории, поставлена научная задача исследования, сформулирована цель диссертационной работы и определены задачи для достижения этой цели.

Во второй главе изложена методика решения обратных задач на основе метода Приезжева. Проведено теоретическое обоснование для метода Приезжева решения обратной задачи в непрерывном случае и приведена методика корректного переноса этого метода на дискретные модели поля и среды. Описана разработанная параметризация этой методики, связанная с некорректностью обратной задачи, и способ её использования для учёта априорных данных. Представлен разработанный способ регуляризации на основе частотной фильтрации.

В третьей главе описана методика экстраполяции геопотенциальных полей, имеющих сеточное представление, для использования в рамках изложенной в главе 2 методики. Представлено сравнение с некоторыми другими способами экстраполяции.

В четвертой главе изложены методика и алгоритмическое обеспечение решения обратных задач на геопотенциальные поля, основывающиеся на монтажном методе. Представлена модель среды, введены понятия атомарной модификации и приоритета модификаций, а также описаны групповые операции. Изложен параллельный алгоритм, реализующий методику, а также возможности и особенности разработанной программной реализации на графических ускорителях: исследованы возможности для параллелизма и ускорение вычислений на графических ускорителях. При этом большой объём главы занимает исследование точности вычислений на графических ускорителях и их сравнение с вычислениями на центральных процессорах общего назначения.

В пятой главе приведены результаты практического применения разработанных методик для моделирования глубинного строения территории Енисей-Хатангского регионального прогиба. Содержание главы показывает, что полученные результаты исследования имеют практическую значимость.

В заключении приведены результаты работы и обозначены направления для дальнейших исследований.

*Автореферат отражает содержание диссертации.*

### **Научная новизна работы**

Научной новизной обладают следующие результаты:

1. Разработаны методика и алгоритмическое обеспечение решения обратных гравимагнитных задач на основе метода Приезжева на поля, заданные в виде дискретных сеток, что повышает точность объёмного моделирования глубинного строения территории благодаря поддержке параметризации, позволяющей получать

модели физической среды, согласующиеся с априорными данными и отвечающие исходному полю.

2. Разработанная методика экстраполяции позволяет корректно применять метод Приезжева на поля, заданные на дискретной сетке, благодаря свойствам непрерывности конструируемой экстраполяции поля и её горизонтального градиента.
3. Разработаны методика и алгоритмическое обеспечение на основе монтажного метода, которая отличается тем, что применяется механизм групповых операций, благодаря чему она является ускоренной по сравнению с непараллельной реализацией монтажного метода, а механизм приоритетов по атомарным операциям позволяет строить модели, составленные из неоднородных вмещающей среды и аномалообразующих тел.

**Научная обоснованность и достоверность результатов работы** обеспечивается теоретической проработкой разработанных методик, доведения их до программных реализаций и экспериментов с ними на модельных и реальных данных на различных технологических этапах трёхмерного моделирования территории, при этом в диссертации отражено моделирование территории Енисей-Хатангского регионального прогиба.

Теоретической основой были труды отечественных и зарубежных авторов по комплексному моделированию глубинного строения территорий на основе геопотенциальных полей. В ходе исследований использовались методы математического анализа, математического моделирования, методы численного решения дифференциальных уравнений, методы математической статистики, оптимального управления и распараллеливания вычислений.

Результаты изложены в 6 публикациях в журналах, входящих в перечень ВАК, а также в одном докладе на конференции.

Научные положения, выносимые на защиту, полностью обоснованы.

## **Личный вклад автора**

Результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Соискатель непосредственно участвовал в разработке методик и алгоритмов, а также программного обеспечения, обосновывающего применимость научных результатов на практике.

## **Значимость полученных в диссертации результатов**

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

1. Развитие теории метода Приезжева для сеточных представлений полей обеспечивает корректный перенос метода на сеточные модели. Разработанная на этой основе методика допускает параметризацию, позволяющую получать модели физической среды, согласующиеся с априорными данными, и отвечающие исходному полю.

2. Теоретическая значимость разработанной методики на основе монтажного метода заключается в том, что показана возможность стабилизации монтажного метода через механизм приоритетов, что может применяться для моделирования с использованием содержательных значений физического параметра.

Практическая значимость работы заключается в её направленности на решение практических задач, возникающих при исследовании территорий России с целью развития её минерально-сырьевой базы. Разработанные методики позволяют повысить точность моделирования территории, локализации геологических объектов и оценки их геометрических и физических характеристик. Алгоритмическое обеспечение поддерживает распараллеливание вычислений и групповые операции, чем достигается ускорение и возможность построения интегрированных геоинформационных моделей на персональных компьютерах. Разработанное программное обеспечение, реализующие указанные методики, включено в ГИС INTEGRO и эксплуатируется для моделирования территории.

## **Рекомендации по использованию результатов работы**

Разработанные методическое и алгоритмическое обеспечение могут быть использованы при региональных исследованиях территории для объёмного моделирования её глубинного строения. Методика, основывающаяся на методе Приезжева, может быть использована для первичной оценки примерного залегания объектов, их избыточной плотности и намагниченности. Методика, основывающаяся на монтажном методе, может быть использована для уточнения оценки как геометрии имеющихся геологических объектов, так и их физических параметров.

### **Замечания**

1. В методике, основанной на методе Приезжева, не показано, как следует подбирать параметры для согласования инверсии с априорными данными.

2. В методике, основанной на методе Приезжева, показана, что она разработана для дискретных (сеточных) моделей полей и среды, благодаря чему достигается тождественность композиции операторов прямой задачи и инверсии, но не показана важность (практическая значимость) этого свойства тождественности.

3. В главе, посвящённой методике экстраполяции не приведено сравнение со статистическими методами, а также с методом минимальной кривизны.

4. Для методики экстраполяции не даны достаточно чётко рекомендации по выбору размера области экстраполяции.

5. В главе 4 приведено слишком много графиков, касающихся точности вычислений, не приведены обоснования для выбора модели, на основе которой выполнено исследование точности вычислений.

Указанные недостатки не затрагивают значимость научных и практических результатов автора, полученных в ходе исследования.

## Заключение

Диссертация Мицына Сергея Валерьевича является законченной, логично обоснованной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно. Диссертация содержит решение научной задачи разработки методов построения трехмерных моделей глубинного строения территории на основе анализа и обработки данных геопотенциальных полей, имеющей важное значение для изучения на региональном этапе глубинного строения перспективных территорий и планирования последующих геологоразведочных работ.

Диссертация выполнена на хорошем научном уровне, получены новые научные результаты, которые имеют теоретическую и практическую значимость.

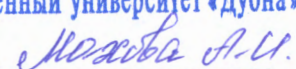

Представленная диссертация соответствует паспорту специальности 1.6.20 – «Геоинформатика, картография» и полностью отвечает требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, а её автор, Мицын Сергей Валерьевич, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.6.20 – «Геоинформатика, картография».

Отзыв подготовлен профессором кафедры системного анализа и управления ФГБОУ ВО «Университет «Дубна», доктором технических наук, профессором Моховым Андреем Игоревичем.

Отзыв обсужден и одобрен на совместном заседании кафедр Института системного анализа и управления ФГБОУ ВО «Университет «Дубна», 15 сентября 2023 г., протокол № 3.

Профессор, доктор технических наук,  
профессор кафедры системного анализа и  
управления ФГБОУ ВО «Университет «Дубна»

  
Мохов А.И.

Государственный университет «Дубна»		
Подпись		
УДОСТОВЕРЯЮ		
Начальник общего отдела		
« 05 »	10	2023.

