

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.О. декана Геологического факультета
чл.-корр. РАН _____/Н.Н.Еремин/
« ____ » _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий

Interpretation of gravity and magnetic anomalies

Авторы-составители:

Булычев А.А., Лыгин И.В., Золотая Л.А., Коснырева М.В., Кузнецов К.М.

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геофизика

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № _____, _____)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова от ____
_____ 2022 года (протокол №__).

Год приема на обучение: 2022

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса «Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий» является теоретическое и практическое освоение способов решения прямых двухмерных и трехмерных задач гравиразведки и магниторазведки, методов выделения полезного сигнала из наблюдаемых полей и нахождения параметров объектов, создающих аномалии.

Задачи - получение навыков и овладение приемами качественного и количественного анализа аномальных гравитационных и магнитных полей с целью решения поставленной геологической задачи.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе «Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий» даются теоретические и практические основы способов решения прямых двухмерных и трехмерных задач гравиразведки и магниторазведки от сложно построенных геологических объектов, методов выделения полезного сигнала и нахождения параметров объектов, создающих аномальное поле.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП – относится к профильному блоку вариативной части ОПОП подплана «Малоглубинная и глубинная геофизика», является дисциплиной по выбору студента. Курс – IV, семестр – 8

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

базируется на знаниях по дисциплинам «Гравиразведка», «Магниторазведка», «Высшая математика», «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятности и математическая статистика», «Физика», «ГИС в геологии», «Вычислительная математика», «Уравнения математической физики», «Историческая геология», «Структурная геология и геокартирование», «Геология полезных ископаемых».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями
ОПК-1.Б Способен применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач (формируется частично).	Б.ОПК-1. И-1. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук естественнонаучного и математического циклов в профессиональной деятельности Б.ОПК-1. И-2. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук о Земле в профессиональной деятельности	Знать: теоретические основы интерпретации аномалий силы тяжести и магнитного поля. Уметь: выбирать необходимые методы для решения определенных задач интерпретации аномальных гравитационных и магнитных полей. Владеть: методами геофизической и геологической интерпретации аномальных гравитационных и магнитных полей с применением современного вычислительного программного обеспечения

<p>ОПК-3.Б Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично).</p>	<p>Б.ОПК-3. И-3. Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.</p>	<p>Знать: методы и подходы к интерпретации аномалий силы тяжести и магнитного поля. Уметь: применять методы интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки для решения геолого-геофизических задач. Владеть: базовыми навыками обработки и интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки</p>
<p>СПК-1.Б. Способен решать задачи в области разведочной геофизики при моделировании геофизических полей для сложно-построенных физико-геологических моделей геологических сред, в том числе трехмерных (формируется частично).</p>	<p>Б.СПК-1. И-1. Знает основы методов разведочной геофизики и их применения для решения различных геологических задач. Б.СПК-1. И-2. Владеет методами решения прямых задач геофизики для сред различной размерности.</p>	<p>Знать: теорию решения прямых и обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Уметь: выполнять качественный и количественный анализ аномалий силы тяжести и магнитного поля. Владеть: методами и технологиями решения прямых и обратных задач гравиразведки и магниторазведки.</p>

4. Объем дисциплины составляет **2 з.е.**, в том числе **33** академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем (11 часов лекций, 11 часов семинаров и 11 часов лабораторных занятий), **39** академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.).

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы</i>				Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	Расчетно-графические работы	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка реферата	Подготовка к контрольному опросу	Всего
Раздел 1. Введение.	2	2		1	3			5		5
Раздел 2. Решение прямых двухмерных задач гравirazведки и магниторазведки на основе ТФКП.	24	2	2	2	6	4				4
Раздел 3. Прямая задача для трехмерных моделей	24	2	2	2	6	4				4
Раздел 4. Численные методы решения прямых задач гравirazведки и магниторазведки для сложно построенных геологических сред	30	2	2	2	6	4				4
Раздел 5. Методы выделения полезного сигнала. Корреляционно-регрессионный анализ и его применение при обработке потенциальных полей	22	1	3	2	6	4				4

Раздел 6. Линейная фильтрация потенциальных полей. Спектральные характеристики гравитационных и магнитных аномалий		1	1	1	3	4				4
Раздел 7. Эквивалентность, единственность и неустойчивость решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Метод особых точек, методы подбора и регуляризации		1	1	1	3	2			2	4
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	10	<i>Устный экзамен</i>				10				
Итого	72	33				39				

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Раздел 1. Введение

Краткое описание курса. Рекомендуемая литература. Задачи интерпретации гравитационных и магнитных полей. Общая и частная постановка прямой и обратной задачи. Эквивалентность, единственность и неустойчивость в обратных задачах. Общая схема интерпретационного процесса. Физико-геологические и математические модели интерпретации. Идеи оптимальности моделей. Общая схема геологической интерпретации гравитационных аномалий. Разделение полей на составляющие. Модели помех.

Раздел 2. Решение прямых двухмерных задач гравиразведки и магниторазведки на основе ТФКП.

Способы решения прямой задачи гравиразведки и магниторазведки. Основные определения. Единицы измерения. Описание аналитического и численного подходов к их решению. Основные интегральные соотношения и гравитационные и магнитные эффекты элементарных источников. Комплексные характеристики гравитационного и магнитного полей. Комплексные потенциалы и напряженности гравитационного и магнитного поля. Комплексные напряженности поля двухмерных моделей точечного источника, диполя, линии. Представление элементов гравитационного и магнитного полей в форме интегралов типа Каши.

Раздел 3. Прямая задача для трехмерных моделей

Рассматривается математический аппарата перехода из одной декартовой системы координат в другую. Формулы понижения кратности интегралов: формула Остроградского-Гаусса, формулы Грина. Излагается алгоритм вычисления гравитационного потенциала и его производных многогранника (трехмерная задача) и многоугольника (двухмерная задача). Описывается применение преобразования системы координат и формул понижения кратности при решении прямой задачи гравиметрии и магнитометрии для произвольных однородных многогранников.

Раздел 4. Численные методы решения прямых задач гравиразведки и магниторазведки для сложно построенных геологических сред

Основные соотношения для элементов гравитационного и магнитного полей. Поля точечного источника, дипольного источника, однородного материального стержня, однородной горизонтальной многоугольной пластины. Гравитационное и магнитное поле однородного многогранника. Графические методы решения прямой задачи с помощью палеток. Аппроксимационные способы решения прямой задачи от сложных распределений плотности. Применение ЭВМ при решении прямой задачи гравиразведки и магниторазведки.

Раздел 5. Методы выделения полезного сигнала. Корреляционно-регрессионный анализ и его применение при обработке потенциальных полей

Методы выделения полезного сигнала. Принципы разделения (трансформации) сложных потенциальных полей. Физические предпосылки разделения гравитационных и магнитных полей на составляющие. Региональные и локальные аномалии. Корреляционно-регрессионный анализ и его применение при обработке потенциальных полей. Выделение регионального фона с помощью аппроксимационного полинома. Корреляционные методы выделения аномалий. Построение контактной границы на основе корреляционного анализа.

Раздел 6. Линейная фильтрация потенциальных полей. Спектральные характеристики гравитационных и магнитных аномалий

Разделение полей как процесс частотной фильтрации. Спектральные характеристики гравитационных и магнитных аномалий. Основные линейные трансформации потенциальных полей и их частотные характеристики: осреднение, вычисление производных, продолжение

поля и его производных в верхнее и нижнее полупространства. Алгоритм трансформаций на основе Быстрого Преобразования Фурье (БПФ). Методы регуляризации в некорректных трансформациях поля. Особенности реализации линейных трансформаций на ЭВМ.

Раздел 7. Эквивалентность, единственность и неустойчивость решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Метод особых точек, методы подбора и регуляризации

Эквивалентность, единственность и неустойчивость решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Метод особых точек, методы подбора и регуляризации. Решение обратной задачи для сложных аномальных полей. Метод особых точек, метод подбора. Понятие о детерминистском и статистическом подходах к интерпретации методом подбора. Роль и место априорной информации в методе подбора. Понятие о способах подбора сложных геологических объектов и разрезов на ЭВМ. Решение обратной задачи для контактной поверхности.

План проведения семинаров:

1. Методы оценки и анализа амплитуд аномалий гравитационного и магнитного поля типичных геологических структур;
2. Аномалии магнитного поля типичных геологических структур на различных широтах;
3. Алгоритм построения двумерных сейсмо-плотностных моделей;
4. Составление схемы строения кристаллического фундамента юго-восточной части по данным совместного анализа магнитного и гравитационного полей;
5. Доклады студентов по темам рефератов (с презентацией).

Примерный перечень тем лабораторных работ:

1. Оценка амплитуд аномалий гравитационного и магнитного поля типичных геологических структур;
2. Выделение границ типичных геологических структур на разных широтах по магнитному полю;
3. Построение двумерной сейсмо-плотностной модели;
4. Составление схемы строения кристаллического фундамента юго-восточной части Сибирской платформы по данным совместного анализа магнитного и гравитационного полей, полученных в результате авиационной съемки масштаба 1:200 000;

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных/лабораторных работ и во время докладов по темам рефератов.

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля:

1. Основные соотношения для элементов гравитационного поля, создаваемого сферой;
2. Основные соотношения для элементов магнитного поля, создаваемого сферой;
3. Соотношение Пуассона о связи гравитационного и магнитного потенциала для изолированного источника;
4. Преобразование системы координат;
5. Формулы понижения кратности интегралов;
6. Схема вычисления гравитационного поля многоугольника с постоянной плотностью;
7. Схема вычисления магнитного поля многоугольника с постоянной намагниченностью;
8. Понятие комплексной напряженности гравитационного и магнитного поля;

9. Общие принципы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий, задача выделения полезного сигнала. Понятие трансформации поля;
10. Метод корреляционно-регрессионного сглаживания поля;
11. Метод главных компонент выделения региональной составляющей поля;
12. Понятие о линейной фильтрации. Фильтрация в пространственной и частотной областях;
13. Оптимальные фильтры. Фильтр Колмогорова-Винера;
14. Оптимальные фильтры. Согласованный фильтр;
15. Оптимальные фильтры. Энергетический фильтр;
16. Трансформации потенциальных полей на основе интеграла Пуассона;
17. Редукция магнитных аномалий к полюсу;
18. Неустойчивые трансформации потенциальных полей. Способы решения;
19. Обратные задачи. Примеры эквивалентности и неустойчивости решений;
20. Линейная обратная задача гравиразведки и магниторазведки;

Расчетные домашние задания:

1. Оценка амплитуд аномалий гравитационного и магнитного поля типичных геологических структур;
2. Выделение границ типичных геологических структур на разных широтах по магнитному полю;
3. Построение двумерной сейсмо-плотностной модели;
4. Составление схемы строения кристаллического фундамента юго-восточной части Сибирской платформы по данным совместного анализа магнитного и гравитационного полей, полученных в результате авиационной съемки масштаба 1:200 000;

Примерный перечень тем рефератов:

1. Основные соотношения для элементов гравитационного поля, создаваемого изолированными объектами. Модели объектов.
2. Основные соотношения для элементов магнитного поля, создаваемого изолированными объектами. Модели объектов.
3. Соотношение Пуассона о связи гравитационного и магнитного потенциала для изолированного источника.
4. Преобразование системы координат при решении прямой задачи гравиразведки и магниторазведки (пример – поле от стержня с постоянной плотностью, поле от пластины с постоянной плотностью).
5. Формулы понижения кратности интегралов. Примеры их использования при решении прямых задач гравиразведки и магниторазведки.
6. Гравитационное поле многоугольника с постоянной плотностью (двумерная задача).
7. Магнитное поле многоугольника с постоянной намагниченностью (двумерная задача).
8. Алгоритм вычисления элементов гравитационного поля от многогранника с постоянной плотностью.
9. Алгоритм вычисления элементов магнитного поля от многогранника с постоянной намагниченностью.
10. Понятие комплексной напряженности гравитационного и магнитного поля (двумерная задача).
11. Комплексная напряженность гравитационного и магнитного поля от кругового горизонтального цилиндра, тонкого пласта, многоугольника с постоянной плотностью и намагниченностью (двумерная задача).
12. Комплексная напряженность гравитационного поля от криволинейного многоугольника с постоянной плотностью.
13. Комплексная напряженность гравитационного поля от многоугольника с полиномиальным изменением плотности.

14. Общие принципы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий, задача выделения полезного сигнала. Понятие трансформации поля.
15. Полиномиальное сглаживание поля методом наименьших квадратов (регрессионный анализ). Метод корреляционно-регрессионного сглаживания поля.
16. Метод главных компонент выделения региональной составляющей поля.
17. Понятие о линейной фильтрации. Фильтрация в пространственной и частотной областях. Пример низкочастотной фильтрации.
18. Оптимальные фильтры. Фильтр Колмогорова-Винера.
19. Оптимальные фильтры. Согласованный фильтр.
20. Оптимальные фильтры. Энергетический фильтр.
21. Трансформации потенциальных полей на основе интеграла Пуассона.
22. Редукция магнитных аномалий к полюсу.
23. Неустойчивые трансформации потенциальных полей. Способы решения.
24. Обратные задачи. Примеры эквивалентности и неустойчивости решений.
25. Линейная обратная задача гравиразведки и магниторазведки.
26. Нелинейная обратная задача гравиразведки и магниторазведки.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамен):

1. Основные соотношения для элементов гравитационного поля, создаваемого изолированными объектами. Модели объектов.
2. Основные соотношения для элементов магнитного поля, создаваемого изолированными объектами. Модели объектов.
3. Соотношение Пуассона о связи гравитационного и магнитного потенциала для изолированного источника.
4. Преобразование системы координат при решении прямой задачи гравиразведки и магниторазведки (пример – поле от стержня с постоянной плотностью, поле от пластины с постоянной плотностью).
5. Формулы понижения кратности интегралов. Примеры их использования при решении прямых задач гравиразведки и магниторазведки.
6. Понятие комплексной напряженности гравитационного и магнитного поля (двумерная задача).
7. Комплексная напряженность гравитационного поля от кругового горизонтального цилиндра, тонкого пласта, многоугольника с постоянной плотностью (двумерная задача).
8. Комплексная напряженность магнитного поля от кругового горизонтального цилиндра, тонкого пласта, многоугольника с постоянной намагниченностью (двумерная задача).
9. Общие принципы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий, задача выделения полезного сигнала. Понятие трансформации поля.
10. Полиномиальное сглаживание поля методом наименьших квадратов (регрессионный анализ). Метод корреляционно-регрессионного сглаживания поля.
11. Метод главных компонент выделения региональной составляющей поля.
12. Понятие о линейной фильтрации. Фильтрация в пространственной и частотной областях. Пример низкочастотной фильтрации.
13. Оптимальные фильтры. Фильтр Колмогорова-Винера.
14. Оптимальные фильтры. Согласованный фильтр.
15. Оптимальные фильтры. Энергетический фильтр.
16. Трансформации потенциальных полей на основе интеграла Пуассона.
17. Понятие корректных и некорректных трансформация потенциальных полей. Способы построения устойчивых фильтров.
18. Неустойчивые трансформации потенциальных полей. Способы решения.

19. Понятие корректных и некорректных обратных задач математической физики. Примеры некорректности обратных задач гравиразведки и магниторазведки (отсутствие решения, эквивалентность и неустойчивость решений).
20. Особые точки потенциальных полей (двумерная задача). Их типы и их связь с параметрами источников. Способы нахождения особых точек.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (экзамен).

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания о подходах и теоретических основах к решению прямых задач гравиразведки и магниторазведки, выделению полезного сигнала	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения реализовывать и применять технологии решения прямых задач гравиразведки и магниторазведки, выбирать оптимальные подходы к фильтрации, трансформации и потенциальных полей	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы.	Умения отсутствуют
Навыки решения прямой и обратной задач гравиразведки и магниторазведки с применением современных	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методами, наличие отдельных навыков.	В целом сформированные навыки.	Навыки владения отсутствуют

вычислительных технологий.				
----------------------------	--	--	--	--

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Булычев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М. Прямая задача гравиразведки и магниторазведки (конспект лекций). Учебное — Университетская книга Москва, 2019. — 176 с.
2. Блох Ю.И. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. Учебное пособие. 2009. 232 с. (www.sigma3d.com).
3. Страхов В.Н. Методы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. — Пермь: ПГУ, 1984, 71 с.

- дополнительная литература:

1. Жданов М.С. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике. — М., Научный мир. 2007. 710 с.
2. Булычев А.А., Лыгин И.В. Мелихов В.Р. Численные методы решения прямых задач грави- и магниторазведки (конспект лекций). Учебное пособие. — Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. 2010. 164 с.

Б) Перечень программного обеспечения:

- нелицензионные

- Специальные вычислительные и логические компьютерные программы, созданные сотрудниками и преподавателями кафедры геофизических методов исследований земной коры Геологического факультета МГУ.

В) Материально-технического обеспечение:

Помещения – компьютерный класс, рассчитанный на группу из 20 учащихся;

Оборудование – персональные компьютеры, мультимедийный проектор, экран, выход в Интернет.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватели:

Ответственный за курс — Булычев Андрей Александрович.

Преподаватели: Булычев А.А., Золотая Л.А., Лыгин И.В., Коснырева М.В., Кузнецов К.М.

11. Разработчики программы: Профессор Булычев А.А., доцент Лыгин И.В., доцент Золотая Л.А., доцент Коснырева М.В., доцент Кузнецов К.М.