

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.Ерёмин/
«__» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий
Interpretation of gravity and magnetic anomalies

Авторы-составители:

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

Уровень высшего образования:
Магистратура ММ

Направление подготовки:
05.04.01 Геология

Магистерская программа
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, магистратуры).

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 профессиональному блоку вариативной части ОПОП, модуль «гравиразведка и магниторазведка», является дисциплиной по выбору. Курс – I, семестр – 1.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

обучающийся должен владеть базовыми естественно-научными, математическими и профессиональными знаниями в объеме вступительного экзамена в магистратуру.

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.ММ Способен применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих направленность подготовки, при решении задач профессиональной деятельности (формируется частично).	ММ-ОПК-1. И-1. Использует на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих направленность подготовки, при решении исследовательских и прикладных задач 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
ОПК-3.ММ Способен в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты,	ММ.ОПК-3. И-1. Владеет навыками самостоятельного получения результатов при решении задач	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.

<p>разрабатывать рекомендации по их практическому использованию (формируется частично).</p>	<p>профессиональной деятельности. ММ.ОПК-3. И-2. Объективно оценивает полученные результаты, обобщает их, формулирует выводы. ММ.ОПК-3. И-3. Использует полученные результаты для выработки рекомендаций по их практическому использованию.</p>	<p>Владеть: базовыми навыками обработки и интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки</p>
<p>ОПК-5.ММ Способен использовать современные вычислительные методы и компьютерные технологии для решения задач профессиональной деятельности (формируется частично).</p>	<p>ММ.ОПК-5. И-1. Выбирает способы обработки данных и программные средства для решения задач профессиональной деятельности с учетом основных требований информационной безопасности.</p>	<p>Знать: подходы и современные вычислительные технологии при интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки. Уметь: применять современные алгоритмы интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки. Владеть: методами и алгоритмами интерпретации аномалий силы тяжести магнитного поля.</p>
<p>ПК-1.ММ Способен самостоятельно проводить научные исследования с помощью современного оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (формируется частично).</p>	<p>ММ.ПК-1. И-3. Обрабатывает полученные результаты, формулирует выводы и рекомендации по использованию полученных результатов. ММ.ПК-1. И-4. Представляет результаты своей научной деятельности в письменной и устной форме (отчеты, статьи, доклады и презентации).</p>	<p>Знать: современные подходы к интерпретации аномалий гравитационного и магнитного полей. Уметь: самостоятельно проводить качественную и количественную интерпретацию аномалий силы тяжести и магнитного поля с помощью современного оборудования, информационных технологий</p>

4. Объем дисциплины составляет **2** з.е., в том числе **28** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (**20** часов лекции и **8** часов семинаров), **2** часа – групповые консультации, **8** часов – мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации **44** академических часа 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.	6	1			1	5				5
Раздел 2. Решение прямых двухмерных задач гравirazведки и магниторазведки на основе ТФКП.	9	2		2	4			2	3	5
Раздел 3. Прямая задача для трехмерных моделей	10	1		4	5	5				5
Раздел 4. Численные методы решения прямых задач гравirazведки и магниторазведки для сложно построенных геологических сред	10	1		4	5	5				5
Раздел 5. Методы выделения полезного сигнала. Корреляционно-регрессионный анализ и его применение при обработке потенциальных полей	10	1		4	5			2	3	5

Раздел 6. Линейная фильтрация потенциальных полей. Спектральные характеристики гравитационных и магнитных аномалий	10	1		4	5	5				5
Раздел 7. Эквивалентность, единственность и неустойчивость решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Метод особых точек, методы подбора и регуляризации	9	1		2	3			2	4	6
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	8	<i>Устный экзамен</i>				8				
Итого	72	28				44				

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 двумерных 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 двумерных 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).

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

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

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных работ, рефератов и по результатам контрольных работ.

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. Общая и частная постановка прямой задачи гравиразведки и магниторазведки;
2. Общая и частная постановка обратной задачи гравиразведки и магниторазведки;
3. Эквивалентность, единственность и неустойчивость в обратных задачах;
4. Физико-геологические и математические модели интерпретации;
5. Идеи оптимальности моделей. Общая схема геологической интерпретации гравитационных аномалий;
6. Комплексные потенциалы и напряженности гравитационного и магнитного поля;
7. Комплексные напряженности поля двухмерных моделей точечного источника, диполя, линии;
8. Алгоритм расчета гравитационного и магнитного эффекта многоугольника;
9. Аппроксимационные способы решения прямой задачи от сложных распределений плотности;
10. Применение ЭВМ при решении прямой задачи гравиразведки и магниторазведки;
11. Физические предпосылки разделения гравитационных полей на составляющие. Региональные и локальные аномалии;
12. Выделение регионального фона с помощью аппроксимационного полинома;
13. Построение контактной границы на основе корреляционного анализа;
14. Разделение полей как процесс частотной фильтрации;
15. Спектральные характеристики гравитационных и магнитных аномалий;
16. Основные линейные трансформации потенциальных полей и их частотные характеристики: осреднение, вычисление производных, продолжение поля и его производных в верхнее и нижнее полупространства;
17. Методы регуляризации в некорректных трансформациях поля;
18. Качественная и количественная интерпретация аномалий гравитационного и магнитного полей;
19. Решение обратной задачи гравиразведки и магниторазведки для сложных аномальных полей;
20. Метод особых точек, метод подбора;
21. Понятие о детерминистском и статистическом подходах к интерпретации методом подбора;
22. Роль и место априорной информации в методе подбора. Понятие о способах подбора сложных геологических объектов и разрезов на ЭВМ;
23. Решение обратной задачи для контактной поверхности.

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

Результаты обучения, соответствующие видам	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
--------------------------------------------	-----------------------	---------------------	----------	-----------

<i>оценочных средств</i>				
Знания теоретических основ интерпретации аномалий силы тяжести и магнитного поля.	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения пользоваться методами и программами для интерпретации аномальных гравитационных и магнитных полей.	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы.	Успешное умение.
Навыки геофизической и геологической интерпретации аномальных гравитационных и магнитных полей с применением современного вычислительного программного обеспечения.	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методами, наличие отдельных навыков.	В целом сформированные навыки.	Свободное владение и использование

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.

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.