

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан геологического
факультета, чл.-корр. РАН
Еремин Н.Н.



«18» декабря 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01. Геология

Профиль программы бакалавриата:

Геофизика

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом
Геологического факультета МГУ
(протокол № 8 от 15 декабря 2025)

Москва 2025

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», утвержденным приказом по МГУ от 30.12.2016 № 1674 (в действующей редакции).

Год приема на обучение: 2022.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП: относится к профильному блоку вариативной части ОПОП подплана «Малоглубинная и глубинная геофизика», является дисциплиной по выбору. Курс – 4, 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 достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
ОПК-1.Б.	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.
ОПК-3.Б.	Б.ОПК-3. И-3. Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в	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.

	соответствии с профилем подготовки.	Владеть: базовыми навыками обработки и интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки.
СПК-1.Б.	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.	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.

4. Объем дисциплины 2 з.е., в том числе **44** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (лекции 22, лабораторные работы 11, семинары 11), **28** академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации: **экзамен.**

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических 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 контрольному опросу	Всего
Раздел 1. Введение.	2	2			2					
Раздел 2. Прямая задача гравirazведки и магниторазведки.	7	4			4	1		2		3
Раздел 3. Принципы выделения полезного сигнала	11	2	2	2	6	2	1		2	5
Раздел 4. Определение обратной задачи. Неоднозначность решения, неустойчивость решения. Линейные обратные задачи.	11	2	2	2	6	2	1	2		5
Раздел 5. Введение в машинное обучение в геопотенциальных полях	10	2	2	2	6	2			2	4
Раздел 6. Задачи регрессии в гравirazведки и магниторазведки.	14	4	2	2	8	3	1	2		6

Раздел 7. Кластерный анализ гравитационных и магнитных полей	17	6	3	3	12	2	1		2	5
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u> *	0	Устный экзамен				0				
Итого	72	44				28				

*Промежуточная аттестация в форме экзамена во время экзаменационной сессии, предусмотренной графиком учебного процесса

Развернутое содержание тем и разделов дисциплины

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. Прямая задача гравиразведки и магниторазведки.

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. 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 3. Принципы выделения полезного сигнала.

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. 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 4. Определение обратной задачи. Неоднозначность решения, неустойчивость решения. Линейные обратные задачи.

Приводится определение обратной задачи гравиразведки и магниторазведки. 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.

Раздел 5. Введение в машинное обучение в геопотенциальных полях.

Определение машинного обучения и алгоритмов, применяемых в практике гравиразведки и магниторазведки. Основные понятия нейронных сетей и их элементов. Полносвязные и сверточные нейронные сети. Методы обучения нейронных сетей.

Раздел 6. Задачи регрессии в гравиразведки и магниторазведки.

Постановка задачи регрессии. Линейная и логистическая регрессия. Алгоритмы деревьев решения и случайный лес. Оценка точности обучения алгоритмов регрессии.

Раздел 7. Кластерный анализ гравитационных и магнитных полей.

Кластерный анализ гравитационных и магнитных полей. Основные определения и постановка задачи. Нормализация данных. Жесткая и мягкая кластеризация. Алгоритм К-средних, Иерархическая кластеризация, Агломеративная кластеризация, Алгоритм ЕМ, Алгоритм DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise). Уменьшение размерности данных.

План проведения семинаров.

1. Введение в Python;
2. Линейная и логистическая регрессия;
3. Деревья решений;
4. Полносвязные нейронные сети;
5. Кластеризация;
6. Методы уменьшения размерности;

Примерный перечень тем рефератов:

- 1 Понятие о линейной фильтрации. Фильтрация в пространственной и частотной областях;
- 2 Оптимальные фильтры. Фильтр Колмогорова-Винера;
- 3 Оптимальные фильтры. Согласованный фильтр;
- 4 Оптимальные фильтры. Энергетический фильтр;
- 5 Применение трансформаций потенциальных полей на основе интеграла Пуассона при интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки;
- 6 Редукция магнитных аномалий к полюсу;
- 7 Неустойчивые трансформации потенциальных полей. Способы решения;
- 8 Полиномиальное сглаживание поля методом наименьших квадратов;
- 9 Метод главных компонент выделения региональной составляющей поля;
- 10 Применение фильтра Баттерворта при выделении компонент гравитационного и магнитного полей;
- 11 Применение фильтра Гаусса при выделении компонент гравитационного и магнитного полей;
- 12 Применение направленной фильтрации при выделении компонент гравитационного и магнитного полей;
- 13 Трансформации потенциальных полей на основе вейвлетов Пуассона;
- 14 Методы решения обратных задач. Примеры эквивалентности и неустойчивости решений;
- 15 Линейная обратная задача гравиразведки и магниторазведки;
- 16 Пример применения нейронных сетей при интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки;
- 17 Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его применение в гравиразведке и магниторазведке;
- 18 Фильтрация полей в окнах "живой формы"

Примерные темы лабораторных занятий

1. Применение библиотек NumPy и matplotlib в задачах гравиразведки и магниторазведки;
2. Линейная и логистическая регрессия при восстановлении структурных границ разреза;
3. Деревья решений при восстановлении структурных границ разреза;
4. Полносвязные нейронные сети при восстановлении структурных границ разреза;
5. Кластеризация гравитационных и магнитных полей;
6. Методы уменьшения размерности для комплекса геофизических методов;

6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине

6.1. Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля (контрольные работы, рефераты):

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. Понятие о линейной фильтрации. Фильтрация в пространственной и частотной областях;
12. Оптимальные фильтры. Фильтр Колмогорова-Винера;
13. Оптимальные фильтры. Согласованный фильтр;
14. Оптимальные фильтры. Энергетический фильтр;
15. Трансформации потенциальных полей на основе интеграла Пуассона;
16. Неустойчивые трансформации потенциальных полей. Способы решения;
17. Обратные задачи. Примеры эквивалентности и неустойчивости решений;
18. Линейная обратная задача гравиразведки и магниторазведки;
19. Машинное обучение основные понятия и методы.
20. Линейная и логистическая регрессия.
21. Деревья решений.
22. Полносвязные нейронные сети.
23. Кластеризация.
24. Методы уменьшения размерности.
25. Метод главных компонент.

6.2. 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. Комплексная напряженность магнитного поля от кругового горизонтального цилиндра, тонкого пласта, многоугольника с постоянной намагниченностью (двумерная задача).
7. Общие принципы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий, задача выделения полезного сигнала. Понятие трансформации поля.
8. Полиномиальное сглаживание поля методом наименьших квадратов (регрессионный анализ). Метод корреляционно-регрессионного сглаживания поля.
9. Понятие о линейной фильтрации. Фильтрация в пространственной и частотной областях. Пример низкочастотной фильтрации.
10. Оптимальные фильтры. Фильтр Колмогорова-Винера.
11. Оптимальные фильтры. Согласованный фильтр.
12. Оптимальные фильтры. Энергетический фильтр.
13. Трансформации потенциальных полей на основе интеграла Пуассона.
14. Понятие корректных и некорректных трансформация потенциальных полей. Способы построения устойчивых фильтров.
15. Неустойчивые трансформации потенциальных полей. Способы решения.
16. Машинное обучение основные понятия и методы.
17. Линейная и логистическая регрессия.
18. Деревья решений.
19. Полносвязные нейронные сети.
20. Кластеризация.
21. Методы уменьшения размерности.
22. Метод главных компонент.

6.3. Шкала и критерии оценивания

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 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 вычислительных технологий.	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методами, наличие отдельных навыков.	В целом сформированные навыки.	Навыки владения отсутствуют

7. Ресурсное обеспечение:

7.1.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.

7.2.Перечень лицензионного программного обеспечения:

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

7.3.Описание материально-технической базы:

Для материально-технического обеспечения дисциплины используются: лаборатории гравиразведки и магниторазведки отделения Геофизики, компьютерный класс отделения Геофизики, специализированные аудитории кафедры и факультета, оборудованные ПК и проектором.

8. Язык преподавания: русский

9. Преподаватели: Ответственный по дисциплине – доц. Лыгин И.В., преподаватели доц. Кузнецов К.М., доц. Лыгин И.В., проф. Булычев А.А., доц. Коснырева М.В.

10. Разработчики программы: доц. Кузнецов К.М., доц. Лыгин И.В., проф. Булычев А.А., доц. Коснырева М.В.