

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.



«25» сентября 2025 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий**

---

**Уровень высшего образования:**

**Магистратура**

---

**Направление подготовки:**

**05.04.01. Геология**

---

**Магистерская программа:**

**Геофизика**

---

**Форма обучения:**

**Очная**

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методическим Советом  
Геологического факультета МГУ  
(протокол № 6 от 8 сентября 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: 2025.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП.** Относится к профильному блоку вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору. Курс магистратуры – 1, 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<br>(коды) | Индикаторы достижения компетенций                                                                                                                                                                                                    | Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ОПК-1.ММ.</b>                  | <b>ММ-ОПК-1. И-1.</b> Использует на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих направленность подготовки, при решении исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности.         | <b>Знать:</b> теоретические основы интерпретации аномалий силы тяжести и магнитного поля.<br><b>Уметь:</b> выбирать необходимые методы для решения определенных задач интерпретации аномальных гравитационных и магнитных полей.<br><b>Владеть:</b> методами геофизической и геологической интерпретации аномальных гравитационных и магнитных полей с применением современного вычислительного программного обеспечения |
| <b>ОПК-3.ММ.</b>                  | <b>ММ.ОПК-3. И-1.</b> Владеет навыками самостоятельного получения результатов при решении задач профессиональной деятельности.<br><b>ММ.ОПК-3. И-2.</b> Объективно оценивает полученные результаты, обобщает их, формулирует выводы. | <b>Знать:</b> методы и подходы к интерпретации аномалий силы тяжести и магнитного поля.<br><b>Уметь:</b> применять методы интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки для решения геолого-геофизических задач.                                                                                                                                                                                                  |

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

**4. Объем дисциплины 2 з.е., в том числе 28 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (лекции 20, семинары 8), 44 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 видов учебных занятий.**

| <b>Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины</b><br><br><b>Форма промежуточной аттестации по дисциплине</b> | <b>Всего (часы)</b> | <b>В том числе</b>                                                                                                    |                            |                           |              |                                                                                        |                                                   |                     |                                |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
|                                                                                                                               |                     | <b>Контактная работа</b><br><b>(работа во взаимодействии с преподавателем)</b><br><i>Виды контактной работы, часы</i> |                            |                           |              | <b>Самостоятельная работа обучающегося</b><br><i>Виды самостоятельной работы, часы</i> |                                                   |                     |                                |              |
|                                                                                                                               |                     | Занятия лекционного типа                                                                                              | Занятия лабораторного типа | Занятия семинарского типа | <b>Всего</b> | Расчетно-графические работы                                                            | Работа с литературой (включая подготовку доклада) | Подготовка реферата | Подготовка контрольному опросу | <b>Всего</b> |
| Раздел 1. Введение.                                                                                                           | <b>7</b>            | 2                                                                                                                     |                            |                           | <b>2</b>     | 5                                                                                      |                                                   |                     |                                | <b>5</b>     |
| Раздел 2. Решение прямых двухмерных задач гравirazведки и магниторазведки на основе ТФКП.                                     | <b>11</b>           | 2                                                                                                                     |                            | 2                         | <b>4</b>     | 2                                                                                      |                                                   | 2                   | 3                              | <b>7</b>     |
| Раздел 3. Прямая задача для трехмерных моделей                                                                                | <b>11</b>           | 4                                                                                                                     |                            | 2                         | <b>6</b>     | 5                                                                                      |                                                   |                     |                                | <b>5</b>     |
| Раздел 4. Численные методы решения прямых задач гравirazведки и магниторазведки для сложно построенных геологических сред     | <b>8</b>            | 2                                                                                                                     |                            | 1                         | <b>3</b>     | 5                                                                                      |                                                   |                     |                                | <b>5</b>     |
| Раздел 5. Методы выделения полезного сигнала. Корреляционно-                                                                  | <b>12</b>           | 4                                                                                                                     |                            | 1                         | <b>5</b>     | 2                                                                                      |                                                   | 2                   | 3                              | <b>7</b>     |

|                                                                                                                                                                       |           |                       |  |   |          |           |  |   |   |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|--|---|----------|-----------|--|---|---|----------|
| регрессионный анализ и его применение при обработке потенциальных полей                                                                                               |           |                       |  |   |          |           |  |   |   |          |
| Раздел 6. Линейная фильтрация потенциальных полей. Спектральные характеристики гравитационных и магнитных аномалий                                                    | <b>14</b> | 4                     |  | 1 | <b>5</b> | 5         |  | 2 | 2 | <b>9</b> |
| Раздел 7. Эквивалентность, единственность и неустойчивость решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Метод особых точек, методы подбора и регуляризации | <b>9</b>  | 2                     |  | 1 | <b>3</b> |           |  | 2 | 4 | <b>6</b> |
| Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>                                                                                                                               | <b>0</b>  | <i>Устный экзамен</i> |  |   |          | <b>0</b>  |  |   |   |          |
| <b>Итого</b>                                                                                                                                                          | <b>72</b> | <b>28</b>             |  |   |          | <b>44</b> |  |   |   |          |

## **Развернутое содержание тем разделов дисциплины**

### **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).

### **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.

## **6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине:**

### **6.1. Примерный перечень типовых вопросов при текущей аттестации при проведении контрольных работ и докладов по темам рефератов:**

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;

**6.2. Примерный перечень типовых 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.

### 6.3. Шкала и критерии оценивания

| Результаты обучения,<br>соответствующие виды<br>оценочных средств                                                                  | «Неудовлетворительно»       | «Удовлетворительно»                                                                              | «Хорошо»                                           | «Отлично»                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Знания</b> теоретических основ интерпретации аномалий силы тяжести и магнитного поля.<br>(устный опрос)                         | Знания отсутствуют          | Фрагментарные знания                                                                             | Общие, но не структурированные знания              | Систематические знания              |
| <b>Умения</b> пользоваться методами и программами для интерпретации аномальных гравитационных и магнитных полей.<br>(устный опрос) | Умения отсутствуют          | В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы. | Успешное умение.                    |
| <b>Владения, опыт деятельности</b> геофизической и геологической интерпретации                                                     | Навыки владения отсутствуют | Фрагментарное владение методами, наличие отдельных навыков.                                      | В целом сформированные навыки.                     | Свободное владение и использование. |

|                                                                                                                                                         |  |  |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| аномальных<br>гравитационных и<br>магнитных полей с<br>применением<br>современного<br>вычислительного<br>программного<br>обеспечения.<br>(устный опрос) |  |  |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|

## 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](http://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:

- лицензионное:

программы Microsoft PowerPoint, Microsoft Word;

- нелицензионные и свободного доступа:

пакет программ Open Office;

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:**

Помещения – компьютерный класс, рассчитанный на группу из 15 учащихся;

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

### **8. Язык преподавания:** русский

**9. Преподаватели:** проф Булычев А.А. (ответственный по дисциплине), доц. Кузнецов К.М., доц. Лыгин И.В., доц. Золотая Л.А., Доц. Коснырева М.В.

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