

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:

Прямая и обратная задачи гравиразведки и магниторазведки

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

05.04.01. Геология

Магистерская программа:

Малоглубинная и глубинная 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. Базируется на знаниях по дисциплинам «Комплексирование геофизических методов», «Теоретические основы обработки геофизических сигналов», «Некорректные задачи геофизики», «Гравиразведка», «Магниторазведка», «Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий», «Компьютерные технологии в геофизике», «Информатика».

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

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
ОПК-2.М.	М.ОПК-2. И-1. Использует на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки, при решении исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности.	<i>Знать:</i> подходы и методы решения прямых и обратных задач гравиразведки и магниторазведки. <i>Уметь:</i> математически описать физическое поле, создаваемое различными источниками, выполнять математическое моделирование физических полей, выделять полезную составляющую из наблюдаемого сигнала, находить параметры объектов, создающие исходные поля
ОПК-6.М.	М.ОПК-6. И-1. Выбирает способы обработки данных и программные средства для решения задач профессиональной деятельности с учетом основных требований информационной безопасности.	<i>Знать:</i> подходы к применению современных вычислительных технологий прямых и обратных задач гравиразведки и магниторазведки. <i>Уметь:</i> программно реализовывать алгоритмы решения прямых и обратных задачи гравиразведки и магниторазведки. <i>Владеть:</i> методами решения прямой и обратной задач гравиразведки и магниторазведки с применением современного вычислительного программного обеспечения.

СПК-2.М(1).	М.СПК-2 И-1 Владеет навыками построения оптимального комплекса геофизических методов для решения геологических задач М.СПК-2 И-2 Знает основы устройства современных геофизических аппаратурно-программных комплексов и их применения для решения геологических задач.	Знать: подходы и методы решения прямых и обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Уметь: математически описать физическое поле, создаваемое различными источниками, выполнять математическое моделирование физических полей, выделять полезную составляющую из наблюдаемого сигнала, находить параметры объектов, создающие исходные поля
-------------	--	--

4. Объем дисциплины 3 з.е., в том числе 56 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (лекции 28, лабораторные работы 10, семинары 18), 52 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.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, Форма промежуточной аттестации по дисциплине	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. Понятие прямой задачи гравirazведки и магниторазведки	10	2		2	4	6				6
Раздел 2. Преобразование систем координат, формулы понижения кратности интегралов. Прямая задача гравиметрии и магнитометрии для произвольных однородных многогранников	14	4	2	2	8	6				6
Раздел 3. Применение теории функции комплексной переменной при решении прямых двухмерных	14	4	2	2	8	6			5	11

задач гравиразведки и магниторазведки										
Раздел 4. Представление элементов гравитационного и магнитного полей рядами. Спектральное представление	14	4	2	2	8	6				6
Раздел 5. Численные методы расчета гравитационных и магнитных аномальных полей	14	6		2	8	6			5	11
Раздел 6. Способы обнаружения и разделения аномалий. Трансформации полей	18	6	2	4	12	6				6
Раздел 7. Вопросы единственности и устойчивости решения обратных задач. Способы решения линейной и нелинейной обратной задачи, особые точки	14	4	2	2	8			6		6
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	0	<i>Устный экзамен*</i>				0				
Итого	108	56				52				

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

Развернутое содержание тем и разделов дисциплины

Содержание лекций

Раздел 1. Введение. Понятие прямой задачи гравиразведки и магниторазведки

Краткое описание курса. Рекомендуемая литература. Основные определения прямых и обратных задач гравиразведки и магниторазведки, единицы измерения. Описание аналитического и численного подходов к их решению. Основные интегральные соотношения и гравитационные и магнитные эффекты элементарных источников. Описание принципов построения моделей среды, отражающих физико-геологическую ситуацию. Описывается влияние детальности модели на результаты численного решения прямых задач. Некорректность обратной задачи гравиразведки и магниторазведки.

Раздел 2. Преобразование систем координат, формулы понижения кратности интегралов. Прямая задача гравиметрии и магнитометрии для произвольных однородных многогранников

Рассматривается математический аппарат 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. Применение теории функции комплексной переменной при решении прямых двухмерных задач гравиразведки и магниторазведки

Вводится понятие комплексной напряженности гравитационного и магнитного полей. Рассматривается поле притяжения и магнитное поле двумерного точечного источника (бесконечной материальной линии). Описываются комплексные потенциалы и их производные для модели бесконечной материальной линии. Рассматривается теорема Пуассона о связи гравитационного и магнитного полей. Выводятся комплексные напряженности гравитационного и магнитного полей от элементарных моделей и многоугольников.

Раздел 4. Спектральное представление элементов гравитационного и магнитного полей

Рассматривается представление гравитационных и магнитных аномалий с помощью интегралов Фурье (спектральных функций). Основы преобразования Фурье, и его основные свойства. Выводятся спектры аномальных эффектов для материальной тонкой линии. Рассматриваются спектральные характеристики производных потенциала. Рассматриваются основы вычисления аномальных эффектов для сред со сложным распределением плотности и намагниченности на основе уравнения типа свертки.

Раздел 5. Численные методы расчета гравитационных и магнитных аномальных полей

Рассматриваются особенности численных решений прямых задач гравиразведки и магниторазведки. Описываются источники погрешности вычислений. Рассматриваются примеры для описания погрешности метода получения результата. Рассматривается погрешность округления при реализации на ЭВМ. Рассматриваются особенности аппроксимации моделей распределения плотности и намагниченности, влияние избыточной и недостаточной детализации модели. Описываются подходы к ускорению вычисления на основе применения дискретного преобразования Фурье.

Раздел 6. Способы обнаружения и разделения аномалий. Трансформации полей

Рассматриваются подходы к разделению гравитационных и магнитных полей на составляющие. Геологическое редуцирование. Расчет эффекта от известных геологических объектов. Корреляционные и регрессионные методы в задаче выделения полезной аномальной составляющей. Линейные трансформации (фильтрация) на основе сведений о частотном составе полей и их составляющих. Аппроксимационные способы – на основе общих представлений о характере источников и самого поля (истокообразная аппроксимация, полиномиальная и т.п.).

Раздел 7. Вопросы единственности и устойчивости решения обратных задач. Способы решения линейной и нелинейной обратной задачи, особые точки

Рассматриваются основные определения обратной задачи гравиразведки и магниторазведки. Линейная и нелинейная постановка обратной задачи. Поиск плотности или намагниченности объектов на основе минимизации функционала Тихонова. Поиск геометрии объектов на основе минимизации функционала Тихонова. Рассматриваются примеры решения обратных задач. Рассматривается классификация методов решения обратной задачи. Методы особых точек. Применение регуляризирующих алгоритмов при трансформациях гравитационного и магнитного полей.

План проведения семинаров.

1. Написание программ расчета прямой задачи гравиразведки и магниторазведки для тел простой геометрической формы;
2. Преобразование систем координат, формулы понижения кратности интегралов при решении прямой задачи гравиметрии и магнитометрии для произвольных однородных многогранников;
3. Применение теории функции комплексной переменной при решении прямых двухмерных задач гравиразведки и магниторазведки;
4. Решение прямой задачи на основе уравнения типа свертки;
5. Численные методы расчета гравитационных и магнитных аномальных полей
6. Расчет трансформаций гравитационного и магнитного полей с целью выделения полезного сигнала
7. Изучение вопросов неустойчивости и эквивалентности решения обратной задачи грави- и магниторазведки.

Примерный перечень тем лабораторных работ:

1. Алгоритм вычисления аномального гравитационного и магнитного поля от системы источников простой формы;

2. Алгоритм вычисления аномального гравитационного и магнитного полей от многоугольника.
3. Алгоритм вычисления аномального гравитационного и магнитного полей от сложного распределения плотности и намагниченности на основе дискретной свертки;
4. Алгоритм выделения полезной составляющей сигнала на основе линейной фильтрации;
5. Определение параметров объектов, создающих аномальное поле.

Примерный перечень тем рефератов:

- 1 Методы регуляризации
- 2 Решение обратной задачи гравиразведки и магниторазведки в спектральной области
- 3 Метод полного нормированного градиента
- 4 Локализация особых точек на основе вейвлетов Пуассона
- 5 Деконволюция Эйлера
- 6 Деконволюция Вернера
- 7 Оценка положения особых точек по аналитическому сигналу гравитационного и магнитного полей
- 8 Метод главных компонент при решении обратной задачи гравиразведки и магниторазведки
- 9 Методы машинного обучения при решении обратных задач гравиразведки и магниторазведки
- 10 Решение линейных обратных задач гравиразведки и магниторазведки
- 11 Решение обратной задачи гравиразведки с переменной скоростью градиентного спуска
- 12 Определение глубины до субгоризонтальных границ раздела по гравитационному или магнитному полям через логарифм спектра
- 13 Оценка параметров аномалиеобразующих объектов на основе метода Андреева
- 14 Оценка параметров аномалиеобразующих объектов на основе метода Приезжева
- 15 Автоматизированный метод построения объемной модели распределения плотности и намагниченности
- 16 Монтажный метод
- 17 Решение прямой задачи гравиразведки с учетом сферичности Земли
- 18 Применение сферических гармоник в гравиразведке и магниторазведке
- 19 Применение метода сопряженных градиентов при решении обратных задач гравиразведки и магниторазведки
- 20 Методика ГОНГ (Гравиметрическое обнаружение нефти и газа)

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 и магнитного поля сферы;
2. Основные соотношения для элементов гравитационного поля и магнитного поля бесконечного материального стержня;
3. Соотношение Пуассона о связи гравитационного и магнитного потенциала для изолированного источника;
4. Преобразование системы координат при решении прямой задачи гравиразведки и магниторазведки;
5. Формулы понижения кратности интегралов. Примеры их использования при решении прямых задач гравиразведки и магниторазведки;
6. Алгоритм решения прямой задачи гравиразведки для многоугольника с постоянной плотностью;
7. Алгоритм решения прямой задачи магниторазведки для многоугольника с постоянной намагниченностью;
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;
11. Комплексная напряженность гравитационного и магнитного поля от кругового горизонтального цилиндра;
12. Комплексная напряженность гравитационного и магнитного поля от тонкого пласта;
13. Комплексная напряженность гравитационного поля от многоугольника с постоянной плотностью;
14. Понятие и примеры трансформации потенциальных полей;
15. Полиномиальное сглаживание поля методом наименьших квадратов;
16. Метод главных компонент выделения региональной составляющей поля;
17. Понятие о линейной фильтрации. Фильтрация в пространственной и частотной областях;
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. Аппроксимационные подходы к разделению полей;
25. Обратные задачи. Примеры эквивалентности и неустойчивости решений;

26. Линейная и нелинейная обратная задача гравиразведки и магниторазведки.

6.2. Примерный перечень типовых 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. 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.
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. Общие принципы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий, задача выделения полезного сигнала. Понятие трансформации поля.
14. Полиномиальное сглаживание поля методом наименьших квадратов (регрессионный анализ). Метод корреляционно-регрессионного сглаживания поля.
15. Метод главных компонент выделения региональной составляющей поля.
16. Понятие о линейной фильтрации. Фильтрация в пространственной и частотной областях. Пример низкочастотной фильтрации.
17. Оптимальные фильтры. Фильтр Колмогорова-Винера.
18. Оптимальные фильтры. Согласованный фильтр.
19. Оптимальные фильтры. Энергетический фильтр.
20. Трансформации потенциальных полей на основе интеграла Пуассона.
21. Редукция магнитных аномалий к полюсу.
22. Неустойчивые трансформации потенциальных полей. Способы решения.

23. Аппроксимационные подходы к разделению полей.
 24. Обратные задачи. Примеры эквивалентности и неустойчивости решений.
 25. Линейная и нелинейная обратная задача гравиразведки и магниторазведки.

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 (<i>устный опрос</i>)	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 (<i>устный опрос</i>)	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы.	Успешное умение.
Владения, опыт деятельности решения прямой и обратной задач	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методами, наличие отдельных навыков.	В целом сформированные навыки.	Свободное владение и использование

гравиразведки магниторазведки применением современных вычислительных технологий (устный опрос)	и с				
--	--------	--	--	--	--

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:

- 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: доц. Кузнецов К.М. (ответственный по дисциплине), проф. Булычев А.А., доц. Лыгин И.В.

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