

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:

Прямые и обратные задачи электромагнитных зондирований

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 № 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: 2025.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса "Прямые и обратные задачи электромагнитных зондирований" является приобретение навыков использования и развития методов и программного обеспечения для моделирования и интерпретации магнитотеллурических данных.

Задачи - изучение особенностей решения прямых одномерной и многомерных задач магнитотеллурического зондирования, возможностей и методики математического моделирования данных этого метода, различных подходов к интерпретации магнитотеллурических данных.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В рамках данного курса студенты изучают теорию и практически выполняют несколько задач, связанных с моделированием, трансформацией и интерпретацией данных магнитотеллурического зондирования (МТЗ) в средах различной размерности. Решается одномерная прямая задача МТЗ, выполняется трансформация кривых МТЗ, построение и S-интерпретация кривых МТЗ, моделирование МТ-поля в двумерной и трёхмерной среде.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП. Относится к профильному блоку вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору. Курс магистратуры – 1, семестр – 2.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия. Базируется на знаниях по дисциплинам «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Вычислительная математика», «Информатика», «Теория геофизических полей», «Электроразведка», «Некорректные задачи геофизики», «Интерпретация данных электроразведки», «Теория электромагнитных зондирований», «Электромагнитные зондирования при решении глубинных задач».

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-6.М	М.ОПК-6.И-1. Выбирает способы обработки данных и программные средства для решения задач	Знать: возможности современных вычислительных методов и компьютерных технологий при применении электромагнитных зондирований.

	профессиональной деятельности с учетом основных требований информационной безопасности.	Уметь: выбирать способы обработки и интерпретации данных и программные средства для применения электромагнитных зондирований; Владеть: аналитическими и численными методами решения прямых одномерных и многомерных задач электромагнитных зондирований.
ПК-6.М	М.ПК-6.И-2. Применяет методы обработки и комплексной интерпретации информации с использованием стандартных и специализированных программных пакетов.	Знать: современные методы обработки и интерпретации данных электромагнитных зондирований. Уметь: применять методы обработки и интерпретации данных электромагнитных зондирований с использованием специализированных программных пакетов. Владеть: навыками разработки и применения специализированных программных пакетов для моделирования и интерпретации данных электромагнитных зондирований.
СПК-3.М	М.СПК-3.И-1. Владеет методами обработки и интерпретации данных гравirazведки, магниторазведки и электроразведки с учётом априорной геолого-геофизической информации.	Знать: теорию решения прямых и обратных задач электромагнитных зондирований. Уметь: проводить моделирование и интерпретацию данных электромагнитных зондирований. Владеть: навыками применения и развития методов и программного обеспечения при решении прямых и обратных задач электромагнитных зондирований.

4. Объем дисциплины 2 з.е., в том числе 26 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 46 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет.

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	Всего	Расчетно-графические работы	Всего
Раздел 1. Одномерная прямая задача МТЗ	5	5	5		
Текущая аттестация 1: выполнение и сдача РГ работы	8			8	8
Раздел 2. Трансформации кривых МТЗ	5	5	5		
Текущая аттестация 2: выполнение и сдача РГ работы	8			8	8
Раздел 3. Построение и S-интерпретация кривых МТЗ	5	5	5		
Текущая аттестация 3: выполнение и сдача РГ работы	8			8	8
Раздел 4. Моделирование МТ поля в двухмерной среде	5	5	5		
Текущая аттестация 4: выполнение и сдача РГ работы	8			8	8
Раздел 5. Решение прямой трёхмерной задачи ЗСБ	6	6	6		
Текущая аттестация 5: выполнение и сдача РГ работы	8			8	8
Промежуточная аттестация	6	<i>Устный зачёт</i>		6	
Итого	72	26		46	

РАЗВЕРНУТОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

(1) Одномерная прямая задача МТЗ

1. Уравнения, описывающие МТ поле в горизонтально-однородной среде.
2. Плоское поле в однородном полупространстве. Длина волны, толщина скин-слоя.
3. Амплитудные и фазовые кривые МТЗ, их связь друг с другом.
4. Рекуррентная формула для расчета импеданса на поверхности слоистой среды.
5. Особенности прямых одномерных задач методов электромагнитного зондирования.

(2) Трансформации кривых МТЗ

1. Определение интегральных характеристик среды по кривым МТЗ.
2. Отличие методов трансформации от методов интерпретации.
3. Трансформация Ниблетта.
4. Трансформации Молочнова – Ле Вьета и Шмукера – Ле Вьета.
5. Связь алгебраических и дифференциальных трансформаций.

(3) Построение и S-интерпретация кривых МТЗ

1. Тензор импеданса, эффективный импеданс.
2. Выбор оптимального параметра сглаживания кривых МТЗ.
3. Гальванические и индукционные искажения кривых МТЗ.
4. Идея метода контролируемой трансформации.
5. Эквивалентные разрезы, зависимости интегральной проводимости от глубины.

(4) Моделирование МТ поля в двумерной среде

1. Методы решения прямых задач электроразведки, математическое моделирование.
2. Е- и Н-поляризации, механизмы образования аномалий.
3. Постановка краевой задачи, её конечно-разностная аппроксимация.
4. Контроль точности моделирования.
5. Сопоставление Е- и Н-поляризованных, локально-нормальной и фоновой кривых.

(5) Решение прямой трёхмерной задачи ЗСБ

1. Метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ).
2. Установки, применяемые в методе ЗСБ.
3. Особенности трёхмерной прямой задачи метода ЗСБ.
4. Технология работы с программой FIEM_3D.
5. Способы анализа результатов 3D моделирования ЗСБ.

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

6.1. Примерный перечень вопросов по промежуточной аттестации (оценка расчетно-графических работ):

1. Модель Тихонова - Каньяра.
2. Уравнения, описывающие МТ-поле в горизонтально-слоистой среде.
3. Волновое число.
4. Плоское поле в однородном полупространстве. Длина волны, толщина скин-слоя.
5. Импеданс в однородном полупространстве.
6. Амплитудные и фазовые кривые МТЗ.
7. Высокочастотная и низкочастотная асимптотика кривых МТЗ.
8. Связь амплитудных и фазовых кривых.
9. Рекуррентная формула для расчета импеданса на поверхности слоистой среды.
10. Приведенный импеданс.
11. Особенности прямой одномерной задачи МТЗ по сравнению с прямыми одномерными задачами ВЭЗ и ЧЗ.
12. Общий граф обработки и интерпретации данных МТЗ.
13. Принцип эквивалентности для разных методов зондирования.
14. Определение интегральных характеристик среды по кривым МТЗ.
15. Сущность трансформаций кривых МТЗ.
16. Отличие методов трансформации от методов интерпретации.
17. Почему в МТЗ методы трансформаций распространены, а в ВЭЗ - нет?
18. Трансформация Ниблетта.
19. На чем основаны трансформации Молочнова - Ле Вьета и Шмукера - Ле Вьета?
20. Связь алгебраических и дифференциальных трансформаций.
21. Разностный расчет тангенса угла наклона кривой кажущегося сопротивления.

22. Импеданс, тензор импеданса, эффективный импеданс, кривые МТЗ.
23. Получение компонент тензора импеданса на некоторой частоте из записей МТ-поля.
24. Причина резких отскоков в значениях тензора импеданса.
25. Сглаживающий сплайн.
26. Выбор оптимального параметра сглаживания как пример решения обратной задачи.
27. В каких четвертях комплексной плоскости лежат компоненты тензора импеданса?
28. Как соотносятся величины основных и вспомогательных компонент тензора импеданса?
29. Как соотносятся погрешности наблюдения основных и дополнительных компонент?
30. Гальванические и индукционные искажения кривых МТЗ.
31. Способы нормализации кривых МТЗ.
32. Методы одномерной интерпретации.
33. Эквивалентные разрезы.
34. Связь кривой $S(z)$ с параметрами разреза.
35. Идея метода контролируемой трансформации.
36. Правила интерпретации кривых $S(z)$.
37. Методы решения прямых задач электроразведки.
38. Математическое моделирование электромагнитных полей.
39. МТ-поле в двумерно-неоднородной среде.
40. Механизмы образования аномалий и характер их затухания для случаев Е-поляризации и Н-поляризации.
41. Постановка краевой задачи.
42. Конечно-разностная аппроксимация краевой задачи.
43. Решение системы линейных алгебраических уравнений.
44. Контроль точности моделирования.
45. Объяснить характер аномалий для Е-поляризации и Н-поляризации.
46. К чему приводит формальная одномерная интерпретация кривых, отвечающих двумерной модели.

6.2. Примерный перечень вопросов по промежуточной аттестации (зачет):

1. Уравнения, описывающие МТ поле в горизонтально-однородной среде.
2. Плоское поле в однородном полупространстве. Длина волны, толщина скин-слоя.
3. Амплитудные и фазовые кривые МТЗ, их связь друг с другом.

4. Рекуррентная формула для расчета импеданса на поверхности слоистой среды.
5. Особенности прямых одномерных задач методов электромагнитного зондирования.
6. Определение интегральных характеристик среды по кривым МТЗ.
7. Отличие методов трансформации от методов интерпретации.
8. Трансформация Ниблетта.
9. Трансформации Молочнова – Ле Вьета и Шмукера – Ле Вьета.
10. Связь алгебраических и дифференциальных трансформаций.
11. Тензор импеданса, эффективный импеданс.
12. Выбор оптимального параметра сглаживания кривых МТЗ.
13. Гальванические и индукционные искажения кривых МТЗ.
14. Идея метода контролируемой трансформации.
15. Эквивалентные разрезы, зависимости интегральной проводимости от глубины.
16. Методы решения прямых задач электроразведки, математическое моделирование.
17. Е- и Н-поляризации, механизмы образования аномалий.
18. Постановка краевой задачи, её конечно-разностная аппроксимация.
19. Контроль точности моделирования.
20. Сопоставление Е- и Н-поляризованных, локально-нормальной и фоновой кривых.
21. Метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ).
22. Установки, применяемые в методе ЗСБ.
23. Особенности трёхмерной прямой задачи метода ЗСБ.
24. Технология работы с программой FIEM_3D.
25. Способы анализа результатов 3D моделирования ЗСБ.

6.3. Шкала и критерии оценивания

Оценка результатов обучения	Незачет	Зачет
Знания теории решения прямых и обратных задач электромагнитных зондирований (<i>устный опрос</i>)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения проводить моделирование и интерпретацию данных электромагнитных зондирований (<i>устный опрос</i>)	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)

Навыки (владения, опыт деятельности) применения и развития методов и программного обеспечения при решении прямых и обратных задач электромагнитных зондирований (<i>устный опрос</i>)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме
---	--	---

7. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная

- 1) Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. Москва, Недра, 1992, 250 с.
- 2) Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. Москва, Диалог-МГУ, 1997, 161 с.
- 3) Пушкарев П.Ю. Прямые и обратные задачи электромагнитных зондирований Земли. Петропавловск-Камчатский, Изд-во Новая книга, 2022, 144 с.

Дополнительная

- 1) Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г. Одномерная прямая задача МТЗ. М: МГУ, 1999. 17 с.
- 2) Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г. Трансформации кривых МТЗ. М: МГУ, 1999. 14 с.
- 3) Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г. Построение и S-интерпретация кривых МТЗ. М: МГУ, 1999. 14 с.
- 4) Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г. Моделирование МТ-поля в двумерной среде методом конечных разностей. М: МГУ, 1999. 26 с.
- 5) Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Тригубович Г.М. Компьютерное моделирование геоэлектромагнитных полей в трехмерных средах методом конечных элементов. Физика Земли, 2011, № 2, с. 3-14.

8. Язык преподавания: русский

9. Преподаватели: доц. Яковлев А.Г., проф. Пушкарев П.Ю. (ответственный за дисциплину – Пушкарев П.Ю.)

10. Разработчики программы: доц. Яковлев А.Г., проф. Пушкарев П.Ю.