

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/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Прямые и обратные задачи электромагнитных зондирований**

**Forward and inverse problems of electromagnetic soundings**

Авторы-составители: Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г.

**Уровень высшего образования:**

*Магистратура*

**Направление подготовки:**

**05.04.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Геофизика**

**Магистерская программа:**

**«Малоглубинная и глубинная геофизика»**

Форма обучения:

*Очная*

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Учебно-методическим Советом Геологического факультета

(протокол № \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_)

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 бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова от \_\_ декабря 2021 года (протокол №\_\_).

Год приема на обучение: 2021

## 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 – I магистратуры, 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	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями
<b>ОПК-6.М.</b> Способен использовать современные вычислительные методы и компьютерные технологии для решения задач профессиональной деятельности (формируется частично).	<b>М.ОПК-6.И-1.</b> Выбирает способы обработки данных и программные средства для решения задач профессиональной деятельности с учетом основных требований информационной безопасности.	<b>Знать:</b> возможности современных вычислительных методов и компьютерных технологий при применении электромагнитных зондирований. <b>Уметь:</b> выбирать способы обработки и интерпретации данных и программные средства для применения электромагнитных зондирований; <b>Владеть:</b> аналитическими и численными методами решения прямых одномерных и многомерных задач электромагнитных зондирований.
<b>ПК-6.М.</b> Способен использовать современные методы обработки и интерпретации комплексной информации для решения	<b>М.ПК-6.И-2.</b> Применяет методы обработки и комплексной интерпретации информации с использованием стандартных и	<b>Знать:</b> современные методы обработки и интерпретации данных электромагнитных зондирований. <b>Уметь:</b> применять методы обработки и интерпретации данных электромагнитных зондирований с использованием специализированных программных пакетов. <b>Владеть:</b> навыками разработки и

производственных задач (формируется частично).	специализированных программных пакетов.	применения специализированных программных пакетов для моделирования и интерпретации данных электромагнитных зондирований.
<b>СПК-3.М.</b> Способен применять современные методы обработки и интерпретации комплексной геологической, гравиметрической, магниторазведочной и электроразведочной информации для решения сложных геологических задач (формируется частично).	<b>М.СПК-3.И-1.</b> Владеет методами обработки и интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и электроразведки с учётом априорной геолого-геофизической информации.	<b>Знать:</b> теорию решения прямых и обратных задач электромагнитных зондирований. <b>Уметь:</b> проводить моделирование и интерпретацию данных электромагнитных зондирований. <b>Владеть:</b> навыками применения и развития методов и программного обеспечения при решении прямых и обратных задач электромагнитных зондирований.

**4. Объем дисциплины** составляет 3 з.е., в том числе 26 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (лекции и лабораторные занятия вместе), 82 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,  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	Всего	Расчетно-графические работы	Всего
Раздел 1. Одномерная прямая задача МТЗ	<b>6</b>	4	2	<b>6</b>		
Текущая аттестация 1. сдача РГ работы	<b>12</b>				12	<b>12</b>
Раздел 2. Трансформации кривых МТЗ	<b>4</b>	2	2	<b>4</b>		
Текущая аттестация 2: сдача РГ работы	<b>12</b>				12	<b>12</b>
Раздел 3. Построение и S-интерпретация кривых МТЗ	<b>6</b>	4	2	<b>6</b>		
Текущая аттестация 3: сдача РГ работы	<b>12</b>				12	<b>12</b>
Раздел 4. Моделирование МТ поля в двухмерной среде	<b>6</b>	4	2	<b>6</b>		
Текущая аттестация 4: сдача РГ работы	<b>12</b>				12	<b>12</b>
Раздел 5. Моделирование МТ поля в трёхмерной среде	<b>4</b>	4		<b>4</b>		
Текущая аттестация 5: сдача РГ работы	<b>12</b>				12	<b>12</b>
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	<b>22</b>	<i>Устный экзамен</i>				<b>22</b>
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>26</b>				<b>82</b>

## 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). Моделирование МТ-поля в трёхмерной среде

1. Особенности трёхмерной прямой задачи магнитотеллурики.
2. Технология работы с программой МТЗDFwd.
3. Анализ параметров неоднородности и асимметрии.
4. Анализ полярных диаграмм и индукционных стрелок.
5. Устойчивость компонент данных к двумерной аппроксимации трёхмерных структур.

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

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

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом расчетно-графических работ.

### 7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

*Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамене)* совпадает со списком пунктов, представленным в разделе 6, «Содержание лекций».

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

Результаты соответствующие оценочных средств обучения, виды	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания теории решения прямых и обратных задач	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированы	Систематические знания

электромагнитных зондирований (письменный или устный опрос)			ные знания	
<b>Умения</b> проводить моделирование и интерпретацию данных электромагнитных зондирований (письменный или устный опрос)	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неприципальные неточности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
<b>Навыки владения</b> применения и развития методов и программного обеспечения при решении прямых и обратных задач электромагнитных зондирований (письменный или устный опрос)	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки	Свободное владение и использование

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература:

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.

#### - дополнительная литература:

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. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М: Научный мир, 2009, 680 с.
6. Жданов М.С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. М: Научный мир, 2012. 680 с.

## 9. Язык преподавания – русский.

## 10. Преподаватели

Ответственный за курс: Пушкарев Павел Юрьевич.

Преподаватели: Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г.

## 11. Разработчики программы: Пушкарев П.Ю., профессор; Яковлев А.Г., доцент.