

«УТВЕРЖДАЮ»
Декан геологического факультета МГУ
академик Д.Ю. Пущаровский
«2» сентября 2015 года



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МАГНИТОТЕЛЛУРИКИ

Уровень высшего образования

ПОДГОТОВКА НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

Направление подготовки: **05.06.01. Науки о Земле**

Направленность программы *Геофизика, геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых.*

Квалификация:

Исследователь. Преподаватель-исследователь.

МОСКВА 2015

1. Код и наименование дисциплины – **Модели и методы магнитотеллурики.**

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки **05.06.01. «Науки о Земле»**

Направленность программы *Геофизика, геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых.*

4. Место дисциплины в структуре ООП: **относится к вариативной части ОПОП, дисциплина по выбору для освоения в 3 семестре второго года обучения**

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)
(заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
<i>способностью к принятию самостоятельных мотивированных решений в нестандартных ситуациях и готовность нести ответственность за их последствия (УК-6).</i>	З(УК-6) Знать нормативно-правовые документы, регламентирующие организацию и содержание геофизических работ на различных геологических объектах
	У (УК-6) Уметь осуществлять отбор и использовать оптимальные методы геофизических исследований

<i>способность самостоятельно формулировать цели исследований, устанавливать последовательность решения профессиональных задач (ОПК-2);</i>	З(ОПК-2) Знать основы построения оптимального комплекса геофизических исследований геологических объектов
	У(ОПК-2) Уметь обоснованно выбрать оптимальный комплекс геофизических исследований определенного геологического объекта
<i>умение профессионально выбирать и творчески использовать современное научное и техническое оборудование и компьютерные технологии, в том числе ГИС-технологии для решения научных и практических задач (ОПК-3);</i>	З(ОПК-3) Знать современное геофизическое оборудование и компьютерные технологии для выполнения геофизических исследований на изучаемых объектах
	У(ОПК-3) Уметь обоснованно применять оптимальный комплекс геофизических исследований на изучаемых объектах
<i>умение критически анализировать, представлять, защищать, обсуждать и распространять результаты своей профессиональной деятельности организовывать защиту прав на объекты интеллектуальной собственности (ОПК-4);</i>	З(ОПК-4) Знать принципы обработки и интерпретации геофизических исследований
	У(ОПК-4) Уметь грамотно представлять результаты геофизические исследования, защищать полученные результаты на различных уровнях

6. Объем дисциплины составляет 6 зачетных единицы, всего 216 часов, из которых 28 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (20 часов занятия семинарского типа, 4 часа индивидуальные консультации, 4 часа мероприятия промежуточной аттестации), 188 часа составляет самостоятельная работа обучающегося

7. Входные требования для освоения дисциплины : знание основ разведочной геофизики

8. Образовательные технологии: **дисциплина частично реализуется с использованием электронного обучения и дистанционных технологий.**

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических или астрономических 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) (часы)			Самостоятельная работа обучающегося (часы)	
		Занятия сем-кого типа	Инд-ные кон-ции	всего	домашние заданий	всего
<p>Тема 1.* О детерминированной природе импеданса</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Задача о поле плоской волны в слоистой среде, содержащей трёхмерную неоднородность: актуальность, постановка и основной результат. 2. Инварианты тензора импеданса по отношению к вращению системы координат. 3. Одномерная модель среды, поведение кривых магнитотеллурического зондирования в интервалах S и h. 4. Двухмерная модель среды, E- и H-поляризации. 5. Разложение тензора импеданса в модели суперпозиции структур. 6. Амплитудные и фазовые полярные диаграммы тензора импеданса. 7. Дисперсионные соотношения второго рода, случаи их нарушения. 8. Четыре вида классификации магнитотеллурических аномалий. 	34	2	0	2	32	32
<p>Тема 2.* Магнитотеллурические и магнитовариационные функции отклика.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Классическая задача о главных значениях и направлениях симметричного тензора. 2. Эллипсы электрического поля. 3. Постановка задачи об определении главных значений и направлений тензора $[Z]$. 	36	4	0	4	32	32

<ol style="list-style-type: none"> 4. Метод Свифта. 5. Метод Эггерса. 6. Метод Бара для разделения локальных и региональных эффектов. 7. Метод Грума-Бэйли. 8. Метод фазового тензора (Кэлдуэлла-Бибби-Брауна). 9. Матрица Визе-Паркинсона [W]. Выражение через тензор [Z]. Индукционные стрелки. 10. Вращение матрицы [W]. Инварианты. Полярные диаграммы. 11. Горизонтальный магнитный тензор [M]. Вращение, инварианты. 12. Метод Эггерса для определения главных значений и направлений тензора [M]. 13. Магнитный тензор Шмукера. Связь с [W] и [M]. Индукционные стрелки Шмукера. 14. Постановка задачи с учётом эффекта источника. Тензор обобщённого импеданса. 15. Аномальное магнитотеллурическое поле в воздухе. 16. Идея синтеза магнитотеллурического поля по [Z] и [W]. 						
<p>Тема 3.* Модели приповерхностных и глубинных структур</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 2D модель вертикального контакта двух однородных сред. 2. 2D модель дайки в однородном полупространстве. 3. 2D и 3D модели приповерхностных неоднородностей, создающих Р-эффект. 4. 2D модель с верхним слоем из двух сегментов. 5. 2D модель с верхним слоем из трёх сегментов. 6. 2D модель с заэкранированной неоднородностью. 7. 3D модель сферического цилиндра в верхнем слое. 8. 2D модели горста и грабена. 9. Влияние коровых проводников на компоненты поля и функции отклика. 10. Эффект экранирования и глубинный S-эффект на кривых магнитотеллурического зондирования. 11. Оценка возможности 2D аппроксимации 3D коровых аномалий. 12. Эквивалентность изотропных и анизотропных коровых проводников. 13. Влияние выступа астеносферы на компоненты поля и функции 	36	4	2	6	30	30

отклика. 14. Гальваническое и индукционное возбуждение астеносферы. 15. Оценка возможности 2D аппроксимации 3D мантийных аномалий. 16. Эквивалентность изотропных и анизотропных мантийных проводников. 17. Влияние разломов на чувствительность поля к приповерхностным неоднородностям и глубинным структурам.						
Тема 4.* Постановка обратной задачи 1. Построение нормального фонового разреза при решении обратной задачи. 2. Инверсия в классе двумерных моделей. 3. Инверсия в классе трёхмерных моделей. 4. Единственность обратной одномерной задачи. 5. Единственность обратной двумерной задаче по E-поляризации. 6. О неустойчивости решения обратной задачи. 7. Условно-корректная постановка обратной задачи. 8. Метод подбора. 9. Метод регуляризации.	34	4	0	4	30	30
Тема 5.* Интерпретационная модель 1. Распознавание статических искажений. 2. Усреднение кажущихся сопротивлений. 3. Фильтрация кажущихся сопротивлений. 4. Привязка кажущихся сопротивлений к реперу. 5. Метод динамической коррекции. 6. Трансформация Зохди. 7. Магнитовариационный тест. 8. Магнитотеллурический тест. 9. Визуализация геоэлектрических структур. 10. Псевдорельефы для модели суперпозиции структур.	36	4	2	6	30	30
Тема 6.* Стратегия инверсии 1. Сглаживающая и контрастная инверсии. 2. Квазиодномерная инверсия.	36	2	0	2	34	34

3. S-метод.						
4. Чувствительность E- и H-поляризации к геоэлектрическим структурам.						
5. Устойчивость E- и H-поляризации к трёхмерным искажениям.						
6. Два подхода к многокритериальной обратной задаче (на примере Тянь-Шаня).						
7. Интерпретация в режиме проверки гипотез (на примере Байкальской рифтовой зоны).						
8. Подведение итогов, основные выводы.						
Промежуточная аттестация**	4	-	4	4	-	-
Итого	216	20	8	28	188	188

*Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа или индивидуальных консультаций

** Промежуточная аттестация проходит в форме зачета

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине (модулю).

а) основная литература:

Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009. 680 с.

б) дополнительная литература:

1. Бердичевский М.Н., Жданов М.С. Интерпретация аномалий переменного электромагнитного поля Земли. М.: Недра, 1981. 327 с.
2. Спичак В.В. Магнитотеллурические поля в трёхмерных моделях геоэлектрики. М.: Научный мир, 1999. 204 с.
3. Bahr K., Simpson F. Practical magnetotellurics. Cambridge University Press, 2005. 270 p.

в) Интернет-ресурсы:

1. <http://mtnet.dias.ie/main/> - сайт магнитотеллурического научного сообщества.

11. Ресурсное обеспечение:

Для материально-технического обеспечения дисциплины Техническая геофизика используются: лаборатория электроразведки кафедры Геофизики, компьютерный класс отделения Геофизики, полевая электроразведочная аппаратура, специализированная аудитория с ПК и компьютерным проектором, библиотека Геологического факультета МГУ.

12. Язык преподавания - **русский**

13. Краткое содержание дисциплины (аннотация).

Рассматриваются магнитотеллурические и магнитовариационные функции отклика, анализируются их свойства, возможности оценки по ним размерности и направлений простирания геоэлектрических структур, разделения локальных и региональных эффектов. Исследуется поведение магнитотеллурического поля и функций отклика для различных геоэлектрических моделей. Подробно рассматриваются методы двумерной и трёхмерной интерпретации магнитотеллурических данных, использующие различные способы параметризации модели и учёта априорной информации, обсуждается выбор стратегии интерпретации данных.

14. Преподаватель (преподаватели) - **к.ф.-м.н. доцент Пушкарев Павел Юрьевич (pavel_pushkarev@list.ru)**

**Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Модели и методы магнитотеллурики»
на основе карт компетенций выпускников**

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине “Модели и методы магнитотеллурики” (критерии и показатели берутся из соответствующих карт компетенций, при этом пользуются БРС)					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
З(УК-6) Знать нормативно-правовые документы, регламентирующие организацию и содержание геофизических работ.	отсутствие знаний	фрагментарные представления о нормативно-правовых документах, регламентирующие организацию и содержание геофизических работ	сформированные представления о требованиях, предъявляемых к организации и содержанию геофизических работ	сформированные представления о требованиях к организации и содержанию геофизических работ на различных геологических объектах	Систематизированные знания о требованиях к организации и содержанию геофизических работ на различных геологических объектах	<i>индивидуальное собеседование</i>
У (УК-6) Уметь осуществлять отбор и использовать оптимальные методы геофизических исследований	отсутствие умений	фрагментарные представления об основных принципах геофизических исследований	сформированные представления об основных принципах геофизических исследований	сформированные представления об основных принципах комплексирования геофизических исследований	Системные знания об основных принципах комплексирования геофизических исследований, в том числе с учетом зарубежного опыта	<i>практические контрольные задания</i>
З(ОПК-2) Знать основы построения оптимального комплекса геофизических (магнито-	отсутствие знаний	Знает основные принципы комплексирования геофизических методов	Знает основные принципы комплексирования геофизических методов с учетом специфики	Знает основные принципы комплексирования геофизических методов и методов	В совершенстве знает принципы комплексирования геофизических методов с учетом специфики любых	<i>индивидуальное собеседование</i>

теллурических) исследований геологических объектов			некоторых геологических задач	магнитотеллурики с учетом специфики любых геологических задач	геологических задач	
У(ОПК-2) Уметь обоснованно выбрать оптимальный комплекс геофизических исследований при решении конкретной геологической задачи	отсутствие умений	осуществляет отбор и использование геофизических методов и процедур обработки результатов	осуществляет отбор и использование геофизических методов и процедур обработки с учетом специфики некоторых геологических задач	осуществляет отбор и использование геофизических методов и процедур обработки с учетом специфики любых геологических задач	осуществляет построение оптимального комплекса геофизических методов и процедур обработки с учетом специфики конкретной геологической задачи	<i>практические контрольные задания</i>
З(ОПК-3) Знать современное геофизическое оборудование и компьютерные технологии для выполнения геофизических исследований на технических объектах	отсутствие знаний	фрагментарные знания о работе и применении геофизической аппаратуры и процедур обработки	знает современное геофизическое оборудование и процедуры обработки для выполнения геофизических исследований на объектах	знает современное геофизическое оборудование и компьютерные технологии для выполнения геофизических исследований на геологических объектах	систематизированные знания геофизического оборудования и компьютерных технологий для выполнения геофизических исследований на любых геологических объектах	<i>индивидуальное собеседование</i>
У(ОПК-3) Уметь обоснованно применять оптимальный комплекс геофизических исследований	отсутствие умений	фрагментарные представления об основных принципах комплексирования МТ-методов с комплексом других геофизических исследований	сформированные представления об основных принципах комплексирования МТ-методов с комплексом других геофизических	сформированные представления об основных принципах обработки и интерпретации МТ-методов с комплексом других	Системные знания об основных принципах обработки и интерпретации МТ-методов с комплексом других геофизических исследований	<i>практические контрольные задания</i>

			исследований	геофизических исследований		
З(ОПК-4) Знать принципы обработки и интерпретации геофизических исследований	отсутствие знаний	фрагментарные представления о принципах обработки и интерпретации геофизических исследований	сформированные представления о принципах обработки и интерпретации геофизических исследований	сформированные представления о принципах обработки и интерпретации геофизических исследований на различных геологических объектах	систематизированные знания о принципах обработки и интерпретации геофизических исследований на конкретных геологических объектах	<i>индивидуальное собеседование</i>
У(ОПК-4) Уметь грамотно представлять результаты геофизические исследования на технических объектах, защищать полученные результаты на различных уровнях	отсутствие умений	фрагментарные представления о принципах представления результатов геофизических исследований	сформированные представления о принципах представления результатов геофизических исследований	сформированные представления о принципах представления результатов геофизических исследований (в том числе МТ-методов) на различных геологических объектах	систематизированные знания о принципах представления результатов геофизических исследований (в том числе МТ-методов) при решении конкретных геологических задач	<i>практические контрольные задания</i>

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примерные темы рефератов по разделам дисциплины

- (1). Основы измерения электрических сигналов
- (2). Обработка магнитотеллурических данных
- (3). Обсерваторские наблюдения электромагнитного поля
- (4). Одномерная прямая задача МТЗ
- (5). Трансформации кривых МТЗ
- (6). Построение и S-интерпретация кривых МТЗ
- (7). Моделирование МТ-поля в двумерной среде
- (8). Инверсия синтетических МТ данных
- (9). Глубинные МТ исследования
- (10). Малоглубинные электромагнитные исследования
- (11). Нефтегазовые электромагнитные исследования
- (12). Геотермальные МТ исследования

Контрольные вопросы и задания для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

В течение преподавания курса Модели и методы магнитотеллурики в качестве форм текущего контроля успеваемости студентов используются такие формы, как заслушивание и оценка доклада по теме реферата, собеседование, промежуточное тестирование. По итогам обучения проводится зачет.

Контрольные вопросы:

(1). О детерминированной природе импеданса

1. Задача о поле плоской волны в слоистой среде, содержащей трёхмерную неоднородность: актуальность, постановка и основной результат.
2. Инварианты тензора импеданса по отношению к вращению системы координат.
3. Одномерная модель среды, поведение кривых магнитотеллурического зондирования в интервалах S и h.
4. Двухмерная модель среды, E- и H-поляризации.
5. Разложение тензора импеданса в модели суперпозиции структур.
6. Амплитудные и фазовые полярные диаграммы тензора импеданса.

7. Дисперсионные соотношения второго рода, случаи их нарушения.
8. Четыре вида классификации магнитотеллурических аномалий.

(2). Магнитотеллурические и магнитовариационные функции отклика

9. Классическая задача о главных значениях и направлениях симметричного тензора.
10. Эллипсы электрического поля.
11. Постановка задачи об определении главных значений и направлений тензора $[Z]$.
12. Метод Свифта.
13. Метод Эггерса.
14. Метод Бара для разделения локальных и региональных эффектов.
15. Метод Грума-Бэйли.
16. Метод фазового тензора (Кэлдуэлла-Бибби-Брауна).
17. Матрица Визе-Паркинсона $[W]$. Выражение через тензор $[Z]$. Индукционные стрелки.
18. Вращение матрицы $[W]$. Инварианты. Полярные диаграммы.
19. Горизонтальный магнитный тензор $[M]$. Вращение, инварианты.
20. Метод Эггерса для определения главных значений и направлений тензора $[M]$.
21. Магнитный тензор Шмукера. Связь с $[W]$ и $[M]$. Индукционные стрелки Шмукера.
22. Постановка задачи с учётом эффекта источника. Тензор обобщённого импеданса.
23. Аномальное магнитотеллурическое поле в воздухе.
24. Идея синтеза магнитотеллурического поля по $[Z]$ и $[W]$.

(3). Модели приповерхностных и глубинных структур

25. 2D модель вертикального контакта двух однородных сред.
26. 2D модель дайки в однородном полупространстве.
27. 2D и 3D модели приповерхностных неоднородностей, создающих Р-эффект.
28. 2D модель с верхним слоем из двух сегментов.
29. 2D модель с верхним слоем из трёх сегментов.
30. 2D модель с заэкранированной неоднородностью.
31. 3D модель сферического цилиндра в верхнем слое.
32. 2D модели горста и грабена.
33. Влияние коровых проводников на компоненты поля и функции отклика.
34. Эффект экранирования и глубинный S-эффект на кривых магнитотеллурического зондирования.
35. Оценка возможности 2D аппроксимации 3D коровых аномалий.

36. Эквивалентность изотропных и анизотропных коровых проводников.
37. Влияние выступа астеносферы на компоненты поля и функции отклика.
38. Гальваническое и индукционное возбуждение астеносферы.
39. Оценка возможности 2D аппроксимации 3D мантийных аномалий.
40. Эквивалентность изотропных и анизотропных мантийных проводников.
41. Влияние разломов на чувствительность поля к приповерхностным неоднородностям и глубинным структурам.

(4). Постановка обратной задачи

42. Построение нормального фонового разреза при решении обратной задачи.
43. Инверсия в классе двумерных моделей.
44. Инверсия в классе трёхмерных моделей.
45. Единственность обратной одномерной задачи.
46. Единственность обратной двумерной задаче по E-поляризации.
47. О неустойчивости решения обратной задачи.
48. Условно-корректная постановка обратной задачи.
49. Метод подбора.
50. Метод регуляризации.

(5). Интерпретационная модель

51. Распознавание статических искажений.
52. Усреднение кажущихся сопротивлений.
53. Фильтрация кажущихся сопротивлений.
54. Привязка кажущихся сопротивлений к реперу.
55. Метод динамической коррекции.
56. Трансформация Зохди.
57. Магнитовариационный тест.
58. Магнитотеллурический тест.
59. Визуализация геоэлектрических структур.
60. Псевдорельефы для модели суперпозиции структур.

(6). Стратегия инверсии

61. Сглаживающая и контрастная инверсии.
62. Квазиодномерная инверсия.
63. S-метод.
64. Чувствительность E- и H-поляризаций к геоэлектрическим структурам.

65. Устойчивость E- и H-поляризаций к трёхмерным искажениям.
 66. Два подхода к многокритериальной обратной задаче.
 67. Интерпретация в режиме проверки гипотез.
-