

Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова

Геологический факультет

Направление 020300 ГЕОЛОГИЯ

Профиль ГЕОФИЗИКА

ПРОГРАММА

дисциплины

«Теория электромагнитных зондирований»

для подготовки магистра со степенью

Авторы:

профессор **М.Н.Бердичевский**

ассистент **П.Ю.Пушкарев**

Москва 2007

Название курса	Теория электромагнитных зондирований
Код курса	МС
Тип курса	Федеральный компонент вариативной части профессионального цикла
Год обучения	1
Семестр	2
Количество зачетных единиц (ЗЕ)	5

I. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Цель курса

Быстрое развитие геофизической аппаратуры, компьютерной техники, вычислительных технологий обеспечили повышение информативности геофизических методов. Целью курса является подготовка специалистов, способных эффективно применять существующие и разрабатывать новые более информативные методы электромагнитного зондирования Земли.

Задачи курса

В данном курсе рассматриваются математические модели источников электромагнитного поля и изучаемых геологических структур, выполняется анализ свойств полей, описываются методы их количественной интерпретации. Это должно создать основу для достаточно глубокого понимания принципов зондирования и путей их развития.

Обеспечиваемые компетенции

Курс «Теория электромагнитных зондирований» способствует выработке у магистра геологии

а) универсальных научных компетенций, в том числе **углубленных научных компетенций (УНК)**, таких как:

- способность демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук (УНК-1),
- способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения (УНК-3).

б) профессиональных (ПК):

– **углубленных профессиональных компетенций (УПК):** способность к свободному владению фундаментальными разделами геологии и экологии, необходимыми для проведения учебных лабораторных и практических занятий в области геологии и геофизики (УПК-1);

способность к практическому использованию профессионально-профилированных знаний в области информационных технологий, способность к использованию компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач преподавания в области профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки (УПК-2); способность использовать знания современных проблем геолого-геофизической науки, новейших достижений геолого-геофизической теории и практики в преподавательской деятельности (УПК-3);

– профессионально-профилированных компетенций (ППК) в соответствии с видами деятельности:

научно-исследовательская деятельность

- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области магнитотеллурических исследований и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий, с применением новейшего отечественного и зарубежного опыта (ППК-1);

производственно-технологическая деятельность

– способность использовать углубленные специализированные профессиональные теоретические и практические знания для проведения геофизических исследований (ППК-3);

– способность к освоению и профессиональной эксплуатации современного геофизического полевого и лабораторного оборудования и приборов (ППК-4);

– способность свободно пользоваться современными методами обработки и интерпретации комплексной геофизической информации для решения научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности (ППК-5);

организационно-управленческая деятельность:

– обладание практическими навыками организации и управления научно-исследовательскими и научно-производственными работами при решении задач геофизики (ППК-6);

– способность к практическому использованию углубленных знаний по управлению недропользованием (ППК-7);

педагогическая деятельность:

- способность проводить семинарские, лабораторные и практические занятия в учреждениях высшего и среднего профессионального образования в области геологии (ППК-10).

Место курса в процессе подготовки специалиста

Курс «Теория электромагнитных зондирований» опирается на курсы базовой части профессионального цикла ООП бакалавра геологии с профилизацией Геофизика «Электроразведка», «Некорректные задачи геофизики», «Теория поля», «Комплексирование

геофизических методов». Курс предоставляет магистранту возможность изучения свойств электромагнитных полей в проводящих средах, освоения методов анализа и интерпретации электроразведочных данных.

II. СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Введение

- 1.1. Основные научные Школы по электромагнитным зондированиям
- 1.2. Рекомендуемая литература (монографии, периодические издания) и Интернет-ресурсы
- 1.3. Сведения из теории электромагнитного поля

Раздел включает информацию, необходимую для понимания лекций и самостоятельной работы в ходе курса. Рассматривается история развития электромагнитных зондирований, характеризуются основные научные Школы. Даются ссылки на источники дополнительной информации. Напоминаются необходимые для дальнейшей работы элементы теории поля.

Раздел 2. Фундаментальная модель индукционного зондирования

- 2.1. Модели среды и источников поля
- 2.2. Пространственные спектры электромагнитного поля
- 2.3. Теорема Липской-Ваньяна
- 2.4. Спектральный импеданс и способы его определения

В данном разделе рассматривается фундаментальная задача, лежащая в основе всех методов индукционного зондирования - о поле, создаваемом в горизонтально-слоистой среде произвольной, расположенной в воздухе, системой замкнутых токов. Задача решается на уровне пространственных спектров. По различным отношениям спектров компонент поля определяется спектральный импеданс, связанный с параметрами слоистой среды.

Раздел 3. Магнитовариационное зондирование (МВЗ)

- 3.1. Разделение геомагнитного поля на внешнюю и внутреннюю части
- 3.2. Первые опыты по глобальному МВЗ
- 3.3. Построение и интерпретация кривой глобального МВЗ
- 3.4. Зональное и градиентное МВЗ

Раздел посвящен методу зондирования мантии Земли с использованием длиннопериодных вариаций магнитного поля Земли. Рассматривается вопрос о выделении

составляющих поля, связанных с магнитосферно-ионосферной токовой системой и с теллурическими (земными) токами. Анализируются несколько способов МВЗ: глобальный, основанный на анализе пространственных спектров магнитного поля, измеренного на всей земной поверхности, а также зональный и градиентный, использующие компоненты поля и их пространственные производные в одной точке земной поверхности.

Раздел 4. Магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) горизонтально-однородных сред

4.1. Плоско-волновое поле, задача Тихонова-Каньяра

4.2. Кривые МТЗ

4.3. Трансформация Молочнова – Ле Вьета

4.4. Решение обратной одномерной задачи МТЗ

В четвертом разделе начинается рассмотрение теории метода МТЗ, основанного на изучении магнитных и электрических компонент переменного поля Земли. Из фундаментальной модели индукционного зондирования, для частного случая плоско-волнового поля, получается решение прямой задачи МТЗ для горизонтально-слоистой среды. Как основная характеристика горизонтально-однородной среды вводится импеданс Тихонова-Каньяра. Анализируются кривые МТЗ, способы их автоматической трансформации, а также интерпретации с учетом априорной информации.

Раздел 5. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-неоднородных сред

5.1. Горизонтально-неоднородная геоэлектрическая модель

5.2. Разделение поля на нормальную и аномальную части

5.3. Две поляризации нормального поля

5.4. Тензор импеданса, матрица Визе-Паркинсона

Вводятся в рассмотрение горизонтально-неоднородная модель Земли и ее основные геоэлектрические характеристики – тензор импеданса и матрица Визе-Паркинсона. На основе анализа модели с неоднородностью в горизонтально-слоистой среде, с привлечением метода интегральных уравнений, показывается, что линейные связи между компонентами МТ-поля выводятся из фундаментальных уравнений Максвелла. Анализируются свойства тензора импеданса и матрицы Визе-Паркинсона в одномерной, двухмерной и трехмерной моделях среды.

Раздел 6. Анализ магнитотеллурических данных

6.1. Полярные диаграммы и инварианты тензора импеданса

6.2. Главные значения и главные направления тензора импеданса

6.3. Методы разделения локальных и региональных эффектов

6.4. Индукционные стрелки

6.5. Двухточечные МТ-матрицы

Раздел посвящен методам анализа МТ-данных, позволяющим выделить основные аномалии электропроводности, определить их размерность и простирание, оценить и подавить влияние приповерхностных неоднородностей. Выводятся и анализируются формулы для определения главных значений и направлений тензора импеданса, а также выделения его региональной составляющей. Помимо тензора импеданса, рассматриваются определяемые только по магнитным компонентам поля матрица Визе-Паркинсона и горизонтальный магнитный тензор.

Раздел 7. Интерпретация магнитотеллурических данных

7.1. Решение прямых 2D и 3D задач МТЗ

7.2. Решение обратных 2D и 3D задач МТЗ

7.3. 2D интерпретация, принцип информационной дополненности

7.4. Современная стратегия интерпретации МТ-данных

Дается понятие о современных численных методах и программном обеспечении для решения двумерных и трехмерных прямых и обратных задач МТЗ. Рассматриваются особенности двух поляризации, на которые распадается МТ-поле в 2D среде. Показывается необходимость использования в ходе интерпретации обеих поляризаций, сравниваются способы их параллельной и последовательной инверсии. В заключение рассматривается граф анализа и интерпретации МТ-данных применительно к средам различной размерности.

Раздел 8. Поле гармонического вертикального магнитного диполя (ВМД) в горизонтально-слоистой среде

8.1. Постановка задачи, пространственные спектры компонент поля

8.2. Переход от пространственных спектров к компонентам поля

8.3. Поле ВМД в однородном полупространстве

8.4. Метод зондирования в дальней зоне ВМД

8.5. Метод зондирования в ближней зоне ВМД

В этом разделе, на основе фундаментальной модели индукционного зондирования, выводится решение задачи о поле вертикального магнитного диполя, актуальной для методов зондирования с искусственным источником. Рассматривается вопрос о численном определении компонент поля, сводящемся к расчету интегральных преобразований методом линейной фильтрации. Анализируется структура поля в случае однородного

полупространства. Описываются два способа зондирования в поле вертикального магнитного диполя: частотного в дальней зоне и геометрического в ближней.

Раздел 9. Становление поля вертикального магнитного диполя в горизонтально-слоистой среде

9.1. Спектральный метод расчета становления поля

9.2. Становление поля ВМД в однородном полупространстве

9.3. О расчете поля для двухпетлевой установки

9.4. Анализ становления поля ВМД в дальней и ближней зонах

Последний раздел посвящен теории метода зондирования становлением поля. Рассматривается метод расчета неустановившегося поля, основанный на Фурье-преобразовании решения, получаемого в частотной области. Анализируется поле на поверхности однородного полупространства. Описываются принципы расчета поля для широко используемой на практике двухпетлевой установки с совмещенными и разнесенными питающей и приемной петлями. Рассматриваются модификации метода становления поля в дальней и ближней зонах.

Тематика заданий для самостоятельной работы

1. Составить программу решения прямой одномерной задачи МТЗ, провести и проанализировать результаты расчета для ряда моделей.
2. Составить программу трансформации кривых МТЗ, выполнить трансформацию эталонных данных, оценить возможности трансформации сравнением результата с истинной моделью среды.
3. Выполнить обработку предложенных преподавателем МТ-данных, выбрать наименее искаженную компоненту данных, провести ее интерпретацию с использованием S-метода.
4. Составить двумерную модель, выполнить расчет с помощью предложенной преподавателем программы численного моделирования, проанализировать результаты расчета.

Примерный перечень контрольных вопросов

1. Фундаментальная модель индукционного зондирования. Пространственные спектры электромагнитного поля. Уравнения Гельмгольца для спектров.
2. Решение уравнения Гельмгольца (теорема Липской-Ваньяна). Вертикальное электрическое поле в Земле.
3. МТ- и МВ- способы определения спектрального импеданса.

4. Разделение магнитного поля на внешнюю и внутреннюю части.
5. Глобальное, зональное и градиентное магнитовариационное зондирование.
6. Кривые МТЗ в 1D средах. Асимптоты, трансформации, интерпретация.
7. Линейные соотношения между компонентами МТ-поля.
8. Полярные диаграммы и инварианты тензора импеданса. Главные значения и направления.
9. Разделение локальных и региональных эффектов, метод Бара.
10. Матрица Визе-Паркинсона. Двухточечные МТ-матрицы.
11. Решение прямых и обратных 2D и 3D задач МТЗ.
12. 2D интерпретация МТ-данных.
13. Поле гармонического ВМД в горизонтально-слоистой среде.
14. Поле гармонического ВМД в однородном полупространстве. Методы зондирования в дальней и ближней зонах ВМД.
15. Спектральный метод расчета неустановившегося поля. Неустановившееся поле ВМД в горизонтально-слоистой среде.
16. Расчет неустановившегося поля двухпетлевой установки. Становления поля в дальней и ближней зонах ВМД.

III. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ КУРСА ПО ТЕМАМ И ВИДАМ РАБОТ

№ п.п	Наименование тем и разделов	ВЕГО (часов)	Виды аудиторных занятий		Самостоятельная работа	
			Лекции	Практические работы	С преподавателем	Индивидуально
1	Введение	8	2		3	3
2	Фундаментальная модель индукционного зондирования	12	6		3	3
3	Магнитовариационное зондирование	12	8		2	2
4	Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред	12	8		2	2
5	Линейные связи между компонентами	12	8		2	2

	магнитотеллурического поля					
6	Анализ магнитотеллурических данных	12	8		2	2
7	Интерпретация магнитотеллурических данных	12	8		2	2
8	Поле гармонического вертикального магнитного диполя в горизонтально-слоистой среде	12	8		2	2
9	Становление поля вертикального магнитного диполя в горизонтально-слоистой среде	12	8		2	2
10	Одномерная прямая задача МТЗ	10		2	4	4
11	Трансформации кривых МТЗ	10		2	4	4
12	Построение и S-интерпретация кривых МТЗ	10		2	4	4
13	Моделирование МТ-поля в 2D среде методом конечных разностей	10		2	4	4
Всего часов		144	64	8	36	36
Всего 3Е		5 в т. ч. 1 3Е – 1экз.				

IV. ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОГО И ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ

Промежуточный контроль – коллоквиум, 4 практических занятий

Итоговый контроль – экзамен

V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Жданов М.С. Электроразведка. М.: Недра, 1986. 316 с.

2. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурические зондирования горизонтально-однородных сред. М.: Недра, 1992. 250 с.
3. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. М.: Диалог-МГУ, 1997. 161 с.

Дополнительная

1. Ковтун А.А. Строение коры и верхней мантии на северо-западе Восточно-Европейской платформы по данным магнитотеллурических зондирований. Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 284 с.
2. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. М.: Научный мир, 1997. 219 с.
3. Сидоров В.А. Импульсная индуктивная электроразведка. М.: Недра, 1985. 192 с.
4. Светов Б.С. Теория, методика и интерпретация результатов низкочастотной индуктивной электроразведки. М.: Недра, 1973. 256 с.
5. Кауфман А.А. Введение в теорию геофизических методов. Часть 2: электромагнитные поля. М.: Недра, 2000. 483 с.
6. Электроразведка: справочник геофизика (в 2 томах). Под ред. Хмелевского В.К. и Бондаренко В.М. М.: Недра, 1989. Книга 1 - 438 с., книга 2 – 378 с.
7. Электромагнитные исследования земных недр. Под ред. Спичака В.В. М.: Научный мир, 2005. 245 с.

Программа составлена в соответствии с проектом Федерального государственного образовательного стандарта подготовки магистра с присуждением степени по направлению 020300 Геология.

Программу составили:

Марк Наумович Бердичевский, профессор

(Московский государственный университет, Геологический факультет)

Павел Юрьевич Пушкарев, ассистент

(Московский государственный университет, Геологический факультет)

Программа утверждена на заседании Учебно-Методического Совета Геологического факультета МГУ от «___» _____ 2007 г.

Протокол № _____.