

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

**Декан Геологического факультета
академик**

_____ /Д.Ю.Пушаровский/

«___» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Интерпретация данных электроразведки

Авторы-составители: Модин И.Н., Шевнин В.А., Яковлев А.Г.

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геофизика

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № _____, _____)

Москва 20__

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*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 года № 1674.

Год приема на обучение – 2016.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса "Интерпретация данных электроразведки" является подготовка бакалавров геологии, компетентных в данном разделе геофизики.

Задачи - освоение решения обратных задач электроразведки на постоянном и переменном токе, разнообразных подходов в геофизической интерпретации данных электроразведки.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, дисциплина по выбору блока «Малоглубинная и глубинная геофизика», курс – IV, семестр – 8.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Высшая математика», «Математический анализ», «Физика», «Химия», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Информатика», «Теория геофизических полей», «Электроразведка», «Некорректные задачи геофизики».

3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-3.Б Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично);

ОПК-4.Б Способность применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач (формируется частично);

ПК-2.Б Способность использовать знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности (формируется частично);

ПК-7.Б Готовность применять на практике базовые общепрофессиональные знания и навыки при решении производственных задач (в соответствии с профилем подготовки) (формируется частично);

СПК-1.Б Способность использовать специализированные знания в области разведочной геофизики при моделировании геофизических полей для сложно-построенных физико-геологических моделей геологических сред, в том числе и в случае трехмерных (формируется частично).

Планируемые результаты обучения по дисциплине:

Знать:

- классификацию методов обработки и интерпретации электроразведочной информации;
- теоретические основы решения обратных задач электроразведки на постоянном токе (ВЭЗ и электротомография), переменном токе низкой частоты (МТЗ и ЗСБ) и в области высокочастотных полей (радиопросвечивание и георадар), а также геоэлектрохимических методов электроразведки (ВП и ЕП);
- источники априорной геологической и геофизической информации для интерпретации данных электроразведки;
- основы комплексирования электроразведочных и других геофизических методов для получения устойчивых параметров геоэлектрического разреза;
- электромагнитные свойства подземных вод, горных пород, твердых и горючих полезных ископаемых в зависимости от региональных климатических условий;
- способы визуализации полевых материалов и способы представления результатов обработки и интерпретации.

Уметь:

- выполнять качественную интерпретацию материалов;

- выполнять обработку и интерпретацию электроразведочных данных;
- правильно представлять результаты обработки и интерпретации данных;
- пользоваться наиболее распространенными программами обработки и интерпретации ВЭЗ, МТЗ и ЗСБ;
- делать оценки качества полученных результатов, оценивать возможные разбросы в оценке параметров результирующего геоэлектрического разреза;

Владеть:

- специализированным, прикладным программным обеспечением для одномерной интерпретации данных ВЭЗ, МТЗ и ЗСБ;
- стандартным программным обеспечением для обработки и представления результатов площадных и профильных съемок (Surfer, Grapher, Excel).

4. Формат обучения – лекционные, лабораторные и семинарские занятия.

5. Объем дисциплины составляет 2 з.е. (72 часа), в том числе 33 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (11 часов – лекции, 11 часов – лабораторные работы, 11 часов – семинары), 39 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В результате обучения по курсу "Интерпретация данных электроразведки" студенты получают теоретические знания по обработке и интерпретации данных основных методов электроразведки на постоянном и переменном токе, углубляют свои знания в области теоретических основ методов постоянного и переменного тока, решении прямых задач электроразведки для простых и сложных сред, вмещающих неоднородности геоэлектрического разреза. В результате освоения этого курса студенты получают представления о правилах визуализации первичных данных, оформлении полевой документации, а также способах решения обратных задач электроразведки. Обширный теоретический практикум позволяет студентам в дальнейшем самостоятельно проводить интерпретацию геофизических данных.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, Форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
1. Вводная часть. Общие вопросы. Классификация методов обработки и интерпретации электроразведочной информации.		2		1	3	
2. Теоретические основы решения обратных задач электроразведки на постоянном токе, на переменном токе и в геоэлектрхимических методах электроразведки.		4	4	4	12	Контрольная работа Собеседование 8 часов
3. Источники априорной геологической и геофизической информации для интерпретации данных электроразведки. Основы комплексирования электроразведочных и других геофизических методов.		2	2	2	6	Контрольная работа Собеседование 8 часов
4. Электромагнитные свойства подземных вод, горных пород, твердых и горючих полезных ископаемых.		2	4	2	8	Контрольная работа Собеседование 8 часов

5. Визуализация полевых материалов и способы представления результатов обработки и интерпретации.		1	1	2	4	Собеседование Реферат 8 часов
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>						7 часов
Итого	72	33				39

Содержание разделов дисциплины:

(1) Вводная часть. Общие вопросы. Структура дисциплины. Классификация методов обработки и интерпретации электроразведочной информации. Этапы в обработке и интерпретации материалов полевых наблюдений. Краткая историческая справка.

(2) Теоретические основы решения обратных задач электроразведки на постоянном токе, на переменном токе и в геоэлектрохимических методах электроразведки

Прямая задача постоянного тока. Общие сведения о решении прямой задачи ВЭЗ. Метод линейной фильтрации. Параметры линейных фильтров. Основные элементы алгоритма линейной фильтрации. Расчет фильтров на основе метода наименьших квадратов. Сравнение кривых ВЭЗ для разных установок.

Обратная задача ВЭЗ. Метод подбора. Метод наискорейшего спуска и метод Ньютона. Итерационный метод Зейделя. Программа MIDI как пример полностью автоматизированного подхода к интерпретации. Программа IPI2Win как пример программы диалоговой интерпретации. Основные типы искажений кривых ВЭЗ (Р- и С-эффекты). Борьба с искажениями от приповерхностных неоднородностей (нормализация кривых кажущегося сопротивления, алгоритм медианной фильтрации, использование метода главных компонент, расчет локально-нормальных кривых с помощью алгоритма двумерной инверсии данных электротомографии). Пути решения двумерных и трехмерных задач электроразведки метода сопротивлений.

Подходы к решению обратной задачи МТЗ. Прямые и обратные задачи в геофизике, некорректность обратной задачи, метод регуляризации. Обработка записей магнитотеллурического поля, получение передаточных функций. Влияние приповерхностных неоднородностей на кривые МТЗ и способы подавления этих искажений. Тензор импеданса в 1D, 2D и 3D средах, собственные значения тензора импеданса, параметры неоднородности и асимметрии, эффективный импеданс. Устойчивые параметры разреза в МТЗ. Методы 1D-интерпретации кривых МТЗ. Определение параметров S и H по кривым МТЗ. Трансформация Ниблетта. Контролируемая трансформация. Метод подбора, функционал невязки. Методы стабилизации при решении обратной задачи МТЗ. Метод наискорейшего спуска. Метод Ньютона (метод линеаризации). МТ-поле в двумерных средах. Индукционные и гальванические эффекты. Методы интерпретации данных МТЗ в двумерных средах. Метод подбора в 2D средах.

Интерпретация данных ЗСБ. Связь полей искусственного источника в частотной и временной областях. Пространственные спектры электромагнитных полей и дифференциальные уравнения для спектров в слоистой среде. Преимущества и недостатки метода ЗСБ. Формулы для кажущегося сопротивления для установки "петля в петле". Трансформация S(H) в методе ЗСБ

Обработка и интерпретация георадарных данных. Предварительная обработка данных перед началом интерпретации: устранение резонансного звона в антеннах, оценка спектра сигнала на разных временах прихода отраженных волн, устранение статического сдвига за счет задержки записи сигнала, коррекция амплитуды и контрастности сигналов, полосовая фильтрация полезных сигналов. Введение рельефа в георадарограммы. Искусственные и естественные точки дифракции. Построение скоростного разреза по вертикали и в горизонтальном направлении. Пикировка границ и разделение разреза на комплексы и георадарные фациальные единицы. Оценка положения границ и построение глубинного георадиолокационного разреза.

Интерпретация данных радиоволнового просвечивания. Теоретические основы современного радиоволнового просвечивания (РВП). Модели электромагнитного поля, которые используются в РВП. Предварительная обработка сигналов и расчет электрических полей. Введение поправок за расстояние и ориентацию источников и

приемных датчиков в скважинах. Качественная интерпретация данных РВП. Способы томографического изображения результатов РВП.

(3) Источники априорной геологической и геофизической информации для интерпретации данных электроразведки. Основы комплексирования электроразведочных и других геофизических методов для получения устойчивых параметров геоэлектрического разреза.

(4) Электромагнитные свойства подземных вод, горных пород, твердых и горючих полезных ископаемых в зависимости от региональных климатических условий.

(5) Визуализация полевых материалов и способы представления результатов обработки и интерпретации.

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

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

Для закрепления лекционных и семинарских материалов дисциплины и стимулирования самостоятельной работы студентов письменные контрольные работы. Для углубленного и практического усвоения курса студенты выполняют лабораторные задачи по интерпретации электроразведочных данных из 4 задач. Для глубокого усвоения материала по итогам прослушанной дисциплины студенты самостоятельно готовят письменные рефераты на различные темы, связанные с интерпретацией данных электроразведки для решения различных геологических задач. Студенты, успешно написавшие контрольные работы, подготовившие реферат и выполнившие все лабораторные работы, допускаются к экзамену.

Лабораторные задания выполняются по следующим темам: 1) интерпретация кривых ВЭЗ с помощью программы диалогового, интерактивного подбора с учетом геологических данных и построение геолого-геофизического разреза по данным ВЭЗ, 2) интерпретация кривых МТЗ с помощью программы диалогового подбора с учетом априорных данных и построение разреза по данным МТЗ и априорной информации, 3) интерпретация кривых ЗСБ с помощью программы диалогового подбора с учетом априорных данных и построение разреза по данным ЗСБ и априорной информации, 4) интерпретация данных георадиолокационного зондирования и построение разреза с учетом бурения, данных сейсморазведки и электроразведки. По каждой задаче работа представляется в письменном виде преподавателю и до тех пор, пока студент не устранил все ошибки, выполнение работы не засчитывается.

Примерный перечень тем рефератов:

1. Интерпретация данных многоразносного электропрофилирования в условиях слоистых разрезов.
2. Интерпретация данных электропрофилирования для горизонтально-неоднородных сред.
3. Обработка и особенности интерпретации данных срединного градиента.
4. Правила классической интерпретации ВЭЗ над слоистыми разрезами.
5. Двумерная электротомография: методика, обработка и интерпретация.
6. Подходы к интерпретации в трехмерной электротомографии.
7. Скважинные методы электроразведки.
8. Источники в методе естественного поля: диффузионно-адсорбционные, фильтрационные, окислительно-восстановительные и другие потенциалы.
9. Интерпретация данных вызванной поляризации.
10. Обработка и интерпретация данных ЕП, полученных на акваториях.
11. Интерпретация речных электрических зондирований.
12. Интерпретация георадиолокационных данных: традиционные методы и новые подходы.

13. Физические ограничения метода георадиолокации.
14. Интерпретация дипольного индукционного профилирования.
15. Обработка и интерпретации радиоволнового просвечивания.
16. Интерпретация данных СДВР.
17. Интерпретация МТЗ над слоистыми разрезами.
18. Интерпретация ЗСБ над слоистыми разрезами.
19. Интерпретация частотных зондирований.
20. Интерпретация МТЗ над двумерными разрезами.
21. Интерпретация МТЗ над трехмерными разрезами.

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

При самостоятельной подготовке к экзамену студенты прорабатывают следующий список вопросов:

1. Классификация методов обработки и интерпретации электроразведочной информации. Этапы в обработке и интерпретации материалов полевых наблюдений.
2. Современные алгоритмы решения прямой задачи ВЭЗ. Метод линейной фильтрации. Сравнение кривых ВЭЗ для разных установок.
3. Метод подбора. Метод наискорейшего спуска и метод Ньютона. Итерационный метод Зейделя. Программа MIDI как пример полностью автоматизированного подхода к интерпретации.
4. Программа PI2Win как пример программы диалоговой интерпретации.
5. Основные типы искажений кривых ВЭЗ (Р- и С- эффекты). Борьба с искажениями от приповерхностных неоднородностей (нормализация кривых кажущегося сопротивления, алгоритм медианной фильтрации, использование метода главных компонент, расчет локально-нормальных кривых с помощью алгоритма двумерной инверсии данных электротомографии).
6. Пути решения двумерных и трехмерных задач электроразведки метода сопротивлений.
7. Прямые и обратные задачи в геофизике, некорректность обратной задачи, метод регуляризации.
8. Обработка записей магнитотеллурического поля, получение передаточных функций.
9. Влияние приповерхностных неоднородностей на кривые МТЗ и способы подавления этих искажений.
10. Тензор импеданса в 1D, 2D и 3D средах, собственные значения тензора импеданса, параметры неоднородности и асимметрии, эффективный импеданс.
11. Устойчивые параметры разреза в МТЗ. Методы 1D-интерпретации кривых МТЗ. Определение параметров S и H по кривым МТЗ. Трансформация Ниблетта. Контролируемая трансформация.
12. Метод подбора, функционал невязки. Методы стабилизации при решении обратной задачи МТЗ. Метод наискорейшего спуска. Метод Ньютона (метод линеаризации).
13. МТ-поле в двумерных средах. Индукционные и гальванические эффекты.
14. Методы интерпретации данных МТЗ в двумерных средах. Метод подбора в 2D средах.
15. Связь полей искусственного источника в частотной и временной областях. Пространственные спектры электромагнитных полей и дифференциальные уравнения для спектров в слоистой среде. Преимущества и недостатки метода ЗСБ.
16. Формулы для кажущегося сопротивления для установки "петля в петле".
17. Трансформация S(H) в методе ЗСБ
18. Предварительная обработка данных перед началом интерпретации: устранение резонансного звона в антеннах, оценка спектра сигнала на разных временах прихода отраженных волн, устранение статического сдвига за счет задержки записи сигнала, коррекция амплитуды и контрастности сигналов, полосовая фильтрация полезных сигналов. Введение рельефа в георадарограммы.
19. Искусственные и естественные точки дифракции. Построение скоростного разреза по

вертикали и в горизонтальном направлении. Пикировка границ и разделение разреза на комплексы и георадарные фациальные единицы.

20. Оценка положения границ и построение глубинного георадиолокационного разреза.

21. Теоретические основы современного радиоволнового просвечивания (РВП).

22. Модели электромагнитного поля, которые используются в РВП.

23. Предварительная обработка сигналов и расчет электрических полей. Введение поправок за расстояние и ориентацию источников и приемных датчиков в скважинах.

Качественная интерпретация данных РВП.

24. Способы томографического изображения результатов РВП.

25. Основы комплексирования электроразведочных и других геофизических методов для получения устойчивых параметров геоэлектрического разреза.

26. Электромагнитные свойства подземных вод, горных пород, руд, твердых и жидких полезных ископаемых в зависимости от региональных климатических условий.

24. Визуализация полевых материалов и способы представления результатов обработки и интерпретации.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Результаты Обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания (в соответствии с пунктом 3 настоящей программы)	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения (в соответствии с пунктом 3 настоящей программы)	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
Владения (в соответствии с пунктом 3 настоящей программы)	Навыки владения методами отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки использования методов	Владение методами, использование их для решения задач

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Заборовский А.И. Электроразведка. Учебник. Гос. науч.-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1963, 423 с.

2. Хмелевской В.К. Электроразведка. Издание 2-ое, Изд-во МГУ, 1984, 422 с.

3. Матвеев Б.К. Электроразведка при поисках месторождений полезных ископаемых. Учебник для ВУЗов. М.: Недра, 1982, 375 с.

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

- дополнительная литература:

1. Куфуд О. Зондирование методом сопротивлений. Пер. с англ. М.: Недра, 1984, 270 с.

2. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. М.: Научный мир, 2007, 248 с.
3. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. - М.: Научный мир, 2009, 680 с.
4. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. М.: Научный мир, 1997, 219 с.
5. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие. М.: Издательство МГУ, 2008, 192 с.
6. В.А. Истратов, А.В. Колбенков, С.О. Перекалин, А.В. Скринник. Радиоволновой метод мониторинга процесса скважинного подземного выщелачивания на месторождениях урана. Геофизика, № 4, 2011, с. 32-52.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватели – Модин И.Н., Шевнин В.А., Яковлев А.Г.

11. Авторы программы – Модин И.Н., Шевнин В.А., Яковлев А.Г.