

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан Геологического факультета  
академик

\_\_\_\_\_/Д.Ю.Пуцаровский/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Электроразведка**

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

**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 – 2017.

## **Цель и задачи дисциплины**

**Целью** курса "Электроразведка" является подготовка бакалавров геологии, способных применять методы электроразведки и использовать результаты электроразведки при проведении научно-исследовательских и производственных работ.

**Задачи** - освоение теории электроразведки на постоянном и переменном токе, изучение электроразведочной терминологии, методики и техники электроразведочных работ, планирования и выполнения исследований при решении разнообразных геологических задач, ознакомление с основными направлениями электроразведки и технической реализацией аппаратурных разработок.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, обязательная дисциплина, курс – III, семестры – 5 и 6.

### **2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:**

освоение дисциплин «Высшая математика», «Математический анализ», «Физика», «Химия», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Информатика», «ГИС в геологии», «Теория геофизических полей», «Радиоэлектроника», «Общая геология», «Структурная геология и геокартирование», «Геология полезных ископаемых».

### **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);

ПК-8.Б Готовность к работе на современных полевых/лабораторных приборах, установках и оборудовании 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 (модулю):**

##### **Знать:**

- классификацию методов электроразведки и области применения этих методов;
- теоретические основы электроразведки на постоянном и переменном токе, волновых полей, а также геоэлектрохимических методов электроразведки, электромагнитные свойства подземных вод, горных пород, твердых и горючих полезных ископаемых,
- основные элементы электроразведочного канала,
- источники искусственных и естественных электромагнитных полей,
- методику полевых измерений в рамках основных методов электроразведки,
- устройство приемников и систем сбора электроразведочных данных,
- форму представления полевых материалов,
- особенности обработки первичных данных,

- основы техники безопасности при выполнении электроразведочных работ.

**Уметь:**

- оценивать возможности методов электроразведки при решении геологических задач;
- выбирать аппаратуру для электроразведочных исследований;
- выполнять расчеты при оценке возможностей электроразведочных методов;
- оценивать глубинность методов, разрешающую способности по глубине и по горизонтали,
- предвидеть осложняющие факторы при выполнении электроразведочных работ,
- создавать электроразведочные установки и подготавливать оборудование к полевым экспериментам, выполнять полевые измерения, проводить оценку их качества;
- обрабатывать полевые данные с помощью специализированных программ и типового программного обеспечения, выполнять компьютерную визуализацию материалов;
- выполнять качественную и простую количественную интерпретацию материалов под руководством опытного специалиста.

**Владеть:**

- теоретическими основами методов электроразведки,
- общими представлениями о широком спектре методов электроразведки и их возможностях,
- знаниями о типах электроразведочной аппаратуры,
- конкретными представлениями о технологиях применения методов электроразведки (вертикальное электрическое зондирование, электропрофилирование, метод вызванной поляризации, метод естественного поля, магнитотеллурическое зондирование, частотное зондирование, зондирование становлением поля в ближней зоне, дипольное индукционное профилирование, георадиолокационное зондирование).

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

**5. Объем дисциплины** составляет **6 з.е. (216 часов)**, в том числе **116 академических часов**, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**58 часов** – лекции, **29 часов** – лабораторные работы, **29 часов** – семинары), **100 академических часов** на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет в 5-м семестре и экзамен в 6-м семестре.

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

**Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

Классификация методов электроразведки. Области наиболее эффективного применения методов электроразведки. Электромагнитные свойства горных пород. Основы теории электроразведки: уравнения Максвелла и их физический смысл. Понятие об электроразведочном канале. Происхождение аномалий постоянного тока и идея метода сопротивлений. Электроразведочная установка и ее геометрический коэффициент. Понятие об истинном и кажущемся удельном электрическом сопротивлении горных пород. Глубинность зондирований и влияние поверхности Земли на измерения электрического поля. Граничные условия и затухание поля на «бесконечности». Три модели поля и основные типы электроразведочных установок. Сущность электроразведочных методов и технологии их выполнения. Прямые задачи постоянного и переменного тока для горизонтально-слоистых и неоднородных сред. Подходы к интерпретации электроразведочных данных.

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) Виды контактной работы, часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
1. Вводная часть. Общие вопросы. Классификация методов электроразведки. Области наиболее эффективного применения методов электроразведки. Краткая историческая справка.	4	2	2	0	4	
2. Основы электроразведки: Электромагнитные свойства горных пород, основы теории методов электроразведки (уравнения Максвелла, телеграфное уравнение, три модели электромагнитного поля), электроразведочный канал. Электрохимические методы электроразведки. Граничные условия. Прямая и обратная задачи электроразведки.	22	6	2	4	12	Контрольная работа, Собеседование, 10 часов
3. Электроразведочные установки постоянного тока. Потенциал и поле постоянного тока одного и двух источников. Влияние поверхности земли. Принцип эквивалентности.	26	8	4	4	16	Коллоквиум, Контрольная работа, Собеседование, 10 часов
4. Методы постоянного тока: метод сопротивлений, метод естественного поля, метод	28	8	4	4	16	Контрольная работа, Собеседование, 12 часов

вызванных потенциалов, метод заряженного тела.						
5. Прямые задачи постоянного тока: однородное полупространство, модель вертикального контакта, горизонтально-слоистая среда, решение задачи для горизонтально-неоднородных сред, анизотропная среда и парадокс анизотропии.	28	8	4	4	16	Коллоквиум, Контрольная работа, Собеседование, 12 часов
<b>Промежуточная аттестация <u>зачет</u></b>						
6. Квазистационарная модель электромагнитного поля, ее основные особенности и отличия от модели постоянного тока.	30	6	4	4	14	Контрольная работа, Собеседование, 16 часов
7. Методы переменного тока: частотные зондирования, метод теллурических зондирований, метод зондирования становлением поля и дипольное индукционное профилирование.	34	8	4	4	16	Контрольная работа, Собеседование, 18 часов
8. Решение прямых задач переменного тока для однородного полупространства и горизонтально-слоистых сред. Прямые задачи переменного тока в неоднородных средах.	32	6	2	4	12	Коллоквиум, Собеседование, Контрольная работа, 20 часов
9. Высокочастотные, волновые методы электроразведки: радиоволновое просвечивание и георадиолокация. Распространение радиоволн в реальных геологических средах. Особенности методики и интерпретации волновых полей.	12	2	2	2	6	Контрольная работа, Собеседование, 6 часов
<b>Промежуточная аттестация <u>экзамен</u></b>						
<b>Итого</b>	<b>216</b>				<b>116</b>	<b>100</b>

## **Содержание разделов дисциплины:**

### **(1) Вводная часть. Общие вопросы**

Структура курса. Классификация методов электроразведки. Области наиболее эффективного применения методов электроразведки. Краткая историческая справка.

### **(2) Основы электроразведки**

Электромагнитные свойства горных пород: удельное электрическое сопротивление, диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость, поляризуемость, понятие о двойном электрическом слое и электрохимическая активность горных пород.

Основы теории электроразведки: уравнения Максвелла и их физический смысл (следствия уравнений Максвелла), вывод телеграфного уравнения, три модели электромагнитного поля.

Электроразведочный канал: происхождение полезных сигналов и помех, понятие о линейных системах, генераторы, источники поля, приемные датчики, структура измерительной аппаратуры. Требования к электроразведочным измерителям и генераторам. Общие представления об электромагнитных помехах.

### **(3) Электроразведочные установки постоянного тока**

Типы электроразведочных установок: сравнительные размеры установок, глубинность установок при одном действующем разnose, величина сигнала в приемной линии, чувствительность установок к глубоким границам и неоднородностям среды, полевая бригада для обслуживания данной установки, области применения установок и выбор оптимальной установки при решении конкретной геологической задачи.

Дифференциальные установки для поиска локальных и глубинных неоднородностей.

### **(4) Методы постоянного тока**

Происхождение аномалий постоянного тока и идея метода сопротивлений. Уравнение Лапласа. Уравнение Кирхгофа. Закон Ома. Два примера выполнения закона Ома. Электроразведочная установка и ее геометрический коэффициент. Понятие об истинном удельном электрическом сопротивлении горных пород как о физическом свойстве и кажущемся сопротивлении, как о наблюдаемом поле. Глубинность геометрических зондирований. Понятие о действующем разnose установок. Влияние поверхности Земли на измерения электрического поля. Граничные условия. Затухание поля на «бесконечности». Три модели поля в зависимости от расстояния от источников тока: электрическое поле точечного источника, электрический потенциал и поле двух источников, потенциал и поле диполя. Основные типы электроразведочных установок.

Сущность метода вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Методика полевых работ методом ВЭЗ. Сегменты кривой ВЭЗ. Изображение кривых ВЭЗ. Двухслойная палетка ВЭЗ и свойства простейших кривых ВЭЗ. Типы трехслойных кривых ВЭЗ. Принцип эквивалентности.

Электропрофилирование. Форма аномалий кажущегося сопротивления над локальным объектом. Зависимость аномалий кажущегося сопротивления от контраста сопротивлений и глубины нижней кромки. Рудное и нерудное пересечение для установок  $ABmn + mnAB$  и  $Amn + mnB$ . Аномалии срединного градиента.

Метод электрической томографии (ЭТ). Понятия об искажениях кривых ВЭЗ. Особенности электротомографии: линейный шаг по разносам, равный шаг по профилю, все электроды выполняют роль питающих и приемных датчиков поля, используются станции автоматической и полуавтоматической регистрации данных, обработка и интерпретация направлена на решение обратной задачи в рамках двумерной или

трехмерной модели среды. Многоэлектродные установки ЭТ. Использование многоканальности в ЭТ. Решаемые задачи.

Сущность метода заряженного тела (МЗТ). Технологии МЗТ. Решаемые задачи.

Метод естественного поля (ЕП). Три типа аномалий естественного поля и уровень аномалий от различных источников. Задачи, решаемые методом ЕП. Устройство неполяризуемых электродов. Методика сухопутной съемки методом ЕП. Первичная обработка данных ЕП. Особенности съемки методом ЕП на акваториях.

Сущность метода вызванной поляризации. Истинная и кажущаяся поляризуемость. Происхождение аномалий в ионопроводящих средах и в присутствии электронных проводников. Зависимость ВП от влажности, пористости, зернистости, глинистости, сопротивления горных пород и чувствительность минералов к концентрации рудных включений. Основные минералы, создающие ВП. Способы измерения ВП на постоянном и переменном токе. Частотный диапазон измерений ВП. Методика СГ-ВП. Методика ВЭЗ-ВП. Методика электротомографической съемки ВП. Уровень сигналов ВП и требования по току.

### ***(5) Прямые задачи постоянного тока***

Особенности моделей геоэлектрических разрезов на постоянном токе. Аналитические, квазианалитические и численные решения задач постоянного тока.

Постановка задачи об электрическом поле точечного источника вблизи вертикального контакта двух изотропных сред. Метод зеркальных отражений и граничные условия равенства электрического потенциала и плотности тока. Потенциал и поле вблизи вертикального контакта при различных взаимных положениях питающего электрода, приемного диполя MN и контакта. Поведение графиков кажущегося сопротивления вблизи вертикального контакта.

Постановка задачи о поле точечного источника, расположенного на поверхности горизонтально-слоистой среды (ГСС). Граничные условия на поверхности раздела слоев и на поверхности земли. Приведение уравнения Лапласа к системе двух дифференциальных уравнений относительно координат  $z$  и  $r$ . Общее фундаментальное решение задачи. Построение системы линейных уравнений относительно неизвестных коэффициентов. Рекуррентная формула расчета электрического поля на поверхности ГСС. Применение интеграла свертки для расчета кажущегося сопротивления.

Метод граничных интегральных уравнений при решении прямой задачи об электрическом поле точечных источников тока в 2D и 3D-неоднородных средах на постоянном токе. Понятие о вторичных зарядах и вторичных поверхностных источниках тока. Аномалии электрического поля над неоднородностями и их связь со вторичными зарядами. Электрические зондирования над неоднородностями и основные типы искажений кривых ВЭЗ.

Идея метода конечных разностей для решения задачи о поле точечного источника в произвольной 2D-среде. Составление уравнения баланса тока в элементарной ячейке неоднородной среды. Построение системы линейных алгебраических уравнений относительно потенциала в узлах наложенной сетки. Преимущества и недостатки метода конечных разностей и метода интегральных уравнений.

Расчет электрического поля точечного источника расположенного на поверхности однородного анизотропного полупространства. Парадокс анизотропии.

### ***(6) Квазистационарная модель электромагнитного поля, ее основные особенности и отличия от модели постоянного тока***

Гальваническое и индукционное возбуждение геоэлектрического разреза. Высокочастотные и проводящие экраны. Гармонические поля, комплексная амплитуда. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд. Волновое число. Ближняя и дальняя



зоны дипольного источника. Методы низкочастотной электроразведки. Основные механизмы возбуждения электромагнитного поля и основные модели источников электромагнитного поля. Основные модели геоэлектрических разрезов и применимость этих моделей на практике. Области применения низкочастотной электроразведки. Глубинность исследований в электроразведке переменным током.

### ***(7) Методы переменного тока***

Особенности переменных электромагнитных полей, как следствие явления электромагнитной индукции. Электромагнитные свойства горных пород, влияющие на переменные низкочастотные поля. Характер изменения поля во времени. Понятие комплексной амплитуды для гармонических колебаний. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд гармонического поля.

Понятия ближней и дальней зон дипольного источника. Классификация низкочастотных методов электроразведки. Области применения низкочастотных методов электроразведки.

Общая характеристика МТ-методов. Источники естественного электромагнитного поля (ЕЭМП) Земли и типы вариаций ЕЭМП Земли. Основная идея методов МТЗ, МВП и ТТ. Основные типы геоэлектрических разрезов. Модель Тихонова-Каньяра. Плоское поле в однородном полупространстве (ОПП). Волновое число. Затухание поля в ОПП. Длина волны, толщина скин-слоя. Импеданс ОПП, определение сопротивления ОПП по импедансу. Амплитудные и фазовые кривые МТЗ. Высокочастотная и низкочастотная асимптоты. Тензор импеданса.

Аппаратура для МТ-методов. Датчики поля для МТ-методов. Методика полевых работ методом МТЗ. Обработка записей поля в методе МТЗ. Влияние приповерхностных неоднородностей на кривые МТЗ. Нормализация кривых МТЗ.

Поле ГЭД в ближней и дальней зонах. Поле ВМД в ближней и дальней зонах. Методика работ в методе ЧЗ. Обработка данных в методе ЧЗ. Кривые ЧЗ и методы их интерпретации. Преимущества и недостатки метода ЧЗ по отношению к другим методам зондирования.

Методы электромагнитного профилирования. Метод ДИП в ближней, средней и дальней зоне. Различные модификации метода ЗС. Метод ЗСБ. Установки. Расчет кажущегося сопротивления. Основы интерпретации кривых ЗСБ.

### ***(8) Решение прямых задач переменного тока для горизонтально-слоистых сред, в горизонтально-неоднородных средах***

Идея метода МТЗ, источники поля, технология работ. Передаточные функции для МТ-поля, скалярный импеданс, тензор импеданса. Модификации МТ-методов. Частотный диапазон, измеряемые компоненты. Плоская волна в ОПП. Импеданс для полупространства, физический смысл модуля и фазы импеданса. Формула для расчета кажущегося сопротивления.

Вывод формулы толщины скин-слоя. Решение задачи Тихонова-Каньяра и импеданс ГСС. Амплитудные и фазовые кривые МТЗ. Сравнение кривых МТЗ с кривыми ВЭЗ. Высокочастотные и низкочастотные асимптоты импеданса, кривых кажущегося сопротивления, фазы.

Методы решения прямых задач в неоднородных средах. МТ-поле в 2D-среде (E и H-поляризации), продольные и поперечные кривые МТЗ. Постановка краевой задачи для МТ-поля в двумерно-неоднородных средах. Решение краевой задачи методом конечных разностей. Понятие локально-нормальной кривой МТЗ и об искажениях кривых МТЗ. Кривые МТЗ над характерными двумерными моделями модель горста, проводящий объект в пределах высокоомного слоя, береговой эффект. Обработка записи МТ поля, получение частотных зависимостей 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.

#### **(9) *Высокочастотные, волновые методы электроразведки:***

Радиоволновое просвечивание и георадиолокация. Уравнение Гельмгольца и распространение радиоволн в реальных геологических средах. Скорость электромагнитных волн. Основные причины уменьшения амплитуды электромагнитного сигнала. Затухание электромагнитных волн. Рассеяние электромагнитных волн на неоднородностях разреза. Глубина исследования в георадиолокации. Коэффициент отражения. Дифракция электромагнитной волны на неоднородностях. Явление релаксации Дебая на частотах свыше 100 МГц. Особенности методики и интерпретации волновых полей.

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

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

Для стимулирования самостоятельной работы студентов в течение всего семестра, по завершении четырёх разделов дисциплины проводятся письменные контрольные работы. Для усвоения первой части курса, посвященной методике электроразведки постоянным током, студенты выполняют лабораторный практикум, состоящий из 7 задач. Для усвоения второй части курса, посвященной теории электроразведочных методов, студенты выполняют лабораторные задачи по интерпретации электроразведочных данных из 8 задач. Студенты, успешно написавшие контрольные работы, выполнившие все лабораторные работы допускаются к зачету и экзамену.

*Лабораторный практикум* физического моделирования в баках и на моделях сложных геоэлектрических сред с использованием стандартной электроразведочной аппаратуры (лаборатории Ц-05 и Ц-03 кафедры геофизики) состоит из 7 задач: 1- вертикальные электрические зондирования, 2 – электрическое профилирование, 3 – метод естественного поля, 4 – дипольное индукционное профилирование, 5- метод вызванной поляризации, 6 - зондирование становления в ближней зоне, 7 – петрофизические измерения на образцах керна. Для выполнения лабораторного практикума студенты разбиваются на бригады и после предварительного собеседования получают допуск к работе. После интерпретации данных и оформления результатов, происходит сдача работы преподавателю в форме собеседования с предоставлением результатов в письменном виде.

*Практикум по интерпретации* состоит из 8 задач (лаборатория Ц-03 кафедры геофизики): 1) анализ многослойных геологических разрезов и кривых ВЭЗ с применением функции Дар-Заррук, 2) интерпретация кривых ВЭЗ с помощью палеток, 3) интерпретация четырех-пятислойных кривых ВЭЗ с помощью палеток, 4) интерпретация кривых ВЭЗ с помощью программы интерактивного подбора и диалога, 5) построение геолого-геофизического разреза по данным ВЭЗ, 6) выявление фоновых и аномальных участков по данным комплекса методов, 7) интерпретация данных МТЗ и МТ-профилирования, 8) S-интерпретация данных ЗСБ. Перед раздачей индивидуальных заданий проводится семинар, на котором подробно докладываются теоретические основы метода, приемы и подходы к обработке, интерпретации и визуализации данных. По каждой задаче работа представляется в письменном виде преподавателю и до тех пор, пока студент не устранил все ошибки, выполнение работы не засчитывается.

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

При самостоятельной подготовке к зачету и экзамену студенты прорабатывают следующий список вопросов:

1. Классификация методов электроразведки. Области наиболее эффективного применения методов электроразведки.
2. Электромагнитные свойства горных пород. Удельное электрическое сопротивление (зависимость от минерального состава скелета, пористости, влажности, минерализации воды и глинистости), диэлектрическая проницаемость (зависимость от минерального состава скелета, влажности, минерализации воды и глинистости, от частоты), магнитная проницаемость, поляризуемость (определение, два типа аномалий ВП), строение двойного электрического слоя и электрохимическая активность горных пород.
3. Уравнения Максвелла и их физический смысл. Закон Фарадея и закон полного тока.
4. Вывод телеграфного уравнения, три модели электромагнитного поля.
5. Электроразведочный канал: происхождение полезных сигналов и помех, понятие о линейных системах, генераторы, источники поля, приемные датчики, структура измерительной аппаратуры. Требования к электроразведочным измерителям и генераторам. Общие представления об электромагнитных помехах.
6. Аномалии над неоднородностями на постоянном токе и идея метода сопротивлений. Уравнение Лапласа. Уравнение Кирхгофа. Закон Ома. Два примера выполнения закона Ома.
7. Электроразведочная установка и ее геометрический коэффициент. Понятие об истинном удельном электрическом сопротивлении горных пород как о физическом свойстве и кажущемся сопротивлении, как о наблюдаемом поле.
8. Глубинность геометрических зондирований. Понятие о действующем разное установок. Влияние поверхности Земли на измерения электрического поля. Граничные условия. Затухание поля на «бесконечности».
9. Три модели поля постоянного тока в зависимости от расстояния от источников тока: электрическое поле точечного источника, электрический потенциал и поле двух источников, потенциал и поле диполя. Основные типы электроразведочных установок.
10. Сущность метода вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Методика полевых работ методом ВЭЗ. Сегменты кривой ВЭЗ. Изображение кривых ВЭЗ.
11. Двухслойная палетка ВЭЗ и свойства простейших кривых ВЭЗ. Типы трехслойных кривых ВЭЗ. Принцип эквивалентности.
12. Сущность метода электропрофилирование. Морфология аномалий кажущегося сопротивления над локальным объектом. Зависимость аномалий кажущегося сопротивления от контраста сопротивлений и глубины нижней кромки.
13. Рудное и нерудное пересечение для установок  $ABmn + mnAB$  и  $Amn + mnB$ . Аномалии срединного градиента. Особенности моделей геоэлектрических разрезов на постоянном токе. Аналитические, квазианалитические и численные решения задач постоянного тока.
14. Постановка задачи об электрическом поле точечного источника вблизи вертикального контакта двух изотропных сред. Метод зеркальных отражений и граничные условия равенства электрического потенциала и плотности тока.
15. Потенциал и поле вблизи вертикального контакта при различных взаимных положениях питающего электрода, приемного диполя MN и контакта. Поведение графиков кажущегося сопротивления вблизи вертикального контакта.
16. Постановка задачи о поле точечного источника, расположенного на поверхности горизонтально-слоистой среды (ГСС). Граничные условия на поверхности раздела слоев и на поверхности земли. Приведение уравнения Лапласа к системе двух дифференциальных уравнений относительно координат  $z$  и  $r$ . Общее фундаментальное решение задачи. Построение системы линейных уравнений относительно неизвестных коэффициентов.
17. Рекуррентная формула расчета электрического поля точечного источника на поверхности ГСС. Применение интеграла свертки для расчета кажущегося сопротивления.
18. Метод интегральных уравнений при решении прямой задачи об электрическом поле точечных источников тока в 2D и 3D-неоднородных средах на постоянном токе. Понятие о вторичных зарядах и вторичных поверхностных источниках тока.

19. Идея метода конечных разностей для решения задачи о поле точечного источника в произвольной 2D-среде. Составление уравнения баланса тока в элементарной ячейке неоднородной среды. Преимущества и недостатки метода конечных разностей и метода интегральных уравнений.
20. Аномалии электрического поля над неоднородностями и их связь со вторичными зарядами. Электрические зондирования над неоднородностями и основные типы искажений кривых ВЭЗ.
21. Электрическое поле на поверхности вертикально тонкослоистого объема в форме куба. Электрическое поле точечного источника расположенного на поверхности однородного анизотропного полупространства. Парадокс анизотропии.
22. Типы электроразведочных установок: названия установок, сравнительные размеры установок, глубинность установок при одном действующем разносе, величина сигнала в приемной линии, чувствительность установок к глубоким границам и неоднородностям среды, полевая бригада для обслуживания данной установки, области применения установок и выбор оптимальной установки при решении конкретной геологической задачи.
23. Дифференциальные установки для поиска локальных и глубинных неоднородностей.
24. Особенности методики в электротомографии технологии. Многоэлектродные и многоканальные приборы. Инверсия и методы интерпретации данных электротомографии. Глубинность установок в электротомографии. Решаемые геологические задачи.
25. Три типа аномалий естественного поля и уровень аномалий от различных источников. Задачи, решаемые методом ЕП. Устройство неполяризующихся электродов.
26. Методика сухопутной съемки методом ЕП. Первичная обработка данных ЕП. Особенности съемки методом ЕП на акваториях.
27. Сущность метода вызванной поляризации. Истинная и кажущаяся поляризуемость. Происхождение аномалий в ионопроводящих средах и в присутствии электронных проводников. Зависимость ВП от влажности, пористости, зернистости, глинистости, сопротивления горных пород и чувствительность минералов к концентрации рудных вкрапленников.
28. Основные минералы, создающие ВП. Способы измерения ВП на постоянном и переменном токе. Частотный диапазон измерений ВП. Методика СГ-ВП. Методика ВЭЗ-ВП. Методика электротомографической съемки ВП. Уровень сигналов ВП и требования по току.
29. Особенности переменных электромагнитных полей, как следствие явления электромагнитной индукции. Характер изменения поля во времени. Понятие комплексной амплитуды для гармонических колебаний. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд гармонического поля.
30. Гальваническое и индукционное возбуждение геоэлектрического разреза. Высокоомные и проводящие экраны. Основные механизмы возбуждения электромагнитного поля и основные модели источников электромагнитного поля.
31. Понятия ближней и дальней зон дипольного источника. Классификация низкочастотных методов электроразведки. Области применения низкочастотных методов электроразведки.
32. Общая характеристика МТ-методов. Источники естественного электромагнитного поля (ЕЭМП) Земли и типы вариаций ЕЭМП Земли.
33. Передаточные функции для МТ-поля, скалярный импеданс, тензор импеданса. Модификации МТ-методов: МТЗ, МВП и ТТ. Частотный диапазон, измеряемые компоненты.

34. Технология работ МТЗ. Основные типы геоэлектрических разрезов. Модель Тихонова-Каньяра. Плоское поле в однородном полупространстве (ОПП). Решение задачи Тихонова-Каньяра и импеданс ГСС.
35. Волновое число. Затухание поля в ОПП. Длина волны, толщина скин-слоя. Глубинность исследований в электроразведке переменным током.
36. Импеданс ОПП. Физический смысл модуля и фазы импеданса. Формула для расчета кажущегося сопротивления. Амплитудные и фазовые кривые МТЗ. Высокочастотная и низкочастотная асимптоты кривых МТЗ. Тензор импеданса. Кривые кажущегося сопротивления, фазы. Сравнение кривых МТЗ с кривыми ВЭЗ.
37. Аппаратура и датчики поля для МТ-методов. Методика полевых работ методом МТЗ.
38. Методы решения прямых задач в неоднородных средах. МТ-поле в 2D-среде (Е и Н-поляризации), продольные и поперечные кривые МТЗ. Постановка краевой задачи для МТ-поля в 2D-неоднородных средах. Решение краевой задачи методом конечных разностей.
39. Понятие локально-нормальной кривой МТЗ и искажения кривых МТЗ. Влияние приповерхностных неоднородностей на кривые МТЗ и способы подавления этих искажений (нормализация кривых МТЗ).
40. Кривые МТЗ над характерными двумерными моделями модель горста, проводящий объект в пределах высокоомного слоя, береговой эффект. Обработка записи МТ поля, получение частотных зависимостей передаточных функций.
41. Тензор импеданса в 1D, 2D и 3D средах, собственные значения тензора импеданса, параметры неоднородности и асимметрии, эффективный импеданс.
42. Поле ГЭД в ближней и дальней зонах. Поле ВМД в ближней и дальней зонах.
43. Методика работ в методе ЧЗ. Обработка данных в методе ЧЗ. Кривые ЧЗ и методы их интерпретации. Преимущества и недостатки метода ЧЗ.
44. Методы электромагнитного профилирования. Метод ДИП в ближней и дальней зоне.
45. Различные модификации метода ЗС. Метод ЗСБ. Установки ЗСБ. Расчет кажущегося сопротивления. Основы интерпретации кривых ЗСБ.
- Волновая модель электромагнитного поля. Скорость и затухание электромагнитных волн в горных породах. Коэффициент отражения. Дифракция электромагнитной волны на неоднородностях. Эффект релаксации Дебая. Метод георадиолокации. Метод радиоволнового просвечивания.

#### 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 принципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
Владения (в соответствии с	Навыки владения	Фрагментарное владение	В целом сформирован-	Владение методами,

пунктом 3 настоящей программы)	методами отсутствуют	методикой, наличие отдельных навыков	ные навыки использования методов	использование их для решения задач
--------------------------------	----------------------	--------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература:

1. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Под ред. проф. В.К. Хмелевского, доц. И.Н. Модина, доц. А.Г. Яковлева. М.: 2005, 311 с.
2. Горбунов А.А., Большаков Д.К. Курс «электроразведка». Практикум. Часть 2. Пособие для студентов геофизических специальностей. М.: 2005, 102 с.
3. Заборовский А.И. Электроразведка. Учебник. Гос. науч.-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1963, 423 с.
4. Хмелевской В.К. Электроразведка. Издание 2-е, Изд-во МГУ, 1984, 422 с.
5. Матвеев Б.К. Электроразведка при поисках месторождений полезных ископаемых. Учебник для ВУЗов. М.: Недра, 1982, 375 с.
6. Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка. Учебник для ВУЗов. 3-е издание. М.: Недра, 1991, 359 с.
7. Жданов М.С. Электроразведка. М.: Недра, 1986, 316 с.

#### - дополнительная литература:

1. Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования земной коры. Дубна, Изд-во Международного университета природы, общества и человека. Книга 1, 1997, книга 2, 1999.
2. Куфуд О. Зондирование методом сопротивлений. Пер. с англ. М.: Недра, 1984, 270 с.
3. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. М.: Научный мир, 2007, 248 с.
4. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009, 680 с.
5. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. М.: Научный мир, 1997, 219 с.
6. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л.: Недра, 1980, 391 с.
7. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного поля. М.: Недра, 1980.
8. Куликов А.В., Шемякин Е.А. Электроразведка фазовым методом вызванной поляризации. – М.: Недра, 1978.
9. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. Л.: Недра, 1980, 391 с.
10. Якубовский Ю.В. Индуктивный метод электроразведки. М.: Госгеолтехиздат, 1963, 211 с.
11. Захаров В.Х. Электроразведка методом дипольного индуктивного профилирования. Л.: Недра, 1975.
12. Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред. Разведочная геофизика. Обзор. Выпуск 2. М.: АОЗТ "Геоинформмарк", 1996, 50 с.
13. Инструкция по электроразведке. Л.: Недра, 1984, 352 с.

## 9. Язык преподавания – русский.

## 10. Преподаватели – Модин И.Н., Яковлев А.Г.

## 11. Авторы программы – Модин И.Н., Яковлев А.Г., Пушкарев П.Ю.