

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

УТВЕРЖДАЮ  
И.О. декана Геологического факультета  
чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_/Н.Н.Еремин/  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Электроразведка**

**Electrical survey**

Авторы-составители: Модин И.Н., 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 2022

---

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова от \_\_\_\_\_ 2022 года (протокол №).

Год приема на обучение: 2022

*Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.*

## Цель и задачи дисциплины

**Целью** курса "Электроразведка" является освоение студентами основ электрической разведки при поисках и разведке полезных ископаемых, принципов применимости различных модификаций электроразведки для решения широкого круга геологических задач и усвоение правил рационального комплексирования электроразведки с другими геофизическими и геологическими методами для достижения максимальной эффективности геологоразведочных исследований.

**Задачи** - ознакомление студентов с теоретическими основами электроразведки, изучение электромагнитных свойств горных пород, методики электроразведочных наблюдений и технических средств сбора данных, а также приемов визуализации, обработки и интерпретации электроразведочных данных, изучение электроразведочной терминологии.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Классификация методов электроразведки. Области эффективного применения методов электроразведки. Электромагнитные свойства горных пород. Понятие об электроразведочном канале. Основы теории электроразведки. Принципы зондирования: геометрическое, частотное и волновое зондирование. Глубинность зондирований. Понятие об основных модификациях электроразведки. Особенности методов постоянного и переменного тока. Обзор методов постоянного и переменного тока.

На лабораторных занятиях студенты с помощью установок физического моделирования знакомятся с основными электроразведочными методами. На семинарских занятиях студенты знакомятся с методами обработки и интерпретации электроразведочных данных и применяют эти методы для решения задач лабораторного практикума.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП** – относится к профильному блоку вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения. Курс – III, семестр – 5, 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. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями
<b>ОПК-3.Б.</b> Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки	<b>Б.ОПК-3. И-1.</b> Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности. <b>Б.ОПК-3. И-2.</b> Владеет базовыми навыками получения информации (полевой, камеральной, лабораторной) для решения стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подго-	<b>Знать:</b> основы динамической и структурной геологии; классификацию горных пород; электромагнитные свойства горных пород; физические законы, управляющие поведением электромагнитных полей в образцах горных пород, в скважинах, в слоях и в структурных элементах земной коры; области эффективного применения методов электроразведки; физические основы электроразведочных методов. <b>Уметь:</b> использовать физико-математические формулы и программное

	<p>товки.</p> <p><b>Б.ОПК-3. И-3.</b> Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.</p>	<p>обеспечение для визуализации экспериментальных данных, расчета прямых и обратных задач электроразведки для простых случаев.</p> <p><b>Владеть:</b> электроразведочной терминологией; навыками работы на электроразведочных приборах; специализированным программным обеспечением.</p>
<p><b>ПК-2.Б.</b> Способен в составе научно-исследовательского коллектива участвовать в получении и интерпретации информации (в соответствии с профилем подготовки).</p>	<p><b>Б.ПК-2. И-1.</b> Под руководством специалиста высокой квалификации участвует в получении информации по объектам исследования (в соответствии с профилем подготовки), составляет рефераты и аналитические обзоры по собранной информации.</p> <p><b>Б.ПК-2. И-2.</b> Владеет навыками по обработке полученных результатов согласно требованиям, принятым в профессиональном сообществе.</p> <p><b>Б.ПК-2. И-3.</b> Готовит отчетную документацию по выполненной работе.</p>	<p><b>Знать:</b> теоретические основы электроразведки; состав электроразведочной аппаратуры и вспомогательного оборудования; принципы контроля при получении электроразведочных данных и строго выполнять их; правила ведения полевой документации; знать правила техники безопасности.</p> <p><b>Уметь:</b> сформулировать геофизическую задачу; изготовить оборудование, принять участие в создании полевой бригады, способную выполнить электроразведочные работы; под руководством специалиста высокой квалификации получить электроразведочные данные по объектам исследования в соответствии с профилем подготовки; составлять рефераты и аналитические обзоры по собранной информации; наладить связь со всеми сторонами производственного процесса; четко понимать свою роль в производственном процессе и взаимодействии с другими членами команды; выполнять профилактические работы с аппаратурой и оборудованием.</p> <p><b>Владеть:</b> выполнять подготовку отчетной документации по выполненной работе; навыками по обработке полученных результатов согласно требованиям, принятым в профессиональном сообществе, электроразведочной терминологией; конкретными представлениями о технологиях применения методов электроразведки; навыками работы на электроразведочных приборах и компьютерах; специализированным программным обеспечением; правилами техники безопасности.</p>
<p><b>СПК-1.Б.</b> Способен решать задачи в области разведочной геофизики</p>	<p><b>Б.СПК-1. И-1.</b> Знает основы методов разведочной геофизики и их применения для решения различных геологических задач</p>	<p><b>Знать:</b> теоретические основы электроразведки, конкретных электроразведочных методов и их применение для решения различных геологических задач.</p> <p><b>Уметь:</b> выполнять проверки гипотез</p>

при моделировании геофизических полей для сложно-построенных физико-геологических моделей геологических сред, в том числе трехмерных	<b>Б.СПК-1. И-2.</b> Владеет методами решения прямых задач геофизики для сред различной размерности	геологического строения с помощью моделирования электрических и магнитных полей, используемых в электроразведке. <b>Владеть:</b> методами решения прямых задач электроразведки для сред различной размерности.
--	---	---

**4. Объем дисциплины** составляет **5** з.е. (**180** часов), в том числе **116**(64+52) академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**58**(32+26) часов – лекции, **29**(16+13) часов – лабораторные работы, **29**(16+13) часов – семинары), **64**(44+20) академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет в 5-м семестре и экзамен в 6-м семестре.

**5. Формат обучения**– лекционные, лабораторные и семинарские занятия, не предполагается использовать электронное обучение и дистанционные образовательные технологии (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.).

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

<b>Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины</b>  <b>Форма промежуточной аттестации по дисциплине</b>	<b>Всего (часы)</b>	<b>В том числе</b>									
		<b>Контактная работа</b>				<b>Самостоятельная работа обучающегося, часы</b>					
		(работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				<b>Всего</b>	Расчетно-графические работы	Работа с литературой	Подготовка реферата	Подготовка к контрольному опросу	<b>Всего</b>
		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.	<b>2</b>	2			<b>2</b>						
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.	<b>22</b>	8	4	2	<b>14</b>	2	2	4		<b>8</b>	
Текущая аттестация 1: доклад с презентацией	<b>6</b>			2	<b>2</b>				4	<b>4</b>	
3. Электроразведочные установки постоянного тока. Потенциал и поле постоянного тока одного и двух источников. Влияние поверхности земли. Принцип эквивалентности.	<b>20</b>	8	4	2	<b>14</b>	4	2			<b>6</b>	
4. Методы постоянного тока: метод сопротивлений, метод естественного поля, метод вызванных потенциалов, метод заряженного тела.	<b>25</b>	8	6	2	<b>16</b>	4	3	2		<b>9</b>	

5. Прямые задачи постоянного тока: однородное полупространство, модель вертикального контакта, горизонтально-слоистая среда, решение задачи для горизонтально-неоднородных сред, анизотропная среда и парадокс анизотропии.	<b>23</b>	6	2	6	<b>14</b>	4	3	2		<b>9</b>
Текущая аттестация 2: доклад с презентацией	<b>6</b>			2	<b>2</b>				4	<b>4</b>
<b>ИТОГО:</b>	<b>104</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>64</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>40</b>
<b>5 семестр</b> Промежуточная аттестация - <u>зачет</u>	<b>4</b>	<i>Устный зачет</i>				<b>4</b>				
<b>5 семестр</b> <b>Всего</b>	<b>108</b>	<b>64</b>				<b>44</b>				
6. Квазистационарная модель электромагнитного поля, ее основные особенности и отличия от модели постоянного тока.	18	6	4	4	<b>14</b>			2	2	<b>4</b>
7. Методы переменного тока: частотные зондирования, метод теллурических зондирований, метод зондирования становлением поля и дипольное индукционное профилирование.	20	8	4	4	<b>16</b>	2	2			<b>4</b>
8. Решение прямых задач переменного тока для однородного полупространства и горизонтально-слоистых сред. Прямые задачи переменного тока в неоднородных средах.	16	6	3	3	<b>12</b>			2	2	<b>4</b>
9. Высокочастотные, волновые методы электроразведки: радиоволновое просвечивание и георадиолокация. Распространение радиоволн в реальных геологических средах. Особенности методики и интерпретации волновых полей.	14	6	2	2	<b>10</b>	2	2			<b>4</b>
<b>ИТОГО:</b>	<b>68</b>	<b>26</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>52</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
<b>6 семестр</b> Промежуточная аттестация - <u>экзамен</u>	<b>4</b>	<i>Устный экзамен</i>				<b>4</b>				
<b>6 семестр</b> <b>Всего</b>	<b>72</b>	<b>52</b>				<b>20</b>				
<b>Итого:</b>	<b>180</b>	<b>116</b>				<b>64</b>				

## **Содержание разделов дисциплины:**

### **Содержание лекций, семинаров**

#### **Содержание лекций**

#### **(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 сре-

ды. 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 вкрапленников. 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. Высокоомные 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 возбуж-

дения 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 (Е и Н-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.

**План проведения семинаров.**

1. Обсуждение «Удельное сопротивление горных пород», «Вызванная поляризация», «Электромагнитные свойства горных».
2. Обсуждение «Типы электроразведочных установок», «Геометрический коэффициент»
3. Обсуждение «Электроразведочный канал»
4. Обсуждение «Уравнения Максвелла и три типа полей в электроразведке»
5. **Доклады и их обсуждения**
6. Обсуждение «Граничные условия и условия на источнике и бесконечности»
7. Обсуждение «Виды проведения электроразведочных работ: зондирование, профилирование, томография и мониторинг».
8. **Доклады и их обсуждение**
9. Обсуждение «Общие особенности методов постоянного тока».
10. Обсуждение «Общие особенности методов переменного тока»
11. Обсуждение «Ближняя, средняя и дальняя зона в электроразведке переменным током»
12. Обсуждение «Скин – эффект и его значение в электроразведке»
13. **Доклады и их обсуждение.**
14. Обсуждение «Постановка задачи и общий ход решения Тихонова –Коньяра».
15. **Доклады и их обсуждение**

***Примерный перечень лабораторных работ:***

**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 семи-

нар, 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.

Студенты, успешно написавшие контрольные работы, выполнившие все лабораторные работы допускаются к зачету и экзамену.

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

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

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных работ, при докладах (с презентацией), при защите рефератов, при контрольном тестировании и контрольных опросах.

#### ***Примерный перечень работ для проведения текущего контроля:***

1. Расчет удельного электрического сопротивления образца горной породы
2. Расчет электрического поля в среде
3. Расчет параметров входного сопротивления измерительных систем.
4. Расчет электрического потенциала в средах при заданном положении питающих и приемных электродов
5. Расчет коэффициентов установок
6. Расчет времени прихода отраженной электромагнитной волны от внутренних границ в разрезе.
7. Расчет магнитного поля кабеля.
8. Расчет электрического заряда.
9. Расчет электрического поля при переходе через границу.
10. Расчет кажущегося сопротивления для точечного источника вблизи вертикального контакта двух сред.

#### ***Расчетные домашние задания:***

1. Построение карт и интерпретация данных в методе естественного поля
2. Интерпретация данных ВЭЗ
3. Качественная интерпретация и построение разрезов для результатов электропрофилирования.
4. Интерпретация данных в методе ВП.
5. Построение карт дипольного профилирования
6. Построение результатов межскважинного просвечивания
7. Расчет удельного сопротивления образцов горных пород
8. Анализ результатов интерпретации кривых ВЭЗ с помощью функций Дар-Зарук.
9. Выделение аномальных зон для слабых аномалий ВП по комплексу трех методов.
10. Интерпретация данных ЗСБ.
11. Интерпретация многослойных кривых ВЭЗ.

#### ***Примерный перечень тем докладов:***

1. Применение электроразведки для решения геокриологических задач.
2. Применение электроразведки для решения археологических задач.

3. Применение электроразведки для решения рудных задач.
4. Применение электроразведки для решения гидрогеологических задач.
5. Применение электроразведки для решения инженерно-геологических задач.
6. Применение электроразведки для решения гидротехнических задач.
7. Применение электроразведки для картирования подземных коммуникаций.
8. Применение электроразведки для решения экологических задач.
9. Применение электроразведки для решения геоструктурных задач.
10. Применение электроразведки для изучения опасных геологических процессов.

***Примерный перечень тем рефератов:***

1. Морские электроразведочные исследования
2. Работы на пресноводных акваториях
3. Аэроэлектроразведка
4. Электроразведочные исследования с помощью дронов.
5. Обзор аппаратных разработок в области электроразведки за последние 10-15 лет.
6. Новые методы в электроразведке: ЭТ, георадиолокация и РМТ.
7. Георадиолокация: приборы и их возможности.
8. Бесконтактная электроразведка: возможности и ограничения
9. Разновидности метода электротомографии. Практические примеры.
10. Что такое блуждающие токи?

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

***Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (зачет):***

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 разноме 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 электропрофилеирования. 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. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Гальваническое и индукционное возбуждение геоэлектрического разреза. Высокоомные и проводящие экраны. Основные механизмы возбуждения электромагнитного поля и основные модели источников электромагнитного поля.
18. Понятия ближней и дальней зон дипольного источника. Классификация низкочастотных методов электроразведки. Области применения низкочастотных методов электроразведки.
19. Общая характеристика МТ-методов. Источники естественного электромагнитного поля (ЕЭМП) Земли и типы вариаций ЕЭМП Земли.
20. Аппаратура и датчики поля для МТ-методов. Методика полевых работ методом МТЗ.
21. Волновое число. Затухание поля в ОПП. Длина волны, толщина скин-слоя. Глубинность исследований в электроразведке переменным током.
22. Типы электроразведочных установок: названия 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.
23. Дифференциальные установки для поиска локальных и глубинных неоднородностей.

***Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамен):***

24. Теоретические основы электроразведки: три модели э/м поля. Волновая модель электромагнитного поля. Скорость и затухание электромагнитных волн в горных породах.
25. Коэффициент отражения. Дифракция электромагнитной волны на неоднородностях. Эффект релаксации Дебая. Метод георадиолокации. Метод радиоволнового просвечивания.

26. 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.
27. Решение задачи о потенциале и поле вблизи вертикального контакта при различных взаимных положениях питающего электрода, приемного диполя МNi контакта. Поведение графиков кажущегося сопротивления вблизи вертикального контакта.
28. 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.
29. Рекуррентная формула расчета электрического поля точечного источника на поверхности ГСС. Применение интеграла свертки для расчета кажущегося сопротивления.
30. 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.
31. 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.
32. Аномалии электрического поля над неоднородностями и их связь со вторичными зарядами. Электрические зондирования над неоднородностями и основные типы искажений кривых ВЭЗ.
33. Электрическое поле на поверхности вертикально тонкослоистого объема в форме куба. Электрическое поле точечного источника расположенного на поверхности однородного анизотропного полупространства. Парадокс анизотропии.
34. Особенности методики в электротомографии технологии. Многоэлектродные и многоканальные приборы. Инверсия и методы интерпретации данных электротомографии. Глубинность установок в электротомографии. Решаемые геологические задачи.
35. Три типа аномалий естественного поля и уровень аномалий от различных источников. Задачи, решаемые методом ЕП. Устройство неполяризующихся электродов.
36. Методика сухопутной съемки методом ЕП. Первичная обработка данных ЕП. Особенности съемки методом ЕП на акваториях.
37. Передаточные функции для МТ-поля, скалярный импеданс, тензор импеданса. Модификации МТ-методов: МТЗ, МВП и ТТ. Частотный диапазон, измеряемые компоненты.
38. Технология работ МТЗ. Основные типы геоэлектрических разрезов. Модель Тихонова-Каньяра. Плоское поле в однородном полупространстве (ОПП). Решение задачи Тихонова-Каньяра и импеданс ГСС.
39. 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.
40. 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.
41. Понятие локально-нормальной кривой МТЗ и искажения кривых МТЗ. Влияние приповерхностных неоднородностей на кривые МТЗ и способы подавления этих искажений (нормализация кривых МТЗ).
42. 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.

43. Тензор импеданса в 1D, 2D и 3D средах, собственные значения тензора импеданса, параметры неоднородности и асимметрии, эффективный импеданс.
44. Поле ГЭД в ближней и дальней зонах. Поле ВМД в ближней и дальней зонах.
45. Методика работ в методе ЧЗ. Обработка данных в методе ЧЗ. Кривые ЧЗ и методы их интерпретации. Преимущества и недостатки метода ЧЗ.
46. Методы электромагнитного профилирования. Метод ДИП в ближней и дальней зоне.
47. Различные модификации метода ЗС. Метод ЗСБ. Установки ЗСБ. Расчет кажущегося сопротивления. Основы интерпретации кривых ЗСБ.

**Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (5 семестр, зачет)**

Оценка результатов обучения, соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
<b>Знания</b> (устный опрос)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
<b>Умения</b> (устный опрос)	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (устный опрос)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

**Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (6 семестр экзамен)**

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 не принципиального 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	Свободное владение методами, 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.: Недрa, 1991, 359 с.
7. Жданов М.С. Электроразведка. М.: Недрa, 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.:Недрa, 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.:Недрa, 1980, 391с.
7. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного поля. М.: Недрa, 1980.
8. Куликов А.В., Шемякин Е.А. Электроразведка фазовым методом вызванной поляризации. – М.: Недрa, 1978.
9. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. Л.: Недрa, 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.:Недрa, 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.: Недрa, 1984, 352 с.

### **Б) Перечень программного обеспечения:**

#### **- лицензионное**

Список лицензионного ПО для освоения дисциплины, имеющегося на факультете и/или на кафедре (при необходимости).

#### **- нелицензионное и свободного доступа**

пакет программ OpenOffice, любые свободно распространяющиеся программы, требующиеся для освоения дисциплины.

### **В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

- реферативная база данных издательства Elsevier: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

- Базы, реестры, справочники (свободный доступ, подписки)

**Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)**

- поисковая система научной информации [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

- электронная база научных публикаций [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)

**Д) Материально-технического обеспечение:**

Учебная аудитория с мультимедийным проектором

Компьютерный класс.

**9. Язык преподавания** – русский.

**10. Преподаватели** – Ответственный за курс – проф. Модин И.Н. Преподаватели - проф. Модин И.Н., доц. Яковлев А.Г., Зорин Н.И., проф. Куликов В.А., доц. Большаков Д.К, доц. Бобачёв А.А., проф. Шевнин В.А.

**11. Разработчики программы** – профессор Модин И.Н., доцент Яковлев А.Г.