

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.Ерёмин/  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Геологическая интерпретация данных электроразведки**

**Geological interpretation of electrical exploration data**

Автор-составитель: И.Н.Модин

**Уровень высшего образования:**

*Магистратура*

**Направление подготовки:**

**05.04.01 Геология**

**Магистерская программа**

**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 магистратуры*).

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

Год приема на обучение: 2022

---

## **Цель и задачи дисциплины**

**Целью** курса "Геологическая интерпретация данных электроразведки" является освоение знаний по геологической интерпретации электроразведочных данных и обеспечить подготовку магистрантов геологии по дисциплине «Геологическая интерпретация данных электроразведки» теоретическими подходами качественной интерпретации и практическими навыками построения окончательных геологических разрезов.

**Задачи** - получение знаний о постановке и решении основных прямых задач низкочастотных электромагнитных зондирований; выработка понимания закономерностей поведения электромагнитного поля в рамках этих задач; изучение методов анализа и интерпретации электроразведочных данных, планированию и выполнению исследований при решении разнообразных геологических задач, ознакомление с основными направлениями электроразведки и технической реализацией аппаратурных разработок

### **Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

Геологическая интерпретация является конечной и наиболее ответственной стадией геофизических исследований. В результате геологической интерпретации должны быть построены геолого-геофизические и геологические разрезы, карты, структурные геологические схемы и выданы окончательные результаты комплексных геофизических исследований, включая результаты электрических зондирований. Точность таких построений зависит от требуемого масштаба карт и разрезов, глубинности исследования, плотности наблюдения электроразведочных данных, методов исследования, выбранной модели среды, теоретических знаний и программного аппарата анализа данных, возможности алгоритмического и методического подавления геологических помех и промышленных шумов. В рамках данной учебной дисциплины подробно раскрываются физико-геологические закономерности влияния каждого из перечисленных факторов.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, дисциплина по выбору модуля «Электроразведка», курс – I, семестр – 2.

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

обучающийся должен владеть базовыми естественно-научными, математическими и профессиональными знаниями в объеме вступительного экзамена в магистратуру, а также знаниями дисциплин «Геофизические методы исследования», «Теория геофизических полей», «Электроразведка неоднородных и анизотропных сред».

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Компетенции выпускников (коды ОПК)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями
<p><b>ОПК-3.ММ</b> Способен в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их практическому использованию.</p>	<p><b>ММ.ОПК-3. И-1.</b> Владеет навыками самостоятельного получения результатов при решении задач профессиональной деятельности.  <b>ММ.ОПК-3. И-2.</b> Объективно оценивает полученные результаты, обобщает их, формулирует выводы.  <b>ММ.ОПК-3. И-3.</b> Использует полученные результаты для выработки рекомендаций по их практическому использованию.</p>	<p><b>Знать:</b> основные закономерности формирования структуры электромагнитных полей в сложных неоднородных средах и методы устранения различных искажений поля для правильной геологической интерпретации данных электроразведки.  <b>Уметь:</b> оценивать полученные результаты, обобщать их, формулировать выводы, связанные с решением электроразведочных задач, использовать полученные результаты электроразведочных исследований для их практического использования.  <b>Владеть:</b> навыками самостоятельного получения результатов при решении задач профессиональной деятельности в области электроразведки.</p>
<p><b>ПК-2.ММ</b> Способен создавать и исследовать модели изучаемых объектов на основе использования теоретических и практических знаний в области геологии.</p>	<p><b>ММ.ПК-2. И-1.</b> Знает теоретические основы и методологию моделирования.  <b>ММ.ПК-2. И-2.</b> Знает возможности и ограничения распространенных стандартных программ моделирования (по направленности подготовки).  <b>ММ.ПК-2. И-3.</b> Владеет базовыми навыками использования стандартных программ моделирования (по направленности подготовки).  <b>ММ.ПК-2. И-4.</b> Знает основные особенности интерпретации данных моделирования (по направленности подготовки).</p>	<p><b>Знать:</b> теоретические основы и методологию моделирования природных и природно-техногенных систем при решении геологических задач с помощью электроразведки; основные особенности интерпретации данных моделирования электрических полей на постоянном и переменном токе.  <b>Уметь:</b> использовать возможности и ограничения распространенных стандартных и прикладных программ моделирования электромагнитных полей.  <b>Владеть:</b> базовыми навыками использования стандартных программ моделирования электрических и магнитных полей.</p>
<p><b>МПК-1.</b> Способен самостоятельно ставить задачи научных и практических исследований в области геофизики, а также решать их с ис-</p>	<p><b>МПК-1. И-1.</b> Определяет цели и задачи геофизических исследований.  <b>МПК-1. И-2.</b> Владеет методами проведения геофизических наблюдений и обработки данных.  <b>МПК-1. И-3.</b> Знает основы</p>	<p><b>Знать:</b> основы построения геоэлектрических моделей разной детальности и масштаба на основе данных электроразведки; основы теории искажения кривых электрических зондирований.  <b>Уметь:</b> определять цели и задачи геофизических исследований, использо-</p>

<p>пользованием современных подходов к проведению геофизических наблюдений, обработке данных, решению прямых и обратных задач, геологической интерпретации результатов</p>	<p>решения прямых и обратных задач геофизики, геологической интерпретации данных.</p>	<p>вать теоретические знания для построения моделей различных геологических объектов и выполнять моделирование электрических полей для сложно построенных сред с учетом геологических и промышленных помех. <b>Владеть:</b> методикой решения прямых задач и двумерных и трехмерных инверсий данных электротомографии.</p>
--	---	--

**4. Объем дисциплины** составляет **3** з.е. (всего **108** академических часов), в том числе **52** академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**36** часов – занятия лекционного типа, **16** часов – занятия семинарского типа), **56** часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации- экзамен

**5. Формат обучения** лекционные и семинарские занятия, лабораторные работы. Не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

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

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		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	Расчетно-графические работы	Подготовка докладов и рефератов	Всего
Раздел 1. Введение. Общие вопросы интерпретации электроразведочных данных	16	4	8	<b>12</b>	2	2	<b>4</b>
Раздел 2 Основные типы помех и искажений электроразведочных данных.	38	6	14	<b>20</b>	10	8	<b>18</b>
Раздел 3. Обработка, визуализация, решение прямой и обратной задачи, критерии правильности решения обратной задачи.	40	6	14	<b>20</b>	8	12	<b>20</b>
Всего:	94	36	16	<b>52</b>	20	22	<b>42</b>
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	14	Устный экзамен			14		
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>52</b>			<b>56</b>		

## Содержание лекций, семинаров

### *Содержание лекций*

#### **Раздел 1. Введение.**

1.1. Стадии получения, обработки и интерпретации данных.

1.2. Проектирование геофизических исследований.

1.3. Общие принципы и подходы к решению обратных задач.

1.4. Понятие о геофизической интерпретации (результат – геоэлектрический разрез) и геологическая интерпретация геофизических данных (результат – геолого-геофизический или литологический разрез).

1.4. Классы решаемых задач и модели геоэлектрического разреза.

1.5. Этапы интерпретации данных.

Раздел включает информацию, необходимую для понимания лекций и самостоятельной работы в ходе курса. Рассматриваются стадии получения, обработки и интерпретации данных, разработка технического задания, оценка стоимости и времени выполнения работ, масштабы съемок, сбор априорной информации, предварительное моделирование электрических и магнитных полей, вопросы контроля качества материалов, подходы к решению обратных задач: замкнутая технология; пакетный режим интерпретации данных; диалоговый или интерактивный режим интерпретации данных, положительные и отрицательные стороны каждого из подходов, циклы интерпретации данных, неравномерность поступления геологических данных как основная причина и необходимость в переинтерпретации геофизических материалов, классы решаемых задач и модели геоэлектрического разреза, этапы интерпретации данных над сложно-построенными геологическими средами.

#### **Раздел 2. Основные типы помех и искажений электроразведочных данных.**

2.1. Общая классификация помех в электроразведке. Технические или методические помехи экспериментальных данных.

2.2. Помехи внешнего происхождения. Электромагнитные поля теллурического происхождения. Промышленные помехи.

2.3. Переменные электромагнитные поля внутреннего происхождения. Меняющиеся во времени естественные поля. Вариации электрических полей растений. Основные положения динамической геоэлектрики.

2.4. Межметодные помехи. Влияние индукционных эффектов на результаты электрических зондирований. Влияние индукционных эффектов на ВЭЗ.

2.5. Теория искажений кривых электрических зондирований. Понятие о локально-нормальной кривой зондирования. Поверхностный и глубинный Р-эффекты. С-эффект и физическое истолкование его проявления. Суммарное проявление Р- и С-эффектов на разрезах кажущегося сопротивления. Идея электрической деконволюции Локе-Баркера. Эффект сопряженных аномалий. Эффект бокового обтекания. Эффект экранирования. Эффект концентрации. Эффект переноса формы. Эффект над проводящей трубой.

2.6. Влияние анизотропии на результаты интерпретации ВЭЗ.

2.7 Ошибки неправильно выбранного класса решаемой задачи.

Раздел посвящен рассмотрению современных представлений о происхождении электромагнитных помех и искажений кривых электрического зондирования, их форме, амплитуде и способах борьбы с ними.

#### **Раздел 3. Обработка, визуализация, решение прямой и обратной задачи, критерии правильности решения обратной задачи.**

3.1. Нормальный и логнормальный закон распределения электрических параметров поля.

3.2. Изображение данных электропрофилирования и ВЭЗ.

3.3. Трансформация  $\rho_{st}$ .

3.4. Обратное преобразование функции Дар-Заррук.

3.5. Трансформация Зохди.

3.6. Особенности программ 2D- и 3D- моделирования.

3.7. Принцип эквивалентности. Принципы эквивалентности для горизонтально слоистых сред. Принцип эквивалентности для 2D- и 3D-неоднородных геоэлектрических разрезов.

3.8. Пропорциональность между объемом и качеством измерений и качеством результатов интерпретации.

3.9. Основные математические алгоритмы решения обратной задачи: метод Ньютона и метод наискорейшего спуска.

3.10. Основные принципы использования метода подбора при решении обратной задачи.

Раздел посвящен технологиям геологической интерпретации с использованием априорной информации: знакомство с техническим заданием и полевой документацией (журналами наблюдений, картой фактического материала), учет метеоусловий съемки, оценка применимости аппаратуры, оборудования и методики для решения задачи (детальное изучение технологии съемки), сбор фондовой априорной информации по исследуемому региону, проверка достоверности геологических и геофизических данных, полученных другими методами, принцип групповой интерпретации, использование средних кривых для составления стартовой модели, использование параметрических зондирований для оценки физических свойств грунтов и применимости данной технологии для решения задачи, гладкость решения, отбраковка грубых отскоков в исходных геофизических данных, проверка качества контрольных наблюдений и оценка пределов действия принципа эквивалентности, тщательный выбор класса модели среды, цикличность интерпретации данных, ручная корректировка результатов интерпретации как окончательный этап интерпретации.

#### ***План проведения семинаров.***

1. Обсуждение «Планирование и организация электроразведочных исследований. Масштабы съемок. Место блока обработки и интерпретации в общепроизводственном процессе.».
2. Доклады студентов (с презентацией)
3. Обсуждение «Типы электромагнитных и геологических помех. Искажения кривых электрического зондирования»
4. Обсуждение «Правила представления информации. Структура и последовательность обработки и интерпретации данных»
5. Доклады студентов по темам рефератов (с презентацией).
6. Обсуждение «Программное обеспечение решения прямых задач электроразведки»
7. Обсуждение «Модели геоэлектрических разрезов»
8. Доклады студентов по темам рефератов (с презентацией).

### **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 лабораторных работ, при докладах (с презентацией), при защите рефератов.

#### ***Примерный перечень вопросов (тестов) для проведения текущего контроля:***

1. Стадии проектирования геофизических работ.
2. Циклы интерпретации.
3. Стадии получения, обработки и интерпретации данных.
4. Геофизическая интерпретация и геологическая интерпретация.

4. Этапы интерпретации.
5. Помех в электроразведке.
6. Промышленные помехи.
7. Р-эффект.
8. С-эффект.
9. Принцип эквивалентности для ГСС, 2D- и 3D-неоднородностей.
11. Нормальный и логнормальный закон распределения.
12. Изображение данных.
13. Метод подбора.
14. Использование априорной информации.

***Примерный перечень тем докладов:***

1. Трансформации электрических зондирований.
2. Эффекты искажений кривых ВЭЗ.
3. Совместная интерпретация кривых кажущегося сопротивления и вызванной поляризации.
4. Электрическая анизотропия горных пород.
5. Георадиолокация: технологии, глубинность, переход к глубинным разрезам, пути развития интерпретации.
6. Электроразведка с БПЛА: получение данных и интерпретация.
7. Разновидности электрической томографии.
8. 1D, 2D и 3D интерпретация электроразведочных данных.
9. Электрический мониторинг: новый вид электроразведки или старая технология.
10. Выявление закона распределения электромагнитных свойств и следствия в обработке и визуализации данных.

***Примерный перечень тем рефератов:***

1. Помехи в электроразведке.
2. Физические границы между типами электромагнитных полей.
3. Что такое омическое сопротивление, вызванная поляризация и где граница между ними.
4. Диэлектрическая проницаемость и вызванная поляризация, что общего и в чем разница между ними.
5. Меняющиеся во времени поля.
6. Как правильно выполнить контроль в электроразведке и что такое точность измерений.
7. Идея тотального моделирования.
8. Полная модель электроразведочного эксперимента.
9. Точность измерений и качество интерпретации электроразведочных данных.
10. Естественные и антропогенные факторы, которые усложняют структуру верхней части геоэлектрического разреза.

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

***Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации на экзамене:***

1. Стадии проектирования геофизических работ. Масштабы съемок.
2. Положительные и отрицательные стороны при пакетном, диалоговом и интерактивном режиме интерпретации данных.
3. Циклы интерпретации.
4. Стадии получения, обработки и интерпретации данных. Геофизическая интерпретация и геологическая интерпретация геофизических данных.
5. Классы решаемых задач и модели геоэлектрического разреза.
6. Этапы интерпретации данных над сложными геологическими структурами.
7. Влияние анизотропии на результаты интерпретации ВЭЗ.
8. Общая классификация помех в электроразведке.

9. Помехи от естественных, переменных электромагнитных полей.
10. Технические или методические помехи экспериментальных данных.
11. Промышленные помехи.
12. Межметодные помехи.
13. Влияние индукционных эффектов на результаты электрических зондирований.
14. Влияние индукционных эффектов на ВП.
15. Основные положения динамической геоэлектрики.
16. Ошибки неправильно выбранного класса решаемой задачи.
17. Меняющиеся во времени естественные поля.
18. Теория искажений кривых электрических зондирований. Понятие о локально-нормальной кривой зондирования.
19. Поверхностный и глубинный R-эффекты.
20. C-эффект и физическое истолкование его проявления.
21. Суммарное проявление R- и C-эффектов на разрезах кажущегося сопротивления. Идея электрической деконволюции Локе-Баркера.
22. Эффект сопряженных аномалий.
23. Эффект бокового обтекания.
24. Эффект экранирования.
25. Эффект концентрации.
26. Эффект переноса формы.
27. Эффект над проводящей трубой.
28. Принцип эквивалентности для ГСС.
29. Принцип эквивалентности для 2D- и 3D-неоднородностей.
30. Особенности программ 2D- и 3D- моделирования.
31. Нормальный и логнормальный закон распределения электрических характеристик поля.
32. Изображение данных электропрофилеирования и ВЭЗ.
33. Трансформация  $\rho_{st}$ .
34. Обратное преобразование функции Дар-Заррук.
35. Трансформация Зохди.
36. Принцип соотношения между объемом и качеством измерений и качеством результатов интерпретации.
37. Основные математические алгоритмы решения обратной задачи.
38. Метод подбора при решении обратных задач.
39. Технология использования априорной информации на стадии геологической интерпретации.

### Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (экзамен).

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
<b>Знания</b> (письменный или устный опрос,)	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
<b>Умения</b> (письменный или устный опрос,)	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы.	Успешное умение.

		неточности не-принципиального характера		
<b>Навыки (владения, опыт деятельности (письменный или устный опрос,))</b>	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки.	Свободное владение и использование.

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература:

1. Хмелевской В.К. Электроразведка. – издание 2-ое, Изд-во МГУ, 1984 г. - 422 с.
2. Матвеев Б.К. Электроразведка при поисках месторождений полезных ископаемых. Учебник для ВУЗов. - М.:Недра, 1982г. -375 с.
3. Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка. Учебник для ВУЗов.- 3-е издание., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991 г. – 359 с.
4. 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. 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. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л.: Недра, 1980. -391с.
5. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного поля. – М.: Недра, 1980. -
6. Куликов А.В., Шемякин Е.А. Электроразведка фазовым методом вызванной поляризации. – М.: Недра, 1978.
7. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. –Л.: Недра, 1980. – 391 с.
8. Бобачев А.А., Модин И.Н. Электротомография со стандартными электроразведочными комплексами. «Разведка и охрана недр», №1 январь, 2008, - с.43-47.
9. Комаров О.И., Марченко М.Н., Модин И.Н., Семейкин Н.П. Электротомография – инновационный геофизический метод для эффективного решения инженерно-геологических задач. «Трубопроводный транспорт», №1(17) февраль, 2010, - с.33-37.
10. Бобачев А.А., Яковлев А.Г., Яковлев Д.В. Электротомография - высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе. Инженерная геология, Сентябрь 2007, - с. 31-35.
11. Инструкция по электроразведке. – Л.: Недра, 1984. - 352 с.

#### в) Интернет-ресурсы:

- <http://wiki.web.ru/> - энциклопедия по наукам о Земле геологического факультета МГУ.

### 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 Open Office, 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. Преподаватель** – ответственный за курс - Модин И.Н., преподаватели – Модин И.Н., Шевнин В.А.

**11. Разработчик программы** –Модин Игорь Николаевич.