

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

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан Геологического факультета**

**академик**

\_\_\_\_\_/Д.Ю.Пушаровский/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Электроразведка неоднородных и анизотропных сред**

Автор-составитель: Бобачев А.А.

**Уровень высшего образования:**

*Магистратура ММ*

**Направление подготовки:**

**05.04.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Магистерская программа: 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 г.

Год приема на обучение – 2019.

## **Цель и задачи дисциплины**

**Целью** курса "Электроразведка неоднородных и анизотропных сред" служит ознакомление студентов особенностям использования электроразведочных методов в неоднородных и анизотропных средах.

**Задачи** - освоение теории электрического поля постоянного тока в неоднородных и анизотропных средах; изучение основ методов математического моделирования; овладение современными методами интерпретации методов электроразведки на постоянном токе и вызванной поляризации.

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

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

освоение дисциплин «Геофизические методы исследования», «Теория геофизических полей», «Электроразведка», «Некорректные задачи геофизики», «Интерпретация данных электроразведки».

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

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

ОПК-2. Способность в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их практическому использованию.

ОПК-3. Способность применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки .

ПК-2. Способность создавать и исследовать модели изучаемых объектов на основе использования теоретических и практических знаний в области геологии.

ПК-3. Способность использовать специализированные профессиональные теоретические знания и практические навыки для проведения прикладных исследований.

ПК-5. Способность использовать современные методы обработки и интерпретации комплексной информации для решения производственных задач.

СПК-1. Способность самостоятельно ставить задачи научных и практических исследований в области геофизики , а также решать их с использованием современных подходов проведению геофизических наблюдений , обработке данных решению прямых и обратных задач , геологической интерпретации результатов.

### **Планируемые результаты обучения по дисциплине:**

**Знать:** основы теории постоянного электрического тока, методы математического моделирования поля постоянного тока, типы современной аппаратуры, подходы к решению обратной задачи.

**Уметь:** выбрать оптимальную методику интерпретации данных электромагнитных зондирований; построить априорную геоэлектрическую модель среды; оценить информативность электромагнитных зондирований по отношению к различным параметрам разреза.

**Владеть:** современными методами анализа и интерпретации данных электромагнитных зондирований в случае неоднородных и анизотропных сред.

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

**5. Объем дисциплины** составляет 2 з.е., в том числе **28** академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**8** часов – занятия лекционного типа, **20** часов – занятия семинарского типа), **44** академических часа на самостоятельную работу

обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

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

**Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

Курс «Электроразведка неоднородных и анизотропных сред» углубляет знания студентов по теории электрического поля постоянного тока в неоднородных и анизотропных средах, учит основным методам математического моделирования поля постоянного тока, позволяет овладеть современными методами интерпретации методов электроразведки на постоянном токе и вызванной поляризации, а также методике проведения полевых работ в условиях неоднородных и анизотропных сред.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  Форма промежуточной аттестации по дисциплине.	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Основные понятия теории постоянного тока и методы моделирования стационарного электрического поля $e$		3	0	6	9	Контрольная работа, 12
Раздел 2. Методика изучения неоднородных и анизотропных сред		2	0	6	8	Контрольная работа, 12
Раздел 3. Интерпретация данных электроразведки методом сопротивлений и ВП для неоднородных и анизотропных сред		3	0	8	11	Контрольная работа, 12 часов
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>						8
<b>Итого</b>	<b>72</b>		<b>28</b>			<b>44</b>

## **Содержание дисциплины по разделам и темам**

### **1. Основные понятия теории постоянного тока и методы моделирования стационарного электрического поля.**

1.1. Основные геоэлектрические модели среды в электроразведке методом сопротивлений: 1D, 2D, 3D. (геологические, методические и интерпретационные аспекты).

1.2. Понятие первичного и вторичного электрических полей. Первичное поле для источника, расположенного на границе неоднородности.

1.3. Граничные условия для стационарного электрического поля. Вторичные заряды. Удельное сопротивление и диэлектрическая проницаемость. Электрическое поле в воздухе.

1.4. Методы моделирования электрического поля в неоднородных средах (метод интегральных уравнений, метод конечных разностей, метод конечных элементов). Различия между 2D, 2.5D поперечным и 2.5D продольным моделированием.

1.5. Метод интегральных уравнений и использование различных типов вторичных источников (простой слой, двойной слой, объемная поляризация).

1.6. Преимущества и недостатки различных методов моделирования.

1.7. Понятие вызванной поляризации. Моделирование поля вызванной поляризации. Связь аномалий ВП с распределением удельного сопротивления.

1.8. Электрическое поле в анизотропной среде. Парадокс анизотропии.

Раздел посвящен рассмотрению современных математических методов, разработанных в геофизике, и возможности математического моделирования стационарного электрического поля в неоднородных проводящих средах.

### **2. Методика изучения неоднородных и анизотропных сред.**

2.1. Понятие метода электротомографии.

2.2. Выбор методики и установок для работ методом электротомографии (зависимость от аппаратуры, решаемых задач, способов интерпретации). Сравнение электроразведочных установок при изучении неоднородных сред.

2.3. Электротомография с многоэлектродной аппаратурой. Типы многоканальной аппаратуры.

2.4. Электротомография со стандартной одноканальной и многоканальной аппаратурой.

2.5. Методика сплошных электрических зондирований, ее преимущества и недостатки. Сравнение с методикой многоэлектродных зондирований.

2.6. Установки для изучения анизотропии. Возникновение отрицательного кажущегося сопротивления на круговых диаграммах.

2.7. 3D электротомография. Векторная методика, вектор кажущегося сопротивления

Раздел посвящен методическим вопросам изучения неоднородных и анизотропных сред и типам используемой аппаратуры.

### **3. Интерпретация данных электроразведки методом сопротивлений и ВП для неоднородных и анизотропных сред.**

3.1. Понятие обратной задачи. Неустойчивость обратной задачи. Разрешающая способность и детальность решения обратной задачи.

3.2. Способы решения обратной задачи.

3.3. Понятие инверсии и интерпретации геофизических данных. Сравнение автоматической и "ручной" интерпретации.

3.4. Способы регуляризации решения обратной задачи и их влияние на результаты инверсии.

3.5. Одномерная обратная задача для постоянного тока. Приемы интерпретации.

3.6. Двумерная автоматическая интерпретация. Преимущества и недостатки.

3.7. Обработка и интерпретация данных электротомографии.

3.8. Обработка данных ВЭЗ. Подавление искажений кривых ВЭЗ. Алгоритм

«медианной» фильтрации.

3.9. Способы визуализации данных ВЭЗ. Трансформации кривых ВЭЗ для выделения искажений данных ВЭЗ и глубинных неоднородностей.

3.10. Обработка и интерпретации данных анизотропии. Способы разделения эффектов анизотропии и неоднородностей.

Раздел посвящен способам и приемам анализа и интерпретации данных электроразведки методом сопротивлений и ВП при изучении неоднородных и анизотропных сред.

#### **Содержание лабораторных работ**

1. Аналитическое моделирование вертикального контакта
2. Моделирование методом интегральных уравнений для модели вертикального контакта
3. Расчет прямой задачи ВЭЗ.
4. Интерпретация профильных данных метода ВЭЗ.
5. 2D моделирование для установки срединного градиента.
6. 2D моделирование вызванной поляризации для установки срединного градиента

#### **Содержание семинаров**

1. Анализ модели вертикального контакта.
2. Анализ результатов численного моделирования для вертикального контакта. Влияние размеров области моделирования и дискретизации на результаты расчетов.
3. Способы решения прямой задачи ВЭЗ.
4. Методики решения обратной задачи ВЭЗ
5. Способы расчета вызванной поляризации.
6. Анализ влияния геоэлектрического разреза на измеренное поле вызванной поляризации.

#### **Рекомендуемые образовательные технологии**

При реализации программы дисциплины «Электроразведка неоднородных и анизотропных сред» используются различные образовательные технологии – во время аудиторных занятий занятия проводятся в виде лекций с использованием ПК и LCD проектора и семинары, для которых желателен компьютерный класс отделения Геофизики Геологического факультета МГУ с возможностью использования специальных вычислительных программ и выходом в Интернет. Самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателей (консультации) при подготовке семинаров и индивидуальную работу студента в компьютерном классе отделения Геофизики или в библиотеке Геологического факультета.

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

В течение преподавания дисциплины «Электроразведка неоднородных и анизотропных сред» в качестве форм текущего контроля успеваемости студентов используются тестирование контрольные работы и опрос-собеседование во время семинарских занятий и написание рефератов. По окончании курса организуется промежуточная аттестация студентов в виде экзамена.

**Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.**

**Примерный перечень контрольных вопросов**

**Раздел 1. Основные понятия теории постоянного тока и методы моделирования стационарного электрического поля.**

- (1) Граничные условия для стационарного электрического поля, вторичные заряды и их связь с электрическим полем на примере одной неоднородности.
- (2) Первичное и вторичное электрическое поле. Первичное поле для источника, расположенного на границе неоднородности.
- (3) Методы моделирования неоднородных сред (МИУ, МКР, МКЭ). Различия между 2D, 2.5D поперечным и 2.5D продольным моделированием.
- (4) Понятие приповерхностных неоднородностей и их отличия от глубинных неоднородностей.
- (5) Р-эффект. Особенности. Как он проявляется в разрезе кажущегося сопротивления и при профилировании?
- (6) С-эффект. Особенности. Как он проявляется в разрезе кажущегося сопротивления и при профилировании?
- (7) Электрическое поле в анизотропной среде, возникновение отрицательного кажущегося сопротивления. Парадокс анизотропии.

**Раздел 2. Методика изучения неоднородных и анизотропных сред.**

- (1) Основные геоэлектрические модели среды в электроразведке методом сопротивлений: 1D, 2D, 3D. (геологические, методические и интерпретационные аспекты).
- (2) Электротомография с многоэлектродной аппаратурой. Типы многоканальной аппаратуры.
- (3) Электротомография со стандартной аппаратурой.
- (4) Выбор методики и установки для работ методом электротомографии (зависимость от аппаратуры, решаемых задач, способов интерпретации)
- (5) Методика сплошных электрических зондирований, ее преимущества и недостатки. Сравнение с методикой многоэлектродных зондирований.
- (6) Установки для изучения анизотропии
- (7) 3D электротомография. Векторная методика съемка, вектор кажущегося сопротивления

**Раздел 3. Интерпретация данных электроразведки методом сопротивлений и ВП для неоднородных и анизотропных сред.**

- (1) Принципы интерпретации геофизических данных. Геологическая интерпретация и инверсия. Сравнение автоматической и "ручной" интерпретации.
- (2) Способы регуляризации решения обратной задачи и их влияние на результаты инверсии.
- (3) Двумерная автоматическая интерпретация. Преимущества и недостатки.
- (4) Обработка и интерпретация данных электротомографии.
- (5) Обработка данных ВЭЗ. Подавление искажений кривых ВЭЗ. Программа Median.
- (6) Способы визуализации данных ВЭЗ. Трансформации кривых ВЭЗ для выделения искажений данных ВЭЗ и глубинных неоднородностей.
- (7) Обработка и интерпретации данных анизотропии. Способы разделения эффектов анизотропии и неоднородностей.

**Примерные темы рефератов и докладов:**

1. Сравнение различных подходов к моделированию электрического поля постоянного тока.
2. Программные комплексы для моделирования электрического поля.
3. Аппаратурные комплексы для электротомографии.
4. Сравнение электроразведочных установок, применяемых в



электротомографии.

5. Программные комплексы для интерпретации данных в анизотропных средах.

6. Связь между аномалиями ВП и удельным сопротивлением.

### Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты Обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: основ теории постоянного электрического тока, методов математического моделирования поля постоянного тока, типов современной аппаратуры, подходов к решению обратной задачи.	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: выбрать оптимальную методику интерпретации данных электромагнитных зондирований; построить априорную геоэлектрическую модель среды; оценить информативность электромагнитных зондирований по отношению к различным параметрам разреза.	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
Владения: современными методиками электроразведки при выполнении геофизических исследований, существующим программным обеспечением для моделирования и интерпретации постоянного электрическим тока, современными программными решениями для подготовки, проведения, обработки данных и интерпретации при электротомографических наблюдениях на постоянном токе..	Навыки владения методами отсутствуют	Фрагментарное владение методами, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки использования методов.	Владение методами, использование их для решения задач

### 8. Ресурсное обеспечение:

#### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

##### - основная литература:

1. Вычислительные математика и техника в разведочной геофизике. Справочник геофизика. Дмитриев В.И. 1982. 222 с.
2. Кауфман А.А. Введение в теорию геофизических методов. Часть I. Гравитационные, электрические и магнитные поля. Пер. с английского.; - М.:Недра, 1997.-с. 250-258 и 286-305.
3. Электрическое зондирование геологической среды, ч.1. Прямые задачи и методика работ. Под ред. В.К.Хмелевского и В.А.Шевнина. - М., изд. МГУ, 1988 г., 176с
4. Электрическое зондирование геологической среды. Часть 2. Интерпретация и практическое применение. / Под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1992, 200 с.
5. Электроразведка методом сопротивлений. / Под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина:- М., изд. МГУ, 1994 г., 160 с.

##### - дополнительная литература:

1. Dahlin, T., 2001. The development of DC resistivity imaging techniques. Computers & Geosciences 27, 1019–1029.

2. Griffiths D.H., Turnbull J. and Olayinka A.I. Two-dimensional resistivity mapping with a computer- controlled array. First Break - 1990 - **8**, - 121-129.
3. Griffiths, D.H., Barker, R.D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. J. Appl. Geophysics 29, 211–226.
4. Loke, M.H. and Barker, R.D., Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44, 1996, p.131-152.
5. Альпин Л.М. Источники поля в теории электрической разведки // Прикладная геофизика, вып. 3. М., Госпотехиздат, 1947, с. 56-200.
6. Альпин Л.М., Даев Д.С., Каринский А.Д. Теория полей, применяемых в разведочной геофизике. М., Недра, 1985
5. Альпин Л.М. Метод вторичных зарядов//Прикладная геофизика. -1981-Вып.99-с.124-138.
6. Альпин Л.М. Практические работы по теории поля. – М.: Недра, 1971. – 305 с.
7. Бобачев А. А. Решение прямых и обратных задач электроразведки методом сопротивлений для сложнопостроенных сред. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. физ.-мат. наук. - Защищена 29.05.2003; Руководитель Шевнин, В. А. /Московский государственный университет. - Москва, 2003. -95 с.
8. Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред. М., 1996, 50 с. // Разведочная геофизика. Обзор. АОЗТ "Геоинформмарк". Выпуск 2. – 50 с.
9. Бобачев А. А., Горбунов А.А. Двумерная электроразведка методом сопротивлений и вызванной поляризации: аппаратура, методики, программное обеспечение. Разведка и охрана недр. 2005, N12, 52-54.
10. Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А.. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, N02, 14-17.
11. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности. Под ред. Шевнина В.А. и Модина И.Н. Изд. РУССО, 1999. 511 с.
12. Электропрофилирование с незаземленными рабочими линиями. — Л.: Недра, 1985 – 96 с.

**Б) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. <http://wiki.web.ru/> - энциклопедия по наукам о Земле геологического факультета МГУ.
2. <http://geoelectric.ru> – статьи по электротомографии.
3. <http://geoelectrical.com> – 2D инверсия данных электотомографии.

**Г) Материальное-техническое обеспечение**

- специализированная аудитория с возможностью использования ПК и LCD проектора,
- компьютерный класс с подключением Интернета.

**9. Язык преподавания** – русский.

**10. Преподаватель** – Бобачев А.А.

**11. Автор программы** – Бобачев А.А.