

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**

### **Магниторазведка**

Авторы-составители: Булычев А.А., Попов М.Г., Золотая Л.А.,  
Коснырева М.В., Паленов А.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 г.

Годы приема на обучение – 2017 - 18.

## **Цель и задачи дисциплины**

**Целью** дисциплины «Магниторазведка» состоит в теоретическом освоении основных разделов метода и физически обоснованном понимании возможности и роли метода при решении геологических задач.

**Задачи** данной дисциплины заключаются в приобретении знаний о физических основах магниторазведки, технологии измерения элементов магнитного поля Земли (аппаратура и методика магниторазведочных работ), в получении навыков геофизической и геологической интерпретации аномального магнитного поля.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, обязательные профессиональные дисциплины, курс – II-III, семестр – 3-5.

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

освоение дисциплин «Высшая математика», «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятности и математическая статистика», «Физика», «Информатика», «ГИС в геологии», «ГИС в геофизике», «Вычислительная математика», «Уравнения математической физики», «Историческая геология», «Структурная геология и геокартирование», «Геология полезных ископаемых».

### **3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми 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),

ОПК-5.Б Способность использовать в профессиональной деятельности информационно-коммуникационные технологии, в т.ч. ГИС-технологии (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 и лабораторных приборах в соответствии с профилем подготовки (формируется частично).

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

**Знать:** параметры, структуру и природу магнитного поля Земли, природу и классификацию вариаций магнитного поля, принцип действия и устройство современных полевых магнитометров, правила организации методики полевых магниторазведочных работ, теоретические основы интерпретации аномалий магнитного поля.

**Уметь:** задавать основные параметры методики магнитной съемки, проводить первичную обработку полевого материала, строить графики или карты магнитных аномалий, пользоваться современными методами и программами для интерпретации аномальных магнитных полей.

**Владеть:** навыками работы с полевыми современными магнитометрами, приемами организации полевых натурных магнитных съемок разного типа, приемами первичной обработки полевого материала, методами геофизической и геологической интерпретации аномалий магнитного поля.

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

**5. Объем дисциплины (по семестрам и общий)** составляет  $3 + 3 = 6$  з.е., в том числе  $36 + 48 = 84$  академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем ( $18 + 24 = 42$  часа – занятия лекционного типа,  $12 + 16 = 28$  часов семинарских занятий,  $6 + 8 = 14$  часов лабораторных занятий,  $4 + 4 = 8$  часов – групповые консультации,  $5 + 5 = 10$  часов – мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), **114** часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет (3 семестр), экзамен (5 семестр).

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

**Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

В курсе дисциплины «Магниторазведка» рассмотрены вопросы истории возникновения метода, структуры магнитного поля Земли, природы магнитных вариаций, особенностей нормального магнитного поля, методики проведения полевых магниторазведочных работ, рассмотрены классы , принцип устройства и основные характеристики магниторазведочной аппаратуры, принципы интерпретации аномалий магнитного поля, методы решения прямой и обратной задач магниторазведки, условия применения магниторазведки и геологические задачи, решаемые с помощью магниторазведки.

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		
Введение		2			2		
Физические основы метода		4		4	8	8	
Магнитные свойства горных пород и руд		2	2	4	10	18 Собеседование Контр работа	
Принцип действия и устройство магнитометров		6	2		8	18 Собеседование Контр работа	
Методика магниторазведочных работ		4	2	4	10	18 Собеседование Контр работа	
<b>3 семестр</b> Промежуточная аттестация <u>зачет</u>						10	
<b>3 семестр Всего</b>	<b>108</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	
Основы интерпретации магнитных аномалий		2		1	3	10	
Прямая задача магниторазведки и методы ее решения		10	3	5	18	10 Собеседование Контр работа	
Обратная задача магниторазведки и методы ее решения		8	3	7	18	10 Собеседование Контр работа	
Основы геологической интерпретации магнитных аномалий		2	2	2	6	10 Собеседование Контр работа	
Области применения магниторазведки		2		1	3	10	
<b>5 семестр</b> Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>						10	
<b>5 семестр Всего</b>	<b>108</b>	<b>24</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>48</b>	<b>60</b>	
<b>Итого</b>	<b>216</b>					<b>84</b>	<b>132</b>

## **Содержание разделов дисциплины:**

### **3 семестр**

#### **Введение.**

Краткие исторические сведения об изучении основных характеристик магнитного поля Земли. Первые представления о магнитном поле Земли, предсказание и открытие магнитного склонения и магнитного наклона, магнитных полюсов Земли, вариаций магнитного поля. Появление и становление магниторазведки в России, ее роль и место в современной геологической науке.

#### **Физические основы метода.**

Магнитное поле Земли. Элементы земного магнетизма. Единицы измерения элементов магнитного поля Земли. Структура магнитного поля Земли, спутниковые данные о магнитосфере Земли. Нормальное магнитное поле – дипольная составляющая, материковые аномалии и вековой ход. Аналитическое представление нормального поля. Основные особенности нормального поля Земли. Понятие о методах и основные результаты изучения магнитного поля Земли в геологическом масштабе времени – смещение магнитных полюсов, инверсии магнитного поля, геохронологическая шкала магнитных инверсий и ее значение при изучении геодинамики литосферных плит. Современные представления о природе и источниках магнитного поля Земли.

Влияние и учет условий наблюдений за изменениями элементов магнитного поля.

Вариации магнитного поля Земли – периодические с различным периодом повторяемости, аperiodические в виде магнитных бухт и магнитных бурь. Их происхождение и пространственно–временная структура.

Аномальное магнитное поле, природа, основные характеристики и их диапазон изменения.

#### **Магнитные свойства горных пород и руд.**

Намагниченность горных пород. Магнитная восприимчивость и основные классы магнетиков и их представители в геологических объектах. Основные характеристики ферромагнитных материалов. Зависимость магнитной восприимчивости горных пород от их минерального состава, процентного содержания ферромагнитных минералов, формы, размеров, распределения по объему, степени выветривания породы и прочих факторов. Величина магнитной восприимчивости основных типов горных пород, минералов и руд. Остаточная намагниченность и ее виды (ориентационная, термоостаточная, химическая, вязкая и др.). Палеомагнетизм.

#### **Принцип действия и устройство магнитометров.**

Методы измерения элементов магнитного поля Земли. Основные характеристики и требования к магниторазведочной аппаратуре.

Магнитометрический метод измерения абсолютных и относительных значений элементов магнитного поля. Принцип действия и устройство магнитометрической аппаратуры – полевой, вариационной и для измерения магнитных свойств. Метод полной компенсации.

Индукционный метод измерения. Рамочный и ферромагнитный варианты. Принцип действия и устройство ферромагнитометров, метод ориентации феррозонда в пространстве при измерении  $\Delta T$ . Точность измерения. Разные типы феррозондовых магнитометров: наземные  $\Delta Z$ -магнитометры, скважинные трехкомпонентные магнитометры,  $\Delta T$ -аэромагнитометры. Индукционные приборы для измерения магнитных свойств образцов горных пород.

Протонный метод измерения. Теория явления ядерного магнитного резонанса. Метод свободной ядерной прецессии. Устройство и физико–технические параметры датчика. Принцип работы и блок–схема протонных магнитометров. Дискретность

измерения и способы ее уменьшения. Наземные, морские и аэромагнитометры протонного типа – точность, диапазон измеряемого магнитного поля.

Квантовый метод измерения. Эффект Зеемана. Метод оптической накачки. Устройство магнитоизмерительного элемента. Принцип и устройство квантовой аппаратуры. Наземные, морские и аэромагнитометры квантового типа – основные параметры и возможности. Градиентометры.

Измерение компонент магнитного поля Земли с помощью протонных и квантовых магнитометров.

СКВИДы. Использование эффекта сверхпроводимости при магнитных измерениях.

#### **Методика магниторазведочных работ.**

Определение методики магниторазведки. Перевод геологической задачи в магнитную. Типы магнитных съемок (обнаружение и детализация; профильная и площадная; наземная, морская, воздушная и скважинная). Проектная точность. Система расположения точек наблюдения. Масштаб магнитной съемки. Система обхода точек наблюдения при использовании разных типов магнитометров. Методы учета вариаций магнитного поля. Контрольные наблюдения и точность магниторазведочных работ. Первичная обработка материалов полевой магнитной съемки. Представление результатов магнитной съемки – графики, карты графиков и карты в изолиниях аномального магнитного поля.

Особенности проведения магнитных съемок разного типа: наземная, морская, аэросъемка. Специальные виды магниторазведочных работ – микромагнитная съемка, скважинная магниторазведка, метод искусственного подмагничивания.

### **5 семестр**

#### **Основы интерпретации магнитных аномалий.**

Понятия «полезный сигнал» и «помеха» проблемы и методы разделения аномального поля на «региональную» и «локальную» составляющие. Понятие о прямой и обратной задачах магниторазведки. Общие интегральные представления решения прямой задачи. Отсутствие единственности решения обратной задачи магниторазведке в общей постановке. Эквивалентность и неустойчивость решений. Критерии выбора оптимальных решений. Поиск решений на основе априорных допущениях об источниках аномалий. Роль и значение дополнительной геолого-геофизической информации. Геомагнитные модели среды. Общая схема интерпретационного процесса.

#### **Прямая задача магниторазведки и методы ее решения.**

Прямая задача магниторазведки. Магнитный потенциал тела конечных размеров. Связь между гравитационным и магнитным потенциалами и их производными (теорема Пуассона). Соотношения, связывающие составляющие магнитного поля при косом и вертикальном намагничивании. Понятие двумерности. Аналитическое выражение поля  $\Delta T$ , условия потенциальности этой функции. Соотношение между полями  $\Delta T$  и  $\Delta Z$  в зависимости от широты местности и простирания тел.

Магнитные поля тел простой формы – диполь, вертикальный стержень, пласт малой мощности, горизонтальная дипольная пластина, круговой горизонтальный цилиндр, пласт большой мощности, вертикальный и наклонные уступы. Возможность и условия аппроксимации реальных геологических объектов телами простой геометрической формы. Условия применения двумерной аппроксимации. Аналитические выражения полей  $\Delta Z$ ,  $\Delta H$  и  $\Delta T$  от простых моделей, их характерные особенности по профилям и в плане. Сравнительный анализ полей  $\Delta T$  и  $\Delta Z$  при разных параметрах тел, широте местности и направления намагничивания.

Применение функции комплексной переменной для решения прямой задачи магниторазведки. Комплексный магнитный потенциал и комплексная напряженность магнитного поля, соотношение Пуассона в комплексной форме. Комплексная

напряженность дипольной линии, дипольной пластины и многоугольника. Комплексные моменты.

Прямая задача для однородно намагниченного многоугольника.

### **Обратная задача магниторазведки и методы ее решения.**

Решение обратной задачи магниторазведки при аппроксимации источников магнитного поля простейшими модельными телами (шар, цилиндр, пласт, уступ и др.). Геологические задачи и физико-геологические условия, допускающие подобную аппроксимацию. Метод характерных точек, метод касательных, интегральные методы, палеточные методы и пр. Методика и область применения различных методов решения обратной задачи магниторазведки, их преимущества и недостатки, оценка точности решения, основные источники погрешностей.

Качественный анализ сложных аномальных полей магнитного поля. Средний уровень поля, изменчивость по амплитуде и размерам аномалий, форма аномалий в плане, их ориентировка и другие характеристики. Районирование территории по типам магнитных полей.

Фильтрация и трансформация магнитных полей. Методы подавления случайных помех. Методы разделения сложных интерференционных полей. Расчет элементов магнитного поля в верхнем полупространстве (двух- и трехмерные задачи). Обнаружение слабых аномалий на фоне высокоинтенсивных помех. Выделение линейных аномалий в сложных полях.

Метод подбора. Интерпретация сложных магнитных аномалий по методу подбора. Анализ априорной информации, создание физико-геологической модели среды. Вспомогательная обработка поля. Методика последовательных приближений. Критерии качества решения, основные источники ошибок. Использование ЭВМ при интерпретации методом подбора в диалоговом режиме и автоматизированном. Ограничение области поиска решений, критерии выбора направления поиска. Моделирование сложных неоднородных сред.

### **Основы геологической интерпретации магнитных аномалий.**

Определение элементов геологического строения по особенностям морфологии аномального магнитного поля. Роль геологических гипотез и субъективного фактора при геологической интерпретации аномального магнитного поля. Значение и роль данных о магнитных свойствах горных пород разреза. Возможность определения возраста геологических объектов по аномалиям магнитного поля.

### **Области применения магниторазведки.**

Аэромагнитная съемка при мелкомасштабном картировании и тектоническом районировании. Использование аэромагнитных данных при поисках нефти и газа.

Применение гидромагнитной съемки для изучения истории тектонического развития акватории океанов и морей. Геокартирование районов шельфа.

Магниторазведка при среднем и крупномасштабном геокартировании. Картирование осадочных и метаморфических пород, магматических образований, разрывных нарушений.

Магниторазведка при поисках и разведке месторождений меди, урана, железорудных месторождений, полиметаллов, никеля, редких металлов, золота и других полезных ископаемых.

Применение магниторазведки в археологии.

### **Содержание лабораторных занятий.**

1. Изучение элементов нормального магнитного поля Земли
2. Изучение устройства магнитометров МПП-203М, МПП-303М, ПОС, МИНИМАГ, G-868.
3. Определение элементов методики магниторазведочных работ при решении определенной геологической задачи



4. Решение прямой задачи магниторазведки различными методами
5. Решение обратной задачи магниторазведки различными методами
6. Интерпретация аномального магнитного поля различных территорий

#### **Примерный перечень тем рефератов:**

1. История возникновения теории земного магнетизма
2. История изучения Курской магнитной аномалии (КМА)
3. Роль отечественных ученых в развитии метода магниторазведки
4. Нормальное магнитное поле Земли и гипотезы его происхождения
5. Вариации магнитного поля Земли и методы их учета
6. Аномалии магнитного поля Земли и геология

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

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

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных лабораторных работ.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные работы.

Промежуточный контроль проходит в виде зачета (3 семестр) и экзамена (5 семестр).

##### **3 семестр**

1. Построить векторы элементов нормального магнитного поля Земли вдоль широтного профиля – от северного до южного магнитных полюсов.
2. В чем отличие магнитного полюса Земли от геомагнитного?
3. Каков масштаб площадной геомагнитной съемки, если расстояние между профилями составляет 30 м, а шаг съемки равен 5 м?
4. Задать систему точек наблюдения магнитной съемки, если необходимо обнаружить дайку с простиранием СВ–ЮЗ и размерами 10 x 100 м?
5. Принцип работы протонного магнитометра.
6. Основные особенности протонных магнитометров.
7. Принцип работы квантового магнитометра.
8. Основные особенности квантовых магнитометров.
9. Принцип работы системы ориентации феррозондового датчика при съемки аномалий  $\Delta T$ .

##### **5 семестр**

10. Основные типы магнитных аномалий  $\Delta T$  и  $\Delta Z$
11. Значение и роль априорных данных при геологической интерпретации магнитных аномалий.
12. Условия применения магниторазведки при поиске и разведке полезных ископаемых.
13. Геологические задачи, решаемые с помощью магниторазведки.
14. Прямая задача магниторазведки и методы ее решения.
15. Основные выводы из решения прямой задачи магниторазведки.
16. Обратная задача магниторазведки и методы ее решения
17. Основные выводы из решения обратной задачи магниторазведки.

#### **7.2 Примерный перечень тем рефератов:**

1. История возникновения теории земного магнетизма

2. История изучения Курской магнитной аномалии (КМА)
3. Роль отечественных ученых в развитии метода магниторазведки
4. Нормальное магнитное поле Земли и гипотезы его происхождения
5. Вариации магнитного поля Земли и методы их учета
6. Аномалии магнитного поля Земли и геология

### 7.3 Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (3 семестр зачет).

Результаты обучения	«Незачет»	«Зачет»
Знания: параметров, структуры и природу магнитного поля Земли, природы и классификации вариаций магнитного поля, принципа действия и устройства современных полевых магнитометров, правил организации методики полевых магниторазведочных работ	Знания отсутствуют	Систематические или общие, но не структурированные знания
Умения: задавать основные параметры методики магнитной съемки, проводить первичную обработку полевого материала, строить графики или карты магнитных аномалий.	Умения отсутствуют	Успешное умение или в целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера
Владения: навыками работы с полевыми современными магнитометрами, приемами организации полевых натуральных магнитных съемок разного типа, приемами первичной обработки полевого материала.	Навыки владения отсутствуют	Владение навыками работы с полевыми современными магнитометрами, приемами организации полевых натуральных магнитных съемок разного типа, приемами первичной обработки полевого материала.

### 7.4. Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (5 семестр экзамен).

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: теоретических основ интерпретации аномалий магнитного поля.	Знания отсутствуют.	Фрагментарные знания.	Общие, но не структурированные знания.	Систематические знания.
Умения: пользоваться	Умения отсутствуют.	В целом успешное, но не	В целом успешное, но	Успешное умение

современными методами и программами для интерпретации аномальных магнитных полей.		систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера	содержащее отдельные пробелы умения пользоваться современными методами и программами для интерпретации аномальных магнитных полей.	пользоваться современным и методами и программами для интерпретации магнитных аномальных полей.
Владения: методами геофизической и геологической интерпретации аномалий магнитного поля.	Навыки отсутствуют.	Фрагментарное владение методами геофизической и геологической интерпретации магнитных аномалий.	В целом сформированы навыки владения методами геофизической и геологической интерпретации магнитных аномалий.	Владение навыками геофизической и геологической интерпретации магнитных аномалий.

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература:

1. Золотая Л. А., Коснырева М. В., Булычев А. А., Паленов А. Ю. Решение прямой задачи магниторазведки. ООО Издательство ПОЛИПРЕСС Тверь, 2018.
2. Коснырева М. В., Золотая Л. А. Магнитные свойства горных пород: методика измерений и обработки данных. ООО Издательство ПОЛИПРЕСС Тверь, 2018.
3. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Л. Недра 1979.

#### - дополнительная литература:

1. Гордин В.М. Очерки по истории геомагнитных измерений. М. ИЗМИРАН 2004.
2. Гордин В.М., Розе Е.Н., Углов Б.Д. Морская магнитометрия. М. Недра. 1986.
3. Гладкий К.В. Гравиразведка и магниторазведка. М. Недра. 1987.
4. Булычев А. А., Попов М. Г., Золотая Л. А., Коснырева М. В., Паленов А. Ю. Магниторазведка: учебное пособие. ООО Издательство ПОЛИПРЕСС Тверь, 2016.
5. Магниторазведка Справочник геофизика. /Ред. Никитский В.Е., Глебовский Ю.С. М. Недра. 1980.
6. Страхов В.Н. Методы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Пермь. Изд-во ПГУ.1984
7. Тафеев Г.П., Соколов К.П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий. Л. Недра. 1981.
8. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л. ЛГУ. 1978.

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

Специальные вычислительные и логические компьютерные программы, созданные сотрудниками и преподавателями кафедры Геофизики Геологического факультета МГУ.

**В) Материально-технического обеспечение:**

Для материально-технического обеспечения дисциплины Магниторазведка используются: лаборатория магниторазведки кафедры Геофизики, компьютерный класс отделения Геофизики, полевая магниторазведочная аппаратура, специализированная аудитория с ПК и компьютерным проектором, библиотека Геологического факультета МГУ.

**9. Язык преподавания** – русский.

**10. Преподаватели** – преподаватели и сотрудники кафедры Геофизические методы исследования земной коры Геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова.

**11. Авторы программы** – Булычев А.А., Попов М.Г., Золотая Л.А., Коснырева М.В., Паленов А.Ю.