

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

Геологический факультет

«Утверждаю»

декан Геологического факультета

академик Д.Ю. Пущаровский

« ____ » _____ 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Магниторазведка

Авторы-составители: Булычев А.А., Попов М.Г., Золотая Л.А.,

Коснырева М.В., Паленов А.Ю.

Направление подготовки 05.03.01 «Геология»

Профиль: Геофизика

Квалификация (степень) выпускника: *бакалавр*

Программа одобрена на заседании Ученого совета Геологического факультета МГУ

(протокол № ____ от _____)

Москва

2018

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины.....	3
2. Место дисциплины в структуре ООП:	3
2.1. Информация об образовательном стандарте и учебном плане:	3
2.2. Информация о месте дисциплины в учебном плане:	3
2.3. Перечень дисциплин, которые должны быть освоены до начала освоения данной дисциплины:	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
3.1 Перечень компетенций.....	3
3.2 Компоненты формируемых компетенций.....	4
4. Структура и содержание дисциплины.....	4
4.1. Общая трудоемкость:	4
4.2. Виды учебной работы с указанием суммарной трудоемкости по каждому виду:	4
4.3. Формы текущего контроля:	5
4.4. Форма промежуточной аттестации	5
4.5. Краткое содержание дисциплины (аннотация):	5
4.6. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и темам, а также видам учебной работы (формам проведения занятий) с указанием форм текущего контроля и промежуточной аттестации	5
4.7. Содержание дисциплины	6
5. Рекомендуемые образовательные технологии	9
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины	9
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	10
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	10
9. Авторы-составители программы дисциплины Магниторазведка:	11

1. Цели и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины Магниторазведка является теоретическое освоение основных разделов метода и физически обоснованное понимание возможности и роли метода при решении геологических задач.

Задачи освоения 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.

2. Место дисциплины в структуре ООП:

2.1. Информация об образовательном стандарте и учебном плане:

- тип образовательного стандарта и вид учебного плана: ОС МГУ, учебный план бакалавра
- направление подготовки: 05.03.01 Геология
- наименование учебного плана: Учебный план ИБ Геофизика
- профиль подготовки: Геофизика

2.2. Информация о месте дисциплины в учебном плане:

- вариативная часть
- блок дисциплин: профессиональный
- тип - обязательный курс
- курс II и III г/о
- семестр 3, 5

2.3. Перечень дисциплин, которые должны быть освоены до начала освоения данной дисциплины:

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. Требования к результатам освоения дисциплины

3.1 Перечень компетенций.

Процесс изучения учебной дисциплины Магниторазведка направлен на формирование элементов следующих **компетенций**:

а) общекультурные (социально-личностные):

– способность к сотрудничеству и партнерству; способность осознавать свою роль и предназначение в разнообразных профессиональных и жизненных ситуациях (ОК-1);

б) общенаучные:

– владение фундаментальными разделами математики и физики, для решения научно-исследовательских и практических задач в области магниторазведки; способность создавать физико-математические модели типовых магниторазведочных задач и интерпретировать полученные результаты (ОНК-6);

в) инструментальные:

– владение навыками использования программных средств и работы в компьютерных сетях; владение основными методами получения, хранения и переработки информации в области магниторазведки (ИК-3);

– готовность к работе на полевых и лабораторных магниторазведочных приборах и установках (ИК-8);

г) системные:

– способность к поиску научной информации и выбору оптимальных путей и методов решения задач магниторазведки (СК-2);

д) общепрофессиональные:

– способность самостоятельно осуществлять сбор геолого-геофизической информации (ПК-1);

е) специализированные профессиональные:

– осуществлять сбор геолого-геофизической информации и использовать навыки полевых и лабораторных исследований в научной деятельности (СПК-1);

– способность использовать профильно-специализированные знания фундаментальных разделов физики, химии, экологии для освоения теоретических основ магниторазведки (СПК-2);

– способность использовать профильно-специализированные информационные технологии для решения магниторазведочных задач (СПК-3).

3.2 Компоненты формируемых компетенций.

В результате освоения дисциплины Магниторазведка обучающийся должен:

знать: параметры, структуру магнитного поля Земли, природу нормального и аномального магнитных полей, природу и классификацию вариаций магнитного поля, принцип действия и устройство основных современных полевых магнитометров, правила организации методики полевых натурных магниторазведочных работ при решении различных геологических задач, теоретические основы интерпретации аномалий магнитного поля;

уметь: определять и соотносить возможности магнитной аппаратуры с требованиями магнитной съемки при решении конкретных геологических задач, задавать основные параметры методики магнитной съемки, определять положение точек наблюдения (профилей), проводить первичную обработку полевого материала и рассчитывать значения аномалий в точках наблюдения и строить графики или карты магнитных аномалий, пользоваться методами и программами для интерпретации аномальных магнитных полей;

владеть: навыками работы с основными полевыми современными магнитометрами, навыками организации полевых натурных магнитных съемок разного типа (профильные, площадные, наземные, морские и др.) приемами первичной обработки полевого материала и методами расчета аномального магнитного поля заданной кондиции, методами геофизической и геологической интерпретации аномалий магнитного поля с применением современного вычислительного программного обеспечения.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Общая трудоемкость:

$3 + 3 = 6$ ЗЕ (зачетных единиц), $108 + 108 = 216$ академических часов

4.2. Виды учебной работы с указанием суммарной трудоемкости по каждому виду:

лекции – $18 + 24 = 42$ часа;

лабораторные работы – $6 + 8 = 14$ часов;

практические занятия – 0 час.;

семинары – $12 + 16 = 28$ часов;

самостоятельная работа – 72 + 60 = 132 часа.

4.3. Формы текущего контроля:

- рефераты, доклады по дисциплине, контрольные работы, коллоквиумы, устные опросы, сдача расчетно-графических работ.

4.4. Форма промежуточной аттестации

– зачет (3 семестр), экзамен (5 семестр).

4.5. 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.

4.6. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и темам, а также видам учебной работы (формам проведения занятий) с указанием форм текущего контроля и промежуточной аттестации

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Лабораторные занятия	Семинары.	Самостоятельная работа студента	
1.	Введение	3	1	2			4	Реферат. Доклад
2.	Физические основы метода	3	2-6	4	2	4	20	Реферат. Доклад. Прием практических заданий
3.	Магнитные свойства горных пород и руд	3	7	2			8	Собеседование
4.	Принцип действия и устройство магнитометров	3	8-13	6	2	4	20	Собеседование
5.	Методика магниторазведочных работ	3	14-18	4	2	4	20	Прием практических заданий. Собеседование
3 семестр Промежуточная аттестация		3						зачет
3 семестр Всего: 3 ЗЕ или 108 часов		3		18	6	12	72	
6.	Основы интерпретации магнитных аномалий	5	1	2		1	8	Собеседование
7.	Прямая задача магниторазведки и методы ее решения	5	2 -7	10	3	5	16	Прием практических заданий. Собеседование
8.	Обратная задача магниторазведки и	5	8 -13	8	3	7	16	Прием

	методы ее решения							практических заданий. Собеседование
9.	Основы геологической интерпретации магнитных аномалий	5	14 - 15	2	2	2	16	Собеседование
10	Области применения магниторазведки	5	16	2		1	4	Собеседование
5 семестр	Промежуточная аттестация:	5						Экзамен
5 семестр	Всего: 3 ЗЕ или 108 часов	5		24	8	16	60	
ИТОГО:	6 ЗЕ или 216 часов	3,5		42	14	28	132	

4.7. Содержание дисциплины

Введение.

Краткие исторические сведения об изучении основных характеристик магнитного поля Земли. Первые представления о магнитном поле Земли, предсказание и открытие магнитного склонения и магнитного наклонения, 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 ΔT . Точность измерения. Разные типы феррозондовых магнитометров: наземные ΔZ -магнитометры, скважинные трехкомпонентные магнитометры, ΔT -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, аэросъемки. Специальные виды магниторазведочных работ – микромагнитная съемка, скважинная магниторазведка, метод искусственного подмагничивания.

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 двухмерности. Аналитическое выражение поля ΔT , условия потенциальности этой функции. Соотношение между полями ΔT и ΔZ в зависимости от широты местности и простираения 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 ΔZ , ΔH и ΔT от простых моделей, их характерные особенности по профилям и в плане. Сравнительный анализ полей ΔT и ΔZ 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.

5. Рекомендуемые образовательные технологии

При реализации программы дисциплины Магниторазведка используются различные образовательные технологии – во время лекционных и семинарских часов занятия проводятся в виде лекций или семинаров с использованием ПК и компьютерного проектора в специализированной аудитории на 40 студентов, а во время лабораторных часов - в магнитной лаборатории кафедры Геофизики или компьютерном классе отделения Геофизики Геологического факультета МГУ с использованием специальных вычислительных и игровых программ и полевого магнитного оборудования.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателей (консультации и помощь в написании рефератов и при выполнении лабораторных работ) и индивидуальную работу студента в компьютерном классе отделения Геофизики или библиотеке Геологического факультета.

В течение преподавания курса Магниторазведка в качестве форм текущего контроля успеваемости студентов используются такие формы, как заслушивание и оценка доклада по теме реферата, собеседование при приеме результатов лабораторных работ с оценкой. По итогам обучения (Магнитное поле Земли и технология измерения элементов магнитного поля) в 3-ем семестре проводится зачет, а по итогам обучения (Интерпретация аномалий магнитного поля) в 5-ом семестре во время зимней экзаменационной сессии проводится экзамен.

Основные темы 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 контрольных вопросов и заданий:

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 x100 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 ΔT .

10. Основные типы магнитных аномалий ΔT и ΔZ
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.

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. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Булычев А. А., Попов М. Г., Золотая Л. А., Коснырева М. В., Паленов А. Ю.. МАГНИТОРАЗВЕДКА: учебное пособие. ООО Издательство Полипресс г. Тверь, 2016.
2. Золотая Л. А., Коснырева М. В., Булычев А. А., Паленов А. Ю.. Решение прямой задачи магниторазведки. ПОЛИПРЕСС Тверь, 2018.
3. Коснырева М. В., Золотая Л. А. Магнитные свойства горных пород: методика измерений и обработки данных. ПОЛИПРЕСС Тверь, 2018.
4. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Л. Недра 1979
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) 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

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

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

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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. Авторы-составители программы дисциплины Магниторазведка:

1. Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, Зав. Кафедрой, профессор А.А.Булычев, тел. 8 495 939 57 66
2. Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, доцент М.Г.Попов, тел. 8 495 939 38 82
3. Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, доцент Л.А.Золотая, тел. 8 495 939 12 35
4. Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, ассистент М.В. Коснырева, тел. 8 495 939 12 35
5. Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, ассистент А.Ю.Паленов, тел. 8 495 939 12 35