

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

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Основы гравиразведки и магниторазведки
Fundamentals of gravity and magnetic prospecting

Авторы-составители: Булычев А.А., Лыгин И.В., Золотая Л.А.,
Коснырева М.В., Паленов А.Ю., Фадеев А.А., Кузнецов К.М., Соколова Т.Б.

Уровень высшего образования:
Бакалавриат

Направление подготовки:
05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:
Геофизика

Форма обучения:
Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № _____, _____)

Москва 2022

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

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

Год приема на обучение: 2022

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цель и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины «Основы гравиразведки и магниторазведки» является изучение фундаментальных основ методов гравиразведки и магниторазведки: физической природы полей, принципиальных возможностей методов, их роли и возможностей при решении геологических задач, знакомство с аппаратурой, методикой проведения полевых геологоразведочных работ, обработкой и анализом данных.

Задачи освоения дисциплины «Основы гравиразведки и магниторазведки» заключаются в приобретении знаний о физических основах гравиразведки и магниторазведки, технологий и методик измерения элементов магнитного и гравитационного полей.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе дисциплины «Основы гравиразведки и магниторазведки» рассмотрены вопросы:

- история возникновения и ключевых этапов развития методов гравиразведка и магниторазведка;
- физические основы и основные понятия гравиметрического метода разведки полезных ископаемых: гравитационное поле Земли, редукции аномалий силы тяжести, связь аномалий гравитационного поля с петроплотностной неоднородностью геологической среды, способы измерения гравитационного поля, принципы работы абсолютных и относительных гравиметров, методики полевых измерений силы тяжести с гравиметрами различных типов, обработка результатов измерений, применение гравиразведки при решении различных геологических задач.
- основные компоненты земного магнетизма и их вклад в общую структуру магнитного поля Земли, понятие главного и нормального магнитного полей, природа периодических и аперiodических магнитных вариаций, принципы действия и основные характеристики магнитометров, планирование и методика проведения полевых магниторазведочных работ, методика обработки данных профильных и площадных съемок, аномальное магнитное поле и его связь с петромагнитной неоднородностью геологической среды;
- понятия прямой и обратной задачи гравиразведки и магниторазведки, элементы гравитационного и магнитного полей тел простой геометрической формы.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП – относится к профильному блоку вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения. Курс – II, семестр – 3 и 4.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

базируется на знаниях по дисциплинам «Высшая математик», «Общая химия», «Физика», «Физическая география России и мира», «Общая геология», «Геодезия с основами космоаэро съемки», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Введение в геофизику».

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

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями
ОПК-1.Б. Способен применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении	Б.ОПК-1. И-1. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук естественнонаучного и математического циклов в	Знать: параметры, физическую природу естественных магнитных и гравитационных полей и особенности их региональной структуры. Уметь: анализировать структуру естественных гравитационного и магнитного полей и их производных,

<p>стандартных профессиональных задач (реализуется частично).</p>	<p>профессиональной деятельности.</p>	<p>понимать и объяснять их физическую природу; вычислять гравитационный эффект тел с известной геометрией и петрофизическими параметрами, выводить основные формулы расчета гравитационного эффекта и их производных до второго порядка.</p> <p>Владеть: навыками расчета компонент гравитационного поля для тел простой формы, проводить количественный анализ гравитационных и магнитных аномалий вдоль линии профиля.</p>
<p>ОПК-3.Б. Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (реализуется частично).</p>	<p>Б.ОПК-3. И-1. Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности. Б.ОПК-3. И-3. Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем</p>	<p>Знать: принцип действия и устройство основных современных полевых магнитометров и гравиметров, правила организации методики полевых натурных магниторазведочных и гравиразведочных работ при решении различных геологических задач.</p> <p>Уметь: определять и соотносить возможности магнитометрической и гравиметрической аппаратуры с требованиями проектной точности соответствующих съемок при решении конкретных геологических задач, задавать оптимальные параметры сети наблюдений и методики магнитометрических и гравиметрических работ, проводить первичную обработку данных полевых изменений с магнитометрами и гравиметрами, рассчитывать значения аномалий магнитного и гравитационного поля аномалий в точках наблюдений в профильном и площадном вариантах, строить графики или карты аномальных значений силы тяжести и магнитного поля Земли.</p> <p>Владеть: навыками организации полевых натурных магнитометрических и гравиметрических съемок разного типа в профильном и площадном вариантах, приемами первичной обработки полевого материала и методами расчета аномалий магнитного и гравитационного полей, оформления картографического материала согласно инструкциям по гравиразведке и магниторазведке. Методами статической обработки измерений магнитной восприимчивости и плотности</p>

4. Объем дисциплины составляет **4** з.е. (144 часа), в том числе **88** (36+52) академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (**44** (18+13) лекции, **19** (6+13) лабораторные работы и **25** (12+13) семинары), **56** (20+36) академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – 3 семестр зачет, 4 семестр зачет.

5. Формат обучения 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 или астрономических 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) <i>Виды контактной работы, часы</i>				Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>			
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	Расчетно-графические работы	Подготовка реферата	Подготовка к контрольному опросу	Всего
3 семестр									
Раздел 1. Введение. Общие принципы гравirazведки и магниторазведки. История развития методов.	2	2			2				
Раздел 2. Компоненты гравитационного поля Земли.	6	4	1	1	6				
<i>Текущая аттестация 2: защита расчетно-графической работы</i>	5					5			5
Раздел 3. Редукции и аномалии поля силы тяжести. Характеристики плотности горных пород.	6	4	1	1	6				
<i>Текущая аттестация 2: защита расчетно-графической работы</i>	5					5			5
Раздел 4. Физические основы метода магниторазведка.	5	2	1	2	5				

Текущая аттестация 3: защита расчетно-графической работы	4					4			4
Раздел 5. Изучение основных элементов земного магнетизма.	4	2		2	4				
Текущая аттестация 4: защита расчетно-графической работы	4					4			4
Раздел 6. Магнитные свойства минералов, горных пород и руд.	5	2	1	2	5				
Текущая аттестация 5: защита расчетно-графической работы	4					4			4
Раздел 7. Структура аномального магнитного поля.	4	2	2		4				
Текущая аттестация 6: защита расчетно-графической работы	4					4			4
Раздел 8. Планетарные, региональные и локальные особенности магнитного и гравитационного полей. .	4			4	4				
Текущая аттестация 7: доклад по теме реферата	6						6		6
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	5	Письменный зачет				4			
Итого 3 семестр: 2 ЗЕ или 72 часа	72	36				36			
4 семестр									
Раздел 1. Способы измерения элементов гравитационного поля.	12	4	4	4	12				
Текущая аттестация 1: защита расчетно-графической работы	2					2			2
Раздел 2. Методика наземных гравиметрических работ.	8	4	2	2	8				
Текущая аттестация 2: защита расчетно-графической работы	2					2			2

Раздел 3. Классификация и основные характеристики магниторазведочной аппаратуры.	3	2			2			1	1
Раздел 4. Принцип действия и устройство современных наземных магнитометров. Семинар с демонстрацией магнитометров.	3		1	2	3				
<i>Текущая аттестация 3: защита расчетно-графической работы</i>	2					2			2
Раздел 5. Методика магнитных съемок, выбор и обоснование оптимальных параметров наблюдений	5		4	1	5				
<i>Текущая аттестация 4: защита расчетно-графической работы</i>	2					2			2
Раздел 6. Первичная обработка результатов магнитных съемок.	3	2			2			1	1
Раздел 7. Гравиметрические и магнитометрические измерения в движении.	3	2			2			1	1
Раздел 8. Векторные гравиразведка и магниторазведка. Измерение вторых производных гравитационного и магнитного потенциалов и производных более высокого порядка	3	2			2			1	1
Раздел 9. Базовые представления о прямой и обратной задачах гравиразведки и магниторазведки. Элементы гравитационного поля тел простой геометрической формы.	6	4		2	6				
<i>Текущая аттестация 5: защита расчетно-графической работы</i>	2					2			2
Раздел 10. Основы качественной интерпретации гравитационных и магнитных полей с целью геологического истолкования. Геологическое применение	8	4	2	2	8				

результатов интерпретации гравитационных и магнитных аномалий.									
<i>Текущая аттестация б: защита расчетно-графической работы</i>	1					1			1
Раздел 11. Современный уровень развития методов гравиразведки и магниторазведки. Перспективные направления. Достижения и перспективы развития методов гравиразведки и магниторазведки.	3	2			2			1	1
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	4	<i>Письменный зачет</i>				4			
Итого 4 семестр: 2 ЗЕ или 72 часа	72	52				20			
Всего за 3 и 4 семестр: 4 ЗЕ или 144 часов	144	88				56			

Содержание лекций и семинаров 3 семестра

Содержание лекций

Раздел 1. Введение. Общие принципы гравиразведки и магниторазведки. История развития методов.

Гравиметрический метод разведочной геофизики. Исторические сведения о возникновении и развитии гравиметрической разведки. Взаимосвязь с другими методами разведочной геофизики. Геологические задачи гравиметрической разведки. Современные проблемы гравиразведки.

Краткие исторические сведения об изучении основных характеристик магнитного и поля Земли. Первые представления о магнитном поле Земли, предсказание и открытие магнитного склонения и магнитного наклона, магнитных полюсов Земли, вариаций магнитного поля. Взаимосвязь с другими методами разведочной геофизики. Геологические задачи магниторазведки. Современные проблемы магнитной разведки.

Раздел 2. Компоненты гравитационного поля Земли.

Гравитационное поле Земли. Потенциал и сила тяжести. Притяжение однородного слоя и сферы, их потенциал и его производные. Разложение потенциала силы тяжести в ряд по сферическим функциям. Фигура Земли. Теорема Клеро. Нормальная формула силы тяжести. Вторые производные потенциала силы тяжести, их физический и геометрический смысл. Единицы измерения потенциала, силы тяжести и её производных. Нормальные значения вторых производных потенциала силы тяжести. Вариации силы тяжести по времени: вековые и приливные. Поправки за влияние приливных сил. Вариации гравитационного поля, связанные с перераспределением масс внутри Земли.

Раздел 3. Редукции и аномалии поля силы тяжести. Характеристика плотности горных пород.

Редукции и аномалии силы тяжести. Геоид и эллипсоид относимости как поверхности приведения силы тяжести. Смешанные и чистые гравитационные аномалии. Характеристика плотностей горных пород и руд. Редукции и аномалии, их физический смысл и применение для геологических целей. Редукция в свободном воздухе. Аномалии в свободном воздухе. Поправка за промежуточный слой, поправка Буге и поправка за рельеф местности. Аномалии Буге. Поправка Брунса. Редукция Прея. Изостазия и изостатические редукции. Особенности редуцирования силы тяжести на море.

Абсолютная и эффективная плотность. Изменение плотности внутри Земли. Плотностная характеристика горных пород в зависимости от их состава. Плотность магматических, метаморфических и осадочных пород. Минеральная плотность. Способы определения плотности горных пород.

Раздел 4. Физические основы метода магниторазведка.

Магнитное поле Земли и планет. Спутниковые данные о магнитосфере Земли. Элементы земного магнетизма. Единицы измерения элементов магнитного поля Земли. Структура магнитного поля Земли, Нормальное магнитное поле – дипольная составляющая, материковые аномалии и вековой ход. Аналитическое представление нормального магнитного поля Земли Основные особенности нормального поля Земли. Вековой ход и понятие магнитной эпохи. Карты изопор и пространственное положение фокусов изопор. Гипотезы о происхождении МПЗ.

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.

Раздел 5. Изучение основных элементов земного магнетизма.

Нормальное магнитное поле – дипольная составляющая, материковые аномалии и вековые вариации. Аналитическое представление потенциала магнитного поля Земли (магнитного потенциала) и его производных в виде рядов (Теория Гаусса). Сферический гармонический анализ магнитного поля Земли. Характеристика изменений основных характеристик МПЗ для северного и южного полушарий. Понятие о геомагнетизме 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.

Раздел 6. Магнитные свойства минералов, горных пород и руд.

Намагниченность горных пород. Магнитная восприимчивость горных пород разных типов: кислых, основных, метаморфических и осадочных. Новые характеристики ферромагнитных материалов. Точка Кюри. 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.). Коэффициент Кенингсбергера. Палеомагнетизм.

Раздел 7. Структура аномального магнитного поля.

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. Основные характеристики и параметры локальных аномалий магнитного поля. Аномалии элементарных источников, зависимость формы аномалий от географических координат.

Раздел 8. Планетарные, региональные и локальные особенности магнитного и гравитационного полей.

Структура магнитного и гравитационного полей Земли и планет, источники информации о планетарном магнитном поле, характеристики основных параметров, сравнение интенсивности. Современные представления о природе магнитного поля. Планетарные, региональные и локальные особенности потенциальных полей.

План проведения семинаров.

1. Анализ гравитационного поле однородной сферы.
2. Вычисление редукций и аномалий поля силы тяжести.
3. Графическое задание по построению основных элементов земного магнетизма по картам нормального поля современной эпохи геомагнетизма.
4. Компьютерная задача по расчету и построению основных элементов земного магнетизма по теме «Нормальное магнитное поле Земли».
5. Статистическая обработка данных по измерениям магнитной восприимчивости горных пород.
6. Анализ аномалий магнитного и гравитационного полей.

Содержание лекций и семинаров 4 семестра

Содержание лекций

Раздел 1. Способы измерения элементов гравитационного поля.

Способы измерения элементов гравитационного поля. Классификация способов измерения ускорения силы тяжести. Абсолютные и относительные определения ускорения силы тяжести. Маятниковый способ измерения ускорения силы тяжести. Баллистический способ определения ускорения силы тяжести и его основные варианты. Измерение ускорения силы тяжести по частоте колебаний нагруженной струны. Спутниковые методы изучения гравитационного поля. Измерение горизонтальных градиентов и кривизны с помощью крутильной упругой системы. Возможности измерения вертикального градиента. Перспективы развития вариометрии.

Статические гравиметры. Основные типы чувствительных элементов гравиметров. Гравиметры 1-го и 2-го рода. Чувствительность гравиметров. Элементарная теория кварцевых астазированных гравиметров. Индикаторы малых перемещений. Устройство компенсации и измерения силы тяжести. Термостатирование и термокомпенсирование. Герметизация и барокомпенсация. Струнные гравиметры. Сверхпроводящий гравиметр. Телеуправляемые донные и скважинные гравиметры. Регулировка и исследование гравиметров. Установка уровней на минимум чувствительности к наклону. Регулировка чувствительности. Способы эталонирования гравиметров.

Раздел 2. Методика наземных гравиметрических работ.

Мировая гравиметрическая сеть. Национальная опорная сеть. Опорная и рядовая съемки. Требование к точности топографического обеспечения съемки. Основные системы наблюдений при измерениях на опорной сети. Уравнивание опорных сетей. Измерения на рядовой сети и их обработка. Независимый контроль и оценка точности измерений. Вычисление аномальных значений ускорения силы тяжести. Способы учета влияния дневного и погребенного рельефа. Оценка точности аномалий силы тяжести. Составление карт и графиков аномалий силы тяжести. Особенности гравиметрических работ в выработках. Методика и техника скважинной гравиметрии. Обработка результатов гравиметрических наблюдений.

Раздел 3. Классификация и основные характеристики магниторазведочной аппаратуры.

Исторический аспект по применению оптико-механического магнитометрического метода измерения абсолютных и относительных значений элементов магнитного поля. Магнитометрический метод измерения абсолютных и относительных значений элементов магнитного поля. Современные методы измерения элементов магнитного поля Земли. Измерения магнитного поля Земли на различных уровнях наблюдений: наземная, морская, скважинная и аэросъемка. Основные характеристики и требования к магниторазведочной аппаратуре в зависимости от уровня наблюдений и поставленных задач.

Раздел 4. Принцип действия и устройство современных наземных магнитометров.

Феррозонды. Индукционный метод измерения и характеристика магниточувствительного элемента (МЧЭ). Рамочный и ферромагнитный варианты. Принцип действия и устройство феррозондов, метод ориентации феррозонда в пространстве при измерении ΔT . Точность измерения. Типы феррозондовых магнитометров: наземные ΔZ -магнитометры, скважинные трехкомпонентные магнитометры, ΔT -аэромагнитометры. Индукционные приборы для измерения магнитных свойств образцов горных пород.

Протонные магнитометры. Метод измерения абсолютных значений полного вектора магнитной индукции T на основании физического явления ядерного магнитного резонанса в протонсодержащихся жидкостях, помещенных в электрическую катушку.

Теоретические основы метода свободной ядерной прецессии. Устройство и физико–технические характеристики магниточувствительного датчика (МЧЭ). Принцип работы и блок–схема протонных магнитометров различных типов. Дискретность измерения и способы ее уменьшения. Наземные, морские и аэромагнитометры протонного типа – точность, диапазон измеряемого магнитного поля.

Квантовые магнитометры. Устройство МЧЭ, в основе которых лежит квантовый метод измерения МПЗ. оптической накачки и эффект Зеемана. Метод. Принцип и устройство квантовых магнитометров. Наземные, морские и аэромагнитометры квантового типа – основные параметры и возможности. Градиентометры. Магнитометры для проведения аэромагнитных съемок на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА)

Отличительные особенности измерения компонент магнитного поля Земли с помощью протонных и квантовых магнитометров на разных уровнях наблюдений.

СКВИД-магнитометры. Сверхчувствительные магнитометры, используемые для измерения очень слабых магнитных полей. Использование эффекта рекордно высокой чувствительностью и сверхпроводимости СКВИД-магнитометров при магнитных измерениях.

Градиентометры.

Раздел 5. Методика магнитных съемок, выбор и обоснование оптимальных параметров наблюдений.

Зависимость методики магнитной съемки от поставленной геологической задачи. Основные параметры при выборе методики магнитных съемок и. Типы магнитных съемок по уровню и типу наблюдений: наземная, морская, воздушная (аэросъемка), скважинная. Профильные и площадные магнитные съемки. Выбор оптимальной сети наблюдений и методики съемки при решении двух типов геологических задач: а) обнаружение объектов, б) детальное картирование объекта.

Проектная точность магниторазведочных работ. Система наблюдений и схема расположения точек наблюдения. Масштаб магнитной съемки. Особенности магнитных съемок при использовании разных типов магнитометров. Методы и способы учета солнечно-суточных вариаций магнитного поля. Контрольные наблюдения и оценка точности магниторазведочных работ. Первичная обработка материалов полевой магнитной съемки. Представление результатов магнитной съемки – графики, карты графиков и карты изолиний аномального магнитного поля. Правило выбора p сечения изолиний в зависимости от точности работ.

Методические особенности проведения магнитных съемок разного типа: наземная, морская, аэросъемки, съемка с использованием беспилотных носителей. Специальные виды магниторазведочных работ – микромагнитная съемка, скважинная магниторазведка, метод искусственного подмагничивания. Площадные, каппометрические исследования.

Раздел 6. Первичная обработка результатов магнитных съемок.

Определение значений нормального магнитного поля с использованием общепризнанной модели – IGRF или International Geomagnetic Reference Field (IGRF) для современной эпохи.

Вычисление абсолютных значений магнитного поля в каждой точке наблюдения по данным, снятым с измерительных систем магнитометров. Составление каталога измеренных значений магнитного поля и координаты точек наблюдений по GPS. Построение графиков солнечно-суточных вариаций магнитного поля Земли. Определение аномального магнитного поля путем учета вычисленного значения нормального МПЗ для данного района работ, введение поправок за солнечно-суточные вариации и девиацию. Обработка контрольных наблюдений и расчет среднеквадратической ошибки магнитной съемки. Построение результативного картографического материала в форме графиков и карт магнитных аномалий в масштабе съемки.

Определение значений магнитного поля на опорных магнитных пунктах при относительных измерениях компонент МПЗ и методика этапов обработки этих данных.

Раздел 7. Гравиметрические и магнитометрические измерения в движении.

Измерение ускорения силы тяжести в движении. Принципы измерения элементов гравитационного поля на подвижном основании. Возмущающие ускорения и наклоны. Способы их учета. Эффект Этвеша и его учет. Особенности маятникового метода измерения ускорения силы тяжести в движении. Измерение силы тяжести в движении с помощью гравиметров. Основные типы наборных гравиметров. Особенности методики измерений ускорения силы тяжести на море и в воздухе. Площадные и профильные съемки. Топографическое обеспечение морской и аэрогравиметрической съемки.

Измерения магнитного поля на подвижном основании: морские и аэромагнитные съемки, съемки с использованием беспилотных носителей.

Раздел 8. Векторные гравиразведка и магниторазведка. Измерение вторых производных гравитационного и магнитного потенциалов и производных более высокого порядка.

Физические основы векторных модификаций гравиразведки и магниторазведки, принципы измерения, аппаратура, преимущества перехода к изучению производных потенциальных полей высоких порядков, разрешающая способность векторных модификаций и эффективность использования производных высоких порядков при решении широкого круга геологических задач. Перспективы развития векторных модификаций гравиразведки и магниторазведки.

Раздел 9. Базовые представления о прямой и обратной задачах гравиразведки и магниторазведки. Элементы гравитационного поля тел простой геометрической формы.

Основы интерпретации аномалий гравитационного и магнитного полей. Понятие прямой и обратной задачи гравиразведки и магниторазведки. Эквивалентность и не единственность обратных задач, понятие о корректных и некорректных задачах.

Прямая задача гравиразведки. Основные интегральные соотношения. Палеточные методы решения прямой задачи. Аппроксимационные способы решения прямой задачи.

Решение обратной задачи гравиразведки для изолированных аномальных объектов. Определение параметров моделей геометрически правильной формы способами характерных точек. Определение параметров моделей с помощью номограмм и палеток. Интегральные способы. Основные методы подбора.

Особенности структуры магнитных аномалий, влияние географических координат источников.

Раздел 10. Основы качественной интерпретации гравитационных и магнитных полей с целью геологического истолкования. Геологическое применение результатов интерпретации гравитационных и магнитных аномалий.

Качественная и количественная интерпретация. Неоднозначность решения обратной задачи. Плотностное и магнитное моделирование. Учет априорных данных при анализе аномального гравитационного и магнитного полей. Оценка точности и достоверности результативных построений. Примеры результатов применения гравиразведки и магниторазведки при решении геологических задач, их роль в комплексной интерпретации геолого-геофизической информации.

Раздел 11. Современный уровень развития методов гравиразведки и магниторазведки. Перспективные направления. Достижения и перспективы развития методов гравиразведки и магниторазведки.

Современные задачи, которые решает гравиметрия и магнитометрия. Гравиметрическая градиентометрия. Перспективы развития беспилотных средств передвижения. Векторная гравиметрия. Спутниковая гравиметрия. Спутниковые магнитные съемки и миссии. Гравиметрические и магнитные исследования Луны и других небесных тел. Изучение вариаций силы тяжести. Гравитационные волны. Гравитационный лазер. Инструментальное и интерпретационное развитие гравиметрии.

План проведения семинаров.

1. Юстировка уровней гравиметра
2. Определение цены деления счетчика измерительного устройства гравиметра по пунктам с известными приращениями силы тяжести.
3. Изучение магнитометров для абсолютных измерений магнитного поля
4. Оптимальная методика магнитных съемок для решения задач обнаружения и детального картирования геологических объектов
5. Гравитационные эффекты тел простой формы.
6. Обратная задача. Метод характерных точек.

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

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

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

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля 3 семестра:

1. Особенности магнитосферы Земли и других планет.
2. Основные элементы МПЗ.
3. Графическое представление 7 элементов земного магнетизма.
4. Особенности пространственного распределения элементов земного магнетизма на картах изогон, изоклин и изодинам
5. Составляющие полного вектора T в структуре МПЗ. Материковые аномалии. Физический смысл каждой составляющей.
6. Вековой ход МПЗ. Фокусы векового хода на картах изопор.
7. Аналитическое описание МПЗ. Международные модели магнитного поля Земли.
8. Аномальная составляющая МПЗ.
9. Инверсии, экскурсы и инвенты МПЗ.
10. Сила тяжести и потенциал.
11. Фигура Земли. Теорема Клеро. Нормальная формула силы тяжести.
12. Геоид и эллипсоид относимости, как поверхности приведения силы тяжести.
13. Характеристика плотностей горных пород и руд.
14. Редукция в свободном воздухе. Аномалии в свободном воздухе.
15. Аномалия Буге.
16. Редукция Пряя.

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля 4 семестра:

1. Определение методики магнитной съемки. Проектная точность магнитных съемок.
2. Способы учета солнечно-суточных вариаций магнитного поля.
3. Приборы для измерения магнитных свойств горных пород
4. Принцип работы протонного и квантового магнитометров.
5. Принцип работы системы ориентации феррозондового датчика при съемке аномалий
5. Маятниковый способ измерения сил тяжести.
6. Основные типы чувствительных элементов гравиметров. Гравиметры 1-го и 2-го рода.

7. Чувствительность гравиметров. Температурная компенсация. Термостатирование и термокомпенсирование. Герметизация и барокомпенсация.
8. Способы эталонирования гравиметров.
9. Спутниковые методы изучения гравитационного поля.
10. Требования к точности топографического обеспечения съемки.
11. Вычисление аномальных значений ускорения силы тяжести.
12. Оценка точности аномалий силы тяжести.
13. Возмущающие ускорения и наклоны. Способы их учета.
14. Площадные и профильные съемки.
15. Задачи интерпретации.
16. Интегральные формулы для элементов гравитационного поля.
17. Физико-геологические и математические модели интерпретации. Идеи оптимальности.
18. Основные методы интегрирования при решении прямой задачи для элементарных тел.
19. Гравитационные эффекты простых моделей – шар, материальный стержень, диск, круговой цилиндр, параллелепипед и др.
20. Определение параметров модели геометрически правильной формы методом характерных точек, номограмм и палеток.

Примерный перечень тем рефератов:

1. Магнитосфера Земли.
2. Компас и измерение магнитного склонения.
3. Влияние Солнца на магнитосферу Земли.
4. Нормальное геомагнитное поле, геохимическая модель Земли.
5. Вековые вариации геомагнитного поля.
6. Аномальное геомагнитное поле и его изменение во времени.
7. Новые гипотезы о природе магнитного поля Земли.
8. Инверсии геомагнитного поля и теория динамо.
9. Хронология инверсий магнитного поля по результатам изучения океанических осадков.
10. Мировые магнитные аномалии Земли и положение магнитных полюсов.
11. Магнитное поле Земли слабеет. Опасны ли последствия этого?
12. Экскурсы геомагнитного поля.
13. К вопросу о западном дрейфе геомагнитного поля.
14. Исследования геомагнитного поля с борта высотных аэростатов.
15. Смена магнитных полюсов Земли произойдет в 2030 году.
16. Магнитные бури и их влияние на организм человека.
17. Изучение и диагностика магнитосферы.
18. Характеристика геомагнитных пульсаций во время магнитных бурь.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (зачете) 3 семестра:

1. Особенности магнитосферы Земли.
2. Характер магнитосфер других планет.
3. Основные элементы МПЗ. Графическое представление 7 элементов земного магнетизма.
4. Единицы измерения магнитных характеристик в системе СГС и СИ.
5. Формулы аналитических связей T , Z , H , X , Y , D , I . Характер и пределы изменения каждого параметра.
6. Особенности пространственного распределения элементов земного магнетизма в картах изогон, изоклин и изодинам.

7. Определение магнитного полюса, магнитного экватора, плоскости магнитного меридиана. Что такой западный дрейф?
8. Составляющие полного вектора T в структуре МПЗ. Физический смысл каждой составляющей.
9. Определение нормального и главного магнитного поля Земли. Аномальная составляющая магнитного поля и способ ее вычисления.
10. Вековой ход МПЗ. Фокусы векового хода на картах изопор.
11. Переменная составляющая МПЗ. Классификация вариаций МПЗ. Амплитуды вариаций.
12. Аналитическое описание МПЗ. Международные модели магнитного поля Земли.
13. Гипотезы происхождения МПЗ.
14. Инверсии, экскурсы и ивенты МПЗ.
15. Типы намагниченностей горных пород. Формула для определения индуцированной намагниченности. Коэффициент Кенингсбергера.
16. Притяжение однородного слоя и сферы, их потенциал и его производные.
17. Вторые производные потенциала силы тяжести, их физический и геометрический смысл.
18. Смешанные и "чистые" гравитационные аномалии.
19. Редукции и аномалии, их физический смысл и применение для геологических целей.
20. Поправка за промежуточный слой, поправка Буге и поправка за рельеф местности.
21. Поправка Брунса.
22. Изостазия и изостатические редукции.
23. Особенности редуцирования силы тяжести на море.

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (зачете) 4 семестра:

1. Виды магнитных съемок. Определение масштаба работ.
2. Проектная точность магнитных съемок.
3. Системы точек наблюдений при выполнении магнитных съемок различных типов.
4. Способы учета солнечно-суточных вариаций магнитного поля.
5. Контрольные измерения, точность магнитных наблюдений.
6. Приборы для измерения магнитных свойств горных пород
7. Магнитные характеристики горных пород.
8. Классификация минералов и горных пород по магнитным свойствам на диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики.
9. Магнитная восприимчивость осадочных, магматических и метаморфических горных пород.
10. Понятие индуцированной и остаточной намагниченности. Коэффициент Кенингсбергера.
11. Типы остаточной намагниченности и основы палеомагнитологии.
12. Классификация способов измерения ускорения силы тяжести.
13. Абсолютные и относительные определения ускорения силы тяжести.
14. Баллистический способ измерения силы тяжести.
15. Элементарная теория кварцевых астазированных гравиметров.
16. Устройство компенсации и измерение силы тяжести.
17. Струнные гравиметры.
18. Регулировка и исследование гравиметров.
19. Установка уровней на минимум чувствительности к наклону.
20. Регулировка чувствительности.
21. Измерение ускорения силы тяжести по частоте колебаний нагруженной струны.
22. Мировая гравиметрическая сеть. Национальная опорная сеть. Опорная и рядовая сети съемки.
23. Основные системы наблюдений при измерениях на опорной сети. Уравнивание опорных сетей.

24. Измерение на рядовой сети и их обработка.
25. Независимый контроль и оценка точности измерений.
26. Способы учета влияния дневного рельефа.
27. Составление карт и графиков аномалий силы тяжести.
28. Принципы измерения элементов гравитационного поля на подвижном основании.
29. Эффект Этвеша и его учет.
30. Особенности методики измерений ускорения силы тяжести на море и в воздухе.
31. Топографическое обеспечение морской и аэрогравиметрической съемки.
32. Понятие прямой и обратной задачи гравиразведки и магниторазведки.
33. Эквивалентность и единственность в обратных задачах.
34. Понятие о корректных и некорректных задачах гравиразведки магниторазведки.
35. моделей.
36. Общая схема геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий.
37. моделей.
38. Графические методы решения прямой задачи с помощью палеток.
39. Аппроксимационные способы решения прямой задачи от сложных распределений плотности.
40. Метод подбора.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине 3 семестра (зачет).

Оценка результатов обучения, <i>соответствующие виды оценочных средств</i>	Незачет	Зачет
Знания основ теории магнитного и гравитационного полей Земли: аномалии и редукции поля силы тяжести, плотностные и магнитные характеристик горных пород; параметры и природа магнитного поля Земли и планет, вариации магнитного поля, их типы и природа. <i>(устный опрос)</i>	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения: проанализировать структуру аномального гравитационного и магнитного полей Земли или планет и их производных, понять и объяснить физическую природу полей и их производных, связь аномалий с источниками естественного или искусственного происхождения <i>(устный опрос)</i>	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности принципиального характера)

<p>Навыки (владения, опыт деятельности) анализа структуры гравитационного и магнитного полей и их производных, объяснения происхождения аномалий и их связи с геологическими объектами, классификации вариаций естественных потенциальных полей и определения их природы <i>(устный опрос)</i></p>	<p>Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков</p>	<p>Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме</p>
---	---	--

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине 4 семестра (зачет).

Оценка результатов обучения, соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
<p>Знания принципов работы гравиметрического и магнитометрического оборудования, методики полевых работ <i>(устный опрос)</i>.</p>	<p>Фрагментарные знания или отсутствие знаний</p>	<p>Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания</p>
<p>Умения выбрать и обосновать основные параметры методики гравиметрической и магнитометрической съемок, проведения первичной обработки полевого материала, построения результативных карт и графиков локальных аномалий <i>(устный опрос)</i>.</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений</p>	<p>Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)</p>
<p>Навыки (владения, опыт деятельности) работы с современной гравиметрической и магнитометрической аппаратурой, организации полевых съемок, приемов первичной обработки полевого материала и использования методов расчета аномалий силы тяжести и аномалий магнитного поля <i>(устный опрос)</i></p>	<p>Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков</p>	<p>Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме</p>

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Булычев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Фадеев А.А., Бровкин Г.И. Конспект лекций по курсу Гравиразведка. Часть I. Москва, "КДУ", "Университетская книга" 2017.
2. Булычев А.А., Лыгин И.В., Мелихов В.Р. Численные методы решения прямых задач грави- и магниторазведки (конспект лекций). Учебное пособие для студентов и магистрантов специализации Геофизика. Москва. МГУ. 2010.
3. Булычев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М. Прямая задача гравиразведки и магниторазведки (конспект лекций). Москва, "КДУ", "Университетская книга" 2017.
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. Золотая Л.А., Коснырева М.В., Булычев А.А., Паленов А.Ю. Решение прямой задачи магниторазведки. Тверь. ООО Издательство ПОЛИПРЕСС. 2018.
6. Коснырева М.В., Золотая Л.А. Магнитные свойства горных пород: методика измерений и обработки данных. Тверь. ООО Издательство ПОЛИПРЕСС. 2018.
7. Стогний В.В. Аэрогеофизика. Москва: Юрайт. 2022. 242 с.

- дополнительная литература:

1. Никитин А.А., Булычев А.А. Комплексный анализ и комплексная интерпретация геофизических полей. М., ВНИИГеосистем. 2015.
2. Миронов В.С. Гравиразведка. Л., Недра, 1980.
3. Маловичко А.К., Костицын В.И. Гравиразведка. М., Недра, 1992.
4. Серкерев С.А. Гравиразведка и магниторазведка. М., Недра. 1999.
5. Веселов К. Е. Гравиметрическая съемка. М., Недра, 1986
6. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Л. Недра 1979.
7. Магниторазведка. Справочник геофизика. / Ред. Никитский В.Е., Глебовский Ю.С. М. Недра. 1980.
8. Страхов В.Н. Методы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Пермь. Изд-во ПГУ.1984.
9. Тафеев Г.П., Соколов К.П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий. Л. Недра. 1981.
10. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л. ЛГУ. 1978.

Б) Перечень программного обеспечения:

- лицензионное

программы **Golden Software – Surfer** (версия 10 или выше) и **Golden Software – Grapher** (версия 6 или выше)

- нелицензионные и свободного доступа

пакет программ Open Office

В) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

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

Г) Материально-технического обеспечения:

Для материально-технического обеспечения дисциплины используются: лаборатории гравиразведки и магниторазведки отделения Геофизики, компьютерный класс отделения Геофизики, полевая гравиразведочная и магниторазведочная аппаратура, специализированные аудитории кафедры и факультета, оборудованные ПК и проектором, библиотека Геологического факультета МГУ.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватели: Ответственные за курс — Лыгин И.В., Золотая Л.А.,

преподаватели: проф. Булычев А.А., доц. Лыгин, доц. Золотая Л.А., доц. Коснырева М.В., асс. Паленов А.Ю., асс. А.А. Фадеев, доц. Кузнецов К.М., с.н.с. Соколова Т.Б.

11. Разработчики программы: А.А. Булычев – профессор, И.В. Лыгин – доцент, К.М. Кузнецов – доцент, А.А. Фадеев – ассистент, Л.А.Золотая – доцент, М.В. Коснырева – доцент, А.Ю. Паленов – ассистент, Соколова Т.Б. – старший научный сотрудник.