

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

УТВЕРЖДАЮ  
и.о. декана Геологического факультета  
чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_/Н.Н.Ерёмин/  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Детальная гравиразведка и магниторазведка**

**Detailed gravity and magnetic exploration**

Авторы-составители: А.А. Фадеев, А.Ю. Паленов, И.В. Лыгин, Коснырева М.В.

**Уровень высшего образования:**

***Магистратура***

**Направление подготовки:**

**05.04.01 Геология**

**Магистерская программа**

**Геофизика**

Форма обучения:

***Очная***

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

Москва 2022

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

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

Год приема на обучение: 2022

## Цель и задачи дисциплины

**Целью** курса «Детальная гравиразведка и магниторазведка» является изучение современных подходов выполнения производственных работ, обработки и интерпретации высокоточных гравимагнитных исследований при решении задач поиска объектов, залегающих в верхней части разреза.

**Задачи** - осветить современные направления применения детальных гравиметрических и магнитометрических исследований. Дать представление об особенностях современных аппаратурно-методических решений.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Дается обзор современных подходов в обработке и интерпретации детальных высокоточных гравиметрических и магнитометрических данных при решении задач поиска и детального изучения объектов, залегающих в верхней части разреза. Рассматривается применение высокоточных гравиметрических наблюдений при проведении изыскательских работ.

На лабораторных занятиях студенты выполняют задачи моделирования гравитационного и магнитного полей для решения прямых и обратных задач крупномасштабных исследований.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП** – относится к профессиональному блоку вариативной части ОПОП, входит в программу модуля «Гравиразведка и магниторазведка», является дисциплиной по выбору. Курс – I, семестр – 1.

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

обучающийся должен владеть базовыми естественно-научными, математическими и профессиональными знаниями в объеме вступительного экзамена в магистратуру.

### 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.ММ. Способен применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих направленность подготовки, при решении задач профессиональной деятельности.	ММ.ОПК-1. И-1. Использует на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих направленность подготовки, при решении исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности.	<b>Знать:</b> Устройство и принципы работы современной гравиметрической и магнитометрической аппаратуры. Основу методики гравиметрических и магнитометрических съемок, принципы организации полевых работ. <b>Уметь:</b> Самостоятельно планировать и выполнять полевые гравиметрические и магнитометрические работы. <b>Владеть:</b> Навыками работы с гравиметрической и магнитометрической аппаратурой в площадном и профильном варианте.
ПК-4.ММ. Способен использовать современные методы обработки и интерпретации	ММ.ПК-4. И-1. Имеет представление о современных методах обработки и	<b>Знать:</b> Основы обработки и интерпретации детальных гравиметрических и магнитометрических исследований. <b>Уметь:</b> Решать прямую и обратную задачу от тел простой формы. Проводить

<p>комплексной информации для решения производственных задач.</p>	<p>комплексной интерпретации информации, используемых для решения производственных задач (по направленности подготовки).</p>	<p>комплексный анализ гравиметрических и магнитометрических данных. Оформлять отчетный материал в виде карт и графиков.  <b>Владеть:</b> Приемами качественной и количественной интерпретации гравиметрических и магнитометрических данных.</p>
---	--	---

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

**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 семинарского типа	Всего	Подготовка к лабораторной работе, реферату	Всего
Раздел 1. Введение	2	2		2		
Раздел 2. Методика съемки и вычисление аномалий силы тяжести	2	1	1	2		
Текущая аттестация 1: защита лабораторной работы	4				4	4
Раздел 3. Обработка высокоточных гравиметрических данных	2	1	1	2		
Текущая аттестация 2: защита лабораторной работы	4				4	4
Раздел 4. Применение высокоточной гравиметрии при поиске малоглубинных объектов	2	2		2		
Текущая аттестация 3: реферат	4				4	4
Раздел 5. Понятие прямой и обратной задачи гравиразведки	3	2	1	3		
Текущая аттестация 4: защита лабораторной работы	4				4	4
Раздел 6. Оценка геометрических параметров объекта по гравиметрическим данным	1	1		1		
Раздел 7. Особенности современной магниторазведочной аппаратуры	2	2		2		
Раздел 8. Магнитные свойства горных пород	1	1		1		
Текущая аттестация 5: контрольная работа	4				4	4
Раздел 9. Изучение неоднородности магнитного поля вариаций в городских условиях	2	2		2		

Текущая аттестация 6: защита лабораторной работы	<b>4</b>				4	<b>4</b>
Раздел 10. Методика магнитных съемок, выбор сети наблюдений	<b>3</b>	2	1	<b>3</b>		
Текущая аттестация 7: защита лабораторной работы	<b>4</b>				4	<b>4</b>
Раздел 11. Обработка результатов магнитных съемок	<b>4</b>	2	2	<b>4</b>		
Текущая аттестация 8: контрольная работа	<b>4</b>				4	<b>4</b>
Раздел 12. Комплексирование при детальном гравимагнитных исследованиях	<b>4</b>	2	2	<b>4</b>		
Текущая аттестация 8: реферат	<b>4</b>				4	<b>4</b>
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	<b>8</b>	<i>Устный экзамен</i>			<b>8</b>	
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>28</b>			<b>44</b>	

## Содержание лекций, семинаров

### **(1) Введение.**

О курсе «Детальная гравirazведка и магниторазведка». Задачи, решаемые детальными гравirazведочными и магниторазведочными методами.

Цели и задачи курса. Рекомендуемая литература.

Гравиметрический метод разведочной геофизики. Взаимосвязь с другими методами разведочной геофизики. Геологические задачи гравиметрической разведки. Современные проблемы гравиметрической разведки.

### **(2) Методика съемки и вычисление аномалий силы тяжести**

Современная гравиметрическая и геодезическая аппаратура, используемая при проведении высокоточных гравиметрических работ. Технические характеристики приборов.

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.

### **(3) Обработка высокоточных гравиметрических данных**

Обработка гравиметрических данных гравиметра. Учет стабилизации отчета, его положения относительно пункта наблюдения, определение оптимального времени, в течении которого нуль-пункт гравиметра является линейным. Вычисление аномалии силы тяжести в редукции Буге. Анализ карт/графиков локальных гравитационных аномалий.

### **(4) Применение высокоточной гравиметрии при поиске малоглубинных объектов**

Практические примеры использования высокоточной гравиметрии при поиске геологических и техногенных объектов. Возникающие при этом сложности и их решение. Поиск подземных сооружений и коммуникаций, карстовых полостей. Преимущества использования высокоточных гравимагнитных работ при изучении аномалообразующих тел в верхней части разреза. Примеры гравиметрических исследования на территории вокруг главного здания МГУ при изучении малоглубинных аномалообразующих тел.

### **(5) Понятие прямой и обратной задачи гравirazведки**

Основы интерпретации аномалий силы тяжести. Понятие прямой и обратной задачи гравirazведки. Эквивалентность и неединственность обратных задач, понятие о корректных и некорректных задачах гравirazведки.

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

Определение параметров моделей геометрически правильной формы способами характерных точек. Определение параметров моделей с помощью номограмм и палеток. Основные методы подбора.

### **(6) Оценка геометрических параметров объекта по гравиметрическим данным**

Оценка возможных геометрических параметров объекта по результатам плотностного моделирования, вычисление доверительных интервалов, в пределах которых могут меняться данные параметры. Неоднозначность решения обратной задачи.

Сужение круга решений обратной задачи при учете априорной информации. Совместное использование гравirazведки и георадара.

#### **(7) Особенности современной магниторазведочной аппаратуры**

Современные марки и конфигурации магниторазведочной аппаратуры. Плюсы и минусы градиентометрических работ. Понятие аналитического сигнала. Подбор высоты датчика в зависимости от задачи.

#### **(8) Магнитные свойства горных пород**

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.

#### **(9) Изучение неоднородности магнитного поля вариаций в городских условиях**

Практическое изучение вариаций магнитного поля в условиях промышленных помех. Способы учета нелинейных вариаций магнитного поля при обработке данных.

#### **(10) Методика магнитных съемок, выбор сети наблюдений**

Определение методики магниторазведки. Перевод геологической задачи в магнитную. Типы магнитных съемок по уровню и типу наблюдений: наземная, морская, воздушная (аэросъемка), скважинная. Выбор оптимальной сети наблюдений и методики съемки при решении двух типов задач: а) обнаружение геологических объектов, б) детальное исследование целевых структур.

Проектная точность магниторазведочных работ. Система наблюдений и схема расположения точек наблюдения. Масштаб магнитной съемки. Система обхода точек наблюдения 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 в изодинамах аномального магнитного поля. Выбор сечения изодинам в зависимости от точности работ.

#### **(11) Обработка результатов магнитных съемок**

Определение значений нормального магнитного поля в районе работ.

Вычисление абсолютных значений магнитного поля в каждой точке наблюдения по данным, снятым с измерительных систем магнитометров. Определение значений магнитного поля на опорных магнитных пунктах при относительных измерениях компонент МПЗ. Построение графиков вариаций магнитного поля Земли. Определение аномального магнитного поля – учет нормального поля, введение поправок за вариации, девиацию. Обработка контрольных наблюдений и расчет ошибки съемки. Выбор масштаба съемки и построение результативного картографического материала в форме графиков и карт магнитных аномалий

#### **(12) Комплексирование при гравимагнитных исследованиях**

Принципы и приемы построения гравимагнитной модели с привлечением сейсморазведочных данных и бурения вдоль линий профилей. Использование данных георадарной съемки при изучении верхней части разреза. Комплексирование



геофизических методов для сужения неопределенности обратной задачи геофизики. Возможность современного программного обеспечения для моделирования гравимагнитных данных.

**Примерные темы семинаров:**

1. Редукции и аномалии поля силы тяжести;
2. Графическое задание по построению основных элементов земного магнетизма по картам нормального поля;
3. Оптимальная методика магнитных и гравиметрических съемок для решения задач обнаружения и детального картирования геологических объектов;
4. Гравитационные эффекты тел простой формы;
5. Обратная задача. Метод характерных точек;
6. Подбор плотностного разреза с использованием априорных данных.

**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 расчетных лабораторных работ и доклада по выбранной теме реферата.

**Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля:**

1. Особенности пространственного распределения элементов земного магнетизма в картах изогон, изоклин и изодинам;
2. Особенности магнитосферы Земли;
3. Составляющие полного вектора  $T$  в структуре МПЗ;
4. Сила тяжести и потенциал;
5. Характеристика плотностей горных пород и руд;
6. Редукция в свободном воздухе. Аномалии в свободном воздухе;
7. Аномалия Буге;
8. Учет девиаций при магниторазведочных работах;
9. Принцип работы гравиметров разного типа;
10. Принцип работы магнитометров разного типа;
11. Методика проведения высокоточных гравиразведочных и магниторазведочных работ;
12. Особенности обработки высокоточных гравиметрических и магнитометрических данных.

**Примерный перечень тем рефератов:**

1. Оценка возможностей гавиразведки по обнаружению приповерхностных разуплотнений;
2. Изучение вариаций силы тяжести;
3. Высокоточная гавиразведка в археологии;
4. Высокоточная гавиразведка при поиске карста;
5. Нормальное магнитное поле Земли и гипотезы его происхождения
6. Вариации магнитного поля Земли и методы их учета
7. Измерение градиентов магнитного поля при решении крупномасштабных задач
8. Сверхкрупномасштабные магниторазведочные исследования при решении археологических задач
9. Возможности магниторазведки при поиске неразорвавшихся боеприпасов
10. Детальные маловысотные аэромагнитные съемки с использованием БПЛА

**Примерный перечень расчетных домашних заданий:**

1. Высокоточная гравиметрическая и геодезическая аппаратура. Принцип работы и

- основные настройки для проведения полевой съемки;
2. Высокоточная магнитометрическая аппаратура. Принцип работы и основные настройки для проведения полевой съемки;
  3. Методика проведения детальных магниторазведочных работ.
  4. Методика проведения детальных гравиразведочных работ.

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

### *Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамене):*

- (1) Способы учета солнечно-суточных вариаций магнитного поля.
- (2) Приборы для измерения магнитных свойств горных пород.
- (3) Способы эталонирования гравиметров.
- (4) Современная магниторазведочная аппаратура для детальных съемок.
- (5) Особенности намагничения железных объектов, коэффициент размагничивания.
- (6) Неоднородность вариаций магнитного поля в присутствии техногенных помех.
- (7) Происхождение девиации при измерениях магнитного поля и способы ее учета.
- (8) Особенности построения сети наблюдений при детальных гравимагнитных исследованиях.
- (9) Влияние рельефа на данные магнитных съемок.
- (10) Особенности обработки высокоточных гравиметрических данных.
- (11) Особенности подготовки гравиметрической аппаратуры к высокоточным полевым работам.
- (12) Точность современного гравиметрического оборудования. Анализ данных записи стационарного сигнала, его особенности для разных гравиметров.
- (13) Методика высокоточных гравиметрических наблюдений.
- (14) Метод подбора.

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

Результаты обучения, соответствующие оценочным средствам	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
<b>Знания</b> современной высокоточной гравиметрической и магнитометрической аппаратуры, основы применения современных подходов в методике обработки и интерпретации гравимагнитных методов (устный опрос)	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
<b>Умения</b> планировать детальные гравимагнитные исследования, анализировать исходные данные, уметь их обрабатывать и использовать с целью построения геолого-геофизических моделей в комплексе с другими геофизическими методами (устный опрос)	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение

<b>Навыки (владения, опыт деятельности работы с современными геоинформационными системами, подбором геофизических моделей в специализированных программах позиционирования (устный опрос)</b>	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки	Свободное владение и использование
---	-----------------------------	---	-------------------------------	------------------------------------

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература:

- 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.
- 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.
- Золотая Л.А., Коснырева М.В., Булычев А.А., Паленов А.Ю. Решение прямой задачи магниторазведки. Тверь. ООО Издательство ПОЛИПРЕСС. 2018.
- Коснырева М.В., Золотая Л.А. Магнитные свойства горных пород: методика измерений и обработки данных. Тверь. ООО Издательство ПОЛИПРЕСС. 2018.

#### - дополнительная литература:

- Никитин А.А., Булычев А.А. Комплексный анализ и комплексная интерпретация геофизических полей. М., ВНИИгеосистем. 2015.
- Миронов В.С. Гравиразведка. Л., Недра, 1980.
- Веселов К. Е. Гравиметрическая съемка. М., Недра, 1986.
- Магниторазведка. Справочник геофизика. / Ред. Никитский В.Е., Глебовский Ю.С. М. Недра. 1980.
- Страхов В.Н. Методы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Пермь. Изд-во ПГУ.1984.
- Тафеев Г.П., Соколов К.П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий. Л. Недра. 1981.

### Б) Перечень программного обеспечения:

#### - лицензионное

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

#### - нелицензионное и свободного доступа

пакет программ Open Office

## 9. Язык преподавания – русский.

## 10. Преподаватели:

Ответственный за курс: Фадеев Александр Александрович.

Преподаватели: Фадеев А.А., Паленов А.Ю.

## 11. Разработчики программы: Фадеев А.А., ассистент; Паленов А.Ю., ассистент; Лыгин И.В., доцент, Коснырева М.В., доцент