

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра геофизики**

Авторы-составители: **Долгаль Александр Сергеевич**

Рабочая программа дисциплины  
**ГРАВИМЕТРИЯ И МАГНИТОМЕТРИЯ**  
Код УМК 92697

Утверждено  
Протокол №10  
от «15» июня 2021 г.

Пермь, 2021

## **1. Наименование дисциплины**

Гравиметрия и магнитометрия

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **05.04.01** Геология

направленность Геофизические методы исследования земной коры

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Гравиметрия и магнитометрия** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**05.04.01** Геология (направленность : Геофизические методы исследования земной коры)

**ОПК.1** Способен разрабатывать и/или адаптировать/совершенствовать новые идеи, знания, представления на языке предметной области и проводить оценку их востребованности на рынке труда

#### **Индикаторы**

**ОПК.1.2** Определяет основные этапы преобразования научного знания в инновацию; обосновано выбирает методы и средства организации и проведения исследования с целью разработки инновационного продукта

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	05.04.01 Геология (направленность: Геофизические методы исследования земной коры)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	5
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	36
<b>Проведение лекционных занятий</b>	12
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	24
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	72
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (5 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Гравиметрия и магнитометрия.**

Элементы теории множеств. Краткие сведения из курса линейной алгебры. Основные положения теории интерпретации гравитационных аномалий. Решение обратных задач геофизики методом регуляризации. Теоретические основы метода автоматизированного подбора. Методы решения обратной задачи гравиразведки и магниторазведки. Синтез вероятностного и детерминистского подходов при решении.

#### **1. Краткая характеристика современного состояния гравиметрии и магнитометрии.**

История развития методов. Современная аппаратура и технологии.

#### **2. Основные положения теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий.**

Количественная и качественная интерпретация. Постановка обратной задачи гравиразведки и магниторазведки. Идеализации при формулировке обратной задачи. Некорректно поставленные задачи. Вопрос единственности решения обратной задачи.

#### **3. Методы решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии.**

Метод локальных поправок для решения нелинейных обратных задач. Построение эквивалентных семейств решений. Метод последовательного накопления и разрастания масс. Монтажный метод и его модификации. Оценка достоверности количественной интерпретации (гарантированный подход).

#### **4. Теоретические основы метода автоматизированного подбора, метод регуляции.**

Метод подбора при интерпретации сложных гравиразведочных данных. Понятие квазирешения обратной задачи. Классы обратных задач: типы операторов и виды распределений масс. Решение систем алгебраических уравнений с приближенно заданной правой частью как основа алгоритмов решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Минимизация многопараметрического функционала. Детерминированный и случайный поиск решения. Метод градиентного спуска (по Е.Г. Булаху). Обусловленность систем линейных алгебраических уравнений.

#### **5. Аэрогеофизическая съемка.**

Аэрогеофизическая съемка. Аэромагнитная съемка. Примеры решения геологических задач. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов.

#### **6. Синтез вероятностно-статистического и детерминистского подходов при решении обратных задач геофизики.**

Анализ множества допустимых решений. Характеристика помех. Алгоритм решения обратной задачи на основе минимизации эмпирического риска. Модельные и практические примеры. Сопоставление методов решения линейной обратной задачи. Оценка собственных результатов в методе минимизации эмпирического риска.

### **Лабораторные работы:**

#### **1. Вычисление поправок за влияние рельефа местности при гравиметрической съемке.**

Визуализация цифровых моделей рельефа. Выбор параметров расчета. Вычисление поправок за влияние внешней и внутренней подобластей. Расчет суммарной поправки.

#### **2. Аналитические аппроксимации геопотенциальных полей:**

Решение прямых задач гравиразведки и магниторазведки. Программа PGM. Программа PRIZMA.

##### **2.1 Гравитационное поле - программа APPG.**

Трансформация гравитационного поля, измеренного на расчлененном рельефе. Построение

эквивалентной модели источников поля. Восстановление трансформант. Выделение локальной и региональной составляющих поля. Приведение гравитационного поля на горизонтальную плоскость. Пересчет поля в верхнее полупространство. Вычисление высших производных. Подавление помех негармонического характера. Возможности 3D интерпрольции.

### **2.2. Магнитное поле- программа АРРМ.**

Трансформация магнитного поля, измеренного на расчлененном рельефе. Построение эквивалентной модели источников поля. Восстановление трансформант. Выделение локальной и региональной составляющих поля. Приведение магнитного поля на горизонтальную плоскость. Пересчет поля в верхнее полупространство. Вычисление высших производных. Подавление помех негармонического характера. Возможности 3D интерпрольции. Псевдогравитационное преобразование поля.

### **3. Решение обратной задачи монтажным методом.**

Выбор параметров решения задачи. Построение графиков показателей итерационного процесса. Оценка влияния помех в исходных данных.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Долгаль А. С., Костицын В. И. Гравиразведка: способы учета влияния рельефа местности: учебное пособие для студентов специальности "Геофизика", бакалавров и магистров направления "Геология"/А. С. Долгаль, В. И. Костицын.-Пермь, 2010, ISBN 978-5-7944-1483-7.-88.-Библиогр.: с. 82-85
2. Бычков С. Г. Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии: монография/С. Г. Бычков ; [отв. ред. В. И. Костицын].-Екатеринбург: УрО РАН, 2010, ISBN 978-5-7691-2127-2.-1862.-Библиогр.: с. 159-185
3. Долгаль А. С. Комплексирование геофизических методов: учебное пособие для студентов специальности "Геофизика" и направлению подготовки "Геология"/А. С. Долгаль.-Пермь, 2012, ISBN 978-5-7944-2025-8.-167.-Библиогр.: с. 161-164

### Дополнительная:

1. Серкерев С. А. Гравиразведка и магниторазведка. Основные понятия. Термины. Определения: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых" направления подготовки дипломированных специалистов "Технология геологической разведки"/С. А. Серкерев.-Москва: Недра, 2006, ISBN 5-8365-0179-3.-479.
2. Долгаль А. С. Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемок в горной местности/М-во природных ресурсов РФ, Комитет по геологии и использованию недр Таймыр. автоном. округа.-Абакан: Март, 2002, ISBN 5-86797-041-8.-188.-Библиогр.: с. 180-185
3. Хмелевской В. К., Костицын В. И. Основы геофизических методов: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 020302 "Геофизика"/В. К. Хмелевской, В. И. Костицын.-Пермь, 2010, ISBN 978-5-7944-1428-8.-400.-Библиогр.: с. 397-399



## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://elibrary.ru/> Научная электронная библиотека eLIBRARY

<https://elis.psu.ru/> Цифровая библиотека ПГНИУ

<https://psu.bibliotech.ru/Account/LogOn/> Цифровая библиотека «Библиотех»

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Гравиметрия и магнитометрия** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем: Образовательный процесс по данной дисциплине предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Офисный пакет приложений;
2. Приложение, позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов;
3. Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель);
4. Офисный пакет приложений «LibreOffice».
5. Программа для картопостроения "Surfer".

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для проведения лекционных занятий необходима учебная аудитория, оснащенная специализированной мебелью, демонстрационным оборудованием (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения лабораторных занятий необходима учебная геофизическая лаборатория. Состав оборудования представлен в паспорте учебной геофизической лаборатории.

Для проведения мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации необходима учебная аудитория, оснащенная специализированной мебелью, демонстрационным оборудованием (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской, учебная геофизическая лаборатория. Состав оборудования представлен в паспорте учебной

геофизической лаборатории.

Для самостоятельной работы используются помещения библиотеки: персональные компьютеры с доступом к локальной сети университета и доступом к интернету.

Для проведения групповых и индивидуальных консультаций необходима учебная аудитория, оснащенная специализированной мебелью, меловой (и) или маркерной доской.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Гравиметрия и магнитометрия**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ОПК.1**

**Способен разрабатывать и/или адаптировать/совершенствовать новые идеи, знания, представления на языке предметной области и проводить оценку их востребованности на рынке труда**

<b>Индикатор</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p><b>ОПК.1.2</b> Определяет основные этапы преобразования научного знания в инновацию; обосновано выбирает методы и средства организации и проведения исследования с целью разработки инновационного продукта</p>	<p>Знать основы теории потенциала, элементы теории множеств и линейной алгебры, основные разделы вычислительной математики, связанные с аппроксимацией, линейной фильтрацией, решением систем линейных алгебраических уравнений. Уметь самостоятельно приобретать, осмысливать, структурировать и использовать в профессиональной деятельности новые теоретические знания и умения, развивать свои инновационные способности Владеть практическим навыками обработки и интерпретации данных полевых гравиметрических наблюдений с целью получения новой геологической информации.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> Отсутствие знаний, умений и навыков, необходимых для формирования компетенции.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> Общие, но не структурированные знания основ теории потенциала, элементов теории множеств и линейной алгебры, основных разделов вычислительной математики, связанных с аппроксимацией, линейной фильтрацией, решением систем линейных алгебраических уравнений. Частично сформированное умение самостоятельно приобретать, осмысливать, структурировать и использовать в профессиональной деятельности новые теоретические знания и умения, развивать свои инновационные способности. Фрагментарное применение навыков обработки и интерпретации данных полевых гравиметрических наблюдений с целью получения новой геологической информации.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b> Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основ теории потенциала, элементов теории множеств и линейной алгебры, основных разделов вычислительной математики, связанных с аппроксимацией, линейной фильтрацией, решением систем линейных алгебраических уравнений. Умение самостоятельно приобретать, осмысливать, структурировать и использовать в профессиональной деятельности новые теоретические знания и умения, развивать свои инновационные</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>способности. Владение практическим навыками обработки и интерпретации данных полевых гравиметрических наблюдений с целью получения новой геологической информации.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания основ теории потенциала, элементов теории множеств и линейной алгебры, основных разделов вычислительной математики, связанных с аппроксимацией, линейной фильтрацией, решением систем линейных алгебраических уравнений. Сформированное умение осуществлять мыслительную деятельность, выделять главное и определять второстепенное, собирать и систематизировать информацию из многочисленных источников. Уверенное владение практическим навыками обработки и интерпретации данных полевых гравиметрических наблюдений с целью получения новой геологической информации.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен**

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов : 100**

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	1. Краткая характеристика современного состояния гравиметрии и магнитометрии. <b>Входное тестирование</b>	Проверка знаний по смежным дисциплинам: физика, математика, теория поля, гравиразведка, магниторазведка.
<b>ОПК.1.2</b> Определяет основные этапы преобразования научного знания в инновацию; обосновано выбирает методы и средства организации и проведения исследования с целью разработки инновационного продукта	2. Основные положения теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знать определение множеств и операции с ними. Векторы (геометрические и многомерные). Евклидово пространство. Понятия нормы и метрики. Некорректно поставленные задачи. Вопрос единственности решения обратной задачи. Уметь применять полученные теоретические знания при качественной и количественной интерпретации. Владеть символьной записью математических и логических операций и умением применения полученных знаний при гравиметрических и магнитометрических исследованиях.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ОПК.1.2</b> Определяет основные этапы преобразования научного знания в инновацию; обосновано выбирает методы и средства организации и проведения исследования с целью разработки инновационного продукта</p>	<p>6. Синтез вероятностно - статистического и детерминистского подходов при решении обратных задач геофизики. <b>Письменное контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знать условия корректности обратной задачи по А.Н. Тихонову, принцип построения регуляризующего алгоритма, выбор стабилизирующей функции. Теоретические основы метода автоматизированного подбора. Знать условия применения и основные особенности аэрогеофизических методов. Уметь: применять методы решения обратных задач и проводить оценку достоверности количественной интерпретации. Владеть навыками применения современных компьютерных технологий для решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки.</p>
<p><b>ОПК.1.2</b> Определяет основные этапы преобразования научного знания в инновацию; обосновано выбирает методы и средства организации и проведения исследования с целью разработки инновационного продукта</p>	<p>3. Решение обратной задачи монтажным методом. <b>Итоговое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знать алгоритм аналитической аппроксимации геопотенциальных полей, принцип трансформации геофизических полей, измеренных на расчлененном рельефе. Уметь осуществлять выбор параметров решения обратных задач и проводить оценку достоверности результатов количественной интерпретации. Владеть современными компьютерными технологиями анализа материалов высокоточной гравиметрической и магнитометрической съемки.</p>

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### 1. Краткая характеристика современного состояния гравиметрии и магнитометрии.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Знание основ физики.	3
Знание основ магниторазведки.	2
Знание основ гравиразведки.	2

Знание основ математики.	2
Знание основ теория поля	1

## 2. Основные положения теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Знание основ теории решения некорректных задач.	10
Умение раскрыть понятие эквивалентности, неоднозначности и неустойчивости решения обратной задачи гравиразведки и магниторазведки.	10
Знание определений и основных символов.	5
Знание основных принципов качественной и количественной интерпретации.	5

## 6. Синтез вероятно - статистического и детерминистского подходов при решении обратных задач геофизики.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Знание теоретических основ метода автоматизированного подбора.	15
Знать условия корректности обратной задачи по А.Н. Тихонову.	5
Умение использовать монтажный метод для решения обратной задачи.	5
Владение навыками применения современных интерпретационных компьютерных технологий.	5

## 3. Решение обратной задачи монтажным методом.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Имеет представление об алгоритмах трансформации геопотенциальных полей, измеренного в условиях расчлененного рельефа земной поверхности.	13
Умение выполнять решение обратной задачи монтажным методом.	10
Знание теоретических основ аналитической аппроксимации геопотенциальных полей.	10
Владение современными компьютерными технологиями для трансформации и моделирования источников по материалам геофизической съемки.	7