



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
(МИИГАиК)

Геодезический факультет
Кафедра высшей геодезии



**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 5387FD2AF5B17FED816FDE9A1D4973B1
Владелец: Степанченко Алексей Леонидович
Действителен: с 21.07.2025 по 14.10.2026

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор
А. Л. Степанченко
15 мая 2026 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)
ДИСЦИПЛИНЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ
«Б1.В.04.01 ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ГРАВИМЕТРИЯ»**

Уровень высшего образования: бакалавриат

Направление подготовки: 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование

Направленность(профиль) подготовки: Геодезия

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Год набора (приема на обучение): 2026

Срок получения образования: 4 года

Объем:
в зачетных единицах: 6 з.е.
в академических часах: 216 ак.ч.

Москва, 2026

Разработчики:

Преподаватель кафедры высшей геодезии Юзефович П. А.

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) составлен в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование, утвержденного приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 972

Согласование и утверждение

№	Подразделение	Ответственное лицо	ФИО	Виза	Дата, протокол (при наличии)
1	Геодезический факультет	Председатель ученого совета факультета	Половнев О. В.	Рассмотрено	28.01.2026, № 14

1. Планируемые результаты обучения, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

ПК-12 Способен выполнять координатно-временное и навигационное обеспечение территории

ПК-12.1 Выполняет геодезическое обеспечение ГЛОНАСС и дифференциальных подсистем

Знать:

ПК-12.1/Зн1 Структуру, содержание и источники данных глобальных и локальных моделей гравитационного поля, области применимости таких моделей для решения практических задач

ПК-12.1/Зн4 Структуру Государственной геодезической сети (ГГС), нивелирной сети и гравиметрической основы РФ, требования к их обновлению и развитию

Уметь:

ПК-12.1/Ум1 Использовать программы и алгоритмы вычисления элементов гравитационного поля, правильно представлять результаты вычислений

Владеть:

ПК-12.1/Нв1 Математическим аппаратом представления исходных данных и вычисления специальных функций, способами использования результатов в инженерно-геодезических работах

ПК-12.2 Определяет прецизионные гравитационные составляющие

Знать:

ПК-12.2/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, и способы их определения

Уметь:

ПК-12.2/Ум1 Измерять и вычислять элементы гравитационного поля, интерпретировать результаты сравнения вычисленных и измеренных значений

Владеть:

ПК-12.2/Нв1 Математическим аппаратом вычисления специальных функций, способами использования результатов в инженерно-геодезических работах

ПК-12.3 Разрабатывает технологии координатно-временного и навигационного обеспечения территорий

Знать:

ПК-12.3/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, способы определения и уточнения элементов гравитационного поля, а также их изменений во времени

Уметь:

ПК-12.3/Ум1 Визуализировать и интерпретировать элементы гравитационного поля, сравнивать с данными из внешних источников

Владеть:

ПК-12.3/Нв1 Принятой терминологией в области изучения характеристик физических полей, способами представления информации о них

2. Показатели и критерии оценивания компетенций

Планируемые результаты освоения программы	Уровень овладения	Критерии оценивания (перечень сформированных ИДК/ЗУВ по уровням освоения)
---	-------------------	---

ПК-12 Способен выполнять координатно-временное и навигационное обеспечение территории	Повышенный	ИДК ПК-12.1 Выполняет геодезическое обеспечение ГЛОНАСС и дифференциальных подсистем Знать: ПК-12.1/Зн1 Структуру, содержание и источники данных глобальных и локальных моделей гравитационного поля, области применимости таких моделей для решения практических задач ПК-12.1/Зн4 Структуру Государственной геодезической сети (ГГС), нивелирной сети и гравиметрической основы РФ, требования к их обновлению и развитию Уметь: ПК-12.1/Ум1 Использовать программы и алгоритмы вычисления элементов гравитационного поля, правильно представлять результаты вычислений Владеть: ПК-12.1/Нв1 Математическим аппаратом представления исходных данных и вычисления специальных функций, способами использования результатов в инженерно-геодезических работах ИДК ПК-12.2 Определяет прецизионные гравитационные составляющие Знать: ПК-12.2/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, и способы их определения Уметь: ПК-12.2/Ум1 Измерять и вычислять элементы гравитационного поля, интерпретировать результаты сравнения вычисленных и измеренных значений Владеть: ПК-12.2/Нв1 Математическим аппаратом вычисления специальных функций, способами использования результатов в инженерно-геодезических работах ИДК ПК-12.3 Разрабатывает технологии координатно-временного и навигационного обеспечения территорий Знать: ПК-12.3/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, способы определения и уточнения элементов гравитационного поля, а также их изменений во времени Уметь: ПК-12.3/Ум1 Визуализировать и интерпретировать элементы гравитационного поля, сравнивать с данными из внешних источников
--	-------------------	---

	Владеть: ПК-12.3/Нв1 Принятой терминологией в области изучения характеристик физических полей, способами представления информации о них
Базовый	ИДК ПК-12.1 Выполняет геодезическое обеспечение ГЛОНАСС и дифференциальных подсистем Знать: ПК-12.1/Зн4 Структуру Государственной геодезической сети (ГГС), нивелирной сети и гравиметрической основы РФ, требования к их обновлению и развитию ПК-12.1/Зн1 Структуру, содержание и источники данных глобальных и локальных моделей гравитационного поля, области применимости таких моделей для решения практических задач Уметь: ПК-12.1/Ум1 Использовать программы и алгоритмы вычисления элементов гравитационного поля, правильно представлять результаты вычислений ИДК ПК-12.2 Определяет прецизионные гравитационные составляющие Знать: ПК-12.2/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, и способы их определения Уметь: ПК-12.2/Ум1 Измерять и вычислять элементы гравитационного поля, интерпретировать результаты сравнения вычисленных и измеренных значений ИДК ПК-12.3 Разрабатывает технологии координатно-временного и навигационного обеспечения территорий Знать: ПК-12.3/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, способы определения и уточнения элементов гравитационного поля, а также их изменений во времени Уметь: ПК-12.3/Ум1 Визуализировать и интерпретировать элементы гравитационного поля, сравнивать с данными из внешних источников

	Пороговый ИДК ПК-12.1 Выполняет геодезическое обеспечение ГЛОНАСС и дифференциальных подсистем Знать: ПК-12.1/Зн1 Структуру, содержание и источники данных глобальных и локальных моделей гравитационного поля, области применимости таких моделей для решения практических задач ПК-12.1/Зн4 Структуру Государственной геодезической сети (ГГС), нивелирной сети и гравиметрической основы РФ, требования к их обновлению и развитию ИДК ПК-12.2 Определяет прецизионные гравитационные составляющие Знать: ПК-12.2/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, и способы их определения ИДК ПК-12.3 Разрабатывает технологии координатно-временного и навигационного обеспечения территорий Знать: ПК-12.3/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, способы определения и уточнения элементов гравитационного поля, а также их изменений во времени
--	---

3. Шкала оценивания

Оценка	Критерии оценивания (перечень сформированных ИДК/ЗУВ)
Отлично	ПК-12.1 Выполняет геодезическое обеспечение ГЛОНАСС и дифференциальных подсистем ПК-12.1/Зн1 Структуру, содержание и источники данных глобальных и локальных моделей гравитационного поля, области применимости таких моделей для решения практических задач ПК-12.1/Зн4 Структуру Государственной геодезической сети (ГГС), нивелирной сети и гравиметрической основы РФ, требования к их обновлению и развитию ПК-12.1/Ум1 Использовать программы и алгоритмы вычисления элементов гравитационного поля, правильно представлять результаты вычислений ПК-12.1/Нв1 Математическим аппаратом представления исходных данных и вычисления специальных функций, способами использования результатов в инженерно-геодезических работах

	ПК-12.2 Определяет прецизионные гравитационные составляющие ПК-12.2/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, и способы их определения ПК-12.2/Ум1 Измерять и вычислять элементы гравитационного поля, интерпретировать результаты сравнения вычисленных и измеренных значений ПК-12.2/Нв1 Математическим аппаратом вычисления специальных функций, способами использования результатов в инженерно-геодезических работах ПК-12.3 Разрабатывает технологии координатно-временного и навигационного обеспечения территорий ПК-12.3/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, способы определения и уточнения элементов гравитационного поля, а также их изменений во времени ПК-12.3/Ум1 Визуализировать и интерпретировать элементы гравитационного поля, сравнивать с данными из внешних источников ПК-12.3/Нв1 Принятой терминологией в области изучения характеристик физических полей, способами представления информации о них
Хорошо	ПК-12.1 Выполняет геодезическое обеспечение ГЛОНАСС и дифференциальных подсистем ПК-12.1/Зн1 Структуру, содержание и источники данных глобальных и локальных моделей гравитационного поля, области применимости таких моделей для решения практических задач ПК-12.1/Зн4 Структуру Государственной геодезической сети (ГГС), нивелирной сети и гравиметрической основы РФ, требования к их обновлению и развитию ПК-12.1/Ум1 Использовать программы и алгоритмы вычисления элементов гравитационного поля, правильно представлять результаты вычислений ПК-12.2 Определяет прецизионные гравитационные составляющие ПК-12.2/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, и способы их определения ПК-12.2/Ум1 Измерять и вычислять элементы гравитационного поля, интерпретировать результаты сравнения вычисленных и измеренных значений ПК-12.3 Разрабатывает технологии координатно-временного и навигационного обеспечения территорий ПК-12.3/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, способы определения и уточнения элементов гравитационного поля, а также их изменений во времени ПК-12.3/Ум1 Визуализировать и интерпретировать элементы гравитационного поля, сравнивать с данными из внешних источников
Удовлетворительно	ПК-12.1 Выполняет геодезическое обеспечение ГЛОНАСС и дифференциальных подсистем ПК-12.1/Зн1 Структуру, содержание и источники данных глобальных и локальных моделей гравитационного поля, области применимости таких моделей для решения практических задач ПК-12.1/Зн4 Структуру Государственной геодезической сети (ГГС), нивелирной сети и гравиметрической основы РФ, требования к их обновлению и развитию ПК-12.2 Определяет прецизионные гравитационные составляющие ПК-12.2/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, и способы их определения

	ПК-12.3 Разрабатывает технологии координатно-временного и навигационного обеспечения территорий ПК-12.3/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем, способы определения и уточнения элементов гравитационного поля, а также их изменений во времени
Неудовлетворительно	Результаты обучения не сформированы на достаточном уровне

4. Контрольные мероприятия по дисциплине

Вид контроля	Форма контроля/Оценочное средство
Текущий контроль	Наличие конспекта лекций Тестирование Практическая работа
Промежуточная аттестация	Расчетно-графическая работа Зачет с оценкой Экзамен

№ п/п	Наименование раздела	Контролируемые ИДК	Вид контроля/ используемые оценочные материалы	
			Текущий	Промежут. аттестация
1	Введение	ПК-12.1 ПК-12.2 ПК-12.3	Практическая работа Наличие конспекта лекций	Зачет с оценкой Экзамен
2	Основной	ПК-12.1 ПК-12.2 ПК-12.3	Наличие конспекта лекций Тестирование Практическая работа	Зачет с оценкой Экзамен

5. Порядок проведения промежуточной аттестации

Порядок проведения промежуточной аттестации регламентируется локальными нормативными актами Университета:

- Положением о формах, периодичности, порядке текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по основным образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.6 «Организация и проведение промежуточной аттестации».
- Положением о порядке осуществления образовательного процесса, проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.8 «Проведение промежуточной аттестации с применением ЭО и ДОТ».

Промежуточная аттестация: Зачет с оценкой, 6 семестр.

Промежуточная аттестация: Экзамен, 7 семестр.

6. Оценочные материалы текущего контроля

Раздел 1. Введение

Контролируемые ИДК: ПК-12.1 ПК-12.2 ПК-12.3

Тема 1.1. Сведения из сфероидической геодезии и геодезической астрономии

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Вопросы/Задания:

1. В чем заключается метод косвенной интерполяции аномалий в свободном воздухе?
1. По карте аномалий в свободном воздухе находят аномалию Буге
2. По карте аномалий Буге и высоте пункта находят аномалию в свободном воздухе
3. По карте аномалий Буге находят плотность земной коры и высоту пункта
2. Выберите верные утверждения:
 1. Сумма нивелирных превышений по замкнутому контуру не равна нулю в общем случае
 2. Сумма приращений нормальных высот по замкнутому контуру всегда равна нулю
 3. Сумма приращений геопотенциального числа по замкнутому контуру всегда равна нулю
 4. Сумма гравиметрических поправок по замкнутому контуру равна нулю
 5. Ни одно из утверждений не верно
3. Вычислить притяжение планеты Сатурн на полюсе (без учета колец). Найти, во сколько раз оно больше средней силы земного притяжения (980 Гал).

Ответ дать в виде целой части отношения

$(F_{\text{Сат}} / F_{\text{Зем}})$.

Радиус планеты Сатурн $R = 58232$ км

Средняя плотность Сатурна $\delta = 0.687$ г/см³

Тема 1.2. Сила тяжести, её величина и характер изменения

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Найти среднюю плотность Земли (в виде шара). Результат выразить в кг/м³ и в г/см³
2. Найти значение центробежной силы на экваторе для шарообразной Земли. Результат выразить в Галах.
3. Рассчитать притяжение Луны для подлунной точки (единичной массы) на поверхности шарообразной Земли. Результат выразить в миллигалах.
4. Парашютист прыгает с высоты 700 метров. На сколько увеличилась его сила тяжести в точке приземления? Результат выразить в миллигалах.

Раздел 2. Основной

Контролируемые ИДК: ПК-12.1 ПК-12.2 ПК-12.3

Тема 2.1. Потенциал и его свойства

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Вопросы/Задания:

1. Какой метод (абсолютный или относительный) позволяет определять полное значение силы тяжести?
- Ответ одним словом - прилагательным мужского рода
2. По известным значениям аномалии в свободном воздухе и аномалии Буге для гравиметрического пункта найти плотность δ промежуточного слоя земной коры (в г/куб. см), которая использовалась при вычислении аномалии Буге.
- Ответ записать в целых г/куб. см

Аномалия в свободном воздухе: $g - \gamma = 37.9$ мГал

Аномалия Буге: $\Delta g_B = -20.1$ мГал

Высота пункта $H = 601$ м

$$\Delta g_B = g - \gamma - 2\pi G\delta H$$

Указание: Притяжение слоя считать как:

$$2\pi G\delta H = 0.0419\delta H \text{ мГал}$$

Результат округлить до целых г/см³

3. По координатам гравиметрического пункта и измеренному значению силы тяжести вычислить значение аномалии в свободном воздухе $g-\gamma$.

Результат представить с точностью до целых мГал.

Для вычисления нормальной силы тяжести использовать параметры нормального поля ГСК-2011. Нормальный вертикальный градиент принять -0,3086 мГал/м.

1. 22

2. -28

3. 79

$$b = a(1 - \alpha)$$
$$\gamma_0 = \frac{\gamma_e a \cos^2 B + \gamma_p b \sin^2 B}{\sqrt{a^2 \cos^2 B + b^2 \sin^2 B}}$$
$$\gamma = \gamma_0 - 0,3086 H$$

Параметры системы ГСК-2011:

$$a = 6378136.5 \text{ м}$$

$$\alpha = 1/298.2564151$$

$$\gamma_e = 978032.696 \text{ мГал}$$

$$\gamma_p = 983218.646 \text{ мГал}$$

Координаты пункта и значение g :

$$B = 55^\circ 50' 30'', H = 164.25 \text{ м}, g = 981550.24 \text{ мГал}$$

Тема 2.2. Притяжение простых тел

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Рассчитать аномальное притяжение залежи известняка сферической формы. Результат выразить в миллигалах. Аномальная масса сферической формы залегает на глубине $a = 100 + N$ метров, где a – расстояние до центра сферы.

Радиус сферы $r = 0.9a$.

Плотность известняка $\delta = 2.8 \text{ г/см}^3$.

Плотность окружающих пород (песок) $\delta_0 = 2.0 \text{ г/см}^3$

2. Найти притяжение частей внутреннего строения Земли по отдельности для точки, находящейся на поверхности Земли

3. Построить график изменения силы тяжести от широты $g(\phi)$ в Галах.

4. На какую высоту над землёй надо подняться на широте МИИГАиК (55.6°), чтобы сила тяжести стала равной значению силы тяжести на экваторе? Использовать 2 формулу Клеро и значение вертикального градиента.

Тема 2.3. Гармонические функции

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Разложить данную функцию $f(x)$ на интервале $[-1, 1]$ в ряд полиномов Лежандра до 3 степени включительно.

Построить график на интервале $[-1.1, 1.1]$ исходной функции и ее аппроксимации $f^*(x)$. Графики расположить на одной координатной плоскости.

$$f^*(x) = a_0 + a_1 P_1 + a_2 P_2 + a_3 P_3$$

Тема 2.4. Измерение силы тяжести

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Оценить разность силы тяжести между МИИГАиК (на уровне земли) и верхней точкой башни Останкинского телецентра. Высота башни 540 м, она расположена в 6.1 км севернее МИИГАиК. Изменением высоты рельефа пренебречь. Результат выразить в миллигалах.

Примечание. Для горизонтального градиента использовать широту МИИГАиК из Задания 7.

2. Построить график силы притяжения для модели Земли PREM500 (см. ссылку), начиная от центра Земли и до высоты $H = 21000$ км над поверхностью Земли. Плотность атмосферы брать за 0. В этой модели Земля состоит из множества однородных сферических слоёв

Тема 2.5. Теория статического гравиметра. Измерения статическим гравиметром

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Вычислить силу земного притяжения на расстоянии $h = 2000$ км от поверхности Земли. Землю считать шаром радиусом $R = 6370$ км.

Результат представить в единицах Гал (до целых единиц).

1. 6

2. 56

3. 569

Геоцентрическая гравитационная постоянная
 $GM = 398600.44 \text{ км}^3/\text{с}^2$

2. Вычислить среднюю плотность планеты по её радиусу R и планетоцентрической гравитационной постоянной.

Результат представить в целых кг/куб. м.

$\bar{G} = 6.6743 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная

$GM_{\text{п}} = 3.986004 \cdot 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$

$R = 6.371 \cdot 10^6 \text{ м}$

$M_{\text{п}} = GM_{\text{п}}/G, \quad V = \frac{4}{3}\pi R^3$

$\delta = M_{\text{п}}/V$

Округлить до целых кг/м³.

Тема 2.6. Аномалии силы тяжести и гравиметрические карты

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Вычислить аномалии, оценку точности гравиметрической карты

Тема 2.7. Нормальное поле

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Вычислить для систем фундаментальных постоянных Нормальной Земли следующие параметры. Заполнить таблицу и проставить (где нужно) обозначение и единицы измерения.

Таблица 2

Обозначение	Единицы	
		малая полуось

		первый эксцентриситет
		линейный эксцентриситет
		нормальный потенциал на поверхности эллипсоида
q_0		постоянная
m		постоянная
		второй зональный динамический коэффициент
	$mГал$	нормальная сила тяжести на полюсе
	$mГал$	нормальная сила тяжести на полюсе
		гравиметрическое сжатие
		нормальная сила тяжести на широте МИИГАиК ($B = 55.764$)
	$mГал/м$	нормальный вертикальный градиент на широте МИИГАиК ($B = 55.764$)

Тема 2.8. Аномальный потенциал и элементы аномального поля

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Построить графики элементов аномального поля при движении вдоль оси X в диапазоне от -3а до +3а с шагом 1 м на уровне земли ($Z=0$).

Тема 2.9. Сферические и шаровые функции, модели гравитационного поля Земли

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Вычислить нормальную высоту пункта по его геопотенциальному числу C и широте методом итераций.

Результат представить в целых метрах.

1. 160
2. 622
3. 720

Вычислить нормальную высоту пункта по его геопотенциальному числу $C = W_0 - W$ и широте методом итераций.

$$H^Y = \frac{1}{\gamma_m} C$$

Результат представить в метрах с точностью до целых.

Нормальную силу тяжести вычислять по формуле

Гельмерта:

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B)$$

$$\gamma_m = \gamma_0 - 0.3086 \frac{H^Y}{2} = \gamma_0 - 0.1543 H^Y$$

Постоянные коэффициенты формулы Гельмерта:

$$\gamma_e = 978030 \text{ мГал}$$

$$\beta = 0.005302$$

$$\beta_1 = 0.000007$$

$$C = W_0 - W = 6095.306 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$\text{Широта пункта } B = 35^\circ 55'$$

Итерации	
0	$H^{Y(0)} = \frac{1}{\gamma_0} C$
1	$H^{Y(1)} = \frac{1}{\gamma_0 - 0.1543 H^{Y(0)}} C$

2	$H^{\gamma(2)} = \frac{1}{\gamma_0 - 0.1543 H^{\gamma(1)}} C$
3	...

2. Вычислить притяжение марсианского вулкана Олимпус Монс в точке на его вершине, считая его конусом высотой $H = 21.9$ км и диаметром подошвы $a = 600$ км. Ответ записать в галах с точностью до целых единиц.

плотность 2.9 г/см^3 (базальт)
 $G = 6.6743 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная

$$F = 2\pi G \delta H \left(1 - \frac{H}{\sqrt{H^2 + a^2}}\right)$$

3. Дано измеренное значение силы тяжести на пункте, его широта и высота. Вычислить аномалию Буге. Результат представить с точностью до целых мГал.

Плотность пород промежуточного слоя $\delta = 2.30 \text{ г/см}^3$

Использовать нормальную формулу Гельмерта

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B)$$

Коэффициенты нормальной формулы:

$$\gamma_e = 978030 \text{ мГал}$$

$$\beta = 0.005302$$

$$\beta_1 = 0.000007$$

Вертикальный градиент $\frac{d\gamma}{dH} = -0.3086 \text{ мГал/м}$

$$\gamma = \gamma_0 + \frac{d\gamma}{dH} H$$

$$\Delta g_B = g - \gamma - 2\pi G \delta H$$

Притяжение промежуточного слоя считать как:

$$2\pi G \delta H = 0.0419 \cdot \delta \cdot H \text{ мГал,}$$

где H – в метрах, δ – в г/см^3

g, мГал	Широта В	Высота Н, м
979673.95	35.781500	429

Тема 2.10. Высоты и системы высот

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Вычислить притяжение плоскопараллельного слоя топографических масс (пластины Буге) для пункта с высотой $H = 201$ м.

Результат представить в миллигалах с точностью до целых единиц.

1. 19

2. 10

3. 2

Средняя плотность пород $\delta = 2.30 \text{ г/см}^3$.

$G = 6.6743 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная

$$F_B = 2\pi G \delta H$$

2. Даны:

измеренное нивелирное превышение Δh вдоль секции АВ нивелирного хода II класса приближенные высоты пунктов А и В

значения аномалии силы тяжести на концах секции

значения нормальной силы тяжести на отсчетном эллипсоиде для точек А и В

Найти гравиметрические поправки за переход к Балтийской системе нормальных высот (поправки Еремеева) и их сумму f .

Ответ записать в целых миллиметрах.

1. 4
2. 77
3. -21

- измеренное нивелирное превышение Δh вдоль секции АВ нивелирного хода II класса
- приближенные высоты пунктов А и В
- значения аномалии силы тяжести на концах секции
- значения нормальной силы тяжести на отсчетном эллипсоиде γ_0 для точек А и В
- принять $\gamma_m = 980000$ мГал

	А	В
Высота Н, м	250	402
$g - \gamma$, мГал	42	50
γ_0 , мГал	980570.7	980579.7
Δh , м	152.140	

$$\gamma_m = 980000 \text{ мГал}$$

$$f = \frac{(g - \gamma)_{\text{ср}}}{\gamma_m} \Delta h - \frac{(\gamma_{0В} - \gamma_{0А})}{\gamma_m} H_{\text{ср}}$$

Тема 2.11. Нахождение аномального потенциала

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Для пунктов А и Б, расположенных на средней широте 55° найти приближенно приращение силы тяжести, если пункт Б находится на 7.5 км севернее и на 30 м выше, чем пункт А.

Ответ записать в целых миллигалах.

Для пунктов А и Б, расположенных на средней широте 55° найти приближенно приращение силы тяжести $\Delta g = g_B - g_A$, если пункт Б находится на 7.5 км севернее и на 30 м выше, чем пункт А. Притяжением топографических масс пренебречь.

Ответ записать в целых миллигалах.

Горизонтальный градиент $0.81 \sin 2B$ мГал/км

Вертикальный градиент -0.31 мГал/м

2. Дрейф в статическом гравиметре

1. присутствует всегда
2. появляется при изменении силы тяжести
3. появляется при изменении атмосферного давления или температуры
4. появляется при наклоне прибора
5. свидетельствует о неисправности прибора

Тема 2.12. Учет неоднородности гравитационного поля при решении инженерных задач

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Вычисление приливной поправки (твёрдый прилив) на заданном интервале для пункта: МИИГАиК, ауд 92.

7. Оценочные материалы промежуточной аттестации

Вопросы/Задания:

1. В чем заключается метод косвенной интерполяции аномалий в свободном воздухе?
 1. По карте аномалий в свободном воздухе находят аномалию Буге
 2. По карте аномалий Буге и высоте пункта находят аномалию в свободном воздухе
 3. По карте аномалий Буге находят плотность земной коры и высоту пункта
2. В чем различие между статическими и динамическими методами измерения силы тяжести?
 1. Статический метод может быть как абсолютным, так и относительным, а динамический – только относительным, при этом динамический относительный метод - самый точный
 2. Динамический метод может быть как абсолютным, так и относительным, но статический – только относительным, при этом он точнее, чем динамический
 3. Оба метода равноценны по возможностям, но статический метод многократно уступает по точности динамическому
3. Выберите верные утверждения:
 1. Сумма нивелирных превышений по замкнутому контуру не равна нулю в общем случае
 2. Сумма приращений нормальных высот по замкнутому контуру всегда равна нулю
 3. Сумма приращений геопотенциального числа по замкнутому контуру всегда равна нулю
 4. Сумма гравиметрических поправок по замкнутому контуру равна нулю
 5. Ни одно из утверждений не верно
4. Выберите верные утверждения:
 1. Уровенная поверхность это поверхность равного потенциала силы тяжести, и это есть поверхность любого спокойного водоёма
 2. Уровенная поверхность это поверхность морей и океанов, её можно увидеть только с берега или в открытом море
 3. Уровенная поверхность это воображаемая поверхность, перпендикулярная силовым линиям, поэтому её увидеть нельзя
 4. Уровенной поверхностью является поверхность жидкости в ванне, сосуде или емкости.
5. Вычислить нормальную высоту пункта по его геопотенциальному числу C и широте методом итераций.

Результат представить в целых метрах.

 1. 160
 2. 622
 3. 720

Вычислить нормальную высоту пункта по его геопотенциальному числу $C = W_0 - W$ и широте методом итераций.

$$H^y = \frac{1}{\gamma_m} C$$

Результат представить в метрах с точностью до целых.

Нормальную силу тяжести вычислять по формуле

Гельмерта:

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B)$$
$$\gamma_m = \gamma_0 - 0.3086 \frac{H^y}{2} = \gamma_0 - 0.1543 H^y$$

Постоянные коэффициенты формулы Гельмерта:

$$\gamma_e = 978030 \text{ мГал}$$

$$\beta = 0.005302$$

$$\beta_1 = 0.000007$$

$$C = W_0 - W = 6095.306 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$\text{широта пункта } B = 25^\circ 55'$$

Широта пункта В = 35° 55'

Итерации	
0	$H^{(0)} = \frac{1}{\gamma_0} C$
1	$H^{(1)} = \frac{1}{\gamma_0 - 0.1543 H^{(0)}} C$
2	$H^{(2)} = \frac{1}{\gamma_0 - 0.1543 H^{(1)}} C$
3	...

6. Вычислить притяжение марсианского вулкана Олимпус Монс в точке на его вершине, считая его конусом высотой $H = 21.9$ км и диаметром подошвы $a = 600$ км. Ответ записать в галах с точностью до целых единиц.

плотность 2.9 г/см^3 (базальт)
 $G = 6.6743 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная

$$F = 2\pi G \delta H \left(1 - \frac{H}{\sqrt{H^2 + a^2}}\right)$$

7. Вычислить притяжение планеты Сатурн на полюсе (без учета колец). Найти, во сколько раз оно больше средней силы земного притяжения (980 Гал).

Ответ дать в виде целой части отношения $(F_{\text{Сат}} / F_{\text{Зем}})$.
 Радиус планеты Сатурн $R = 58232$ км
 Средняя плотность Сатурна $\delta = 0.687 \text{ г/см}^3$

8. Вычислить притяжение плоскопараллельного слоя топографических масс (пластины Буге) для пункта с высотой $H = 201$ м. Результат представить в миллигалах с точностью до целых единиц.

1. 19
2. 10
3. 2

Средняя плотность пород $\delta = 2.30 \text{ г/см}^3$.
 $G = 6.6743 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная

$$F_B = 2\pi G \delta H$$

9. Вычислить силу земного притяжения на расстоянии $h = 2000$ км от поверхности Земли. Землю считать шаром радиусом $R = 6370$ км. Результат представить в единицах Гал (до целых единиц).

1. 6
2. 56
3. 569

Геоцентрическая гравитационная постоянная
 $GM = 398600.44 \text{ км}^3/\text{с}^2$

10. Вычислить среднюю плотность планеты по её радиусу R и планетоцентрической гравитационной постоянной. Результат представить в целых кг/куб. м.

$\bar{G} = 6.6743 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная
 $GM_p = 3.986004 \cdot 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$
 $R = 6.371 \cdot 10^6 \text{ м}$
 $M_p = GM_p / G, \quad V = \frac{4}{3} \pi R^3$
 $\delta = M_p / V$

$$\sigma = \rho_{\text{п}} / \nu$$

Округлить до целых кг/м³.

11. Геопотенциальное число это:

1. Высота пункта в нормальном поле
2. Разность потенциалов между квазигеоидом и отсчётным эллипсоидом
3. Разность потенциалов между началом счета высот и пунктом на поверхности Земли
4. Разность потенциалов между началом счета высот и геоидом
5. Разность потенциалов между началом счета высот и квазигеоидом
6. Разность потенциалов между отсчётным эллипсоидом и пунктом на поверхности Земли

12. Гравиметрические поправки (Еремеева) вводятся в

1. значения нормальных высот
2. спутниковые значения высот
3. аномалии силы тяжести
4. нивелирные превышения
5. геопотенциальное число
6. высоты точек в нормальном поле

13. Дано измеренное значение силы тяжести на пункте, его широта и высота. Вычислить аномалию Буге. Результат представить с точностью до целых мГал.

Плотность пород промежуточного слоя $\delta = 2.30 \text{ г/см}^3$

Использовать нормальную формулу Гельмерта

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B)$$

Коэффициенты нормальной формулы:

$$\gamma_e = 978030 \text{ мГал}$$

$$\beta = 0.005302$$

$$\beta_1 = 0.000007$$

$$\text{Вертикальный градиент } \frac{d\gamma}{dH} = -0.3086 \text{ мГал/м}$$

$$\gamma = \gamma_0 + \frac{d\gamma}{dH} H$$

$$\Delta g_B = g - \gamma - 2\pi G \delta H$$

Притяжение промежуточного слоя считать как:

$$2\pi G \delta H = 0.0419 \cdot \delta \cdot H \text{ мГал,}$$

где H – в метрах, δ – в г/см³

g, мГал	Широта B	Высота H, м
979673.95	35.781500	429

14. Даны:

измеренное нивелирное превышение Δh вдоль секции АВ нивелирного хода II класса
приближенные высоты пунктов А и В

значения аномалии силы тяжести на концах секции

значения нормальной силы тяжести на отсчётном эллипсоиде для точек А и В

Найти гравиметрические поправки за переход к Балтийской системе нормальных высот (поправки Еремеева) и их сумму f.

Ответ записать в целых миллиметрах.

1. 4
2. 77
3. -21

- измеренное нивелирное превышение Δh вдоль секции АВ нивелирного хода II класса
- приближенные высоты пунктов А и В
- значения аномалии силы тяжести на концах секции
- значения нормальной силы тяжести на отсчётном

эллипсоиде γ_0 для точек А и В

- принять $\gamma_m = 980000$ мГал

	А	В
Высота Н, м	250	402
$g - \gamma$, мГал	42	50
γ_0 , мГал	980570.7	980579.7
Δh , м	152.140	

$$\gamma_m = 980000 \text{ мГал}$$

$$f = \frac{(g - \gamma)_{\text{ср}}}{\gamma_m} \Delta h - \frac{(\gamma_{0B} - \gamma_{0A})}{\gamma_m} H_{\text{ср}}$$

15. Для пунктов А и Б, расположенных на средней широте 55° найти приближенно приращение силы тяжести, если пункт Б находится на 7.5 км севернее и на 30 м выше, чем пункт А.

Ответ записать в целых миллигалах.

Для пунктов А и Б, расположенных на средней широте 55° найти приближенно приращение силы тяжести $\Delta g = g_B - g_A$, если пункт Б находится на 7.5 км севернее и на 30 м выше, чем пункт А. Притяжением топографических масс пренебречь.

Ответ записать в целых миллигалах.

Горизонтальный градиент $0.81 \sin 2B$ мГал/км

Вертикальный градиент -0.31 мГал/м

16. Дрейф в статическом гравиметре

1. присутствует всегда
2. появляется при изменении силы тяжести
3. появляется при изменении атмосферного давления или температуры
4. появляется при наклоне прибора
5. свидетельствует о неисправности прибора

17. Какой метод (абсолютный или относительный) позволяет определять полное значение силы тяжести?

Ответ одним словом - прилагательным мужского рода

18. По известным значениям аномалии в свободном воздухе и аномалии Буге для гравиметрического пункта найти плотность δ промежуточного слоя земной коры (в г/куб. см), которая использовалась при вычислении аномалии Буге.

Ответ записать в целых г/куб. см

1. 2
2. 5
3. 12

Аномалия в свободном воздухе: $g - \gamma = 37.9$ мГал

Аномалия Буге: $\Delta g_B = -20.1$ мГал

Высота пункта Н = 601 м

$$\Delta g_B = g - \gamma - 2\pi G \delta H$$

Указание: Притяжение слоя считать как:

$$2\pi G \delta H = 0.0419 \delta H \text{ мГал}$$

Результат округлить до целых г/см³

19. По координатам гравиметрического пункта и измеренному значению силы тяжести вычислить значение аномалии в свободном воздухе $g-\gamma$.

Результат представить с точностью до целых мГал.

Для вычисления нормальной силы тяжести использовать параметры нормального поля ГСК-2011. Нормальный вертикальный градиент принять $-0,3086$ мГал/м.

1. 22
2. -28
3. 79

$$b = a(1 - \alpha)$$
$$\gamma_0 = \frac{\gamma_e a \cos^2 B + \gamma_p b \sin^2 B}{\sqrt{a^2 \cos^2 B + b^2 \sin^2 B}}$$
$$\gamma = \gamma_0 - 0,3086 H$$

Параметры системы ГСК-2011:

$$a = 6378136.5 \text{ м}$$

$$\alpha = 1/298.2564151$$

$$\gamma_e = 978032.696 \text{ мГал}$$

$$\gamma_p = 983218.646 \text{ мГал}$$

Координаты пункта и значение g :

$$B = 55^\circ 50' 30", H = 164.25 \text{ м}, g = 981550.24 \text{ мГал}$$

20. Сколько сферических гармоник (элементарных сферических функций) содержит сферическая функция степени $n = 3$?

21. Точность современных полевых статических гравиметров составляет

1. десятки мГал
2. единицы мГал
3. десятые мГал
4. единицы и десятки мкГал
5. десятые мкГал
6. сотые мкГал

22. Сколькими параметрами задаётся Земной эллипсоид вращения?

- А) Двумя: большая полуось и сжатие
- В) Тремя: большая полуось, малая полуось и сжатие
- С) Четырьмя: большая полуось, малая полуось, сжатие и эксцентриситет
- Д) Ни один вариант не верен

23. Какое число ближе всего описывает сжатие Земного эллипсоида?

- А) 1:50
- В) 1:300
- С) 1:5000
- Д) 1:15000

24. Как называется угол между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора?

- А) Геодезическая высота
- В) Нормальная высота
- С) Геодезическая широта
- Д) Ни один вариант не верен

25. Величина e^2 (квадрат первого эксцентриситета) больше, меньше или равна сжатию земного эллипсоида?

- А) Больше

- В) Меньше
- С) Равна

26. Что такое геодезическая высота?

- А) Расстояние по нормали между точкой и плоскостью экватора
- В) Расстояние по нормали между точкой и поверхностью эллипсоида
- С) Расстояние по нормали между точкой и поверхностью геоида
- Д) Расстояние по нормали между точкой и поверхностью земли

27. Где проходит плоскость первого вертикала?

- А) Параллельно плоскости меридиана
- В) Вдоль нормали к эллипсоиду, перпендикулярно плоскости меридиана
- С) Параллельно касательной плоскости к поверхности эллипсоида, перпендикулярно плоскости меридиана
- Д) Ни один вариант не верен

28. Где проходит ось X геоцентрической системы координат?

- А) Перпендикулярно плоскости нулевого меридиана
- В) Под углом 90 градусов к плоскости экватора
- С) Вдоль пересечения нулевого меридиана с плоскостью экватора
- Д) Вдоль оси вращения Земли

29. Какой город России расположен ближе всего к меридиану, содержащему ось Y?

- А) Казань
- В) Екатеринбург
- С) Новосибирск
- Д) Красноярск
- Е) Хабаровск

30. Что такое астрономическая широта?

- А) Угол между отвесной линией и начальным меридианом
- В) Угол между отвесной линией и нормалью к эллипсоиду
- С) Угол между отвесной линией и плоскостью экватора
- Д) Угол между отвесной линией и осью вращения Земли

31. Куда направлена сила тяжести?

- А) В центр масс Земли
- В) Перпендикулярно плоскости экватора
- С) Перпендикулярно касательной плоскости к поверхности эллипсоида
- Д) Вдоль отвесной линии

32. Что такое плоскость астрономического меридиана?

- А) Плоскость, параллельная оси вращения Земли и содержащая отвесную линию
- В) Плоскость, параллельная отвесной линии и содержащая ось вращения Земли
- С) Плоскость, содержащая нормаль к эллипсоиду и ось вращения Земли
- Д) Плоскость первого вертикала

33. Найдите силу тяжести $g = F$ на поверхности невращающегося Земного шара радиусом $R = 6371, 2 \text{ км}$, ответ выразите в м/с^2 . Выберите наиболее близкое число:

- А) 0.0098206
- В) 0.14460
- С) 9.82
- Д) 981.3

34. Найдите среднюю плотность Земли δ (кг/м^3) Выберите наиболее близкое число:

- А) 840
- В) 2400
- С) 5500
- Д) 11000

35. По угловой скорости вращения $\omega = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ [с}^{-1}\text{]}$ для сферической Земли радиусом $R = 6371,2 \text{ км}$ вычислите значение центробежной силы на экваторе (в Галах). Выберите наиболее близкое число:

- A) 0.003
- B) 3.4
- C) 55.8
- D) 128.3

36. Какую долю в процентах составляет изменение силы тяжести между полюсом и экватором от полной величины g ? Выберите наиболее близкое значение:

- A) 5%
- B) 7%
- C) 0.7%
- D) 15%

37. На какую высоту нужно подняться, чтобы видимое уменьшение силы тяжести было равно суммарному действию Луны и Солнца?

- A) 0.52 м
- B) 5.2 м
- C) 52 м
- D) 520 м

38. Производная потенциала по произвольному направлению равна

- A) Нулю
- B) Косинусу угла направления
- C) Вектору силы
- D) Проекции вектора силы на направление

7 семестр, Экзамен

Контролируемые ИДК: ПК-12.1 ПК-12.2 ПК-12.3

Вопросы/Задания:

1. Развитие представлений о фигуре Земли: шар, эллипсоид, геоид. Физическая поверхность Земли. Системы координат.

2. История градусных измерений

3. Сила тяжести и её потенциал. Распределение силы тяжести на Земле. Свойства потенциала силы тяжести и область его существования. Уровенная поверхность

4. Закон изменения силы тяжести на поверхности однородного земного шара. Вертикальный и горизонтальный градиенты силы тяжести

5. Горизонтальный и вертикальный градиенты силы тяжести. Вторые производные и их единицы измерения- этвеш.

6. Расстояние между уровенными поверхностями потенциала силы тяжести. Силовая линия, отвесная линия

7. Сила тяготения (притяжения) и её потенциал. Потенциал материальной точки, физический смысл потенциала. Свойства потенциала тяготения

8. Потенциал тяготения объемных масс и его свойства

9. Притяжение однородного диска и цилиндра. Притяжение бесконечного плоского и плоскопараллельного слоя. Однородное поле

10. Потенциал и сила притяжения однородной сферы и однородного шара внутри и снаружи. Свойство непрерывности потенциала и силы. Вторая производная потенциала однородного шара.

11. Абсолютные измерения силы тяжести баллистическим методом. Атомные гравиметры. Схема баллистического гравиметра. Источники ошибок и поправки метода

12. Схема чувствительной системы статического гравиметра. Астазирование. Преимущества и недостатки гравиметров. Устройство статического гравиметра. Источники ошибок

13. Эталонирование гравиметра на базисе и методом наклона. Юстировка уровней гравиметра.

14. Гравиметрический рейс и его обработка.

15. Вторые производные потенциала силы тяжести, их физический смысл и способы измерения. Кривизна силовой линии и кривизна уровенной поверхности, их связь со вторыми производными потенциала

16. Точность гравиметрических карт. Прямая и косвенная интерполяция аномалий в свободном воздухе.

17. Гармонические функции и их свойства. Свойства потенциала тяготения. Уравнения Лапласа и Пуассона.

18. Гармонические функции и их свойства. Свойства потенциала тяготения. Уравнения Лапласа и Пуассона.

19. Нормальное поле и фундаментальные геодезические постоянные. Связь геометрических и физических параметров.

20. Геометрия нормального поля. Кривизна силовой линии и уровенной поверхности нормального поля

21. Свойства аномального потенциала. Связь элементов аномального поля с аномальным потенциалом.

22. Связь аномалии силы тяжести, отклонения отвеса и аномалии высоты с аномальным потенциалом. Формула Брунса (полная).

23. Свойства аномального потенциала. Понятие краевой задачи и краевого условия. Виды краевых задач.

24. Полиномы Лежандра и их свойства. Ортогональность полиномов Лежандра. Квадрат нормы. Разложение произвольной функции по базисным полиномам P_n .

25. Ряд Лапласа. Сферические функции. Классификация сферических гармоник

26. Разложение потенциала тяготения в ряд по шаровым функциям. Стоксовы постоянные

27. Модели гравитационного поля Земли. Классификация. Степень, разрешение и источники данных.

28. Аномальный потенциал в Стоксовом (сферическом) приближении. Ряд Стокса. Формулы Стокса и Венинг-Мейниса

29. Системы высот. Ортометрическая высота. Нормальная высота. Теллуroid. Квазигеоид

30. Сумма превышений замкнутого нивелирного полигона. Гравиметрические поправки в нивелирные превышения. Разность нормальных высот на берегах водоёма

31. Гравиметрическая (полная и местная) и астрономо-геодезическая аномалия высоты. Спутниковое нивелирование

32. Гравиметрическое и астрономо-геодезическое уклонение отвеса и его составляющие

33. Модели гравитационного поля Земли. Степень и разрешение. Источники данных. Заголовок и содержание файла gfc