

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/  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Спутниковая геофизика**

**Satellite geophysics**

Авторы-составители: Лыгин И.В., Булычев А.А., Кувшинов А.В., Пушкарев П.Ю.

**Уровень высшего образования:**

***Магистратура***

**Направление подготовки:**

**05.04.01 Геология**

**Магистерская программа**

**Малоглубинная и глубинная геофизика**

Форма обучения:

***Очная***

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

Москва 2021

---

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 и магистратуры, реализуемые последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

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

Год приема на обучение: 2021

© 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** курса «Спутниковая геофизика» является – ознакомление студентов с современными методами спутниковой геофизики и технологиями организации космических геофизических наблюдений для задач геологоразведки.

**Задачи** - приобретение теоретических знаний о возможностях и ограничениях современных космических технологий в области сбора геофизических данных.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе «Спутниковая геофизика» излагаются задачи спутниковых геофизических исследований на Луне, Марсе и других космических телах, основы построения и аппаратурного наполнения спутников, основы спутникового дистанционного зондирования и картографирования Земли, Луны и Марса, реализация спутниковых геофизических исследований для регистрации элементов геофизических полей (гравитационное, магнитное, электромагнитное).

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП** – вариативная часть, профессиональный блок, является обязательной дисциплиной, курс – II, семестр – 3.

**2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:** базируется на знаниях по дисциплинам: «Геодезия с основами космоаэро съемки», «Радиоэлектроника», «Физика Земли», «Геодинамика», «Общая геология», «Геотектоника», «Гравиразведка», «Магниторазведка», «Электроразведка», «Сейсморазведка», «Геофизические исследования скважин», «Ядерная геофизика», «Геотермия и петротермальная геофизика», «Основы петрофизика», «Теоретические основы обработки геофизических сигналов», «Теория электромагнитных зондирований», «Прямая и обратная задачи гравиразведки и магниторазведки», «Методы обработки и интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки», «Геологическая интерпретация данных электроразведки», «Вычислительная техника в геофизических исследованиях».

**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
<b>ОПК-3.М</b> Способен самостоятельно формулировать цели исследований, устанавливать последовательность решения профессиональных задач (формируется частично).	<b>М.ОПК-3. И-1.</b> Определяет цель, задачи, обосновывает актуальность и разрабатывает логическую схему проекта в профессиональной области. <b>М.ОПК-3. И-2.</b> Формулирует методику решения исследовательских задач на основе классических подходов и инновационных идей геологических и смежных наук.	<b>Знать:</b> основные методы спутниковой геофизики, принципы проектирования геофизических спутников и особенности их работы. <b>Уметь:</b> выбрать и обосновать аппаратурные требования для создания новой спутниковой геофизической миссии.
<b>ОПК-6.М</b> Способен использовать современные вычислительные методы и компьютерные	<b>М.ОПК-6. И-1.</b> Выбирает способы обработки данных и программные средства для решения задач профессиональной деятельности с учетом основных требований	<b>Знать:</b> особенности современных методов, подходов и технологий анализа спутниковых геофизических данных. <b>Уметь:</b> активно использовать и модернизировать современные средства и технологии анализа

технологии для решения задач профессиональной деятельности.	информационной безопасности. <b>М.ОПК-6. И-2.</b> Использует ГИС-технологии для решения профессиональных задач. <b>М.ОПК-6. И-3.</b> Использует компьютерные, в т.ч. ГИС-технологии для представления результатов исследований.	спутниковых геофизических данных, обеспечивающие эффективное решение заявленных поставленных геологических задачи.
<b>СПК-1.М(1)</b> Способен создавать сложные геоэлектрические, плотностные и магнитные модели земной коры разной детальности и масштаба	<b>М.СПК-1. И-1</b> Знает основы построения моделей земной коры разной детальности и масштаба на основе данных электроразведки, гравиразведки и магниторазведки  <b>М.СПК-1. И-2</b> Использует теоретические знания для построения геоэлектрических, плотностных и магнитных моделей различных геологических объектов	<b>Знать:</b> современные методы обработки и интерпретации комплексной геологической, гравиметрической, магниторазведочной и электроразведочной информации, применяемые при решении сложных геологических задач. <b>Уметь:</b> творчески, с учетом особенностей геологического объекта и задач и стадии исследований, использовать современные методы обработки и интерпретации геофизических данных, выбрать оптимальную методику комплексного анализа геоданных и применить ее для решения конкретной геолого-геофизической задачи, строить наглядные и геологически значимые результативные объемные сферические решения.

**4. Объем дисциплины** составляет 2 з.е., в том числе **28** академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**21** час – занятия лекционного типа, **7** часов – занятия семинарского типа), **44** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – 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 семинарского типа	Всего	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка к контрольному опросу	Всего
<b>Тема 1.</b> Задачи геофизических исследований на Луне, Марсе и других космических телах.	<b>4</b>	2		<b>2</b>		2	<b>2</b>
<b>Тема 2.</b> Введение в космонавтику.	<b>5</b>	2		<b>2</b>		3	<b>3</b>
<b>Тема 3.</b> Основы построения и аппаратурного наполнения спутников.	<b>8</b>	1	3	<b>4</b>	4		<b>4</b>
<b>Тема 4.</b> Основы спутникового дистанционного зондирования и картографирования Земли, Луны и Марса.	<b>7</b>	4		<b>4</b>		3	<b>3</b>
<b>Тема 5.</b> Электроразведка планет и естественных спутников.	<b>6</b>	2		<b>2</b>		4	<b>4</b>
<b>Тема 6.</b> Магнитовариационные исследования планет и естественных спутников.	<b>11</b>	5		<b>5</b>		6	<b>6</b>

<b>Тема 7.</b> Космическая гравиметрия.	<b>11</b>	5		<b>5</b>		6	<b>6</b>
<b>Тема 8.</b> Анализ геофизических полей (электромагнитных, магнитного, гравитационного) для ряда моделей строения планет и естественных спутников.	<b>14</b>		4	<b>4</b>	10		<b>10</b>
<b>Всего</b>	<b>66</b>	21	7	<b>28</b>			<b>38</b>
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	<b>6</b>	<i>Устный зачет</i>			<b>6</b>		
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>28</b>			<b>44</b>		

## **Содержание лекций, семинаров**

### **Содержание лекций**

#### **Тема 1. Задачи геофизических исследований на Луне, Марсе и других космических телах.**

Сопоставление физических свойств горных пород (электромагнитные, магнитные, плотностные, упругие) Земли, Луны, Марса и других космических тел. Сопоставление их физических полей. Физические предпосылки для дистанционных и поверхностных геофизических исследований.

**Тема 2. Введение в космонавтику.** История спутниковых геофизических миссий. Современные геофизические миссии.

**Тема 3. Основы построения и аппаратного наполнения спутников.** Типы спутников. Методология построения спутников. Вывод спутника на орбиту. Особенности работы КА на орбите. Источники энергии для обеспечения работы навесного оборудования. Управление спутником с Земли, возможности дистанционной корректировки настроечных параметров аппаратуры, установленной на борту КА. Требования, предъявляемые к геофизической аппаратуре, устанавливаемой на космической аппарат.

**Тема 4. Основы спутникового дистанционного зондирования и картографирования Земли, Луны и Марса.**

Спутниковая миссия Insar и другие. Геофизический мониторинг стихийных бедствий, например, землетрясений, вулканов и оползней в ходе регистрации деформаций с помощью интерферометрического радара с синтезированной апертурой. Спутниковая спектрометрия Земли и Луны. Регистрация дегазации Земли.

**Тема 5. Электроразведка планет и естественных спутников.**

Электрические свойства горных пород Земли, Луны и Марса. Особенности их естественных и искусственно создаваемых электромагнитных полей. Возможности и специфика применения различных методов электроразведки. Подходы к интерпретации данных и некоторые результаты.

**Тема 6. Магнитовариационные исследования планет и естественных спутников.**

Принципы и цели спутниковых магнитометрических миссий. Обзор спутниковых магнитометрических систем (спутниковые магнитометры). Теория магнитовариационного (МВ) зондирования недр Земли, Луны и планет. Результаты наземных и спутниковых МВ зондирований.

**Тема 7. Космическая гравиметрия.**

Принципы и цели спутниковых гравиметрических и альтиметрических исследований. Обзор спутниковых гравиметрических измерительных систем. Гравитационные поля космических тел ближнего и дальнего космоса (как и зачем их измеряют и что они дают нового в знания о внутреннем их строении). Перспективные технологии регистрации параметров гравитационного поля. Вариации гравитационного поля Земли по данным спутниковых наблюдений.

### **План проведения семинаров.**

**Тема 1. Проектирование геофизического спутника – 3 часа.**

Обсуждение особенностей вывода спутника на орбиту; особенности проектирования и предъявляемых требований к бортовому оборудованию космического аппарата. Анализ возможностей энергетических установок для обеспечения работы бортового геофизического оборудования. Примеры управления спутником с Земли, возможности дистанционной корректировки настроечных параметров аппаратуры, установленной на борту КА. Обсуждение технических характеристик геофизической аппаратуры, предназначенной для работы в открытом космосе.

**Тема 2. Анализ геофизических полей (электромагнитных, магнитного, гравитационного) для ряда моделей строения планет и естественных спутников – 4 часа.**

Анализ доступности и информативности моделей геофизических полей, полученных отечественными и зарубежными спутниковыми миссиями. Обсуждение характеристик существующих моделей геофизических полей планет и естественных спутников (детальность, точность, высота наблюдений и т.п.) для целей изучения их внутреннего строения. Геофизические и геологические выводы о внутреннем строении космических тел по данным геофизических миссий. Анализ пространственно-временной неоднородности геофизических полей по данным долговременных спутниковых геофизических миссий. Анализ перспектив развития геофизических спутниковых технологий.

**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 контрольном тестировании и докладах (с презентацией).

*Примерный перечень типовых вопросов для проведения текущего контроля (контрольное тестирование):*

1. Задачи геофизических исследований на Луне, Марсе и других космических телах
2. Связь параметров моделей геофизических полей с глубиной их источников.
3. Классификация спутниковых геофизических миссий.
4. Особенности геофизических миссий по изучению гравитационного поля Земли, Луны, Марса и других космических тел.
5. Особенности геофизических миссий по изучению магнитного поля Земли, Луны, Марса и других космических тел.
6. Особенности геофизических миссий по изучению электромагнитных характеристик Земли, Луны, Марса и других космических тел.
7. Особенности выполнения и результаты спутниковой спектрометрии Земли и Луны.
8. Форматы представления и хранения материалов спутниковых геофизических миссий.
9. Особенности естественных и искусственно создаваемых электромагнитных полей Земли, Луны и Марса.
10. Магнитовариационное зондирование недр Земли, Луны с использованием спутниковых технологий.
11. Способы представления и методы анализа гравитационного и магнитного полей на сферических поверхностях.
12. Спутниковая миссия GRACE: история, цели, решаемые задачи.
13. Классификация изменений гравитационного поля Земли по масштабу.
14. Глобальные изменения поля гравитационного поля.
15. Примеры решаемых с помощью долговременных гравиметрических спутниковых миссий задач по изучению перераспределений плотности в Земле регионального масштаба.
16. Прямая задача гравиразведки на сфере.
17. Особенности решения обратной задачи для сферических моделей.



***Примерный перечень тем докладов:***

1. Геофизические спутниковые миссии.
2. Базы данных цифровых матриц рельефа на основе спутникового лазерного сканирования.
3. Особенности аппаратуры для электроразведки на Марсе
4. Георадиолокационные исследования комических тел.
5. Проект Swarm: задачи, реализация, результаты.
6. Электропроводность мантии Земли по магнитовариационным данным.
7. Результаты спутниковой альтиметрии.
8. Модели гравитационного поля космических объектов.
9. Оптимальные орбиты геофизических спутников
10. Технические требования к бортовому геофизическому оборудованию космического аппарата.
11. Источники энергии на космических аппаратах.
12. Средства связи и корректировки работы управляющих программ геофизических приборов на космическом аппарате.
13. Модели геофизических полей по данным спутниковых миссий.
14. Внутреннее строение планет и естественных спутников по данным геофизических наблюдений.
15. Регистрация вариаций геофизических полей во времени с помощью спутниковых миссий
16. Геологические результаты долговременных геофизических спутниковых миссий.
17. Перспективные геофизические спутниковые миссии.

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

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

1. Источники аномалий магнитного поля Земли, Луны и Марса и других космических телах.
2. Источники аномалий гравитационного поля Земли, Луны и Марса и других космических телах.
3. Аномальные магнитные поля Луны Марса и других космических телах и их источники.
4. Аномальные гравитационные поля Луны Марса и других космических телах и их источники.
5. Электрические свойства горных пород Земли, Луны и Марса.
6. Аппаратурная компоновка геофизических спутников.
7. Методы геофизического мониторинга геодинамических процессов разной интенсивности.
8. Особенности естественных и искусственно создаваемых электромагнитных полей Земли, Луны и Марса.
9. Возможности и специфика применения различных методов электроразведки на Земле, Луне и Марсе.
10. Подходы к интерпретации данных электроразведки Земли, Луны и Марса.
11. Методы изучения электропроводности мантии Земли. Возбудители естественного магнитного поля.
12. Геомагнитные обсерватории и геомагнитные спутники.
13. Магнитное поле и его потенциал над сферической Землей. Q-отклики и C-отклики над сферической Землей.
14. Зондирование с использованием Sq-вариаций. Использование океанических приливов для зондирования.

15. Результаты исследования мантийной электропроводности. Совместная инверсия данных глубинных электромагнитных зондирований.
16. Методика спутниковых гравиметрических измерений для регистрации стационарной и переменной составляющих гравитационного поля.
17. Методика гравиметрической альтиметрии.

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

Оценка результатов обучения	Незачет	Зачет
<b>Знания</b> - методов и подходов получения геофизической информации с использованием спутниковых технологий (устный опрос)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
<b>Умения</b> - определить минимальный набор требований к геофизической аппаратуре для решения поставленных геологических задач. (устный опрос)	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 непринципиального характера)
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> - собрать, систематизировать и проанализировать материалы спутниковых геофизических миссий. (устный опрос)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

#### 8. Ресурсное обеспечение:

##### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

##### Основная литература:

1. Фундаментальные космические исследования. В 2 кн. Кн. 2. Солнечная система. / Под научн. ред. докт. техн. наук, проф. Г.Г. Райкунова – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2014. 456 с.
2. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М. Наука. 1983.
3. Шануров Г.А. Спутниковая геодезия. Учебное пособие. М.: МИИГАИК. 2015. 80 с.
4. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие. – 3-е изд., доп. – М.: ВНИИгеосистем, 2013. 118 с.
5. Булычев А.А., Лыгин И.В., Мелихов В.Р. Численные методы решения прямых задач грави- и магниторазведки (конспект лекций). М.: отдел оперативной печати геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010. 164 с. (URL: [http://geophys01.geol.msu.ru/STUDY/facultet/forward08\\_03\\_2011.pdf](http://geophys01.geol.msu.ru/STUDY/facultet/forward08_03_2011.pdf)).
6. Булычев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б. и др. Конспект лекций по курсу Гравиразведка: Учеб. пособие. М.: КДУ, "Университетская книга", 2017. 124 с.
7. Гребенникова И.В. Г79 Методы оптимизации: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2017.— 148 с

**- дополнительная литература:**

1. Бочкарев Н.Г. Магнитные поля в космосе. М: Наука, 1985, 208 с.
2. Kuvshinov A., Grayver A., Toffner-Clausen L., Olsen N. Probing 3-D electrical conductivity of the mantle using 6 years of Swarm, CryoSat-2 and observatory magnetic data and exploiting matrix Q-responses approach. Earth, Planets and Space, 2021, 73.
3. Mittelholz A., Grayver A., Khan A., Kuvshinov A. The global conductivity structure of the Lunar upper and mid mantle. Journal of Geophysical Research: Planets, 2021, 126.
4. Глобальная навигационная система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Редакция 5.0. Координационный научно-информационный центр. 2002. 57 с.
5. Голубев А.Н. Глобальные спутниковые навигационно - геодезические системы. Основные принципы устройства и работы. Москва. МИИГАиК. 2001. 66 с.
6. Поваляев А.А. Спутниковые радиосистемы управления движением в околоземном пространстве. Москва. Издательство МАИ. 1994. 40 с.
7. Ларин Р.М., Плясунов А.В., Пяткин А.В. Методы оптимизации. Примеры и задачи: Учеб. пособие / Новосиб. ун-т. Новосибирск, 2003, 115 с.
8. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учеб. пособие для вузов – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1989 – 432 с.
9. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли: Учебник. Под ред. академика РАН В.А. Садовниченко – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 560 с.
10. Булычев А.А., Джамалов Р.Г., Сидоров Р.В. Использование спутниковой системы GRACE для мониторинга изменений водных ресурсов // Недропользование XXI. 2011. № 2. С. 24–27.
11. Ткаченко Н.С., Лыгин И.В. Применение спутниковой миссии GRACE для решения геологических и географических задач // Вестник МГУ, 2017.
12. Лыгин И. В., Пышнюк У. С. Связь вариаций гравитационного поля с тектоническими особенностями в Африкано-Аравийско-Каспийском регионе // Геофизика. 2021. № 6. С. 47–60.
13. Лутц М. Изучаем Python, 4-е изд. – пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 1280 с.

**В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

- реферативная база данных издательства Elsevier: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Базы, реестры, справочники (свободный доступ, подписки)

**Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)**

1. Поисковая система научной информации [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
2. Электронная база научных публикаций [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)
3. Метод спутниковой альтиметрии  
<http://www.wdcb.ru/ALTIM/Russian/Presentation/Slid003.htm>
4. National Aeronautic and Space Administration website. For Students  
<http://www.nasa.gov/audience/forstudents/> / <http://www.nasaimages.org>
5. David P. Stern “Teaching about the Earth’s Magnetism in Earth Sciences Class. 2000  
<http://www-sprof.gsfc.nasa.gov/Education/NSTA1C.htm>
6. Обновляемый курс лекций и комплект учебных геологических карт на сайте  
<http://wiki.web.ru/wiki/>.
7. Каталог данных лаборатории Лоуренса <https://ds.iris.edu/ds/products/emc-1lnl-g3dv3/>.
8. Каталог данных Comcat: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.
9. Международный центр глобальных моделей Земли <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>.

10. Grace Plotter <http://thegraceplotter.com/>.

11. центра космических исследований Техасского университета (Остин, США):  
<http://www.csr.utexas.edu/grace>.

**Д) Материально-технического обеспечения:**

Учебный компьютерный класс, оснащенный мультимедийным проектором и учебной доской. Персональные компьютеры, оснащенные необходимыми стандартными и специальными прикладными программами.

**9. Язык преподавания** – русский.

**10. Преподаватели:** Ответственный за курс — Лыгин Иван Владимирович (доцент), преподаватели: Пушкарев П.Ю., Фадеев А.А., Марченко М.Н., Шустов Н.Л., Кувшинов А.В., Золотая Л.А.

**11. Разработчики программы:** Лыгин Иван Владимирович – доцент, Булычев Андрей Александрович – зав. кафедрой, Кувшинов Алексей Вадимович – адъюнкт-профессор, Пушкарев Павел Юрьевич – профессор.