

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан географического факультета,
академик РАН Добролюбов С.А.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

СПУТНИКОВАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Уровень высшего образования:
бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.04 «Гидрометеорология»

Направленность (профиль) ОПОП:
«Метеорология»

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией географического факультета
(протокол № 16, дата 12.10.2022)

Москва 2022

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

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова от 30 декабря 2020 года (протокол №1383).

Год (годы) приема на обучение: 2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП — о относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения;
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на знаниях по курсам: физическая метеорология, высшая математика, физика, радиационные процессы в атмосфере, синоптическая метеорология.
3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
<p>СПК-4. Способен использовать метеорологическую информацию в синоптическом анализе при разработке оперативных прогнозов погоды разной заблаговременности и разного целевого предназначения.</p>	<p>СПК-4.1 Использует метеорологическую информацию в синоптическом анализе при разработке оперативных прогнозов погоды разной заблаговременности и разного целевого предназначения.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • классические и современные работы в области спутниковой метеорологии. • методы и теоретические основы определения различных метеорологических характеристик по спутниковым измерениям. • основы спутникового зондирования атмосферы и подстилающей поверхности, принципы обработки и анализа спутниковых данных. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проводить критический анализ и синтез данных по спутниковой метеорологической информации; • оценивать различные параметры атмосферы и подстилающей поверхности на основе спутниковых измерений и качество их восстановления; • проводить сбор, обработку и анализ данных спутникового зондирования. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методологическими основами и подходами к решению различных задач спутниковой метеорологии на основе знания методов определения метеорологических характеристик дистанционными методами; • методами спутникового зондирования атмосферы и использования спутниковой информации для решения научных и прикладных задач;

		<ul style="list-style-type: none">• методами обработки и анализа спутниковых данных.
--	--	--

4. Объем дисциплины 4 з.е., в том числе, 72 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 72 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.).

6. Содержание дисциплины (модуля), 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 (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Всего	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка к коллоквиуму	Всего
Тема 1. Введение	2	2				2			
Тема 2. Основные астрономические понятия и их применение в спутниковой метеорологии.	14	6	4			10	4		4
Тема 3. Основы теории движения небесных тел и искусственных спутников Земли.	18	6	4			10	6	2	8
Тема 4. Спутники и метеорологическая спутниковая аппаратура	14	6	4			10		4	4
Текущая аттестация 1: коллоквиум	8		4			4	4		4
Тема 5. Физические основы дистанционного зондирования из космоса	18	6	4			10	4	4	8
Тема 6. Определение важнейших метеорологических характеристик с помощью спутникового дистанционного зондирования.	16	4	4			8	2	2	8
Текущая аттестация 2: коллоквиум	10		4			4			6
Тема 7. Характеристики облачности и особенности ее дешифрирования на спутниковых снимках.	14	4	4			8			6

Тема 8. Определение параметров атмосферы и подстилающей поверхности по спутниковым данным.	12	2	4			6		6
Промежуточная аттестация экзамен	18	<i>Экзамен устный</i>					18	
Итого	144	72					72	

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Введение. Роль метеорологических спутниковых систем в Программе Всемирной Службы Погоды и мониторинга окружающей среды. Российские и зарубежные программы спутниковых метеорологических наблюдений. Система получения и распространения данных спутниковых измерений. Усвоение спутниковых данных для улучшения качества прогноза погоды. Методы спутниковых наблюдений и типы аппаратуры. Современные задачи спутниковой метеорологии. Требования Всемирной метеорологической организации к спутниковым базам данных.

Тема 1. Основные астрономические понятия и их применение в спутниковой метеорологии. Основные характеристики небесной сферы. Горизонтальная и экваториальные астрономические системы координат, их связь с географическими координатами. Системы измерения времени (звездное, солнечное, эфемеридное, всемирное, атомное, др.).

Тема 2. Основы теории движения небесных тел и искусственных спутников Земли. Основные законы и особенности движения небесных тел. Законы Кеплера. Отклонение от законов Кеплера – возмущающие силы, действующие на орбиту спутника. Орбитальные параметры метеорологических спутников Земли. Классификация орбит в зависимости от угла наклона. Понятие эфемерид спутника. Трасса полета, подспутниковая точка. Орбитальные элементы в формате TLE.

Тема 3. Спутники и метеорологическая спутниковая аппаратура. Свойства спутниковых снимков. Основные этапы истории создания космических комплексов и развития космических исследований. Важнейшие характеристики спутниковой аппаратуры и ее развитие. Особенности технологии получения космических снимков и цифровой информации о параметрах атмосферы. Спутниковые геостационарные и полярно-орбитальные комплексы России, США, Европейского Союза и др. Требования к точности измерений и пространственному разрешению получаемой информации. Программное обеспечение для анализа спутниковых данных. Форматы данных спутниковой информации с учетом стадий ее обработки. Формат HDF. Основные характеристики оптико-механических съемочных систем. Основные свойства космических снимков (временное разрешение, пространственное разрешение, спектральное разрешение, радиометрическое разрешение). Искажения на спутниковых изображениях.

Тема 4. Физические основы дистанционного зондирования Земли из космоса. Основные законы излучения. Упрощения формулы Планка для разных спектральных диапазонов. Яркостная температура. Температурная чувствительность интенсивности излучения в зависимости от длины волны. Особенности процессов поглощения и рассеяния излучения в видимом, ИК и микроволновом диапазонах. Основные полосы поглощения различных газов. Окна прозрачности атмосферы. Виды уравнения переноса излучения, используемые в

дистанционном зондировании и области их применимости.

Тема 5. Определение важнейших метеорологических характеристик с помощью спутникового дистанционного зондирования. Обратные задачи теории переноса излучения в атмосфере. Спутниковое зондирование атмосферы в разных спектральных диапазонах. Многоканальные и гиперспектральные методы зондирования атмосферы. Способы оценки температуры поверхности и высоты верхней границы облачного покрова по данным дистанционного спутникового зондирования в окнах прозрачности атмосферы. Восстановление вертикальных профилей температуры и влажности воздуха в атмосфере – методы и их реализация. Общие принципы спутниковых методов определения общего влагосодержания атмосферы.

Тема 6. Характеристики облачности и особенности ее дешифрирования на спутниковых снимках. Общие принципы спутниковых методов определения характеристик облачности. Методы определения атмосферных осадков. Особенности дешифрирования облачного покрова в разных диапазонах электромагнитного спектра. Текстура, мезоструктура, макроструктура. Нефанализ. Способы оценки количества облачности, методы автоматизированной классификации.

Макроструктурные особенности строения облачного покрова во внетропических широтах и их связь с синоптическими процессами. Облачные системы и их классификация в тропической зоне. Классификации мезомасштабных облачных образований.

Дешифрирование спутниковых изображений облачности, определение характеристик облачного покрова (влагозапас, температура и высота верхней границы) Мультиспектральные спутниковые данные (солнечные каналы, ИК-каналы, каналы водяного пара) для детектирования свойств облачности, в том числе агрегатного состояния, размера облачных частиц.

Тема 7. Определение параметров атмосферы и подстилающей поверхности по спутниковым данным. Методы восстановления озона по данным спутниковых измерений в разных спектральных диапазонах. Основные подходы к определению аэрозольных характеристик атмосферы. Определение радиационного баланса по спутниковым измерениям. Определение свойств подстилающей поверхности. Определение скорости ветра. Оценки интенсивности тропических циклонов.

Физические основы детектирования воздушных масс, тумана, конвекции, пепла, дымовых шлейфов.

Характеристики спутниковых мультисканальных приборов (на примере MODIS, VIIRS) и их использование для детектирования аэрозольных характеристик атмосферы. Применение мультиспектральных спутниковых данных для детектирования разных типов подстилающей поверхности. Создание RGB композитов для оценки свойств облачности и подстилающей поверхности по мультиспектральным данным.

Содержание семинаров

1. Определение положения искусственных спутников Земли в космическом пространстве. Время и его измерение при изучении Земли из космоса. Определение параметров орбит спутников. Параметры съемочной аппаратуры и основные свойства космических снимков. Выполнение расчетных заданий и заданий на построение.

2. Мультиспектральные спутниковые данные. Современное состояние мультиспектральной аппаратуры. Применение информации, получаемой с помощью видимых, инфракрасных каналов и каналов водяного пара мультиспектральных сенсоров. Характеристики мультиспектральных сенсоров AVHRR, MODIS, VIIRS и других. Практическая работа по исследованию свойств подстилающей поверхности, океана, атмосферы по данным мультиспектральных измерений по данным MODIS.
3. Мультиспектральные спутниковые данные. Определение свойств облачности, растительности, подстилающей поверхности. Практическая работа по исследованию свойств подстилающей поверхности, океана, атмосферы по данным мультиспектральных измерений по данным VIIRS.
4. Гиперспектральные спутниковые данные. Применение информации, получаемой с помощью гиперспектральных сенсоров. Характеристики гиперспектральных сенсоров IASI, AIRS, CrIS и других. Практическая работа по исследованию данных ИК зондировщиков,
5. Микроволновые спутниковые данные. Применение информации, получаемой с помощью микроволновых сенсоров. Характеристики микроволновых сенсоров ATMS, AMSU и других. Практическая работа по исследованию данных микроволновых зондировщиков,
6. Практическая работа с базами данных спутниковых наблюдений - продуктами уровня обработки L2, L3 (поиск, обработка и первичный анализ). Обзор коллекций сенсора MODIS.
7. Практическое построение RGB композитов по мультиспектральным спутниковым данным и их применение для анализа свойств облачности, воздушных масс, подстилающей поверхности.
8. Свойства космических снимков. Метеорологическая интерпретация и дешифрирование спутниковых изображений. Освоение методики дешифрирования.
9. Практическое применение спутниковых изображений для анализа синоптических и мезометеорологических процессов. Определение текстуры, макроструктуры, мезоструктуры изображения. Идентификация конвективных, орографических систем, воздушных масс, фронтов, струйных течений, мезомасштабных систем. Оценка эволюции барических систем с использованием спутниковой информации.

План проведения семинаров

1. Обсуждение тем лекций и рассмотрение дополнительных вопросов
2. Выполнение практических работ, решение задач на вычисления и построения, всесторонний анализ получаемых результатов
3. Подготовка кратких отчетов по практическим работам
4. Подготовка презентаций по темам практических занятий

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

Текущая аттестация №1. Коллоквиум
Текущая аттестация №2. Коллоквиум

Примерные вопросы для коллоквиумов

Коллоквиум №1

1. Законы Кеплера. Возмущающие силы.
2. Системы координат и основные точки на небесной сфере.
3. Уравнение времени и причины неравномерного изменения солнечного времени.
4. Основные характеристики орбит спутников. Классификации орбит спутников по углу наклона и высоте. Чем отличается солнечно-синхронная и геостационарная орбиты.
5. Спутники и спутниковые приборы для решения метеорологических задач – назначение, параметры орбит, характеристика аппаратуры.
6. Основные полосы поглощения различных газов в атмосфере.
7. Оценки структуры облачного покрова с помощью цифровой спутниковой информации.
8. Спутниковая аппаратура и методы для восстановления температуры поверхности.
9. Спутниковая аппаратура и методы восстановления вертикальных профилей температуры и влажности.
10. Спутниковая аппаратура и методы измерения радиационного баланса атмосферы.
11. Спутниковая аппаратура и методы измерения аэрозоля и газовых примесей.

Коллоквиум №2

1. Параллактический треугольник на небесной сфере. Основные соотношения углов. Формулы Делаಂಬра.
2. Законы Кеплера. Возмущающие силы.
3. Определение и вывод первой космической скорости. Гравитационная постоянная - величина, определение.
4. Определение и вывод второй космической скорости, ее связь с первой космической скоростью.
5. Определение облачных микрофизических характеристик по данным дистанционного зондирования Земли из космоса.
6. Определение свойств подстилающей поверхности по данным дистанционного зондирования Земли из космоса.

Практические работы

- 1) Построить модель небесной сферы и обозначить основные точки, линии, круги и определить положение небесного тела в горизонтальных и экваториальных координатах.
- 2) Получить данные сенсора MODIS, описать структуру полученных данных, построить изображения в естественных цветах.
- 3) Используя программное обеспечение HYDRA2, исследовать свойства подстилающей поверхности и облачности по мультиспектральным данным сенсоров MODIS и VIIRS.
- 4) Используя программное обеспечение HYDRA2, выявить спектральные особенности в гиперспектральных данных в ИК-диапазоне спектра.
- 5) Используя программное обеспечение HYDRA2, определить какая информация может быть получена по данным микроволнового зондирования атмосферы.

6) Провести дешифрирование облачности на спутниковом изображении; с помощью специализированного программного обеспечения определить характеристики облачного покрова.

7) Создать RGB композит, комбинируя разные каналы датчиков геостационарных спутников, и интерпретировать полученные результаты.

Отчет по каждому заданию состоит в письменном описании результатов выполнения практической работы.

Примерные темы докладов

Сравнительный анализ спутниковой аппаратуры и методов обработки метеорологической информации в разных (видимом, ИК, микроволновом) диапазонах спектра (по выбору).

Анализ методов и результатов дешифрирования подстилающей поверхности Земли (на основе выбранного примера).

Дешифрирование мезомасштабных облачных структур.

Анализ облачных структур с определением диагностических признаков эволюции облачных систем.

Совместный анализ полей облачности по спутниковым снимкам и приземным картам погоды.

Анализ полей температуры поверхности и верхней границы облачности по данным спутниковых измерений в окне прозрачности атмосферы (по выбору).

Методика восстановления поля ветра, дивергенции по спутниковым данным.

Восстановление аэрозольных характеристик методами пассивного и активного зондирования атмосферы из космоса и их реализация на примере конкретного случая.

Примерные вопросы для устных опросов

1. Элементы небесной сферы.
2. Горизонтальная и экваториальные системы координат. Соотношения между географическими и астрономическими системами координат.
3. Что такое звездное время, звездные сутки? Как определяется звездное время положения точки М на небесной сфере. Что такое тропический год?
4. Что такое эфемеридное, всемирное время, местное, поясное, декретное время, атомное время?
5. Что такое солнечно-синхронная и геостационарная орбита? Какие типы орбит существуют?
6. В чем различие информации, получаемой с геостационарных и полярно-орбитальных метеорологических искусственных спутников Земли?
7. С каким разрешением получают спутниковую информацию для решения различных задач службы погоды, научных исследований,

хозяйственной практики?

8. Проанализировать спутниковые измерения излучения в различных спектральных диапазонах, используемых для определения тех или других метеорологических параметров.
9. В чем различия в использовании информации, полученной с помощью датчиков видимого и теплового диапазонов?
10. Оценить структуру облачного покрова с помощью цифровой спутниковой информации.
11. Какая спутниковая аппаратура используется для восстановления температуры поверхности и атмосферы? В чем заключается метод восстановления профиля температуры воздуха?
12. Какая аппаратура используется для восстановления профиля влажности? В чем заключается метод восстановления профиля влажности?
13. Какими приборами измеряется радиационный баланс атмосферы? На чем основывается метод измерения?
14. Какая аппаратура используется для определения аэрозольных характеристик атмосферы? Каковы используемые методы для восстановления аэрозольных характеристик атмосферы?
15. Какая аппаратура используется для восстановления содержания озона в атмосфере?
16. Какие аэрозольные характеристики можно восстановить с использованием спутниковых приборов и с какой точностью?
17. Роль спутниковых систем в обнаружении и наблюдении за эволюцией торнадо и тропических циклонов.
18. В решении каких задач необходимы сведения о пороговой яркости подстилающей поверхности?
19. Какие методы классификации спутниковых изображений применяются в программных комплексах?
20. Какие сайты представляют калиброванную спутниковую информацию и основы интерпретации спутниковых снимков?
21. Какие программные средства существуют для комплексного анализа спутниковых данных?

Экзамен устный

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Российские и зарубежные программы спутниковых метеорологических наблюдений. Методы спутниковых наблюдений и типы аппаратуры.
2. Основные этапы истории создания космических комплексов и развития космических исследований.
3. Современные космические системы России, США, Европейского союза и др.
4. Элементы небесной сферы. Горизонтальная и экваториальная астрономические системы координат.
5. Законы Кеплера. Возмущающие силы.
6. Разные системы измерения времени (звездное, солнечное, эфемеридное, всемирное, атомное, др)
7. Физические основы дистанционного зондирования Земли из космоса: процессы поглощения и рассеяния излучения в видимом диапазоне спектра.
8. Физические основы дистанционного зондирования Земли из космоса: процессы поглощения и рассеяния излучения в ИК диапазоне спектра; Понятие яркостной температуры
9. Ослабление излучения в микроволновом спектральном диапазоне. Уравнение Релея-Джинса. Основные законы излучения и их виды в разных спектральных диапазонах.

10. Типы метеорологических спутников: характеристики их орбит.
11. Основные типы аппаратуры, используемой для определения профиля температуры воздуха в атмосфере. Характеристики аппаратуры и методы восстановления профиля температуры воздуха.
12. Основные типы аппаратуры, используемой для определения профиля влажности в атмосфере. Характеристики аппаратуры и методы восстановления профиля влажности.
13. Основные типы аппаратуры, используемой для определения характеристик облачности. Характеристики аппаратуры и методы определения характеристик облачности.
14. Основные типы аппаратуры, используемой для определения радиационного баланса. Характеристики аппаратуры и методы определения радиационного баланса.
15. Аппаратура и методы, используемые для восстановления температуры поверхности и высоты верхней границы облаков Принципы дешифрирования облачного покрова по спутниковым снимкам. Текстура и мезоструктура. Формы и количество облаков.
16. Облачные вихри, их классификация по стадиям развития, признаки эволюции по спутниковым снимкам.
17. Мезомасштабный конвективный комплекс, признаки эволюции по спутниковым снимкам.
18. Классификация облачных систем в тропиках. Тропические циклоны, стадии их развития по спутниковым снимкам.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – экзамен устный

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Знания (виды оценочных средств: устный опрос, тесты)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (виды оценочных средств: практические контрольные задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств:	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки (владения), но	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

практические контрольные задания)			используемые не в активной форме	
-----------------------------------	--	--	----------------------------------	--

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. Menzel W. P. Remote Sensing Applications with Meteorological Satellites. NOAA, 2012
2. Liou K.N.. An introduction to Atmospheric Radiation. Second Edition. Academic Press. Elsevier, 2010.
3. Говердовский В.Ф. Космическая метеорология с основами астрономии. Учебник., М., 1995.

Дополнительная литература:

1. Говердовский В.Ф., А.В. Дикинис. Лабораторный практикум «Космическая метеорология » 2009
2. Калинин Н.А., Толмачева Н.И. Практикум по космическим методам исследования в метеорологии, 2004.
3. Токарева О.Н.. Обработка и интерпретация данных спутникового зондирования. Томск. 2010.
4. Рис У. Основы дистанционного зондирования, 2006.
5. Тимофеев Ю.М. Исследования атмосферы Земли методом прозрачности. Санкт-Петербург, «Наука», 2016
6. Толмачева Н.И. Космические методы исследований в метеорологии. Интерпретация спутниковых изображений. Учебное пособие, Пермский университет, Пермь, 2012.
7. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, - ISBN: 978-5-94836-244, 2010.
8. Analysis and Use of Meteorological Satellite Images. First Edition. Meteorological Satellite Center. Japan Meteorological Agency. 2002.
9. Manual of synoptic satellite meteorology. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Vienna, Austria (ZAMG/KNMI, 2002).

- Перечень лицензионного программного обеспечения

Программный комплекс «Hydra2» для обработки данных полярно-орбитальных спутников S-NPP, Terra, Aqua. GNU Public License Version 3. (<https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/97/7/bams-d-14-00285.1.xml>)

- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

реферативная база данных издательства Elsevier:

<http://meteoinfo.ru> – сайта «Гидрометцентра России», оперативная информация, включая спутниковые данные, методический кабинет.

<http://smis.iki.ru> – сайт Института космических исследований РАН.

<http://www.wetterzentrale.de/> - немецкая служба погоды, спутниковые изображения.

<http://ntzomz.ru> – Научно-исследовательский Центр мониторинга Земли из Космоса, Москва

<http://planet.iitp.ru> – сайт научно-исследовательского Центра «Планета», Москва

<http://www.eumetsat.int>, <http://oiswww.eumetsat.org/> – сайт европейской организации метеорологических спутниковых исследований и оперативного обеспечения информацией

<http://cimss.ssec.wisc.edu/> - институт спутниковых метеорологических исследований университета Висконсин-Мэдисон.

<https://earthdata.nasa.gov/>- система хранения и распространения спутниковых данных

<https://www.esa.int/ESA> - Европейское космическое агентство

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)
поисковая система научной информации www.scopus.com
электронная база научных публикаций www.webofscience.com

- Описание материально-технической базы

Учебная аудитория с мультимедийным проектором, компьютерный класс с установленным программным обеспечением

9. Язык преподавания: русский,

10. Преподаватель (преподаватели): Ответственный за курс —проф. Чубарова Н.Е.

Преподаватели – Чубарова Н.Е., Жданова Е.Ю.

11. Разработчики программы:

Чубарова Наталья Евгеньевна, д.г.н, профессор кафедры метеорологии и климатологии

Жданова Екатерина Юрьевна, к.г.н., н.с. кафедры метеорологии и климатологии