

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
МЕЗОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

Уровень высшего образования:
магистратура

Направление подготовки:
05.04.04 «Гидрометеорология»

Направленность (профиль) ОПОП:
«Метеорология»

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией географического факультета
(протокол № 21, дата 30.09.2023)

Москва 2023

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 «Гидрометеорология» (*программа магистратуры, реализуемая последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утверждены решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова (приказ по МГУ № 1383 от 30 декабря 2020 года).

Год (годы) приема на обучение: 2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП — относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору;
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на знаниях по дисциплинам «Физическая метеорология», «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Динамическая метеорология», «Дистанционные методы измерений в гидрометеорологии», «Синоптическая метеорология», «Климатология».
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>МПК-2 (<i>формируется частично</i>) Способен разрабатывать методы прогноза погоды и климата.</p>	<p>МПК-2.1 Разрабатывает методы прогноза погоды и климата</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • физические механизмы возникновения и развития мезомасштабных атмосферных процессов на основе данных наблюдений, аналитических расчетов и численного моделирования; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • диагностировать мезомасштабные явления в атмосфере по данным дистанционных наблюдений и результатам численного моделирования; обрабатывать результаты анализа и прогноза региональных атмосферных моделей, интерпретировать их результаты и выявлять мезомасштабные процессы и системы. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • современными методами интерпретации результатов численного моделирования мезомасштабных атмосферных процессов с целью улучшения качества краткосрочного и сверх краткосрочного прогноза опасных явлений погоды; методами численного анализа и прогноза мезомасштабных атмосферных явлений.

4. Объем дисциплины (модуля) 3 з.е., в том числе 48 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 60 академических часа 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 и базами данных	Подготовка к семинарам	Всего
Тема 1. Введение	2	2				2			
Тема 2. Система уравнений гидродинамики для задач мезометеорологии.	10	4	1			5	4	1	5
Тема 3. Мезомасштабные системы мелкой конвекции.	16	4	2			6	8	2	10
Тема 4. Мезомасштабные системы глубокой конвекции.	16	4	2			6	8	2	10
<i>Текущая аттестация №1. коллоквиум</i>	2		2			2			
Тема 5. Мезомасштабные явления, связанные с синоптическими процессами	16	4	2			6	8	2	10
Тема 6. Горные циркуляции	16	4	2			6	8	2	10
Тема 7. Бризовые циркуляции	6	2				2	4		4
Тема 8. Численное моделирование мезомасштабных атмосферных процессов	6	2	2			4	1	1	2
<i>Текущая аттестация №2. Практическое задание по численному моделированию какого-либо мезомасштабного явления</i>	6						6		6

Промежуточная аттестация экзамен	12	<i>Устный экзамен</i>	12
Итого	108	39	69

Содержание лекций и семинаров

Содержание лекций

Тема 1. Введение.

Исторические заметки о развитии мезометеорологии. Феноменологическое и динамическое разделение атмосферных процессов по пространственно-временным масштабам. Роль мезомасштабных процессов в спектре атмосферных движений. Обзор методов измерения физических характеристик мезомасштабных атмосферных процессов.

Раздел 1. Система уравнений гидродинамики для задач мезометеорологии.

Упрощения Буссинеска. Представление эффектов синоптического масштаба. Система уравнений для задач мелкой и глубокой конвекции.

Раздел 2. Мезомасштабные системы мелкой конвекции.

Конвективные ячейки и ряды по данным наблюдений. Синоптические условия возникновения систем мелкой конвекции. Географическое распределение повторяемости систем мелкой конвекции. Критерии конвективной неустойчивости: частота Брента-Вяйсяля, энергия неустойчивости, число Рэля и др. Конвекция Бенара. Линейная теория Рэля о неустойчивости состояния покоя слоя жидкости, подогреваемого. Физические эффекты, приводящие к несимметричности восходящих и нисходящих течений в конвективных ячейках. Нелинейная задача Лоренца о двумерной конвекции в подогреваемом снизу слое жидкости. Неустойчивость по начальным условиям и странный аттрактор в задаче Лоренца.

Раздел 3. Мезомасштабные системы глубокой конвекции.

Сравнительная характеристика систем глубокой и мелкой конвекции. Одноячейковые и многоячейковые системы глубокой конвекции. Одноячейковые системы глубокой конвекции: «обыкновенные» ячейки (отдельные кучево-дождевые облака) и суперячейки. Роль вертикального сдвига ветра в развитии ячеек. Механизм образования завихренности в ячейках глубокой конвекции. Морфологическая классификация Мэддокса для многоячейковых систем глубокой конвекции. Мезомасштабные конвективные комплексы (данные наблюдений и физические механизмы). Линии шквалов (данные наблюдений и физические механизмы). Дугообразные системы многоячейковой глубокой конвекции. Локальные циркуляции в кучево-дождевых облаках и их механизмы (шквалы, смерчи, торнадо, микросбросы).

Раздел 4. Мезомасштабные циркуляции в циклонах синоптического масштаба.

Мезомасштабная структура атмосферных фронтов. Полосы осадков на теплом фронте. Полосы осадков в теплом секторе. Полосы осадков на холодном фронте. Полосы осадков позади холодного фронта. Полосы осадков на фронте окклюзии. Механизм образования мезомасштабных полос осадков (симметричная неустойчивость). Нефронтальные мезомасштабные вихри: данные наблюдений и численного моделирования. Механизмы образования.

Раздел 5. Горные циркуляции.

Барьерные эффекты и орографические осадки. Подветренные бури (фен, бора, мистраль, чинук, и т.д.): общая характеристика явления и механизмы образования. Подветренные волны и роторы, вихревые цепочки Кармана. Катабатические циркуляции в горах, общая характеристика явления. Горно-долинный ветер, ледниковый ветер, ветер склонов: данные наблюдений и физические механизмы. Модель ветра склонов Прандтля. Ветры ущелий.

Раздел 6. Бризовые циркуляции. Бризы (общая характеристика явления). Схемы развития бриза по Ганну (первого рода) и Кошмидеру (второго рода). Гидродинамические модели бризовой циркуляции, аналитические решения. Бризовые циркуляции по данным численного моделирования. Влияние крупномасштабного потока на бризовую циркуляцию. Влияние состояния деятельного слоя суши на бризовую циркуляцию. Другие циркуляции бризовой природы: городской бриз, ледовый бриз и др.

Раздел 7. Численное моделирование мезомасштабных атмосферных процессов.

Гидродинамическая постановка задачи. Проблема граничных условий. Численные методы реализации мезомасштабных моделей. Реализация программных комплексов мезомасштабных моделей (WRF-ARW, COSMO) на суперкомпьютерах. Проблема интерпретации результатов численного моделирования мезомасштабных процессов.

Содержание семинарских занятий

Семинар к теме 2 «Система уравнений гидродинамики для задач мезометеорологии»: основные гидродинамические безразмерные числа: физический смысл, вывод, комментарии

Семинар к теме 3 «Мезомасштабные системы мелкой конвекции» - разбор примеров задач, демонстрирующих изменения характера конвекции в зависимости от вида температурного профиля, определяемого характером нагревания подстилающей поверхности

Семинар к теме 4 «Мезомасштабные системы глубокой конвекции» - разбор частных примеров аналитической задачи моделирования спиральных вихрей (смерчи, торнадо)

Семинар к теме 5 «Мезомасштабные явления, связанные с синоптическими процессами» - обзор и обсуждение современных работ, посвященных наблюдениям и результатам моделирования полярных мезоциклонов и неоднородностей атмосферных фронтов

Семинар к теме 6 «Горные циркуляции» - обзор и обсуждение современных работ, посвященных мониторингу и моделированию подветренных бурь и орографических осадков

Семинар к теме 8 Основные сведения о мезомасштабной атмосферной модели WRF-ARW. Задание начальных, граничных условий и параметров численных экспериментов. Вывод результатов расчетов в файлы. Визуализация и физический анализ результат

План проведения семинаров

1. Постановка преподавателем задачи (или доклад – в зависимости от темы семинара).
2. Обсуждение путей решения задачи или проблемы с учащимися.
3. Итоговое выступление преподавателя.
4. Оценка работы магистрантов на семинаре

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

Текущая аттестация №1. коллоквиум

Текущая аттестация №2. Практическое задание по численному моделированию какого-либо мезомасштабного явления

Примерный перечень к коллоквиуму на тему «Мезомасштабные системы конвекции»

- 1) Разделение атмосферных процессов по масштабам. Определения мезомасштаба.
- 2) Системы уравнений мезометеорологии. Упрощения Буссинеска. Гидродинамические числа.
- 3) Мезомасштабные системы мелкой конвекции. Данные наблюдений.
- 4) Ячейковая конвекция Бенара. Линейная теория Рэлея о конвективной неустойчивости слоя жидкости (газа).
- 5) Влияние термической нестационарности фонового состояния на ячейковую конвекцию.
- 6) Нелинейная задача конвекции. Система уравнений Э. Н. Лоренца. Странный аттрактор.
- 7) Системы одноячейковой глубокой конвекции: отдельные кучево-дождевые облака и суперъячейки.
- 8) Гидродинамическая теория образования завихренностей в кучево-дождевых облаках.
- 9) Многоячейковые системы глубокой конвекции: мезомасштабные конвективные комплексы, линии шквалов, дугообразные долгоживущие системы.
- 10) Нефронтальные мезомасштабные вихри (полярные депрессии).
- 11) Микромасштабные явления, сопутствующие системам глубокой конвекции: нисходящие порывы, фронты порывистости, торнадо.

Примерный перечень практических заданий по теме «Численное моделирование мезомасштабных атмосферных процессов»

- 1) Запустить в тестовом режиме модель WRF-ARW с целью получения результатов численного моделирования конкретного случая опасного явления погоды любом регионе РФ
- 2) Проанализировать результаты уже проведенных численных экспериментов по воспроизведению подветренных бурь в прибрежных районах
- 3) Проанализировать результаты уже проведенных численных экспериментов по воспроизведению экстремальных осадков в горных районах
- 4) Проанализировать результаты уже проведенных численных экспериментов по воспроизведению мезомасштабных конвективных комплексов.

Примерный перечень вопросов для экзамена

- 1) Разделение атмосферных процессов по масштабам. Определения мезомасштаба. Основные безразмерные числа.
- 2) Системы уравнений мезометеорологии. Упрощения Буссинеска.
- 3) Мезомасштабные системы мелкой конвекции. Данные наблюдений.
- 4) Ячейковая конвекция Бенара. Линейная теория Рэля о конвективной неустойчивости слоя жидкости (газа).
- 5) Эффект термической нестационарности фоновое состояние на ячейковую конвекцию.
- 6) Нелинейная задача конвекции. Система уравнений Э. Н. Лоренца. Странный аттрактор.
- 7) Системы одноячейковой глубокой конвекции: отдельные кучево-дождевые облака и суперъячейки.
- 8) Гидродинамическая теория образования завихренностей в кучево-дождевых облаках.
- 9) Многоячейковые системы глубокой конвекции: мезомасштабные конвективные комплексы, линии шквалов, дугообразные долгоживущие системы.
- 10) Микромасштабные явления, сопутствующие системам глубокой конвекции: микросбросы, фронты порывистости, торнадо.
- 11) Мезомасштабная структура атмосферных фронтов: данные наблюдений.
- 12) Нефронтальные мезомасштабные вихри .
- 13) Механизм развития мезомасштабных полос осадков на атмосферных фронтах: симметричная неустойчивость.

- 14) Барьерные эффекты перетекания воздушной массы через горные хребты. Орографическое усиление осадков.
- 15) Подветренные бури: данные наблюдений и физические механизмы.
- 16) Подветренные волны, роторы и цепочки Кармана: данные наблюдений и физические механизмы.
- 17) Склоновые, горно-долинные и ледниковые ветры. Географическое распространение, факторы интенсивности. Модель ветра склонов Прандтля
- 18) Бризы: общая характеристика явления. Бризы первого и второго рода. Гидродинамические модели бриза.
- 19) Мезомасштабные численные модели атмосферы: гидродинамическая постановка задачи, граничные условия, численные методы и аппаратные средства реализации.
- 20) Методы прогноза опасных мезомасштабных атмосферных явлений.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – экзамен в устной форме

Шкала и критерии оценивания

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 не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: практические контрольные задания)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

8. Ресурсное обеспечение:

- *Перечень основной и дополнительной учебной литературы.*

Основная литература:

1. Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М. Мезометеорологические процессы. – М.: Географический ф-т МГУ, 2007. – 127 с.
2. Гутман Л.Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 285 с.
3. Кожевников В.Н. Динамика мезомасштабных процессов. Сб. лекций. – М.: Физический ф-т МГУ, 2005. – 117 с.
4. Markowsky P, and Y. Richardson. Mesoscale meteorology in midlatitudes. Wiley- Blackwell, 2011, 407 pp.
5. Pielke R.A. Mesoscale numerical modeling. – San Diego. – Academic Press, 2002. – 676 p.

Дополнительная литература:

1. Кожевников В.Н. Возмущения атмосферы при обтекании гор. – М.: Научный мир, 1999. – 160 с.
2. Русин И.Н., Тараканов Г.Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. – СПб, изд. РГГМУ, 1996. – 308 с.
3. Atmospheric convection: research and operational forecasting aspects// CISM courses and lectures, No. 475, Ed. Gaiotti D.B., Steinacker R., Stel F., SpringerWienNewYork, 2007, 226 pp.
4. Bary G. B. Mountain weather and climate. Cambridge University Press, New York, 2008, 505 pp.
5. Lin, Y.-L. Mesoscale Dynamics. Cambridge University Press, New York, 2007, 630 pp.
6. Oerlemans J. The microclimate of valley glaciers. – Igitur, Utrecht Publishing & Archiving Services, 2010. 138. pp.

- Перечень нелицензионного программного обеспечения
- Word, Excel, Paint 3D, PowerPoint.

- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
реферативная база данных издательства Elsevier: www.sciencedirect.com
профессиональная синоптическая база данных «Гисметео», доступ которой имеется у кафедры метеорологии и климатологии

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)
поисковая система научной информации www.scopus.com
электронная база научных публикаций www.webofscience.com
дистанционные учебные курсы MetEd, разработанные UCAR (University Corporation for Atmospheric Research, USA)

<https://www.meted.ucar.edu>

руководство по спутниковой метеорологии ZAMG (Центральный институт Метеорологии и Геодинамики, Австрия)

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm>

<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/overview/index.html> (большой портал гидрометеорологических данных, в том числе спутниковых изображений)

- Описание материально-технической базы

Учебная аудитория на 20 мест с мультимедийным проектором

Доступ к суперкомпьютерам «Ломоносов» (НИВЦ МГУ) и «Декарт» (кафедра океанологии Географического факультета МГУ) для реализации учебных численных экспериментов

9. Язык преподавания: русский

10. Преподаватель (преподаватели): Ответственный за курс Торопов П.А., преподаватель: Торопов П.А.

11. Разработчики программы:

Степаненко Виктор Михайлович, д. ф.-м.н., ведущий научный сотрудник кафедры метеорологии и климатологии,
Торопов Павел Алексеевич, к.г.н., доцент кафедры метеорологии и климатологии.