

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа дисциплины
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования по направлению подготовки / специальности

05.04.05 «Прикладная гидрометеорология»

Направленность (профиль)
Моделирование атмосферных процессов

Уровень:
Магистратура

Форма обучения
Очная

Согласовано
Руководитель ОПОП
«Моделирование атмосферных
процессов»
_____ Анискина О.Г.

Председатель УМС РГГМУ
_____ Палкин И.И.

Рекомендовано решением
Учебно-методического совета РГГМУ
_____ 19 _____ 2021 г., протокол № 8

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры
_____ 4 _____ 2021 г., протокол № 9
Зав. кафедрой _____ Анискина О.Г.

Авторы-разработчики:
_____ Погорельцев А.И.

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Моделирование общей циркуляции атмосферы» – закрепить и дополнить знания студентов в области анализа, диагностики и моделирования крупномасштабных динамических процессов, развить навыки самостоятельного изучения научной литературы и решения практических задач.

Задачи:

- изучение процессов нагревания и охлаждения, а также распределения и дивергенции волновых потоков тепла и импульса, которые определяют наблюдаемую температурную структуру и, как следствие, макромасштабную циркуляцию атмосферы Земли;

- освоение избранных глав физики атмосферы, математических моделей и методов теоретического описания в области моделирования крупномасштабных динамических процессов.

2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина «Моделирование общей циркуляции атмосферы» для направления подготовки 05.04.05 – Прикладная гидрометеорология по профилю подготовки «Моделирование атмосферных процессов» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений и изучается в 3 семестре для очной формы обучения.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Вычислительная математика», «Механика жидкостей и газа» (Геофизическая гидродинамика), «Динамическая метеорология», «Специальные главы физики атмосферы, океана и вод суши», «Технические аспекты гидродинамического моделирования», «Вихревая динамика». Параллельно с дисциплиной «Моделирование общей циркуляции атмосферы» изучаются такие дисциплины, как: «Дистанционные методы исследования природной среды», «Моделирование природных процессов», «Ассимиляция данных гидродинамическими моделями атмосферы».

3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций:

ПК-3.1; ПК-3.2

Таблица 1.

Профессиональные компетенции

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Результаты обучения
ПК-3 Способен организовывать и осуществлять численные эксперименты,	ПК-3.1. Осуществляет подготовку начальных данных для исследования	Знать: – содержание и структуру дисциплины и иметь достаточно полное представление о возможностях практического применения ее

<p>оформлять и представлять результаты моделирования</p>		<p>разделов в различных прикладных задачах;</p> <ul style="list-style-type: none"> – физическую и математическую постановки задачи о моделировании термической структуры и глобальной циркуляции атмосферы Земли; – классическую линейную теорию атмосферных волн (фазовая и групповая скорости, поляризационные соотношения, дисперсионное соотношение, плотность волновой энергии, потоки энергии, тепла и импульса, закон сохранения волнового действия); – теорию конвективного обрушения (насыщения) внутренних гравитационных волн (ВГВ) на высотах мезосферы и нижней термосферы, воздействие ВГВ на формирование термической структуры и динамического режима этих областей; – теорию взаимодействия волн при наличии квадратичной нелинейности (вторичные гармоники, комбинационные частоты, модуляция высокочастотных волн стационарными, немигрирующие приливы); – основные законы, описывающие нелинейное взаимодействие волн со средним потоком (сохранения плотности волновой активности, понятие потока Элиассена-Пальма или псевдоимпульса, трансформированный Эйлеров подход и понятие остаточной циркуляции, теорему Чарни-Дразина). <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – использовать основные физические законы и принципы и владеть методами построения на их основе глобальных гидродинамических моделей.
--	--	---

		<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – методами комплексных амплитуд и возмущений при решении задачи о вертикальной структуре ВГВ в коротковолновом (WKBJ) приближении.
	<p>ПК-3.2. Проводит численные эксперименты, анализирует результаты их</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – подходы (конечно-разностный и спектральный) и численные методы, используемые при моделировании временной эволюции глобальных атмосферных процессов. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – использовать пакет GrADs для визуализации трехмерных распределений метеорологических полей и их временной эволюции во время активных динамических событий (внезапные стратосферные потепления, весенняя перестройка циркуляции и т.д.); – применять методы комплексных амплитуд и теорию возмущений при решении задачи о вертикальной структуре ВГВ в коротковолновом (WKBJ) приближении, а также для оценок нагрева/охлаждения и ускорений среднего потока при конвективном обрушении ВГВ на высотах мезосферы и нижней термосферы; – применять закон сохранения плотности волновой активности и теорему Чарни-Дразина о невзаимодействии волн со средним потоком для интерпретации и диагностики крупномасштабных динамических процессов. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – численными методами интегрирования системы уравнений, описывающей глобальную циркуляцию

		атмосферы.
--	--	------------

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часа.

Таблица 2.

Объем дисциплины по видам учебных занятий в академических часах 2021 года набора

Объём дисциплины	Всего часов
	Очная форма обучения
Объем дисциплины	144
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	56
в том числе:	-
лекции	28
Занятия семинарского типа:	
Практические занятия	28
Лабораторные занятия	
Самостоятельная работа (далее – СРС) – всего:	88
в том числе:	-
Курсовая работа	
Контрольная работа	
Вид промежуточной аттестации	экзамен

4.2. Структура дисциплины

Таблица 3.

Структура дисциплины для очной формы обучения 2021 года набора

№	Раздел / тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Практические занятия	СРС			
1	<u>Основные уравнения и системы координат.</u>	3	4	4	14	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-3	ПК-3.1; ПК-3.2
2	<u>Процессы, формирующие термическую структуру атмосферы.</u>	3	4	4	14	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-3	ПК-3.1; ПК-3.2
3	<u>Среднезональная циркуляция и планетарные волны.</u>	3	6	6	16	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-3	ПК-3.1; ПК-3.2
4	<u>Собственные колебания атмосферы, приливы.</u>	3	4	4	14	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-3	ПК-3.1; ПК-3.2
5	<u>Распространение ВГВ в среде со сдвигом ветра.</u>	3	4	4	14	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-3	ПК-3.1; ПК-3.2
6	<u>Конвективная неустойчивость ВГВ, турбулентная диффузия.</u>	3	6	6	16	Вопросы на лекции, практическое занятие	ПК-3	ПК-3.1; ПК-3.2
ИТОГО		-	28	28	88	-	-	-

4.3. Содержание разделов/тем дисциплины

4.3.1. Основные уравнения и системы координат

Уравнения движения, неразрывности, притока тепла и состояния идеального газа. Традиционные приближения, используемые при описании крупномасштабных динамических процессов. Лог-изобарическая система координат, ее преимущества при описании нелинейных взаимодействий.

4.3.2. Процессы, формирующие термическую структуру атмосферы.

Нагрев при поглощении солнечного излучения. Радиационное выхолаживание, химический нагрев, нагрев/охлаждение при диссипации атмосферных волн.

4.3.3. Среднезональная циркуляция и планетарные волны.

Среднезональные величины и возмущения. Зональные гармоники. Стационарные планетарные волны. Атмосферные приливы.

4.3.4. Собственные колебания атмосферы, приливы.

Классическая теория глобальных атмосферных волн, приливное уравнение Лапласа, уравнение вертикальной структуры глобальных волн, эквивалентная глубина, параметр Лэмба, нормальные моды, классификация волн на вращающейся сфере. Суточные вариации параметров атмосферы, мигрирующие и немигрирующие приливы.

4.3.5. Распространение ВГВ в среде со сдвигом ветра

Распространение ВГВ при наличии фонового потока, температурной стратификации и слабой диссипации (WKBJ приближение). Критические слои. Закон сохранения волнового действия.

4.3.6. Конвективная неустойчивость ВГВ, турбулентная диффузия

Обрушение/насыщение ВГВ в мезосфере и нижней термосфере за счет развития конвективной неустойчивости. Коэффициент турбулентной диффузии. Ускорение среднего потока при диссипации ВГВ. Нагрев/охлаждение атмосферы при диссипации ВГВ. Уравнение баланса турбулентной энергии.

4.4. Содержание занятий семинарского типа

Таблица 4.

Содержание практических занятий для очной формы обучения

№ темы дисциплины	Тематика практических занятий	Всего часов	В том числе часов практической подготовки
1	Вывести выражения для коэффициентов ионного трения и магнитного закручивания для дипольного магнитного поля Земли.	4	4
2	Преобразовать прогностические уравнения для	4	4

	горизонтальной и меридиональной скорости к виду, содержащему потоки импульса.		
3	Привести уравнение вертикальной структуры глобальных волн к нормальному виду.	6	6
4	Вывести уравнение сохранения плотности волновой энергии для ВГВ с учетом диссипации.	4	4
5	Получить выражение для групповой скорости на основе уравнения сохранения волновой энергии и поляризационных соотношений для ВГВ.	4	4
6	Получить уравнение сохранения волнового действия. Вывести выражение для групповой скорости на основе дисперсионного соотношения для ВГВ.	6	6

5. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

В течение семестра студент обязан самостоятельно прорабатывать материал, изложенный на лекциях, для чего рекомендуется использовать сделанные на лекциях конспекты, изучить основную и дополнительную литературу, предоставленные преподавателем презентации лекций. Освоение материалов и выполнение практических работ проходит при регулярных консультациях с преподавателем, для чего предоставлена возможность использовать удаленный доступ (Интернет).

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Учет успеваемости обучающегося по дисциплине осуществляется по 100-балльной шкале. Максимальное количество баллов по дисциплине за один семестр – 100:

- максимальное количество баллов за выполнение всех видов текущего контроля - 75;
- максимальное количество баллов за посещение лекционных занятий - 10;
- максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации - 15;

6.1. Текущий контроль

Типовые задания, методика выполнения и критерии оценивания текущего контроля по разделам дисциплины представлены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

6.2. Промежуточная аттестация

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – **экзамен**.

Форма проведения экзамен: устно по билетам.

Перечень вопросов для подготовки к экзамену:

ПК-3.1

1. Основные уравнения. Динамическая группа. Геострофическое и гидростатическое приближения.
2. Основные уравнения. Термодинамическая группа. Адиабатическое приближение

3. Тензор вязких напряжений. Сила Лоренца. Ионное трение и магнитное закручивание.
4. Основные газовые составляющие, ответственные за радиационный нагрев и выхолаживание. Термическая структура атмосферы.
5. Среднезональная циркуляция. Планетарные волны. Атмосферные приливы.
6. Приливное уравнение Лапласа. Функции Хафа. Эквивалентная глубина. Параметр Лэмба.
7. Уравнение вертикальной структуры глобальных волн. Собственные колебания атмосферы. Нормальные моды.
8. Уравнение вертикальной структуры внутренних гравитационных волн (ВГВ).
9. Уравнение сохранения волновой энергии ВГВ. Понятие волнового действия.

ПК-3.2

10. Радиационные процессы. Нагрев атмосферы за счет поглощения солнечной радиации.
11. Процессы радиационного выхолаживания. Нагрев за счет диссипации механической энергии.
12. События внезапных стратосферных потеплений. Взаимодействие планетарных волн со средним потоком.
13. Распространение ВГВ в среде со сдвигом. ВКБ решение.
14. Конвективная неустойчивость ВГВ. Турбулентная диффузия.
15. Ускорение/торможение среднего потока при диссипации или насыщении ВГВ.
16. Нагрев атмосферы при диссипации или насыщении ВГВ.

6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Таблица 5.

Распределение баллов по видам учебной работы

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Посещение лекционных занятий	0-10
Контрольное расчётное задание №1	0-10
Контрольное расчётное задание №2	0-10
Контрольное расчётное задание №3	0-10
Контрольное расчётное задание №4	0-10
Контрольное расчётное задание №5	0-10
Реферат	0-25
Промежуточная аттестация	0-15
ИТОГО	0-100

Минимальное количество баллов для допуска до промежуточной аттестации составляет 40 баллов при условии выполнения всех видов текущего контроля.

Таблица 6.

Балльная шкала итоговой оценки на экзамене

Оценка	Баллы
Отлично	85-100
Хорошо	65-84
Удовлетворительно	40-64
Неудовлетворительно	0-39

7. Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации ко всем видам аудиторных занятий, а также методические рекомендации по организации самостоятельной работы, в том числе по подготовке к текущему контролю промежуточной аттестации представлены в Методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины «МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ».

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Переведенцев, Ю. П. Теория общей циркуляции атмосферы [Текст] : учебное пособие / Ю. П. Переведенцев, И. И. Мохов, А. В. Елисеев. - Казань: Казан. гос. ун-т, 2013. - 223 с.
2. Швед Г. М. Введение в динамику и энергетику атмосферы: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2020. — 396 с.

Дополнительная литература

1. Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы и океана. – Г. И. Марчук, В. П. Дымников, В. Б. Залесный и др. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 320 с.
2. Модели общей циркуляции атмосферы. – под редакцией Ю. Чанга. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 352 с.
3. Мезингер Ф., Аракава А. Численные методы, используемые в атмосферных моделях.- Л.: Гидрометеоздат, 1979. 136 с.
4. Холтон Дж.Р. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы.- Л.: Гидрометеоздат. 1979. 224 с.
5. Дикий Л.А. Теория колебаний земной атмосферы.- Л.: Гидрометеоздат. 1969. 196 с.
6. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика.- Т. 1,2.- М.: Мир. 1984. 816 с.
7. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы.- Л.: Гидрометеоздат. 1988. 414 с.
8. Галин М.Б. Поток Элиассена-Пальма и диагностика крупномасштабных атмосферных процессов//Метеорология и гидрология.- 1989, № 1.- С. 111-119.
9. Погорельцев А.И. Генерация нормальных атмосферных мод стратосферными вассилляциями//Изв. РАН, ФАО, 2007, Т. 43, № 4, 463-475.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

1. <http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/>
2. http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/documents/MERRA_File_Specification.pdf
3. <http://cookbooks.opengrads.org/index.php?title=Recipe-014: Accessing MERRA data on FTP/OPeNDAP with GrADS>
4. <ftp://goldsmr3.sci.gsfc.nasa.gov/data/s4pa/>
5. <http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-assim>
6. <http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind>
7. <http://wdc.dlr.de/sensors/gome2/>
8. <http://wdc.dlr.de/sensors/gome/>

8.3. Перечень программного обеспечения

1. windows 7 48818295 20.07.2011
2. office 2010 49671955 01.02.2012
3. windows 7 48130165 21.02.2011

4. office 2010 49671955 01.02.2012
5. windows 7 48130165 21.02.2011
6. office 2010 49671955 01.02.2012
7. GNUFortran - компилятор (свободно распространяемое программное обеспечение).
8. GRADS - система анализа и представления данных (свободно распространяемое программное обеспечение).

8.4. Перечень информационных справочных систем

1. СПС Консультант Плюс;
2. Электронно-библиотечная система Знаниум. Режим доступа: <http://znanium.com>
3. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн. Режим доступа: <http://elib.rshu.ru>

8.5. Перечень профессиональных баз данных

1. Электронно-библиотечная система elibrary;
2. База данных издательства SpringerNature;
3. база данных WebofScience
4. база данных Scopus

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. **Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядными пособиями, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).
2. **Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации
3. **Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
4. **Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
5. **Помещение для самостоятельной работы** – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации.

10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

11. Возможность применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.