

федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа по дисциплине

**Моделирование общей циркуляции атмосферы**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы магистратуры по направлению  
подготовки

**05.04.05 «Прикладная гидрометеорология»**

Направленность (профиль):

**Моделирование атмосферных процессов**

Квалификация:

**Магистр**

Форма обучения

**Очная**

Согласовано  
Руководитель ОПОП  
«Моделирование атмосферных  
процессов»

 Анискина О.Г.

Утверждаю  
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением  
Учебно-методического совета

 22 09 2020 г., протокол № 1

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры  
29 мая 2020 г., протокол № 14

И.о. зав. кафедрой  Анискина О.Г.

Авторы-разработчики:

 Погорельцев А.И.

**Составил:**

А.И. Погорельцев, д. ф.-м. н., профессор кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ,

© А.И. Погорельцев, 2020.  
© РГГМУ, 2020.

## 1. Цели освоения дисциплины

«Моделирование общей циркуляции атмосферы» является одной из основных дисциплин специализации, формирующих компетенции магистров по направлению 05.04.05 – Прикладная гидрометеорология, обучающихся по профилю подготовки – Моделирование атмосферных процессов.

Цель дисциплины – закрепить и дополнить знания студентов в области анализа, диагностики и моделирования крупномасштабных динамических процессов, развить навыки самостоятельного изучения научной литературы и решения практических задач.

Основная задача дисциплины связана с изучением процессов нагревания и охлаждения, а также распределения и дивергенции волновых потоков тепла и импульса, которые определяют наблюдаемую температурную структуру и, как следствие, крупномасштабную циркуляцию атмосферы Земли. Дисциплина призвана дать возможность студентам освоить избранные главы физики атмосферы, математические модели и методы теоретического описания в области моделирования крупномасштабных динамических процессов.

Дисциплина изучается студентами, специализирующимися в области численного моделирования атмосферных процессов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

Дисциплина «Моделирование общей циркуляции атмосферы» для направления подготовки 05.04.05 – Прикладная гидрометеорология по профилю подготовки «Моделирование атмосферных процессов» относится к дисциплинам вариативной части профессионального цикла подготовки магистров по программе «Математическое моделирование атмосферных процессов».

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: «Аэрокосмические методы исследования природной среды», «Гидродинамическое моделирование природных процессов», «Усвоение данных наблюдений гидродинамическими моделями».

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Компетенция
ОК-3	готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
ОПК-1	готовностью к коммуникации и представлению результатов в устной и письменной формах на русском и иностранном языках при решении задач профессиональной деятельности
ПК-1	пониманием и творческим использованием в научной деятельности знаний фундаментальных и прикладных разделов специальных гидрометеорологических дисциплин.
ПК-4	готовностью использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах.

**Основные задачи дисциплины** связаны с освоением:

- процессов нагрева и охлаждения, а также распределения и дивергенции волновых потоков тепла и импульса, которые определяют наблюдаемую температурную структуру и, как следствие, макромасштабную циркуляцию атмосферы Земли,
- избранных глав физики атмосферы, математических моделей и методов теоретического описания в области моделирования крупномасштабных динамических процессов.

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Моделирование общей циркуляции атмосферы» обучающийся должен:

**знать:**

- содержание и структуру дисциплины и иметь достаточно полное представление о возможностях практического применения ее разделов в различных прикладных задачах;
- физическую и математическую постановки задачи о моделировании термической структуры и глобальной циркуляции атмосферы Земли;
- подходы (конечно-разностный и спектральный) и численные методы, используемые при моделировании временной эволюции глобальных атмосферных процессов;
- 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, теореме Чарни-Дразина).

**уметь:**

- использовать основные физические законы и принципы и владеть методами построения на их основе глобальных гидродинамических моделей;
- 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 теореме Чарни-Дразина о невзаимодействии волн со средним потоком для интерпретации и диагностики крупномасштабных динамических процессов.

**Владеть:**

- – численными методами интегрирования системы уравнений, описывающей глобальную циркуляцию атмосферы;
- - методами комплексных амплитуд и возмущений при решении задачи о вертикальной структуре ВГВ в коротковолновом (WKBJ) приближении.

Кроме этого, магистр **должен иметь представление** об основных характеристиках

крупномасштабных динамических процессов, наблюдаемых в атмосфере Земли, которые обусловлены взаимодействием волн со средним потоком (внезапные стратосферные потепления, стратосферные вассилляции, квази-двухлетние колебания зонального потока в экваториальной стратосфере, обращение циркуляции на высотах нижней термосферы за счет конвективного обрушения/насыщения ВГВ и т.д.).

Основные признаки проявленности формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Моделирование общей циркуляции атмосферы» сведены в таблице.

**Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания**

Этап (уровень) освоения компетенции*	Планируемые результаты обучения** (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2	3 минимальный	4 базовый	5 продвинутый
Первый этап (уровень) (ОПК-1)	<p><b>Владеть:</b> - современными статистическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях; -навыками самостоятельной работы со специализированной литературой.</p> <p><b>Уметь:</b> - грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и цифровые электронные базы данных; -пользоваться электронными базами гидрометеорологических данных.</p> <p><b>Знать:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации</p>	<p><b>Не владеет:</b> - современными статистическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях; -навыками самостоятельной работы со специализированной литературой.</p> <p><b>Не умеет:</b> - грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал -пользоваться электронными базами гидрометеорологических данных.</p> <p><b>Не знает:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогно-</p>	<p><b>Слабо владеет:</b> - современными статистическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях; -навыками самостоятельной работы со специализированной литературой.</p> <p><b>Затрудняется:</b> - грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал -пользоваться электронными базами гидрометеорологических данных. -пользоваться электронными базами гидрометеорологических данных.</p> <p><b>Плохо описывает:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогно-</p>	<p><b>Хорошо владеет:</b> - современными статистическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях; -навыками самостоятельной работы со специализированной литературой.</p> <p><b>Умеет:</b> - грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал -пользоваться электронными базами гидрометеорологических данных. -пользоваться электронными базами гидрометеорологических данных.</p> <p><b>Описывает с помощью преподавателя:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и спо-</p>	<p><b>Уверенно владеет:</b> - современными статистическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях; -навыками самостоятельной работы со специализированной литературой.</p> <p><b>Умеет свободно:</b> - грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал -пользоваться электронными базами гидрометеорологических данных. -пользоваться электронными базами гидрометеорологических данных.</p> <p><b>Свободноописывает:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и про-</p>

<p>Первый этап (уровень) <b>(ПК-1)</b></p>	<p>полученных научных результатов.</p> <p><b>Владеть:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований.</p> <p><b>Уметь:</b> - составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; -разрабатывать физико-статистические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом межгодовых колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Знать:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы</p>	<p>стической интерпретации полученных научных результатов.</p> <p><b>Не владеет:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований.</p> <p><b>Не умеет:</b> - составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; -разрабатывать физико-статистические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом межгодовых колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Не знает:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов; - методику разработки но-</p>	<p>стической интерпретации полученных научных результатов.</p> <p><b>Слабо владеет:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований.</p> <p><b>Затрудняется:</b> - составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; -разрабатывать физико-статистические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом межгодовых колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Плохо описывает:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов; - методику разработки но-</p>	<p>собы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов.</p> <p><b>Хорошо владеет:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований.</p> <p><b>Умеет:</b> - составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; -разрабатывать физико-статистические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом межгодовых колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Описывает с помощью преподавателя:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов;</p>	<p>гностической интерпретации полученных научных результатов.</p> <p><b>Уверенно владеет:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований.</p> <p><b>Умеет свободно:</b> - составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; -разрабатывать физико-статистические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом межгодовых колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Свободноописывает:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов; - методику разработки но-</p>
--	--	--	--	--	--

<p>Первый этап (уровень) <b>(ПК-4)</b></p>	<p><b>Владеть:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований; - современными математическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях;</p> <p><b>Уметь:</b> - составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; – разрабатывать численные модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Знать:</b> -научное состояние проблемы общей циркуляции атмосферы в це-</p>	<p>вых физико-статистических моделей межгодовых колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Не владеет:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований; - современными статистическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях;</p> <p><b>Не умеет:</b> -составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; – разрабатывать физико-статистические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Не знает:</b> -научное состояние проблемы общей циркуляции</p>	<p>вых физико-статистических моделей межгодовых колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Слабо владеет:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований; - современными статистическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях;</p> <p><b>Затрудняется:</b> -составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; – разрабатывать физико-статистические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Плохо описывает:</b> -научное состояние проблемы общей циркуляции</p>	<p>– методику разработки новых физико-статистических моделей межгодовых колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Хорошо владеет:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований; - современными статистическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях;</p> <p><b>Умеет:</b> -составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; – разрабатывать физико-статистические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Описывает с помощью преподавателя:</b> -научное состояние про-</p>	<p>вых физико-статистических моделей межгодовых колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Уверенно владеет:</b> - методикой подготовки научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований; - современными статистическими методами и другими количественными технологиями в научных исследованиях;</p> <p><b>Умеет свободно:</b> -составлять научные отчеты и статьи о постановке, методах, результатах и практических приложениях научных исследований; – разрабатывать физико-статистические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Свободноописывает:</b> -научное состояние проблемы общей циркуляции атмосферы в целях исполь-</p>
--	---	---	---	--	--





		атмосферных процессов.	атмосферных процессов.	атмосферных процессов.	моделирования атмосферных процессов.
--	--	------------------------	------------------------	------------------------	---

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### 4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Объём дисциплины	Всего часов
	Очная форма обучения 2020 г. набора
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>108 часов</b>
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b>	<b>42</b>
в том числе:	
лекции	<b>14</b>
практические занятия	<b>28</b>
семинарские занятия	-
<b>Самостоятельная работа (СР) – всего:</b>	<b>66</b>
в том числе:	
курсовая работа	-
контрольная работа	-
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)</b>	<b>экзамен</b>

##### 4.1 Содержание разделов дисциплины

Очное обучение

2020 г.

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час.	Формируемые компетенции
			Лекции	Семины Лаб. раб. Практич.	Самост. работа			
1	Основные уравнения и системы координат	1	2	4	10	Вопросы на лекции	0	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
2	Процессы, формирующие термическую структуру атмосферы	1	2	4	12	Вопросы на лекции	2	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
3	Среднезональная циркуляция и планетарные волны	1	2	6	10	Вопросы на лекции	2	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
4	Собственные коле-	1	2	4	12	Вопросы на	0	ОК-3

	бания атмосферы, приливы					лекции		ОПК-1 ПК-1 ПК-4
5	Распространение ВГВ в среде со сдвигом ветра	1	2	4	10		0	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
6	Конвективная неустойчивость ВГВ, турбулентная диффузия	1	4	6	12	Вопросы на лекции	0	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
<b>ИТОГО:</b>			<b>14</b>	<b>28</b>	<b>66</b>		<b>4</b>	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена					<b>108 часа</b>			

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### 4.2.1. 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.

### 4.2.2. Процессы, формирующие термическую структуру атмосферы.

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

### 4.2.3. Среднезональная циркуляция и планетарные волны.

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

### 4.2.4. 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.

### 4.2.5. 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.

### 4.2.6. 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 диссипа-

ции ВГВ. Нагрев/охлаждение атмосферы при диссипации ВГВ. Уравнение баланса турбулентной энергии.

### 4.3. Семинарские, практические, лабораторные занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Вывести выражения для коэффициентов ионного трения и магнитного закручивания для дипольного магнитного поля Земли.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
2	2	Преобразовать прогностические уравнения для горизонтальной и меридиональной скорости к виду, содержащему потоки импульса.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
3	3	Привести уравнение вертикальной структуры глобальных волн к нормальному виду.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
4	4	Вывести уравнение сохранения плотности волновой энергии для ВГВ с учетом диссипации.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
5	5	Получить выражение для групповой скорости на основе уравнения сохранения волновой энергии и поляризационных соотношений для ВГВ.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4
6	6	Получить уравнение сохранения волнового действия. Вывести выражение для групповой скорости на основе дисперсионного соотношения для ВГВ.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-1 ПК-1 ПК-4

Семинарских и лабораторных занятий учебным планом не предусмотрено.

**5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

#### 5.1. Текущий контроль

Вопросы на лекции.

#### а). Образцы тестовых заданий текущего контроля

Вопросы на лекции:

1. К каким эффектам приводит учет силы Лоренца в уравнении движения?
2. К каким эффектам приводит учет вязкости и теплопроводности?
3. Какие процессы ответственны за радиационный баланс атмосферы?
4. Какова структура среднезональной циркуляции зимой, летом и в периоды равноденствия?
5. Какие процессы ответственны за сроки весенней перестройки циркуляции?
6. Что является источником стационарных планетарных волн?
7. Какие процессы ответственны за развитие событий ВСП?
8. Что такое стратосферные вазилляции?
9. Какие типы планетарных волн существуют в атмосфере Земли?
10. Какова вертикальная структура насыщенной ВГВ?

#### **б). Примерная тематика рефератов, эссе, докладов**

Выполнение рефератов, эссе и докладов по данной дисциплине не предусмотрено учебным планом.

#### **в). Примерные темы курсовых работ, критерии оценивания**

Выполнение курсовых работ по данной дисциплине не предусмотрено учебным планом.

### **5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы**

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

### **5.3. Промежуточный контроль: экзамен**

#### **Перечень вопросов к экзамену**

1. Основные уравнения. Динамическая группа. Геоострофическое и гидростатическое приближения.
2. Основные уравнения. Термодинамическая группа. Адиабатическое приближение
3. Тензор вязких напряжений. Сила Лоренца. Ионное трение и магнитное закручивание.
4. Радиационные процессы. Нагрев атмосферы за счет поглощения солнечной радиации.
5. Процессы радиационного выхолаживания. Нагрев за счет диссипации механической энергии.
6. Основные газовые составляющие, ответственные за радиационный нагрев и выхолаживание. Термическая структура атмосферы.
7. Среднезональная циркуляция. Планетарные волны. Атмосферные приливы.
8. События внезапных стратосферных потеплений. Взаимодействие планетарных волн со средним потоком.

9. Приливное уравнение Лапласа. Функции Хафа. Эквивалентная глубина. Параметр Лэмба.
10. Уравнение вертикальной структуры глобальных волн. Собственные колебания атмосферы. Нормальные моды.
11. Уравнение вертикальной структуры внутренних гравитационных волн (ВГВ).
12. Распространение ВГВ в среде со сдвигом. ВКБ решение.
13. Уравнение сохранения волновой энергии ВГВ. Понятие волнового действия.
14. Конвективная неустойчивость ВГВ. Турбулентная диффузия.
15. Ускорение/торможение среднего потока при диссипации или насыщении ВГВ.
16. Нагрев атмосферы при диссипации или насыщении ВГВ.

### **Образцы билетов к экзамену**

#### **Экзаменационный билет № 2**

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет  
**Кафедра Метеорологических прогнозов**  
**Курс Моделирование общей циркуляции атмосферы**

- Основные уравнения. Термодинамическая группа. Адиабатическое приближение
- Уравнение вертикальной структуры глобальных волн. Собственные колебания атмосферы. Нормальные моды.

И.о. зав. кафедрой метеорологических прогнозов \_\_\_\_\_ О.Г.Анискина

#### **Экзаменационный билет № 8**

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет  
**Метеорологических прогнозов**  
**Курс Моделирование общей циркуляции атмосферы**

- События внезапных стратосферных потеплений. Взаимодействие планетарных волн со средним потоком.
- Нагрев атмосферы при диссипации или насыщении ВГВ.

И.о. зав. кафедрой метеорологических прогнозов \_\_\_\_\_ О.Г.Анискина

### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### **а) основная литература:**

1. Переведенцев Ю.П., Мохов И.И., Елисеев А.В. Теория общей циркуляции. – Казань: Казан.ун-т, 2013.-224 с.
2. Masaki S. Atmospheric Circulation Dynamics and General Circulation Models.- Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014, 756 p.
3. Salby M.L. Physics of the Atmosphere and Climate.-Cambridge University Press, NY, 2012, 717 p.
4. B.J. Hoskins & I.N. James Fluid dynamics of the midlatitude atmosphere.-John Wiley & Sons, Ltd. 2014. P. 432.

#### **б) 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. Boyd J.P. The noninteraction of waves with the zonally averaged flow on a spherical Earth and the interrelationships of energy, heat and momentum//J. Atmos. Sci.- 1976.- Vol. 33.- P. 2285-2291.
9. Andrews D.G. On the interpretation of the Eliassen-Palm flux divergence//Quart. J. Roy. Meteorol.Soc.- 1987.- Vol. 113.- P. 323-338.
10. Галин М.Б. Поток Элиассена-Пальма и диагностика крупномасштабных атмосферных процессов//Метеорология и гидрология.- 1989, № 1.- С. 111-119.
11. Holton J. R., Mass C. Stratospheric vacillation cycles//J. Atmos. Sci.- 1976.- V.33.- P. 2218-2225.
12. Haynes P. Stratospheric dynamics//Annu. Rev. Fluid Mech.- 2005.- V. 37.- P. 263-293.
13. Plumb R.A. On the three-dimensional propagation of stationary waves// J. Atmos. Sci.- 1985.- V. 42.- P. 217-229.
14. Погорельцев А.И. Генерация нормальных атмосферных мод стратосферными вращательными колебаниями//Изв. РАН, ФАО, 2007, Т. 43, № 4, 463-475.
15. Pogoreltsev, A.I., A.A. Vlasov. K. Fröhlich, and Ch. Jacobi, 2007: Planetary waves in coupling the lower and upper atmosphere. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 69, 2083-2101, doi:10.1016/j.jastp.2007.05.014.
16. Pogoreltsev A.I., Kanukhina A.Yu., Suvorova E.V., Savenkova E.N., 2009: Variability of Planetary Waves as a Signature of Possible Climatic Changes, J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 71, 1529-1539, doi:10.1016/j.jastp.2009.05.011.

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

<http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/>  
[http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/documents/MERRA\\_File\\_Specification.pdf](http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/documents/MERRA_File_Specification.pdf)  
<http://cookbooks.opengrads.org/index.php?title=Recipe-014: Accessing MERRA data on FTP/OPeNDAP with GrADS>  
<ftp://goldsmr3.sci.gsfc.nasa.gov/data/s4pa/>  
<http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-assim>  
<http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind>  
<http://wdc.dlr.de/sensors/gome2/>  
<http://wdc.dlr.de/sensors/gome/>

**г) программное обеспечение**

windows 7 48818295 20.07.2011  
office 2010 49671955 01.02.2012  
windows 7 48130165 21.02.2011  
office 2010 49671955 01.02.2012  
windows 7 48130165 21.02.2011  
office 2010 49671955 01.02.2012

GNUFortran - компилятор(свободнораспространяемоепрограммноеобеспечение).

GRADS - система анализа и представления данных (свободно распространяемое программное обеспечение).



#### д) профессиональные базы данных

база данных WebofScience

база данных Scopus

электронно-библиотечная система elibrary

#### е) информационные справочные системы:

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

### 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

#### Вид учебных занятий

#### Организация деятельности студента

##### Лекции (темы №1-6)

Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины.

Проверка терминов, понятий, технических характеристик с помощью интернет ресурсов с выписыванием толкований в тетрадь.

Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе.

Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции, на консультации, или с использованием удаленного доступа через Интернет

##### Практические занятия (темы №1-6)

Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины.

Конспектирование источников.

Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы и работа с текстом. Решение тестовых заданий, решение задач и другие виды работ.

##### Подготовка к экзамену

При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к экзамену и т.д.

### 8. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Раздел дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
№ 1, 6	<u>информационные технологии</u> 1. чтение лекций с использованием слайд-презентаций, 2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты 3. использование архивов данных, ассимилированных в модель UK-MetOffice и MERRA2, пакет при-	1. Пакет Microsoft Excel, PowerPoint. 2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн <a href="http://elib.rshu.ru">http://elib.rshu.ru</a> 3. Использование сайта кафедры метеорологических прогнозов: <a href="http://ra.rshu.ru/mps/dwnl/apogor/Динамика/">http://ra.rshu.ru/mps/dwnl/apogor/Динамика/</a> <a href="http://ra.rshu.ru/mps/dwnl/apogor/Нелинейные_процессы/">http://ra.rshu.ru/mps/dwnl/apogor/Нелинейные_процессы/</a> 4. Данные ре-анализов NASA:

	<p>кладных программ, предназначенных для анализа и диагностики волновых процессов и нелинейных взаимодействий в атмосфере.</p> <p><u>образовательные технологии</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. интерактивное взаимодействие педагога и студента</li> <li>2. сочетание индивидуального и коллективного обучения</li> </ol>	<p><a href="http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/">http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/</a></p> <p>5. Данные ре-анализов NASA: <a href="http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/documents/MERRA_File_Specification.pdf">http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/documents/MERRA_File_Specification.pdf</a></p> <p>6. Данные ре-анализов UKMETOF-FICE <a href="http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-assim">http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-assim</a></p> <p>7. Данные ре-анализов UKMETOF-FICE <a href="http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind">http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind</a></p> <p>8. GRADS - система анализа и представления данных (свободно распространяемое программное обеспечение).</p> <p>9. Трехмерная модель общей циркуляции средней и верхней атмосферы.</p> <p>10. Использование сайта лаборатории моделирования средней и верхней атмосферы и кафедры метеорологических прогнозов: <a href="http://ra.rshu.ru">http://ra.rshu.ru</a>, <a href="http://ra.rshu.ru/mp">http://ra.rshu.ru/mp</a>.</p> <p>11. GNU Fortran - компилятор (свободно распространяемое программное обеспечение).</p>
--	--	--

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. **Учебная аудитории 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 аудитории 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.