

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

Кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа по дисциплине

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

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  
  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,  
Т.С. Ермакова, к.ф.-м.н., доцент кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ.

© Погорельцев А.И., Ермакова Т.С., 2020  
© РГГМУ, 2020

## 1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» 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 – формирование у студентов комплекса научных знаний о свойствах и особенностях крупномасштабных динамических процессов, протекающих в атмосфере Земли, их взаимосвязи и взаимодействии, а также о современных методах их моделирования, диагностики и анализа.

Основная задача дисциплины связана с изучением и освоением студентами: основных уравнений и математического аппарата, используемых для описания и диагностики нелинейных взаимодействий волна-волна и волна-средний поток; роли атмосферных волн и приливов в формировании общей циркуляции и термической структуры атмосферы; методов анализа процессов генерации, распространения, диссипации и нелинейных взаимодействий крупномасштабных волновых движений.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» для направления подготовки 05.04.05 – Прикладная гидрометеорология относится к дисциплинам вариативной части профессионального цикла подготовки магистров по профилю подготовки «Моделирование атмосферных процессов».

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Математика», «Вычислительная математика», «Физика», «Механика жидкостей и газа», «Физика атмосферы», «Динамическая метеорология», «Линейная теория атмосферных волн», «Теория ОЦА и климата».

Параллельно с дисциплиной «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» изучаются такие дисциплины, как: «Дистанционные методы зондирования атмосферы», «Моделирование природных процессов».

Дисциплина «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» является базовой для освоения дисциплин: «Основные закономерности общей циркуляции атмосферы», «Основы теории Солнечно-Земных связей», для проведения научно-исследовательской работы, преддипломной практики. Знания, полученные в ходе изучения данной дисциплины, могут быть использованы при подготовке выпускной квалификационной работы магистра.

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

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Компетенция
ОК-3	Способность к эффективной коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке
ОПК-1	Способность ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты исследований.
ПК-1	Понимание и творческое использование в научной деятельности знаний фундаментальных и прикладных разделов специальных

	гидрометеорологических дисциплин.
<b>ПК-4</b>	Готовность использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских, опытно-конструкторских и полевых гидрометеорологических работах.

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» обучающийся должен:

Знать:

- физическую и математическую постановки задачи о разделении крупномасштабных атмосферных движений на среднюю (фоновую) и волновую (вихревую) составляющие с учетом слагаемых, которые описывают нелинейные взаимодействия;
- методы возмущений и комплексных амплитуд, правила осреднения нелинейных слагаемых с использованием метода комплексных амплитуд;
- линейную теорию атмосферных волн (фазовая и групповая скорости, дисперсионное соотношение, волновая энергия, потоки волновой энергии, тепла и импульса, закон сохранения волнового действия);
- закон сохранения плотности волновой активности, понятие потока Элиассена-Пальма (псевдоимпульса), трансформированный Эйлеров подход и понятие остаточной циркуляции, теореме Чарни-Дразина о невзаимодействии волн со средним потоком, выражения для плотности волновой активности по Эндрюсу, понятие потенциальной энстрофии, трехмерный поток волновой активности по Пламбу и процессы, ответственные за стратосферно-тропосферное взаимодействие;
- теорию генерации вторичных гармоник при нелинейном взаимодействии планетарных волн и приливов волн в случае квадратичной нелинейности, уравнение баланса возмущенной потенциальной энстрофии;
- климатические распределения температуры и зонального потока в средней атмосфере Земли, климатическую и внутрисезонную изменчивость эти распределений, основные характеристики и классификацию событий внезапных стратосферных потеплений, особенности весенней перестройки циркуляции.

Уметь:

- использовать методы теории возмущений, комплексных амплитуд и правила осреднения нелинейных членов при получении уравнений, описывающих взаимодействия волна-волна и волна-средний поток;
- интерпретировать наблюдаемые (или рассчитанные) распределения вектора потока Элиассена-Пальма и трехмерного потока волновой активности Пламба, а также распределения их дивергенции с учетом знака широтного градиента потенциального вихря Эртеля.

Владеть:

- математическим аппаратом векторной алгебры и тензорного исчисления для получения уравнений и тождеств, используемых при выводе основных законов сохранения (законы сохранения энергии и вихревого заряда, уравнения Фридмана и Гельмгольца, теорема о потенциальном вихре Эртеля);

Иметь представление

- об основных физических явлениях и процессах, наблюдаемых в атмосфере, которые обусловлены взаимодействием планетарных волн со средним потоком (внезапные стратосферные потепления, стратосферные васцилляции, квази-

двухлетнее колебание зонального потока в тропической стратосфере, сезонные перестройки циркуляции стратосферы, стратосферно-тропосферное взаимодействие).

Основные признаки проявленности формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Нелинейные процессы и взаимодействия в атмосфере Земли» сведены в таблице.

Этап (уровень) освоения компетенци и*	Планируемые результаты обучения** (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2	3 минимальный	4 базовый	5 продвинутый
Первый этап (уровень) (ОПК-4)	<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</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</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</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>Свободно описывает:</b> -методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы</p>

<p>Первый этап (уровень) <b>(ОПК-5)</b></p>	<p>полученных научных результатов.</p> <p><b>Владеть:</b> - методикой организации проведения численных экспериментов и анализа их результатов.</p> <p><b>Уметь:</b> - подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований; -разрабатывать физико-математические модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Знать:</b> - методику разработки новых физико-математических моделей внутрисезонных колебаний общей</p>	<p>физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов.</p> <p><b>Не владеет:</b> - методикой сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации по теме исследования; - методикой организации проведения численных экспериментов и анализа их результатов.</p> <p><b>Не умеет:</b> - подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований; -разрабатывать численные модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Не знает:</b> - методику разработки новых физико-математических моделей внутрисезонных колебаний</p>	<p>физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов.</p> <p><b>Слабо владеет:</b> - методикой сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации по теме исследования; - методикой организации проведения численных экспериментов и анализа их результатов.</p> <p><b>Затрудняется:</b> - подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований; -разрабатывать численные модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Плохо описывает:</b> - методику разработки новых физико-математических моделей внутрисезонных колебаний</p>	<p>атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов.</p> <p><b>Хорошо владеет:</b> - методикой сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации по теме исследования; - методикой организации проведения численных экспериментов и анализа их результатов.</p> <p><b>Умеет:</b> - подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований; -разрабатывать численные модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Описывает с помощью преподавателя:</b> - методику разработки новых физико-математических моделей</p>	<p>физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов.</p> <p><b>Уверенно владеет:</b> - методикой сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации по теме исследования; - методикой организации проведения численных экспериментов и анализа их результатов.</p> <p><b>Умеет свободно:</b> - подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований; -разрабатывать численные модели и алгоритмы решения задач, связанные с исследованием и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Свободноописывает:</b> - методику разработки новых физико-математических моделей внутрисезонных колебаний</p>
---	---	--	--	---	---

<p>Первый этап (уровень) <b>(ПК-1)</b></p>	<p>циркуляции атмосферы. -методику сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации по теме исследования.</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>общей циркуляции атмосферы. -методику сбора, обработки, анализа и систематизации научно- технической информации по теме исследования.</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</p>	<p>общей циркуляции атмосферы. -методику сбора, обработки, анализа и систематизации научно- технической информации по теме исследования.</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</p>	<p>внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы. -методику сбора, обработки, анализа и систематизации научно- технической информации по теме исследования.</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</p>	<p>общей циркуляции атмосферы. -методику сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации по теме исследования.</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</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</p>	<p>прогностической интерпретации полученных научных результатов; – методику разработки новых 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</p>	<p>прогностической интерпретации полученных научных результатов; – методику разработки новых 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</p>	<p>физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов; – 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</p>	<p>прогностической интерпретации полученных научных результатов; – методику разработки новых 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</p>
--	--	--	---	--	--

	<p>атмосферы.</p> <p><b>Знать:</b> -научное состояние проблемы общей циркуляции атмосферы в целях использования имеющихся достижений для дальнейших исследований и определения нерешенных задач; – методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов; - методику разработки новых физико-математических моделей внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p>	<p>внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Не знает:</b> -научное состояние проблемы общей циркуляции атмосферы в целях использования имеющихся достижений для дальнейших исследований и определения нерешенных задач; – методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов; - методику разработки новых физико-математических моделей внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p>	<p>внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Плохо описывает:</b> -научное состояние проблемы общей циркуляции атмосферы в целях использования имеющихся достижений для дальнейших исследований и определения нерешенных задач; – методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов; - методику разработки новых физико-математических моделей внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p>	<p>внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Описывает с помощью преподавателя:</b> -научное состояние проблемы общей циркуляции атмосферы в целях использования имеющихся достижений для дальнейших исследований и определения нерешенных задач; – методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов; - методику разработки новых физико-математических моделей внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p>	<p>и прогнозом внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p> <p><b>Свободно описывает:</b> -научное состояние проблемы общей циркуляции атмосферы в целях использования имеющихся достижений для дальнейших исследований и определения нерешенных задач; – методы научных исследований в области общей циркуляции атмосферы и способы физической и прогностической интерпретации полученных научных результатов; - методику разработки новых физико-математических моделей внутрисезонных колебаний общей циркуляции атмосферы.</p>
<p><b>Второй этап (уровень) ОК-3</b></p>	<p><b>Владеть:</b> -навыками работы с электронными базами данных; – - методикой построения гидродинамических моделей атмосферы в целом и отдельных атмосферных процессов и</p>	<p><b>Не владеет:</b> -навыками работы с электронными базами данных; – - методикой построения гидродинамических моделей атмосферы в целом</p>	<p><b>Слабовладеет:</b> -навыками работы с электронными базами данных; – - методикой построения гидродинамических моделей атмосферы в целом</p>	<p><b>Слабовладеет:</b> -навыками работы с электронными базами данных; – - методикой построения гидродинамических моделей атмосферы в целом</p>	<p><b>Свободно владеет:</b> -навыками работы с электронными базами данных; – - методикой построения гидродинамических моделей атмосферы в</p>

	явлений; — методикой обработки результатов гидродинамического моделирования; — методами визуализации результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов.	и отдельных атмосферных процессов и явлений; — методикой обработки результатов гидродинамического моделирования; — методами визуализации результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов.	и отдельных атмосферных процессов и явлений; — методикой обработки результатов гидродинамического моделирования; — методами визуализации результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов.	и отдельных атмосферных процессов и явлений; — методикой обработки результатов гидродинамического моделирования; — методами визуализации результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов.	целом и отдельных атмосферных процессов и явлений; — методикой обработки результатов гидродинамического моделирования; — методами визуализации результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов.
--	--	--	--	--	--

#### 4. Структура и содержание 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. Структура дисциплины

Очное обучение

2020 гг. набора

№ 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	Практические занятия	Самост. работа			
<b>1</b>	Среднезональная циркуляция и планетарные волны, вихревые потоки.	<b>1</b>	2	4	10	Вопросы на лекции	2	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
<b>2</b>	Нелинейное взаимодействие волн со средним потоком, поток Элиассена-Пальма.	<b>1</b>	2	4	12	Вопросы на лекции	4	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
<b>3</b>	Выражения для плотности волновой активности по Эндриусу, закон сохранения волновой активности.	<b>1</b>	2	6	10	Вопросы на лекции	2	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2

4	Трехмерный поток волновой активности по Пламбу, стратосферно-тропосферное взаимодействие.	1	2	4	12	Вопросы на лекции	2	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
5	Нелинейные взаимодействия планетарных волн и приливов, генерация вторичных волн.	1	4	4	10	Вопросы на лекции	2	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
6	Проявления нелинейного взаимодействия волн со средним потоком: стратосферные вадцилляции, внезапные стратосферные потепления. Уравнение баланса возмущенной потенциальной энстрофии.	1	6	6	12	Вопросы на лекции	6	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
<b>ИТОГО:</b>			<b>14</b>	<b>28</b>	<b>66</b>		<b>18</b>	
<b>С учётом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена</b>							<b>108 часа</b>	

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### 4.2.1. Среднезональная циркуляция и планетарные волны.

Основные уравнения гидротермодинамики. Зональное осреднение. Уравнения для среднезональных величин и возмущений. Понятие планетарных волн. Волновые (вихревые) потоки тепла и импульса. Метод комплексных амплитуд. Правила усреднение нелинейных слагаемых.

### 4.2.2. Нелинейное взаимодействие волн со средним потоком.

Закон сохранения волнового действия для планетарных волн по Бойду. Поток Элиассена-Пальма. Вторичная циркуляция. Понятие установившейся волны. Теорема нелинейного взаимодействия волн со средним потоком Чарни-Дразина.

### 4.2.3. Явные выражения для плотности волновой активности по Эндрюсу.

Уравнение сохранения плотности волновой активности по Эндрюсу. Выражение для дивергенции потока Элиассена-Пальма через параметры диссипации. Потенциальный вихрь Эртеля. Понятие потенциальной энстрофии.

### 4.2.4. Трехмерный поток волновой активности по Пламбу.

Поток волновой активности для возмущений среднезонального состояния (без разделения возмущений на зональные гармоники). Связь трехмерного потока волновой активности с потоком Эльяссена-Пальма. Стратосферно-тропосферное взаимодействие.

#### 4.2.5. Нелинейные взаимодействия глобальных волн.

Взаимодействие волн при наличии квадратичной нелинейности. Вторичные гармоники и комбинационные частоты. Взаимодействие нормальных атмосферных мод и приливов со стационарными планетарными волнами. Немигрирующие приливы.

#### 4.2.6. Проявления нелинейного взаимодействия волн со средним потоком.

Стратосферные ацилляции. Внезапные стратосферные потепления. Генерация нормальных атмосферных мод за счет нелинейного взаимодействия волн со средним потоком. Закон сохранения возмущенной потенциальной энтропии. Изменчивость весенней перестройки циркуляции стратосферы, связь сроков перестройки с активностью планетарных волн. Климатическая изменчивость динамических процессов в стратосфере.

### 4.3. Практические занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование работ	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Вывод правил осреднения для произведения возмущенных величин.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
2	2	Преобразование прогностических уравнений для горизонтальных составляющих скорости и температуры к дивергентной форме с использованием уравнения неразрывности. Вывод уравнения сохранения волнового действия по Бойду.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
3	3	Вывод выражений для плотности волновой активности и дивергенции потока Эльяссена-Пальма по Эндрюсу.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
4	4	Расчет трехмерного потока волновой активности по данным реанализа MERRA2. Построение графиков с использованием пакета VMO GrADS.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
5	5	Вывод соотношений для комбинационных частот и волновых чисел вторичных гармоник при наличии квадратичной нелинейности.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2

6	6	Вывод выражений, описывающих нелинейное взаимодействие первичных волн в уравнении баланса возмущенной потенциальной энтропии.	Практическая работа	ОК-3 ОПК-4 ОПК-5 ПК-1 ПК-2
---	---	---	---------------------	--

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**

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

**Вопросы для собеседования:**

#### *Раздел 1. Среднезональная циркуляция и планетарные волны.*

1. Основные уравнения гидротермодинамики.
2. Понятие планетарных волн.
3. Волновые (вихревые) потоки тепла и импульса.

#### **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, предоставленные преподавателем презентации лекций. Освоение материалов и выполнение практических работ проходит при регулярных консультациях с преподавателем, для чего предоставлена возможность использовать удаленный доступ (Интернет).

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

**Перечень вопросов к экзамену:**

1. Что такое среднезональная циркуляция?
2. Определение планетарных волн.
3. Что такое вихревые потоки?
4. Что такое волновое действие? Закон сохранения волнового действия.

5. Поток Элиассена-Пальма (ЭП). Интерпретация дивергенции потока ЭП.
6. Закон сохранения волновой активности. Терма неускорения Чарни-Дразина.
7. Трехмерный поток волновой активности Пламба. Стратосферно-тропосферное взаимодействие.
8. Генерация вторичных волн за счет нелинейного взаимодействия первичных волн.
9. Комбинационные частоты и волновые числа.
10. Стратосферные асцилляции и внезапные стратосферные потепления.
11. Уравнение баланса возмущенной потенциальной энтропии.
12. Закон сохранения потенциального вихря Эртеля.
13. Тенденции в современных моделях атмосферных процессов.
14. Вывести правило усреднения для произведения возмущенных величин в методе комплексных амплитуд.
15. Закон сохранения волнового действия. Формулировка теоремы о невзаимодействии волн со средним потоком.
16. Явные выражения для плотности волновой активности. Потенциальный вихрь Эртеля в случае отказа от квазигеострофического приближения.
17. Связь трехмерного потока волновой активности с потоком Эляссена-Пальма.
18. Вторичные волны, комбинационные частоты.
19. В чем преимущество использования метода комплексных амплитуд при рассмотрении нелинейных взаимодействий?
20. Что характеризует дивергенция потока Эляссена-Пальма?
21. Что определяет знак плотности волновой активности для планетарных волн?
22. Что характеризует вертикальная составляющая потока волновой активности?
23. Какие вторичные волны генерируются при нелинейном взаимодействии мигрирующих приливов со стационарными планетарными волнами?
24. Что такое возмущение потенциальной энтропии.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) 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. – URL: [http://lib.rshu.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=351](http://lib.rshu.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=351)

### б) дополнительная литература:

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



9. 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.
10. Holton J. R., Mass C. Stratospheric vacillation cycles//J. Atmos. Sci.- 1976.- V.33.- P. 2218-2225.
11. Hoskins B.J. and I.N. James Fluid dynamics of the midlatitude atmosphere.-John Wiley & Sons, Ltd. 2014. P. 432.
12. Pogoreltsev A.I., Savenkova E.N., Aniskina O.G., Ermakova T.S., Chen W., Wei K., 2015: Interannual and intraseasonal variability of stratospheric dynamics and stratosphere-troposphere coupling during northern winter// J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 136, Part B, 187-200, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2015.08.008>.

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

1. Электронный ресурс. Данные ре-анализов NASA: <http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/>
2. Электронный ресурс. Данные ре-анализов NASA: [http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/documents/MERRA\\_File\\_Specification.pdf](http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/documents/MERRA_File_Specification.pdf)
3. Электронный ресурс. Данные ре-анализов UKMETOFFICE <http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-assim>
4. Электронный ресурс. Данные ре-анализов UKMETOFFICE <http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind>
5. Использование сайта лаборатории моделирования средней и верхней атмосферы и кафедры метеорологических прогнозов: <http://ra.rshu.ru>, <http://ra.rshu.ru/mp>.

**г) программное обеспечение**

windows7 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(свободнораспространяемоепрограммнообеспечение).

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 системаЗнаниум. Режим доступа: <http://znanium.com>

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
<b>Лекции</b> (разделы №1-6)	<p>Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины.</p> <p>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.</p> <p>Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции, на консультации, или с использованием удаленного доступа через Интернет</p>
<b>Практические занятия</b> (разделы №1-6)	<p>Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины.</p> <p>Конспектирование источников.</p> <p>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.</p>
<b>Подготовка к зачету</b>	<p>При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к зачету и т.д.</p>

## 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	<p><u>информационные технологии</u></p> <p>1. чтение лекций с использованием слайд-презентаций,</p> <p>2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты</p> <p>3. использование архивов данных, ассимилированных в модель UKMetOffice и MERRA2, пакет прикладных программ, предназначенных для анализа и диагностики волновых процессов и нелинейных взаимодействий в атмосфере.</p> <p><u>образовательные технологии</u></p> <p>1. интерактивное взаимодействие педагога и студента</p> <p>2. сочетание индивидуального и</p>	<p>1. Пакет MicrosoftExcel, PowerPoint.</p> <p>2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн<a href="http://elib.rshu.ru">http://elib.rshu.ru</a></p> <p>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></p> <p>4. Данные ре-анализов NASA: <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/document_s/MERRA_File_Specification.pdf">http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/document_s/MERRA_File_Specification.pdf</a></p> <p>6. Данные ре-анализов UKMETOFFICE<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 UKMETOFFICE<a href="http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind">http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind</a></p>

	коллективного обучения	<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.