

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

Кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа по дисциплине

Линейная теория атмосферных волн

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования программы бакалавриата по направлению
подготовки

05.03.05 «Прикладная гидрометеорология»

Направленность (профиль):
Прикладная метеорология

Квалификация:
Бакалавр


Форма обучения
Очная/Заочная

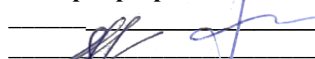
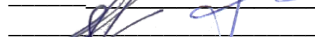
Согласовано
Руководитель ОПОП
«Прикладная метеорология»

 Волобуева О.В.

Утверждаю
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением
Учебно-методического совета
22 октября 2019 г., протокол №2

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры
19 сентября 2019 г., протокол №2
Зав. кафедрой  Дробжева Я.В.

Авторы-разработчики:
 Погорельцев А.И.
 Ермакова Т.С.

Санкт-Петербург 2019

Составили:

А.И. Погорельцев, д. ф.-м.н., профессор кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ,
Т.С. Ермакова, к.ф.-м.н., доцент кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ.

© А.И.Погорельцев, Т.С.Ермакова, 2019
© РГГМУ, 2019.

1. Цели освоения дисциплины

Цель дисциплины «Линейная теория атмосферных волн» – формирование у студентов комплекса научных знаний о свойствах и характерных особенностях волновых процессов, протекающих в атмосфере Земли, а также о современных методах моделирования их генерации, распространения, диагностики и анализа.

Основная задача дисциплины связана с изучением и освоением студентами: основных уравнений и математического аппарата, используемых для описания и диагностики волновых движений; основных характеристик и классификацию атмосферных волн, их роли в формировании общей циркуляции и термической структуры атмосферы; методов анализа процессов генерации и распространения волновых возмущений.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Линейная теория атмосферных волн» для направления подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология по профилю подготовки «Прикладная метеорология» относится к дисциплинам по выбору обучающегося.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Математика», «Вычислительная математика», «Физика», «Механика жидкостей и газа», «Физика атмосферы», «Синоптическая метеорология», «Динамическая метеорология».

Параллельно с дисциплиной «Линейная теория атмосферных волн» изучаются такие дисциплины, как: «Численные методы математического моделирования», «Ассимиляция гидродинамических данных», «Тропическая метеорология».

Дисциплина «Линейная теория атмосферных волн» может быть использована при подготовке и написании выпускной квалификационной работы.

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
ОК-5	Способность к самообразованию, саморазвитию и самоконтролю, приобретению новых знаний, повышению своей квалификации.
ОПК-1	Способность представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики.
ОПК-3	Способность анализировать и интерпретировать данные натурных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования.
ПК-3	Способность прогнозировать основные параметры атмосферы, океана и вод суши на основе проведенного анализа имеющейся информации.
ППК-1	Умение решать, реализовывать на практике и анализировать результаты решения гидрометеорологических задач

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Линейная теория атмосферных волн» обучающийся должен:

Знать:

различные формы записи уравнений гидротермодинамики и основы векторной алгебры; понятие адиабатического приближения и основные адиабатические инварианты (термодинамические - энтропия, потенциальная температура и динамический - потенциальный вихрь Эртеля); закон сохранения вихревого заряда (вихревой субстанции) Обухова; физическую и математическую постановки задачи о разделении атмосферных движений на среднюю (фоновую) и волновую (возмущения) составляющие; методы возмущений и комплексных амплитуд, правила осреднения нелинейных слагаемых с использованием метода комплексных амплитуд; линейную теорию атмосферных волн на примере внутренних гравитационных волн (ВГВ): фазовая и групповая скорости, дисперсионное соотношение, поляризационные соотношения, плотность волновой энергии, потоки волновой энергии, волновые потоки тепла и импульса, закон сохранения волнового действия; теорию собственных колебаний атмосферы (приливное уравнение Лапласа, уравнение вертикальной структуры, нормальные атмосферные моды), классификация глобальных атмосферных волн.

Уметь:

применять математический аппарат 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); использовать методы теории возмущений, комплексных амплитуд и правила осреднения нелинейных членов при получении уравнений, описывающих законы сохранения волновой энергии и волнового действия, взаимодействие волн со средним потоком; интерпретировать результаты, полученные при решении уравнения вертикальной структуры ВГВ с использованием метода возмущений (ВКБ) и/или с помощью численного моделирования.

Владеть:

методами векторной алгебры и тензорного анализа, методом комплексных амплитуд, методами математического анализа дифференциальных уравнений, методом возмущений (ВКБ) решение задачи о вертикальной структуре волн в плавно меняющихся средах), методами численного решения граничных задач (суперпозиции и аналитической факторизации – прогонки) и методом построения функции Грина дифференциального оператора.

Кроме этого, бакалавр **должен иметь представление** об основных физических явлениях и волновых процессах, наблюдаемых в атмосфере Земли: проявление нелинейного взаимодействия планетарных волн со средним потоком (внезапные стратосферные потепления, стратосферные васцилляции, квази-двухлетнее колебание зонального потока в тропической стратосфере); ограничение амплитуды ВГВ за счет развития конвективной неустойчивости на высотах мезосферы и нижней термосферы, их воздействия на общую циркуляцию атмосферы на этих высотах; затухание атмосферных волн и их трансформация в температурные и вязкие волны на высотах термосферы за счет процессов молекулярной вязкости и теплопроводности, а также ионного трения.

Основные признаки освоения формируемых компетенций в результате изучения дисциплины «Линейная теория атмосферных волн» сведены в таблице.

Соответствие уровней освоения компетенцией планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенции	Основные признаки освоения компетенцией (описание уровня)				
	1.	2.	3.	4.	5.
минимальный	не владеет	слабо ориентируется в терминологии и содержании	Способен выделить основные идеи текста, работает с критической литературой	Владеет основными навыками работы с источниками и критической литературой	Способен дать собственную критическую оценку изучаемого материала
	не умеет	не выделяет основные идеи	Способен показать основную идею в развитии	Способен представить ключевую проблему в ее связи с другими процессами	Может соотнести основные идеи с современными проблемами
	не знает	допускает грубые ошибки	Знает основные рабочие категории, однако не ориентируется в их специфике	Понимает специфику основных рабочих категорий	Способен выделить характерный авторский подход
базовый	не владеет	плохо ориентируется в терминологии и содержании	Владеет приемами поиска и систематизации, но не способен свободно изложить материал	Свободно излагает материал, однако не демонстрирует навыков сравнения основных идей и концепций	Способен сравнивать концепции, аргументированно излагает материал
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит проблем	Выделяет конкретную проблему, однако излишне упрощает ее	Способен выделить и сравнить концепции, но испытывает сложности с их практической привязкой	Аргументированно проводит сравнение концепций по заданной проблематике
	не знает	допускает много ошибок	Может изложить основные рабочие категории	Знает основные отличия концепций в заданной проблемной области	Способен выделить специфику концепций в заданной проблемной области
продвинутый	не владеет	ориентируется в терминологии и содержании	В общих чертах понимает основную идею, однако плохо связывает ее с существующей проблематикой	Видит источники современных проблем в заданной области анализа, владеет подходами к их решению	Способен грамотно обосновать собственную позицию относительно решения современных проблем в заданной области
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит их в развитии	Может понять практическое назначение основной идеи, но затрудняется выявить ее основания	Выявляет основания заданной области анализа, понимает ее практическую ценность, однако испытывает затруднения в описании сложных объектов анализа	Свободно ориентируется в заданной области анализа. Понимает ее основания и умеет выделить практическое значение заданной области
	не знает	допускает ошибки при выделении рабочей области анализа	Способен изложить основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа	Знает основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа, способен их сопоставить	Может дать критический анализ современным проблемам в заданной области анализа

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часа.

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения 2019 набора	Заочная форма обучения 2019 гг. набора
Общая трудоёмкость дисциплины	108 часа	
Контактная работа обучающихся с преподавателями (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	42	10
в том числе:		
лекции	28	4
практические занятия	14	6
семинарские занятия	-	-
Самостоятельная работа (СРС)	66	134
– всего:		
в том числе:		
курсовая работа	-	-
контрольная работа	-	+
Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)	Экзамен	Экзамен

4.1. Структура дисциплины

Очное обучение
2019 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	Семинары Лаборат. Практика	Самост. работа				
1	Особенности гидродинамики геофизических течений, тождества векторной алгебры. Уравнения гидротермодинамики. Энергетика атмосферных движений. Уравнения Фридмана и Гельмгольца.	8	4	2	10	Вопросы на лекции	0	ОК-2 ОК-3 ОК-5	
2	Потенциальный вихрь Эртеля, закон сохранения вихревого заряда.	8	4	2	10	Вопросы на лекции	2	ОК-5 ОПК-1 ОПК-3	
3	Уравнение вертикальной структуры ВГВ, дисперсионное соотношение, групповая скорость,	8	4	2	10	Вопросы на лекции	3	ОПК-3 ПК-3 ППК-1	

	поляризационные соотношения.							
4	Теория возмущений и метод комплексных амплитуд. Применение метода возмущений для нахождения решения о вертикальной структуре ВГВ в плавно меняющейся среде (ВКБ решение).	8	4	2	10	Вопросы на лекции	4	ОК-5 ОПК-3 ПК-3 ППК-1
5	Уравнение баланса волновой энергии для ВГВ, закон сохранения волнового действия.	8	4	2	10	Вопросы на лекции	4	ОК-5 ОПК-3 ППК-1
6	Получение решения о вертикальной структуре ВГВ с помощью численного моделирования, учет молекулярной вязкости и теплопроводности.	8	4	2	10	Вопросы на лекции	4	ОК-5 ОПК-3 ППК-1
7	Линейная теория глобальных атмосферных волн, приливное уравнение Лапласа, классификация, нормальные атмосферные моды.	8	4	2	6	Вопросы на лекции	3	ОК-5 ОПК-3 ППК-1
ИТОГО:			28	14	66		22	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена						108 часа		

Заочное обучение
2019 г. набора

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Курс	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.				Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час.	Формируемые компетенции
			Лекции	Семинары Лаборат. Практика	Самост. работа				
1	Особенности гидродинамики геофизических течений, тождества векторной алгебры. Уравнения гидротермодинамики. Энергетика атмосферных движений. Уравнения Фридриха и Гельмгольца.	5	2	0	14	Собеседование	0	ОК-2 ОК-3 ОК-5	
2	Потенциальный вихрь Эртеля, закон сохранения вихревого заряда.	5	0	2	14	Собеседование	0	ОК-2 ОПК-1	

3	Уравнение вертикальной структуры ВГВ, дисперсионное соотношение, групповая скорость, поляризационные соотношения.	5	0	0	14	Собеседование	0	ОК-5 ОПК-1 ОПК-3
4	Теория возмущений и метод комплексных амплитуд. Применение метода возмущений для нахождения решения о вертикальной структуре ВГВ в плавно меняющейся среде (ВКБ решение).	5	0	2	14	Собеседование	0	ОК-5 ОПК-1 ОПК-3
5	Уравнение баланса волновой энергии для ВГВ, закон сохранения волнового действия.	5	0	0	14	Собеседование	0	ОК-5 ОПК-1 ОПК-3
6	Получение решения о вертикальной структуре ВГВ с помощью численного моделирования, учет молекулярной вязкости и теплопроводности.	5	2	0	14	Собеседование	0	ОК-5 ОПК-3 ОПК-5
7	Линейная теория глобальных атмосферных волн, приливное уравнение Лапласа, классификация, нормальные атмосферные моды.	5	0	2	16	Собеседование	0	ОПК-3 ПК-3 ППК-1
ИТОГО:			4	8	100		1	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдачи экзамена						108 часа		

4.2. Содержание разделов дисциплины

4.2.1 Особенности гидродинамики геофизических течений, тождества векторной алгебры . Уравнения гидротермодинамики . Энергетика атмосферных движений . Уравнения Фридмана и Гельмгольца

Стратифицированная среда, энтропия и потенциальная температура, статическая стабильность, конвективная неустойчивость, гравитационные волны, баротропность и бароклинность, вращение, сила Кориолиса, волны Россби, сила Лоренца.

Векторы и действия над ними, скалярное и векторное произведения, линейное преобразование, понятие тензора, скалярное поле и градиент, векторное поле и силовые линии, потенциальные векторные поля, понятия циркуляции, дивергенции и вихря, теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса, соотношения векторной алгебры.

Гидродинамическая группа. Уравнение движения в форме Эйлера, массовые и объемные силы, потенциальные и инерционные силы, сила тяжести и Кориолиса, «примитивные» уравнения, гидростатическое и геострофическое приближения, сила внутреннего трения (вязкости) и сила Лоренца, тензор вязких напряжений, закон Ома для ионосферной плазмы, проводимости Педерсена и Холла, ионное трение, магнитное закручивание. Уравнение неразрывности, понятия несжимаемости и соленидальности.

Термодинамическая группа. Уравнение притока тепла, энтропия и потенциальная температура, теплопроводность, неадиабатические притоки тепла, нагрев за счет диссипации механической энергии, адиабатическое приближение. Уравнение состояния идеального газа Менделеева-Клапейрона.

Уравнение баланса механической энергии, обусловленный вязкостью поток механической энергии, тензор сухого (ионного) трения, потери механической энергии за счет вязкой диссипации и трения.

Уравнение баланса внутренней энергии, притоки тепла за счет диссипации механической энергии и теплопроводности, изменение внутренней энергии за счет работы, затрачиваемой на расширение или сжатие, переходы механической энергии во внутреннюю и обратно.

Уравнения баланса полной, потенциальной и кинетической энергии, адиабатические процессы взаимного преобразования кинетической и потенциальной энергии.

Функция Экслера, удельная энтальпия, уравнение движения в форме Громеки-Лэмба, функция Бернулли, уравнение трансформации вихря скорости (Фридмана), гельмгольциан, «укороченный» гельмгольциан, уравнение Гельмгольца, понятие «вмороженности» векторного поля в движущуюся жидкость. Тождество, описывающее изменение со временем скалярного произведения произвольного вектора на градиент произвольной скалярной функции, отнесенного к плотности жидкости.

4.2.2 Потенциальный вихрь Эртеля, сохранение вихревого заряда

Общий вид уравнения баланса скалярной и/или векторной величины, понятие консервативной величины, гидродинамические или лагранжевы инварианты, адиабатическое приближение, инварианты адиабатического движения, формулировка и доказательство теоремы Эртеля на основе полученного в предыдущем разделе тождества, потенциальный вихрь Эртеля, уравнение трансформации потенциального вихря Эртеля при наличии потенциальных сил или нарушении условия адиабатичности.

Закон сохранения вихревого заряда или «потенциальной вихревой субстанции» Обухова, получение приближенного выражения для потенциального вихря Эртеля в сферической системе координат.

Гармонические (монохроматические) колебания и плоские волны, временной и пространственный профиль волны, волновое число, круговая частота и фазовая скорость, длина волны и период, амплитуда, полная и начальная фазы волны, волновое уравнение.

Комплексная амплитуда гармонической волны, формула Эйлера, волновое уравнение Гельмгольца, правила осреднения нелинейных по амплитуде волны выражений, использование метода комплексных амплитуд при рассмотрении нелинейных функций.

4.2.3 Уравнение вертикальной структуры ВГВ

Вывод уравнения вертикальной структуры ВГВ. Сведение уравнения вертикальной структуры к нормальному виду. Фундаментальные решения. Внутренние и внешние волны. Классификация волн на основе дисперсионного соотношения, влияние сдвига доплера на вертикальную структуру ВГВ, определение групповой скорости волны на основе дисперсионного соотношений.

4.2.4 Применение метода возмущений для нахождения решения о вертикальной структуре ВГВ

Понятие плавно меняющейся среды, введение малого безразмерного параметра, принцип работы метода возмущений. Построение ВКБ решения, его интерпретация.

4.2.5 Уравнение баланса волновой энергии для ВГВ, закон сохранения волнового действия

Уравнения баланса кинетической, упругой и термобарической энергии возмущений, взаимное превращение различных составляющих волновой энергии, волновой поток энергии, выбор знака перед вертикальным волновым числом на основе энергетических соображений (знака потока волновой энергии), понятие групповой скорости, разность знаков вертикальных составляющих фазовой и групповой скоростей. Вывод закона сохранения волнового действия в среде со сдвигом фонового ветра.

4.2.6 Получение решения о вертикальной структуре ВГВ с помощью численного моделирования

Знакомство с методами решения граничных задач: метод аналитической факторизации (прогонки) и метод построения функции Грина). Освоение программы расчета вертикальной структуры ВГВ для простейшего случая изотермической безветренной атмосферы. Знакомство с программой расчетов вертикальной структуры ВГВ при учете фонового ветра и процессов молекулярной теплопроводности и вязкости.

4.2.7 Линейная теория глобальных атмосферных волн, классификация, нормальные атмосферные моды

Приливный оператор Лапласа, функции Хафа, параметр Лэмба и эквивалентная глубина, атмосферные моды, классификация глобальных атмосферных волн на основе дисперсионных кривых, гравитационные и инерционные моды, волны Кельвина и Янаи. Уравнение вертикальной структуры, вынужденные и свободные решения, внутренние и внешние волны, собственные колебания атмосферы, нормальные атмосферные моды, волны Лэмба, нижнее граничное условие в геометрической и лог-изобарической системах координат.

4.3. Семинарские, практические, лабораторные занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
-------	----------------------	----------------------	------------------	-------------------------

Отформатированная таблица

1	1	Скалярные и векторные поля, дифференциальные характеристики полей.	Практическая работа	ОК-2, ОК-3 ОК-5
2	2	Динамическая группа уравнений. Сила внутреннего трения и сила Лоренца.	Практическая работа	ОК-5 ОПК-1
3	2	Вязкая диссипация механической энергии, тензор вязких напряжений.	Практическая работа	ОК-5 ОПК-1
4	3	Вывод уравнений баланса различных составляющих энергии.	Практическая работа	ОК-5, ОПК-1 ОПК-5
5	4	Уравнение Фридмана, гельмольциан, уравнение Гельмгольца.	Практическая работа	ОК-5, ОПК-1 ОПК-5
6	5	Теорема сохранения потенциального вихря Эртеля. полученная на основании тождества для оператора Гельмгольца.	Практическая работа	ОК-5, ОПК-3 ОПК-5 ППК-1
7	2	Комплексное число, понятие комплексной амплитуды, правила осреднения нелинейных слагаемых.	Практическая работа	ОК-5, ОПК-3 ОПК-5 ППК-1
8	5	Вывод уравнения баланса волновой энергии для ВГВ. Закон сохранения волнового действия.	Практическая работа	ОК-5, ОПК-1 ОПК-5 ППК-1
9	6	Вывод уравнения вертикальной структуры ВГВ, ВКБ решение.	Практическая работа	ОК-5, ОПК-1 ОПК-5, ППК-1
10	6	Освоение программы расчета вертикальной структуры ВГВ методом аналитической факторизации.	Практическая работа	ОК-5, ОПК-1 ОПК-5, ППК-1
11	7	Знакомство с программой расчеты собственных значений приливного оператора Лапласа и функций Хафа.	Практическая работа	ОК-5, ОПК-1 ОПК-5, ППК-1

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 для собеседования:

1. В чем заключаются особенности геофизической гидродинамики?
2. Какие типы волн существуют в атмосфере Земли?
3. К каким эффектам приводит учет силы Лоренца в уравнении движения нейтрального газа?
4. Какие преимущества использование лог-изобарической системы координат?
5. При рассмотрении каких задач можно использовать адиабатическое приближение?
6. К каким эффектам приводит учет вязкости и теплопроводности?
7. Формулировка теоремы сохранения потенциального вихря Эртеля?
8. Какие типы глобальных атмосферных волн известны?
9. Что описывает приливный оператор Лапласа?
10. Что такое собственные колебания атмосферы?

11. Как можно классифицировать волновые возмущения на основе анализа уравнения вертикальной структуры?
12. Что характеризуют фазовая и групповая скорости?
13. Дать определения дисперсионного соотношения и поляризационных соотношений для ВГВ.
14. Какие типы волновой энергии существуют?

5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы

В течение семестра студент обязан самостоятельно проработать 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. Особенности гидродинамики природных течений жидкости (стратификация, вращение, бароклинность, сила Лоренца).
2. Классификация атмосферных волн (планетарные волны, атмосферные приливы, внутренние гравитационные и акустические волны). Собственные колебания атмосферы (нормальные моды).
3. Векторы и действия над ними, скалярное и векторное произведения. Линейное преобразование, понятие тензора. Скалярное поле и градиент.
4. Сила внутреннего трения и сила Лоренца (к каким эффектам приводит учет вязкости и электромагнитной силы).
5. Векторное поле, понятия циркуляции, дивергенции и вихря, теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса, соотношения векторной алгебры.
6. Переходы механической энергии во внутреннюю и обратно. Уравнения баланса полной, потенциальной и кинетической энергии.
7. Уравнения динамической группы. Приближенные («примитивные») уравнения (какие приближения сделаны). Лог-изобарическая система координат (в чем преимущества).
8. Линейная теория глобальных атмосферных волн. Приливное уравнение Лапласа.
9. Уравнения термодинамической группы. Понятие потенциальной температуры, связь с энтропией.
10. Эквивалентная глубина и параметр Лэмба. Уравнение вертикальной структуры, внутренние и внешние волны.
11. Уравнение механической энергии. Уравнение внутренней энергии.
12. Классификация глобальных атмосферных волн на основе дисперсионных кривых (зависимости собственных значений приливного оператора Лапласа от частоты).
13. Уравнения Фридмана и Гельмгольца.
14. Гармонические колебания и волны (основные понятия).
15. Тождество, описывающее изменение со временем скалярного произведения произвольного вектора на градиент произвольной скалярной функции, отнесенного к плотности жидкости.
16. Волновое уравнение. Фазовая и групповая скорости.
17. Сохранение потенциального вихря Эртеля (вывод на основе тождества, содержащего оператор Гельмгольца).

18. Уравнение сохранения энергии в лог-изобарической системе. Энтальпия, доступная потенциальная энергия.
19. Теорема о сохранении вихревого заряда в сжимаемой жидкости (альтернативный вывод теоремы Эртеля).
20. Метод комплексных амплитуд. Правила осреднения нелинейных (квадратичных) по амплитуде волны слагаемых.
21. Возмущения среднезонального состояния атмосферы. Вихревые потоки тепла и импульса.
22. ВКБ решение для распространения ВГВ в плавно изменяющейся среде (коротковолновое приближение).
23. Лагранжевы инварианты. Адиабатическое приближение.
24. Уравнение вертикальной структуры для внутренних гравитационных волн (ВГВ).
25. Понятие установившейся волны, линеаризация уравнений для возмущений среднезонального состояния.
26. Метод аналитической факторизации (реализация для решения уравнения вертикальной структуры ВГВ).
27. Уравнение баланса волновой энергии ВГВ, определение групповой скорости на основе энергетических соотношений.
28. Метод решения граничных задач путем построения функции Грина.
29. Дисперсионное и поляризационные соотношения для ВГВ. Определение групповой скорости на основе дисперсионного соотношения.
30. Построение функции Грина для уравнения вертикальной структуры ВГВ.
31. Функции Хафа, параметр Лэмба и эквивалентная глубина, атмосферные моды.
32. Закон сохранения волнового действия для внутренних гравитационных волн.
33. Функция Эклера, удельная энтальпия, уравнение движения в форме Громеки-Лэмба, функция Бернулли.
34. Решение граничных задач методом аналитической факторизации (прогонки).

Образцы билетов к экзамену:

Экзаменационный билет № 5
 Российский Государственный Гидрометеорологический Университет
 Кафедра Метеорологических прогнозов
 Курс Линейная теория атмосферных волн

1. Уравнения термодинамической группы. Понятие потенциальной температуры, связь с энтропией.
2. Эквивалентная глубина и параметр Лэмба. Уравнение вертикальной структуры, внутренние и внешние волны.

Зав. кафедрой _____ Я.В. Дробжева
 Экзаменационный билет № 13
 Российский Государственный Гидрометеорологический Университет
 Кафедра Метеорологических прогнозов
 Курс Линейная теория атмосферных волн

1. Понятие установившейся волны, линеаризация уравнений для возмущений среднезонального состояния.
2. Метод аналитической факторизации (реализация для решения уравнения вертикальной структуры ВГВ).

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.

б) дополнительная литература:

1. Госсард Э.Э., Хук У.Х. Волны в атмосфере.- М.: Мир. 1978, 532 с. http://нэб.рф/catalog/000199_000009_008690790
2. Бидлингмайер Е.Р., Ивановский А.И., Погорельцев А.И. Формирование вертикальной структуры акустико-гравитационных волн процессами молекулярной вязкости и теплопроводности//Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1990, Т. 26, № 7, С. 682-692.
3. Бидлингмайер Е.Р., Погорельцев А.И. Численное моделирование трансформации акустико-гравитационных волн в температурные и вязкие волны в атмосфере//Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 1992, Т. 28, № 1, С. 64-74.
4. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости.- М.: Мир, 1973.
5. Дикий Л.А. Теория колебаний земной атмосферы.- Л.: Гидрометеиздат. 1969. 196 с.
6. Динамика погоды (под редакцией С. Манабе).- Л.: Гидрометеиздат. 1988. 424 с.
7. Динамика климата (под редакцией С. Манабе).- Л.: Гидрометеиздат. 1988. 424 с.
8. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начало тензорного исчисления, изд. АН СССР, 1961.
9. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I, II.-М.: Физматгиз. 1963. 584 с.
10. Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере (под редакцией Б. Хоскина и Р. Пирса).- М.: Мир. 1988. 432 с.
11. Курганский М.В. Введение в крупномасштабную динамику атмосферы (адиабатические инварианты и их применение).- Санкт-Петербург: Гидрометеиздат. 1993. 168 с.
12. Монин А.С. Теоретические основы геофизической гидродинамики.- Л.: Гидрометеиздат. 1988. 424 с.
13. На Ц. Вычислительные методы решения прикладных граничных задач.- М.: Мир. 1982. 296 с.
14. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы.- Л.: Гидрометеиздат. 1988. 414 с.
15. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика.- Т. 1,2.- М.: Мир. 1984. 816 с.
16. Погорельцев А.И., Перцев Н.Н. Влияние фонового ветра на формирование структуры акустико-гравитационных волн в термосфере// Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 1995, Т. 31, № 6, С. 755-760.
17. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений.- М.: Мир. 1980. 280 с.
18. Холтон Дж.Р. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы.- Л.: Гидрометеиздат. 1979. 224 с.
19. V.J. Hoskins & I.N. James Fluid dynamics of the midlatitude atmosphere.-John Wiley & Sons, Ltd. 2014. P. 432.

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
3. Электронный ресурс. Данные ре-анализов UK MET OFFICE
<http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-assim>
4. Электронный ресурс. Данные ре-анализов UK MET OFFICE
<http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind>

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий

Организация деятельности студента

- Лекции (темы №1-11)** 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 №1-11)** 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)

Тема (раздел) дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
Темы 1 -11	<u>информационные технологии</u> 1. чтение лекций с использованием слайд-презентаций,	1. Пакет PowerPoint. 2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн http://elib.rshu.ru 3. Использование сайта кафедры

	<p>2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты</p> <p>3. работа с данными ре-анализа <u>образовательные технологии</u></p> <p>1. интерактивное взаимодействие педагога и студента</p> <p>2. сочетание индивидуального и коллективного обучения</p>	<p>метеорологических прогнозов: http://ra.rshu.ru/mps/dwn/apogor/Динамика</p> <p>4. Использование сайта лаборатории моделирования средней и верхней атмосферы: http://ra.rshu.ru</p> <p>5. Данные ре-анализов NASA: http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/</p> <p>6. Данные ре-анализов NASA: http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/documents/MERRA_File_Specification.pdf</p> <p>7. Данные ре-анализов UK MET OFFICE http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-assim</p> <p>8. Данные ре-анализов UK MET OFFICE http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/ind</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.