

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт экологии и природопользования



подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**  
Динамическая метеорология Б1.В.ОД.7

Направление подготовки: 05.03.04 - Гидрометеорология

Профиль подготовки: Метеорология

Квалификация выпускника: академический бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Гурьянов В.В.

**Рецензент(ы):**

Переведенцев Ю.П.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Переведенцев Ю. П.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" 201\_\_\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института экологии и природопользования:

Протокол заседания УМК № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" 201\_\_\_\_ г

Регистрационный № 2125914

Казань

2014

## **Содержание**

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Гурьянов В.В. кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы отделение природопользования ,  
Vladimir.Guryanov@kpfu.ru

## 1. Цели освоения дисциплины

формирование у студентов знаний об основных законах сохранения в сплошных средах и их применению к динамике атмосферы, ознакомление с теорией движения атмосферы Земли, основанной на законах сохранения.

## 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ОД.7 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 05.03.04 Гидрометеорология и относится к обязательные дисциплины. Осваивается на 3 курсе, 5, 6 семестры.

Дисциплина относится к Профессиональному циклу (Б3.В.2).

Динамическая метеорология базируется на таких фундаментальных науках, как физика, математика и гидромеханика. На основе общих физических законов сохранения, а также знаний, полученных в курсах физики, гидромеханики, общей метеорологии и математики формулируется система дифференциальных уравнений, описывающих широкий спектр термодинамических и динамических процессов в атмосфере, которая решается аналитически и численно при определенных граничных и начальных условиях. Знания, полученные по динамической метеорологии, используются в синоптической метеорологии, гидродинамических прогнозах, климатологии, экологии и охраны атмосферы, а также в ряде дисциплин, формирующих специализации (взаимодействие атмосферы и океана, моделирование атмосферных процессов и т. д.).

Дисциплина изучается на 3 курсе в 5 и 6 семестрах.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	владением базовыми знаниями фундаментальных разделов физики, химии, биологии в объеме, необходимом для освоения физических, химических и биологических основ в гидрометеорологии

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

фундаментальные уравнения сохранения, на которых базируется теоретическое изучение динамики атмосферных процессов; основные характеристики и инварианты, используемые при теоретическом изучении атмосферы; основные типы гидродинамической неустойчивости, определяющие динамику атмосферных процессов разного масштаба. Обладать теоретическими знаниями в области динамики и термодинамики атмосферы.

2. должен уметь:

Ориентироваться во всем многообразии пространственных и временных масштабов динамических процессов, происходящих в атмосфере.

3. должен владеть:

навыками, необходимыми для понимания современной литературы по вопросам динамики атмосферы, и участия в работах по изучению динамики атмосферы.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Владеть основными компетенциями

#### **4. Структура и содержание дисциплины/ модуля**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных(ые) единиц(ы) 252 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 5 семестре; экзамен в 6 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### **4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю**

##### **Тематический план дисциплины/модуля**

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение. Основные уравнения гидротермодинамики.	5	1	1	0	2	
2.	Тема 2. Термодинамические процессы в сухом воздухе. Первое начало термодинамики.	5	2	1	0	3	устный опрос
3.	Тема 3. Условия статической устойчивости атмосферы. Энергия неустойчивости. Уровень термической конвекции.	5	3	1	0	3	устный опрос
4.	Тема 4. Термодинамические процессы во влажном воздухе. Уравнение состояния реальных газов и фазовые переходы.	5	4	1	0	3	устный опрос
5.	Тема 5. Второе начало термодинамики. Условия равновесия фаз.	5	5	1	0	3	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
6.	Тема 6. Основные понятия и законы излучения. Рассеяние света. Оптические свойства поверхностей. Контур спектральной линии.	5	6	1	0	3	устный опрос
7.	Тема 7. Уравнения переноса радиации. Интегрирование уравнений переноса в разных спектральных областях.	5	7	1	0	3	устный опрос
8.	Тема 8. Уравнения переноса длинноволновой радиации.	5	8	1	0	3	устный опрос
9.	Тема 9. Уравнения переноса коротковолновой радиации в атмосфере.	5	9	1	0	3	устный опрос
10.	Тема 10. Перенос радиации в облаках и туманах. Радиационный баланс.	5	10	1	0	3	контрольная работа
11.	Тема 11. Лучистый теплообмен и теория климата.	5	11	1	0	3	устный опрос
12.	Тема 12. Уравнения гидротермодинамики для турбулентной атмосферы. Турбулентный характер атмосферных движений и его математическое описание.	5	12	1	0	3	устный опрос
13.	Тема 13. Уравнения гидротермодинамики для осредненных величин.	5	13	1	0	3	устный опрос
14.	Тема 14. Замыкание системы уравнений гидротермодинамики.	5	14	1	0	3	устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
15.	Тема 15. Пограничный слой атмосферы. Система уравнений для пограничного слоя атмосферы.	5	15	1	0	3	устный опрос
16.	Тема 16. Планетарный пограничный слой (ППС) и приземный подслой. Вертикальные профили метеорологических величин.	5	16	1	0	3	устный опрос
17.	Тема 17. Малопараметрические модели ППС с априорным профилем коэффициента турбулентности.	5	17	1	0	3	устный опрос
18.	Тема 18. Вертикальные движения на верхней границе ППС. Влияние бароклинности на ППС. Нелинейная модель ППС.	5	18	1	0	2	контрольная работа
19.	Тема 19. Крупномасштабные движения в свободной атмосфере. Уравнение движения для свободной атмосферы и их линеаризация.	6	1	2	0	2	устный опрос
20.	Тема 20. Градиентный и геострофический ветер. Особенности динамики экваториальной атмосферы.	6	2	2	0	2	устный опрос
21.	Тема 21. Изменение геострофического ветра с высотой. Термический ветер.	6	3	2	0	2	устный опрос
22.	Тема 22. Агеострофический ветер.	6	4	2	0	2	устный опрос
23.	Тема 23. Поверхности раздела в атмосфере.	6	5	2	0	2	устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
24.	Тема 24. Основные свойства поверхностей раздела. Наклон поверхности раздела к горизонту.	6	6	2	0	2	устный опрос
25.	Тема 25. Параметры и типы волновых движений. Метод малых возмущений и его применение.	6	7	2	0	2	устный опрос
26.	Тема 26. Акустические и гравитационные волны.	6	8	2	0	2	контрольная работа
27.	Тема 27. Крупномасштабные стационарные и нестационарные волны Адаптация полей давления и ветра.	6	9	2	0	2	устный опрос
28.	Тема 28. Взаимодействие волн со средним потоком.	6	10	2	0	2	устный опрос
29.	Тема 29. Основные формы и преобразования энергии в атмосфере. Баланс энергии единичной массы и вертикального столба атмосферы.	6	11	2	0	2	устный опрос
30.	Тема 30. Доступная потенциальная энергия. Энергетический баланс глобальной атмосферы.	6	12	1	0	2	устный опрос
31.	Тема 31. Зональная и вихревая энергия. Диаграмма Лоренца.	6	13	2	0	2	устный опрос
32.	Тема 32. Гидродинамическая неустойчивость. Формулировка задачи о неустойчивости. Потенциальная завихренность. Бароклинная неустойчивость.	6	14	1	0	4	устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
33.	Тема 33. Баротропная неустойчивость. Блокирующие ситуации в атмосфере.	6	15	1	0	4	устный опрос
34.	Тема 34. Неустойчивость течений с горизонтальным и вертикальным сдвигами ветра.	6	16	1	0	2	контрольная работа
.	Тема . Итоговая форма контроля	5		0	0	0	экзамен
.	Тема . Итоговая форма контроля	6		0	0	0	экзамен
	Итого			46	0	88	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение. Основные уравнения гидротермодинамики.

#### лекционное занятие (1 часа(ов)):

Атмосфера как сплошная среда. Общая формулировка уравнения баланса в интегральной форме. Общая формулировка уравнения баланса в дивергентной форме. Уравнение неразрывности (частная производная плотности по времени). Уравнение неразрывности (полная производная плотности по времени). Уравнение неразрывности для несжимаемой атмосферы. Уравнения движения в тензорном виде. Уравнение баланса внутренней энергии. Уравнение состояния сухого воздуха. Система уравнений гидротермодинамики.

#### лабораторная работа (2 часа(ов)):

Система уравнений гидротермодинамики. Уравнения движения в тензорном виде и по осям координат. Уравнение баланса внутренней энергии. Уравнение состояния сухого воздуха.

### Тема 2. Термодинамические процессы в сухом воздухе. Первое начало термодинамики.

#### лекционное занятие (1 часа(ов)):

Уравнения первого начала термодинамики для идеальных газов Квазистатический процесс. Связь между термодинамическими характеристиками при заданном притоке тепла.

Политропические процессы. Адиабатический процесс. Потенциальная температура.

Изменение температуры перемещающейся по вертикали массы сухого воздуха.

Сухоадиабатический градиент. Изменение температуры перемещающейся по вертикали массы сухого воздуха при политропическом процессе. Изменение с высотой потенциальной температуры.

#### лабораторная работа (3 часа(ов)):

Уравнения первого начала термодинамики для идеальных газов Уравнения первого начала термодинамики для идеальных газов для изобарических процессов. Уравнения первого начала термодинамики для идеальных газов (изохорический процесс).

### Тема 3. Условия статической устойчивости атмосферы. Энергия неустойчивости.

#### Уровень термической конвекции.

#### лекционное занятие (1 часа(ов)):

**Состояния статической устойчивости атмосферы. Условия статической устойчивости атмосферы. Условия статической устойчивости атмосферы в терминах потенциальной температуры. Уровень термической конвекции (уровень выравнивания температур). Уровень термической конвекции (уровень обращения в нуль вертикальной скорости). Энергия неустойчивости.**

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Условия статической устойчивости атмосферы. Уровень термической конвекции (уровень выравнивания температур). Уровень термической конвекции (уровень обращения в нуль вертикальной скорости). Энергия неустойчивости.

**Тема 4. Термодинамические процессы во влажном воздухе. Уравнение состояния реальных газов и фазовые переходы.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Основные характеристики влажного воздуха и соотношения между ними. Уравнение состояния реальных газов и фазовые переходы при фиксированной температуре. Критическая точка и уравнение Ван-дер-Ваальса в универсальном виде. Уравнение состояния реальных газов в вириальной форме.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Основные характеристики влажного воздуха и соотношения между ними.

**Тема 5. Второе начало термодинамики. Условия равновесия фаз.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Основные положения второго начала термодинамики . Совместная запись I и II начала термодинамики. Применение II начала термодинамики к системе атмосфера-океан-суша. Термодинамические флуктуации. Статистический смысл энтропии. Второе начало термодинамики и условия устойчивости атмосферы. Условие равновесия фаз.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Условие равновесия фаз. Тройная точка.

**Тема 6. Основные понятия и законы излучения. Рассеяние света. Оптические свойства поверхностей. Контур спектральной линии.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Основные характеристики радиации. Закон Ламберта-Буге. Характеристики ослабления и излучения радиации. Полное термодинамическое равновесие. Закон Кирхгофа. Закон Планка. Закон смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана. Локальное термодинамическое равновесие. Рассеяние света. Релеевское рассеяние. Рассеяние света на крупных частицах. Оптические свойства поверхностей. Оптические свойства естественных подстилающих поверхностей и облаков. Контур спектральной линии. Зависимость коэффициентов поглощения от давления и температуры. Эффект Форбса. Излучение Солнца и Земли и его преобразование в различных спектральных областях.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Основные характеристики радиации.

**Тема 7. Уравнения переноса радиации. Интегрирование уравнений переноса в разных спектральных областях.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Уравнения переноса восходящей и нисходящей радиации.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Уравнения переноса восходящей и нисходящей радиации.

**Тема 8. Уравнения переноса длинноволновой радиации.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Уравнения переноса длинноволновой радиации в атмосфере. Граничные условия в задаче переноса длинноволновой радиации в атмосфере. Интегрирование уравнений переноса длинноволновой радиации в неизлучающей атмосфере. Интегрирование уравнений переноса длинноволновой радиации в излучающей атмосфере. Решение уравнения переноса нисходящей длинноволновой радиации. Функции пропускания длинноволновой радиации.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Функции пропускания длинноволновой радиации. Расчет потоков лучистой энергии в атмосфере (длинноволновая радиация).

**Тема 9. Уравнения переноса коротковолновой радиации в атмосфере.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Уравнения переноса коротковолновой радиации в атмосфере. Граничные условия в задаче переноса коротковолновой радиации в атмосфере. Уравнение переноса прямой солнечной радиации. Интегрирование уравнения переноса прямой солнечной радиации. Функции пропускания прямой солнечной радиации. Уравнения переноса рассеянной солнечной радиации в безоблачной атмосфере. Интегрирование уравнения переноса восходящей рассеянной радиации в безоблачной атмосфере. Интегрирование уравнения переноса нисходящей рассеянной радиации в безоблачной атмосфере.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Функции пропускания прямой солнечной радиации.

**Тема 10. Перенос радиации в облаках и туманах. Радиационный баланс.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Перенос радиации в облаках и туманах. Радиационный баланс на произвольном уровне в атмосфере. Радиационное изменение температуры.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Радиационный баланс на произвольном уровне в атмосфере.

**Тема 11. Лучистый теплообмен и теория климата.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Вертикальный профиль температуры при лучистом равновесии атмосферы. Скачок температуры вблизи земной поверхности при лучистом равновесии.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Вертикальный профиль температуры при лучистом равновесии атмосферы.

**Тема 12. Уравнения гидротермодинамики для турбулентной атмосферы. Турбулентный характер атмосферных движений и его математическое описание.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Понятие о турбулентности. Критерий возникновения турбулентности О. Рейнольдса.

Теоретический подход к проблеме возникновения турбулентности. Теория устойчивости ламинарных течений Ландау. Зависимость числа Рейнольдса от пространственного масштаба атмосферных движений. Энергетический подход к исследованию условий существования турбулентного режима.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Зависимость числа Рейнольдса от пространственного масштаба атмосферных движений.

**Тема 13. Уравнения гидротермодинамики для осредненных величин.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Эргодическая гипотеза. Сглаживание турбулентных пульсаций. Правила осреднения. Общее уравнение баланса для осредненных величин. Модель турбулентного обмена Прандтля. Связь вертикальных турбулентных потоков с осредненными полями. Связь турбулентных потоков с осредненными полями для трехмерного потока. Общее уравнение баланса для турбулентной атмосферы. Уравнение неразрывности для осредненных величин. Общее уравнение баланса с учетом уравнения неразрывности. Уравнение диффузии примеси. Уравнение баланса влажности для турбулентной атмосферы. Уравнения движения для турбулентной атмосферы. Уравнение притока тепла для турбулентной атмосферы.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Уравнение притока тепла для турбулентной атмосферы.

**Тема 14. Замыкание системы уравнений гидротермодинамики.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Кинетическая энергия турбулентных пульсаций. Общее уравнение баланса. Приращение кинетической энергии турбулентности за счет кинетической энергии среднего движения. Приращение кинетической энергии турбулентности за счет работы сил плавучести. Уравнение баланса кинетической энергии турбулентных пульсаций.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Кинетическая энергия турбулентных пульсаций.

**Тема 15. Пограничный слой атмосферы. Система уравнений для пограничного слоя атмосферы.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Пограничный слой атмосферы (определение, основные свойства). Структура пограничного слоя атмосферы. Уравнения движения для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя. Уравнение баланса энергии турбулентности для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя. Коэффициент турбулентности и диссипация энергии турбулентности как функции характерного размера турбулентных пульсаций и кинетической энергии турбулентности. Уравнение притока тепла для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя. Уравнение притока влаги для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя. Уравнение для определения характерного размера турбулентных пульсаций. Система уравнений для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Коэффициент турбулентности и диссипация энергии турбулентности как функции характерного размера турбулентных пульсаций и кинетической энергии турбулентности.

**Тема 16. Планетарный пограничный слой (ППС) и приземный подслой. Вертикальные профили метеорологических величин.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Уравнение движения для приземного слоя атмосферы. Уравнение притока тепла для приземного слоя атмосферы. Уравнение притока влаги для приземного слоя атмосферы. Уравнение баланса энергии турбулентности для приземного слоя. Система уравнений и граничные условия для приземного слоя атмосферы. Определение коэффициента турбулентности в приземном слое на основе анализа размерностей. Устойчивость в приземном слое атмосферы. Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы при безразличной стратификации. Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы при стратификации, близкой к безразличной. Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы при свободной конвекции. Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы при предельно устойчивой стратификации.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы

**Тема 17. Малопараметрические модели ППС с априорным профилем коэффициента турбулентности.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Уравнения движения для пограничного слоя . Определение высоты пограничного слоя атмосферы. Профиль ветра в пограничном слое атмосферы (спираль Экмана). Влияние турбулентности и широты на вертикальный профиль ветра . Угол отклонения ветра от геострофического в пограничном слое атмосферы

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Профиль ветра в пограничном слое атмосферы (спираль Экмана).

**Тема 18. Вертикальные движения на верхней границе ППС. Влияние бароклинности на ППС. Нелинейная модель ППС.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Вертикальные движения на верхней границе ППС. Влияние бароклинности на ППС.  
Нелинейная модель ППС

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Вертикальные движения на верхней границе ППС.

**Тема 19. Крупномасштабные движения в свободной атмосфере. Уравнение движения для свободной атмосферы и их линеаризация.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Особенности динамики свободной атмосферы. Уравнения движения свободной атмосферы в декартовой системе координат. Уравнения движения свободной атмосферы в цилиндрической системе координат. Уравнения движения в поле изобар, близких к окружностям.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Уравнения движения в поле изобар, близких к окружностям.

**Тема 20. Градиентный и геострофический ветер. Особенности динамики экваториальной атмосферы.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Градиентный ветер. Ограничения скорости ветра при чисто круговых изобарах.  
Геострофический ветер. Особенности динамики экваториальной атмосферы. Определение геострофического ветра по полю геопотенциала.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Градиентный ветер. Геострофический ветер.

**Тема 21. Изменение геострофического ветра с высотой. Термический ветер.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Термический ветер как приращение вектора геострофического ветра в слое. Термический ветер (зависимость от горизонтального градиента температуры). Изменение ветра с высотой в зависимости от горизонтальных градиентов давления и температуры в слое. Геострофическая адвекция температуры (оценка локальных изменений температуры по изменению направления геострофического ветра с высотой). Геострофическая адвекция температуры (оценка локальных изменений температуры по данным о градиентах давления и температуры).

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Термический ветер (зависимость от горизонтального градиента температуры).

**Тема 22. Агеострофический ветер.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Отклонение ветра от геострофического. Влияние агеострофических отклонений на развитие вертикальных движений.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Отклонение ветра от геострофического.

**Тема 23. Поверхности раздела в атмосфере.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Поверхности раздела в атмосфере. Нерегулярности атмосферной структуры. Поверхности разрыва.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Поверхности раздела в атмосфере.

**Тема 24. Основные свойства поверхностей раздела. Наклон поверхности раздела к горизонту.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Общие свойства поверхностей раздела. Поверхность разрыва давления. Динамические и кинематические условия на поверхности раздела. Наклон поверхности раздела двух воздушных масс (общий случай). Наклон поверхности раздела двух воздушных масс при геострофических условиях. Порядок величины тангенса угла наклона поверхности раздела. Особенности полей давления и ветра в районе фронта.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Наклон поверхности раздела двух воздушных масс

**Тема 25. Параметры и типы волновых движений. Метод малых возмущений и его применение.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Параметры волн. Дисперсионное соотношение и групповая скорость волн. Полная система уравнений гидротермодинамики в форме Навье-Стокса. Система уравнений гидротермодинамики для турбулентной атмосферы. Примитивная форма уравнений для изучения волновых движений. Линеаризация примитивной формы уравнений.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Параметры волн.

**Тема 26. Акустические и гравитационные волны.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Акустические и гравитационные волны

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Акустические и гравитационные волны

**Тема 27. Крупномасштабные стационарные и нестационарные волны Адаптация полей давления и ветра.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Волны Россби в движущейся атмосфере. Стационарные волны Россби.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Волны Россби в движущейся атмосфере. Стационарные волны Россби.

**Тема 28. Взаимодействие волн со средним потоком.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Взаимодействие волн со средним потоком.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Взаимодействие волн со средним потоком.

**Тема 29. Основные формы и преобразования энергии в атмосфере. Баланс энергии единичной массы и вертикального столба атмосферы.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Основные формы энергии в атмосфере (для единицы массы). Основные преобразования энергии в атмосфере. Полная потенциальная энергия. Уравнения преобразования энергии в декартовой системе координат. Уравнения преобразования энергии в изобарической системе координат. Уравнения преобразования кинетической и полной потенциальной энергии для всей атмосферы. Ограничения на суммарный приток тепла к атмосфере.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Основные формы энергии в атмосфере

**Тема 30. Доступная потенциальная энергия. Энергетический баланс глобальной атмосферы.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Определение доступной потенциальной энергии. Основной энергетический цикл атмосферы. Генерация доступной потенциальной энергии.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Основной энергетический цикл атмосферы.

**Тема 31. Зональная и вихревая энергия. Диаграмма Лоренца.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Зональная и вихревая энергия. Диаграмма Лоренца

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Зональная и вихревая энергия. Диаграмма Лоренца

**Тема 32. Гидродинамическая неустойчивость. Формулировка задачи о неустойчивости. Потенциальная завихренность. Бароклинная неустойчивость.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Гидродинамическая неустойчивость. Формулировка задачи о неустойчивости. Потенциальная завихренность. Бароклинная неустойчивость

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Бароклинная неустойчивость

**Тема 33. Баротропная неустойчивость. Блокирующие ситуации в атмосфере.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Баротропная неустойчивость. Блокирующие ситуации в атмосфере.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Баротропная неустойчивость. Блокирующие ситуации в атмосфере.

**Тема 34. Неустойчивость течений с горизонтальным и вертикальным сдвигами ветра.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Неустойчивость течений с горизонтальным и вертикальным сдвигами ветра.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Неустойчивость течений с горизонтальным и вертикальным сдвигами ветра.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Введение. Основные уравнения гидротермодинамики.	5	1	ПОДГОТОВКА К УСТНОМУ ОПРОСУ	2	Устный опрос
2.	Тема 2. Термодинамические процессы в сухом воздухе. Первое начало термодинамики.	5	2	ПОДГОТОВКА К УСТНОМУ ОПРОСУ	2	Устный опрос
3.	Тема 3. Условия статической устойчивости атмосферы. Энергия неустойчивости. Уровень термической конвекции.	5	3	ПОДГОТОВКА К УСТНОМУ ОПРОСУ	2	Устный опрос
4.	Тема 4. Термодинамические процессы во влажном воздухе. Уравнение состояния реальных газов и фазовые переходы.	5	4	ПОДГОТОВКА К УСТНОМУ ОПРОСУ	2	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Второе начало термодинамики. Условия равновесия фаз.	5	5	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
6.	Тема 6. Основные понятия и законы излучения. Рассеяние света. Оптические свойства поверхностей. Контур спектральной линии.	5	6	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
7.	Тема 7. Уравнения переноса радиации. Интегрирование уравнений переноса в разных спектральных областях.	5	7	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
8.	Тема 8. Уравнения переноса длинноволновой радиации.	5	8	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
9.	Тема 9. Уравнения переноса коротковолновой радиации в атмосфере.	5	9	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
10.	Тема 10. Перенос радиации в облаках и туманах. Радиационный баланс.	5	10	подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
11.	Тема 11. Лучистый теплообмен и теория климата.	5	11	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
12.	Тема 12. Уравнения гидротермодинамики для турбулентной атмосферы. Турбулентный характер атмосферных движений и его математическое описание.	5	12	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
13.	Тема 13. Уравнения гидротермодинамики для осредненных величин.	5	13	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
14.	Тема 14. Замыкание системы уравнений гидротермодинамики.	5	14	подготовка к устному опросу	2	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
15.	Тема 15. Пограничный слой атмосферы. Система уравнений для пограничного слоя атмосферы.	5	15	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
16.	Тема 16. Планетарный пограничный слой (ППС) и приземный подслой. Вертикальные профили метеорологических величин.	5	16	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
17.	Тема 17. Малопараметрические модели ППС с априорным профилем коэффициента турбулентности.	5	17	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
18.	Тема 18. Вертикальные движения на верхней границе ППС. Влияние бароклинности на ППС. Нелинейная модель ППС.	5	18	подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
24.	Тема 24. Основные свойства поверхностей раздела. Наклон поверхности раздела к горизонту.	6	6	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
26.	Тема 26. Акустические и гравитационные волны.	6	8	подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
28.	Тема 28. Взаимодействие волн со средним потоком.	6	10	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
32.	Тема 32. Гидродинамическая неустойчивость. Формулировка задачи о неустойчивости. Потенциальная завихренность. Бароклинная неустойчивость.	6	14	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
Итого					46	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Использование компьютерных симуляций (численного моделирования).

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Введение. Основные уравнения гидротермодинамики.**

устный опрос, примерные вопросы:

Общая формулировка уравнения баланса. Уравнения движения сплошной среды. Уравнения движения в форме Навье-Стокса. Уравнение неразрывности. Уравнение баланса внутренней энергии. Уравнение состояния сухого воздуха.

### **Тема 2. Термодинамические процессы в сухом воздухе. Первое начало термодинамики.**

устный опрос , примерные вопросы:

Политропические процессы. Адиабатический процесс. Потенциальная температура.

Изменение температуры перемещающейся по вертикали массы сухого воздуха.

Сухоадиабатический градиент

### **Тема 3. Условия статической устойчивости атмосферы. Энергия неустойчивости.**

#### **Уровень термической конвекции.**

устный опрос , примерные вопросы:

Состояния статической устойчивости атмосферы. Условия статической устойчивости атмосферы. Условия статической устойчивости атмосферы в терминах потенциальной температуры.

### **Тема 4. Термодинамические процессы во влажном воздухе. Уравнение состояния реальных газов и фазовые переходы.**

устный опрос , примерные вопросы:

Основные характеристики влажного воздуха и соотношения между ними. Уравнение состояния реальных газов и фазовые переходы при фиксированной температуре. Критическая точка и уравнение Ван-дер-Ваальса в универсальном виде.

### **Тема 5. Второе начало термодинамики. Условия равновесия фаз.**

устный опрос, примерные вопросы:

Понятие энтропии. Изолированные, замкнутые и открытые системы. Второе начало термодинамики. Формулировка Клаузиуса. Термодинамический потенциал. Химический потенциал. Условия равновесия фаз.

### **Тема 6. Основные понятия и законы излучения. Рассеяние света. Оптические свойства поверхностей. Контур спектральной линии.**

устный опрос , примерные вопросы:

Основные характеристики радиации. Закон Ламберта-Буге. Характеристики ослабления и излучения радиации.

### **Тема 7. Уравнения переноса радиации. Интегрирование уравнений переноса в разных спектральных областях.**

устный опрос , примерные вопросы:

Уравнения переноса восходящей и нисходящей радиации. Интегрирование уравнений переноса в длинноволновой области. Интегрирование уравнений переноса в коротковолновой области.

### **Тема 8. Уравнения переноса длинноволновой радиации.**

устный опрос , примерные вопросы:

Уравнения переноса длинноволновой радиации в атмосфере. Граничные условия в задаче переноса длинноволновой радиации в атмосфере. Интегрирование уравнений переноса длинноволновой радиации в неизлучающей атмосфере. Интегрирование уравнений переноса длинноволновой радиации в излучающей атмосфере. Решение уравнения переноса нисходящей длинноволновой радиации. Функции пропускания длинноволновой радиации.

### **Тема 9. Уравнения переноса коротковолновой радиации в атмосфере.**

устный опрос , примерные вопросы:

Уравнения переноса коротковолновой радиации в атмосфере. Граничные условия в задаче переноса коротковолновой радиации в атмосфере. Уравнение переноса прямой солнечной радиации.

### **Тема 10. Перенос радиации в облаках и туманах. Радиационный баланс.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Уравнение движения по оси х. Уравнение движения по оси у. Уравнение неразрывности. Уравнения первого начала термодинамики для идеальных газов (изохорический процесс). Уравнения первого начала термодинамики для идеальных газов (изобарический процесс). Политропические процессы. Адиабатический процесс. Сухоадиабатический градиент. Потенциальная температура. Изменение с высотой потенциальной температуры. Условия статической устойчивости атмосферы. Условия статической устойчивости атмосферы в терминах потенциальной температуры. Уровень термической конвекции (уровень выравнивания температур). Уровень термической конвекции (уровень обращения в нуль вертикальной скорости). Энергия неустойчивости. Основные характеристики влажного воздуха и соотношения между ними. Уравнение состояния реальных газов. Основные положения второго начала термодинамики . Совместная запись I и II начала термодинамики. Типы термодинамических систем. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона для фазового перехода ?Вода→Пар?. Уровень конденсации.

### **Тема 11. Лучистый теплообмен и теория климата.**

устный опрос , примерные вопросы:

Вертикальный профиль температуры при лучистом равновесии атмосферы. С скачок температуры вблизи земной поверхности при лучистом равновесии.

### **Тема 12. Уравнения гидротермодинамики для турбулентной атмосферы. Турбулентный характер атмосферных движений и его математическое описание.**

устный опрос , примерные вопросы:

Понятие о турбулентности. Критерий возникновения турбулентности О. Рейнольдса. Теоретический подход к проблеме возникновения турбулентности. Теория устойчивости ламинарных течений Ландау. Зависимость числа Рейнольдса от пространственного масштаба атмосферных движений.

### **Тема 13. Уравнения гидротермодинамики для осредненных величин.**

устный опрос , примерные вопросы:

Эргодическая гипотеза. Сглаживание турбулентных пульсаций. Правила осреднения. Общее уравнение баланса для осредненных величин.

### **Тема 14. Замыкание системы уравнений гидротермодинамики.**

устный опрос , примерные вопросы:

Использование методов анализа размерностей для замыкания системы. Кинетическая энергия турбулентных пульсаций. Общее уравнение баланса. Приращение кинетической энергии турбулентности за счет кинетической энергии среднего движения. Приращение кинетической энергии турбулентности за счет работы сил плавучести. Уравнение баланса кинетической энергии турбулентных пульсаций.

### **Тема 15. Пограничный слой атмосферы. Система уравнений для пограничного слоя атмосферы.**

устный опрос , примерные вопросы:

Пограничный слой атмосферы (определение, основные свойства). Структура пограничного слоя атмосферы. Уравнения движения для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя.

### **Тема 16. Планетарный пограничный слой (ППС) и приземный подслой. Вертикальные профили метеорологических величин.**

устный опрос , примерные вопросы:

Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы

## **Тема 17. Малопараметрические модели ППС с априорным профилем коэффициента турбулентности.**

устный опрос , примерные вопросы:

Уравнения движения для пограничного слоя. Определение высоты пограничного слоя атмосферы. Профиль ветра в пограничном слое атмосферы (спираль Экмана). Влияние турбулентности и широты на вертикальный профиль ветра. Угол отклонения ветра от геострофического в пограничном слое атмосферы.

## **Тема 18. Вертикальные движения на верхней границе ППС. Влияние бароклинности на ППС. Нелинейная модель ППС.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Вертикальные движения на верхней границе ППС. Влияние бароклинности на ППС. Нелинейная модель ППС

## **Тема 19. Крупномасштабные движения в свободной атмосфере. Уравнение движения для свободной атмосферы и их линеаризация.**

## **Тема 20. Градиентный и геострофический ветер. Особенности динамики экваториальной атмосферы.**

### **Тема 21. Изменение геострофического ветра с высотой. Термический ветер.**

### **Тема 22. Агеострофический ветер.**

### **Тема 23. Поверхности раздела в атмосфере.**

## **Тема 24. Основные свойства поверхностей раздела. Наклон поверхности раздела к горизонту.**

устный опрос , примерные вопросы:

Общие свойства поверхностей раздела. Поверхность разрыва давления. Динамические и кинематические условия на поверхности раздела. Наклон поверхности раздела двух воздушных масс (общий случай). Наклон поверхности раздела двух воздушных масс при геострофических условиях. Порядок величины тангенса угла наклона поверхности раздела. Особенности полей давления и ветра в районе фронта.

## **Тема 25. Параметры и типы волновых движений. Метод малых возмущений и его применение.**

## **Тема 26. Акустические и гравитационные волны.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Классификация волновых движений в атмосфере. Период инерционных колебаний.

Акустические и гравитационные волны. Параметры акустических волн. Свойства и параметры гравитационных волн.

## **Тема 27. Крупномасштабные стационарные и нестационарные волны Адаптация полей давления и ветра.**

## **Тема 28. Взаимодействие волн со средним потоком.**

устный опрос , примерные вопросы:

Взаимодействие волн со средним потоком. Поток Элиассена-Пальма. Дивергенция потока Элиассена-Пальма.

## **Тема 29. Основные формы и преобразования энергии в атмосфере. Баланс энергии единичной массы и вертикального столба атмосферы.**

## **Тема 30. Доступная потенциальная энергия. Энергетический баланс глобальной атмосферы.**

## **Тема 31. Зональная и вихревая энергия. Диаграмма Лоренца.**

## **Тема 32. Гидродинамическая неустойчивость. Формулировка задачи о неустойчивости. Потенциальная завихренность. Бароклинная неустойчивость.**

устный опрос , примерные вопросы:

Общие сведения о проявлениях неустойчивости атмосферных движений. Виды неустойчивости в атмосфере. Гидродинамическая неустойчивость. Формулировка задачи о неустойчивости.

Потенциальная завихренность. Бароклинная неустойчивость.

**Тема 33. Баротропная неустойчивость. Блокирующие ситуации в атмосфере.**

**Тема 34. Неустойчивость течений с горизонтальным и вертикальным сдвигами ветра.**

**Тема . Итоговая форма контроля**

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Вопросы по курсу Динамическая метеорология

1. Атмосфера как сплошная среда.
2. Общая формулировка уравнения баланса в интегральной форме.
3. Общая формулировка уравнения баланса в дивергентной форме.
4. Уравнение неразрывности (частная производная плотности по времени).
5. Уравнение неразрывности (полная производная плотности по времени).
6. Уравнение неразрывности для несжимаемой атмосферы.
7. Уравнения движения в тензорном виде.
8. Уравнение движения по оси x.
9. Уравнение движения по оси y.
10. Уравнение движения по оси z.
11. Уравнение баланса внутренней энергии.
12. Уравнение состояния сухого воздуха.
13. Система уравнений гидротермодинамики.
14. Уравнения первого начала термодинамики для идеальных газов (изохорический процесс).
15. Квазистатический процесс.
16. Уравнения первого начала термодинамики для идеальных газов (изобарический процесс).
17. Связь между термодинамическими характеристиками при заданном притоке тепла.
18. Политропические процессы.
19. Адиабатический процесс. Потенциальная температура.
20. Изменение температуры перемещающейся по вертикали массы сухого воздуха.
21. Сухоадиабатический градиент.
22. Изменение температуры перемещающейся по вертикали массы сухого воздуха при политропическом процессе.
23. Изменение с высотой потенциальной температуры.
24. Состояния статической устойчивости атмосферы.
25. Условия статической устойчивости атмосферы.
26. Условия статической устойчивости атмосферы в терминах потенциальной температуры.
27. Уровень термической конвекции (уровень выравнивания температур).
28. Уровень термической конвекции (уровень обращения в нуль вертикальной скорости).
29. Энергия неустойчивости.
30. Основные характеристики влажного воздуха и соотношения между ними.
31. Уравнение состояния реальных газов и фазовые переходы при фиксированной температуре.
32. Критическая точка и уравнение Ван-дер-Ваальса в универсальном виде.
33. Уравнение состояния реальных газов в вириальной форме.
34. Основные положения второго начала термодинамики .
35. Совместная запись I и II начала термодинамики.
36. Применение II начала термодинамики к системе атмосфера-океан-суша.
37. Термодинамические флуктуации.
38. Статистический смысл энтропии.

39. Второе начало термодинамики и условия устойчивости атмосферы.
40. Условие равновесия фаз.
41. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона.
42. Кривые равновесия фаз.
43. Нахождение кривых равновесия фаз.
44. Изменение характеристик перемещающейся по вертикали массы влажного воздуха ниже уровня конденсации.
45. Уровень конденсации.
46. Изменение характеристик перемещающейся по вертикали массы влажного воздуха выше уровня конденсации.
47. Основные характеристики радиации.
48. Закон Ламберта-Буге.
49. Характеристики ослабления и излучения радиации.
50. Полное термодинамическое равновесие.
51. Закон Кирхгофа.
52. Закон Планка.
53. Закон смещения Вина.
54. Закон Стефана-Больцмана.
55. Локальное термодинамическое равновесие.
56. Рассеяние света.
57. Релеевское рассеяние.
58. Рассеяние света на крупных частицах.
59. Оптические свойства поверхностей.
60. Оптические свойства естественных подстилающих поверхностей и облаков.
61. Контур спектральной линии.
62. Зависимость коэффициентов поглощения от давления и температуры.
63. Эффект Форбса.
64. Излучение Солнца и Земли и его преобразование в различных спектральных областях.
65. Уравнения переноса радиации.
66. Уравнения переноса длинноволновой радиации в атмосфере.
67. Граничные условия в задаче переноса длинноволновой радиации в атмосфере.
68. Интегрирование уравнений переноса длинноволновой радиации в неизлучающей атмосфере.
69. Интегрирование уравнений переноса длинноволновой радиации в излучающей атмосфере.
70. Решение уравнения переноса нисходящей длинноволновой радиации.
71. Функции пропускания длинноволновой радиации.
72. Уравнения переноса коротковолновой радиации в атмосфере.
73. Граничные условия в задаче переноса коротковолновой радиации в атмосфере.
74. Уравнение переноса прямой солнечной радиации.
75. Интегрирование уравнения переноса прямой солнечной радиации.
76. Функции пропускания прямой солнечной радиации.
77. Уравнения переноса рассеянной солнечной радиации в безоблачной атмосфере.
78. Интегрирование уравнения переноса восходящей рассеянной радиации в безоблачной атмосфере.
79. Интегрирование уравнения переноса нисходящей рассеянной радиации в безоблачной атмосфере.
80. Перенос радиации в облаках и туманах.

81. Радиационный баланс на произвольном уровне в атмосфере.
82. Радиационное изменение температуры.
83. Вертикальный профиль температуры при лучистом равновесии атмосферы.
84. Скачок температуры вблизи земной поверхности при лучистом равновесии.
85. Предмет динамической метеорологии и история ее развития.
86. Расчет потоков лучистой энергии в атмосфере (прямая солнечная радиация).
87. Расчет потоков лучистой энергии в атмосфере (рассеянная солнечная радиация).
88. Расчет потоков лучистой энергии в атмосфере (длинноволновая радиация).
89. Расчет притоков лучистой энергии в атмосфере.
90. Понятие о турбулентности. Критерий возникновения турбулентности О. Рейнольдса.
91. Теоретический подход к проблеме возникновения турбулентности.
92. Теория устойчивости ламинарных течений Ландау.
93. Зависимость числа Рейнольдса от пространственного масштаба атмосферных движений.
94. Энергетический подход к исследованию условий существования турбулентного режима.
95. Эргодическая гипотеза.
96. Сглаживание турбулентных пульсаций.
97. Правила осреднения.
98. Общее уравнение баланса для осредненных величин.
99. Модель турбулентного обмена Прандтля.
100. Связь вертикальных турбулентных потоков с осредненными полями.
101. Связь турбулентных потоков с осредненными полями для трехмерного потока.
102. Общее уравнение баланса для турбулентной атмосферы.
103. Уравнение неразрывности для осредненных величин.
104. Общее уравнение баланса с учетом уравнения неразрывности.
105. Уравнение диффузии примеси.
106. Уравнение баланса влажности для турбулентной атмосферы.
107. Уравнения движения для турбулентной атмосферы.
108. Уравнение притока тепла для турбулентной атмосферы.
109. Кинетическая энергия турбулентных пульсаций. Общее уравнение баланса.
110. Приращение кинетической энергии турбулентности за счет кинетической энергии среднего движения.
111. Приращение кинетической энергии турбулентности за счет работы сил плавучести.
112. Уравнение баланса кинетической энергии турбулентных пульсаций.
113. Упрощение уравнений динамики атмосферы на основе порядков величин метеоэлементов и их производных.
114. Использование анализа размерностей для упрощения уравнений гидротермодинамики атмосферы.
115. Система уравнений гидротермодинамики атмосферы для турбулентной атмосферы.
116. Система уравнений гидротермодинамики атмосферы (уравнения движения атмосферы в форме Навье-Стокса).
117. Пограничный слой атмосферы (определение, основные свойства).
118. Структура пограничного слоя атмосферы.
119. Уравнения движения для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя.
120. Уравнение баланса энергии турбулентности для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя.
121. Коэффициент турбулентности и диссиpация энергии турбулентности как функции характерного размера турбулентных пульсаций и кинетической энергии турбулентности.

122. Уравнение притока тепла для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя.
123. Уравнение притока влаги для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя.
124. Уравнение для определения характерного размера турбулентных пульсаций.
125. Система уравнений для стационарного и горизонтально однородного пограничного слоя.
126. Уравнение движения для приземного слоя атмосферы.
127. Уравнение притока тепла для приземного слоя атмосферы.
128. Уравнение притока влаги для приземного слоя атмосферы.
129. Уравнение баланса энергии турбулентности для приземного слоя.
130. Система уравнений и граничные условия для приземного слоя атмосферы.
131. Определение коэффициента турбулентности в приземном слое на основе анализа размерностей.
132. Устойчивость в приземном слое атмосферы.
133. Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы при безразличной стратификации.
134. Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы при стратификации, близкой к безразличной.
135. Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы при свободной конвекции.
136. Коэффициент турбулентности и вертикальные профили ветра, температуры и влажности в приземном слое атмосферы при предельно устойчивой стратификации.
137. Уравнения движения для пограничного слоя.
138. Определение высоты пограничного слоя атмосферы.
139. Профиль ветра в пограничном слое атмосферы (спираль Экмана).
140. Влияние турбулентности и широты на вертикальный профиль ветра.
141. Угол отклонения ветра от геострофического в пограничном слое атмосферы.
142. Особенности динамики свободной атмосферы. Уравнения движения свободной атмосферы в декартовой системе координат.
143. Уравнения движения свободной атмосферы в цилиндрической системе координат.
144. Уравнения движения в поле изобар, близких к окружностям.
145. Градиентный ветер.
146. Ограничения скорости ветра при чисто круговых изобарах.
147. Геострофический ветер.
148. Особенности динамики экваториальной атмосферы.
149. Определение геострофического ветра по полю геопотенциала.
150. Термический ветер как приращение вектора геострофического ветра в слое.
151. Термический ветер (зависимость от горизонтального градиента температуры).
152. Изменение ветра с высотой в зависимости от горизонтальных градиентов давления и температуры в слое.
153. Геострофическая адвекция температуры (оценка локальных изменений температуры по изменению направления геострофического ветра с высотой).
154. Геострофическая адвекция температуры (оценка локальных изменений температуры по данным о градиентах давления и температуры).
155. Отклонение ветра от геострофического.
156. Влияние агеострофических отклонений на развитие вертикальных движений.
157. Поверхности раздела в атмосфере. Нерегулярности атмосферной структуры.
158. Поверхности разрыва.
159. Общие свойства поверхностей раздела. Поверхность разрыва давления.

160. Динамические и кинематические условия на поверхности раздела.
161. Наклон поверхности раздела двух воздушных масс (общий случай).
162. Наклон поверхности раздела двух воздушных масс при геострофических условиях.
163. Порядок величины тангенса угла наклона поверхности раздела.
164. Особенности полей давления и ветра в районе фронта.
165. Волновые движения в атмосфере и примеры их образования.
166. Устойчивые и неустойчивые волны. Фильтрация волн.
167. Классификация волновых движений.
168. Параметры волн.
169. Дисперсионное соотношение и групповая скорость волн.
170. Полная система уравнений гидротермодинамики в форме Навье-Стокса.
171. Система уравнений гидротермодинамики для турбулентной атмосферы.
172. Примитивная форма уравнений для изучения волновых движений.
173. Линеаризация примитивной формы уравнений. Уравнение движения по оси x.
174. Линеаризация примитивной формы уравнений. Уравнение движения по оси y.
175. Линеаризация примитивной формы уравнений. Уравнение движения по оси z.
176. Линеаризация примитивной формы уравнений. Уравнение неразрывности.
177. Линеаризация примитивной формы уравнений. Уравнение притока тепла.
178. Линеаризованная система уравнений для малых возмущений.
179. Система уравнений для малых возмущений с использованием функции тока и потенциала скорости.
180. Приближение в-плоскости.
181. Параметры системы для малых возмущений. Учет сжимаемости и отклонения от гидростатического равновесия.
182. Пренебрежение в теории малых колебаний нелинейными слагаемыми.
183. Пренебрежение в теории малых колебаний притоком тепла.
184. Пренебрежение в теории малых колебаний вязкостью.
185. Система уравнений для малых колебаний с учетом вращения Земли.
186. Дисперсионное уравнение, фазовая и групповая скорости волн Россби для неподвижной атмосферы.
187. Обобщение исследования волновых движений на случай движущейся атмосферы.
188. Волны Россби в движущейся атмосфере.
189. Стационарные волны Россби.
190. Основные формы энергии в атмосфере (для единицы массы).
191. Основные преобразования энергии в атмосфере.
192. Полная потенциальная энергия.
193. Уравнения преобразования энергии в декартовой системе координат.
194. Уравнения преобразования энергии в изобарической системе координат
195. Уравнения преобразования кинетической и полной потенциальной энергии для всей атмосферы.
196. Ограничения на суммарный приток тепла к атмосфере.
197. Определение доступной потенциальной энергии.
198. Основной энергетический цикл атмосферы.
199. Генерация доступной потенциальной энергии.
200. Гидродинамическая неустойчивость в атмосфере.
201. Баротропная неустойчивость зонального потока.
202. Бароклинная неустойчивость зонального потока.

Примерные экзаменационные билеты (5 семестр)

**Билет ♦ 1**

1. Общее уравнение баланса для турбулентной атмосферы.
2. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона.
3. Интегрирование уравнений переноса длинноволновой радиации в неизлучающей атмосфере.

**Билет ♦ 2**

1. Общая формулировка уравнения баланса в интегральной форме.
2. Статистический смысл энтропии.
3. С скачок температуры вблизи земной поверхности при лучистом равновесии.

**Билет ♦ 3**

1. Общая формулировка уравнения баланса в дивергентной форме.
2. Условия статической устойчивости атмосферы.
3. Вертикальный профиль температуры при лучистом равновесии атмосферы.

**Билет ♦ 4**

1. Уравнение неразрывности для осредненных величин.
2. Энергия неустойчивости.
3. Граничные условия в задаче переноса длинноволновой радиации в атмосфере.

**Билет ♦ 5**

1. Уравнение неразрывности (полная производная плотности по времени).
2. Уравнения первого начала термодинамики для идеальных газов (изобарический процесс).
3. Интегрирование уравнения переноса прямой солнечной радиации.

**Билет ♦ 6**

1. Уравнение неразрывности для несжимаемой атмосферы.
2. Уравнение состояния реальных газов и фазовые переходы при фиксированной температуре.
3. Интегрирование уравнений переноса длинноволновой радиации в излучающей атмосфере.

**Билет ♦ 7**

1. Уравнения движения в тензорном виде.
2. Квазистатический процесс.
3. Уравнение баланса кинетической энергии турбулентных пульсаций.

**Билет ♦ 8**

1. Уравнение движения по оси x.
2. Связь турбулентных потоков с осредненными полями для трехмерного потока.
3. Радиационное изменение температуры.

**Билет ♦ 9**

1. Уравнение движения по оси y.
2. Уровень термической конвекции (уровень обращения в нуль вертикальной скорости).
3. Интегрирование уравнения переноса восходящей рассеянной радиации в безоблачной атмосфере.

**Билет ♦ 10**

1. Уравнение движения по оси z.
2. Правила осреднения.
3. Интегрирование уравнения переноса нисходящей рассеянной радиации в безоблачной атмосфере.

Примерные экзаменационные билеты (6 семестр)

**Билет ♦ 1**

1. Особенности динамики свободной атмосферы.
2. Параметры волн.

3. Генерация доступной потенциальной энергии.

Билет ♦ 2

1. Уравнения движения свободной атмосферы в декартовой системе координат.

2. Поверхности раздела в атмосфере. Нерегулярности атмосферной структуры.

3. Пренебрежение в теории малых колебаний притоком тепла.

Билет ♦ 3

1. Уравнения движения свободной атмосферы в цилиндрической системе координат.

2. Поверхности разрыва.

3. Пренебрежение в теории малых колебаний вязкостью.

Билет ♦ 4

1. Уравнения движения в поле изобар, близких к окружностям.

2. Общие свойства поверхностей раздела. Поверхность разрыва давления.

3. Система уравнений для малых колебаний с учетом вращения Земли.

Билет ♦ 5

1. Градиентный ветер.

2. Динамические и кинематические условия на поверхности раздела.

3. Дисперсионное уравнение, фазовая и групповая скорости волн Россби для неподвижной атмосферы.

Билет ♦ 6

1. Ограничения скорости ветра при чисто круговых изобарах.

2. Волновые движения в атмосфере и примеры их образования.

3. Основные формы энергии в атмосфере (для единицы массы).

Билет ♦ 7

1. Геострофический ветер.

2. Наклон поверхности раздела двух воздушных масс (общий случай).

3. Обобщение исследования волновых движений на случай движущейся атмосферы.

Билет ♦ 8

1. Особенности динамики экваториальной атмосферы.

2. Устойчивые и неустойчивые волны. Фильтрация волн.

3. Основные преобразования энергии в атмосфере.

Билет ♦ 9

1. Определение геострофического ветра по полю геопотенциала.

2. Линеаризация примитивной формы уравнений. Уравнение притока тепла.

3. Полная потенциальная энергия.

Билет ♦ 10

1. Термический ветер как приращение вектора геострофического ветра в слое.

2. Особенности полей давления и ветра в районе фронта.

3. Стационарные волны Россби.

## 7.1. Основная литература:

1. Калинин Н.А. Динамическая метеорология / Н.А. Калинин - Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2009. - 260 с. (фонд кафедры 25 экз.)

2. Пиловец Г. И. Метеорология и климатология: Учебное пособие [Электронный ресурс]/ Г.И. Пиловец. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 399 с.

Режим доступа: //http://znanium.com/bookread.php?book=391608;

3. Климов Г. К. Науки о Земле: Учебное пособие [Электронный ресурс]/ Г.К. Климов, А.И. Климова. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 390 с.

Режим доступа: //http://znanium.com/bookread.php?book=237608.

## **7.2. Дополнительная литература:**

1. Бармасов, А. В. Курс общей физики для природопользователей. Молекулярная физика и термодинамика: учеб. пособие [Электронный ресурс]/ А. В. Бармасов, В. Е. Холмогоров / Под ред. А. П. Бобровского. ? СПб.: БХВ- Петербург, 2009. ? 499 с. Режим доступа: //http://znanium.com/bookread.php?book=349974;

2. Бармасов, А. В. Курс общей физики для природопользователей. Колебания и волны: учеб. пособие / А. В. Бармасов, В. Е. Холмогоров [Электронный ресурс]/ Под ред. А. П. Бобровского. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. ? 256 с. Режим доступа: //http://znanium.com/bookread.php?book=349952;

3. Пинский А. А. Физика.: Учеб. [Электронный ресурс]/ А.А.Пинский, Г.Ю.Граковский; Под общ. ред. проф., д.э.н. Ю.И. Дика, Н.С. Пурышевой - 3-е изд., испр. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 560 с.

4. Экологический мониторинг атмосферы: Учебное пособие [Электронный ресурс]/ И.О. Тихонова, В.В. Тараков, Н.Е. Кручинина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Форум: НИЦ Инфра-М, 2013. - 136 с. :

Режим доступа: //http://znanium.com/bookread.php?book=327080

## **7.3. Интернет-ресурсы:**

MatLab. Руководство для начинающих -

<http://www.chemometrics.ru/materials/textbooks/matlab.htm>

Интегрирование MatLab и Excel - <http://www.chemometrics.ru/materials/textbooks/matlab.htm#Ch3>

Материал из Википедии - <http://ru.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

М-файлы - <http://www.chemometrics.ru/materials/textbooks/matlab.htm#Ch4.1>

Программирование Матлаб(Matlab). - [http://life-prog.ru/view\\_zam.php?id=5&cat=5&page=1](http://life-prog.ru/view_zam.php?id=5&cat=5&page=1)

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Динамическая метеорология" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Компьютеры, мультимедийный проектор и Пакет прикладных программ в среде МАТЛАБ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по специальности: 05.03.04 "Гидрометеорология" и специализации Метеорология .

Автор(ы):

Гурьянов В.В. \_\_\_\_\_  
"\_\_\_" 201 \_\_\_ г.

Рецензент(ы):

Переведенцев Ю.П. \_\_\_\_\_  
"\_\_\_" 201 \_\_\_ г.