

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

Рабочая программа по дисциплине

**ДИНАМИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы бакалавриата по направлению подготовки

**05.03.05 Прикладная гидрометеорология**

Направленность (профиль):  
**Прикладная метеорология**

Квалификация:  
**Бакалавр**

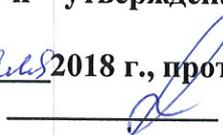
Форма обучения  
**Очная/Заочная**

Согласовано  
Руководитель ОПОП  
«Прикладная метеорология»

 Фокичева А.А.

Утверждаю  
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением  
Учебно-методического совета  
19 июня 2018 г., протокол № 4

Рассмотрена и утверждена на заседании  
кафедры  
15 февраля 2018 г., протокол № 6  
Зав. кафедрой  Кузнецов А.Д.

Автор-разработчик:  
 Егоров К.Л.

Санкт-Петербург 2018

**Составил:**

Егоров К.Л. –доцент кафедры динамики атмосферы и космического земледения  
Российского государственного гидрометеорологического университета.

©К.Л.Егоров, 2018.  
© РГГМУ, 2018.

## 1. Цели освоения дисциплины

Цель дисциплины «Динамическая метеорология» – подготовка бакалавров, владеющих глубокими теоретическими знаниями и практическими навыками в объеме, необходимом для анализа физических взаимосвязей между параметрами изучаемых физических процессов в атмосфере и причинами, их определяющими.

Основные задачи дисциплины «Динамическая метеорология» связана с освоением студентами:

- теоретических основ математического описания различных атмосферных процессов в различных системах координат;
- теоретических принципов упрощения уравнений в задачах по изучению атмосферных явлений с различными характерными масштабами;
- результатов анализа взаимосвязей между параметрами составных элементов сложной структуры воздушных течений в атмосфере и геофизическими факторами;
- практических навыков математического моделирования и решения задач по определению конкретных значений физических параметров в различных метеорологических явлениях.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Динамическая метеорология» для направления подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология по профилю подготовки «Прикладная метеорология» относится к дисциплинам вариативной части цикла.

Для освоения данной дисциплины обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Математика», «Физика», «Информатика», «Вычислительная математика», «Математика (Теория вероятности и математическая статистика)», «Геофизика», «Механика жидкости и газа (геофизическая гидродинамика)», «Физика атмосферы», «Теоретическая механика», «Механика жидкости и газа (гидромеханика)».

Дисциплина «Динамическая метеорология» является базовой для изучения дисциплин «Экология», «Физика облаков», «Контроль загрязнения природной среды», «Линейная теория атмосферных волн», «Численные методы математического моделирования», «Синоптическая метеорология», «Методы зондирования окружающей среды», «Космическая метеорология», «Авиационная метеорология», «Агрометеорология», «Дополнительные главы параметризации физических процессов», «Дополнительные разделы численных методов решения задач гидродинамики».

Знания, полученные в результате изучения дисциплины «Динамическая метеорология», могут быть использованы в производственной практике по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности, в преддипломной практике, а также при подготовке выпускной квалификационной работы бакалавра.

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

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Компетенция
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.

<b>ОПК-3</b>	Способность анализировать и интерпретировать данные натуральных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования.
<b>ПК-2</b>	Способность анализировать явления и процессы, происходящие в природной среде, на основе экспериментальных данных и массивов гидрометеорологической информации, выявлять в них закономерности и отклонения.
<b>ППК-1</b>	Умение решать, реализовывать на практике и анализировать результаты решения гидрометеорологических задач

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Динамическая метеорология» обучающийся должен:

**Знать:**

- причины, приводящие к особенностям проявления основных физических законов в динамических и термических процессах в атмосфере;
- наиболее характерные типы движений в атмосфере, их временную динамику и пространственную структуру;
- взаимосвязи между параметрами наиболее характерных процессов и факторами, их определяющими.

**Уметь:**

- творчески осмысливать физические механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов;
- применить принцип упрощения и выбрать нужную форму уравнений для описания отдельных типов движений;
- объяснить физический механизм и определить условия существования и развития различных атмосферных процессов;
- использовать навыки математического моделирования для решения задачи, связанных с количественными оценками параметров метеорологических процессов, как в рамках аналитических моделей, так и с использованием современной вычислительной техники.

**Владеть:**

- знаниями о перспективных направлениях развития динамической метеорологии и возможностях ее использования при решении основных и прикладных задач;
- навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера.

Основные признаки проявленности формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Динамическая метеорология» сведены в таблице.

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

Этап (уровень) освоения компетенции	Основные признаки проявленности компетенции (дескрипторное 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 часов.

Объем дисциплины	Всего часов		
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения	
	2015, 2016, 2017, 2018 гг. набора	2014 г. набора	2015, 2016, 2017, 2018 гг. набора
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>108 часов</b>		
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателями (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b>	<b>72</b>	<b>10</b>	<b>24</b>
в том числе:			
лекции	<b>36</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
практические занятия	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>14</b>
лабораторные занятия	<b>36</b>		<b>-</b>
семинарские занятия	<b>-</b>		
<b>Самостоятельная работа (СРС) – всего:</b>	<b>36</b>	<b>98</b>	<b>84</b>
в том числе:			
курсовая работа	<b>+</b>		<b>+</b>
контрольная работа	<b>-</b>		<b>-</b>
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)</b>	<b>экзамен</b>		<b>экзамен</b>

#### 4.1. Структура дисциплины

**Очное обучение**  
2015, 2016, 2017, 2018 гг. набора

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час			Форма текущего контроля успеваемости	Занятий в актив. или интерактив. форме	Формируемые компетенции
			Лекции	Лаб. и практич. работы	Самостоятельная работа			
1	Основные уравнения динамики турбулентной атмосферы	5	2	2	0	Вопросы и ответы в баллах	1	ОК-5 ОПК-1
2	Замыкание уравнений турбулентной атмосферы, упрощение системы турбулентной упрощение	5	2	4	2	Вопросы и ответы в баллах	1	ОК-5 ОПК-1

3	Лучистые притоки тепла	5	4	2	0	Вопросы и ответы в баллах	1	ОПК-3
4	Динамика свободной атмосферы	5	4	4	2	Вопросы и ответы в баллах	1	ОПК-3 ПК-2
5	Планетарный пограничный слой (ППС) атмосферы при стационарных и горизонтально-однородных условиях	5	4	4	2	Вопросы и ответы в баллах, контрольное расчетное задание	2	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
6	Приземный слой атмосферы	5	4	4	2	Вопросы и ответы в баллах, контрольное расчетное задание	1	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
7	Нестационарные процессы в пограничном слое атмосферы	5	5	4	2	Вопросы и ответы в баллах, контрольное расчетное задание	1	ОПК-3 ПК-2
8	Метеорологические процессы над горизонтально-неоднородной поверхностью	5	4	4	2	Вопросы и ответы в баллах	1	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
9	Физические принципы гидродинамического прогноза	5	2	2	0	Опрос	1	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
10	Некоторые вопросы энергетики атмосферы	5	2	2	2	Опрос	1	ОПК-1 ОПК-3 ПК-2
11	Динамика циркуляционных систем в атмосфере	5	3	4	4	Вопросы и ответы в баллах	1	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>36</b>	<b>18</b>		<b>12</b>	
С учётом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена (18 часов)		<b>108 часов</b>						

**Заочное обучение**  
2014 г. набора

№ п/п	Раздел дисциплины	курс	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час			Форма текущего контроля успеваемости	Занятий в активной или интеллектуальной форме	Формируемые компетенции	
			Лекции	Лаб. и практич. работы	Самостоятельная работа				
1	Основные уравнения динамики турбулентной атмосферы	4	0,5	0	6	Опрос	0	ОК-5 ОПК-1	
2	Замыкание системы уравнений турбулентной атмосферы, упрощение	4	0,5	0	10	Опрос	0	ОК-5 ОПК-1	
3	Лучистые притоки тепла	4	0	0	8	Опрос	0	ОПК-3	
4	Динамика свободной атмосферы	4	0	0	8	Опрос	0	ОПК-3 ПК-2	
5	Планетарный пограничный слой (ППС) атмосферы при стационарных и горизонтально-однородных условиях	4	1	2	14	Опрос, задание в контрольной работе	1	ОПК-3 ПК-2 ППК-1	
6	Приземный слой атмосферы	4	1	2	11	Опрос, задание в контрольной работе	0	ОПК-3 ПК-2 ППК-1	
7	Нестационарные процессы в пограничном слое атмосферы	4	1	0	8	Опрос, задание в контрольной работе	1	ОПК-3 ПК-2	
8	Метеорологические процессы над горизонтально-неоднородной поверхностью	4	0	2	8	Опрос, задание в контрольной работе	0	ОПК-3 ПК-2 ППК-1	
9	Физические принципы гидродинамического прогноза	4	0	0	4	Опрос	0	ОПК-3 ПК-2 ППК-1	
10	Некоторые вопросы энергетики атмосферы	4	0	0	5	Опрос	0	ОПК-1 ОПК-3 ПК-2	
11	Динамика циркуляционных систем в атмосфере	4	0	0	7	Опрос	0	ОПК-3 ПК-2 ППК-1	
<b>Итого</b>			<b>4</b>	<b>6</b>	<b>89</b>		<b>2</b>		
С учётом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена (9 часов)		<b>108 часов</b>							

**Заочное обучение**  
2015, 2016, 2017, 2018 гг. набора

№ п/п	Раздел дисциплины	курс	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час			Форма текущего контроля успеваемости	Занятий в активной или интеллектуальной форме	Формируемые компетенции
			Лекции	Лаб. и практич. работы	Самостоятельная работа			
1	Основные уравнения динамики турбулентной атмосферы	4	1	0	6	Опрос	0	ОК-5 ОПК-1
2	Замыкание системы уравнений турбулентной атмосферы, упрощение	4	1	0	8	Опрос	0	ОК-5 ОПК-1
3	Лучистые притоки тепла	4	0	0	8	Опрос	0	ОПК-3
4	Динамика свободной атмосферы	4	0	2	8	Опрос	0	ОПК-3 ПК-2
5	Планетарный пограничный слой (ППС) атмосферы при стационарных и горизонтально-однородных условиях	4	2	2	15	Опрос, задание в контрольной работе	1	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
6	Приземный слой атмосферы	4	2	2	6	Опрос, задание в контрольной работе	0	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
7	Нестационарные процессы в пограничном слое атмосферы	4	2	2	6	Опрос, задание в контрольной работе	1	ОПК-3 ПК-2
8	Метеорологические процессы над горизонтально-неоднородной поверхностью	4	0	2	6	Опрос, задание в контрольной работе	0	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
9	Физические принципы гидродинамического прогноза	4	1	2	4	Опрос	0	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
10	Некоторые вопросы энергетики атмосферы	4	0	0	5	Опрос	0	ОПК-1 ОПК-3 ПК-2
11	Динамика циркуляционных систем в атмосфере	4	1	2	3	Опрос	0	ОПК-3 ПК-2 ППК-1
<b>Итого</b>			<b>10</b>	<b>14</b>	<b>75</b>		<b>2</b>	
С учётом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена (9 часов)		<b>108 часов</b>						

## **4.2. Содержание разделов дисциплины**

### **4.2.1 Основные уравнения динамики турбулентной атмосферы**

Силы, действующие в атмосфере. Мгновенные значения метеорологических величин, их средние значения и турбулентные флуктуации. Спектр скорости ветра в приземном слое. Осреднение физических полей и уравнений. Выбор периода осреднения. Уравнения движения, неразрывности, переноса тепла, влаги и другой примеси в атмосфере для мгновенных и средних величин. Эффекты осреднения. Термические эффекты сжатия и расширения в турбулентных вихрях при их вертикальных перемещениях. Критерии статической устойчивости. Турбулентные флуктуации плотности, температуры и давления. Турбулентные потоки и притоки количества движения, тепла, водяного пара и примеси в атмосфере. Критерии статической устойчивости.

### **4.2.2 Замыкание системы уравнений турбулентной атмосферы, упрощение уравнений**

Связь турбулентных потоков с полями средних величин. Гипотезы замыкания полуэмпирической теории турбулентности. Уравнения баланса кинетической энергии среднего движения и энергии турбулентности. Замыкание системы уравнениями для статистических моментов более высокого порядка.

Классификация атмосферных движений, их характерные масштабы. Упрощение уравнений.

### **4.2.3 Лучистые притоки тепла**

Применимость законов теплового излучения к реальной атмосфере. Методы интегрирования уравнений переноса радиации в коротковолновой и длинноволновой областях спектра. Интегральная функция пропускания. Методы расчета лучистых потоков и притоков тепла.

### **4.2.4 Динамика свободной атмосферы**

Движение без ускорения. Эффекты горизонтальной температурной неоднородности. Термический ветер. Геострофическая адвекция температуры, ее связь с изменением направления ветра по высоте. Агеострофические отклонения. Формирование вертикальных движений в свободной атмосфере.

Поверхности раздела в атмосфере, примеры их формирования. Связь наклона поверхности раздела с полями ветра и температуры. Особенности полей ветра и давления в области фронта. Волны Россби в зональном потоке. Стационарные центры действия атмосферы. Неустойчивость волн Россби в зональном потоке.

### **4.2.5 Планетарный пограничный слой атмосферы при стационарных и горизонтально-однородных условиях**

Модели замыкания системы уравнений для ППС. Малопараметрические модели ППС с априорным профилем коэффициента турбулентности. Численные модели пограничного слоя атмосферы. Взаимодействие ППС со свободной атмосферой. Вертикальные скорости на верхней границе ППС.

### **4.2.6 Приземный слой атмосферы**

Приземный подслой (теория подобия и нелинейная модель) и вертикальные профили характеристик турбулентности и метеопараметров при различных типах стратификации в

атмосфере. Определение турбулентных потоков различных субстанций в приземном слое по данным градиентных наблюдений.

#### 4.2.7 Нестационарные процессы в пограничном слое атмосферы

Общая постановка задачи. Суточные колебания метеорологических параметров, модель суточного хода температуры. Непериодические изменения, ночное понижение температуры поверхности почвы.

#### 4.2.8 Метеорологические процессы над горизонтально-неоднородной поверхностью

Внутренние пограничные слои в атмосфере. Трансформация метеорологических характеристик под влиянием изменения свойств подстилающей поверхности. Практические приложения теории трансформации (применение в синоптическом прогнозе, расчет адвективных заморозков и туманов, расчет норм орошения).

#### 4.2.9 Физические принципы гидродинамического прогноза

Изобарическая система координат. Преобразование уравнений в изобарическую систему координат. Уравнения переноса вихря скорости и дивергенции. Баротропный потенциальный вихрь, условие его сохранения. Непериодические изменения давления во времени.

#### 4.2.10 Некоторые вопросы энергетики атмосферы

Основные формы энергии и их взаимные преобразования в атмосфере. Баланс различных видов энергии для единичной массы воздуха и для вертикального столба атмосферы. Соотношение между внутренней и потенциальной энергией в столбе воздуха бесконечной высоты.

Энергетический баланс глобальной атмосферы, скорость генерации и диссипации различных видов энергии.

#### 4.2.11 Динамика циркуляционных систем в атмосфере

Физические факторы, приводящие к изменению циркуляции по жидкому замкнутому контуру. Бароклинная циркуляция. Влияние вращения Земли. Зонально-осредненные уравнения движения и переноса тепла. Баротропная неустойчивость зонального переноса. Особенности переноса воздушных масс в экваториальной зоне.

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

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Анализ размерностей в задачах метеорологии	Выполнение расчетов	ОК-5, ОПК-3 ПК-2
2	2	Гипотезы замыкания в моделях турбулентности	Выполнение расчетов	ОК-5 ПК-2
3	3	Расчет лучистых потоков и притоков тепла	Выполнение расчетов	ОК-5, ОПК-1 ПК-2
4	4	Геострофическая адвекция температуры	Выполнение	ОПК-3, ПК-2

			расчетов	ППК-1
5	4	Термический ветер	Выполнение расчетов	ОПК-3 ПК-2
6	4	Вертикальные движения в свободной атмосфере	Выполнение расчетов	ОПК-3, ПК-2 ППК-1
7	4	Фронтальные поверхности в свободной атмосфере	Выполнение расчетов	ОПК-3, ПК-2 ППК-1
8	5	Спираль Экмана и характеристики турбулентности в пограничном слое	Выполнение расчетов	ОПК-3, ПК-2 ППК-1
9	5	Интегральные характеристики пограничного слоя атмосферы	Выполнение расчетов	ОПК-3 ПК-2
10	6	Вертикальные профили метеоэлементов и турбулентные потоки количества движения, тепла и влаги в приземном слое	Выполнение расчетов	ОК-5 ОПК-3 ПК-2
11	5,6	Расчёт фрикционных вертикальных скоростей	Выполнение расчетов	ПК-2 ППК-1
12	7	Суточные колебания температуры воздуха и ночное понижение температуры поверхности почвы.	Выполнение расчетов	ОПК-1 ПК-2 ППК-1
13	8	Трансформация метеорологических полей в приземном слое. Применение теории трансформации при решении практических задач.	Выполнение расчетов	ОК-5 ОПК-3 ПК-2
14	9	Потенциальный вихрь	Выполнение расчетов	ОПК-3, ПК-3 ПК-2
15	10	Оценки составляющих энергетического баланса атмосферы.	Выполнение расчетов	ОПК-1, ОПК-3 ПК-2
16	11	Системы бароклинной циркуляции	Выполнение расчетов	ОК-5, ОПК-1 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**

Устный контроль в процессе занятий (опрос).

Тестовый контроль.

Контрольные расчетные задания по основным темам курса.

Контрольная работа для студентов, обучающихся по заочной форме.

#### **5.1.1.. Образцы заданий текущего контроля**

##### **а) Образцы заданий тестового контроля**

1. Что отражает спираль Экмана?

а) Изменение величины и направления ветра после прохождения фронта.

б) Изменение с высотой направления ветра в свободной атмосфере вследствие горизонтальной температурной неоднородности.

в) Изменение вектора скорости ветра с высотой в планетарном пограничном слое атмосферы.

г) Изменение вектора скорости ветра на спиралевидных траекториях движения воздушных масс от периферии циклона к его центру.

(Правильный ответ – в)

2. Что является **постоянным** источником, восполняющим потери кинетической энергии турбулентности?

а) Внутренняя энергия воздушной массы.

б) Вертикальная диффузия энергии турбулентности.

в) Энергия плавучести.

г) Кинетическая энергия среднего движения.

(Правильный ответ – г)

### б) Образцы контрольных расчетных заданий по основным темам курса

Расчет характеристик в стационарном, горизонтально-однородном приземном слое атмосферы (модель, основанная на теории подобия).

Вариант №16.

**Задача 1. Безразличная стратификация.** Определить шероховатость подстилающей поверхности, касательное напряжение трения, скорость испарения и поток тепла в почву по следующим данным градиентных наблюдений:

$z$ (м)	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	15.0
$u$ (м/с)	4.4	4.8	5.3	5.9	6.2	6.4
$e$ (гПа)	15.4	-	15.0	-	-	-

Плотность воздуха  $1.3 \text{ кг/м}^3$ . Давление 1000 гПа. Радиационный баланс подстилающей поверхности  $90 \text{ Вт/м}^2$ .

Рассчитать и построить зависимость коэффициента турбулентности от высоты.

**Задача 2. Стратификация, близкая к безразличной.** На высотах 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0 и 10.0 м рассчитать и построить вертикальные профили скорости ветра, температуры воздуха, массовой доли водяного пара и коэффициента турбулентности, если из наблюдений известны: уровень шероховатости 30 см, турбулентный поток тепла на уровне шероховатости  $190 \text{ Вт/м}^2$ , динамическая скорость 0.5 м/с, скорость испарения 0.4 мм/ч, температура у подстилающей поверхности  $5^\circ\text{C}$ , удельная влажность на уровне шероховатости 10 г/кг, плотность воздуха  $1.3 \text{ кг/м}^3$ , средняя температура приземного слоя 280 К.

### в) Образцы заданий контрольной работы для заочной формы обучения

**Задача 2.** Определить скорость испарения в приземном слое, а также значения скорости ветра, температуры, массовой доли водяного пара и коэффициента турбулентности на высоте 10 м, используя следующие данные градиентных измерений:

$z$ м	1	4
$u$ м/с	6.5	7.6
$t$ $^\circ\text{C}$	22	21.4
$q$ г/кг	12	10.4

**Задача 4.** Определить турбулентный поток тепла на расстоянии 5 км от берега над водной поверхностью с температурой 15°C, если температура воздушной массы над сушей 5°C, коэффициент турбулентности и скорость ветра на высоте 1 м равны соответственно 0.5 м<sup>2</sup>/с и 5 м/с. Термическая стратификация неустойчивая. Ветер дует с суши на море. Как изменится эта величина при устойчивой стратификации?

### 5.1.2. Примерная тематика рефератов, эссе, докладов

Подготовка рефератов, эссе, докладов по данной дисциплине не предусмотрена.

### 5.1.3. Примерные темы курсовых работ, критерии оценивания

#### Примерные темы курсовых работ

1. Расчет характеристик в пограничном слое атмосферы с использованием интегральной модели.
2. Суточный ход температуры воздуха в пограничном слое атмосферы.
3. Трансформация теплофизических характеристик воздушной массы над неоднородной подстилающей поверхностью.

#### Критерии оценивания

Тема курсовой работы согласовывается с преподавателем. При этом студент получает от преподавателя указания по выполнению работы.

Курсовая работа должна состоять из трех частей:

- теоретического обоснования поставленной задачи;
- результатов расчетов и, если требуется, графических приложений;
- выполненного студентом анализа полученных результатов.

В конце работы обязательно приводится список используемой литературы.

Если работа выполнена достаточно полно, тема подробно раскрыта, студентом приведен собственный аргументированный анализ полученных результатов, такая работа оценивается оценкой **ОТЛИЧНО**.

Если работа выполнена достаточно полно, тема раскрыта, но анализ полученных результатов недостаточно аргументирован, такая работа оценивается оценкой **ХОРОШО**.

Если работа выполнена недостаточно полно, тема раскрыта не полностью, анализ полученных результатов содержит ошибки, такая работа оценивается оценкой **УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО**.

**Примечание.** При обнаружении дословного сходства сданных работ (или дословного сходства с одной из работ, сданных в предыдущие годы), такие работы не зачитываются и возвращаются для полной переделки.

## 5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы

В течение семестра студент обязан самостоятельно прорабатывать материал, изложенный на лекциях, для чего рекомендуется использовать сделанные на лекциях конспекты, изучить основную и дополнительную литературу, презентации лекций и лабораторных работ. Освоение материала и выполнение практических работ проходит при регулярных консультациях с преподавателем, для чего студенту предоставлена возможность

использовать удаленный доступ (Интернет).

### 5.3. Промежуточный контроль: экзамен

На экзамене от студента требуется ответить на теоретические вопросы.

#### Перечень вопросов к экзамену

1. Силы, действующие в атмосфере, их физическая природа и математическая запись.
2. Мгновенные значения метеорологических величин, их средние значения и турбулентные флуктуации. Спектр скорости ветра в приземном слое. Осреднение физических полей и уравнений. Выбор периода осреднения.
3. Уравнения движения, неразрывности, переноса тепла, влаги и другой примеси в атмосфере для мгновенных и средних величин. Эффекты осреднения.
4. Термические эффекты сжатия и расширения в турбулентных вихрях при их вертикальных перемещениях. Критерии статической устойчивости.
5. Турбулентные потоки и притоки количества движения, тепла, водяного пара и примеси в атмосфере. Критерии статической устойчивости в турбулентном пограничном слое.
6. Различные формы записи уравнения притока тепла для атмосферы.
7. Связь турбулентных потоков с полями средних величин. Гипотезы замыкания полуэмпирической теории турбулентности.
8. Уравнения баланса кинетической энергии среднего движения и энергии турбулентности.
9. Классификация атмосферных движений, их характерные масштабы. Упрощение уравнений.
10. Применимость законов теплового излучения к реальной атмосфере.
11. Вывод уравнений переноса радиации.
12. Методы интегрирования уравнений переноса радиации в коротковолновой и длинноволновой областях спектра.
13. Интегральная функция пропускания. Методы расчета лучистых потоков и притоков тепла.
14. Вертикальное распределение температуры при лучистом и радиационно- конвективном равновесии.
15. Градиентный ветер по прямолинейным и криволинейным изобарам. Точные и приближённые формулы при больших радиусах кривизны траектории. Особенности антициклонических систем.
16. Эффекты горизонтальной температурной неоднородности. Термический ветер.
17. Геоострофическая адвекция температуры, ее связь с изменением направления ветра по высоте.
18. Агеострофические отклонения. Формирование вертикальных движений в свободной атмосфере.
19. Поверхности раздела в атмосфере, примеры их формирования. Связь наклона поверхности раздела с полями ветра и температуры. Особенности полей ветра и давления в области фронта.
20. Волны Россби в зональном потоке. Стационарные центры действия атмосферы.
21. Неустойчивость волн Россби в зональном потоке.
22. Модели замыкания системы уравнений для ППС.
23. Упрощение уравнений для приземного слоя.
24. Общий вид зависимости коэффициента турбулентности в приземном слое атмосферы (элементы теории подобия и анализа размерностей).
25. Распределение по высоте коэффициента турбулентности и метеопараметров (скорости ветра, температуры, влажности и других примесей) при близких к нейтральной и нейтральной стратификациях.
26. Распределение по высоте коэффициента турбулентности и метеопараметров (скорости ветра, температуры, влажности и других примесей) при сильной устойчивости ( инверсия) и

- при свободной конвекции.
27. Малопараметрические модели ППС с априорным профилем коэффициента турбулентности.
  28. Нелинейные модели пограничного слоя атмосферы.
  29. Взаимодействие ППС со свободной атмосферой. Вертикальные скорости на верхней границе ППС.
  30. Нестационарные процессы в пограничном слое атмосферы. Общая постановка задачи.
  31. Модель суточного хода температуры воздуха в пограничном слое атмосферы. Решение задачи.
  32. Анализ решения задачи о суточном ходе температуры воздуха в пограничном слое атмосферы.
  33. Непериодические изменения температуры воздуха в приземном слое, ночное понижение температуры поверхности почвы.
  34. Метеорологические процессы над горизонтально-неоднородной поверхностью. Постановка задачи о трансформации метеорологических характеристик под влиянием изменения свойств подстилающей поверхности.
  35. Модельная задача о трансформации метеорологических характеристик в приземном слое под влиянием изменения свойств подстилающей поверхности (степенные законы для вертикальных профилей коэффициента турбулентности и скорости ветра).
  36. Определение турбулентных потоков тепла и влаги с поверхности в условиях трансформации потока. Высота внутреннего пограничного слоя.
  37. Обобщённая изобарическая система координат. Общий принцип преобразования уравнений из геометрической системы координат в систему, связанную с давлением.
  38. Преобразование уравнений движения и притока тепла в изобарическую систему координат.
  39. Преобразование уравнения неразрывности в изобарическую систему координат.
  40. Граничные условия в задаче краткосрочного прогноза по примитивным уравнениям.
  41. Процедура численного решения уравнений гидротермодинамики применительно к задачам краткосрочного прогноза ( по примитивным уравнениям).
  42. Вывод уравнения переноса вихря в изобарической системе координат; его упрощение.
  43. Вывод уравнения для дивергенции, его упрощённая форма.
  44. Квазигеострофическая модель краткосрочного прогноза.
  45. Бароклинный потенциальный вихрь Эртеля и баротропный потенциальный вихрь; условия их сохранения.
  46. Непериодические изменения давления во времени. Адаптация полей скорости и давления.
  47. Основные формы энергии и уравнения для их изменений.
  48. Баланс различных видов энергии для единичной массы воздуха и для вертикального столба атмосферы. Соотношение между внутренней и потенциальной энергией в столбе воздуха бесконечной высоты. Доступная потенциальная энергия.
  49. Взаимные преобразования различных видов энергии в столбе воздуха бесконечной высоты.
  50. Энергетический баланс глобальной атмосферы, скорость генерации и диссипации различных видов энергии.
  51. Влияние бароклинности на изменение циркуляции по замкнутому контуру.
  52. Влияние вращения Земли на изменение циркуляции по замкнутому контуру.
  53. Влияние трения на изменение циркуляции по замкнутому контуру.
  54. Элементы общей циркуляции атмосферы.
  55. Постановка задачи общей циркуляции атмосферы. Крупномасштабная турбулентность. Зонально осредненные уравнения движения и переноса тепла.
  56. Параметризация планетарного пограничного слоя.
  58. Основной характер общего переноса в атмосфере.
  59. Баротропная неустойчивость зонального переноса.
  60. Особенности переноса воздушных масс в экваториальной зоне.

## Образцы билетов к экзамену

### Экзаменационный билет №3.

Российский государственный гидрометеорологический университет  
Кафедра Экспериментальной физики атмосферы  
Курс Динамическая метеорология

1. Уравнения движения, неразрывности, переноса тепла, влаги и другой примеси в атмосфере для мгновенных и средних величин. Эффекты осреднения.
2. Непериодические изменения температуры воздуха в приземном слое, ночное понижение температуры поверхности почвы.

Заведующий кафедрой: \_\_\_\_\_ (Кузнецов А.Д.)

---

### Экзаменационный билет №6

Российский государственный гидрометеорологический университет  
Кафедра Экспериментальной физики атмосферы  
Курс Динамическая метеорология

1. Различные формы записи уравнения притока тепла для атмосферы.
2. Определение турбулентных потоков тепла и влаги с поверхности в условиях трансформации потока. Высота внутреннего пограничного слоя.

Заведующий кафедрой: \_\_\_\_\_ (Кузнецов А.Д.)

---

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Клемин, В. В. Динамика атмосферы: учебник для студентов, обучающихся по направлению подготовки "Гидрометеорология" и специальностям "Метеорология" и "Метеорология специального назначения" / Воен.-косм. акад. им. А. Ф. Можайского; В. В. Клёмин, Ю. В. Кулешов, С. С. Суворов, Ю. Н. Волконский; [под общ. ред. С. С. Суворова и В. В. Клёмина]. - Санкт-Петербург: Наука, 2013. – 420 с.
2. Метеорология и климатология: Учебное пособие / Г.И. Пиловец. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 399 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=391608>
3. Шакина Н.П. Лекции по динамической метеорологии/Лекции для аспирантов и студентов старших курсов метеорологических специальностей и научных работников. М.: ТРИАДА ЛТД, Москва, 2013. - 160 с.

### б) дополнительная литература:

1. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. Т.1 и 2. – М.: Мир, 1984. – Т.1. 400 с.; Т.2. 411 с.
2. Русин И.Н. Динамическая метеорология. (ознакомительный курс). Курс лекций. Санкт-Петербург. РГГМУ. 2008 г. – 274 с.
3. Монин А.С. Теоретические основы геофизической гидродинамики. –Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 424 с. [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-0905110.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-0905110.pdf)
4. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т.1 и 2.–М.: Мир, 1986.– Т.1.397 с.; Т.2.415 с.
5. Динамическая метеорология для океанологов. В. М. Радикевич. Л. : ЛПИ им. М. И. Калинина, 1985. – 157 с. [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213174722.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213174722.pdf)

6. Подольская Э.Л. Механика жидкости и газа. Раздел «Геофизическая гидродинамика». Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.- 154с.
7. Динамическая метеорология. // Под ред. Лайхтмана Д.Л. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 607 с.
8. Гандин Л.С., Лайхтман Д.Л., Матвеев Л.Т., Юдин М.И. Основы динамической метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1955. [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-214133121.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-214133121.pdf)
9. Гаврилов А.С. и др. Задачник по динамической метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 166 с. [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213163549.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213163549.pdf)

### **в) Интернет-источники**

1. Электронно-библиотечная система Znanium: <http://znanium.com>
2. Электронно-библиотечная система «ГидроМетеоОнлайн»: <http://elib.rshu.ru>
3. Электронный ресурс Учебные и учебные ресурсы для сообщества Geoscience. Режим доступа: <https://www.meted.ucar.edu>
4. Электронный ресурс Program in Atmospheres, Oceans and Climat/ Режим доступа: <http://eaps-www.mit.edu/paoc/>
5. Электронный ресурс fzo.rshu.ru (онлайн-лекции), лекции по Динамической метеорологии, лектор Егоров К.Л. Режим доступа: <http://fzo.rshu.ru/content/vebinar/egorov>

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

### **7.1. Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Учебники и учебные пособия, приведенные в списке литературы.

Методическое обеспечение аудиторной работы – варианты тестовых и контрольных расчетных заданий.

Справочные и информационные материалы на сайте RSHU.

### **7.2. Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

Усвоение изучаемого материала проверяется в результате текущего контроля во время лекций (путем опросов), лабораторных занятий (по результатам тестирования и выполнения контрольных расчетных заданий). Оценки (в баллах) выставляются за все виды текущего контроля и мероприятий промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация проводится в форме устного экзамена, включающего ответ на два теоретических вопроса.

Итоговая оценка за период обучения (семестр) выставляется после прохождения промежуточной аттестации с использованием системы накопления баллов и учитывает результаты экзамена, текущей работы, выполнения тестовых заданий, контрольных расчетных работ, посещаемости занятий.

В итоговой оценке учитываются:

- результаты текущей работы на лабораторных занятиях, результаты выполнения домашних заданий;
- результаты выполнения контрольных мероприятий (тестов, расчетных заданий);
- результаты выполнения курсовой работы;
- посещаемость занятий;
- результаты экзамена.

## 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	<p><u>информационные технологии</u></p> <p>1. чтение лекций-вебинаров</p> <p><u>образовательные технологии</u></p> <p>1. интерактивное взаимодействие педагога и студента</p> <p>2. сочетание индивидуального и коллективного обучения</p>	<p>1. Пакет Microsoft Excel, PowerPoint.</p> <p>2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн <a href="http://elib.rshu.ru">http://elib.rshu.ru</a></p> <p>3. Электронно-библиотечная система Знаниум <a href="http://znanium.com">http://znanium.com</a></p> <p>4. Лекции по динамической метеорологии в режиме он-лайн. Лектор Егоров К.Л.: <a href="http://fzo.rshu.ru/content/vebinar/egorov">http://fzo.rshu.ru/content/vebinar/egorov</a></p>

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение программы соответствует действующим санитарно-техническим и противопожарным правилам и нормам и обеспечивает проведение всех видов практических занятий и самостоятельной работы студентов.

Учебный процесс обеспечен аудиториями, комплектом лицензионного программного обеспечения, библиотекой РГГМУ.

1. **Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, мелованной доской, для представления учебной информации.
2. **Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, мелованной доской, для представления учебной информации.
3. **Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, компьютерной техникой, служащей для представления учебной информации.
4. **Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, компьютерной техникой, служащей 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.