

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)

**Полярная метеорология и климатология**

Квалификация выпускника

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Согласовано  
Руководитель ОПОП «Полярная  
метеорология и климатология»

 Лобанов В.А.

Утверждаю  
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением  
Учебно-методического совета  
11 06 2019 г., протокол № 7

Рассмотрена и утверждена на заседании  
кафедры  
30 05 2019 г., протокол № 9  
Зав. кафедрой  Кузнецов А.Д.

Авторы-разработчики:  
 Егоров К.Л.

**Составил:**

Егоров К.Л. –доцент экспериментальной физики атмосферы.

©К.Л.Егоров, 2019.  
© РГГМУ, 2019.

## 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.

Дисциплина изучается на английском языке.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Динамическая метеорология» для направления подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология, профиль – Полярная метеорология и климатология, относится к обязательным дисциплинам вариативной части образовательной программы.

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

Дисциплина «Динамическая метеорология» является базовой для изучения дисциплин «Экология», «Численные методы математического моделирования», «Климатология», «Синоптическая метеорология», «Методы зондирования окружающей среды», «Космическая метеорология», «Авиационная метеорология».

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

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Компетенция
ОК-3	Способность к эффективной коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке
ОК-5	Способность к самообразованию, саморазвитию и самоконтролю, приобретению новых знаний, повышению своей квалификации.
ОПК-1	Способность представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики.
ОПК-3	Способность анализировать и интерпретировать данные натурных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования.
ПК-2	Способность анализировать явления и процессы, происходящие в природной среде, на основе экспериментальных данных и массивов гидрометеорологической информации, выявлять в них закономерности

	и отклонения.
<b>ПК-5</b>	Способность реализации решения гидрометеорологических задач и анализа полученных результатов

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	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2	3 минимальный	4 базовый	5 продвинутый
Второй этап (уровень) ОК-3	<b>Владеть:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.	<b>Не владеет:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.	<b>Слабо владеет:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.	<b>Хорошо владеет:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.	<b>Уверенно владеет:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.
	<b>Уметь:</b> - передать на русском языке содержание иноязычных научных и публицистических текстов в сфере профессиональной деятельности; - осуществлять устное и письменное общение в соответствии со своей сферой деятельности.	<b>Не умеет:</b> - передать на русском языке содержание иноязычных научных и публицистических текстов в сфере профессиональной деятельности; - осуществлять устное и письменное общение в соответствии со своей сферой деятельности.	<b>Слабо умеет:</b> - передать на русском языке содержание иноязычных научных и публицистических текстов в сфере профессиональной деятельности; - осуществлять устное и письменное общение в соответствии со своей сферой деятельности.	<b>Умеет:</b> - передать на русском языке содержание иноязычных научных и публицистических текстов в сфере профессиональной деятельности; - осуществлять устное и письменное общение в соответствии со своей сферой деятельности.	<b>Умеет свободно:</b> - передать на русском языке содержание иноязычных научных и публицистических текстов в сфере профессиональной деятельности; - осуществлять устное и письменное общение в соответствии со своей сферой деятельности.
	<b>Знать:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию	<b>Не знает:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию	<b>Плохо знает:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию	<b>Хорошо знает:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию	<b>Отлично знает:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию

Второй этап (уровень) ОК-5	<b>Владеть:</b> - навыками самостоятельной работы с источниками и литературой;	<b>Не владеет:</b> - навыками самостоятельной работы с источниками и литературой;	<b>Слабо владеет:</b> - навыками самостоятельной работы с источниками и литературой;	<b>Хорошо владеет:</b> - навыками самостоятельной работы с источниками и литературой;	<b>Свободно владеет:</b> - навыками самостоятельной работы с источниками и литературой;
	<b>Уметь:</b> критически воспринимать, анализировать и оценивать полученную информацию	<b>Не умеет:</b> критически воспринимать, анализировать и оценивать полученную информацию	<b>Затрудняется:</b> критически воспринимать, анализировать и оценивать полученную информацию	<b>Хорошо умеет:</b> критически воспринимать, анализировать и оценивать полученную информацию	<b>Отлично умеет:</b> критически воспринимать, анализировать и оценивать полученную информацию
	<b>Знать:</b> - причины, приводящие к особенностям проявления основных физических законов в динамических и термических процессах в атмосфере	<b>Не знает:</b> - причины, приводящие к особенностям проявления основных физических законов в динамических и термических процессах в атмосфере	<b>Плохо знает:</b> - причины, приводящие к особенностям проявления основных физических законов в динамических и термических процессах в атмосфере	<b>Хорошо знает:</b> - причины, приводящие к особенностям проявления основных физических законов в динамических и термических процессах в атмосфере	<b>Отлично знает:</b> - причины, приводящие к особенностям проявления основных физических законов в динамических и термических процессах в атмосфере
Второй этап (уровень) ОПК-1	<b>Владеть:</b> - знаниями о возможностях использования механики жидкости и газа при решении основных и прикладных задач;	<b>Не владеет:</b> - знаниями о возможностях использования механики жидкости и газа при решении основных и прикладных задач;	<b>Слабо владеет:</b> - знаниями о возможностях использования механики жидкости и газа при решении основных и прикладных задач;	<b>Хорошо владеет:</b> - знаниями о возможностях использования механики жидкости и газа при решении основных и прикладных задач;	<b>Уверенно владеет:</b> - знаниями о возможностях использования механики жидкости и газа при решении основных и прикладных задач;
	<b>Уметь:</b> - применять физические законы для анализа атмосферных процессов; - творчески осмысливать физические механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов	<b>Не умеет:</b> - применять физические законы для анализа атмосферных процессов; - творчески осмысливать физические механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов	<b>Затрудняется:</b> - применять физические законы для анализа атмосферных процессов; - творчески осмысливать физические механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов	<b>Хорошо умеет:</b> - применять физические законы для анализа атмосферных процессов; - творчески осмысливать физические механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов	<b>Отлично умеет:</b> - применять физические законы для анализа атмосферных процессов; - творчески осмысливать физические механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов
	<b>Знать:</b> - основные физические законы в динамических и термических процессах в атмосфере; - наиболее характерные типы движений в атмосфере	<b>Не знает:</b> - основные физические законы в динамических и термических процессах в атмосфере; - наиболее характерные типы движений в атмосфере	<b>Плохо знает:</b> - основные физические законы в динамических и термических процессах в атмосфере; - наиболее характерные типы движений в атмосфере	<b>Хорошо знает:</b> - основные физические законы в динамических и термических процессах в атмосфере; - наиболее характерные типы движений в атмосфере	<b>Отлично знает:</b> - основные физические законы в динамических и термических процессах в атмосфере; - наиболее характерные типы движений в атмосфере

Второй этап (уровень) ОПК-3	<b>Владеть:</b> - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера;	<b>Не владеет:</b> - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера;	<b>Слабо владеет:</b> - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера;	<b>Хорошо владеет:</b> - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера;	<b>Уверенно владеет:</b> - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера;
	<b>Уметь:</b> - применить принцип упрощения и выбрать нужную форму уравнений для описания отдельных типов движений; - использовать навыки математического моделирования для решения практических задач;	<b>Не умеет:</b> - применить принцип упрощения и выбрать нужную форму уравнений для описания отдельных типов движений; - использовать навыки математического моделирования для решения практических задач;	<b>Затрудняется:</b> - применить принцип упрощения и выбрать нужную форму уравнений для описания отдельных типов движений; - использовать навыки математического моделирования для решения практических задач;	<b>Хорошо умеет:</b> - применить принцип упрощения и выбрать нужную форму уравнений для описания отдельных типов движений; - использовать навыки математического моделирования для решения практических задач;	<b>Отлично умеет:</b> - применить принцип упрощения и выбрать нужную форму уравнений для описания отдельных типов движений; - использовать навыки математического моделирования для решения практических задач;
	<b>Знать:</b> - наиболее характерные типы движений в атмосфере, их временную динамику и пространственную структуру;	<b>Не знает:</b> - наиболее характерные типы движений в атмосфере, их временную динамику и пространственную структуру;	<b>Плохо знает:</b> - наиболее характерные типы движений в атмосфере, их временную динамику и пространственную структуру;	<b>Хорошо знает:</b> - наиболее характерные типы движений в атмосфере, их временную динамику и пространственную структуру;	<b>Отлично знает:</b> - наиболее характерные типы движений в атмосфере, их временную динамику и пространственную структуру;
Первый этап (уровень) ПК-2	<b>Владеть:</b> - методикой расчета основных метеорологических параметров по данным метеорологических измерений; - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера	<b>Не владеет:</b> - методикой расчета основных метеорологических параметров по данным метеорологических измерений; - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера	<b>Слабо владеет:</b> - методикой расчета основных метеорологических параметров по данным метеорологических измерений; - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера	<b>Хорошо владеет:</b> - методикой расчета основных метеорологических параметров по данным метеорологических измерений; - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера	<b>Уверенно владеет:</b> - методикой расчета основных метеорологических параметров по данным метеорологических измерений; - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера





	количественными оценками параметров метеорологических процессов, как в рамках аналитических моделей, так и с использованием современной вычислительной техники	количественными оценками параметров метеорологических процессов, как в рамках аналитических моделей, так и с использованием современной вычислительной техники	количественными оценками параметров метеорологических процессов, как в рамках аналитических моделей, так и с использованием современной вычислительной техники	количественными оценками параметров метеорологических процессов, как в рамках аналитических моделей, так и с использованием современной вычислительной техники	количественными оценками параметров метеорологических процессов, как в рамках аналитических моделей, так и с использованием современной вычислительной техники
	<b>Знать:</b> - основные гидродинамические процессы и условия их существования;	<b>Не знает:</b> - основные гидродинамические процессы и условия их существования;	<b>Плохо знает:</b> - основные гидродинамические процессы и условия их существования;	<b>Хорошо знает:</b> - основные гидродинамические процессы и условия их существования;	<b>Отлично знает:</b> - основные гидродинамические процессы и условия их существования;

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

Объём дисциплины	Всего часов
	Очная форма обучения 2019 год набора
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>144 часа</b>
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b>	<b>56</b>
в том числе:	
лекции	<b>28</b>
практические занятия	<b>28</b>
<b>Самостоятельная работа (СРС) – всего:</b>	<b>88</b>
в том числе:	
курсовая работа	+
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)</b>	<b>экзамен</b>

#### 4.1. Структура дисциплины

2019 год 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	Самостоят. работа			
1	Основные уравнения динамики турбулентной атмосферы. Basic governing equations for dynamic of turbulent atmosphere.	5	2	2	4	Вопросы и ответы в баллах	1	ОК-3 ОК-5 ОПК-1
2	Замыкание системы уравнений турбулентной атмосферы, упрощение уравнений. The closure model for equations of turbulent atmosphere dynamic, simplify of equations.	5	2	2	4	Вопросы и ответы в баллах	1	ОК-3 ОК-5 ОПК-1

3	Лучистые притоки тепла. Radiation heat fluxes.	5	2	2	4	Вопросы и ответы в баллах	1	ОПК-3
4	Динамика свободной атмосферы. Dynamic of free atmosphere.	5	2	2	8	Вопросы и ответы в баллах	1	ОК-3 ОПК-3 ПК-2
5	Планетарный пограничный слой (ППС) атмосферы при горизонтально-однородных и стационарных условиях. Atmosphere boundary layer under horizontal homogeneity and stationary conditions.	5	4	4	12	Вопросы и ответы в баллах, контрольное расчетное задание	2	ОК-3 ОПК-3 ПК-2 ПК-5
6	Приземный слой атмосферы. Atmosphere surface layer.	5	4	4	12	Вопросы и ответы в баллах, контрольное расчетное задание	1	ОК-3 ОПК-3 ПК-2 ПК-5
7	Нестационарные процессы в пограничном слое атмосферы Unsteady processes in the atmosphere boundary layer.	5	4	4	12	Вопросы и ответы в баллах, контрольное расчетное задание	1	ОК-3 ОПК-3 ПК-2
8	Метеорологические процессы над горизонтально-неоднородной поверхностью. Meteorological processes above horizontally-heterogeneous surface.	5	2	2	12	Вопросы и ответы в баллах	1	ОК-3 ОПК-3 ПК-2 ПК-5
9	Физические принципы гидродинамического прогноза. Physical principal of numerical hydrodynamic prediction.	5	2	2	8	Опрос	1	ОК-3 ОПК-3 ПК-2 ПК-5
10	Некоторые вопросы энергетики атмосферы. Some questions of atmosphere energy.	5	2	2	4	Опрос	1	ОК-3 ОПК-1 ОПК-3 ПК-2
11	Динамика циркуляционных систем в атмосфере. Dynamic of circulation systems	5	2	2	8	Вопросы и ответы в баллах	1	ОК-3 ОПК-3 ПК-2 ПК-5
<b>Итого</b>			<b>28</b>	<b>28</b>	<b>88</b>		<b>12</b>	
С учётом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена						<b>144 часа</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	лабораторное занятие	ОК-3, ОК-5, ОПК-3, ПК-2
2	2	Гипотезы замыкания в моделях турбулентности	лабораторное занятие	ОК-3, ОК-5, ПК-2
3	3	Расчет лучистых потоков и притоков тепла	лабораторное занятие	ОК-3, ОК-5, ОПК-1, ПК-2
4	4	Геострофическая адвекция температуры	лабораторное	ОК-3, ОПК-3,

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

## **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.

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

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

1. Спираль Экмана отражает:

- а) – изменение величины и направления ветра после прохождения фронта;
- б) – изменение величины и направления ветра с высотой в свободной атмосфере

вследствие горизонтальной неоднородности поля температуры;

в) – изменение величины и направления ветра с высотой в планетарном пограничном слое;

г) – изменение величины и направления ветра на спиралевидных траекториях движения от периферии циклона к его центру.

1A. Ekman spiral shows:

- a) – change of wind velocity after front driven;
- b) – vertical change of wind velocity in the free atmosphere;
- c) – vertical change of wind velocity in PBL;
- d) - change of wind velocity at the cyclonic trajectory.

2. Вертикальные турбулентные потоки субстанции пропорциональны:

а) – вертикальному градиенту турбулентных флуктуаций (отклонений от среднего значения) субстанции;

б) – вертикальному градиенту средних значений субстанции;

в) – вертикальному градиенту полных мгновенных значений субстанции;

г) – квадрату вертикального градиента средних значений.

2A. Vertical turbulent fluxes are proportional to:

a) – vertical gradient of the turbulent fluctuations;

b) – vertical gradient of mean values;

c) – vertical gradient of full values;

d) - vertical gradient in square of mean values.

## **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.

### **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. Экзамен проходит в устной форме на английском языке. Обучающемуся предлагается наиболее полно ответить на два вопроса, случайным образом выбранного билета. Полный комплект экзаменационных билетов охватывает все разделы дисциплины.



## Перечень вопросов к экзамену

1. Силы, действующие в атмосфере, их физическая природа и математическая запись.  
The fundamental forces, acting in the atmosphere. Their physical feature and mathematical writing.
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.  
The turbulent fluctuations, averaging of the physical values and equations.
3. Уравнения движения, неразрывности, переноса тепла, влаги и другой примеси в атмосфере для мгновенных и средних величин. Эффекты осреднения.  
The equations of momentum, continuity, transfer of the heat, moisture and others in the atmosphere. The result of their averaging.
4. Термические эффекты сжатия и расширения в турбулентных вихрях при их вертикальных перемещениях. Критерии статической устойчивости.  
The thermal effects in eddies due to vertical motions. Static stability criteria.
5. Турбулентные потоки и притоки количества движения, тепла, водяного пара и примеси в атмосфере. Критерии статической устойчивости в турбулентном пограничном слое.  
The turbulent fluxes and sources of momentum, heat, and vapor in the atmosphere. Static stability criteria.
6. Различные формы записи уравнения притока тепла для атмосферы.  
Different forms of the thermodynamic energy equation.
7. Связь турбулентных потоков с полями средних величин. Гипотезы замыкания полуэмпирической теории турбулентности.  
Connection of the turbulent fluxes with the fields of averaging values. The hypotheses of the semi-empirical turbulent theory.
8. Уравнения баланса кинетической энергии среднего движения и энергии турбулентности.  
The kinetic energy equations of an average motion and the turbulent fluctuations.
9. Классификация атмосферных движений, их характерные масштабы. Упрощение уравнений.  
Classification of the atmosphere motions, their time and space scales.
10. Применимость законов теплового излучения к реальной атмосфере.  
Action of the radiations laws in the atmosphere.
11. Вывод уравнений переноса радиации.  
Derivation of the radiation transfer equation.
12. Методы интегрирования уравнений переноса радиации в коротковолновой и длинноволновой областях спектра.  
The integrating methods of the radiation transfer equations.
13. Интегральная функция пропускания. Методы расчета лучистых потоков и притоков тепла.  
The integral transmission function. The calculation methods of the radiations heat fluxes.
14. Вертикальное распределение температуры при лучистом и радиационно- конвективном равновесии.  
The temperature lapse under radiation and radiation-convective equilibrium.
15. Градиентный ветер по прямолинейным и криволинейным изобарам. Точные и приближённые формулы при больших радиусах кривизны траектории. Особенности антициклонических систем.  
Gradient wind along straight and curvilinear isobars. The exact formulas and their approximation for large curvature of trajectory. The specialty of the anticyclone system.
16. Эффекты горизонтальной температурной неоднородности. Термический ветер.  
The effects of the horizontal temperature heterogeneity. Thermal wind.
17. Геострофическая адвекция температуры, ее связь с изменением направления ветра по высоте.  
The Geostrophical temperature advection. Connection of the temperature advection with a vertical change of wind direction.

18. Поверхности раздела в атмосфере, примеры их формирования. Связь наклона поверхности раздела с полями ветра и температуры. Особенности полей ветра и давления в области фронта.  
The surfaces of discontinuity in the atmosphere. Examples of their formation.
19. Волны Россби в зональном потоке. Стационарные центры действия атмосферы.  
Rossby waves in zone wind. The stationary atmosphere action centers.
20. Упрощение уравнений для приземного слоя.  
The surface layer. Simplification of the equations.
21. Общий вид зависимости коэффициента турбулентности в приземном слое атмосферы (элементы теории подобия и анализа размерностей).  
The common form of eddy viscosity in surface layer.
22. Распределение по высоте коэффициента турбулентности и метеопараметров (скорости ветра, температуры, влажности и других примесей) при близкой к нейтральной и нейтральной стратификациях.  
Vertical profiles of the eddy viscosity and meteoroparameteres in surface layer under neutral and near neutral stratifications.
23. Распределение по высоте коэффициента турбулентности и метеопараметров (скорости ветра, температуры, влажности и других примесей) при сильной устойчивости (инверсия) и при свободной конвекции.  
Vertical profiles of the eddy viscosity and meteoroparameteres in surface layer under inversion and free convection.
24. Интегральная модель ППС.  
The Integral model for the atmosphere boundary layer (ABL).
25. Взаимодействие ППС со свободной атмосферой. Вертикальные скорости на верхней границе ППС.  
Interaction of ABL with a middle (free) atmosphere. The vertical velocities at the upper level of ABL.
26. Модель суточного хода температуры воздуха в пограничном слое атмосферы. Решение задачи.  
Diurnal variations of the temperature in the atmosphere boundary layer. The model and solution of the task.
27. Анализ решения задачи о суточном ходе температуры воздуха в пограничном слое атмосферы.  
The analyses of the diurnal variations of the temperature in the atmosphere boundary layer.
28. Непериодические изменения температуры воздуха в приземном слое, ночное понижение температуры поверхности почвы.  
The night cooling of soil surface.
29. Метеорологические процессы над горизонтально-неоднородной поверхностью. Постановка задачи о трансформации метеорологических характеристик под влиянием изменения свойств подстилающей поверхности.  
Meteorological processes above the horizontally- heterogeneous surface. The model of transformation of the air properties.
30. 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).  
The model of transformation of the air properties in the boundary layer.
31. Обобщённая изобарическая система координат. Общий принцип преобразования уравнений из геометрической системы координат в систему, связанную с давлением.  
Isobaric coordinate system.
32. Преобразование уравнений движения и притока тепла в изобарическую систему координат.  
Equation of momentum and heat transfer in the isobaric coordinates.
33. Преобразование уравнения неразрывности в изобарическую систему координат.

- The continuity equation in the isobaric coordinates.
34. Вывод уравнения переноса вихря в изобарической системе координат. Условия сохранения абсолютного вихря.  
Vorticity equation in the isobaric coordinates. Conservation of the absolute vorticity.
35. Вывод уравнения для дивергенции, его упрощённая форма.  
Equation for divergence.
36. Квазигеострофическая модель краткосрочного прогноза.  
The quasi-geostrophic model.
37. Основные формы энергии и уравнения для их изменений.  
The main kind of energy. The equations for different kind of energy.
38. Соотношение между внутренней и потенциальной энергией в столбе воздуха бесконечной высоты.  
The connection between the internal and potential energies in the air column.
39. Влияние бароклинности на изменение циркуляции по замкнутому контуру.  
Influence of the baroclinicity on circulation along the contour.
40. Влияние вращения Земли на изменение циркуляции по замкнутому контуру.  
Influence of the Earth's rotation on circulation along the contour.
41. Влияние трения на изменение циркуляции по замкнутому контуру.  
Influence of friction on circulation along the contour.
42. Элементы общей циркуляции атмосферы.  
The elements of general circulation of the atmosphere.
43. Основной характер общего переноса в атмосфере.  
The middle-latitude westerlies.
44. Баротропная неустойчивость зонального переноса.  
Barotropic instability of zonal transport.
45. Особенности переноса воздушных масс в экваториальной зоне.  
Deep trades.

### Образец билета 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.  
The equations of momentum, continuity, transfer of the heat, moisture and others in the atmosphere. The result of their averaging.
2. Непериодические изменения температуры воздуха в приземном слое, ночное понижение температуры поверхности почвы.  
The night cooling of soil surface.

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

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

### **а) основная литература:**

1. Русин И.Н. Динамическая метеорология. (ознакомительный курс). Курс лекций. Санкт-Петербург. РГГМУ. 2008 г. – 274 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. Клёмин, 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.

### **б) дополнительная литература:**

1. Монин А.С. Теоретические основы геофизической гидродинамики. –Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 424 с. [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-0905110.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-0905110.pdf)
2. 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)
3. Подольская Э.Л. Механика жидкости и газа. Раздел «Геофизическая гидродинамика». Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.- 154с.
4. Педдоски Дж. Геофизическая гидродинамика. Т.1 и 2. – М.: Мир, 1984. – Т.1. 400 с.; Т.2. 411 с.
5. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т.1 и 2.–М.: Мир, 1986.– Т.1.397 с.; Т.2.415 с.
6. Динамическая метеорология. // Под ред. Лайхтмана Д.Л. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 607 с.
7. 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)
8. Гаврилов А.С. и др. Задачник по динамической метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 166 с. [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213163549](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213163549).
9. 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

### **в) Интернет-источники**

1. Электронный ресурс - Учебные ресурсы для сообщества Geoscience. Режим доступа: <https://www.meted.ucar.edu/>
2. Электронный ресурс - 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. Режим доступа: <http://method.meteor.ru/publ/books/lectures/lectures.pdf>
3. Электронный ресурс Program in Atmospheres, Oceans and Climat/ Режим доступа: <http://eaps-www.mit.edu/paoc/>

## **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	<u>информационные технологии:</u> 1. использование баз данных 2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты 3. работа с базами данных <u>образовательные технологии</u> 1. интерактивное взаимодействие педагога и студента 2. сочетание индивидуального и коллективного обучения 3. проведение тестирования	1. Пакет Microsoft Office. 2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн <a href="http://elib.rshu.ru">http://elib.rshu.ru</a> 3. Электронно-библиотечная система Знаниум_ <a href="http://znanium.com">http://znanium.com</a> 4. Базы метеорологических данных_ <a href="http://meteolab.rshu.ru:8080">http://meteolab.rshu.ru:8080</a>

## 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, доской, мультимедийным оборудованием, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).
2. **Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, доской.
3. **Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
4. **Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
5. **Помещение для самостоятельной работы** – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации.

#### **10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

## **Лист изменений**

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на 2020/2021 учебный год **без изменений**

Протокол заседания кафедры экспериментальной физики атмосферы от 30.05.2020 г. № 9: