

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова  
Географический факультет

«Утверждено»

Декан географического факультета,  
член-корр. РАН С.А. Добролюбов



Согласовано  
Учебно-методической комиссией  
факультета

« 29 » 11 2018 г., пр. № 10

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the Dean or a member of the commission, is written below the date.

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ФИЗИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ»**

по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»**  
**профиль «Метеорология»**  
уровня высшего образования бакалавриат  
с присвоением квалификации «бакалавр»

**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова  
Географический факультет**

«Утверждено»

Декан географического факультета,  
член-корр. РАН С.А. Добролюбов

\_\_\_\_\_

Согласовано  
Учебно-методической комиссией  
факультета

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ФИЗИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ»**

по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»**  
**профиль «Метеорология»**  
уровня высшего образования бакалавриат  
с присвоением квалификации «бакалавр»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»** (программы бакалавриата, реализуемой последовательно по схеме интегрированной подготовки) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

*Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.*

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Основной *целью* освоения дисциплины «Физическая метеорология» является изучение физических свойств атмосферного воздуха и процессов, протекающих в атмосфере: радиационного переноса, радиационного бюджета, основ атмосферной оптики, термодинамики сухого и влажного воздуха, влагооборота, теплового баланса подстилающей поверхности и деятельного слоя; основ динамики атмосферы и атмосферной акустики.

Для достижения данной цели необходима реализация следующих *задач*:

- сформировать представления о целях, задачах, возможностях и проблемах современной метеорологии, о метеорологических величинах, методах и точности их измерений;
- дать фундаментальные знания об основных физических свойствах атмосферного воздуха, а также о составе и строении земной атмосферы;
- дать знания о законах излучения и основах радиационного переноса в атмосфере;
- дать знания об основах атмосферной оптики;
- сформировать представления о климатической роли атмосферной радиации; о радиационном бюджете системы «Земля-атмосфера»;
- дать фундаментальные знания о термодинамических процессах, протекающих в атмосфере и в деятельном слое;
- сформировать представления об обмене теплом, влагой и количеством движения между атмосферой и земной поверхностью;
- дать знания о водном режиме атмосферы (о процессах испарения, конденсации, микрофизических процессах в облаках, об образовании осадков);
- дать знания об основах динамики свободной атмосферы и пограничного слоя;
- сформировать представления о распространении звуковых волн в атмосфере.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина входит в модуль «Физическая метеорология и химия атмосферы» вариативной части профессионального цикла ООП по направленности «Метеорология», является обязательной и изучается в 3 и 4 семестрах. Изучение курса базируется на предварительном усвоении студентами материала следующих дисциплин: высшей математики с основами математического анализа, общей физики, общей химии, общего землеведения, метеорологии и климатологии, гидрологии. На основе знаний, полученных в рамках данной дисциплины, базируются следующие дисциплины: динамическая метеорология, климатология, микроклиматология, радиационные процессы в атмосфере, синоптическая метеорология и др.

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь дисциплины «Физическая метеорология» с другими частями ООП определяется следующей совокупностью компетенций, необходимых для освоения данной дисциплины.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с ОС МГУ и «Оценочными и методическими материалами формирования компетенций, оценивания уровня знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности у обучающихся и выпускников» освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций и получение следующих результатов обучения:

– владение знаниями о физических и химических процессах, протекающих в атмосфере и о взаимодействии атмосферы с земной (морской) поверхностью и биосферой при решении практических и научных задач метеорологии (СПК-1.Б, формируется частично).

В результате освоения дисциплин модуля обучающийся должен:

**знать:** предмет, объект, цели, задачи и методы современной метеорологии; физические свойства атмосферного воздуха, состав и строение атмосферы; основы термодинамики атмосферы, подстилающей поверхности, а также деятельного слоя; водный режим атмосферы; основы динамики атмосферы и атмосферной акустики; законы электромагнитного

излучения, общую теорию радиационного переноса в атмосфере, основы атмосферной оптики;

**уметь:** интерпретировать результаты метеорологических и радиационных наблюдений (в том числе с использованием современных языков программирования и программных средств), выполнять расчеты и оценки компонентов радиационного, теплового и водного баланса, простейших радиационных параметров атмосферы, характеристик атмосферного движения, термодинамических величин;

**владеть:** основными методами обработки метеорологических и радиационных данных; методами расчёта компонентов радиационного баланса, а также теплового баланса атмосферы и деятельного слоя суши и океана, методами расчёта характеристик простейших атмосферных движений в различных слоях атмосферы; знаниями о формировании и генезисе атмосферных процессов и о роли различных факторов определяющих их особенности.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### Объем дисциплины и виды учебной работы.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 180 часа (5 зачётных единиц.).

Общая аудиторная нагрузка составляет 150 часов, в т.ч. лекции – 75 часов (36 часов в 3 семестре, 39 часов в 4 семестре), семинары – 75 часов (36 часов в 3 семестре, 39 часов в 4 семестре).

Объем самостоятельной работы студентов - 30 часов (0 часов в 3 семестре, 30 часов в 4 семестре).

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая СРС и трудоёмкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Контактная работа		СРС	
				Лекции	Семинар		
1.	Введение	3	1	2	2	0	
2.	Физические свойства атмосферного воздуха. Строение атмосферы.	3	2-5	8	8	0	Контрольная работа
3.	Термодинамика атмосферы	3	6-12	14	14	0	Контрольная работа
4.	Водный режим атмосферы	3	13-18	12	12	0	Контрольная работа
	<b>Промежуточная аттестация</b>					<b>0</b>	<b>Экзамен</b>
	<b>ИТОГО, 3 семестр</b>		<b>18</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	
1	Основы динамики атмосферы	4	1-2	10	10	2	Контрольная работа
2	Атмосферная радиация и основы радиационного переноса	4	3-5	10	10	2	Зачет по семинару
3	Основы атмосферной оптики	4	6-8	10	10	2	Контрольная работа
4	Радиационный бюджет системы Земля-атмосфера	4	9-11	6	6	2	Зачет по семинару
5	Основы атмосферной акустики	4	12-13	3	3	2	Устный опрос
	<b>Промежуточная аттестация</b>					<b>20</b>	<b>Экзамен</b>
	<b>ИТОГО, 4 семестр</b>		<b>13</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>30</b>	
	<b>ИТОГО:</b>			<b>75</b>	<b>75</b>	<b>30</b>	

## 5. Содержание дисциплины

### *Содержание лекций*

**Введение.** Предмет и методы физической метеорологии, её связь с другими науками геофизического цикла. История метеорологии. Структура современной метеорологии, её роль и место в мировой экономике, в решении актуальных глобальных и региональных проблем. Международная кооперация в изучении атмосферы, океана и климата. Метеорологические наблюдения. Всемирная служба погоды, региональные гидрометеорологические службы.

**Тема 1. Физические свойства атмосферного воздуха. Строение атмосферы.** Метеорологические величины: единицы измерения и размерности. Точность метеорологических измерений. Газовый состав атмосферного воздуха и его изменение по высоте. Атмосферные аэрозоли. Молекулярно-кинетическая теория применительно к атмосферным газам. Уравнение состояния сухого и влажного воздуха. Барометрическая формула Больцмана. Вертикальное строение атмосферы. Распределение Максвелла и диссипация газов в верхней атмосфере. Основные физические свойства верхней атмосферы. Основное уравнение статики атмосферы. Барометрические формулы. Барическая ступень. Абсолютный и относительный геопотенциал. Карты барической топографии. Горизонтальная неоднородность атмосферы. Понятие о воздушных массах и барических системах.

**Тема 2. Тепловой режим атмосферы, деятельной поверхности и деятельного слоя.** Первое начало термодинамики применительно к атмосфере. Теплоемкость. Политропические и адиабатические процессы в сухом воздухе. Сухоадиабатический градиент. Потенциальная температура, энтальпия и энтропия. Термодинамика влажного воздуха, влажноадиабатический градиент. Псевдоадиабатический процесс. Условия и критерии термодинамической устойчивости воздушных масс. Методы частицы, метод слоя. Уровень конденсации и уровень конвекции. Частота Брента-Вяйсея. Уравнение притока тепла в атмосфере и его анализ. Закономерности переноса тепла в приземном слое атмосферы, в планетарном пограничном слое и в свободной атмосфере. Деятельная поверхность и деятельный слой. Тепловой баланс деятельной поверхности и деятельного слоя. Поток тепла в почву, молекулярная диффузия, молекулярная теплопроводность. Законы Фурье. Турбулентный тепло- и влагообмен подстилающей поверхности и атмосферы. Затраты тепла на таяние снега и льда.

**Тема 3. Водный режим атмосферы.** Условия фазовых переходов воды в атмосфере. Фазовое равновесие. Термодинамический потенциал Гиббса. Законы испарения, теория Шулейкина. Уравнение диффузии водяного пара, распределение водяного пара по вертикали в приземном слое и в тропосфере. Механизм первичной конденсации. Ядра конденсации. Скорость конденсации. Международная классификация облаков. Микрофизическая структура облаков и их водность. Силы, действующие на облачные элементы. Формула Стокса. Общая теория коагуляции облачных капель. Вероятность слияния капель. Гравитационная, броуновская и турбулентная коагуляция. Возникновение и рост ледяных кристаллов. Переконденсация. Атмосферные осадки, их классификация и механизмы образования. Туманы, их классификация и механизмы образования.

**Тема 4. Основы динамики атмосферы.** Силы, действующие в атмосфере. Закон сохранения момента количества движения применительно к атмосфере. Уравнения движения турбулентной атмосферы. Траектории и линии тока. Закон сохранения массы применительно к атмосфере, уравнение неразрывности. Вертикальные движения. Движения в свободной атмосфере: геострофический и термический ветер. Движение воздуха при круговых изобарах в свободной атмосфере. Геострофическая дивергенция и геострофическая завихренность. Поверхности раздела в атмосфере и условия их существования. Общие сведения о волновых и вихревых движениях в атмосфере и их пространственно-временных масштабах. Ветер в планетарном пограничном слое атмосферы. Спираль Экмана. Движение воздуха при круговых изобарах в планетарном пограничном слое. Основы теории приземного слоя.

**Тема 5. Атмосферная радиация и основы радиационного переноса.** Солнце как источник энергии на Земле. Солнечная постоянная, солнечная активность. Основные законы излучения. Основные радиометрические величины и единицы измерения. Закон Бэра-Бугера-Ламберта. Понятие ослабления излучения и эмиссии. Уравнение Шварцшильда. Уравнение радиационного переноса для плоско-параллельной атмосферы. Характеристики взаимодействия излучения со средой (индикатриса рассеяния, объемный показатель ослабления и др.). Оптические и радиационные характеристики газовой-аэрозольной состава атмосферы.

**Тема 6. Основы атмосферной оптики.** Различные подходы к физико-математическому описанию взаимодействия атмосферной радиации со средой. Приближение геометрической оптики, уравнение рефракции, виды рефракции. Особые явления в атмосфере: сумерки, радуга, гало. Свет как электромагнитное излучение: уравнения Максвелла. Волновые явления: интерференция, дифракция. Основы рассеяния излучения. Релеевское рассеяние. Основы теории Ми. Оптические свойства подстилающей поверхности. Молекулярное поглощение в атмосфере Земли. Спектры поглощения атмосферных газов. Контуры спектральной линии. Базисы данных спектроскопических параметров. Основные фотометрические величины. Естественная освещенность земной поверхности. Световой эквивалент. Теория видимости в атмосфере.

**Тема 7. Радиационный бюджет системы Земля-атмосфера.** Радиационный бюджет системы «Земля-атмосфера». Радиационное воздействие (радиационный форсинг) различных атмосферных параметров. Составляющие радиационного баланса у поверхности Земли и факторы их определяющие. Характеристики прозрачности атмосферы. Эффект Форбса. Методы измерений составляющих радиационного баланса у поверхности Земли и на верхней границе атмосферы.

**Тема 8. Основы атмосферной акустики.** Основы теории распространения звука. Объективные и субъективные характеристики звука. Зависимость скорости распространения звука от метеорологических факторов. Шумовое загрязнение атмосферы.

### ***План проведения семинаров***

План проведения семинарских занятий основан непосредственно на 8-ти разделах лекционного курса, приведенного выше. Основу семинарских занятий в рамках разделов 1, 2, 4, 5, 6, 7 составляет решение соответствующих физических задач – в частности, с привлечением простейших основ программирования. В рамках остальных разделов и «Введения» предполагается активное использование интернет-ресурсов, позволяющих извлекать соответствующую разделу метеорологическую информацию, и выполнять ее анализ.

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине**

Самостоятельная работа студентов заключается в проработке материала лекций и подготовке к коллективному обсуждению на семинарских занятиях по заданным темам.

Учебная внеаудиторная деятельность, выполняемая в часы, отведенные студенту для самостоятельной работы, проводится с целью закрепления и углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение отдельных разделов тем дисциплины;
- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к семинарским занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля.

Самостоятельная работа студентов обеспечена следующими материалами:

- учебно-методическими материалами по основным разделам дисциплины.

## 7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

### *Перечень примерных вопросов в контрольной работе по разделу «Физические свойства атмосферного воздуха. Строение атмосферы»*

1. Перечислите основные единицы системы СИ
2. Что такое погрешность результата измерений?
3. Перечислите основные метеорологические характеристики, их единицы измерения и размерности
4. В каких физических единицах выражаются потоки солнечной радиации и компоненты теплового баланса?
5. По каким принципам атмосфера делится на слои?
6. В каких единицах измеряются атмосферные осадки? Укажите размерность в системе СИ.
7. Рассчитайте толщину  $H$  и температурный градиент в гидростатической однородной атмосфере Венеры при следующих геофизических константах:  $g = 8.8 \text{ м/с}^2$ ,  $T_0 = 475 \text{ }^\circ\text{C}$ .,  $P_0 = 96 \text{ бар}$ , при том, что газовый состав воздуха следующий: углекислый газ 96%, азот 4%. Допускается, что венерианский воздух является трехатомным идеальным газом.
8. Вычислить массу всей атмосферы (в тоннах), если давление у поверхности Земли всюду одинаково и равно 1013 гПа. Какая часть массы атмосферы расположена выше уровней 500 и 100 гПа?

### *Перечень примерных вопросов и задач в контрольной работе по разделу «Тепловой режим атмосферы, деятельной поверхности и деятельного слоя»*

1. Сухой воздух при температуре  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении 1000 гПа занимает объём  $10 \text{ м}^3$ . Насколько изменится его температура, если к нему при неизменном давлении подвести 0.061 мДж?
2. Как изменится давление сухого воздуха, если его удельная энтропия возросла на  $50 \text{ Дж/(кг К)}$ , а температура повысилась на  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ ?
3. Вывести уравнение для расчета ускорения частицы, которая перемещается по вертикали, при условии, что температура меняется с высотой линейно, и атмосфера политропна.
4. В однородной атмосфере адиабатически перемещается индивидуальный объём воздуха. Найти его ускорение на высоте 500 м., если начальная температура частицы была равна температуре окружающего воздуха  $23.2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Рассчитать энергию неустойчивости в этом 500-метровом слое.
5. Воздушная частица, имеющая массу 1 кг, при постоянном объеме получила тепла 1423 Дж, а затем при постоянном давлении она потеряла такое же количество тепла. Как изменилась при этом ее температура?
6. Вычислить работу изотермического сжатия воздушной частицы массой 1 кг до половины начального объема.
7. Каков приток тепла к поднимающейся массе воздуха, если ее температура понижается на  $0,75 \text{ }^\circ\text{C}$  при поднятии на 100 м? Какая при этом совершается работа расширения? При расчете принять, что  $T/\bar{T} = 1$ .
8. Масса воздуха опускается. Вследствие лучистого теплообмена ее потенциальная температура возрастает на  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$  на 1 км. Определить состояние устойчивости, вычислить приток тепла, если градиент температуры в атмосфере равен  $-0,65 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ м}$ . Принять  $T/\bar{T} \approx 1, T/\bar{\theta} \approx 1$

### *Перечень примерных вопросов и задач к контрольной работе по разделу «Водный режим атмосферы»*

1. Что такое равновесие фаз и термодинамический потенциал Гиббса?
2. В чем различия между гомогенным и гетерогенным фазовыми переходами?



3. Выведите формулу, позволяющую оценить распределение облачных капель по размерам
4. Выведите формулу, описывающую процесс гравитационной коагуляции частиц
5. Какими методами можно оценить величину испарения?
6. При подъеме массы ненасыщенного влажного воздуха относительная влажность увеличивается на 5 % на каждые 100 м., при этом начальная температура воздуха составляет 283 К- Определить: как изменяется с высотой температура воздушной массы, на сколько процентов изменяется максимальное парциальное давление и каков приток тепла в поднимающемся воздухе?
7. У поверхности земли давление 1000 гПа, а температура 300 К. При адиабатическом подъеме воздушной частицы конденсация начинается на уровне 500 гПа. Найти относительную влажность на высоте 2 км.
8. При подъеме массы насыщенного влажного воздуха ее плотность остается постоянной.  $T = 300 \text{ К}$ ,  $P = 1000 \text{ гПа}$ . Сколько влаги сконденсируется при этом в 1 кг воздуха на каждые 100 м? Каков внешний приток тепла к воздушной массе?

***Перечень примерных вопросов к контрольной работе по разделу «Основы динамики атмосферы»***

1. Рассчитать скорость ветра в свободной атмосфере для широты 45 градусов, принимая плотность воздуха равной  $1 \text{ кг/м}^3$ , а тангенс угла наклона изобарической поверхности 0.0004.
2. Найти чему равен угол между вектором геострофического ветра и горизонтальным градиентом давления.
3. Определить скорость и направление геострофического ветра, если широтная и меридиональная составляющие горизонтального градиента давления равны соответственно 2,3 и 1,2 гПа/100 км.
4. На каком расстоянии от центра антициклона с круговыми изобарами находится точка, если скорость ветра составляет 15 м/с и увеличивается под действием кривизны изобар на 10 %. Широта местности  $60^\circ$ .
5. Найти скорость термического ветра в слое толщиной 2 км на широте  $45^\circ$ , если горизонтальный градиент температуры равен 2,5 К/150 км и средняя температура слоя  $T = 273 \text{ К}$ .
6. Геострофический ветер на высоте 2 км южный 8,3 м/с; а на высоте 4 км юго-юго-западный 9 м/с. На каком уровне будет наблюдаться юго-западный ветер и какова его скорость, если горизонтальный градиент температуры с высотой не изменяется?
7. Вычислить геострофическую адвекцию, среднюю в слое от 2 до 3 км, если известно, что на высоте 2 км скорость ветра равна 14 м/с, а направление  $250^\circ$ , на уровне 3 км соответственно 16 м/с и  $240^\circ$ . Широта места  $55^\circ$ , температуру принять равной  $0^\circ\text{C}$ .

***Перечень примерных вопросов к зачету по семинару по разделу «Атмосферная радиация и основы радиационного переноса»***

*Теоретические вопросы*

1. Строение Солнца и солнечная активность.
2. Определение солнечной постоянной.
3. Основные законы излучения абсолютно черного тела.
4. Основные радиометрические величины, их размерности.
5. Различные характеристики взаимодействия излучения со средой. Соотношения между ними.
6. Уравнение Бугера-Ламберта-Бэра в дифференциальном виде.
7. Уравнение Шварцшильда

*Задачи*

7. Какова величина внеатмосферной радиации в максимуме солнечной активности в афелии и каково ее отклонение от солнечной постоянной?
8. Перевести границы спектральных интервалов от УФ до ИК диапазона, выраженные в единицах длины волны, в частоту и волновое число.
9. Показать, чему равна плотность потока излучения из верхней полусферы для изотропного приближения.
10. Какова оптическая толщина слоя, если ослабление излучения составило 70%?
11. Рассчитать массовый коэффициент поглощения озона и сечение поглощения на 300 нм, если объемный коэффициент поглощения равен  $9.31 \text{ см}^{-1}$  при нормальных условиях и плотности  $461 \text{ мкг м}^{-3}$
12. Определить длину волны в максимуме излучения тела человека при нормальной температуре ( $t=36.6^\circ\text{C}$ ) и рассчитать интенсивность излучения в приближении абсолютно черного тела.
13. Перевести спектральную плотность потока радиации в единицах длины волны ( $B=5.0 \text{ Вт м}^{-2} \text{ мкм}^{-1}$ ) в плотность потока радиации для волновых чисел на длине волны 10 мкм.

***Перечень примерных вопросов к контрольной по разделу «Основы атмосферной оптики»***

*Теоретические вопросы:*

1. Уравнение Максвелла и их решение для условий вакуума.
2. Релеевское рассеяние и рассеяние Ми.
3. Основные характеристики оптических свойств подстилающей поверхности
4. Определение контура спектральной линии поглощения и виды уширения спектральной линии.
5. Оптические явления в атмосфере: гало. Рассеяние на призме.
6. Причины и механизм образования радуги.

*Задачи:*

7. Какова разность в ослаблении прямой радиации при высоте Солнца 30 градусов на длинах волны 305 и 335 нм, если содержание озона составляло 400 ед. Добсона? Объемные показатели поглощения озона:  $\beta_{305\text{нм}}=4.6 \text{ см}^{-1}$ ;  $\beta_{335\text{нм}}=0.05 \text{ см}^{-1}$ .
8. Какова оптическая толщина 2 км однородного слоя, если сечение поглощения равно  $10^{-20} \text{ см}^2$ , альбедо однократного рассеяния 0.95, а число частиц  $10^{14} \text{ см}^{-3}$ ?
9. Рассчитать эффективный радиус аэрозоля с распределением частиц по размерам  $n(r)=0.16 \cdot r^{-2}$  в диапазоне 0.1-1 мкм
10. Какова величина сплющивания солнечного диска, видимого у горизонта, в перигелии?
11. Какова ширина второй радуги, если коэффициент преломления фиолетовых лучей  $n=1.343$  красных  $n=1.331$ .

***Перечень примерных вопросов к зачету по семинару по разделу «Радиационный бюджет системы Земля-атмосфера»***

1. Определение радиационного форсинга. Каков радиационный форсинг разных типов аэрозолей и атмосферных газов?
2. Климатические эффекты аэрозоля и облачности.
3. Определение биологически активной УФ радиации. Каково влияние различных факторов на УФ радиацию?
4. Радиационный баланс системы «Земля-атмосфера». Глобальный радиационный баланс.
5. Каковы основные факторы, определяющие изменчивость составляющих радиационного баланса?

### ***Перечень примерных вопросов к устному опросу по разделу «Основы атмосферной акустики»***

1. Основные положения теории распространения звуковых волн;
2. Факторы, определяющие скорость звука;
3. Эффект Доплера;
4. Принципы акустического зондирования атмосферы.

### **8. Формы и содержание промежуточной аттестации**

Форма аттестации - экзамен устный

#### ***Примерный перечень вопросов к экзамену***

1. Основные метеорологические величины, их размерности. Точность измерений в метеорологии. Виды метеорологических измерений. Всемирная служба погоды.
2. Состав атмосферного воздуха у земной поверхности и на высотах. Строение атмосферы.
3. Молекулярно-кинетическая теория применительно к атмосферным газам. Уравнение состояния сухого и влажного воздуха.
4. Распределение Максвелла. Барометрическая формула Больцмана. Диссипация газов в верхней атмосфере.
5. Уравнение статики атмосферы. Барометрические формулы. Барическая ступень. Геопотенциал. Связь геопотенциала с температурой столба воздуха.
6. Первое и второе начала термодинамики. Теплоемкость. Понятие о термодинамическом потенциале. Энтальпия и энтропия. Потенциальная температура.
7. Адиабатические и политропические процессы в атмосфере. Сухо и влажно-адиабатический градиент температуры. Псевдоадиабатический процесс.
8. Критерии атмосферной устойчивости: метод частицы и метод слоя. Частота Брента-Вайселя.
9. Стратификация атмосферы. Энергия неустойчивости. Термодинамические диаграммы. Температурные инверсии в атмосфере.
10. Уравнение притока тепла. Виды притоков тепла в атмосфере. Факторы, определяющие изменение температуры в приземном, планетарном пограничном слоях и в свободной атмосфере.
11. Молекулярной и турбулентная диффузия в атмосфере. Определение турбулентного потока субстанции.
12. Перенос тепла в атмосфере и в деятельном слое суши и водоемов. Поток тепла в почву, законы Фурье.
13. Равновесие фаз в атмосфере. Термодинамический потенциал Гиббса. Уравнение Клаузиса-Клапейрона.
14. Уравнение диффузии водяного пара. Распределение водяного пара с высотой.
15. Испарение с водной поверхности и с поверхности суши. Теория Шулейкина. Эмпирические формулы для расчета слоя испарения.
16. Механизм первичной конденсации. Ядра конденсации.
17. Облака: микрофизическая структура, водность, международная классификация. Туманы.
18. Процессы роста и укрупнение облачных капель. Механизмы образования осадков. Виды осадков и их классификация.
19. Силы, действующие в атмосфере. Уравнение движения атмосферы. .
20. Геострофический ветер. Движение в случае прямолинейных и круговых изобар в свободной атмосфере.
21. Геострофическая дивергенция и геострофическая завихренность.
22. Изменение ветра с высотой в свободной атмосфере. Термический ветер.

23. Поверхности раздела в атмосфере. Условия существования атмосферных фронтов..
24. Изменение ветра с высотой в пограничном слое атмосферы. Движение в случае прямолинейных и круговых изобар в пограничном слое. Спираль Экмана.
25. Изменение ветра с высотой в приземном слое. Применение теории подобия для описания изменения метеорологических характеристик в приземном слое.
26. Волны и вихри в атмосфере. Пространственно-временные масштабы атмосферных движений.
27. Основные закономерности формирования и распространения звуковых волн в атмосфере.
28. Солнечная внеатмосферная радиация и солнечная активность.
29. Основные законы излучения. Уравнения Максвелла для вакуума.
30. Основные радиометрические величины и единицы измерения. Характеристики взаимодействия излучения со средой (индикатриса рассеяния, объемный показатель ослабления и др).
31. Закон Бэра-Бугера-Ламберта. Понятие ослабления и эмиссии. Уравнение Шварцшильда. Уравнение радиационного переноса для плоско- параллельной атмосферы.
32. Озон. Особенности распределения озона в атмосфере и его временная изменчивость. Влияние озона на УФ радиацию. Проблемы озонового слоя Земли.
33. Атмосферный аэрозоль. Микрофизические, оптические и радиационные свойства. Аэрозоль различного генезиса.
34. Макро- и микрофизические, оптические и радиационные свойства облаков.
35. Приближение геометрической оптики атмосферные явления: уравнение рефракции, виды рефракции.
36. Особые явления в атмосфере: сумерки, радуга, гало.
37. Свет как электромагнитное излучение: уравнения Максвелла для мутной среды и их решение.
38. Волновые явления: интерференция, дифракция.
39. Основы рассеяния света. Релеевское рассеяние.
40. Основы рассеяния света. Основы теории Ми.
41. Оптические свойства подстилающей поверхности.
42. Молекулярное поглощение в атмосфере Земли. Спектры поглощения атмосферных газов.
43. Контур спектральной линии. Банки данных спектроскопических параметров.
44. Основные фотометрические величины. Естественная освещенность земной поверхности. Световой эквивалент.
45. Теория видимости в атмосфере.
46. Характеристики прозрачности атмосферы.
47. Составляющие радиационного баланса у поверхности Земли и факторы их определяющие.
48. Радиационный форсинг различных атмосферных параметров.
49. Радиационный бюджет системы «Земля – атмосфера».

### **ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО)**

Оценка	<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Отлично</b>
РО и соответствующие виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (виды оценочных средств:	Отсутствие знаний	Фрагментарные	Общие, но не структурированные знания	Сформированные си-

<i>устные опросы)</i>		знания		стематические знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: зачет по семинару, контрольные задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (виды оценочных средств: зачет по семинару, контрольные задания)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

## 9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная:

Матвеев Л.Т. "Физика атмосферы" изд. СПб, ГИМИЗ, 2000г. 778 с.

Тимофеев Ю.М., А.В. Васильев. Теоретические основы атмосферной оптики, Санкт-Петербург, «Наука», 474 стр., 2003.

Хргиан А.Х. "Физика атмосферы" в 2т. Л.ГИМИЗ, 1978 г. т. 1 - 247 с., т.2 - 219 с.

Семенченко Б.А. "Физическая метеорология" М. изд. Аспект-Пресс, 2002г., 502 с.

### б) Дополнительная:

Лиоу К.Н., Основы радиационных процессов в атмосфере, Ленинград, Гидрометеиздат, 1984, 376 стр.

Мак-Картни. Оптика Атмосферы. Издательство МИР, Москва, 1979

Мейсон Б.Дж. Физика облаков. // Ленинград. Гидрометеиздат. 1961. 540 с.

Хромов С.П., Мамонтова Л.И. "Метеорологический словарь". Л.ГИМИЗ, ГИМИЗ, 1974 г., 568 с.

Хромов С.П., Петросянц М.А. "Метеорология и климатология" М. Изд. МГУ, 2001 г., 520 с.

Pruppacher H.R., Klett J.D. Microphysics of clouds and precipitation. // Springer. 2010. 954 p. ISBN: 978-0-7923-4211-3

Saha K. The Earth's Atmosphere Physics and Dynamics. // Springer, 2008. 367 p. ISBN: 978-3-540-78426-5

Wallace J.M., Hobbs P.V. Atmospheric science. 2<sup>nd</sup> ed. Amsterdam. Elsevier. 2006. 484 p.

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы – профессиональные базы данных и информационные справочные системы

<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/overview/index.html> (большой портал гидрометеорологических данных)

## 10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория с мультимедийным проектором, экраном, доской для мела или фломастеров.

## 11. Контролирующие материалы по дисциплине (ФОС)

### тесты контроля усвоенных знаний по дисциплине

1. Вывести уравнение состояния сухого и влажного воздуха

2. Вывести и прокомментировать барометрические формулы для однородной, изотермической и политропной атмосферы
3. Вывести и прокомментировать уравнение притока тепла в атмосфере
4. Вывести и прокомментировать уравнение Клаузиуса-Клапейрона
5. Вывести формулы для геострофической дивергенции и геострофической завихренности
6. Написать уравнение Шварцшильда для плоскопараллельной атмосферы и привести соотношения между различными характеристиками взаимодействия излучения со средой;
7. Вывести формулы для излучения в приближении релеевского рассеяния. Проанализировать условия, при которых оно происходит, и привести его основные характеристики;
8. Привести основные принципы ослабления излучения по теории Ми;
9. Что такое радиационный форсинг? Охарактеризовать климатические эффекты аэрозоля, малых газовых примесей;
10. Какие существуют оптические явления в атмосфере? Описать одно из них (по выбору).

**Программа одобрена на заседании кафедры метеорологии и климатологии**

Протокол № 632 от 20 ноября 2018 г.

Зав. кафедрой метеорологии и климатологии  
д.г.н., профессор

\_\_\_\_\_ А.В. Кислов  
подпись

**Разработчики:**

Торопов  
Павел Алексеевич

к.г.н., доцент

МГУ имени М.В.Ломоносова,  
географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии

Чубарова  
Наталья Евгеньевна

д.г.н., профессор

кафедра метеорологии и климатологии

**Эксперт:**

Кислов  
Александр Викторович

д.г.н., зав.кафедрой метеорологии и климатологии

МГУ имени М.В.Ломоносова,  
географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии