

Министерство образования и науки Российской Федерации

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Для заочной формы обучения

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**по дисциплине**

**«ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ»**

Направление подготовки 05.03.05. — Прикладная гидрометеорология  
Профиль подготовки — Прикладная океанология  
Квалификация (степень) — Бакалавр академический

*Подлежит возврату  
на метеорологический факультет*

Санкт-Петербург  
РГГМУ  
2016

**УДК 551.510(072)**  
**ББК 26.233я7**  
**М54**

*Одобрены учёным советом  
метеорологического факультета РГГМУ*

Методические указания по дисциплине «Физика атмосферы» для высших учебных заведений. Направление подготовки 05.03.05. — Прикладная гидрометеорология. Профиль подготовки — Прикладная океанология. Квалификация (степень) — Бакалавр академический / Сост. Н.С. Ерёмина. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 12 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Физика атмосферы». Даются рекомендации по изучению дисциплины. Приводятся вопросы для самопроверки, рекомендуемая литература, контрольная работа.

*Составитель* Н.С. Ерёмина, доц. каф. ДАКЗ РГГМУ.

*Ответственный редактор* К.Л. Егоров, к.ф.-м.н., доц. каф. ДАКЗ РГГМУ.

*Составитель* Надежда Сергеевна Ерёмина

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по дисциплине  
**«ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ»**

*Редактор* Н.И. Афанасьева  
*Технический редактор* Ю.И. Климов

---

Подписано в печать 06.10.16. Формат 60×90 1/16. Гарнитура Newton.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 0,75. Тираж 50 экз. Заказ № 532/1.  
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

Отпечатано в ЦОП РГГМУ

---

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение курса общей метеорологии является необходимым этапом в процессе подготовки бакалавров океанологов. Этот курс является основой для усвоения не только последующих метеорологических дисциплин, входящих в учебные планы океанологического факультета, но и специальных дисциплин соответствующего профиля.

Океан и атмосфера находятся в непрерывном взаимодействии. При изучении теплового и водного балансов океана, интенсивности таяния и нарастания льда, формирования течений и волн и многих других вопросов необходимы знания основ метеорологии.

Изучение курса общей метеорологии на ФЗО предполагает сочетание лекционных и практических занятий во время зачетно-экзаменационной сессии с самостоятельной подготовкой студентов с использованием учебной литературы, список которой прилагается. Для лучшего усвоения материала рекомендуется в процессе работы с литературой вести конспект и обязательно отвечать на вопросы для самопроверки. В лекционном курсе излагаются наиболее трудные, а также не освещенные в учебниках вопросы программы.

В результате самостоятельного изучения курса необходимо выполнить контрольную работу. Контрольная работа содержит шесть заданий, каждое из которых дается в десяти вариантах. Студент выполняет контрольную работу с таким номером варианта, который соответствует последней цифре номера его зачетной книжки. Если номер зачетной книжки заканчивается нулем, выполняется десятый вариант контрольной работы.

Ответы на вопросы должны быть конкретными. При решении задач необходимо пояснять ход решения. На зачетно-экзаменационную сессию следует являться, имея при себе выполненную контрольную работу.

В результате изучения дисциплины «Физика атмосферы» формируются следующие компетенции:

**ОК-2** — способность решать стандартные профессиональные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом требований информационной безопасности.

**ОПК-1** — способность представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики.

**ПК-1** — способность понимать разномасштабные явления и процессы в атмосфере, океане и водах суши и способность выделять в них антропогенную составляющую.

**ПК-3** — способность прогнозировать основные параметры атмосферы, океана и вод суши на основе проведенного анализа имеющейся информации.

## Литература

1. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы: учебник. — 3-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 777 с.
2. *Семенченко Б.А.* Физическая метеорология: учебник. — М.: Аспект Пресс, 2002. — 415 с.
3. *Хромов С.П., Петросяни М.А.* Метеорология и климатология: учебник — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГУ, 2001. — 528 с.
4. *Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь: [В 3 т.] /* Фед. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова; отв. сост. К.Ш. Хайруллин; под ред. А.И. Бедрицкого. — СПб.: Лет. сад, 2008, 2009. — 854 с.
5. *Задачник по общей метеорологии /* под ред. В.Г. Морачевского. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 312 с.
6. *Психрометрические* таблицы. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 270 с.

## УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ ДИСЦИПЛИНЫ

### Состав и строение атмосферы

При изучении этого раздела необходимо получить четкие представления о газовом составе атмосферы, об основных закономерностях распределения по вертикали давления, плотности и температуры воздуха, принципах деления атмосферы на слои.

Требуется уметь выводить и анализировать уравнения состояния сухого и влажного воздуха, иметь представление об основных гигрометрических характеристиках и методах их определения.

*Литература.* [1] — Гл. I, II; [5] — Гл. I, II; [6].

### Вопросы для самопроверки

1. Различается ли газовый состав воздуха вблизи земной поверхности и на высотах?
2. Какова вертикальная протяженность атмосферы и как убывает с высотой ее масса?
3. Что такое тропосфера и каковы ее особенности?
4. Почему атмосферу делят на планетарный пограничный слой и свободную атмосферу?
5. В каком слое атмосферы сосредоточен озон и каково его значение?

6. Что такое метеорологические элементы? Перечислить основные метеорологические элементы, наблюдение за которыми осуществляется на сети гидрометеорологических станций.
7. Каков физический смысл удельной газовой постоянной сухого воздуха?
8. Что такое виртуальная температура и каков ее физический смысл?
9. Как влияет на плотность воздуха наличие водяного пара в атмосфере?

### **Статика атмосферы**

Следует ознакомиться с методами измерения атмосферного давления. Необходимо уметь выводить и анализировать основное уравнение статики атмосферы, иметь представление о барометрических формулах однородной, изотермической, политропной и реальной моделей атмосферы. Обратит внимание на понятие барической ступени и ее использование при практических расчетах.

*Литература.* [1] — Гл. III; [5] — Гл. I, II.

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Почему в показания ртутного барометра вводятся поправки на температуру, широту станции и ее высоту над уровнем моря?
2. Где быстрее убывает давление с высотой: вблизи подстилающей поверхности земли или на больших высотах?
3. Почему вертикальный градиент температуры в однородной атмосфере называют автоконвекционным?
4. Какова вертикальная протяженность изотермической атмосферы?
5. Можно ли утверждать, что однородная атмосфера является частным случаем политропной атмосферы?
6. Что такое средняя барометрическая температура слоя и каков ее физический смысл?
7. Значения каких метеорологических величин оказывают существенное влияние на величину барической ступени?

### **Радиационный режим атмосферы**

Следует знать законы Кирхгоффа, Вина и Стефана—Больцмана и представлять особенности их применения в атмосфере. Требуется иметь представление о спектральном составе солнечной радиации на внешней границе атмосферы, о спектральном составе излучения Земли, о процессах поглощения, рассеяния и отражения радиации в атмосфере.

Уметь выводить и анализировать основной закон ослабления солнечной радиации в атмосфере — закон Ламберта—Буге.

Следует иметь представление об основных потоках «коротковолновой» и «длинноволновой» радиации в атмосфере и уметь записать и проанализировать

зировать уравнения радиационного баланса подстилающей поверхности Земли, атмосферы и системы «земная поверхность – атмосфера».

*Литература.* [1] — Гл. V, VI, VII, VIII.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. На какой диапазон длин волн приходится максимальное количество энергии в солнечном спектре на внешней границе атмосферы? Какова длина волны абсолютного энергетического максимума излучения Солнца?
2. Что такое солнечная постоянная, каково ее численное значение и как она связана с инсоляцией на внешней границе атмосферы?
3. Какие процессы вызывают ослабление солнечной радиации в атмосфере?
4. Какова роль водяного пара в поглощении солнечной радиации и в поглощении земного излучения?
5. Чем объясняется голубой цвет неба и белый цвет облаков?
6. Каковы причины суточного и годового хода интенсивности суммарной радиации?
7. Где поглощается большая часть солнечной радиации — в атмосфере или на земной поверхности?
8. Что такое альбедо? Какие естественные поверхности отличаются наибольшим и наименьшим его значением?
9. Что такое эффективное излучение земной поверхности и как оно зависит от облачности?
10. Какие факторы влияют на радиационный баланс земной поверхности?
11. Что такое уходящее длинноволновое излучение?

### **Термодинамика атмосферы**

Следует уметь выводить и анализировать уравнение первого начала термодинамики для идеального газа. Необходимо иметь представление о сухоадиабатическом и влажноадиабатическом процессах. Обратить внимание на адиабатическое изменение температуры воздуха при его вертикальных движениях, а также на изменение характеристик влажности при перемещении воздуха выше и ниже уровня конденсации. Следует иметь представление о потенциальной температуре, псевдопотенциальной температуре, уровне конвекции и условиях вертикальной статической устойчивости. Ознакомиться с аэрологической диаграммой и возможностями ее использования.

*Литература.* [1] — Гл. IV; [5] — Гл. IV.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какова сущность уравнения первого начала термодинамики?

2. Что такое сухоадиабатический градиент? Почему при сухоадиабатическом подъеме воздуха происходит его охлаждение, а при опускании — нагревание?
3. Что такое потенциальная температура и каковы способы ее определения?
4. От каких факторов зависит высота уровня конденсации?
5. Как изменяются относительная влажность и массовая доля водяного пара при адиабатическом подъеме влажного воздуха до уровня конденсации и выше?
6. Является ли влажноадиабатический градиент постоянной величиной? Каково его количественное соотношение с сухоадиабатическим градиентом?
7. Каковы условия вертикальной статической устойчивости для сухого воздуха и воздуха, содержащего насыщенный водяной пар?
8. Как изменяется с высотой потенциальная температура в слое воздуха при его устойчивой, неустойчивой и безразличной стратификации?
9. Как можно с помощью аэрологической диаграммы определить характеристики влажности, высоту уровня конденсации, проанализировать устойчивость слоя воздуха?

### **Тепловой режим атмосферы**

Следует понимать основные механизмы теплообмена и знать основные потоки тепла в атмосфере и деятельном слое почвы (воды). Необходимо иметь представление о составляющих теплового баланса подстилающей поверхности и особенностях их изменения. Обратит внимание на механизмы формирования суточного хода температуры воздуха в нижней части атмосферы, на радиационное выхолаживание подстилающей поверхности в ночные часы, на условия формирования заморозков на почве.

*Литература.* [1] — Гл. IX, X, XI; [5] — Гл. VI, VII.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Каковы основные механизмы теплообмена в пограничном слое и в свободной атмосфере?
2. Как происходит обмен теплом в деятельном слое почвы и океана?
3. Каковы основные составляющие теплового баланса подстилающей поверхности и от каких факторов они зависят?
4. Как зависит скрытый поток тепла от типа подстилающей поверхности и от широты места?
5. Каковы основные факторы, влияющие на формирование суточных колебаний температуры в пограничном слое атмосферы?
6. Как меняется амплитуда суточных колебаний температуры с высотой? Как она зависит от степени увлажненности подстилающей поверхности?

7. Когда наблюдается максимальное в течение суток значение температуры подстилающей поверхности? Как зависит наступление максимальной температуры от высоты?
8. Каков механизм радиационного выхолаживания подстилающей поверхности в ночные часы?
9. Как влияет наличие облачности и степень увлажненности подстилающей поверхности на формирование ночных заморозков?

### **Облака, туманы, осадки**

Следует ознакомиться с условиями образования продуктов конденсации на поверхности земли и наземных предметах. Знать условия формирования облачности в атмосфере и ее классификацию. Представлять механизм конденсационного и коагуляционного роста облачных элементов. Изучить классификацию и условия образования туманов. Иметь представление о видах осадков и методах определения их количества.

*Литература.* [1] — Гл. II, XIII, XVI, XVII, XVIII.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. В какую погоду и почему образуются роса и иней?
2. Что такое гололед и при каких условиях он возникает?
3. Каковы основные типы туманов и физические условия их образования?
4. Могут ли над морем наблюдаться радиационные туманы?
5. Какие процессы приводят к укрупнению капель и кристаллов в облаках?
6. Из каких облаков выпадают обложные осадки?
7. Из каких облаков выпадают ливневые осадки?
8. Что такое морось и из каких облаков она выпадает?

## **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

### **Задание 1**

На станции, расположенной на высоте  $z$  над уровнем моря, получен отчет по барометру  $P$ . Постоянная поправка барометра  $\Delta P$ , исправленный отчет по термометру при барометре  $t_6$ , температура воздуха на станции  $t_c$ .

Найти давление на станции и, пользуясь барометрической формулой для реальной атмосферы, привести его к уровню моря.

*Указание.* При определении средней барометрической температуры слоя считать, что температура убывает с высотой по линейному закону со средним для тропосферы вертикальным градиентом, равным  $0,65^\circ\text{C}/100\text{ м}$ .



Варианты исходных данных

№ варианта	$P$ , гПа	$\Delta P$ , гПа	$t_6$ , °С	$t_c$ , °С	$z$ , м
1	1001,3	1,4	20,3	25,0	100
2	956,4	0,7	16,8	0,0	360
3	955,2	-0,3	17,3	14,0	180
4	1010,3	-0,2	19,2	-9,2	90
5	992,6	1,2	20,5	10,4	45
6	960,4	0,6	18,8	20,5	360
7	978,5	-0,4	20,0	15,2	180
8	982,4	1,2	20,8	-15,4	200
9	991,6	1,0	17,4	-10,0	90
10	948,7	-0,9	18,2	3,6	270

## Задание 2

### *Варианты:*

1. Как и почему меняется от дня к ночи атмосферное давление на вершине горы при постоянном давлении у ее подножия?
2. Где и почему летом на высоте 3 км атмосферное давление больше — над сушей или над морем при одинаковом давлении у земли?
3. Где и почему на высоте 3 км атмосферное давление больше — над экватором или над полюсом при одинаковом давлении у подстилающей поверхности?
4. Когда и почему разность давлений над вершиной горы и у ее подножия больше: зимой или летом?
5. Когда и почему поправка для приведения давления к уровню моря на данной станции больше, зимой или летом?
6. Где и почему днем на высоте 2 км атмосферное давление больше: над берегом или над соседним участком моря при одинаковом давлении у подстилающей поверхности?
7. Где и почему зимой на высоте 2 км атмосферное давление больше: над берегом или над соседним участком моря при одинаковом давлении у подстилающей поверхности?
8. Когда и почему разность давлений над вершиной горы и у ее подножия больше: днем или ночью при одинаковом давлении у ее подножия?
9. Где и почему ночью на высоте 1 км атмосферное давление больше: над берегом или над соседним участком моря при одинаковом давлении у подстилающей поверхности?

10. Как и почему меняется от дня к ночи поправка для приведения давления на данной станции к уровню моря?

**Указание.** Считать, что температура в атмосфере убывает с высотой.

### Задание 3

Даны температура воздуха  $t$  °С, температура точки росы  $t_d$  °С и атмосферное давление  $P$  гПа.

Найти: упругость водяного пара, дефицит упругости, относительную и абсолютную влажность воздуха, массовую долю водяного пара. Вычислить при данных условиях плотность воздуха и величину барической ступени.

Таблица 2

Варианты исходных данных

№ варианта	$t$ , °С	$t_d$ , °С	$P$ , гПа
1	14,2	-0,2	1006,4
2	16,3	5,8	1019,3
3	17,6	4,2	996,5
4	20,2	13,6	1010,8
5	12,3	-3,3	1014,7
6	22,5	14,8	993,5
7	17,6	-0,5	987,4
8	19,7	7,0	1012,5
9	14,7	-1,0	1002,3
10	21,7	11,8	998,4

### Задание 4

**Варианты:**

1. Что такое оптическая масса атмосферы и какова ее зависимость от высоты солнца?
2. Каков физический смысл коэффициента прозрачности и как меняется его величина в зависимости от содержания водяного пара и примесей в атмосфере?
3. Что такое оптическая толщина атмосферы и от каких факторов она зависит?
4. Каковы основные потоки «коротковолновой» радиации в атмосфере Земли?
5. Каково влияние облачности на поток суммарной радиации?

6. Каковы основные потоки «длинноволновой» радиации в атмосфере Земли?
7. Какова зависимость потока эффективного излучения Земли от облачности и альbedo подстилающей поверхности?
8. Что такое радиационный баланс подстилающей поверхности и каковы особенности его изменения?
9. Что такое радиационный баланс атмосферы и от чего зависит его составляющие?
10. По какому основному закону происходит ослабление солнечной радиации в атмосфере Земли? Какие именно механизмы ослабления он описывает?

### **Задание 5**

#### ***Варианты:***

1. Почему влажноадиабатический вертикальный градиент температуры меньше сухоадиабатического градиента?
2. При какой температуре и почему влажноадиабатический градиент сильнее отличается от сухоадиабатического: при 30 или при 0 градусах Цельсия?
3. Что такое потенциальная температура и каковы ее свойства?
4. Как и почему меняются характеристики влажности воздуха при его подъеме до уровня конденсации?
5. Что такое уровень конденсации, от чего зависит его положение?
6. Как и почему меняются характеристики влажности воздуха при его подъеме выше уровня конденсации?
7. Что такое уровень конвекции, от чего зависит его положение?
8. Когда и почему быстрее будет переноситься вверх пыль над сушей: днем или ночью?
9. Когда и почему будет быстрее переноситься вверх пыль над сушей: в ясную или в пасмурную погоду?
10. Как меняется с высотой потенциальная температура в слое воздуха при его сухоустойчивой, сухонеустойчивой и сухобезразличной стратификации?

### **Задание 6**

На основании результатов измерений температуры воздуха на различных высотах рассчитать величину среднего вертикального температурного градиента для каждого слоя атмосферы и потенциальную температуру (по упрощенной формуле) на каждом уровне. Указать, как стратифицирован каждый слой относительно сухоадиабатического и влажноадиабатического перемещения воздушной массы по вертикали. Принять условно значение

влажноадиабатического градиента постоянным и равным  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ м}$ . Результаты представить в виде таблицы.

**Указание.** Для приближенного расчета потенциальной температуры воспользоваться упрощенной формулой в виде:  $\theta_z = t_z + \gamma_a Z$ .

Таблица 3

**Варианты исходных данных**

№ варианта	z, м								
	0	200	400	700	1000	1200	1500	1800	2000
1	15,6	13,4	11,4	9,3	7,5	7,0	7,0	7,8	6,8
2	25,7	22,7	20,7	18,3	16,5	15,8	15,8	17,2	16,2
3	21,4	19,0	17,0	14,9	13,1	12,2	12,2	15,3	14,1
4	19,8	17,6	15,4	13,5	11,7	11,0	11,0	14,6	17,0
5	28,7	25,5	23,5	21,1	19,3	18,1	18,1	20,1	19,4
6	27,6	24,4	22,4	20,0	18,2	17,4	17,4	18,0	17,0
7	24,1	21,5	19,5	17,4	15,6	14,9	14,9	15,3	14,5
8	29,8	27,0	25,0	22,3	20,5	20,1	20,1	21,0	20,2
9	26,3	23,3	21,3	19,0	17,2	16,7	16,7	17,9	17,0
10	20,5	18,3	16,3	14,1	12,3	11,6	11,6	13,0	11,2

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.....	3
Литература.....	4
УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
Состав и строение атмосферы.....	4
Статика атмосферы.....	5
Радиационный режим атмосферы.....	5
Термодинамика атмосферы.....	6
Тепловой режим атмосферы.....	7
Облака, туманы, осадки.....	8
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА.....	8
Задание 1.....	8
Задание 2.....	9
Задание 3.....	10
Задание 4.....	10
Задание 5.....	11
Задание 6.....	11