

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра экологии, безопасности жизнедеятельности и химии**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Луковникова

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **УЧЕНИЕ ОБ АТМОСФЕРЕ**

**Б1.Б.17**

### **НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**05.03.06 Экология и природопользование**

### **ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Экология**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

## СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Стр.

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>	
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	5
4.3 Лабораторные работы.....	6
4.4 Семинары / практические занятия.....	7
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат	7
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>8</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>9</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>9</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>10</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>10</b>
9.1 Методические указания по подготовке и выполнению практических работ.....	11
9.2 Методические указания по подготовке к текущему контролю знаний и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины .....	65
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>65</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>66</b>
<b>Приложения 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине .....</b>	<b>67</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>74</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>75</b>
<b>Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....</b>	<b>76</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся производственно-технологическому и научно-исследовательскому видам профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

изучить строение и свойства атмосферы, типы ее циркуляции, закономерности распределения тепла и влаги в ней, факторы климатообразования.

## Задачи дисциплины

состоят в том, чтобы обучить студентов основным закономерностям:

- климатологии и метеорологии, лежащих в основе общей циркуляции атмосферы;
- радиационного и теплового режимов атмосферы;
- формирования климата и погоды.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-5	владением знаниями основ учения об атмосфере, гидросфере, биосфере и ландшафтоведении	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– строение, состав и физические характеристики атмосферы;</li><li>– распространение радиации в атмосфере;</li><li>– тепловой режим атмосферы;</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– комплексно оценивать состояние атмосферы и процессы, происходящие в ней;</li><li>– определять физические закономерности, влияющие на циркуляцию атмосферы и погоду;</li></ul> <b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– методами комплексной оценки состояния атмосферы и процессов, происходящих в ней;</li><li>– методами поиска и обмена информацией в профессиональной сфере;</li></ul>
ПК-14	владением знаниями об основах землеведения, климатологии, гидрологии, ландшафтоведения, социально-экономической географии и картографии	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– общую циркуляцию и влагооборот;</li><li>– формирование и причины изменения климата;</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– оценивать вклад различных факторов в формирование климата на планете;</li></ul> <b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– навыками анализа метеорологической информации для составления прогноза погоды;</li><li>– навыками оценки изменения климата с использованием сведений многолетних наблюдений</li></ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.Б.17 Учение об атмосфере относится к базовой части. Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин Физика, География.

Дисциплина Учение об атмосфере представляет собой основу для изучения в последующем дисциплин:

- Оценка воздействия на окружающую среду;
- Экологический мониторинг;
- Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

## 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	2	3	108	51	17	-	34	30	-	экзамен
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			3
1	2	3	4
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	51	18	51
Лекции (Лк)	17	6	17
Практические занятия (ПЗ)	34	12	34
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	30	-	30
Подготовка к практическим занятиям	20	-	20
Подготовка к экзамену в течение семестра	10	-	10
<b>III. Промежуточная аттестация экзамен</b>	27	-	27
Общая трудоемкость дисциплины 108 час. зач. ед.	108	-	108
	3	-	3

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Радиационный и тепловой режим атмосферы</b>	<b>35</b>	<b>7</b>	<b>16</b>	<b>12</b>
1.1.	Общие сведения об атмосфере	10	2	4	4
1.2.	Радиация в атмосфере	10	2	4	4
1.3.	Тепловой режим атмосферы	8	2	4	2
1.4.	Температурный режим почвы	7	1	4	2
<b>2.</b>	<b>Влагооборот и циркуляция атмосферы</b>	<b>22</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
2.1.	Вода в атмосфере	13	4	4	5
2.2.	Барическое поле и барическая система	9	2	4	3
<b>3.</b>	<b>Климатообразование и погода</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
3.1.	Климат	15	2	6	7
3.2.	Погода	9	2	4	3
<b>ИТОГО</b>		<b>81</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>30</b>

##### 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

№ раздела и темы	Наименование раздела и темы дисциплины	Содержание лекционных занятий	Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)
1	2	3	4
<b>1. Радиационный и тепловой режим атмосферы</b>			<b>2</b>
1.1.	Общие сведения об атмосфере	Введение. Строение, состав и физические характеристики атмосферы	лекция-беседа (0,5 час.)
1.2.	Радиация в атмосфере	Виды радиации: прямая и рассеянная. Собственное излучение Земли и встречное излучение. Радиационный баланс. Методы и приборы измерения радиации. Географическое распределение солнечной радиации.	лекция-беседа (0,5 час.)
1.3.	Тепловой режим атмосферы	Суточный и годовой ход температуры воздуха. Тепловой баланс земной поверхности. Распределение температуры по территории земного шара. Изменение температуры воздуха с высотой. Измерение температуры воздуха.	лекция-беседа (0,5 час.)

1.4.	Температурный режим почвы	Суточный и годовой ход температуры почвы. Факторы, влияющие на суточный и годовой ход температуры почвы. Измерение температуры почвы.	лекция-беседа (0,5 час.)
<b>2. Влагооборот и циркуляция атмосферы</b>			<b>2</b>
2.1.	Вода в атмосфере	Влажность воздуха. Характеристики влажности воздуха. Приборы для измерения влажности воздуха. Процесс испарения. Измерение испарения. Распределение испарения на поверхности земли. Облачность в атмосфере. Атмосферные осадки: виды и классификация. Приборы для измерения осадков. Распределение осадков на территории земли. Изогигеты.	лекция-беседа (1 час.)
2.2.	Барическое поле и барическая система	Циклоны и антициклоны. Фронтальные разделы воздушных масс в атмосфере. Типы фронтов: теплый, холодный, стационарный, окклюзии. Условия образования фронтов. Понятие ветра. Характеристики ветра. Основные приборы для измерения ветра. Суточный и годовой ход скорости ветра. Ветровые потоки у земной поверхности. Шкала Бофорта. Понятие розы ветров.	лекция-беседа (1 час.)
<b>3. Климатообразование и погода</b>			<b>2</b>
3.1.	Климат	Классификация климатов по Л.С. Бергу и Б.П. Алисову. Климатические зоны России. Микроклимат как явление приземного слоя атмосферы. Мезоклимат. Влияние различных факторов на микроклимат. Климат большого города. Изменения климата в период инструментальных наблюдений. Учет климатических факторов в городе при проектировании, строительстве и природоохранных мероприятиях.	лекция-беседа (1 час.)
3.2.	Погода	Классификация прогнозов погоды. Синоптические карты погоды. Опасные метеорологические явления в теплый период. Опасные метеорологические явления в холодный период. Методы борьбы с опасными метеорологическими явлениями. Использование метеорологических наблюдений в природообустройстве.	лекция- беседа (1 час.)

#### 4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено

#### 4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисци- плины</i>	<i>Наименование тем практи- ческих занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Основные метеорологические величины	4	Дискуссия (2 час.)
2	1.	Тепловой режим нижнего (приземного) слоя атмосферы	4	Дискуссия (1 час.)
3	1.	Тепловой режим почвы и водоёмов	4	Дискуссия (2 час.)
4	1.	Радиационный режим атмосферы	4	Дискуссия (1 час.)
5	2.	Водяной пар в атмосфере	2	Дискуссия (1 час.)
6	2	Образование облаков	2	-
7	2.	Атмосферная циркуляция	4	Дискуссия (1 час.)
8	3.	Прогноз погоды	4	Дискуссия (1 час.)
9	3.	Климат населенного пункта	3	Дискуссия (1 час.)
10	3	Изменения климата. Роль испарения в сохранении теплового баланса системы Земля – атмосфера	3	Дискуссия (2 час.)
<b>ИТОГО</b>			<b>34</b>	<b>12</b>

#### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебной работы</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>				
		<i>5</i>	<i>14</i>				
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Радиационный и тепловой режим атмосферы	35	+	+	2	17,5	Лк, ПЗ, СР	экзамен
2. Влагооборот и циркуляция атмосферы	22	+	+	2	11	Лк, ПЗ, СР	экзамен
3. Климатообразование и погода	24	+	+	2	12	Лк, ПЗ, СР	экзамен
<i>всего часов</i>	<b>81</b>	<b>40,5</b>	<b>40,5</b>	<b>2</b>	<b>40,5</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие/ М.А. Варданян. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.
2. Варданян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. / М.А. Варданян. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид учебной работы	Кол-во экз. в библиотеке, шт.	Обеспеченность
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1	Варданян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие/ М.А. Варданян. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с. <a href="http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Химия/Варданян%20М.А.%20Учение%20об%20атмосфере.Учеб.пособие.2016.pdf">http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Химия/Варданян%20М.А.%20Учение%20об%20атмосфере.Учеб.пособие.2016.pdf</a>	Лк, ПЗ, СР	1(ЭУ)	1
2	Учение об атмосфере : учебное пособие / А.И. Байтелова, М.Ю. Гарицкая, Т.Ф. Тарасова, О.В. Чекмарева . - Оренбург : ОГУ, 2016. - 125 с. <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=467002">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=467002</a>	Лк, ПЗ, СР	1(ЭУ)	1
3	Науки о Земле : учебное пособие / Р.Н. Плотникова, О.В. Клепиков, М.В. Енютина, Л.Н. Костылева. - Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2012. - 275 с. <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=141924">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=141924</a>	Лк, ПЗ, СР	1(ЭУ)	1
4	Динамическая метеорология. Общая циркуляция атмосферы : учебное пособие (курс лекций) / авт.-сост. Р.Г. Закинян, А.Р. Закинян. - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 159 с. <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=457895">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=457895</a>	Лк, ПЗ, СР	1(ЭУ)	1
<b>Дополнительная литература</b>				
5	Варданян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. / М.А. Варданян. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с. <a href="http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Химия/Варданян%20М.А.Учение%20об%20атмосфере.МУ.2012.pdf">http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Химия/Варданян%20М.А.Учение%20об%20атмосфере.МУ.2012.pdf</a>	ПЗ, СР	1(ЭУ)	1
6	Воробьев А.В. Человек и биосфера: глобальное изменение климата: Учебник для вузов. В 2 ч. Ч. 1,2/ А.Е. Воробьев, Л.А.Пучков.- М.: РУДН, 2006.- 912 с.	Лк, ПЗ, СР	20	1
7	Новиков Л.С. Основы экологии околоземного космического пространства: Учебное пособие./ Л.С. Новиков. - М.: Университетская книга, 2006. – 84 с. <a href="http://window.edu.ru/resource/780/74780/files/TextbookNovikovEcology.pdf">http://window.edu.ru/resource/780/74780/files/TextbookNovikovEcology.pdf</a>	СР	1(ЭУ)	1
8	Захаровская Н.Н. Метеорология и климатология: Учеб. Пособие для вузов / Н.Н. Захаровская, В. В. Ильинич. - М.: КолосС, 2004.- 127 с.	Лк, ПЗ, СР	24	1

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. **Электронный каталог библиотеки БрГУ**  
[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. **Электронная библиотека БрГУ**  
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. **Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»**  
<http://biblioclub.ru> .
4. **Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»**  
<http://e.lanbook.com> .
5. **Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"**  
<http://window.edu.ru> .
6. **Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU** <http://elibrary.ru> .
7. **Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)**  
<https://uisrussia.msu.ru/> .
8. **Национальная электронная библиотека НЭБ**  
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/>.
9. **Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)**  
<http://www.meteorf.ru/>
10. **Официальный сайт Гидрометцентра России**  
<http://meteoinfo.ru/>
11. **Прогноз погоды от Гидрометцентра**  
<http://gismeteo.ru/>
12. **Официальный сайт Метеоновости.ru**  
<http://www.meteonovosti.ru/index.php?index=14&value=11>

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Преподавание дисциплины Учение об атмосфере проводится с использованием следующих традиционных видов образовательных технологий и форм организации учебного процесса:

- *лекция*, проведение которой основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.
- *практическое занятие*, нацеленное на эффективную отработку знаний студентов, тренировку умения проводить расчеты и применения теоретических знаний в решении конкретных задач.
- *самостоятельная работа*, направленная на углубление и закрепление знаний, а также развитие практических умений, заключается в работе студентов с лекционным материалом, поиске и анализе материалов из литературных и электронных источников информации по заданной теме, изучении тем, вынесенных на самостоятельную проработку, изучении материала к практическим занятиям.
- *текущий контроль* учебных достижений обучающихся проводится на практических занятиях при защите отчетов по ним.
- *консультации*. В случае затруднений при изучении курса следует обращаться за письменной консультацией к своему преподавателю. Консультации можно получить по вопросам организации самостоятельной работы и по другим организационно-методическим вопросам.

- *экзамен.* К сдаче экзамена допускаются студенты, которые выполнили практические работы и сдали отчеты по ним, получили зачет.

Также в процессе обучения используются современные технологии и формы организации учебного процесса, такие как *лекции-беседы, электронные учебные пособия, интернет-ресурсы.*

Студентам рекомендуется начинать изучать дисциплину Учение об атмосфере по разделам, предварительно ознакомившись с содержанием каждого из них. Один раздел дисциплины может включать несколько тем. Расположение материала курса в программе не всегда совпадает с расположением его в учебнике. При первом чтении рекомендуется не задерживаться на математических выводах, стараться получить общее представление об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные места.

При повторном изучении темы важно усвоить все теоретические положения, математические зависимости и их выводы. Рекомендуется следующая последовательность действий: 1) составление простого или сложного плана прочитанных параграфов, объединенных одним разделом; 2) составление кратких или развернутых тезисов, логически связанных и объединенных общей темой; 3) освоение основных теоретических положений, математических зависимостей, а также принципов составления схем, моделей; 4) фиксация в памяти главного и существенного.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач — один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.

## **9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ**

*Цель практических занятий* по дисциплине Учение об атмосфере – закрепление знаний студентов о закономерностях атмосферных процессов и явлений, определения взаимосвязей радиационных свойств атмосферы и теплообмена с динамическими процессами различного масштаба, формирование практических умений и навыков решать метеорологические задачи, логически мыслить и делать обобщения.

Все практические работы требуют у студентов теоретических знаний, полученных на лекциях по данной дисциплине.

Первая часть практического занятия посвящается закреплению теоретического материала, изученного при слушании лекции. Вторая часть посвящается выполнению практических заданий, связанных с изученными теоретическими положениями. Для выполнения практических заданий вся группа обучающихся делится на малые группы по 2 человека в каждой. Каждой малой группе выдается индивидуальное задание.

*Подготовка к практическому занятию.* При подготовке к занятию обучающимся рекомендуется придерживаться следующего плана:

- прочитать название работы, уяснить цель работы и какие теоретические положения изучаются в ней;
- повторить соответствующий теоретический материал, найти ответы на вопросы, приведенные в начале описания работы, составить их краткий конспект;
- выполнить задания для самоконтроля, приведенные в конце описания работы;
- продумать, какой окончательный результат и вывод должен быть получен в данной практической работе.

*Форма отчета по практической работе.* Результаты практических работ рекомендуется оформлять в виде отчетов. Правильно оформленный отчет по практической работе должен содержать следующие разделы:

- полное название работы и её №;
- цель работы;
- теоретическую часть (краткий конспект основных теоретических положений);
- практическую часть (полное условие задач, предложенных преподавателем на занятии и их краткую запись, основные формулы и результаты расчетов по ним, графические зависимости и их анализ, вопросы для подготовки к дискуссии и краткие ответы на них);

- вопросы для самоконтроля, приведенные в конце описания работы и ответы на них;
- вывод (должен соответствовать цели работы).

## Практическое занятие №1. Основные метеорологические величины

Цель работы: ознакомиться с начальными сведениями об основных метеорологических величинах, получить навыки работы с Психрометрическими таблицами.

Задание: При подготовке к практической работе изучить основные теоретические сведения с использованием литературы [1] и [3] из п.7. Подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Какие величины относятся к основным метеорологическим величинам?
2. Какие температурные шкалы известны и используются в разных странах?
3. Что показывает атмосферное давление?
4. Какие гигрометрические характеристики описывают влажность воздуха?
5. Что показывают Психрометрические таблицы?

Порядок выполнения: При проведении дискуссии рекомендуется обратить внимание на следующие ключевые моменты:

1. К основным метеорологическим величинам относятся *температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха.*

2. *Температура воздуха* выражается в градусах термодинамической температурной шкалы, называемой кельвинами (К), или в градусах Международной практической температурной шкалы 1968 г., называемой градусами Цельсия (°С). В прошлом, а в ряде стран и ныне используются также температурные шкалы Реомюра (°R), Фаренгейта (°F), Ренкина (°Re) и др. Некоторые из них до сих пор встречаются в старинных приборах или упоминаются в научно-технической и художественной литературе. В России температуру воздуха обычно измеряют с точностью до десятых долей градуса Цельсия. При теоретических расчётах её часто выражают в кельвинах с той же точностью.

3. *Атмосферное давление* выражается в гектопаскалях (1 гПа = 10<sup>2</sup> Па = 10<sup>2</sup> Н/м<sup>2</sup>). Для измерения давления нередко используются барометры со шкалами, градуированными в ранее применявшихся единицах – миллибарах (мбар) или миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.). Соотношения между этими единицами следующие:

$$1 \text{ мбар} = 1 \text{ гПа} = 0,750062 \text{ мм рт. ст.},$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 1,333224 \text{ мбар} = 1,333224 \text{ гПа}.$$

Измерения и расчеты атмосферного давления производятся с точностью до десятых долей принятых единиц. За нормальное принимается давление 760,0 мм рт. ст.

Для измерения атмосферного давления в стационарных условиях применяется стационарный чашечный барометр. В его показание ( $h$ ) вводится постоянная ( $\Delta h_{\text{п}}$ ) и температурная ( $\Delta h_{\text{т}}$ ) поправки. Первая является алгебраической суммой инструментальной ( $\Delta h_{\text{и}}$ ) поправки, указываемой в паспорте прибора, и поправок на приведение к ускорению свободного падения на широте 45° ( $\Delta h_{g(\varphi)}$ ) и на уровне моря ( $\Delta h_{g(z)}$ ):

$$\Delta h_{g(\varphi)} = -2,64 \cdot 10^3 \cdot h \cdot \cos 2\varphi,$$

$$\Delta h_{g(z)} = -3,14 \cdot 10^{-7} \cdot h \cdot z,$$

где  $\varphi$  – широта места измерения давления;  $z$  – высота чашки барометра над уровнем моря, м.

Температурная поправка приводит показания барометра к температуре 0,0 °С:

$$\Delta h_{\text{т}} = -1,63 \cdot 10^{-4} \cdot h \cdot t,$$

где  $t$  – температура барометра, °С.

Тогда истинное давление на станции можно получить по формуле:

$$h_{\text{с}} = h + \Delta h_{\text{п}} + \Delta h_{\text{т}}.$$

При измерении атмосферного давления в полевых условиях используется барометр-анероид. В его показания вносятся три поправки – шкаловая, температурная и добавочная. Они приводятся в паспорте прибора, причём температурная поправка обычно соответствует изменению температуры прибора на 1 °С.

*4. Гигрометрические характеристики. Влажность воздуха.* К гигрометрическим характеристикам воздуха относятся парциальное давление водяного пара, давление насыщенного водяного пара, дефицит насыщения, относительная влажность, точка росы, абсолютная влажность, массовая доля водяного пара, массовое отношение водяного пара.

*Парциальное давление водяного пара и давление насыщенного водяного пара.* Различные газы могут смешиваться друг с другом в любых соотношениях. При этом каждый газ, входящий в состав смеси, характеризуется своим парциальным давлением. Оно представляет собой давление, которое производило бы имеющееся в смеси количество данного газа, если бы оно одно занимало при той же температуре весь объём, занимаемый смесью.

Парциальное давление водяного пара ( $e$ ) и давление насыщенного водяного пара ( $E$ ) выражаются в гПа с точностью в десятых, а при температуре ниже 7,0 °С – с точностью до сотых. Значения обеих величин определяются по Психрометрическим таблицам. Для вычисления гигрометрических характеристик при отрицательных температурах принято использовать значения  $E$  над водой.

*Дефицит насыщения.* Дефицит насыщения ( $d$ ) определяется по формуле

$$d = E - e$$

и выражается в тех же единицах и с той же точностью, что  $e$  и  $E$ .

*Относительная влажность.* Относительная влажность ( $f$ ) определяется по формуле

$$f = e / E$$

и обычно выражается в процентах с точностью до целых.

*Точка росы.* Значения точки росы ( $t_d$ , °С) при заданном парциальном давлении водяного пара приведены в Психрометрических таблицах с точностью до десятых. При станционных метеорологических наблюдениях эти значения округляют до 1 °С.

*Абсолютная влажность.* Абсолютная влажность ( $a$ ) вычисляется по формуле

$$a = 0,8e / 1 + \alpha t,$$

где  $e$  – парциальное давление водяного пара, гПа;  $\alpha$  – объёмный коэффициент теплового расширения газов,  $\alpha = 3,66 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $t$  – температура воздуха, °С. На практике  $a$  выражают в г/м<sup>3</sup> с точностью до десятых.

*Массовая доля водяного пара.* Массовая доля водяного пара ( $S$ ) вычисляется по формуле

$$S = 0,622e / p,$$

где  $e$  – парциальное давление водяного пара, гПа;  $p$  – атмосферное давление. Величина  $S$  выражается в долях единицы. В метеорологических задачах  $S$  удобно выражать в промилле (‰) с точностью до десятых.

*Массовое отношение водяного пара.* Массовое отношение водяного пара ( $r$ ) вычисляется по формуле

$$r = 0,622e / (p - e),$$

где  $e$  – парциальное давление водяного пара, гПа;  $p$  – атмосферное давление. Величина  $r$  выражается в долях единицы. В метеорологических задачах  $S$  удобно выражать в промилле (‰) с точностью до десятых.

После завершения дискуссии каждой малой группе выдаются 4 задания из нижеприведенного перечня.

#### **Задания**

1. Пользуясь приведенными ниже характеристиками температурных шкал, вывести формулы для перевода температуры из °С в К, а также для перевода °R, °F и °Re в °С и К. Какая шкала имеет наиболее «крупные» градусы, а какие шкалы – самые «мелкие»? Мо-

жет ли одна и та же температура в одной шкале выражаться положительным числом, а в другой – отрицательным?

Величины	K	°C	°R	°F	°Re
Температура плавления чистого льда при нормальном давлении	273,15	0,0	0,0	32,0	491,67
Температура кипения воды при нормальном давлении	373,15	100,0	80,0	212,0	671,67

2. Выразить в K и °C температуру 0,0; 14,0; 77,0 и 122,0 °F.

3. Ввести соотношение между мм рт. ст. и гПа.

*Указание.* Определить давление, производимое ртутным высотой 1 мм и сечением 1 м<sup>2</sup>, находящимся при нормальных условиях, при которых плотность ртути составляет 13595,1 кг/м<sup>3</sup>. Ускорение свободного падения вблизи земной поверхности принять равным 9,80665 м/с<sup>2</sup>.

4. Показание стационарного чашечного барометра 967,6 мбар, инструментальная поправка данного барометра 0,2 мбар, широта места 55°, высота чашки барометра над уровнем моря 300 м, показание термометра при барометре 14,8 °C, его поправка –0,1 °C. Вычислить поправки, ввести их в показания барометра и найти давление на станции.

5. Показание стационарного чашечного барометра 975,4 мбар, постоянная поправка 1,5 мбар, показание термометра при барометре 9,8°, его поправка 0,1 °C. Найти давление на станции в гПа и мм рт. ст.

6. Найти изменения давления насыщенного водяного пара при изменении температуры воздуха от –30,0 до –31,0, от 1,0 до 0,0 и от 31,0 до 30,0 °C. Представить схематически график функции  $E(t)$ . При высокой или низкой температуре воздуха одинаковое её понижение приводит к более значительному уменьшению давления насыщенного пара? Какие следствия этого факта наблюдаются в природе?

7. Температура воздуха –4,2 °C, парциальное давление водяного пара 1,54 гПа. Найти дефицит насыщения.

8. Температура воздуха 12,4 °C, дефицит насыщения 4,7 гПа. Найти парциальное давление водяного пара и давление насыщенного водяного пара.

9. Вычислить относительную влажность, если при температуре 14,4 °C парциальное давление водяного пара равно 0,0; 4,1; 8,2; 12,3; 16,4 гПа. Первое или последнее из найденных значений чаще встречается в природе?

10. Температура воздуха –3,1 °C, парциальное давление водяного пара 1,70 гПа. Вычислить относительную влажность. Как и почему она изменяется, если при той же температуре парциальное давление водяного пара увеличится (уменьшится)? Если при том же парциальном давлении температура повысится (понижится)? При повышении или понижении температуры воздуха содержащийся в нём водяной пар с заданным парциальным давлением приближается к состоянию насыщения?

11. Температура воздуха –8,6 °C, относительная влажность 74 %. Найти давление насыщенного водяного пара, находящегося в воздухе, и дефицит насыщения.

12. До какой температуры должен изобарически охладиться воздух, чтобы содержащийся в нём пар стал насыщенным, если начальная температура воздуха 13,4 °C и дефицит насыщения 4,2 гПа? Как и почему изменится ответ, если при той же начальной температуре дефицит насыщения будет больше (меньше) заданного? Если при данном дефиците насыщения повысится (понижится) начальная температура? (см. прил. 2).

13. Температура воздуха 7,2 °C, парциальное давление водяного пара 4,7 гПа. Вычислить абсолютную влажность. Как и почему она изменяется, если при данном парциальном давлении водяного пара температура повысится (понижится)? Если при данной температуре парциальное давление пара увеличится (уменьшится)? При изменении какой величины – температуры воздуха или парциального давления – абсолютная влажность изменится больше?

14. Температура воздуха 23,7 °C, абсолютная влажность 14,1 г/м<sup>3</sup>. Найти парциальное давление водяного пара, давление насыщенного пара, дефицит насыщения, относительную влажность и точку росы.

15. Парциальное давление водяного пара 10,0 гПа, атмосферное давление 1000,0 гПа. Найти массовую долю водяного пара. Как и почему она изменится, если при данном атмосферном давлении парциальное давление пара увеличится (уменьшится)? Если при данном парциальном давлении изменится атмосферное давление?

16. Температура воздуха 12,7 °С, давление 974,2 гПа, относительная влажность 42%. Найти массовую долю водяного пара. Как и почему она изменится, если при остальных неизменных условиях относительная влажность увеличится (уменьшится)?

17. Температура воздуха –7,1 °С, давление 993,9 гПа, массовая доля водяного пара 0,02 ‰. Найти парциальное давление водяного пара, дефицит насыщения, относительную влажность, точку росы и абсолютную влажность.

18. Парциальное давление водяного пара 14,1 гПа, атмосферное давление 1017,4 гПа. Найти массовое отношение водяного пара. Будет ли оно численно больше или меньше массовой доли водяного пара при тех же условиях? Почему? Как и почему оно изменится, если при данном атмосферном давлении парциальное давление водяного пара увеличится (уменьшится)? Если при данном парциальном давлении пара атмосферное давление увеличится (уменьшится)?

19. Температура воздуха 15,0 °С, атмосферное давление 1015,0 гПа, массовое отношение водяного пара 10 ‰. Найти парциальное давление водяного пара, давление насыщенного пара, дефицит насыщения, относительную влажность, абсолютную влажность и массовую долю водяного пара.

20. Температура воздуха 21,8 °С, атмосферное давление 1017,7 гПа, относительная влажность 37 %. Вычислить все остальные гигрометрические характеристики.

Форма отчетности: Отчет по вышеприведенной форме (п. 9.1)

#### Основная литература

1. Вардамян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.

#### Дополнительная литература

1. Захаровская Н.Н. Метеорология и климатология: Учеб. Пособие для вузов.- М.: КолосС, 2004.- 127 с.
2. Вардамян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите основные метеорологические величины.
2. Приведите формулы для перевода температуры из °С в К, °R, °F и °Re .
3. Укажите единицы измерения атмосферного давления. Приведите соотношения между этими единицами.
4. Перечислите гигрометрические характеристики атмосферного воздуха.
5. Какие значения температуры, давления и вертикального барического градиента приняты для понятия «международная стандартная атмосфера»?

#### **Практическое занятие №2.** Тепловой режим нижнего (приземного) слоя атмосферы

Цель работы: изучить суточный и годовой ход температуры приземного слоя атмосферы и факторы, влияющие на его амплитуду

Задание: При подготовке к практическому занятию обучающимся рекомендуется повторить основные теоретические сведения с использованием литературы [1] и [3] из п.7. и подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Что называют тепловым режимом атмосферы?
2. Какие изменения температуры называются индивидуальными, адвективными, локальными?
3. Что такое суточный ход температуры нижнего слоя атмосферы? Приведите примеры кривых суточного хода температуры;

4. Что такое годовой ход температуры нижнего слоя атмосферы? Приведите примеры кривых годового хода температуры;
5. Как определяют «профиль» температуры?

**Порядок выполнения:** При проведении дискуссии рекомендуется обратить внимание на следующие ключевые моменты:

1. *Распределение температуры воздуха в атмосфере и его непрерывные изменения называют тепловым режимом атмосферы.* Тепловой режим атмосферы определяется, прежде всего, теплообменом между атмосферным воздухом и окружающей средой. Под окружающей средой при этом понимают космическое пространство, соседние массы или слои воздуха и особенно земную поверхность.

Для высоких слоев атмосферы теплообмен с земной поверхностью имеет меньшее значение. Решающая роль в тепловом режиме переходит там к излучению из воздуха и к поглощению радиации Солнца и атмосферных слоев, лежащих выше и ниже рассматриваемого слоя. В высоких слоях атмосферы возрастает и значение адиабатических изменений температуры при восходящих и нисходящих движениях воздуха.

2. Изменения температуры, происходящие в определенном количестве воздуха вследствие указанных выше процессов, можно назвать *индивидуальными*. Они характеризуют изменения теплового состояния данного определенного количества воздуха.

Эти изменения температуры, связанные с адвекцией – с притоком в данное место новых воздушных масс из других частей Земного шара, называют *адвективными*. Если в данное место притекает воздух с более высокой температурой, говорят об адвекции тепла; если с более низкой – об адвекции холода.

Общее изменение температуры в зафиксированной географической точке, зависящее и от индивидуальных изменений состояния воздуха, и от адвекции, называют *локальным* (местным) изменением. Метеорологические приборы – термометры и термографы, неподвижно помещенные в том или ином месте, регистрируют именно локальные изменения температуры воздуха. Термометр на воздушном шаре, летящем по ветру и, следовательно, остающемся в одной и той же массе воздуха, показывает индивидуальное изменение температуры в этой массе.

3. Поскольку приземный слой воздуха нагревается от поверхности, то повышение температуры начинается с восходом солнца (минут на 15 позже), максимум наблюдается в 14...15 ч, затем температура воздуха понижается до минимальных значений перед восходом солнца. *Амплитуда суточного хода температуры воздуха над сушей всегда меньше амплитуды суточного хода температуры поверхности почвы и зависит в основном от тех же факторов: времени года, географической широты, близости к морю, высоты местности, рельефа, облачности, влажности.* Суточный график температуры воздуха в среднем за год на разных широтах показан на рис.2.3.

С увеличением широты суточная амплитуда температуры воздуха убывает. Чем выше местность над уровнем моря, тем температура ниже. Воздух над южными склонами, а также застойный воздух долин и котловин прогревается днем сильнее воздуха над северными склонами. Ночью охлажденный воздух со склонов стекает вниз в долины и котловины. Выпуклые формы рельефа (холмы, возвышенности) свободно обдуваются ветром, днем воздух над ними прогревается меньше, чем в котловине. Поэтому суточные амплитуды колебания температуры воздуха здесь менее выражены (закон Воейкова). Особенности хода температуры учитывают при размещении посевов сельскохозяйственных культур и садов.

Над растительным покровом, а также над болотами и водоемами суточные амплитуды колебания температуры воздуха снижаются, особенно в лесах. Наибольшие суточные амплитуды температуры воздуха наблюдают в субтропических пустынях, где они превышают 20 °С, нередко достигая 30 °С. В умеренных широтах и особенно при пасмурной погоде и зимой суточные амплитуды воздуха значительно ниже.

Суточные колебания температуры воздуха над морем значительно меньше, чем на тех же широтах над сушей, хотя несколько больше суточных амплитуд температур самой поверхности воды. Суточные амплитуды поверхности океана выражаются десятками долями градуса, а амплитуды температуры воздуха над ним составляют 1,0...1,5 °С. С высотой

амплитуды суточных температур воздуха снижаются и на высоте 1,5...2,0 км совсем затухают.

4. Разность средних месячных температур самого теплого и самого холодного месяцев называют *годовой амплитудой* температуры воздуха. Она возрастает от экватора к полюсам. Большое влияние на нее оказывают не только океаны и моря, но и крупные озера и водохранилища.

*Абсолютной годовой амплитудой температуры называют разность между абсолютным максимумом и абсолютным минимумом температуры воздуха, наблюдавшимся в течение года.* По значению амплитуды и времени наступления экстремальных температур выделяют четыре типа годового хода температуры воздуха (рис. 2.4):

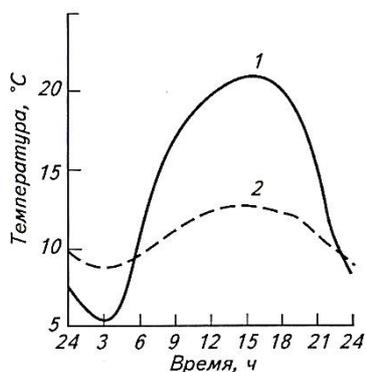


Рис. 2.3 Суточный ход температуры воздуха в среднем за год на разных широтах

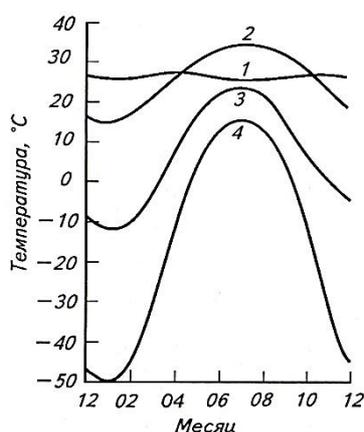


Рис. 2.4. Типы годового хода температуры воздуха: 1 – экваториальный (Джакарта,  $\varphi = 6^\circ \text{ ю. ш.}$ ); 2 – тропический (Асуан,  $\varphi = 24^\circ \text{ с. ш.}$ ); 3 – умеренного пояса (Саратов,  $\varphi = 52^\circ \text{ с. ш.}$ ); 4 – полярный (Верхоянск,  $\varphi = 67^\circ \text{ с. ш.}$ )

1 – экваториальный тип, характеризующийся двумя максимумами (после весеннего и осеннего равноденствия) и двумя минимумами (после летнего и зимнего солнцестояния). Абсолютная годовая амплитуда очень мала: 5...10 °C над сушей и около 1 °C над океаном;

2 – тропический тип, имеет один максимум (после летнего солнцестояния) и один минимум (после зимнего солнцестояния). Амплитуда температуры воздуха увеличивается по мере удаления от экватора на 10...20 °C над сушей и на 5...10 °C над морем;

3 – умеренный тип, отличается экстремумом, который наблюдается в те же сроки, что и в тропическом типе, но над морем сдвигается на месяц позже. Амплитуда увеличивается над сушей на 50...60 °C, над океаном на 15...20 °C;

4 – полярный тип отличается дальнейшим возрастанием амплитуды до 65 °C над сушей и 25...40 °C над морем.

5. *Вертикальное распределение (профиль) суточного и годового хода температуры при равновесной стратификации описывается логарифмическим законом:*

$$\frac{t_1 - t_2}{t_3 - t_2} = \frac{\lg \frac{z_2}{z_1}}{\lg \frac{z_2}{z_3}}, \quad (2.1)$$

где  $t_1, t_2, t_3$  – температура на уровнях  $z_1, z_2, z_3$ , двумя из которых могут быть, например, стандартные уровни градиентных измерений 0,5 и 2,0 м.

После завершения дискуссии каждой малой группе выдаются 4 задания из нижеприведенного перечня.

**Задания**

1. Температура воздуха (°C) на площадке метеорологической станции под Санкт-Петербургом в пасмурный день 9 июля и в ясный день 13 июля 1994 г. составляет:

Дата	Срок, ч											
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
9 июля	13,0	13,4	13,1	13,6	14,1	14,5	18,3	18,8	18,4	16,1	14,1	13,7
13 июля	10,9	8,7	11,0	17,4	19,6	21,9	23,0	24,9	24,5	21,0	12,8	10,0

Построить и проанализировать кривые суточного хода температуры. Указать причины его различия в пасмурные и ясные дни. Как влияют на суточный ход температуры воздуха, форма облаков и их количество? Какие другие погодные явления на него влияют и каким образом?

2. Многолетняя средняя температура воздуха (°C) в Самаре в январе и июле составляет:

Месяц	Срок, ч											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Январь	-14,1	-14,2	-14,4	-14,5	-14,5	-14,0	-13,1	-12,5	-12,9	-13,4	-13,8	-13,9
Июль	18,3	17,3	16,5	17,3	19,6	22,0	23,7	24,4	24,5	23,5	21,3	19,5

Построить и проанализировать кривые суточного хода. Объяснить причины его различия на данной станции зимой и летом.

*Указание.* Данные за 0 ч использовать дважды – в начале и в конце суток.

3. Температура воздуха (°C) над Атлантическим океаном 15 августа 1998 г. на судах погоды *E* и *M* (35 и 66° с. ш.) составляет:

Судно погоды	Срок, ч									
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	
<i>E</i>	25,2	25,1	25,1	25,2	25,5	25,7	26,0	25,9	25,5	
<i>M</i>	8,0	8,1	8,5	9,8	10,0	10,0	9,5	9,5	9,7	

Построить и проанализировать кривые суточного хода. Сравнить их с кривыми, построенными по данным предыдущей задачи. Как и почему изменяется широтное различие суточного хода температуры воздуха при переходе с суши на океан?

4. Многолетняя средняя температура воздуха в июле в двух континентальных пунктах, один из которых (Торжок) находится примерно на 57° с. ш., а другой (Байрам-Али) – на 38° с. ш. составляет:

Пункт	Срок, ч											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Торжок	13,8	12,9	12,4	14,1	16,9	19,0	20,3	20,7	20,7	19,7	17,7	15,2
Байрам-Али	26,2	24,5	22,7	22,3	28,7	33,5	35,6	36,7	36,7	35,7	30,9	28,1

Построить график и проанализировать кривые суточного хода температуры. Указать причины его различия над сушей на разных широтах.

5. Средняя за 8 суток температура воздуха на высоте 3 м над полупустыней и близлежащим орошаемым хлопковым полем совхоза Пахта-Арал (Узбекистан) в июле 1992 г. составляет:

Вид поверхности	Срок, ч.мин										
	0.30	4.30	6.30	8.30	10.30	12.30	14.30	16.30	18.30	20.30	
Полупустыня	24,4	20,3	23,0	28,2	33,1	35,7	37,0	37,1	34,0	29,6	
Орошаемое поле	23,2	19,4	21,2	25,9	30,2	33,1	34,4	34,0	30,6	26,6	

Построить и проанализировать кривые суточного хода. Объяснить причины его различия над разными участками земной поверхности.

*Указание.* Данные за 0 ч 30 мин использовать дважды – в начале и в конце суток.

6. Многолетняя средняя температура воздуха в июле на двух соседних станциях, одна из которых (Ашхабад) находится на равнине, а другая (Хейрабад) – на возвышенности, составляет:

Пункт	Срок, ч											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Ашхабад	27,4	25,9	24,9	25,2	29,9	33,1	35,2	36,2	36,4	35,1	30,4	28,7
Хейрабад	15,2	14,5	13,9	15,3	17,9	19,2	20,2	20,5	20,3	19,1	16,8	15,8

Построить и проанализировать кривые суточного хода. Указать причины его различия на станциях, расположенных на равнине и на возвышенности. Рассмотреть и объяснить его суточный ход разности температур на его станциях.

7. Вычислить разности температур над южным и северным склонами возвышенности в Саблино (под Ленинградом) в каждый срок и указать причины их изменения в течение суток, если температура воздуха на высоте 25 см над указанными склонами составляет:

Склон	Срок, ч						
	0	10	12	14	16	18	20
Южный	28,4	32,0	32,6	35,8	32,6	26,5	22,4
Северный	27,8	31,4	31,2	30,8	28,6	25,0	21,7

8. Средняя за 9 суток температура воздуха в 13 ч над южным и северным склонами возвышенности в Батуми в сентябре – октябре составляет:

Склон	Высота, см				
	5	25	50	100	150
Южный	28,0	25,2	23,8	22,6	22,0
Северный	23,8	22,6	22,2	22,2	21,8

Вычислить разности температур над южным и северным склонами на каждой высоте. Указать причины ее изменения с высотой.

9. Многолетняя средняя температура воздуха в июле на станциях Таллин и Якутск, находящиеся примерно на одинаковой широте, составляет:

Пункт	Срок, ч											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Таллин	14,6	14,1	13,8	14,9	16,7	18,0	18,7	18,9	18,9	18,3	17,0	15,4
Якутск	14,7	13,4	13,1	15,7	18,3	20,7	22,4	23,3	23,3	22,7	20,9	17,0

Построить и проанализировать кривые суточного хода температуры. Указать причины его различия на береговой и континентальной станции. Вычислить разности температур на этих станциях в каждый срок. Построить и рассмотреть суточный ход разности температур.

10. Средняя суточная температура воздуха на ст. Токсово (Ленинградская область) в период с 10 по 20 апреля 1997 г. составляет:

Дата	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t, °C	-4,0	-4,5	-1,1	-3,7	-3,2	-1,7	-2,1	0,0	2,2	1,6	2,8

Вычислить межсуточную изменчивость температуры воздуха и среднее ее значение за весь период на указанной станции. Какие атмосферные процессы характеризует эта величина?

11. Средняя за 8 суток температура воздуха на разной высоте в полупустыне в районе совхоза Пахта-Арал (Узбекистан) в июле 1992 г. составляет:

Высота, м	Срок, ч.мин									
	0.30	4.30	6.30	8.30	10.30	12.30	14.30	16.30	18.30	20.30
0,15	22,8	18,6	23,6	30,4	36,3	39,3	40,2	39,3	35,2	27,2
0,50	23,3	19,1	23,5	29,4	34,8	37,8	38,9	38,3	34,9	28,0
1,50	24,0	19,6	23,3	28,7	33,6	36,3	37,6	37,5	35,0	28,8
3,00	24,4	20,3	23,0	28,2	33,1	35,7	37,0	37,1	34,9	29,6

Построить и проанализировать график суточного хода температуры воздуха на всех высотах. Вычислить разность температур на высотах 0,5 и 3,0 м за каждый срок. Рассмотреть суточный ход разности температур. Какие факторы приводят к образованию и разрушению ночной приземной инверсии? Вычислить вертикальный градиент температуры ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ) в слое 0–3 м за те же сроки. Сделать выводы о стратификации слоя 0–3 м, о направлении и интенсивности переноса тепла в этом слое.

12. Температура поверхности почвы и воздуха на нескольких уровнях в одном и том же пункте составляет:

Срок, ч	Высота, м				
	0,0	0,2	0,5	1,0	2,0
3	4,3	5,7	6,1	6,3	6,6
5	11,4	8,6	9,1	9,1	9,2
13	25,8	17,6	17,0	17,0	16,8
17	11,7	13,7	13,5	13,5	13,4

Построить и проанализировать вертикальные профили температуры воздуха в каждый срок. Вычислить значения вертикального градиента температуры ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ) в каждом слое для всех сроков. Рассмотреть характер его изменения с высотой и со временем. Указать направление переноса тепла в этих слоях.

13. Температура воздуха, измеренная на 300-метровой метеорологической мачте 11–12 июля 1993 г. составляет:

Высота, м	Срок, ч				
	1	7	13	19	1
0,5	13,3	16,3	21,5	19,2	11,9
25	13,5	14,9	19,9	19,2	14,8
97	13,6	13,9	19,0	18,8	17,8
193	13,6	13,8	18,4	18,1	17,8
301	13,4	12,3	17,0	17,9	17,4

Найти амплитуду суточного хода температуры на каждой из высот. Указать возможные причины различия ее изменения до уровня 193 м и выше. Вычислить вертикальный градиент температуры ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ) в каждом слое в срок 13 ч. Установить характер стратификации слоя 0,5–25 м в срок 19 ч и указать, чем такая стратификация обусловлена.

14. Многолетняя средняя месячная температура воздуха на станциях, лежащих примерно на одинаковой долготе, но на разных широтах составляет:

<i>Пункт</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>
Салем (Южная Индия)	23,9	25,8	28,5	30,4	29,6	28,3
Агра (Северная Индия)	15,6	18,2	24,8	31,2	34,4	34,1
Алма-Ата	-7,4	-5,6	1,8	10,5	16,2	20,6
Омск	-19,4	-17,9	-11,0	1,0	11,3	16,8
Сургут	-22,0	-19,6	-13,3	-3,5	4,1	13,0
<i>Пункт</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
Салем (Южная Индия)	27,3	26,8	26,4	26,0	24,9	23,9
Агра (Северная Индия)	30,0	29,0	29,0	26,3	20,4	16,2
Алма-Ата	23,3	22,3	16,9	9,5	0,8	-4,8
Омск	19,4	16,5	11,0	1,9	-9,5	-16,5
Сургут	16,9	14,0	7,8	-1,4	-13,2	-20,3

Построить и проанализировать кривые годового хода. Указать причины его различия на разных широтах.

15. Многолетняя средняя месячная температура воздуха над Атлантическим океаном (судно погоды *K*) и над сушей на той же широте (ст. Кызыл-Орда, Туркменистан) составляет:

<i>Пункт</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>
Судно погоды <i>K</i>	-12,3	11,5	12,0	12,6	13,9	16,3
Кзыл-Орда	-9,3	-7,3	0,8	11,7	19,4	24,3
<i>Пункт</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
Судно погоды <i>K</i>	18,0	18,9	18,4	16,6	14,4	13,1
Кзыл-Орда	25,7	23,8	17,0	8,7	-0,1	-6,6

Построить и проанализировать кривые годового хода. Указать причины его различия над океаном и над сушей. Вычислить разность температур воздуха над океаном и над сушей для каждого месяца. Построить и проанализировать кривую ее годового хода. Указать влияние этой разности на развитие атмосферных процессов.

16. Многолетние средние месячные температуры поверхности почвы и воздуха в Смоленске в январе  $-9$  и  $-8,8$  °С, в июле  $20$  и  $17,1$  °С. Вычислить вертикальный градиент температуры в слое  $0-2,0$  м в эти месяцы (°С/100 м). Сделать выводы о средней стратификации слоя  $0-2,0$  м в эти месяцы. Определить направление переноса в этом слое. Наблюдается ли вертикальный эффект в годовом изменении этого переноса?

17. Многолетняя средняя месячная температура воздуха на двух станциях, лежащих примерно на одинаковой широте составляет:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI
Таллин	-4,7	-5,5	-2,7	2,6	8,4	13,2
Якутск	-43,2	-35,9	-22,2	-7,4	5,7	15,4
Пункт	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Таллин	16,6	15,6	11,1	6,0	1,2	-2,6
Якутск	18,7	14,8	6,2	-6,9	-28,0	-39,8

Построить и проанализировать кривые годового хода. Указать причины его различия на береговой и континентальной станциях. Вычислить разность температур воздуха на этих станциях для каждого месяца. Построить и проанализировать кривую ее годового хода.

18. Многолетняя средняя месячная температура на станциях в Казахстане, расположенных близко друг от друга, на лежащих на разной высоте над уровнем моря, составляет:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI
Или (453 м)	-11,4	-8,1	2,4	11,9	17,9	22,7
Алма-Ата(848 м)	-7,4	-5,6	1,8	10,5	16,2	20,6
Сосновка (1007 м)	-6,5	-5,0	1,3	9,6	14,8	19,1
Верхний Горельник (2252 м)	-7,8	-6,7	-2,5	2,3	7,0	10,6
Мын-Джилки (3036 м)	-12,7	-11,4	-7,3	-2,6	1,5	5,0

Пункт	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Или (453 м)	25,4	24,1	17,7	9,4	-0,4	-7,6
Алма-Ата(848 м)	23,3	22,3	16,9	9,5	0,8	-4,8
Сосновка (1007)	21,7	20,6	15,4	8,3	0,2	-4,0
Верхний Горельник (2252)	13,3	12,9	8,4	3,3	-2,0	-5,2
Мын-Джилки (3036 м)	7,4	7,5	3,1	-1,8	-6,9	-10,2

Построить и проанализировать кривые годового хода. Указать причины его различия на разных высотах. Для июля вычислить вертикальный градиент температуры (°С/100 м) между соседними (по вертикали) станциями. Рассмотреть его изменение с высотой. Вычислить для того же месяца средний градиент в слое  $453-3036$  м и сравнить его со средним значением градиента для всех тропосферы. Используя значение среднего градиента и считая, что оно сохраняется и в слое  $0-453$  м, привести к уровню моря среднюю температуру за июль для каждой станции.

Форма отчетности: Отчет по вышеприведенной форме (п. 9.1)

#### Основная литература

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.

#### Дополнительная литература

1. Захаровская Н.Н. Метеорология и климатология: Учеб. Пособие для вузов.- М.: КолосС, 2004.- 127 с.
2. Варданян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.

### Контрольные задания для самопроверки

1. Перечислите процессы передачи тепла в атмосфере.
2. Запишите тепловой баланс земной поверхности.
3. Покажите суточные ходы температуры воздуха на разных широтах.
4. Что называют годовой температурой воздуха, и как она изменяется от экватора к полюсам?
5. Как подсчитывают сумму активных температур воздуха и сумму эффективных температур воздуха?
6. Какие приборы используют для измерения температуры воздуха?
7. Как меняется температура воздуха с высотой?
8. Что такое балластные температуры воздуха?
9. Что называют температурной инверсией?

### **Практическое занятие №3. Тепловой режим почвы и водоёмов**

Цель работы: изучить различия в тепловом режиме почвы и водоёмов, построить кривые суточного и годового хода температуры поверхности почвы и водоёмов, рассчитать их теплофизические характеристики.

Задание: При подготовке к практическому занятию повторить основные теоретические сведения с использованием литературы [1] и [3] и подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Что называют тепловым режимом почвы?
2. Что такое суточный ход температуры поверхности почвы? Приведите примеры кривых суточного хода температуры поверхности почвы;
3. Что такое годовой ход температуры поверхности водоёмов и в верхних слоях воды? Приведите примеры кривых годового хода температуры поверхности водоёмов;
4. С помощью каких приборов измеряется температура почвы и водоёмов?

Порядок выполнения: В начале занятия рекомендуется провести обсуждение вопросов, приведенных в задании:

1. *Поверхность почвы нагревается при поступлении суммарной солнечной радиации, встречного излучения атмосферы и теряет тепло при излучении самой Земли.* Земная поверхность нагревается также от атмосферы в результате турбулентной теплопроводности и при конденсации на ней водяного пара. Часть полученного поверхностью тепла передается в атмосферу, часть теряется при испарении с нее воды, а часть уходит вниз, нагревая почву и грунт.

Температурный режим земной поверхности в основном зависит от радиационного баланса. При положительном радиационном балансе верхний слой почвы нагревается, при отрицательном – охлаждается. На хорошо увлажненных почвах затраты тепла на испарение больше, чем на нагревание почвы и воздуха. Если почва слабо увлажнена, то тепло затрачивается в основном на нагревание почвы, растений и воздуха. Между поверхностью почвы и ее нижележащими слоями непрерывно происходит теплообмен за счет *молекулярной теплопроводности*. Когда почва теплее нижележащих слоев, тепло идет в глубь почвы. При этом распределение тепла в почве называют *типом инсоляции*. Когда поток тепла направлен из глубины почвы к поверхности, тип распределения называют *типом излучения*.

2. Температура на поверхности почвы имеет *суточный ход*. Минимум ее наблюдается примерно через полчаса после восхода солнца. Затем температура на поверхности почвы растет до 13–14 часов, когда достигает максимума в суточном ходе. После этого начинается падение температуры; однако отдача тепла в дневные часы из верхнего слоя почвы в атмосферу происходит не только путем эффективного излучения, но и путем возросшей теплопроводности, а также при увеличившемся испарении воды. Продолжается и передача тепла в глубь почвы. Поэтому температура на поверхности почвы и падает с 13–14 часов до утреннего минимума.

Суточный ход температуры на поверхности почвы изобразится на графике время – температура волнообразной кривой, более или менее напоминающей синусоиду. Высшая точка этой кривой характеризует максимум, низшая – минимум температуры (рис. 3.1).

Кривая суточного хода в отдельный день может иметь неправильную форму, поскольку она зависит от изменений облачности в течение суток, от осадков, а также и от неперіодических (адвективных) изменений температуры воздуха. Но кривая, построенная по многолетним данным за календарный месяц, будет иметь более правильную форму, так как случайные отклонения в обе стороны в средних величинах уравниваются.

Максимальные температуры на поверхности почвы обычно *выше, чем в воздухе* на высоте метеорологической будки. Это понятно: днем солнечная радиация прежде всего нагревает почву, а уже от нее нагревается воздух.

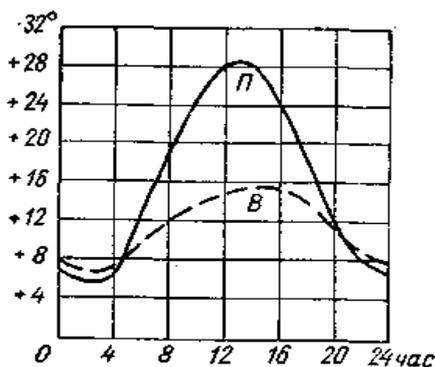


Рис. 3.1. Средний суточный ход температуры на поверхности почвы (П) и в воздухе на высоте 2 м (В). Павловск, июнь

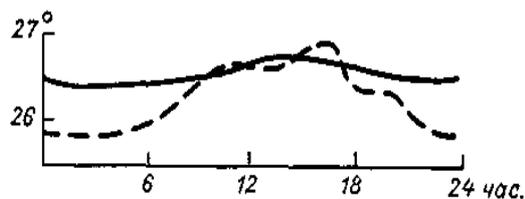


Рис. 3.2. Суточный ход температуры на поверхности моря (сплошная кривая) и на высоте 6 м в воздухе (прерывистая кривая)

Разность между суточным максимумом и суточным минимумом температуры называется суточной амплитудой температуры.

Температура поверхности почвы, конечно, меняется и в годовом ходе. В тропических широтах ее годовая амплитуда, т.е. разность многолетних средних температур самого теплого и самого холодного месяца года, мала и с широтой растет. В северном полушарии на широте  $10^\circ$  она около  $3^\circ$ , на широте  $30^\circ$  около  $10^\circ$ , на широте  $50^\circ$  в среднем около  $25^\circ$ .

3. Выше было сказано об особенностях распространения тепла в водоеме в сравнении с почвой. Основное отличие заключается в том, что *тепло в воде распространяется преимущественно путем турбулентности*. Поэтому и нагревание, и охлаждение распространяется в водоемах на более толстый слой, чем в почве, и водоемы обладающий большей теплоемкостью, чем почва. Вследствие этого изменения температуры на поверхности воды очень малы (рис. 3.2). Амплитуда их – порядка десятых долей градуса: около  $0,1 - 0,2^\circ$  в умеренных широтах, около  $0,5^\circ$  в тропиках. В южных морях СССР суточная амплитуда температуры больше:  $1 - 2^\circ$ ; на поверхности больших озер в умеренных широтах еще больше:  $2 - 5^\circ$ . Суточные колебания температуры воды на поверхности океана имеют максимум около 15 - 16 часов и минимум через 2 - 3 часа после восхода солнца.

Годовая амплитуда колебаний температуры на поверхности океана значительно больше, чем суточная. Но она меньше, чем годовая амплитуда на поверхности почвы. В тропиках она порядка  $2 - 3^\circ$ , под  $40^\circ$  с.ш. около  $10^\circ$ , а под  $40^\circ$  ю.ш. около  $5^\circ$ .

На внутренних морях и глубоководных озерах возможны значительно большие годовые амплитуды – до  $20^\circ$  и более.

Как суточные, так и годовые колебания распространяются в воде (также, конечно, с запозданием) до больших, глубин, чем в почве. Суточные колебания обнаруживаются в море на глубинах до 15 - 20 м и более, а годовые до глубин 150 - 400 м.

4. Для измерения температуры почвы применяют ртутные, спиртовые, толуоловые, биметаллические, электрические и другие термометры в зависимости от цели наблюдений. На метеорологических станциях, постах и обсерваториях для измерения температуры поверхности почвы используют: срочный напочвенный термометр ТМ-3; максимальный термометр ТМ-1, показывающий наивысшую температуру между сроками наблюдений; минимальный термометр ТМ-2 спиртовой, измеряющий наинизшую температуру между

сроками наблюдений. Эти термометры укладывают на специальной, хорошо разрыхленной, незатененной площадке ртутными резервуарами к востоку (термометры наполовину углублены в почву).

Температуру пахотного слоя измеряют коленчатыми термометрами Савинова ТМ-5, определяющими температуру почвы на глубинах 5, 10, 15 и 20 см.

Термометр-щуп АМ-6 толуоловый походный используют для измерений температуры почвы на глубинах 3 - 40 см.

Вытяжными почвенно-глубинными ртутными термометрами ТПВ-50 измеряют температуру грунта на глубинах 20 - 320 см.

Для измерения температуры на разных глубинах используют дистанционные электрические термометры М-54-1М, М-54-2, а для измерения осредненной температуры поверхности почвы – термометр-паук (рис. 3.3).

Для больших территорий температуру почвы определяют бесконтактными методами со спутников, самолетов и космических станций.

Мерзлотомером АМ-21 (рис. 3.4) определяют глубину промерзания почвы с помощью резиновой трубки с делениями через 1 см, заполненной дистиллированной водой.

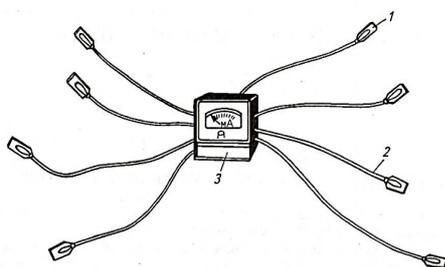


Рис. 3.3. Термометр-паук:  
1 – термистор; 2 – проводник; 3 – амперметр

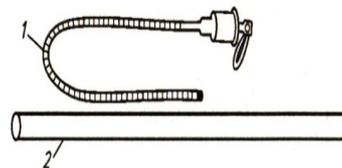


Рис. 3.4. Мерзлотомер:  
1 – резиновая трубка, наполненная водой; 2 – виниловая трубка, вставляемая вертикально в грунт

Для измерения температуры водоемов применяют жидкостные термометры. Результаты измерений сильно зависят от условий установки термометра, не вполне отражают действительные температурные условия.

После завершения дискуссии каждой малой группе выдаются 4 задания из нижеприведенного перечня.

### Задания

1. Средняя за 1993–1996 гг. температура (°С) поверхности почвы в Самаре в январе и в июле:

Месяц	Срок, ч.мин					
	0.30	0.30	9.30	12.30	15.30	18.30
Январь	-18	-19	-19	-14	-16	-16
Июль	16	21	33	40	36	26

Построить и проанализировать кривые суточного хода. Объяснить возможные причины его различия летом и зимой.

*Указание.* Значение за 0 ч 30 мин использовать дважды – в начале и в конце интервала.

2. Температура (°С) поверхности почвы площадке ЛГМИ в Даймище в пасмурный день 9 июля и в ясный день 13 июля 1994 г.:

Дата	Срок, ч												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
9 июля	11	11	12	12	13	15	20	21	21	20	17	10	10
13 июля	11	10	9	16	24	35	38	40	36	28	21	13	10

Построить и проанализировать кривые суточного хода. Указать возможные причины его различия в ясные и пасмурные дни.

3. По наблюдениям в Финляндии за несколько летних дней получены экстремальные температуры поверхности соседних участков с гранитной почвой: 34,8 и 14,5 °С, и с сухой песчаной почвой: 42,3 и 7,8 °С. Вычислить амплитуду на каждом участке и указать причину их различия.

4. Средняя за 8 суток температура поверхности почвы на площадке в полупустыне и на близлежащем орошаемом хлопковом поле совхоза Пахта-Арал (Узбекистан) в июле 1992 г.:

Вид поверхности	Срок, ч.мин								
	0.30	4.30	6.30	8.30	10.30	12.30	14.30	16.30	18.30
Полупустыня Орошаемое поле	22,2	17,8	25,4	43,0	58,4	64,9	63,2	53,8	38,6
	20,6	18,8	20,3	24,0	28,3	35,6	32,7	30,1	27,3

Построить и проанализировать кривые суточного хода. Указать причины его различия на этих площадках.

5. Температура поверхности воды в Атлантическом океане (судно погоды *E*) и температура оголенной поверхности солончаковой почвы примерно на той же широте (ст. Чарджоу) 15 августа 1998 г.:

Срок, ч	Судно погоды <i>E</i>								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
<i>t</i> , °С	25,6	25,2	25,2	25,1	25,1	25,1	25,1	25,0	25,2
Срок, ч	Ст. Чарджоу								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
<i>t</i> , °С	25,6	25,5	25,3	25,3	48,0	44,6	28,9	25,3	25,6

Построить и проанализировать кривые суточного хода. Указать причину различия суточного хода на море и в глубине континента.

6. Многолетняя средняя месячная температура оголенной поверхности в двух пунктах с примерно одинаковым характером почвы:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Москва Ашхабад	-10	-9	-5	4	15	20	22	19	12	4	-2	-7
	1	4	10	19	28	35	37	35	27	17	9	3

Построить и проанализировать кривые годового хода. Указать причины различия годового хода на разных широтах.

7. Многолетняя средняя месячная температура поверхности воды в Каспийском море и поверхности супесчаной почвы на двух станциях на той же широте, одна из которых (Гасан-Кули) находится на берегу Каспийского моря, а другая (Ничка) примерно на расстоянии 900 км от моря, в Юго-Восточных Каракумах:

Точка	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Каспийское море	11,0	9,4	8,9	10,9	14,6	22,8	26,2	25,8	21,6	19,6	14,7	11,8
Гасан-Кули	5	6	11	17	24	29	33	32	28	20	12	7
Ничка	2	6	12	20	29	36	38	34	27	18	9	4

Построить и проанализировать кривые годового хода. Указать причины различия годового хода в этих трех точках.

8. Средняя за месяц температура поверхности почвы в районе Москвы в дневной срок наблюдений на северном и южном склонах одинаковой крутизны и на равнинной местности в апреле – октябре составляет:

Поверхность	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Северный склон	5,5	16,0	22,3	23,7	20,0	12,2	4,9

Равнина	9,4	18,2	23,6	25,7	22,8	16,8	6,7
Южный склон	12,9	20,0	24,6	27,0	25,1	20,8	8,4

Построить и проанализировать кривые изменения температуры от месяца к месяцу. Указать причины различия температурного режима площадок с разной экспозицией.

9. Средняя за 15 лет температура (°С) поверхности оголенной почвы и почвы под снегом в Ленинграде:

Поверхность	XI	XII	I	II	III	IV
Оголенная	-1,6	-6,5	-8,0	-8,8	-4,7	3,8
Под снегом	0,1	-1,8	-1,5	-1,6	-1,2	1,8

Построить и проанализировать кривые изменения температуры во времени. Указать причины различия температурного режима этих площадок.

10. Даны температуры (°С) поверхности и верхнего слоя почвы на ст. Колтуши (Ленинградская область) 9–11 июля 2001 г. Построить и проанализировать график суточного хода температуры поверхности почвы и температуры на всех глубинах за 10 июля (с 0 до 24 ч). Определить, меняется ли период колебания с глубиной. Найти по графику амплитуду колебания на каждой глубине и описать ее изменение с глубиной. Определить время наступления максимума на всех глубинах. Найти запаздывание максимума на каждой глубине по сравнению с моментом его наступления на поверхности.

Дата	Срок, ч	Глубина, см				
		0	5	10	15	20
9 июля	20	16,7	18,3	17,5	16,8	15,7
10 июля	0	14,5	17,2	16,5	15,9	15,3
„	4	15,2	16,0	15,4	15,4	14,8
„	8	20,6	16,7	16,0	15,5	15,0
„	12	23,2	19,0	17,2	16,0	15,7
„	16	21,6	19,6	18,3	17,1	16,1
„	20	16,2	18,1	17,6	17,0	16,4
11 июля	0	11,2	16,0	16,2	16,3	16,1
»	4	10,2	14,6	14,8	15,2	15,4

11. Амплитуда годового хода температуры на одинаковых глубинах па суше и в море в районе Калининграда:

Вид поверхности	Глубина, м			
	0	5	8	15
Суша	20,3	3,9	1,7	0,1
Море	19,0	18,6	14,5	7,5

Построить и проанализировать кривые изменения амплитуды температуры с глубиной. Указать причины их различия.

Форма отчетности: Отчет по вышеприведенной форме (п. 9.1)

#### Основная литература

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с. – с.3 - 171

#### Дополнительная литература

1. Захаровская Н.Н. Метеорология и климатология: Учеб. Пособие для вузов.- М.: КолосС, 2004.- 127 с.
2. Варданян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.

#### Контрольные задания для самопроверки

1. Перечислите процессы нагревания и охлаждения почвы, водоема?
2. При каких условиях тепло идет вглубь почвы (тип инсоляции), а при каких поток тепла направлен из глубины к поверхности (тип излучения)?

3. Опишите приборы и методы измерения температуры почвы.
4. Что влияет на амплитуду суточного хода температуры почвы? Что такое график изоплет?
5. Сформулируйте законы Фурье.

#### Практическое занятие №4. Радиационный режим атмосферы

**Цель работы:** приобрести навыки расчёта солнечной радиации, встречного и эффективного излучения, изучить их суточный ход.

**Задание:** При подготовке к практическому занятию повторить основные теоретические сведения с использованием литературы [1] и [3] из п.7 и подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Что называют солнечной постоянной?
2. От чего зависит количество радиации, приходящей на местность?
3. Что такое альбедо?
4. Виды радиации: прямая и рассеянная.
5. Что такое радиационный баланс? Как определяют его?

**Порядок выполнения:** При проведении дискуссии рекомендуется обратить внимание на следующие ключевые моменты:

1. Солнце – практически единственный источник тепла и света на Земле. Из глубины Земли к поверхности поток тепла в 5000 раз меньше, а от звезд и Луны в  $3 \cdot 10^{-7}$  раз меньше потока солнечного тепла к Земле. Солнце – раскаленный плазменный шар (типичная звезда-карлик) – излучает в окружающее пространство огромную энергию ( $3,83 \cdot 10^{23}$  кВт), из которой Земля получает всего одну двухмиллиардную часть ( $1,743 \cdot 10^{17}$  Вт). Солнце – основной источник энергии всех процессов, совершающихся на земном шаре. Вся биосфера, жизнь существуют только за счет солнечной энергии. За 1,5 сут Солнце дает Земле столько энергии, сколько электростанции всех стран мира за год.

Приход радиации на верхнюю границу атмосферы меняется в зависимости от расстояния от Земли до Солнца, которое вследствие эллиптичности земной орбиты 2 января наименьшее, 5 июля – наибольшее (среднее расстояние от Земли до Солнца  $149,5 \cdot 10^6$  км).

Суммарный поток солнечного излучения, проходящий через единичную площадку, перпендикулярную направлению лучей и находящуюся вне земной атмосферы при среднем расстоянии от Солнца, называют *солнечной постоянной*, которая равна  $(1367 \pm 20)$  Вт/м<sup>2</sup>.

2. В связи с наклоном оси вращения Земли на  $23,5^\circ$  к плоскости эклиптики количество солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы, является функцией географической широты местности и времени года (см. рис. 4.1).

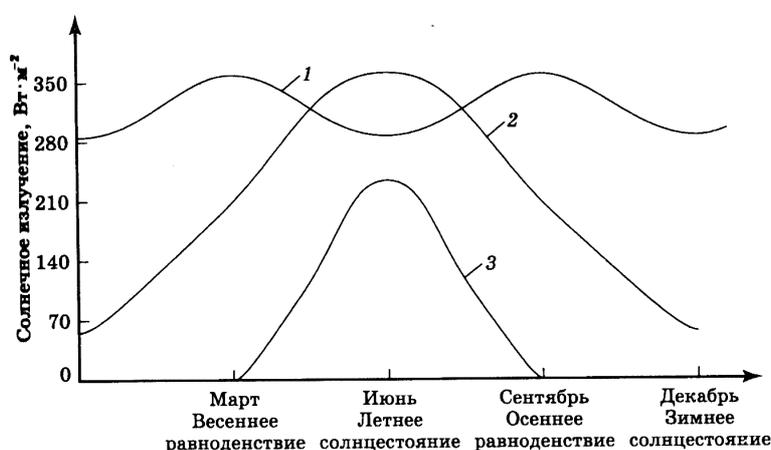


Рис. 4.1. Сезонные изменения интенсивности облучения поверхности Земли солнечной радиацией на разных широтах Северного полушария (по Дж. Андерсону): 1 – экватор; 2 – умеренная зона ( $40^\circ$  с. ш.); 3 – полярная зона ( $80^\circ$  с. ш.)

При прохождении через земную атмосферу интенсивность солнечного излучения заметно уменьшается. Ослабление зависит от свойств облачного покрова, содержания пыли в атмосфере, а также от суточных и сезонных изменений различных физических величин.

В среднем за год 25 - 30 % приходящего солнечного излучения отражается облаками обратно в космическое пространство. Еще 25 % излучения поглощается, а затем переизлучается облаками, пылью, газами, т. е. в виде нисходящей, диффузно рассеянной радиации. Примерно столько же поступает на поверхность Земли в виде прямой солнечной радиации. Соотношение между прямым и рассеянным светом закономерно меняется в зависимости от географической широт. В полярных районах преобладает рассеянная радиация, составляющая до 70 % суммарного лучистого потока, а в экваториальных областях она не превышает 30 %. Это связано с лучшим прохождением лучей прямой радиации через атмосферу вертикально вниз, а не под малым углом к горизонту.

3. Часть излучения, достигающего поверхности, возвращается в атмосферу. Ее количество зависит от *альбедо* (отражающей способности) поверхности. Коэффициент отражения солнечной радиации деятельным слоем – *альбедо* – определяется как отношение

$$A = \frac{Q_{\text{отр}}}{Q},$$

где  $Q_{\text{отр}}$  – отраженная солнечная радиация, т.е. отразившаяся часть суммарной радиации, кВт/м<sup>2</sup>;  $Q$  – суммарная радиация.

Альбедо выражается в долях единицы с точностью до сотых, или в процентах. Снег отражает около 80–95%, травянистая поверхность – 20 %, а темные почвы — только 8–10 % потока приходящего излучения. Среднее альбедо Земли – 35–45 %.

Часть суммарной радиации (кВт/м<sup>2</sup>), поглощенная деятельным слоем, составляет

$$Q_{\text{п}} = Q \cdot (1 - A).$$

Эту величину называют так же *остаточной солнечной радиацией* или коротковолновым *радиационным балансом*. В этих случаях ее обозначают  $B_{\text{к}}$ .

*Энергетическая освещенность* солнечной радиацией горизонтальной поверхности на верхней границе атмосферы определяется по соотношению

$$S'_0 = S_0 \sin h_{\odot}, \quad (4.3)$$

где  $S_0$  – солнечная постоянная;  $h_{\odot}$  – высота Солнца в момент, для которого вычисляется  $S'_0$ . Значения  $S'_0$  принято выражать в кВт/м<sup>2</sup> с точностью до сотых.

Ослабление прямой солнечной радиации при ее прохождении от верхней границы атмосферы до земной поверхности характеризуется законом Буге

$$S = S_0 \cdot P^m, \quad (4.4)$$

где  $S$  – энергетическая освещенность прямой солнечной радиацией, перпендикулярной к лучам площадки у земной поверхности;  $S_0$  – солнечная постоянная;  $P$  – интегральный коэффициент прозрачности атмосферы;  $m$  – оптическая масса атмосферы, пройденная солнечными лучами. Для краткости условимся называть  $P$  просто коэффициентом прозрачности, а  $S$  – прямой радиацией на перпендикулярную поверхность. Значения  $m$  при разной высоте Солнца  $h_{\odot}$  приведены в справочных таблицах [5].

При  $h_{\odot} > 30^\circ$  они могут быть найдены также по формуле

$$m = 1 / \sinh_{\odot}. \quad (4.5)$$

Другими характеристиками ослабления солнечной радиации при прохождении через атмосферу могут служить коэффициент ослабления  $c$ , введенный В.Г. Кастровым:

$$c = \frac{S_0 - S}{Sm}, \quad (4.6)$$

и фактор мутности

$$T = \frac{\lg P}{\lg P_i}, \quad (4.7)$$

где  $P_i$  – коэффициент прозрачности идеальной атмосферы, значение которого изменяется в зависимости от  $m$ :

$m$	1	2	3	4	5	8	10
$P_i$	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94
	6	6	2	7	5	1	6

Значения фактора мутности  $T$  определяются с точностью до сотых.

Ослабление радиации, вызванное только молекулярным рассеянием, характеризуется коэффициентом молекулярного рассеяния  $\sigma_m$ , представляющим собою долю поступившей радиации, рассеянную единичным объемом воздуха. Для любой длины волны  $\lambda$

$$\sigma_m \sim 1/\lambda^4. \quad (4.8)$$

Прямая радиация на перпендикулярную поверхность ( $S$ ) изменяется непосредственно или вычисляется по формуле (4.4). Энергетическая освещенность прямой солнечной радиации горизонтальной поверхности ( $S'$ ) также изменяется непосредственно или вычисляется по формуле

$$S' = S \cdot \sin h_\Theta. \quad (4.9)$$

Для краткости будем называть  $S'$  прямой радиацией на горизонтальную поверхность, а величину  $S_n$  – прямой радиацией на наклонную поверхность.

Энергетическая освещенность рассеянной солнечной радиацией ( $D$ ) измеряется непосредственно. Ниже будем величину  $D$  называть просто *рассеянной радиацией*.

Энергетическая освещенность суммарной солнечной радиацией ( $Q$ ) измеряется непосредственно или вычисляется по формуле

$$Q = S' + D. \quad (4.10)$$

Ниже для краткости будем называть  $Q$  *суммарной радиацией*.

Так называемые мгновенные (правильнее – секундные) значения  $S$ ,  $S'$ ,  $D$  и  $Q$  выражаются в кВт/м<sup>2</sup> с точностью до сотых.

4. *Встречное излучение*. Энергетическая освещенность деятельного слоя встречным излучением при ясном небе измеряется непосредственно или вычисляется, например, по формуле Брента

$$E_A = \sigma T_A^4 \cdot (D + G\sqrt{e}), \quad (4.13)$$

где  $T_A$  – температура воздуха на высоте 2 м над земной поверхностью, К;  $e$  – парциальное давление водяного пара на той же высоте, гПа;  $D$  и  $G$  – постоянные. В настоящей работе будем для краткости величину  $E_A$  называть просто *встречным излучением*.

Поглощенная и отраженная деятельным слоем часть встречного излучения определяются из соотношений

$$E_{A,n} = \varepsilon E_A, \quad E_{A,отр} = (1 - \varepsilon) E_A, \quad (4.14)$$

где  $E_A$ ,  $E_{A,n}$  и  $E_{A,отр}$  выражаются в тех же единицах, что и  $E_c$ .

5. *Эффективное излучение и длинноволновый радиационный баланс*. Эффективное излучение деятельного слоя определяется соотношением

$$E_\circ = E_c - \varepsilon E_A. \quad (4.15)$$

*Радиационный баланс деятельного слоя*, называемый так же «остаточной радиацией», характеризуется соотношением

$$B = (S' + D) \cdot (1 - A) - E_\circ. \quad (4.16)$$

Мгновенные значения радиационного баланса деятельного слоя и его суммы выражаются в тех же единицах и с таким же округлением, как и все отдельные потоки радиации.

Радиационный баланс атмосферы выражается соотношением

$$B_s = E_s + Q_{\text{п}} - U_{\infty}, \quad (4.17)$$

где  $E_s$  – эффективное излучение деятельного слоя;  $Q_{\text{п}}$  – суммарная радиация, поглощенная вертикальным столбом атмосферы, имеющим единичное сечение и простирающимся от деятельного слоя до верхней границы атмосферы;  $U_{\infty}$  – длинноволновое излучение деятельного слоя и атмосферы, выходящее через верхнюю границу указанного столба атмосферы в космос (уходящее излучение).

Радиационный баланс системы деятельный слой – атмосфера, т.е. Земли в целом (как планеты) можно представить в виде

$$B_c = (S' + D) \cdot (1 - A) + Q_{\text{п}} - U_{\infty}. \quad (4.18)$$

После завершения дискуссии каждой малой группе выдаются 4 задания из нижеприведенного перечня.

### Задания

1. Излучение Солнца примерно соответствует излучению черного тела с радиационной температурой 5805 К. Вычислить энергетическую светимость Солнца.
2. Вычислить энергетическую освещенность солнечной радиацией горизонтальной поверхности на верхней границе атмосферы при высотах Солнца 0, 15, 30, 45, 60,75 и 90°. Построить и проанализировать график функций  $S'_0 = f(h_{\odot})$ .
3. 1 сентября при высоте Солнца 30° прямая радиация на перпендикулярную поверхность составляла 0,68 кВт/м<sup>2</sup>, а при 10° – 0,36 кВт/м<sup>2</sup>. Вычислить коэффициенты ослабления  $c$  (по Кастрову) и коэффициенты прозрачности – не приведенные при  $m = 2$ . Изменилось ли состояние атмосферы в интервале между наблюдениями? Почему не приведенный коэффициент прозрачности не позволяет правильно ответить на предыдущий вопрос? Чем объясняется полученное соотношение между не приведенным и приведенным коэффициентами прозрачности в каждом случае?
4. При высоте Солнца 42° прямая радиация на перпендикулярную поверхность равна 0,63 кВт/м<sup>2</sup>. Найти фактор мутности. Каков смысл полученного результата?
5. Вычислить прямую радиацию на перпендикулярную поверхность при высотах Солнца 30 и 60°, если коэффициент прозрачности составляет 0,500; 0,700; 0,800. построить и проанализировать график зависимости  $S = f(P)$  при заданных высотах Солнца.
6. Средние часовые действительные суммы прямой радиации на перпендикулярную поверхность (МДж/м<sup>2</sup>) в июне:

Пункт	Интервал, ч							
	0–1	3–4	6–7	9–10	12–13	15–16	18–19	21–22
Якутск	0,00	0,38	1,30	1,67	1,59	1,30	0,96	0,04
Карадаг	0,00	0,00	1,42	2,09	2,05	1,84	0,92	0,00

Построить и проанализировать график суточного хода сумм прямой радиации.

7. Действительные месячные суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность (МДж/м<sup>2</sup>) в Ленинграде и в Воейково (30 км от центра Санкт-Петербурга):

Станция	II	IV	VI	VIII	X	XII
Ленинград	13	163	301	167	25	0
Воейково	21	193	327	184	21	4

Построить и проанализировать график годового хода. Найти годовые суммы. На сколько процентов одна из них больше другой? Указать возможные причины различия в этих пунктах, расположенных близко друг к другу.

8. Средние за месяц суточные суммы рассеянной радиации (МДж/м<sup>2</sup>):

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Якутск	2,34	7,08	8,50	5,86	2,47	0,50
Тбилиси	4,23	6,57	6,57	6,15	4,14	2,60

Построить кривые годового хода сумм рассеянной радиации в Якутске и Тбилиси. Указать возможные причины его различия в этих пунктах.

9. Средние месячные суммы рассеянной радиации (МДж/м<sup>2</sup>):

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Игарка	38	247	310	234	63	0
Смоленск	80	193	268	247	92	29
Ашхабад	130	226	193	172	126	88

Построить график годового хода, сравнить с графиком из предыдущей задачи и указать возможные причины различия. Вычислить годовые суммы. Почему полученные результаты различаются между собою не очень значительно?

10. Альbedo свежеспаханного влажного чернозема около 10 %, а чистого сухого снега около 90 %. Если суммарная радиация на этих участках одинакова, то какой участок больше поглощает и во сколько раз? Как влияет различие в альbedo на количество поглощенной радиации? Как это сказывается на тепловом режиме разных участков деятельного слоя и прилегающих к нему слоев атмосферы при одинаковом поступлении солнечной радиации?

11. Средние значения альbedo (%) в Санкт-Петербурге и Воейково:

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Ленинград	58	17	17	18	19	47
Воейково	71	28	18	19	22	69

Построить график годового хода альbedo в Ленинграде и Воейково. Указать возможные причины его различия в этих пунктах.

12. Средние значения альbedo поверхности Черного моря летом:

$h_{\odot}^{\circ}$	20	30	40	50	60
$A, \%$	10	7	6	6	5

Построить график функции  $A = f(h_{\odot})$ . Указать причину уменьшения альbedo моря при увеличении высоты Солнца (волнением моря пренебречь).

13. Вычислить количество солнечной радиации, поглощаемой поверхностью снега, альbedo которого составляет 80 %, в истинный полдень 20 февраля на 60° с.ш., если коэффициент ослабления  $s$ , по В.Г. Кастрову, равен 0,25, а рассеянная радиация составляет 0,07 кВт/м<sup>2</sup>.

14. Вычислить энергетическую светимость деятельного слоя сухого песка при температуре 15,0 °С. Результат сравнить со значением прямой радиации на горизонтальную поверхность при высоте Солнца 30° и коэффициенте прозрачности 0,700. Значительно ли различаются эти величины? Может ли излучение деятельного слоя скомпенсировать или превысить поглощенную часть прямой или суммарной радиации?

15. Вычислить энергетическую светимость деятельного слоя оголенной сухой почвы при температурах 40,0 и -40,0 °С. Значительно ли изменяется излучение деятельного слоя от лета к зиме? Изменится ли ответ, если учесть, что зимой почва может быть покрыта снегом?

16. Вычислить встречное излучение при ясном небе, температуре воздуха 30,0 °С и парциальном давлении водяного пара 16,0 гПа. Сравнить его с излучением сухого песка, поверхность которого имеет такую же температуру. Какая из двух сравниваемых величин при обычных условиях бывает преобладающей?

17. Многолетняя средняя месячная температура воздуха и парциальное давление водяного пара в Воейково в июле:

Срок, ч.мин	0.30	6.30	9.30	12.30	15.30	18.30
°С	11,8	14,7	17,6	18,9	18,9	17,3
$e$ , гПа	13,6	14,3	14,1	13,9	13,9	14,2

Вычислить встречное излучение для каждого срока. Построить и проанализировать график суточного хода  $E_A$ . Рассчитать его суточную сумму. С чем связаны особенности су-

точного хода встречного излучения? Как он изменяется в этом пункте зимой в указанном месяце?

18. Месячные суммы эффективного излучения деятельного слоя (МДж/м<sup>2</sup>):

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Восейково	88	130	188	138	80	42
Куйбышев	180	188	285	247	130	92

Построить и проанализировать график годового хода этих сумм. Вычислить годовые суммы эффективного излучения и указать причины их различия.

19. Рассчитать радиационный баланс деятельного слоя сухого песка, если суммарная радиация равна 0,84 кВт/м<sup>2</sup>, альбедо 20 %, температура поверхности, 45,0 °С, температура воздуха 27,0 °С, парциальное давление водяного пара 16,0 гПа и наблюдается 2 балла облаков нижнего яруса.

20. Вычислить радиационный баланс деятельного слоя чистого снега, если суммарная радиация равна 0,14 кВт/м<sup>2</sup>, альбедо 90%, температура поверхности и воздуха –30,0 °С, парциальное давление водяного пара 0,25 гПа, небо ясное. Может ли радиационный баланс деятельного слоя быть отрицательным при наличии прямой и рассеянной радиации? Может ли он быть положительным, если прямая и рассеянная радиации отсутствуют?

21. Средние месячные значения радиационного баланса деятельного слоя в Минске в 1998 г. (кВт/м<sup>2</sup>):

Месяц	Срок, ч.мин					
	0.30	6.30	9.30	12.30	15.30	18.30
Январь	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,02
Июль	-0,04	0,10	0,31	0,33	0,24	0,03

Построить и проанализировать график суточного хода радиационного баланса на одной и той же станции зимой и летом. Указать возможные причины различия. Вычислить суточные суммы *B*.

22. Средние месячные значения радиационного баланса деятельного слоя в июне 1995 г. (кВт/м<sup>2</sup>):

Пункт	Срок, ч.мин					
	0.30	6.30	9.30	12.30	15.30	18.30
Архангельск	-0,03	0,12	0,24	0,25	0,19	0,06
Ташкент	-0,06	0,14	0,47	0,54	0,30	-0,01

Построить и проанализировать график суточного хода в один и тот же летний месяц на двух станциях, значительно различающихся по широте и физико-географическим условиям. Указать возможные причины различия. Вычислить суточные суммы *B*.

23. Месячные значения радиационного баланса деятельного слоя в 1995 г. (МДж/м<sup>2</sup>):

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Верхоянск	-17	0	360	218	-29	-33
Кишинев	29	201	356	276	75	-33

Построить и проанализировать график годового хода радиационного баланса за один и тот же год на двух станциях, значительно различающихся по широте и физико-географическим условиям. Указать возможные причины различия. Вычислить годовые суммы *B*.

24. Среднее во времени и в пространстве альбедо системы деятельный слой – атмосфера, по расчетам М.И. Будыко, составляет 36 %. При этом на долю атмосферы приходится около 33 % солнечной радиации, поглощенной этой системой. Зная, что годовая энергетическая экспозиция солнечной радиации на верхней границе атмосферы равна 10 880 МДж/м<sup>2</sup>, вычислить годовые суммы солнечной радиации, поглощаемой атмосферой и деятельным слоем. Велика ли роль деятельного слоя? Является ли атмосфера по отношению к солнечной радиации преимущественно поглощающей или рассеивающей средой?

Форма отчетности: Отчет по вышеприведенной форме (п. 9.1)

Основная литература

1. Науки о Земле : учебное пособие / Р.Н. Плотникова, О.В. Клепиков, М.В. Енютина, Л.Н. Костылева. - Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2012. - 275 с.
2. Варданян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.

#### Дополнительная литература

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какие виды солнечной радиации в атмосфере вы знаете?
2. Что такое прямая солнечная радиация? инсоляция?
3. Как возникает рассеянная радиация?
4. Почему небо голубого цвета?
5. Что такое сумерки?
6. Отчего заря пурпурного и золотого цвета?
7. Из чего складывается суммарная радиация?
8. Чему равно альбедо ( $A$ ) различных поверхностей и Земли в целом?
9. Из чего складывается эффективное излучение?
10. Запишите радиационный баланс поверхности земли днем, ночью.

### **Практическое занятие № 5. Водяной пар в атмосфере**

Цель работы: ознакомиться с характеристиками влажности воздуха, изучить ее суточный и годовой ход и факторы, влияющие на ее амплитуду.

Задание: При подготовке к практическому занятию повторить основные теоретические сведения с использованием литературы [3] из п.7 и подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Укажите характеристиками влажности воздуха.
2. Как изменяется влажность воздуха с высотой приземном слое?
3. Какие приборы используют для измерения влажности?

Порядок выполнения: При проведении дискуссии рекомендуется обратить внимание на следующие ключевые моменты:

1. Для количественного выражения содержания водяного пара в атмосфере употребляют различные характеристики влажности воздуха. Это, во-первых, *упругость* (давление) *водяного пара*  $e$  – основная и наиболее употребительная характеристика влагосодержания (измеряется в миллибарах). Во-вторых, это *относительная влажность*  $r$ , т. е. процентное отношение фактической упругости пара к упругости насыщения при данной температуре. Употребительной характеристикой является также *абсолютная влажность*  $a$ , т. е. плотность водяного пара, выраженная в граммах на кубический метр, и плотность водяного пара. При температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $273\text{ K}$ ) и для состояния насыщения  $a = 4,9\text{ г/м}^3$ .

Суточный ход упругости водяного пара и относительной влажности в разных точках земного шара показан на рис. 5.1 – 5.3.

Еще одна широко применяемая характеристика влагосодержания – *удельная влажность*  $s$  – отношение плотности водяного пара к общей плотности влажного воздуха. Её можно вычислить, зная упругость пара и давление воздуха. На практике удельную влажность выражают числом граммов водяного пара в килограмме воздуха:  $S = 0,623 \cdot e/p$  (г/кг).

Для разных целей применяются еще три характеристики влажности. Во-первых, это *точка росы*  $t_d$ , т.е. та температура, при которой содержащийся в воздухе водяной пар мог бы насытить воздух. Так, например, если при температуре воздуха  $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$  упругость пара в нем  $23,4\text{ мб}$ , то такой воздух не является насыщенным. Для того чтобы он стал насыщенным, нужно было бы понизить его температуру до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вот эта последняя величина  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и является в данном случае точкой росы для воздуха. Очевидно, что, чем мень-

ше разница между фактической температурой и точкой росы, тем ближе воздух к насыщению. При насыщении точка росы равна фактической температуре.

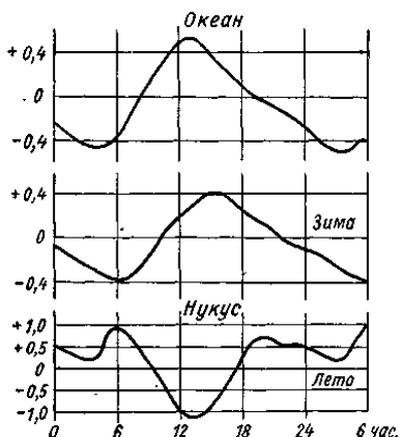


Рис. 5.1. Суточный ход упругости пара в тропическом океане (верхняя кривая) и в пустыне (Нукус) зимой и летом

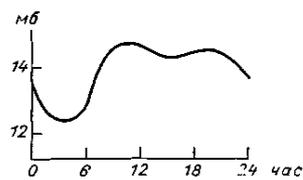


Рис. 5.2. Суточный ход упругости пара в Иркутске в июле

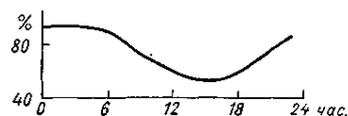


Рис. 5.3. Суточный ход относительной влажности в Иркутске в июле

Другая характеристика называется *отношением смеси*. Отношение смеси есть содержание водяного пара в граммах на килограмм сухого воздуха. Эта величина мало отличается от удельной влажности.

Третья характеристика – *дефицит влажности*, т.е. разность между упругостью насыщения  $E$  при данной температуре воздуха и фактической упругостью  $e$  пара в воздухе:  $d = E - e$ . Иначе говоря, дефицит влажности характеризует, сколько водяного пара недостает для насыщения воздуха при данной температуре. Выражается он в миллиметрах ртутного столба или в миллибарах.

На рис. 5.4 и 5.5 приведено распределение упругости водяного пара и относительной влажности по широте.

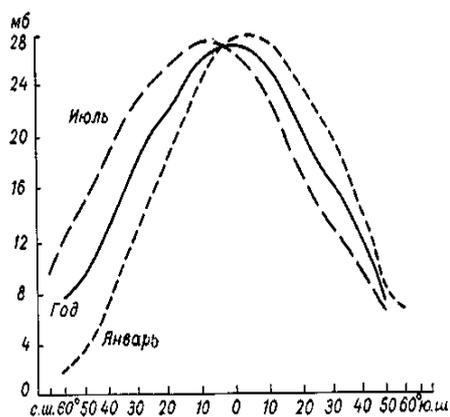


Рис. 5.4. Среднее распределение упругости пара с географической широтой

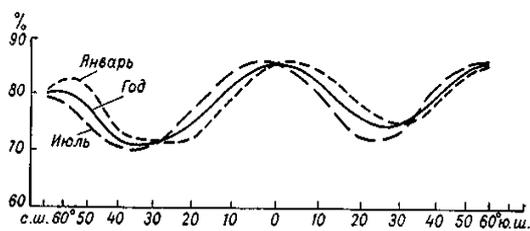


Рис. 5.5. Среднее распределение относительной влажности с географической широтой

2. Изменение влажности с высотой в приземном слое определяется характером возрастания коэффициента турбулентности с высотой при постоянном по высоте турбулентном потоке водяного пара. При линейном возрастании коэффициента турбулентности с высотой в приземном слое атмосферы обычно наблюдается логарифмический вертикальный профиль парциального давления водяного пара:

$$\frac{e_1 - e_2}{e_2 - e_3} = \frac{\ln(z_2/z_1)}{\ln(z_3/z_2)}, \quad (5.1)$$

где  $e_1, e_2, e_3$  – парциальное давление водяного пара на уровнях  $z_1, z_2, z_3$ .

Отклонения вертикального распределения влажности от логарифмического наблюдаются при существенных отклонениях термического состояния приземного слоя от равновесного: при неустойчивом состоянии атмосферы парциальное давление водяного пара убывает с высотой медленнее, а при инверсионном состоянии быстрее, чем по логарифмическому закону.

3. Абсолютную влажность воздуха в метеорологии непосредственно не измеряют, а определяют на основе других показаний. Для этого используют психрометры, гигрометры и гигрографы, показанные на рис. 5.6 – 5.8.

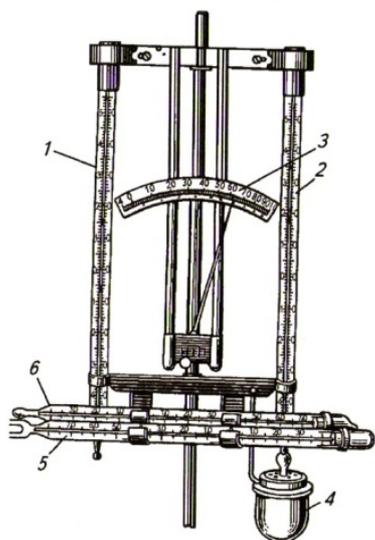


Рис. 5.6. Стационарный психрометр с волосным гигрометром, максимальным и минимальным термометрами: 1 – сухой (сухой) термометр; 2 – смоченный термометр; 3 – шкала волосного гигрометра; 4 – стаканчик с дистиллированной водой; 5 – минимальный термометр; 6 – максимальный термометр

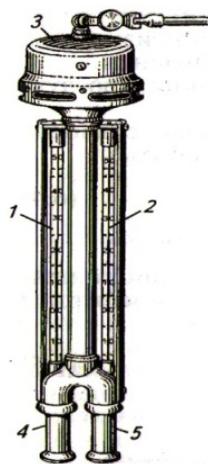


Рис. 5.7. Переносной (аспирационный) психрометр: 1 – сухой термометр; 2 – смоченный термометр; 3 – вентилятор; 4 – кожух сухого термометра; 5 – корпус смачиваемого термометра

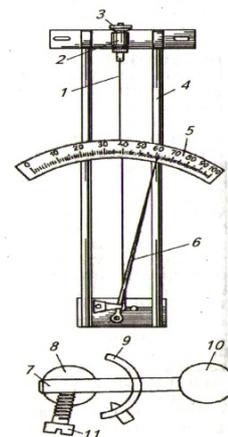


Рис. 5.8. Волосной гигрометр МВ-1: 1 – волос; 2 – регулировочный винт; 3 – контргайка; 4 – рама; 5 – шкала; 6 – стрелка; 7 – стерженек; 8 – ось; 9 – кулачок; 10 – грузик; 11 – винт

После завершения дискуссии каждой малой группе выдается 1 задание из нижеприведенного перечня.

### Задания

1. Построить и проанализировать кривые суточного хода температуры воздуха  $t$ , парциального давления водяного пара  $e$ , относительной влажности воздуха  $f$  и дефицита точки росы  $\Delta t_d$  в ясный и пасмурный дни ( $n$  – количество облаков) по данным станции, находящейся на северо-западе ЕТС за 9 и 11 июля 1997 г.:

Метеорологическая величина	Срок наблюдения, ч							
	0	3	6	9	12	15	18	21
9 июля								
$n$ , баллы	0/0	0/0	0/0	2/2	3/3	4/4	2/2	0/0
$t$ , °C	11,0	7,7	8,8	18,9	20,8	22,6	21,1	10,5
$e$ , гПа	12,1	10,4	10,7	13,4	10,8	11,9	12,9	11,0
$f$ , %	92	99	95	62	44	43	52	87
$\Delta t_d$ , °C	1,2	0,1	0,8	7,6	12,7	13,1	10,4	2,1
11 июля								
$n$ , баллы	10/3	10/4	10/6	10/0	9/2	9/7	10/1	1/1

$t$ , °C	15,1	11,6	12,5	17,0	19,2	17,0	0	13,5
$e$ , гПа	15,2	13,3	14,0	15,8	16,2	15,8	14,1	13,0
$f$ , %	94	97	97	81	73	81	15,5	97
$\Delta t_d$ , °C	1,9	0,4	0,5	3,2	5,0	3,2	0,6	2,6

Указать время наступления и значения максимума и минимума рассматриваемых метеорологических элементов и привести объяснения. Сопоставить суточный ход характеристик влажности с суточным ходом температуры. Объяснить различия суточного хода характеристик влажности в ясные и пасмурные дни. Какие факторы определяют суточный ход парциального давления водяного пара, относительной влажности и температуры точки росы?

2. Вычислить парциальное давление водяного пара и относительную влажность на высотах 1 и 3 км, если при радиозондировании на ст. Воейково получено:

Высота, км	0	1	3
$t_z$ , °C	14,2	10,9	1,8
$e_0$ , гПа	10,6	–	–

Выполнить расчет парциального давления водяного пара по формулам Ганна, Зюринга и Накоренко. Результаты сопоставить между собой.

3. Построить и проанализировать кривые суточного хода температуры воздуха, парциального давления водяного пара, относительной влажности воздуха и дефицита точки росы по данным наблюдений станции, находящейся на северо-западе ЕТС за 15 и 20 января 1998 г.:

Метеорологическая величина	Срок наблюдения, ч							
	0	3	6	9	12	15	18	21
15 января								
$n$ , баллы	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
$t$ , °C	-11,2	-13,3	-16,1	-15,1	-14,2	-10,5	-11,3	-11,9
$e$ , гПа	2,2	2,0	1,5	1,7	1,8	2,5	2,2	2,1
$f$ , %	85	89	86	90	88	92	87	86
$\Delta t_d$ , °C	2,1	1,1	1,8	1,3	1,5	1,2	2,0	2,0
20 января								
$n$ , баллы	10/10	6/0	9/0	5/1	10/10	10/10	10/10	10/10
$t$ , °C	-10,7	-15,3	-15,3	-17,2	-9,2	-7,1	-3,3	-1,8
$e$ , гПа	2,6	1,7	1,8	1,4	2,8	3,2	4,1	4,6
$f$ , %	93	92	93	91	98	88	86	86
$\Delta t_d$ , °C	0,5	1,1	0,2	1,5	0,4	1,5	2,1	2,0

Указать время наступления и значения максимума и минимума рассматриваемых метеорологических элементов и привести объяснения. Сопоставить суточный ход характеристик влажности с суточным ходом температуры. Объяснить различия суточного хода характеристик влажности в ясные и пасмурные дни. Какие факторы определяют суточный ход парциального давления водяного пара, относительной влажности и температуры точки росы?

4. По осредненным за октябрь 2005 г. ежечасным наблюдениям за температурой и относительной влажностью воздуха на агрометеостанции г. Ереван вычислить парциальное давление водяного пара и температуру точки росы. Построить суточный ход температуры и относительной влажности воздуха. Сопоставить суточный ход температуры и относительной влажности воздуха.

Время, ч	$t$ , °C	$f$ , %	Время, ч	$t$ , °C	$f$ , %	Время, ч	$t$ , °C	$f$ , %
1	8,5	75	9	10,6	71	17	13,2	59
2	8,0	78	10	11,2	67	18	11,2	71
3	7,9	78	11	12,3	61	19	9,7	76
4	7,6	79	12	13,5	57	20	9,1	78
5	7,3	80	13	14,3	54	21	8,9	76
6	6,9	83	14	14,3	54	22	8,9	75
7	7,0	82	15	14,4	52	23	8,6	75
8	8,6	76	16	14,1	53	24	8,4	74

5. Построить и проанализировать суточные кривые годового хода средней месячной температуры воздуха, парциального давления водяного пара, относительной влажности и дефицита точки росы по данным станции ЛГМИ за 2006 и 2007 г.:

Метеорологическая величина	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2006 г.												
$t$ , °C	-10,7	-9,3	-3,8	2,9	10,6	12,2	16,4	14,4	9,3	0,3	0,0	-4,1
$e$ , гПа	2,7	2,8	4,0	5,4	7,7	10,6	14,0	12,7	9,7	5,2	5,7	4,2
$f$ , %	88	80	83	73	62	74	75	78	80	82	90	88
$\Delta t_d$ , °C	0	1,0	1,9	4,6	7,4	4,4	4,4	3,9	2,8	2,5	0,9	0,9
2007 г.												
$t$ , °C	-7,7	-7,9	-2,2	4,4	11,3	15,7	17,1	15,8	9,6	4,6	2,5	-6,0
$e$ , гПа	3,2	3,2	4,5	6,2	9,0	12,0	14,7	14,3	9,9	7,3	6,5	3,6
$f$ , %	84	86	80	74	68	67	76	78	79	83	87	84
$\Delta t_d$ , °C	0,9	0,7	1,9	4,2	5,8	6,0	4,4	3,5	2,8	2,1	1,6	1,1

Указать время наступления максимума и минимума приведенных в таблице значений метеорологических величин, амплитуду годового хода и привести объяснения. Сопоставить годовой ход характеристик влажности с годовым ходом температуры воздуха.

6. По многолетним средним месячным значениям температуры и парциального давления водяного пара определить средние месячные значения относительной влажности и температуры точки росы.

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура воздуха, °C												
Кустанай Сарыч-Маяк	-17,8	-17,0	-10,7	1,8	12,9	18,4	20,4	18,1	11,9	3,0	-8,4	-14,9
	4,5	4,1	6,1	9,9	15,0	19,8	23,6	23,8	20,0	15,3	10,2	6,8
Парциальное давление водяного пара, гПа												
Кустанай Сарыч-Маяк	1,9	1,7	2,7	5,9	8,8	12,9	14,0	12,7	8,9	5,7	3,7	2,0
	6,5	6,3	6,6	8,6	12,0	15,4	16,8	16,9	13,8	11,5	9,9	7,8

Проанализировать годовой ход указанных характеристик влажности. Как различается годовой ход рассмотренных характеристик влажности на континентальной и береговой станциях?

7. По данным градиентных наблюдений на четырех уровнях на учебной станции Даймище за 9 июля 1997 г. построить и проанализировать вертикальные профили парциального давления водяного пара (гПа) в разное время суток

Высота, м	Срок наблюдения, ч					
	0	4	8	12	16	22
0,2	10,0	8,9	13,6	11,8	12,1	13,6
0,5	10,8	9,0	13,4	10,8	11,5	13,4
1,0	11,5	9,2	13,2	10,2	11,0	13,5
2,0	12,1	9,3	12,8	9,0	10,6	13,5

Вычислить вертикальный градиент парциального давления водяного пара (гПа) за все сроки в каждом слое. Почему парциальное давление водяного пара неодинаково изменяется с высотой в разное время суток? Как изменяется градиент парциального давления водяного пара с высотой? Указать направление переноса водяного пара в разное время суток в каждом слое.

8. Считая профиль парциального давления водяного пара логарифмическим, вычислить парциальное давление на уровне 5 м, если на уровне 0,5 м  $e = 18,2$  гПа, а на уровне 2,0 м  $e = 17,8$  гПа.

9. Вычислить парциальное давление водяного пара на высотах 3 см и 10 см над лугом, если  $\Delta t/\Delta z \approx 0$  и парциальное давление водяного пара на уровне 0,5 м составляет 13,2 гПа, а на уровне 2,0 м – 12,5 гПа. Зачем в задаче задан вертикальный градиент температуры?

10. Вычислить парциальное давление водяного пара за 16 июля 1998 г. на разных высотах по формулам Ганна, Зюринга, Накоренко. Результаты сопоставить между собой.

$h$ , м	$p$ , гПа	$t$ , °C	$s$ , %	$h$ , м	$p$ , гПа	$t$ , °C	$s$ , %
70	1007	16,8	7,1	3000	705	-3,3	3,0

200	993	16,2	6,9	3080	699	-3,9	2,8
500	958	15,0	6,4	4000	620	-5,4	2,4
550	952	14,8	6,3	4050	616	-5,6	2,4
1000	902	11,7	5,3	5000	546	-10,4	1,4
1500	849	7,5	5,9	7000	419	-22,5	0,5
2000	799	3,6	4,9	8000	364	-29,0	0,3

Какая формула позволяет получить результаты, наиболее близкие к данным радиозондирования?

11. Вычислить массовую долю водяного пара  $s$  и абсолютную влажность  $a$  на всех указанных высотах по формуле Зюринга. Результаты расчетов сопоставить с фактическим распределением  $s$ , полученным по материалам радиозондирования на ст. Воейково (70 м над уровнем моря) за 15 июля 1998 г.:

$h$ , м	$p$ , гПа	$t$ , °С	$s$ , ‰	$h$ , м	$p$ , гПа	$t$ , °С	$s$ , ‰
70	1000	13,1	9,3	3000	699	-2,2	3,2
200	985	12,8	8,9	4000	614	-8,2	2,0
500	950	11,2	8,1	5000	540	-16,2	1,0
1000	895	8,0	6,4	6000	471	-23,8	0,4
1500	842	4,9	5,2	7000	410	-31,6	0,2
1920	799	2,3	4,5	8000	356	-38,4	0,1
2000	791	2,1	4,4				

12. Вычислить парциальное давление водяного пара на высоте 0,8 м, если на высотах 0,2; 0,5; 1,0 и 2,0 м оно составляет 12,1; 11,7; 11,4 и 11,1 гПа, соответственно. Решить задачу графическим способом и по формуле 5.1, используя данные на двух стандартных уровнях (0,5 и 2,0 м). Результаты сопоставить.

13. Определить парциальное давление водяного пара в воздухе над морем на высоте 20 м, если на высоте 2 м оно составляет 10,0 гПа, а на высоте 8 м – 9,0 гПа.

Форма отчетности: Отчет по вышеприведенной форме (п. 9.1)

#### Основная литература

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.

#### Дополнительная литература

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.
2. Захаровская Н.Н. Метеорология и климатология: Учеб. Пособие для вузов.- М.: КолосС, 2004.- 127 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое абсолютная влажность воздуха?
2. На каком основании величину абсолютной влажности воздуха принято характеризовать парциальным давлением водяного пара?
3. Что такое точка росы?
4. При какой температуре воздушной массы – 20 °С или 10 °С будет выше точка росы, если их абсолютная влажность одинакова?
5. Чему равна относительная влажность воздуха, если дефицит влажности равен нулю?
6. Какие характеристики измеряют психрометрами?
7. От каких основных факторов зависит значение испарения с водной поверхности?
8. Какие погодные явления можно наблюдать, если дефицит влажности равен нулю?
9. Каково значение относительной влажности в облаках?
10. Что измеряют пьювиографом?

#### **Практическое занятие № 6. Образование облаков**

Цель работы: изучить классификацию облаков с использованием электронного атласа облаков, приобрести навыки расчета высоты их нижней границы.

Задание:

При подготовке к практическому занятию повторить основные теоретические сведения с использованием литературы [3] из п.7.

**А.** Подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Что называют облаком?
2. Какие роды облаков приняты по Международной классификации?
3. Какие эмпирические формулы используются для определения высоты нижней границы облаков?

**Б.** Выполнить самостоятельно нижеприведенные тестовые задания с использованием электронного атласа облаков.

**Тестовые задания**

1. Высоко-кучевые чечевицеобразные облака образуются на высоте ... км.  
1) 4–8; 2) 2–6; 3) 9–12; 4) 1–3
2. Этот вид облаков возникает за счет волновых движений воздуха на границах инверсий.  
1) кучевые мощные; 2) высоко-кучевые чечевицеобразные; 3) перистые плотные; 4) перистые кистевидные
3. Главная характерная черта высоко-кучевых просвечивающих облаков – это ... .  
1) неоднородная плотность; 2) непрозрачность; 3) однородная плотность  
4) желтый цвет
4. Чаще всего высоко-слоистые непросвечивающие облака возникают в процессе ... .  
1) поднятия теплых воздушных масс; 2) уплотнения перисто-слоистых облаков  
3) волновых воздушных масс; 4) охлаждения воздуха
5. Высота основания слоистых туманообразных облаков составляет ... км.  
1) 2–6; 2) 4–8; 3) 3–9; 4) 0,1–0,7
6. Во сколько раз толщина кучевых мощных облаков превышает основание облака?  
1) 1,5–2; 2) 3–4; 3) 5–6; 4) 0,3–1
7. Высота основания разорвано дождевых облаков составляет ... км.  
1) 2–3; 2) 5–6; 3) 0,1–1; 4) 6–7
8. Орографические облака образуются ... .  
1) у поверхности земли; 2) на склонах хребтов; 3) на высоте 8–9 км  
4) на высоте 4–5 км
9. Слоисто-кучевые растекающиеся вечерние облака состоят из ... .  
1) снежинок; 2) кристаллов; 3) капель; 4) кристаллов и капель
10. Слоисто-кучевые дневные облака образуются на высоте ... км.  
1) 2–3; 2) 3–4; 3) выше 4; 4) ниже 2
11. Высота основания слоисто-кучевых просвечивающих облаков равна ... км.  
1) 1–2,5 2) 2–4 3) 1,5–2 4) 0,5–1,5
12. Кучевые плоские облака наблюдаются преимущественно ... .  
1) вечером; 2) в холодное время года; 3) осенью; 4) в теплое время года
13. Осадки кучевых средних облаков представляют собой ... .  
1) снег с дождем; дождевые; не выпадают; кристаллы и снежинки
14. Высота основания кучево-дождевых облаков составляет ... км.  
1) 2–2,5 2) 3–4 3) 0,4–1,0 4) 1,5–2

15. В каких широтах перистые волокнистые облака при низких температурах могут распространяться до поверхности земли?  
1) умеренных; 2) тропических; 3) арктических; 4) морских
16. Высота основания слоисто-кучевых плотных облаков составляет ... км.  
1) 2; 2) 2,5–3; 3) выше 1; 4) 0,5–1,5
17. При наличии какого явления можно обнаружить перисто-слоистые волнистые облака?  
1) гало; 2) венцы; 3) ирригация; 4) зарево
18. Толщина слоя перистых хребтовидных облаков может колебаться ... .  
1) от нескольких см до 100 м; 2) от сотен м до нескольких км  
3) от 100 м до нескольких сотен метров; 4) от сотен м до 100 км
19. Высота основания слоистых волнистых облаков составляет ... км.  
1) 1 2) больше 4 3) 0,2–0,7 4) 1,5–2
20. В какое время суток перистые плотные облака принимают серебристую, затем золотистую окраску?  
1) утром; 2) ночью; 3) днем; 4) вечером
21. Перисто-слоистые волнистые облака – это пелена, имеющая в основании ... вид.  
1) когтеобразный; 2) перьевой; 3) волнистый; 4) зернистый
22. Радиус гало, наблюдаемого в перисто-слоистых туманообразных облаках составляет ... ° (град).  
1) 77 и 54 2) 22 и 54 3) 22 и 46 4) 77 и 46
23. ... облака являются предвестниками перемен в погоде, связанными с наступлением теплого фронта.  
1) перистые плотные; 2) высоко-кучевые чечевицеобразные;  
3) перистые когтевидные; 3) перистые перепутанные
24. Перисто-кучевые кучевообразные, закрывая Солнце, ... .  
1) принимают золотистый оттенок; 2) не прозрачны;  
3) окрашиваются в голубоватый цвет; 4) не уменьшают освещенность
25. Перисто-кучевые волнистые облака характеризуются ... .  
1) наличием волн и мелкой ряби; 2) крупными осадками;  
3) неподвижностью; 4) большой протяженностью
26. Конденсационные следы – это искусственные ... облака.  
1) кучевые; 2) туманы; 3) слоистые; 4) перистые
27. Искусственные облака образуются вследствие ... .  
1) туманов; 2) конденсации водяного пара, вылетающего из двигателей самолётов  
3) наступления холодного фронта; 4) волновых движений воздуха
28. Высоко-кучевые хлопьевидные облака имеют затененные части, которые состоят из ...  
1) ледяных кристаллов; 2) водяных капелек  
3) снежинок; 4) волокон
29. Толщина слоя высоко-слоистых просвечивающих облаков в среднем ... км.  
1) 0,5 2) 4 3) 1 4) 2
30. Наличие высоко-кучевых облаков тёплым и влажным летним утром предвещает ... .  
1) о скором появлении грозовых облаков; 2) ливневый дождь;  
3) приход теплого фронта; 4) наступление заморозков

31. Перистые перепутанные облака состоят из ... .

1) кристалликов льда; 2) дождевых капель; 3) брызгов; 4) снега

**Порядок выполнения:** При проведении дискуссии рекомендуется обратить внимание на следующие ключевые моменты:

*Облака* – это продукты конденсации и скопления внутри атмосферы капелек и кристаллов. Облака переносятся воздушными течениями. Если относительная влажность в воздухе, содержащем облака, убывает, то облака испаряются. При определенных условиях часть облачных элементов укрупняется и утяжеляется настолько, что выпадает из облака в виде осадков. Таким путем вода возвращается из атмосферы на земную поверхность.

*Международная классификация облаков.* Формы облаков в тропосфере очень разнообразны. Однако их можно свести к относительно небольшому числу основных типов. В современном варианте международной классификации облака делятся на 10 основных родов по их внешнему виду, которые следует запомнить:

1. Перистые – Cirrus (Ci).
2. Перисто-кучевые – Cirrocumulus (Cc).
3. Перисто-слоистые – Cirrostratus (Cs).
4. Высоко-кучевые – Altocumulus (Ac).
5. Высоко-слоистые – Altostratus (As).
6. Слоисто-дождевые – Nimbostratus (Ns).
7. Слоисто-кучевые – Stratocumulus (Sc).
8. Слоистые – Stratus (St).
9. Кучевые – Cumulus (Cu).
10. Кучево-дождевые – Cumulonimbus (Cb).

Существуют атласы фотографий, помогающие разобраться в форме облаков.

Слоистые облака (от лат. stratus – настил, слой) образуются при охлаждении малоподвижных воздушных масс, что происходит либо ночью, когда с верхней границы облака тепловое излучение уходит в космос, либо при движении теплой влажной массы воздуха над холодной поверхностью Земли или холодной воздушной массой.

Кучевые облака (от лат. kumulus – груды, скопление) являются результатом конвекции (подъема) богатого влагой воздуха. Адиабатическое охлаждение приводит к тому, что на определенной высоте влажность воздуха достигает насыщенного состояния и начинается конденсация влаги. Это и есть нижняя граница кучевого облака, которая остается практически неподвижной, хотя воздух постоянно проходит через нее. Над верхней границей облака (состоящей обычно не из капель, а из кристалликов льда) воздух, охлажденный и лишившийся влаги, растекается в стороны и опускается вниз вокруг кучевого облака.

Перистые облака (от лат. kurros – локон, завиток) состоят из мелких кристаллов льда и образуются на больших высотах в быстрых турбулентных струях ветра.

Слоистые и кучевые облака вместе составляют гамму смешанных видов облаков.

*Определение нижней границы облаков.* Для определения высоты нижней границы облаков могут быть использованы эмпирические формулы:

- для слоистообразных облаков нижнего яруса (St, Sc, Ns)

$$H = 215(t - t_d), \quad (6.1)$$

$$H = 25(102 - f), \quad (6.2)$$

$$H = 22(107 - f), \quad (6.3)$$

- для облаков вертикального развития

$$H = 121(t - t_d), \quad (6.4)$$

где  $t$  – температура воздуха;  $t_d$  – точка росы;  $f$  – относительная влажность воздуха.

Значения точки росы ( $t_d$ , °C) при заданном парциальном давлении водяного пара приведены в Психрометрических таблицах с точностью до десятых. При стационарных метеорологических наблюдениях эти значения округляют до 1 °C. Относительная влажность ( $f$ ) определяется по формуле  $f = e / E$ , где  $e$  – это парциальное давление водяного пара;  $E$  – давление насыщенного водяного пара. Обе величины выражаются в гПа с точностью в де-

сятых, а при температуре ниже  $7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  – с точностью до сотых. Значения обеих величин определяются по Психрометрическим таблицам. Для вычисления гигрометрических характеристик при отрицательных температурах принято использовать значения  $E$  над водой.

После завершения дискуссии каждая малая группа выполняет 1 задание из нижеприведенного перечня.

#### **Задания**

1. Определить высоту нижней границы  $St$  в 7 ч 50 мин 30 апреля в районе Воейково, если температура воздуха  $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $92\%$ , парциальное давление водяного пара  $8,0\text{ гПа}$ . Использовать формулы (6.1) – (6.3) и значения точки росы ( $t_d, ^{\circ}\text{C}$ ) при заданном парциальном давлении водяного пара из Психрометрических таблиц с точностью до десятых. При стационарных метеорологических наблюдениях эти значения округляют до  $1^{\circ}\text{C}$ .
2. Определить высоту нижней границы облаков  $Ns$  (Слоисто-дождевые),  $Frnb$  (дождевые), из которых выпадает слабый снег, в 8 ч 3 февраля в районе Воейково, если температура воздуха  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $100\%$ . Рекомендуется использовать формулы (6.1) – (6.3).
3. Определить высоту нижней границы  $Cu, Cb$  в 19 ч 50 мин 24 июля в районе Воейково, если температура воздуха  $19,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , атмосферное давление  $997\text{ гПа}$  и относительная влажность  $74\%$ . Рекомендуется использовать формулу (6.4).

Форма отчетности: Отчет по вышеприведенной форме (п. 9.1). на проверку сдаются также выполненные тестовые задания.

#### Основная литература

1. Вардамян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.

#### Дополнительная литература

1. Вардамян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.
2. Захаровская Н.Н. Метеорология и климатология: Учеб. Пособие для вузов.- М.: КолосС, 2004.- 127 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Приведите международную классификацию облаков.
2. Опишите условия образования слоистых, кучевых, перьевых облаков.
3. Какую высоту нижней и верхней границы имеют слоистые, кучевые, перьевые облака?
4. Приведите формулы для определения нижней границы облаков.
5. Почему так важно знать высоту нижней границы облаков?

### **Практическое занятие № 7. Атмосферная циркуляция**

Цель работы: ознакомиться с причинами возникновения в тропосфере разнообразных потоков горизонтальной циркуляции воздушных масс, изучить количественные характеристики барического поля, рассчитать горизонтальную и вертикальную составляющие барического градиента.

Задание: При подготовке к практическому занятию повторить основные теоретические сведения с использованием литературы [3] из п.7 и подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Что называют атмосферной циркуляцией?
2. Как возникает циклон? антициклон?
3. Что такое барический градиент?
4. Как определяют силы, действующие при горизонтальном движении воздуха?
5. Что такое градиентный ветер и как его определяют?

Порядок выполнения: При проведении дискуссии рекомендуется обратить внимание на следующие ключевые моменты:

1. Неравномерный нагрев поверхности Земли из-за времени года, облачности, способности водных объектов аккумулировать теплоту и прочие причины ведут к возникновению в тропосфере разнообразных потоков *горизонтальной циркуляции воздушных масс* - ветров, ураганов, циклонов, муссонов, пассатов и др.).

Главная причина переноса воздушных масс – подъем теплого легкого воздуха (конвекция) и замещение его снизу холодным. Сильнее всего за день прогреваются тропические области, где солнечные лучи падают на Землю почти отвесно. Воздух вблизи экватора устремляется вверх, приподнимая верхнюю границу тропосферы в тропиках до высоты около 17 км, что вдвое выше, чем у полюсов. Далее на больших высотах воздух растекается от экватора на север и юг (см. рис. 7.1). Вертикальные конвекционные потоки переходят в горизонтальные. Теплый воздух в верхней части тропосферы частично охлаждается, отдавая теплоту в космическое пространство.

В средних широтах он опускается, компенсируя убыль от конвекционного подъема, и устремляется обратно к экватору. Такова схема работы «тепловой машины» Земли.

Расчеты на основании приведенной схемы показывают, что время, за которое воздушная масса атмосферы перемещается на расстояние земного радиуса, составляет около недели.

Неделя – характерное время изменения погоды. Она является границей между краткосрочной переменной погодой и долгосрочной, связанной с изменениями условий нагревания Земли. По тем же расчетам средняя скорость воздуха у поверхности Земли составляет около 10 м/с или 36 км/ч.

На высотах около 10 км, где плотность воздуха в 10 раз меньше, чем у поверхности, ветры дуют со скоростью около 100 м/с или даже нескольких сотен километров в час (от экватора воздушные потоки оттекают со скоростью около 200 м/с). Однако направлены они не на север и не на юг от экватора. Из-за *вращения Земли* верхние ветры и в Северном, в Южном полушариях отклоняются и становятся западными, а нижние ветры, направляющиеся к экватору, приобретают восточное направление. Такой восточный ветер, преобладающий на океанских просторах тропических широт, называют пассатом. Следовательно, схема на рис. 7.1 справедлива, но только как проекция направлений ветров на плоскость, проходящую через центр Земли и перпендикулярную плоскости экватора.

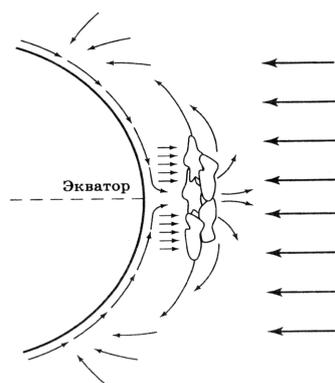


Рис. 7.1. Экваториальная конвекция – причина ветров

Конвективный подъем масс воздуха приводит к их попаданию в верхние разреженные слои атмосферы, а расширение сопровождается охлаждением. При температурах ниже точки росы происходит конденсация паров воды, образуются облака. Над тропиками на высоте 17 км воздух охлаждается до  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  (самое холодное место тропосферы) и становится очень сухим, так как почти вся его влага остается в облаках на высотах 1–5 км. Путь от экватора до средних широт, где воздух опускается к поверхности Земли, преодолевается очень быстро – приблизительно за сутки, поэтому поток теряет мало энергии. В результате опустившийся воздух увеличивает свою плотность, нагревается за счет этого и снова имеет температуру около  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , почти такую же, как была у экватора, но при меньшей внутренней энергии из-за значительно меньшей влажности (рис. 7.2).

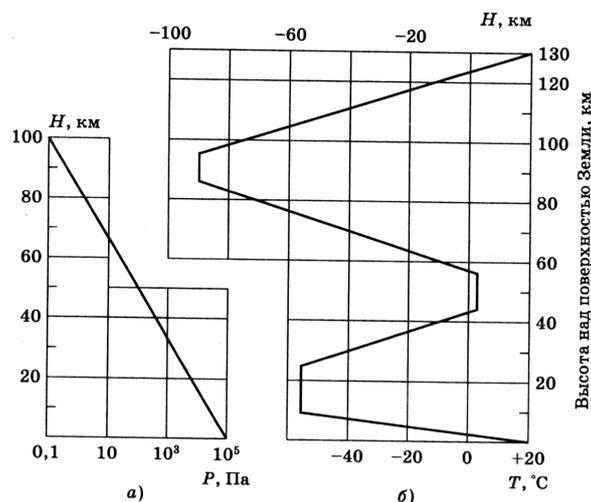


Рис. 7.2. Изменение давления (а), температуры (б) над поверхностью Земли

Опускание очень сухого и теплого воздуха происходит в широтах 25 – 30° в обоих полушариях. Именно там находятся крупнейшие пустыни Земли: Сахара в Африке, Аравийская и Тар в Азии, а также южные пустыни Калахари в Африке и несколько пустынь в Австралии. На Американском континенте пустынь меньше (из-за горной цепи Анд–Кордильеры), но расположены они на тех же широтах.

Воздух опускается сверху и растекается по поверхности с малой скоростью. Соответствующие широты – это область штилей. Они были названы моряками «конскими широтами», ибо во времена парусного флота суда, случалось, месяцами не могли выбраться из них. Жара и жажда были причиной гибели прежде всего перевозимых морем лошадей.

Почти такое же объяснение пассатов было дано в 1735 г. английским ученым Дж. Хэдли с той лишь разницей, что рассматривал атмосферную циркуляцию от экватора до полюсов. В честь него тропический круговорот воздуха называют ячейкой Хэдли.

Позже, в 1856 г. У. Феррел модифицировал схему Дж. Хэдли, дав объяснение средним направлениям потоков воздуха в полосе широт от 30 – 40 до 60 – 70°. Это, в частности, объяснило природу возникновения ураганных западных ветров у поверхности океана в Южном полушарии, известных как «ревущие сороковые». В честь У. Феррела названа ячейка атмосферной циркуляции в средних широтах с обратным направлением потоков (рис. 7.3).

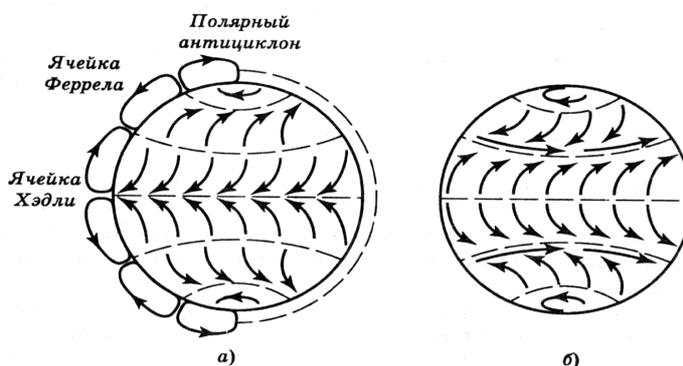


Рис. 7.3. Глобальная схема ветров в атмосфере Земли с ячейками циркуляции: а – у поверхности; б – в верхней части тропосферы

Наконец, ближе к полюсам циркуляция воздуха происходит снова в прямом направлении. Более подробное объяснение причин возникновения указанных ячеек и общей схемы циркуляции воздуха в атмосфере приведено в специальной литературе.

Рассмотренная схема описывает только очень усредненную картину земных ветров. Фактическая картина сильно отличается от нее. Одни отклонения связаны с рельефом суши, альбедо суши, моря и их отдельных участков, другие – с погодой. Кроме того, пока

невозможно отделить явления климата от погодных явлений. Переменчивость и неспокойствие – неотъемлемое свойство земной атмосферы. Несмотря на многие исследования, выполненные после Дж. Хэдли, исчерпывающего объяснения общей циркуляции атмосферы до сих пор не найдено.

2. Параметры, характеризующие атмосферу (температура, давление, химический состав и др.), изменяются прежде всего с высотой относительно уровня моря, а характеризующие нижние слои зависят и от географической широты. Вертикальная структура атмосферы приведена на рис. 7.2, а, б. Давление  $p$ , как и плотность атмосферы, связано с изменением сил гравитации по мере удаления от поверхности планеты.

Если давление у поверхности земли низкое, то из-за вращения Земли возникают поверхностные ветры.

В центре такого *циклона* (от греч. *zyhlone* – вращающийся, кольцо змеи) воздух поднимается вверх и, охлаждаясь, образует облака. В верхних слоях атмосферы циклона, над областью пониженного давления, наблюдается прямо противоположное явление – давление атмосферного воздуха выше среднего, характерного для данной высоты. В верхней тропосфере воздух из-за избыточного давления расходится от центра циклона.

*Антициклон* – область повышенного атмосферного давления у поверхности. В антициклоне сухой воздух опускается из верхней тропосферы, поэтому над местами, где он образовался, безоблачное, ясное небо.

Циклоны и антициклоны имеют диаметры около 200–3000 км и в среднем существуют около недели.

При этом есть на Земле и постоянный циклон, и летом, и зимой стоящий около Исландии. Он существует благодаря встрече теплых вод Гольфстрима с холодным полярным воздухом. Погода нашей страны зимой во многом определяется Сибирским антициклоном, главную роль в формировании которого играют Гималаи, не пропускающие на север воздух Индийского океана. Число циклонов и антициклонов по всей Земле в каждый момент времени примерно одинаково.

3. *Барический градиент*. Пространственное барическое поле графически можно представить изобарическими поверхностями. Линии их пересечения с горизонтальной плоскостью называются *изобарами*. Количественной характеристикой барического поля является барический градиент – вектор, направленный перпендикулярно к изобарической поверхности в сторону уменьшения давления и равный изменению давления на единицу расстояния.

Барический градиент и его вертикальную составляющую (вертикальный градиент давления) обычно выражают в гПа/100 м с точностью до десятых. Вертикальную составляющую  $G$  можно вычислить по формуле:

$$G = 3,42 \cdot p / T, \quad (7.1)$$

где  $p$  выражается в гПа;  $T$  – в К.

Барическая ступень ( $h$ ) выражается в м/гПа с точностью до десятых и вычисляется по формулам:

$$h = 100 / G, \quad (7.2)$$

$$h = \frac{7995}{p} (1 + \alpha t), \quad (7.3)$$

где  $\alpha$  – объемный коэффициент теплового расширения газов.

Горизонтальную составляющую барического градиента в практике выражают в гПа/111 км с той же точностью.

4. *Силы, действующие при горизонтальном движении воздуха*. В метеорологии принято рассматриваемые силы относить к единице массы воздуха, поэтому в СИ их выражают в м/с<sup>2</sup> обычно с точностью до десятых.

Горизонтальная составляющая силы барического градиента определяется соотношением

$$\Gamma = 7 \cdot 10^{-4} \frac{\rho_0}{\rho} G_x, \quad (7.4)$$

где  $\rho_0$  – плотность воздуха при нормальных условиях;  $\rho$  – плотность воздуха при данных условиях;  $G_x$  – горизонтальная составляющая барического градиента, гПа/111 км. Эту силу для краткости будем называть *градиентной силой*.

Горизонтальная составляющая силы Кориолиса вычисляется по формуле

$$A = 2\omega u \sin \varphi, \quad (7.5)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения Земли;  $u$  – горизонтальная составляющая скорости движения воздуха, т.е. скорость ветра, м/с;  $\varphi$  – широта места. Эту силу будем ниже называть просто отклоняющей.

Горизонтальная составляющая центробежной силы находится из выражения

$$Z = u^2 / R, \quad (7.6)$$

где  $R$  – радиус кривизны траектории движения воздуха. Эту силу будем ниже называть просто «центробежной».

Горизонтальная составляющая силы трения условно может быть представлена как результирующая сил «внешнего трения» (между движущимся воздухом и земной поверхностью) и «внутреннего трения», связанного с молекулярной вязкостью воздуха и с турбулентным перемешиванием. Первая из этих трех сил может быть представлена в виде

$$T_a = bu, \quad (7.7)$$

где  $b$  – коэффициент «внешнего трения».

Эта сила направлена противоположно скорости движения. Трение, связанное с молекулярной вязкостью воздуха, заметно лишь в очень тонком «вязком подслое» непосредственно возле земной поверхности. В задачах, связанных с движением воздуха в пограничном слое и выше этого слоя, им можно пренебречь. Большое значение имеет внутреннее трение, связанное с турбулентным перемешиванием атмосферы. Однако сила этого трения, пропорциональная вертикальному градиенту скорости ветра, тоже довольно быстро уменьшается с высотой и выше пограничного слоя становится пренебрежимо малой. Влияние турбулентного трения в пограничном слое проявляется, в частности, в том, что горизонтальная составляющая результирующей силы трения оказывается направленной не прямо противоположно скорости движения, а отклоняется от этого направления на угол, иногда достигающий 30–40°.

5. *Градиентный ветер*. Скорость геострофического ветра вычисляется по формуле:

$$u_r = \frac{4,8}{\sin \varphi} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} G_x, \quad (7.8)$$

а скорость циклострофического ветра в круговом циклоне – по формуле:

$$u_{\text{ци}} = -\omega R \sin \varphi + \sqrt{\omega^2 R^2 \sin^2 \varphi + \Gamma R} \quad (7.9)$$

и в круговом антициклоне — по формуле

$$u_{\text{ци}} = \omega R \sin \varphi - \sqrt{\omega^2 R^2 \sin^2 \varphi - \Gamma R}. \quad (7.10)$$

После завершения дискуссии каждой малой группе выдаются 4 задания из нижеприведенного перечня.

#### Задания

1. Вычислить вертикальный градиент давления на высоте, на которой атмосферное давление равно 1000,0 гПа и температура 0,0 °С. На сколько гПа уменьшается атмосферное давление на каждые 100 м высоты при обычных условиях у земной поверхности?

2. Сравнить вертикальный градиент давления у поверхности Земли при температуре – 11,9 °С и давлении 1045,0 гПа ( $G_0$ ) с его значением по высоте, где температура равна – 38,8 °С и давление 468,7 гПа ( $G_z$ ). Как и почему изменяется вертикальный градиент дав-

ления с высотой? Что можно на этом основании сказать о характере изменения самого давления с высотой? Представить схематично график изменения давления с высотой.

3. В двух пунктах, первый из которых находится на экваторе, а второй в Арктике, на уровне моря были получены одновременно одинаковые значения давления  $-990,0$  гПа. Температура в первом пункте равна  $27,0$  °С, а во втором  $-23$  °С. Условно считая, что вертикальный градиент давления не изменяется с высотой, приближенно определить в этих пунктах давление на высоте  $5$  км. В холодном или теплом воздухе при остальных одинаковых условиях давление быстрее уменьшается с высотой? В каком общем направлении перемещается воздух на высоте  $5$  км?

4. У подножия горы высотой  $3$  км средние значения давления в один из зимних и в один из летних месяцев оказались одинаковыми –  $1000,0$  гПа. Средняя температура воздуха у подножия горы в эти месяцы составила соответственно  $-13,0$  и  $17,0$  °С. Условно считая, что вертикальный градиент давления не меняется с высотой, вычислить среднее давление в указанные месяцы на вершине горы. Построить схему годового хода давления в высокогорных районах.

5. Вычислить барическую ступень у поверхности Земли при давлении  $1000,0$  гПа и температурах  $-40,0$ ;  $0,0$  и  $40,0$  °С. На сколько метров надо переместиться по вертикали вблизи земной поверхности при обычных условиях, чтобы давление изменилось на  $1$  гПа? Летом или зимой, днем или ночью давление быстрее уменьшается с высотой?

6. Вычислить барическую ступень, если вертикальный градиент давления составляет  $8,0$  гПа/ $100$  м.

7. Сравнить барическую ступень на высоте, где температура равна  $-30,0$  °С и давление  $500,0$  гПа ( $h_z$ ), с ее значением у поверхности Земли при температуре  $0,0$  °С и давлении  $1000,0$  гПа ( $h_0$ ). Как изменяется барическая ступень с высотой? Что можно на этом основании сказать о характере изменения самого давления с высотой? Представить схематически график изменения давления с высотой.

8. Условно считая, что барическая ступень не меняется с высотой, найти давление на уровне моря, если на высоте  $4800$  м оно равно  $500,0$  гПа, а температура  $0,0$  °С. Бывает ли в действительности на уровне моря такое давление? Как изменится ответ, если учесть характер изменения барической ступени с высотой?

9. Условно считая, что барическая ступень не изменяется с высотой, определить, как и на сколько изменится расстояние по вертикали между изобарическими поверхностями  $1000,0$  и  $800,0$  гПа, если температура на нижней из них увеличится от  $0,0$  до  $10,0$  °С. В теплом или холодном воздухе толщина слоя воздуха между одинаковыми изобарическими поверхностями больше?

10. Сравнить барическую ступень в воздухе, содержащем насыщенный пар ( $h_{вл}$ ) при температуре  $32,5$  °С и давлении  $978,0$  гПа, с ее значением в сухом воздухе ( $h_c$ ) при тех же условиях. В сухом или во влажном воздухе давление медленнее уменьшается с высотой при одинаковой температуре и одинаковом давлении на нижнем уровне?

11. Найти градиентную силу при нормальных условиях, если горизонтальная составляющая барического градиента равна  $3,0$  гПа/ $111$  км. Результат сравнить с силой тяжести, действующей на такую же массу воздуха. Почему сила тяжести не создает заметных вертикальных перемещений воздуха, тогда как значительно меньшая градиентная сила способна вызывать иногда очень сильный ветер?

12. Вычислить и сравнить градиентную силу у земной поверхности при нормальных условиях ( $G_1$ ) и на высоте, где плотность воздуха составляет  $1,000$  кг/м<sup>3</sup> ( $G_2$ ), если горизонтальная составляющая барического градиента в обоих случаях равна  $4,0$  гПа/ $111$  км. Почему одинаковый барический градиент при меньшей плотности воздуха обуславливает большую градиентную силу, чем при большей плотности?

13. На протяжении  $500$  км вдоль некоторой прямой линии на земной поверхности горизонтальная составляющая барического градиента всюду составляет  $3,0$  гПа/ $111$  км. Найти скорость, которую приобрел бы воздух, если бы он двигался вдоль этой прямой под действием только градиентной силы. Начальную скорость движения воздуха считать равной нулю, а его плотность – близкой к нормальной. Почему, несмотря на правдоподобность заданного значения градиента, найденная скорость ветра у земной поверхности

встречается лишь в редких случаях?

14. Доказать, что вертикальная составляющая градиентной силы всегда точно уравновешивается силой тяжести.

15. Найти силу Кориолиса на широте  $60^\circ$ , если скорость ветра равна  $5 \text{ м/с}$ ; сравнить с градиентной силой, найденной в задаче 12.4. Возможны ли случаи, когда сила Кориолиса уравновешивает градиентную? Если все остальные условия одинаковы, то когда такое равновесие вероятнее – при большой или незначительной горизонтальной составляющей барического градиента? При большой или малой скорости ветра? В высоких или низких широтах?

16. При какой скорости ветра на широте  $30^\circ$  отклоняющая сила будет такой же, как и на  $60^\circ$  при скорости ветра  $5 \text{ м/с}$ ?

17. Изобразить схематически действующие силы и направление движения воздуха при геострофическом ветре в северном полушарии. На каких высотах в атмосфере наблюдается геострофический ветер? В чем заключается барический закон ветра?

18. Выполнить задание предыдущей задачи для южного полушария.

19. Вычислить скорость геострофического ветра на широтах  $90$ ,  $60$  и  $30^\circ$  и на высоте, где плотность воздуха составляет  $1,000 \text{ кг/м}^3$ , если горизонтальная составляющая барического градиента во всех случаях равна  $2,0 \text{ гПа/111 км}$ . Почему одинаковый барический градиент вызывает в низких широтах более сильный геострофический ветер, чем в высоких? Может ли ветер быть геострофическим на экваторе?

20. На широтах  $60$  и  $20^\circ$  и на высотах, где плотность воздуха одинакова, скорость геострофического ветра также оказалась одинаковой. Найти соотношение между горизонтальными составляющими барического градиента в этих двух случаях.

21. На широте  $30^\circ$  и высоте, где плотность воздуха равна  $0,800 \text{ кг/м}^3$  скорость геострофического ветра составляет  $40 \text{ м/с}$ . Найти горизонтальную составляющую барического градиента, градиентную силу и силу Кориолиса. Две последние величины сравнить между собой и объяснить результат.

22. Изобразить схематически действующие силы и направление движения воздуха в круговом циклоне в северном полушарии при отсутствии силы трения. Каков общий характер движения воздуха в данном случае? Сохраняет ли силу барический закон ветра?

23. Выполнить задание предыдущей задачи для южного полушария.

24. Изобразить схематически действующие силы и направление движения воздуха в круговом антициклоне в северном полушарии при отсутствии силы трения. Каков общий характер движения воздуха в данном случае? Сохраняет ли силу барический закон ветра?

25. Выполнить задание предыдущей задачи для южного полушария.

Форма отчетности: Отчет по вышеприведенной форме (п. 9.1)

#### Основная литература

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.

#### Дополнительная литература

1. Захаровская Н.Н. Метеорология и климатология: Учеб. Пособие для вузов.- М.: КолосС, 2004.- 127 с.
2. Варданян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Где обычно выше давление у поверхности океана – на экваторе или широтах южного и северного тропиков?
2. Как перемещается воздух в циклоне?
3. Какой сектор антициклона, располагающийся в северном полушарии, теплее – восточный или западный?
4. Какие явления можно назвать предвестниками приближения атмосферного фронта?

5. Как образуются пассаты?
6. Почему ветер дует не по прямой, а по сложной траектории?
7. Каков угол отклонения ветра от барического градиента над сушей и над морем?
8. Каким прибором измеряют направление, скорость и порывистость ветра?

## Практическое занятие № 8. Прогноз погоды

Цель работы: приобрести навыки анализа синоптической карты и составления метеорологического прогноза.

**Задание:** При подготовке к практическому занятию повторить основные теоретические сведения с использованием литературы [3] из п.7 и подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Что называют службой погоды?
2. Что такое синоптический анализ и прогноз? Приведите пример прогноза погоды.
3. Краткосрочные и долгосрочные прогнозы: какова их оправдываемость?
4. Какая информация представляется на синоптической карте?

**Порядок выполнения:** При проведении дискуссии рекомендуется обратить внимание на следующие ключевые моменты:

1. Непрерывно происходящие изменения в состоянии погоды связаны в первую очередь с процессами общей циркуляции атмосферы. Смена дня и ночи вносит в погоду достаточно простые и регулярные изменения в виде суточного хода метеорологических элементов. Но резкие и нерегулярные изменения, гораздо более характерные для погоды, являются результатом смены воздушных масс, прохождения разделяющих их фронтов, перемещения и эволюции циклонов и антициклонов. В связи с такой обусловленностью изменений погоды, в течение последнего столетия возникла так называемая *служба погоды*. В России она возглавляется Гидрометеорологическим центром в Москве. В задачи ее входит своевременная информация населения, административных и хозяйственных организаций о существующих условиях погоды и предсказание условий погоды на будущее время.

Материальная база службы погоды состоит, во-первых, из сети синоптических станций, срочно передающих свои одновременные наблюдения с помощью особых цифровых кодов в центры службы погоды. Здесь эти сведения наносятся цифрами и условными знаками на синоптические карты погоды (рис. 8.1). Такие карты составляются 4 раза в сутки или чаще.

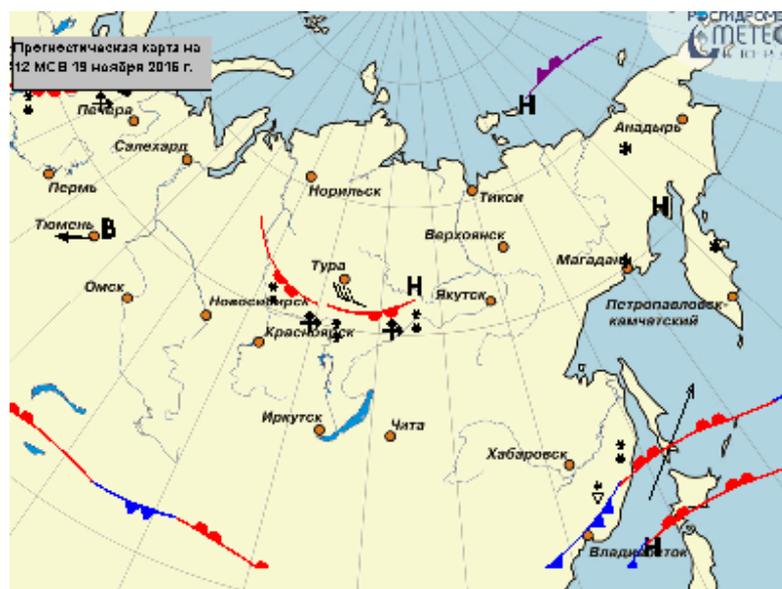


Рис. 8.1. Прогностическая карта погоды в Сибири на 19 ноября 2016 г.

2. Анализ синоптических карт состоит в следующем. По сведениям, нанесенным на карту, устанавливается фактическое состояние атмосферы в момент наблюдений: распределение и характер воздушных масс и фронтов, расположение и свойства атмосферных возмущений, а кроме того, расположение и характер облачности и осадков, распределение температуры и пр. в связи с этими условиями атмосферной циркуляции.

Атмосферные возмущения, фронты и воздушные массы, изучаемые с помощью синоптических карт, называются *синоптическими объектами*. Составляя карты от срока к сроку, можно следить по ним за изменениями состояния атмосферы, в частности за перемещением и эволюцией атмосферных возмущений, перемещением, трансформацией и взаимодействием воздушных масс и пр. Представление атмосферных условий на синоптических картах дает удобную возможность для информации о состоянии погоды.

Главная и более трудная задача состоит, однако, не в информации, а в прогнозе ожидаемых изменений погоды, прежде всего на короткий срок вперед (на 1 – 2 суток). Эта задача сводится, во-первых, к определению, как в следующие несколько десятков часов должны будут переместиться и измениться синоптические объекты – атмосферные возмущения, фронты и воздушные массы. Это так называемый *прогноз синоптического положения*. Затем делают заключения о том, как в связи с этими перемещениями и изменениями должны меняться условия погоды в рассматриваемом районе. Именно последнее нужно потребителю прогнозов.

При всей простоте приемов синоптического анализа их применение представляет собой нелегкую задачу и требует большого практического опыта у прогнозиста (синоптика). От ошибок, иногда даже грубых, современные краткосрочные прогнозы погоды не свободны. Однако в общем качество прогнозов оказывается удовлетворительным для многих потребностей практики, в особенности для обеспечения действий авиации и сельского хозяйства.

3. В синоптической метеорологии укоренились следующие прогнозы погоды, основанные на периоде заблаговременности предсказаний:

- ♦ сверхкраткосрочные (СКПП) – до 12 ч;
- ♦ краткосрочные (КПП) – от 12 до 36 ч;
- ♦ среднесрочные (СПП) – от 36 ч до 10 сут;
- ♦ долгосрочные (ДПП) – от 10 сут до сезона (3 месяца);
- ♦ сверхдолгосрочные (СДПП) – более чем на 3 месяца (год, несколько лет);
- ♦ штормовое предупреждение.

Оправдываемость прогнозов тем ниже, чем выше заблаговременность. Оправдываемость СКПП составляет приблизительно 95...96 %, КПП – 85...95 %, СПП – 65...80 %, ДПП – 60...65 %, СДПП – около 50 %.

*Долгосрочный прогноз* – прогноз погоды на срок от 10 сут и более. При этом различают долгосрочный прогноз малой заблаговременности – на несколько суток, неделю – и прогноз большой заблаговременности – на месяц, сезон, год. Степень точности здесь неизбежно ниже, чем в прогнозах краткосрочных. Задача долгосрочного прогноза должна сводиться к определению каких-то общих характеристик погоды будущего: степени зональности или меридиональности циркуляции, средних месячных температур, отклонений осадков от нормы, самых общих черт в ходе температуры и т. д. Но и задача определения общих характеристик погоды на долгое время вперед еще далека от удовлетворительного разрешения. Пока оправдываемость долгосрочных прогнозов не слишком превышает случайные совпадения.

Предсказание погодных явлений на срок более 1 года следует классифицировать уже как климатические предсказания.

*Краткосрочным прогнозом* считают прогноз погоды сроком до 3 сут.

*Штормовое предупреждение* – предсказание опасного метеорологического явления с заблаговременностью от 1 до 24 ч.

4. *Синоптическая карта погоды* – это географическая карта, на которую цифрами и символами нанесены результаты наблюдений на сети метеорологических станций в определенные моменты времени. Такие карты повсеместно регулярно составляют синоптики по нескольку раз в сутки. Их анализ является основой для краткосрочных прогнозов погоды.

Для представления территориального распределения основных метеорологических явлений в мировой практике принято несколько раз за сутки составлять синоптическую карту, по которой можно более объективно оценить синоптическую ситуацию в ближайшие прошедшие часы наблюдений за погодой и более верно дать краткосрочный прогноз погоды для конкретной территории. Наряду с комплексом снимков и данных, получаемых со спутников, это обязательный инструмент синоптиков. На синоптическую карту наносят данные наблюдений, полученных с большого числа метеостанций и кораблей. Такие карты обрабатывают в специальных метеорологических центрах, и они содержат первичный анализ барических систем и расположения фронтальных разделов. Для конкретных небольших регионов составляют региональные синоптические карты, которые содержат данные наблюдений не только с метеостанций, входящих в систему ВМО, но и местных метеостанций, позволяющих более детально учесть специфические местные условия формирования погоды.

Синоптическую карту составляют, нанося условные знаки, обозначающие метеорологические характеристики, вокруг географических пунктов, имеющих метеостанции. Все данные наносят в определенном порядке, называемом схемой наноски. Пример наноски по сокращенному варианту международного кода показан на рис. 6.2. При необходимости схема может быть более или менее подробной.

Обработка метеорологических данных, нанесенных таким образом на карту, в первую очередь предусматривает проведение изобар (линии с одинаковым давлением). Только после их проведения можно установить области с повышенным (антициклоны) и пониженным (циклоны) давлением, а также другие барические системы.

Очень важно выделить на карте зоны с понижающимся и повышающимся давлением, что можно сделать на основе анализов величины и характеристики барической тенденции, информация о которой расположена на схеме наноски справа от пункта метеорологических наблюдений. Далее после выделения зон с характерными осадками (обычно с помощью соответствующей штриховки), анализа характеристик облачности и ветра можно достаточно объективно провести на карте соответствующие фронтальные разделы воздушных масс. Их обычно изображают особыми линиями: холодный фронт – линией с треугольниками, обращенными в сторону перемещения фронта; теплый фронт – линией, на которой полукружки направлены также в стороны его движения; на линии фронта окклюзии треугольники и кружки чередуются. На карте также выделяют пункты и зоны с опасными явлениями, такими как грозы или туман, заморозки и т.п.



Рис. 6.2. Схема нанесения данных на синоптическую карту

Анализируя синоптические карты, составленные за смежные сроки метеорологических наблюдений, например с разницей во времени 3 ч, можно достаточно объективно оценить скорость и направление перемещения основных барических систем и фронтальных разделов. Такой анализ существенно уточняет краткосрочный прогноз погоды в конкретных регионах.

После завершения дискуссии каждому обучающемуся выдается 1 индивидуальное задание.

### Задание

Используя Интернет-ресурсы официальных сайтов:

1. Meteonovosti.ru <http://www.hmn.ru/>
2. Погода Прибайкалье <http://meteo.ucoz.ru/index/0-2>
3. Метеобюро. Москва <http://mosmeteo.hmn.ru/buro/index1.php?code=33>

и нижеприведенные условные обозначения (табл.8.1):

Таблица 8.1

#### Условные обозначения

<b>В</b>	– область высокого атмосферного давления	<b>Н</b>	– область низкого атмосферного давления
<b>1010</b> 	– изобары и давление (гПа)		– направление перемещения барич. образований
	– фронт окклюзии		– холодный атмосферный фронт
	– теплый атмосферный фронт		– снег
	– гроза		– сильный дождь
	– дождь		– шквал
	– туман		– сильный ливневой дождь
	– ливневой дождь		– скорость ветра 5 м/с
	– скорость ветра 25 м/с		– гололед

– выполнить синоптический анализ прогностических карт на заданную дату для заданной территории России (например, Восточной Сибири, Урала, Центрального района и др.);

– составить письменный (словесный) синоптический прогноз погоды на заданную дату для заданной территории России.

Форма отчетности: Отчет по вышеприведенной форме (п. 9.1)

#### Основная литература

1. Варданыян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.

#### Дополнительная литература

1. Варданыян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.
2. Воробьев А.В. Человек и биосфера: глобальное изменение климата: Учебник для вузов. В 2 ч. Ч. 1,2/ А.Е. Воробьев, Л.А.Пучков.- М.: РУДН, 2006.- 912 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. На какие виды подразделяются прогноз погоды?
2. Дайте понятие «краткосрочный прогноз».
3. Что такое долгосрочный прогноз?
4. Что представляет из себя синоптическая карта?
5. Что помогает предсказать аэрологическая диаграмма?

## Практическое занятие № 9. Климат населенного пункта

Цель работы: изучить климат конкретного населенного пункта на основе гидрометеорологических материалов Мирового центра данных за период 1966–2004 гг.

Задание: При подготовке к практическому занятию повторить основные теоретические сведения с использованием литературы [3] из п.7 и подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Что называют климатом населенного пункта?
2. Какие внешние и внутренние процессы влияют на климат?
3. Как проводятся метеорологические наблюдения на метеостанциях?
4. Какие основные климатические показатели фиксируются при проведении метеорологических исследований?

Порядок выполнения: При проведении дискуссии рекомендуется обратить внимание на следующие ключевые моменты:

1. *Климатом* в глобальном понимании называют совокупность статистических состояний, проходимых системой «атмосфера – океан – суша – криосфера – биосфера» за многолетний период.

Компоненты климатической системы, включающей атмосферу, океан, запасы снега и льда, поверхность суши, растительность и животных, непрерывно взаимодействуют и обмениваются между собой энергией и веществом (рис. 9.1).

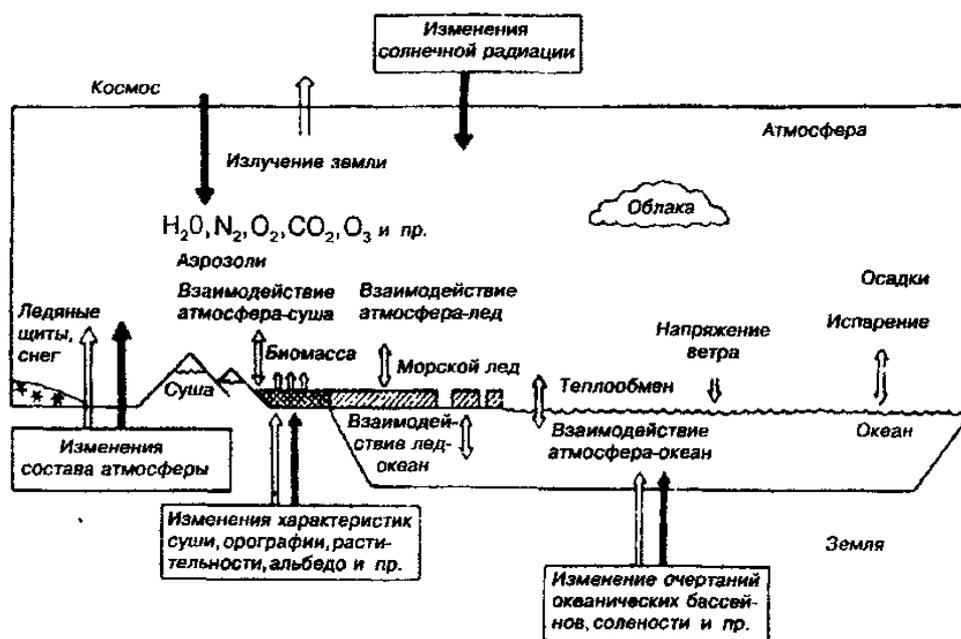


Рис. 9.1. Компоненты климатической системы «атмосфера – океан – поверхность Земли»

2. К *внешним процессам*, влияющим на глобальный климат Земли, относятся: приток солнечной радиации и его возможные изменения; изменения состава атмосферы, вызванные извержениями вулканов, притоком пыли из космоса, землетрясениями, падением метеоритов и астероидов и др.

К *внутренним процессам* относятся: взаимодействие атмосферы с океаном, поверхностью суши и ледников; движение и изменение площади материков; Эль-Ниньо<sup>1</sup>; измене-

<sup>1</sup> Эль-Ниньо – по неизвестным пока причинам в системе пассатов и океанических течений происходит сбой: меняется направление ветров, а массы теплой воды вместо Индонезии и Австралии устремляются к берегам Южной Америки. Усиленное испарение с теплой поверхности воды и возникновение насыщенной влагой области приводит к еще большему изменению направления пассатов. На суше наблюдают в одних районах сильные засухи, в других – бесконечные дожди и наводнения. Так, на севере Перу в 1982 г. осадков выпало в 70 раз больше нормы, что вызвало наводнения, гибель людей.

ние мощности и направления течений; облачность и растительный покров, антропогенные изменения и др.

Действие перечисленных факторов носит сложный, запутанный характер с прямыми и обратными связями, с трудом поддающимся исследованиям и прогнозам. Каждому состоянию глобального климата соответствуют свои закономерности в теплообороте, влагообороте и атмосферной циркуляции.

3. *Климат той или иной местности, то есть климат в узком смысле этого слова, – это многолетний режим погоды, обусловленный закономерной последовательностью атмосферных процессов, формирующихся в результате солнечной радиации, атмосферной циркуляции, и географическими условиями подстилающей поверхности.*

Современный климат считают более или менее постоянным и характеризуют средними многолетними значениями метеорологических величин для различных сезонов (температурой и влажностью воздуха, облачностью, осадками, ветрами), показателями их изменчивости, вероятностью и обеспеченностью метеорологических элементов.

Науку, изучающую факторы климатообразования, формирование климата и климатического режима различных стран, классификацию климатов Земли, антропогенные влияния на климат и прогнозы климата на будущее, называют *климатологией*.

Основными источниками сведений о погоде и климате являются результаты наблюдений сети метеорологических станций. Приземные метеорологические наблюдения, первичный материал записи ежедневных наблюдений по срокам является исходным для составления климатических справочников.

При решении исследовательских и прикладных задач в климатологии широкое распространение получили различные числовые характеристики случайных процессов. Эти характеристики в зависимости от их назначения рассматриваются с различным осреднением.

4. *Основные климатические показатели: средние значения.* Для характеристики климата необходимы такие показатели, как многолетние средние значения метеорологических величин.

Климатический смысл многолетних средних значений метеорологических величин заключается не столько в точности их абсолютной величины, сколько в сравнимости их между собой, как и пределах исследуемой территории, так и в планетарном масштабе. Величины средних значений метеорологических величин можно рассматривать как «климатические нормы» для данного региона.

Многолетние средние значения дают возможность изучать особенности годового хода метеорологических величин, получить представление о важнейших чертах климата данной территории.

*Крайние значения.* Если бы условия погоды отличались устойчивостью из года в год, то для характеристики климата было бы достаточно средних величин. Однако отличительной чертой режима погоды является его неустойчивость в умеренных широтах. В связи с этим при составлении климатических характеристик рассматриваются не только средние, но и абсолютные значения.

Крайние значения – наибольшие и наименьшие пределы, в которых изменяется метеорологическая величина на данной станции за отдельные месяцы и за год в целом в течение многолетнего периода наблюдений.

Абсолютные максимальные и минимальные значения за месяц находятся из этих величин за каждый день.

*Повторяемость.* Для полного представления о климате, кроме средних и крайних значений метеорологических величин, необходимо знать повторяемость их в разные периоды. Величина повторяемости показывает, насколько часто в ряду наблюдений встречается тот или иной интервал значений.

*Атмосферное давление.* Неравномерность в распределении давления определяется причинами термического и динамического характера, которые действуют совместно и определяют наблюдаемое в действительности распределение давления. Над холодными поверхностями создаются условия, благоприятные для повышения давления вблизи земной поверхности, а над нагретыми, наоборот, для понижения. Действие динамических

факторов проявляется в нагнетании воздуха и повышении давления в одних районах и оттоке воздуха и понижении давления в других.

На формирование климата существенное влияние оказывают периферии следующих центров действия атмосферы: Исландского минимума, Азиатского (Сибирского) и Азорского максимумов. Структура барического поля в различные сезоны характеризуется определенным преобладающим направлением изобар над данной территорией и смежными с ней районами. Например, зимой и в среднем за год над Средним Поволжьем изобары направлены с запада-юго-запада на восток-северо-восток, весной – преимущественно с запада на восток. Летом давление, в общем, возрастает в западном направлении, а изобары проходят с северо-запада на юго-восток. Осенью барическое поле перестраивается и постепенно приобретает зимнюю структуру.

*Направление и скорость ветра.* Преобладание юго-западного ветра более резко выражено в зимний период, когда ось зимнего азиатского максимума давления проходит южнее изучаемой территории, а преобладание западного тропосферного переноса при больших горизонтальных градиентах давления обуславливает большую повторяемость юго-западных и южных ветров с повышенными скоростями. Летом перестройка структуры барического поля, как указывалось выше, обуславливает в среднем направление изобар с северо-запада на юго-восток, что приводит к возрастанию повторяемости западных, северо-западных и северных направлений ветра при уменьшении частоты юго-западных, южных и юго-восточных ветров. При этом в летнее время средние значения горизонтальных градиентов давления в тропосфере наиболее низкие, что характеризует наименьшие средние скорости ветра и увеличение частоты штилей.

Например, средние месячные скорости ветра на высоте 10 – 12 м от поверхности земли характеризуются меньшими значениями в летний период (2 – 4 м/с) и большими – в зимний (2,0 – 5,5 м/с), что обусловлено, как отмечалось, уменьшением градиентов давления от зимы к лету. При этом наибольшие скорости обычно характерны для преобладающих направлений: зимой они отмечаются при южных и юго-западных ветрах, а летом при северо-западных и северных.

*Температурный режим атмосферы.* Температурный режим характеризуется рядом показателей, среди которых средние и экстремальные значения температуры воздуха, характеристики ее пространственной и временной изменчивости, даты перехода средней суточной температуры через определенные уровни (например, через 0, 5, 10 и 15 °С), продолжительность периодов с температурой воздуха выше или ниже заданного уровня и т.д.

Температура воздуха измеряется психрометрическим термометром через каждые 3 часа – 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 гринвичского времени, суточная максимальная и минимальная температура соответственно по максимальному и минимальному термометрам. Максимальная температура характеризует дневную, наиболее теплую часть суток, минимальная – оценивает холодную часть суток – несколько часов в конце ночи летом и в предутренние часы зимой.

К регулярным изменениям относится и годовой ход температуры, при котором средние месячные температуры в зимние месяцы ниже, а в летние – выше. Характеристикой годового хода температуры воздуха является ее годовая амплитуда, то есть разность средних месячных температур самого теплого и самого холодного месяцев.

*Средние температуры воздуха.* Основной характеристикой термического режима служат средние месячные и годовые температуры воздуха.

Температурный контраст между самым холодным и теплым месяцем года характеризуется амплитудой годового хода температуры воздуха, которая в большей степени зависит от степени континентальности климата и от характера рельефа и в меньшей мере от широты места.

*Экстремальные температуры воздуха.* Для решения многих практических задач в области сельского и городского хозяйства, строительства и т.п. большое значение имеют максимальные и минимальные температуры воздуха.

Максимальные и минимальные температуры воздуха определяют из рядов наблюдений по минимальному и максимальному термометрам, позволяющим проводить непрерывное слежение за температурой воздуха. К числу показателей, характеризующих ряд экстремальных значений, относятся средние максимальные и минимальные, а также абсо-

лютные максимальные и минимальные температуры воздуха и средние из абсолютных максимумов и минимумов.

Абсолютные минимальные и максимальные температуры воздуха характеризуют наименьшие и наибольшие пределы, которых достигала температура на данной станции за многолетний период наблюдений в отдельные месяцы и за год в целом.

Одним из показателей суровости климата служат сильные зимние морозы. Понижение температуры воздуха ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  считается опасным явлением, так как оказывает отрицательное воздействие на человека, окружающую его природную среду и объекты сельского и городского хозяйства.

*Влажность воздуха.* Влажность воздуха наряду с температурой, атмосферным давлением является одной из важнейших характеристик его состояния. Содержание водяного пара в атмосфере оценивается с помощью набора различных характеристик. Наиболее часто используемыми среди них являются парциальное давление (упругость) водяного пара  $e$ , относительная влажность воздуха  $f$ , дефицит (недостаток) насыщения  $d$ , температура точки росы  $t$ .

*Давление водяного пара.* Давление водяного пара измеряется в гектопаскалях (гПа). Его изменения в приземном слое обычно следуют за изменениями температуры воздуха, что вполне объяснимо. С повышением (понижением) температуры воздуха возрастает (уменьшается) скорость испарения, как одного из основных источников поступления влаги в атмосферу.

На изменения давления водяного пара существенное влияние могут оказывать и процессы горизонтального переноса (адвекции) влаги в системе циркуляции атмосферы. Однако при изучении режима влажности в ходе его осреднения за большие промежутки времени роль указанного фактора существенно нивелируется и все более возрастает значимость испарения.

Роль испарения в изменениях давления пара еще более возрастает в отрицательных формах рельефа, где интенсивность воздухообмена, как правило, ослабевает. Напротив, на приподнятых и, в особенности, выпуклых формах рельефа роль испарения уменьшается.

Годовой ход средних месячных значений давления пара от многолетних норм в отдельные годы могут быть довольно значительными, особенно в летние месяцы.

*Относительная влажность воздуха.* Относительная влажность воздуха представляет собою процентное отношение фактического значения давления пара к давлению насыщения при данной температуре воздуха и характеризует, таким образом, степень насыщения воздуха водяным паром.

Относительная влажность воздуха находится в прямой зависимости от давления водяного пара и косвенно – в обратной зависимости от температуры воздуха.

Годовой ход средних месячных величин относительной влажности почти противоположен годовому ходу температуры воздуха. Например, на территории Республики Татарстан (РТ) годовой максимум относительной влажности наиболее часто наблюдается в ноябре, а годовой минимум – в мае. При этом наиболее устойчивым по времени проявления является годовой минимум, а наименее устойчивым – годовой максимум.

*Атмосферные осадки.* Одной из важнейших климатических характеристик являются атмосферные осадки. Вместе с тем они представляют собой весьма сложное метеорологическое явление и характеризуются видом (фазовым состоянием, количеством, числом дней с осадками) и др.

Количество осадков измеряется с помощью *осадкомера* (осадкомерного ведра, снабженного специальной защитой) толщиной слоя (мм) выпавшей воды, который мог бы образоваться на горизонтальной поверхности от выпавших жидких и твердых (после их таяния) осадков при отсутствии стока, просачивания и испарения.

При измерении количества осадков имеют место несколько систематических ошибок – потери собранных осадков на смачивание осадкомерного ведра, испарение осадков из ведра за время между окончанием выпадения осадков и сроком измерения, а также ошибки прибора, связанные с влиянием ветра. Последнее особенно сильно сказывается на точности измерения твердых осадков.

В холодный период осадки выпадают в основном в виде снега и их количество существенно меньше, чем в теплый, однако основные черты распределения сумм осадков сохраняются.

После проведения дискуссии обучающимся выдается по 1 индивидуальному заданию.  
**Задание:** Изучить и проанализировать климатическую информацию, приведенную в литературе [4, стр.103 – 127] из п.7 и касающуюся нижеприведенных метеорологических характеристик конкретного населенного пункта (по заданию) за период 1966 – 2004 гг.:

- атмосферного давления;
- направления и скорости ветра;
- термического режима атмосферы;
- влажности воздуха;
- атмосферных осадков.

Форма отчетности: Отчет представить в виде реферата по вышеприведенной форме (п. 9.1). Климатическую информацию о конкретном населенном пункте обобщить в следующей последовательности:

1. Построить и проанализировать кривую годового хода атмосферного давления.
2. Построить розу ветров и проанализировать ее изменения во времени.
3. Построить и проанализировать кривую годового хода температуры воздуха.
4. Указать среднюю и экстремальные температуры воздуха.
5. Построить и проанализировать кривую годового хода давления водяного пара.
6. Построить и проанализировать кривую годового хода относительной влажности воздуха.
7. Построить и проанализировать кривую годового хода количества атмосферных осадков.
8. Сделать выводы о типе климата и его изменении за изучаемый период.

#### Основная литература

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.

#### Дополнительная литература

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.
2. Воробьев А.В. Человек и биосфера: глобальное изменение климата: Учебник для вузов. В 2 ч. Ч. 1,2/ А.Е. Воробьев, Л.А.Пучков.- М.: РУДН, 2006.- 912 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что называют климатом в глобальном понимании, а что такое климат данной территории?
2. Перечислите факторы формирования климата.
3. Вспомните классификации климатов земного шара Кеппена, Б.А. Алисова и Л.С. Берга.
4. Какие климатические зоны имеются в нашей стране?
5. Каков климат Восточной Сибири, Иркутска, Братска?
6. Что называют микроклиматом? фитоклиматом?
7. Каковы особенности климата большого города?

### **Практическое занятие № 10. Изменения климата. Роль испарения в сохранении теплового баланса системы Земля – атмосфера**

Цель работы: изучить влияние фазовых переходов воды на тепловой баланс системы Земля – атмосфера и режим осадков, приобрести навыки расчёта испарения с поверхности суши, снега и водоёмов.

**Задание:** При подготовке к практическому занятию повторить основные теоретические сведения с использованием литературы [3] из п.7 и подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Что понимают под изменением климата в период инструментальных исследований?
2. Какую роль играет испарения в сохранении теплового баланса системы Земля - атмосфера? Приведите пример.
3. Как происходит внешний и внутренний влагооборот?
4. Объясните климатическое значение снежного покрова?
5. По каким формулам проводят расчет испарения с поверхности: а) суши; б) водоемов; в) снега?

**Порядок выполнения:** При проведении дискуссии рекомендуется обратить внимание на следующие ключевые моменты:

*1. Современное изменение климата.* Колебания климата представляют сравнительно короткий эпизод в истории Земли. За это время (часто называемое голоценом) имели место несколько эпох с различными климатическими условиями.

Сведения о климате голоцена содержатся во многих работах, посвященных изучению палеоклиматологии четвертичного периода.

Максимальное развитие последнего юрского оледенения произошло около 20 тыс. лет до н. э., через несколько тысяч лет площадь этого оледенения значительно сократилась. Последовавшая эпоха характеризовалась сравнительно холодным и влажным климатом в средних и высоких широтах северного полушария. Около 12 тыс. лет до н. э. произошло значительное потепление (эпоха Аллерёдского потепления), которое довольно скоро сменилось похолоданием. При этих колебаниях климата летняя температура воздуха в Европе изменялась на несколько градусов.

В дальнейшем потепление возобновилось, и последние крупные оледенения в Европе и Северной Америке исчезли за 5 - 7 тыс. лет до н. э. В эту эпоху послеледниковое потепление достигло максимума. Предполагается, что между 5 и 6 тыс. лет до н. э. температура воздуха в средних широтах северного полушария была выше современной примерно на 1 – 3 °С. При этом, по-видимому, произошли определенные изменения атмосферной циркуляции. В то же время количество осадков в современных пустынях низких широт возросло. В указанную эпоху климат Сахары был сравнительно влажным, что делало возможным существование там богатой флоры и фауны. Позднее преобладала тенденция к похолоданию, которое было особенно заметным в первой половине первого тысячелетия до нашей эры. Параллельно с изменением термического режима менялся режим осадков, который постепенно приближался к его современному состоянию.

Заметное потепление произошло в конце первого и начале второго тысячелетия нашей эры. В это время полярные льды отступали в высокие широты, что сделало возможным колонизацию викингами Гренландии и открытие ими материка Северной Америки. Дальнейшее похолодание привело к новому наступанию льдов, в результате чего потерявшая связь с Европой колония в Гренландии погибла.

Начавшееся в XIII в. и достигшее максимума в начале XVIII в. похолодание сопровождалось расширением горных ледников, в связи с чем его иногда называют малой ледниковой эпохой. Затем произошло очередное потепление и отступление ледников. Во второй половине XVIII и в XIX вв. климатические условия сравнительно мало отличались от современных.

Большое значение для понимания физического механизма современных изменений климата имеет изучение колебаний климатических условий, происходивших за последнее столетие, когда на большей части поверхности континентов уже существовала сеть постоянно действующих метеорологических станций.

Наиболее крупное изменение климата за время инструментальных наблюдений началось в конце XIX в. Оно характеризовалось постепенным повышением температуры воздуха на всех широтах северного полушария во все сезоны года, причем наиболее сильное потепление происходило в высоких широтах и в холодное время года. Потепление уско-

рилось в 10-х годах XX в. и достигло максимума в 30-х годах, когда средняя температура воздуха в северном полушарии повысилась приблизительно на 0,6 °С по сравнению с концом XIX в. В 40-х годах процесс потепления сменился похолоданием, которое продолжалось до недавнего времени. Это похолодание было довольно медленным и не достигло масштабов предшествующего ему потепления.

Хотя сведения о современном изменении климата в южном полушарии имеют менее определенный характер, по сравнению с материалами для северного полушария, есть основания считать, что в первой половине XX в. в южном полушарии также происходило *потепление*.

В северном полушарии повышение температуры воздуха сопровождалось сокращением площади полярных льдов, отступанием границы вечной мерзлоты в более высокие широты, продвижением к северу границы леса и тундры и другими изменениями природных условий.

Существенное значение имело отмечавшееся в эпоху потепления изменение режима атмосферных осадков. Количество осадков в ряде районов недостаточного увлажнения при потеплении климата уменьшилось, в особенности в холодное время года.

Это привело к уменьшению стока рек и падению уровня некоторых замкнутых водоемов. Особую известность получило произошедшее в 30-х годах резкое снижение уровня Каспийского моря, обусловленное главным образом уменьшением стока Волги.

Наряду с этим в эпоху потепления во внутриконтинентальных районах умеренных широт Европы, Азии и Северной Америки возросла частота засух, охватывающих большие территории. Такое изменение климатических условий оказало влияние на народное хозяйство ряда стран.

2. *Роль испарения в сохранении теплового баланса системы Земля — атмосфера.* Земля в целом, атмосфера в отдельности и земная поверхность находятся в состоянии теплового равновесия, если рассматривать условия за длительный период (год или, лучше, ряд лет). Отсюда следует, что приток и отдача тепла за достаточно длительный период равны или почти равны.

Атмосфера, отдельно взятая, получает и теряет тепло, поглощая солнечную и земную радиацию и отдавая свою радиацию вниз и вверх. Кроме того, она обменивается теплом с земной поверхностью нерадиационным путем. Тепло переносится от земной поверхности в воздух или обратно путем теплопроводности. Наконец, *тепло затрачивается на испарение воды с подстилающей поверхности; затем оно освобождается в атмосфере при конденсации водяного пара.* Все указанные потоки тепла, направленные в атмосферу и из атмосферы, за длительное время должны уравниваться.

М. И. Будыко показал, что на годовую испаряемость в данном месте должно затрачиваться количество тепла, равное годовому радиационному балансу избыточно увлажненной подстилающей поверхности в этом месте. При этом предполагается, что в сумме за год обмен теплом между почвой и воздухом путем теплопроводности так мал, что им можно пренебречь. Отсюда радиационный индекс сухости  $K$  для целого года можно написать так:

$$K = \frac{R}{L \cdot r} ,$$

где  $R$  - годовой радиационный баланс,  $r$  - годовая сумма осадков и  $L$  - скрытая теплота парообразования.

Радиационный индекс сухости показывает, какая доля радиационного баланса тратится на испарение осадков.

При  $K$  менее 0,45 климат называется, по Будыко, *избыточно влажным*: приход тепла к почве за счет радиационного баланса намного меньше, чем это нужно было бы для испарения выпавших осадков. При  $K$  от 0,45 до 1,00 климат называется *влажным*, при  $K$  от 1,00 до 3,00 — *недостаточно влажным*, при  $K$  больше 3,00 — *сухим*.

На всем Земном шаре за год выпадает 511 тыс. км<sup>3</sup> осадков, что дает среднюю высоту слоя осадков 1000 мм.

Общее количество воды на Земном шаре в современную геологическую эпоху остается постоянным. Постоянными остаются и средний уровень мирового океана, и влагосодержание атмосферы. Отсюда следует, что такое же количество воды, какое выпадает

в виде осадков на земную поверхность, должно за то же время испариться с земной поверхности. Однако с поверхности суши испаряется меньше, чем на нее выпадает, так как часть осадков, выпавших на сушу, стекает в реки и затем в океан. Осадки, испарение и сток являются составляющими водного баланса на земной поверхности.

3. *Внешний и внутренний влагооборот.* Вода, испаряющаяся с поверхности моря, конечно, выпадает в виде осадков не только над морем. Воздушными течениями этот водяной пар частично переносится на сушу; затем также частично конденсируется и выпадает над сушей. Следовательно, лишь часть осадков, выпадающих на суше, происходит из воды, испарившейся с самой поверхности суши. Другая их часть происходит из воды океанического испарения. Конечно, вода, испарившаяся с поверхности суши, также выпадает не только над сушей, но и над морем.

*Испарение воды с данной территории и выпадение ее в виде осадков на той же территории называется внутренним влагооборотом* для данной территории.

Выпадение осадков из водяного пара, принесенного *извне*, называется *внешним влагооборотом*.

4. *Климатическое значение снежного покрова.* Снежный покров является продуктом атмосферных процессов и, стало быть, климата, но в то же время он сам влияет на климат, как и на другие составляющие географического ландшафта. Снежный покров влияет на воздух охлаждающим образом. Над ним образуются значительные *приземные радиационные инверсии температуры*. Весной, при таянии снежного покрова, приток тепла идет на таяние снега и температура воздуха остается близкой к нулю до тех пор, пока снег не стает. В теплом воздухе, текущем над тающим снежным покровом, могут возникать так называемые *весенние инверсии температуры*.

Запасы воды, накапливаемые за зиму в снежном покрове, примерно на 50% обеспечивают питание рек России. С весенним таянием снега связаны половодья на его равнинных реках. Особенно высоки половодья, если снег осенью выпадает на замерзшую почву: весной талые воды вследствие этого не впитываются в почву, а стекают.

Наличие снежного покрова сильно повышает освещенность. Особое значение имеет «снежная» добавка к рассеянной радиации в Арктике и Антарктиде летом.

#### 5. *Методы расчета испарения с поверхности суши и водоемов*

А. *Испарением*, или *скоростью испарения*, называется масса воды, испарившаяся с единицы поверхности в единицу времени ( $\text{г}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ),  $\text{кг}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ). Испарение часто характеризуется высотой слоя испарившейся воды, измеряемой в миллиметрах или сантиметрах (1 мм слоя воды равен  $0,1 \text{ г}/\text{см}^2 = 1 \text{ кг}/\text{м}^2$ ).

Затрата тепла на испарение равна  $CW$ , где  $C$  - удельная теплота парообразования (конденсации), которая зависит от температуры испаряющей поверхности. При вычислении испарения с поверхности льда (снега) используется удельная теплота сублимации  $C_s$ , которая слабо зависит от температуры испаряющей поверхности.

Б. При расчетах скорости *испарения с поверхности неограниченных водоемов (морей и океанов)* применяется формула, в которой используются данные судовых гидрометеорологических наблюдений на высотах 6 или 8 м:

$$W = 0,622 \cdot 10^{-3} a_z u (E_1 - e), \quad (10.1)$$

где  $u$  и  $e$  – это значения скорости ветра и парциального давления водяного пара на уровне судовых наблюдений;  $E_1$  - давление насыщенного пара, соответствующее температуре поверхности водоема. Величина  $a_z$  учитывает зависимость турбулентного влагообмена от шероховатости поверхности водоема (волнения), температурной стратификации прилегающего слоя и от уровня измерений. При малых  $z$  величина  $a_z$  сильно меняется с высотой по мере удаления от поверхности воды. Выше уровня судовых измерений изменение величины  $a_z$  с высотой незначительно. Среднее значение  $a_z$  на уровне судовых измерений для всего Мирового океана, по расчетам М. И. Будыко и Л. А. Строкиной, составляет  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3$ . Тогда формула для расчета суточных сумм испарения  $W$  ( $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ) или  $\text{мм}/\text{сут}$ ) с поверхности неограниченных водоемов приобретает вид

$$W = 0,134u(E_1 - e), \quad (10.2)$$

где  $u$  (м/с),  $E_1$  (гПа),  $e$  (гПа) - средние суточные значения метеорологических величин.

В. Для расчета суточных сумм испарения с поверхности малых водоемов используются эмпирические формулы вида

$$W = A(1 + bu)(E_1 - e). \quad (10.3)$$

За безледоставный период для зоны недостаточного увлажнения Б. Д. Зайковым получена формула

$$W = 0,15(1 + 0,72u_2)(E_1 - e_2), \quad (10.4)$$

где  $u_2$ ,  $e_2$  - средние суточные значения скорости ветра (м/с) и парциального давления водяного пара (гПа) над водоемом и а уровне 2 м от поверхности воды,  $W$  выражено в мм/сут. Для районов недостаточного и избыточного увлажнения используется формула, полученная А. П. Браславским и З. А. Викулиной:

$$W = 0,13(1 + 0,72u_2)(E_1 - e_2). \quad (10.5)$$

При отсутствии наблюдений за температурой поверхности водоемов для расчета испарения используются метеорологические наблюдения береговых станций; в этом случае формула Б. Д. Зайкова принимает вид

$$W = 0,15(1 + 0,72u_2)(E_1 - e_2)^{0,78}, \quad (10.6)$$

где  $E_2 - e_2$  — это средний суточный дефицит насыщения на высоте 2 м.

Г. Для замкнутых водоемов при вычислении годовых сумм испарения можно использовать уравнение теплового баланса

$$W = \frac{B}{C \left( 1 + 0,64 \frac{t_0 - t_1}{E_1 - e} \right)}, \quad (10.7)$$

где  $B$  - годовой радиационный баланс;  $C$  - удельная теплота парообразования;  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $E_1$ ,  $e$  - средние годовые значения вышеуказанных метеорологических величин.

Д. Расчет испарения со снежной поверхности  $W$  (мм/ч), если снег покрывает обширные пространства, производится по формуле

$$W = \frac{0,622}{p} a_z u (E_{1,n} - e) \quad (10.8)$$

где  $E_{1,n}$  - давление насыщенного пара над льдом при температуре поверхности снега или льда (гПа),  $u$  - скорость ветра (м/с),  $a_z$  зависит от высоты измерения скорости ветра и от параметра шероховатости.

Величина  $\frac{0,622}{p} a_n$  при давлении 1000 гПа и различных значениях шероховатости  $z_0$  для двух уровней измерения скорости ветра - 2 и 10 м - имеет следующие значения:

Вид поверхности	$z_0$ см	$\frac{0,622}{p} a_2$	$\frac{0,622}{p} a_{10}$
Устойчивый снежный покров высотой более 20 см	0,05	0,0061	0,0051
Пятнистый снег и неустойчивый снежный покров	0,25	0,0092	0,0077
Наличие под снегом стерни или стеблей	0,60	0,0123	0,0103

После завершения дискуссии обучающимся выдается по 1 индивидуальному заданию из нижеприведенного перечня.

### Задание

1. Вычислить скорость испарения и затраты тепла на испарение с поверхности неограниченного водоема, если температура водоема и воздуха составляет  $26,5^\circ\text{C}$ , скорость ветра на уровне судовых наблюдений 4 м/с, относительная влажность 90 %, параметр шероховатости 0,02 см. Изменяется ли с высотой поток водяного пара в приводном слое? Какой фактор определяет испарение с водоема при условиях данной задачи? В

- районах теплых или холодных морских течений при прочих одинаковых условиях испарение интенсивнее?
2. Вычислить испарение (мм/ч и мм/сут) с поверхности снежного покрова высотой 20 см, если температура воздуха и поверхности снега  $-8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 90%, скорость ветра на высоте флюгера (10 м) 2 м/с, параметр шероховатости 0,05 см.
  3. Вычислить (в мм и см) средние месячные суммы испарения с оз. Севан, по нижеприведенным средним месячным данным. Построить и проанализировать график годового хода испарения с поверхности озера Севан.

Месяцы	$B$ , МДж/м <sup>2</sup>	$t_0$ , $^{\circ}\text{C}$	$t$ , $^{\circ}\text{C}$	$e$ , гПа	$U$ , м/с
I	0	3,1	-3,8	3,6	4,2
II	31	2,2	-3,4	4,0	4,2
III	94	2,0	-0,6	4,6	3,7
IV	153	3,2	3,4	6,1	3,2
V	202	6,9	7,8	8,7	2,6
VI	211	13,2	12,2	11,7	3,0
VII	204	17,7	15,7	14,5	3,5
VIII	185	18,7	16,2	15,1	3,4
IX	129	17,4	14,0	12,2	3,5
X	68	14,1	10,3	9,5	3,4
XI	13	9,8	3,5	6,8	3,7
XII	-13	5,5	-1,6	4,9	4,2
Среднее за год	1277	9,5	6,1	8,5	3,6

Примечание:  $t_0$  – температура воды,  $t$  – температура воздуха

4. Рассчитать испарение за час с поверхности моря, температура которой  $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , если на уровне судовых наблюдений температура воздуха  $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 100 %. Скорость ветра 2 м/с. Какое атмосферное явление может наблюдаться в этих условиях?
5. Вычислить скорость испарения с поверхности моря за час, если температура поверхности воды  $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура воздуха на уровне судовых наблюдений  $12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 60 %, скорость ветра 3 м/с.
6. Вычислить испарение в мм/ч, мм/сут и затраты тепла на испарение с поверхности пруда, если дефицит насыщения воздуха на ближайшей метеостанции составляет 4,3 гПа, скорость ветра на высоте флюгера (12 м) 7 м/с, а параметр шероховатости 3 см.
7. Вычислить испарение (мм/сут) с поверхности поля со стерней покрытого снегом, если температура воздуха составляет  $-11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 70 %, скорость ветра на уровне 2 м 3 м/с, температура поверхности снега  $-12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , параметр шероховатости 0,6 см.
8. Вычислить испарение и затраты тепла на испарение с поверхности моря за сутки, в течение которых средние значения метеорологических величин составили: температура воды  $6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура воздуха на уровне судовых наблюдений  $5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 75%, скорость ветра 6 м/с.
9. Вычислить скорость испарения с поверхности моря за час, если температура поверхности воды  $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура воздуха на уровне судовых наблюдений  $12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 60 %, скорость ветра 3 м/с.

Форма отчетности: Отчет по вышеприведенной форме (п. 9.1)

#### Основная литература

1. Варданян М.А. Учение об атмосфере: учебное пособие. – Братск : Изд-во БрГУ, 2016. – 172 с.

#### Дополнительная литература

1. Варданын М.А. Учение об атмосфере : метод. указания к выполнению практических работ. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – 131 с.
2. Воробьев А.В. Человек и биосфера: глобальное изменение климата: Учебник для вузов. В 2 ч. Ч. 1,2/ А.Е. Воробьев, Л.А.Пучков.- М.: РУДН, 2006.- 912 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Как зависит скорость испарения от дефицита насыщения воздуха и скорости ветра?
2. При какой стратификации атмосферы при прочих равных условиях увеличивается испарение с поверхности водоемов и суши?
3. Как изменится температура поверхности водоема, с которого происходит интенсивное испарение при условии отсутствия притока тепла?
4. В какое время суток происходит более интенсивное испарение с поверхности малых водоемов летом?
5. Как влияют размер и форма водоемов на скорость испарения?

### **9.2 Методические указания по подготовке к текущему контролю знаний и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

*Текущий контроль* знаний обучающихся проводится как на практических занятиях в ходе дискуссий и выполнения индивидуальных заданий, так и при завершении изучения каждого раздела с помощью электронного банка тестовых заданий. Количество заданий, выдаваемых каждому студенту в рамках тестового контроля по одному разделу, не менее 25. Тестовый контроль может быть проведен как в письменном виде в аудитории, так и в дисплейном классе с использованием программы «Виртуальная студия тестирования» (VTS). Подготовку к тестированию рекомендуется проводить с использованием учебных пособий [1] и [5] из п.7.

В тестах по курсу Учение об атмосфере содержатся задания трех типов:

1. Задание состоит из неполного суждения с одним ключевым элементом и множеством альтернативных ответов, один из которых является верным. Студенту необходимо выбрать один правильный ответ, чтобы суждение стало полным и верным.
2. Неполное суждение, которое необходимо дополнить ключевым элементом. В качестве ключевого элемента является слово, вписываемое студентом.
3. Задание состоит из полного суждения. Студенту необходимо указать, является ли оно верным.

*Во время тестирования необходимо помнить следующее:*

- в первую очередь выполнять те задания, которые кажутся более легкими;
- прежде чем отвечать на задание, нужно внимательно прочитать его 2...3 раза, чтобы правильно понять содержание;
- при решении расчетных задач использовать калькулятор;
- задания не переписывать, а сразу давать ответ;
- стараться закончить тестирование до того, как закончится отведенное на него время, чтобы иметь возможность проверить работу.

*Промежуточная аттестация* по дисциплине проводится в виде экзамена. Общее время на подготовку ответов – 60 мин.

К сдаче экзамена допускаются студенты, которые выполнили в установленные сроки весь объем запланированной работы по дисциплине: посещали и конспектировали лекции, защитили отчеты по практическим работам, получили положительные результаты на мероприятиях текущего тестового контроля.

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) используются для:

- получения информации при подготовке к занятиям;

- создания презентационного сопровождения практических занятий;
- работы в электронной информационной среде;
- контроля учебных достижений обучающихся.

Стандартное лицензионное программное обеспечение:

- Microsoft Windows Professional 7 Russian Upgrade Academic OPEN No Level;
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security;
- Справочно-правовая система «Консультант Плюс»;
- Программное обеспечение «Визуальная студия тестирования».

## 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР или ПЗ</i>
1	2	3	4
Лк	Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование - Ноутбук hp, Видеопроектор Acer	-
ПЗ	Лаборатория общей не- органической химии	Мультимедийное оборудование - Ноутбук hp, Видеопроектор Acer	ПЗ №1-10
СР	Читальный зал №1	Оборудование 10- ПК i5- 2500/H67/4Gb (монитор TFT19 Samsung); принтер HP Laser Jet P2055D	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-5	владением знаниями основ учения об атмосфере, гидросфере, биосфере и ландшафтоведении	1. Радиационный и тепловой режим атмосферы	1.1. Общие сведения об атмосфере	Экзаменационные вопросы 1.1 – 1.20
			1.2. Радиация в атмосфере	
			1.3. Тепловой режим атмосферы	
			1.4. Температурный режим почвы	
ПК-14	владением знаниями об основах землеведения, климатологии, гидрологии, ландшафтоведения, социально-экономической географии и картографии	2. Влагооборот и циркуляция атмосферы	2.1. Вода в атмосфере	Экзаменационные вопросы 2.1 – 2.20
			2.2. Барическое поле и барическая система	
		3. Климатообразование и погода	3.1. Климат	Экзаменационные вопросы 3.1 – 3.15
			3.2. Погода	

## 2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1	ОПК-5	владением знаниями основ учения об атмосфере, гидросфере, биосфере и ландшафтоведении	<p>1.1 Основные сведения об атмосфере: состав и физические характеристики.</p> <p>1.2 Строение атмосферы.</p> <p>1.3 Виды радиации: прямая и рассеянная солнечная радиация. Суммарная радиация.</p> <p>1.4 Понятие альбедо.</p> <p>1.5 Собственное излучение Земли и встречное излучение атмосферы.</p> <p>1.6 Радиационный баланс деятельного слоя.</p> <p>1.7 Методы и приборы измерения радиации.</p> <p>1.8 Тепловой режим: нагревание и охлаждение атмосферы.</p> <p>1.9 Процессы передачи тепла в атмосфере: тепловая конвекция, радиационное излучение тепла, конденсация.</p> <p>1.10 Тепловой баланс земной поверхности.</p> <p>1.11 Суточный и годовой ход температуры воздуха.</p> <p>1.12 Типы годового хода температуры воздуха.</p> <p>1.13 Распределение температуры по территории земного шара, изотермы.</p> <p>1.14 Изменение температуры воздуха с высотой.</p> <p>1.15 Понятия вертикального градиента температуры и температурной инверсии. Измерение температуры воздуха.</p> <p>1.16 Процессы нагревания и охлаждения почв.</p> <p>1.17 Измерение температуры почвы.</p> <p>1.18 Суточный и годовой ход температуры почв. Изоплеты.</p> <p>1.19 Факторы, влияющие на амплитуду суточного и годового хода температуры почвы.</p> <p>1.20 Закономерности распространения тепла в почве: законы Фурье.</p> <p>2.1 Вода в атмосфере: влажность воздуха, характеристики влажности.</p>	<p>1. Радиационный и тепловой режим атмосферы</p> <p>2. Влагообо-</p>

2	ПК-14	<p>владением знаниями об основах землеведения, климатологии, гидрологии, ландшафтоведения, социально-экономической географии и картографии</p>	<p><b>2.2</b> Приборы для измерения влажности.  <b>2.3</b> Процессы испарения и конденсации, испарение с водной поверхности, с поверхности снега и льда, почвы и растительности, суммарное испарение.  <b>2.4</b> Измерение испарения.  <b>2.5</b> Распределение испарения на поверхности земли.  <b>2.6</b> Облачность в атмосфере.  <b>2.7</b> Международная классификация облаков.  <b>2.8</b> Атмосферные осадки: виды и классификация.  <b>2.9</b> Приборы для измерения осадков.  <b>2.10</b> Распределение осадков по территории земли. Изогеты.  <b>2.11</b> Общая циркуляция атмосферы.  <b>2.12</b> Распределение атмосферного давления у земной поверхности. Барическое поле и барическая система.  <b>2.13</b> Типы изобар: циклон, антициклон, ложбина, гребень, седловина.  <b>2.14</b> Барическое поле и ветер. Циклоны и антициклоны.  <b>2.15</b> Фронтальные разделы воздушных масс в атмосфере.  <b>2.16</b> Типы фронтов: теплый, холодный, стационарный, окклюзии. Условия их образования.  <b>2.17</b> Ветер, характеристики ветра, шкала Бофорта. Понятие розы ветров.  <b>2.18</b> Основные приборы для измерения ветра.  <b>2.19</b> Суточный и годовой ход скорости ветра.  <b>2.20</b> Ветровые потоки у земной поверхности: пассаты, муссоны, интенсивная циклоническая деятельность, бризы, местные ветры, бора, шквалы, горно-долинные ветры, фён.</p> <p><b>3.1</b> Климат, климатические факторы.  <b>3.2</b> Классификация климатов по Л.С.Бергу и Б.П.Алисову.  <b>3.3</b> Климатические зоны России.  <b>3.4</b> Микроклимат как явление приземного слоя атмосферы.  <b>3.5</b> Влияние рельефа, растительности, водоемов, зданий на микроклимат.  <b>3.6</b> Мезоклимат. Климат большого города.  <b>3.7</b> Изменения климата в период инструментальных наблюдений.  <b>3.8</b> Учет климатических факторов в городе при проектировании, строительстве и природоохранных мероприятиях.  <b>3.9</b> Влияние климатических условий на</p>	<p>рот и циркуляция атмосферы</p> <p><b>3.</b> Климатообразование и погода</p>
---	-------	--	--	--

		<p>планировку застройки.</p> <p><b>3.10</b> Прогноз погоды. Классификация прогнозов погоды.</p> <p><b>3.11</b> Синоптические карты погоды.</p> <p><b>3.12</b> Опасные метеорологические явления в теплый период : заморозки, засухи и суховеи, пыльные бури, град, ливневые осадки, ураганы и смерчи.</p> <p><b>3.13</b> Опасные метеорологические явления в холодный период: сильный мороз, выпревание, вымокание, ледяная корка, зимняя засуха.</p> <p><b>3.14</b> Методы борьбы с опасными метеорологическими явлениями.</p> <p><b>3.15</b> Использование метеорологических наблюдений в природообустройстве.</p>	
--	--	--	--

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ОПК-5):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– строение, состав и физические характеристики атмосферы;</li> <li>– распространение радиации в атмосфере;</li> <li>– тепловой режим атмосферы;</li> </ul> <p>(ПК-14):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– общую циркуляцию и влагооборот;</li> <li>– формирование и причины изменения климата;</li> </ul> <p><b>Уметь</b> (ОПК-5):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– комплексно оценивать состояние атмосферы и процессы, происходящие в ней;</li> <li>– определять физические закономерности, влияющие на циркуляцию атмосферы и погоду;</li> </ul> <p>(ПК-14):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– оценивать вклад различных факторов в формирование климата на планете;</li> </ul> <p><b>Владеть</b></p>	<b>отлично</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– знание теоретического контролируемого материала по метеорологии и климатологии отличное;</li> <li>– умения и навыки решения типовых задач отличные;</li> <li>– умение ясно, четко, логично и грамотно излагать собственные мысли, делать выводы отличное.</li> </ul>
	<b>хорошо</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– знание теоретического контролируемого материала по метеорологии и климатологии хорошее;</li> <li>– умения и навыки решения типовых задач хорошие;</li> <li>– умение ясно, четко, логично и грамотно излагать собственные мысли, делать выводы хорошее.</li> </ul>
	<b>удовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– знание теоретического контролируемого материала по метеорологии и климатологии среднее;</li> <li>– умения и навыки решения типовых задач средние;</li> <li>– умение ясно, четко, логично и грамотно излагать собственные мысли, делать выводы среднее.</li> </ul>

<p>(ОПК-5):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами комплексной оценки состояния атмосферы и процессов, происходящих в ней;</li> <li>– методами поиска и обмена информацией в профессиональной сфере;</li> </ul> <p>(ПК-14):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками анализа метеорологической информации для составления прогноза погоды;</li> <li>– навыками оценки изменения климата с использованием сведений многолетних наблюдений.</li> </ul>	<p><b>неудовлетворительно</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– знание теоретического контролируемого материала по метеорологии и климатологии ниже среднего;</li> <li>– умения и навыки решения типовых задач ниже среднего;</li> <li>– умение ясно, четко, логично и грамотно излагать собственные мысли, делать выводы ниже среднего.</li> </ul>
--	-----------------------------------	--

#### 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Учение об атмосфере имеет важное значение в системе подготовки эколога. Она формирует у обучающихся общие представления об основных законах климатологии и метеорологии, знакомит их со строением, составом и свойствами атмосферы и процессами, происходящими в ней; понятиями тепло- и влагооборота, радиационного режима и циркуляции атмосферы; теорией и практикой метеорологических наблюдений; закономерностями формирования и динамики климата Земли и антропогенным воздействием на него.

Дисциплина направлена на получение теоретических знаний и практических навыков по метеорологии и климатологии, необходимых для их дальнейшего использования в профессиональной деятельности. Изучение дисциплины предусматривает:

- лекции,
- практические занятия;
- самостоятельную работу;
- экзамен.

После освоения раздела «1. Радиационный и тепловой режим атмосферы» обучающиеся должны знать:

- строение, состав и физические характеристики атмосферы;
- виды радиации: прямая и рассеянная солнечная радиация;
- понятие альbedo, собственное излучение Земли и встречное излучение атмосферы.
- радиационный баланс деятельного слоя; методы и приборы измерения радиации;
- тепловой режим атмосферы: тепловую конвекцию, радиационное излучение тепла, конденсацию; тепловой баланс земной поверхности;
- суточный и годовой ход температуры воздуха, их типы;
- изменение температуры воздуха с высотой, понятия вертикального градиента температуры и температурной инверсии;
- процессы нагревания и охлаждения почв, измерение температуры почвы;
- суточный и годовой ход температуры почв и их графическое представление;
- распространение тепла в почве: законы Фурье.

*Необходимо овладеть навыками и умениями применения изученных методов для:*

- расчета основных метеорологических величин: температуры, давления, влажностных характеристик;
  - составления радиационного и теплового баланса земной поверхности слоя;
  - сопоставления различных типов суточного и годового хода температуры почвы и атмосферы;
- Необходимо овладеть навыками применения изученных методов в конкретных ситуациях:*
- для комплексной оценки состояния атмосферы и процессов, происходящих в ней.

После освоения раздела «2. Влагооборот и циркуляция атмосферы» обучающиеся должны знать:

- характеристики влажности: абсолютную и относительную влажность, точку росы, дефицит насыщения; приборы для измерения влажности и испарения, количества осадков, скорости и направления ветра;
  - процессы испарения и конденсации, суммарное испарение;
  - международную классификацию облаков;
  - общую циркуляцию атмосферы; типы фронтов: теплый, холодный, стационарный, окклюзии, условия их образования; характеристики ветра, шкалу Бофорта; понятие розы ветров;
- Необходимо овладеть навыками и умениями применения изученных методов для:*
- объяснения распределения испарения и осадков на Земном шаре и их влияния на погоду и климат;
  - объяснения суточного и годового хода скорости ветра и ее влияния на погоду и климат.
- Необходимо овладеть навыками применения изученных методов в конкретных ситуациях:*
- для комплексной оценки состояния атмосферы и процессов, происходящих в ней.

После освоения раздела «3. Климатообразование и погода» обучающиеся должны знать:

- понятие «климат» и основные факторы, формирующие климат;
- существующие классификации климатов; климатические зоны России;
- понятие микроклимата и влияние различных факторов на него;

- понятие мезоклимата; изменения климата в период инструментальных наблюдений;
  - понятие «прогноз погоды», классификацию прогнозов;
  - опасные метеорологические явления в теплый период: заморозки, засухи и суховеи, пыльные бури, град, ливневые осадки, ураганы и смерчи;
  - опасные метеорологические явления в холодный период: сильный мороз, выпревание, вымокание, ледяная корка, зимняя засуха;
- Необходимо овладеть навыками и умениями применения изученных методов для:*
- учета климатических факторов в городе при проектировании, строительстве и природоохранных мероприятиях.
  - борьбы с опасными метеорологическими явлениями в теплый и холодный период;
  - оценки глобальных эффектов антропогенного воздействия на климат;
- Необходимо овладеть навыками применения изученных методов в конкретных ситуациях:*
- для использования метеорологических наблюдений и методов в природообустройстве.

*Самостоятельную работу целесообразно начинать с* внимательного ознакомления с теоретическими сведениями, далее рекомендуется ответить на вопросы для самопроверки, приведенные в конце каждой практической работы, и только после этого приступить к ее выполнению. Студентам необходимо помнить, что большую роль в достижении ими высоких результатов играет самостоятельная учебная работа, направленная на изучение как отдельных разделов и тем дисциплины, так и на подготовку к текущим контрольным мероприятиям. Самостоятельная работа, направленная на углубление и закрепление знаний, а также развитие практических умений, заключается в работе обучающихся с лекционным материалом, поиске и анализе материалов из литературных и электронных источников информации по заданной теме, изучении тем, вынесенных на самостоятельную проработку.

*Работа с литературой* является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературы. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

*В процессе проведения практических работ* происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков реализации представления об основных законах климатологии и метеорологии, строении, составе и свойствах атмосферы, о процессах, происходящих в ней; о тепло- и влагообороте, радиационном режиме, атмосферной циркуляции; о метеорологических наблюдениях; закономерностях формирования и динамики климата Земли и антропогенного воздействия на него.

*При подготовке к экзамену* рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: повторить основные теоретические сведения по дисциплине, по каждой теме самостоятельно ответить на 2-3 вопроса. Необходимо повторить практический материал, связанный с составлением теплового и радиационного баланса, построением графических зависимостей – изотерм, изохор, изогией и изоплет, использованием расчетных формул, объяснения суточного и годового хода важнейших метеорологических характеристик.

*В процессе консультации с преподавателем* обучающемуся необходимо уяснить вопросы, вызвавшие затруднение при самостоятельном изучении курса. Консультации можно получить по вопросам организации самостоятельной работы и по другим организационно-методическим вопросам.

# **АННОТАЦИЯ**

## **рабочей программы дисциплины**

### **Учение об атмосфере**

#### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью дисциплины является изучить строение и свойства атмосферы, типы ее циркуляции, закономерности распределения тепла и влаги в ней, факторы климатообразования.

Задачами изучения дисциплины являются обучить студентов основным закономерностям:

- климатологии и метеорологии, лежащих в основе общей циркуляции атмосферы;
- радиационного и теплового режимов атмосферы;
- формирования климата и погоды.

#### **1. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебной работы, включая самостоятельную работу: лекций 17 ч., практических занятий 34 ч., самостоятельная работа 30 ч.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетных единиц.

2.2 Основные разделы дисциплины:

- 1 – Радиационный и тепловой режим атмосферы
- 2 – Влагооборот и циркуляция атмосферы
- 3 – Климатообразование и погода

#### **3. Планируемые результаты обучения**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-5 - владением знаниями основ учения об атмосфере, гидросфере, биосфере и ландшафтоведении;
- ПК-14 - владением знаниями об основах землеведения, климатологии, гидрологии, ландшафтоведения, социально-экономической географии и картографии.

**4. Вид промежуточной аттестации: экзамен**

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО  
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-5  ПК-14	владением знаниями основ учения об атмосфере	1. Радиационный и тепловой режим атмосферы	1.1. Общие сведения об атмосфере	ПЗ№1, ПЗ№2, ПЗ№3, ПЗ№4, Тест по разделу 1
			1.2. Радиация в атмосфере	
			1.3. Тепловой режим атмосферы	
			1.4. Температурный режим почвы	
	владением знаниями об основах землеведения, климатологии, гидрологии	2. Влагооборот и циркуляция атмосферы	2.1. Вода в атмосфере	ПЗ№5, ПЗ№6, ПЗ№7, Тест по разделу 2
			2.2. Барическое поле и барическая система	
		3. Климатообразование и погода	3.1. Климат	ПЗ№8, ПЗ№9, ПЗ№10, Тест по разделу 3
			3.2. Погода	

**2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций**

Показатели	Оценка	Критерии
<b>Знать</b> (ОПК-5): – строение, состав и физические характеристики атмосферы; – распространение радиации в атмосфере; – тепловой режим атмосферы; (ПК-14): – общую циркуляцию и влагооборот; – формирование и причины изменения климата;  <b>Уметь</b> (ОПК-5): – комплексно оценивать состояние атмосферы и процессы, происходящие в ней; – определять физические закономерности, влияющие на циркуляцию атмосферы и погоду; (ПК-14): – оценивать вклад различных факторов в формирование кли-	<b>отлично</b>	– знание теоретического контролируемого материала по метеорологии и климатологии отличное; – умения и навыки решения типовых задач отличные; – умение ясно, четко, логично и грамотно излагать собственные мысли, делать выводы отличное.
	<b>хорошо</b>	– знание теоретического контролируемого материала по метеорологии и климатологии отличное; – умения и навыки решения типовых задач отличные; – умение ясно, четко, логично и грамотно излагать собственные мысли, делать выводы отличное.
	<b>удовлетворительно</b>	– знание теоретического контролируемого материала по метеорологии и климатологии среднее; – умения и навыки решения типовых задач средние; – умение ясно, четко, логично и гра-

<p>мата на планете;</p> <p><b>Владеть</b> (ОПК-5):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами комплексной оценки состояния атмосферы и процессов, происходящих в ней;</li> <li>– методами поиска и обмена информацией в профессиональной сфере;</li> </ul>		<p>мотно излагать собственные мысли, делать выводы среднее.</p>
<p>(ПК-14):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками анализа метеорологической информации для составления прогноза погоды;</li> <li>– навыками оценки изменения климата с использованием сведений многолетних наблюдений.</li> </ul>	<p><b>неудовлетворительно</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– знание теоретического контролируемого материала по метеорологии и климатологии ниже среднего;</li> <li>– умения и навыки решения типовых задач ниже среднего;</li> <li>– умение ясно, четко, логично и грамотно излагать собственные мысли, делать выводы ниже среднего.</li> </ul>

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование от «11» августа 2016 г. № 998

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» марта 2017 г. №125

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018 г. №130

**Программу составила:**

Варданян Маргарит Андраниковна, доцент, канд.тех.наук, доцент

\_\_\_\_\_ (подпись)

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ЭБЖиХ от «\_\_\_\_\_» декабря 2018 г., протокол №\_\_

Заведующий кафедрой ЭБЖиХ \_\_\_\_\_

М.Р. Ерофеева

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой ЭБЖиХ \_\_\_\_\_

М.Р. Ерофеева

Директор библиотеки \_\_\_\_\_

Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией ЕН факультета от «\_\_\_\_\_» декабря 2018 г., протокол №\_\_

Председатель методической комиссии ЕНФ \_\_\_\_\_

М.А. Варданян

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник учебно-методического управления \_\_\_\_\_

Г.П. Нежевец

Регистрационный № \_\_\_\_\_

(методический отдел)