

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет заочного обучения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине

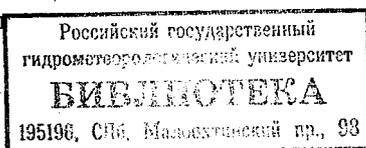
«ОСНОВЫ МЕТЕОРОЛОГИИ»

Специальность: Экономика и управление
на предприятии природопользования

*Подлежит возврату
на факультет заочного обучения*



Санкт-Петербург
2006



*Одобрено Методической комиссией
метеорологического факультета*

Методические указания по дисциплине «Основы метеорологии» для
высших учебных заведений. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006. – 24 с.

Составитель: Б.М. Воробьев, доц. РГГМУ.

Ответственный редактор: А.С. Гаврилов, проф. РГГМУ.

- © Б.М. Воробьев, 2006
- © Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью данной дисциплины является изучение основ науки о земной атмосфере, ее составе, строении и протекающих в ней физических процессах. При этом студент использует уже приобретенные знания в таких дисциплинах, как «Высшая математика», «Физика», «Основы геофизики» и др. В свою очередь данный курс служит основой для изучения в дальнейшем других дисциплин: «Методы и средства гидрометеоризмерений», «Синоптическая метеорология» и др.

В результате изучения данной дисциплины студент должен понимать основные закономерности атмосферных процессов, многообразия фактов, влияющих на состояние и строение атмосферы, погоду и климат, а также уметь выполнять расчеты и анализировать полученные результаты.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

При самостоятельном изучении данной дисциплины следует иметь в виду отсутствие в настоящее время учебников по основам метеорологии для специальностей не гидрометеорологического профиля.

Учебники [1, 2] перегружены физико-математическими аспектами атмосферных процессов, либо климатологической информацией.

По данной дисциплине студент должен выполнить одну контрольную работу. Дисциплина завершается экзаменом.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Хромов С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 455 с.
2. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 752 с.
3. Бройдо А. Г. и др. Задачник по общей метеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 312 с.

Дополнительная

1. Психрометрические таблицы. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 270 с.
2. Городецкий О.А., Гуральник И.Н., Ларин В.В. Метеорология, Методы и технические средства наблюдений. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 336 с.
3. Астапенко П.Д. Вопросы о погоде. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 391 с.
4. Хромов С.П., Мамонтова Л.Н. Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 568 с.

УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ

Введение

Выясните основные задачи, стоящие перед этой наукой, и ее связь с другими дисциплинами и науками. Определите значение метеорологии для народного хозяйства и в решении проблемы взаимодействия человека и окружающей среды.

Изучите краткую историю развития метеорологии, современное состояние и организацию метеорологических наблюдений как у нас в стране, так и за рубежом. Всемирная метеорологическая организация и служба погоды.

Литература

[1, 2] – Введение.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы основные задачи метеорологии?
2. Каково значение метеорологической информации для народного хозяйства?
3. В чем заключается основная роль Всемирной метеорологической организации?

Общие сведения об атмосфере

Изучите состав атмосферного воздуха, представляющего собой смесь различных газов и аэрозольных частиц. Обратите внимание на важную роль водяного пара для состояния атмосферы. Только водяной пар при атмосферных условиях может находиться в трех различных фазовых состояниях: жидком, твердом и газообразном. Также следует понять роль таких малых газовых примесей, как озон (O_3) и углекислый газ (CO_2).

Следует хорошо усвоить понятие, определения и единицы измерения основных метеорологических величин.

Атмосферное давление (P) – сила, с которой воздух давит на единицу площади всех предметов. В системе СИ измеряется в паскалях (Па), гектопаскалях (гПа), в практической системе – в мм. рт. ст.

Связь между ними следующая:

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па};$$

$$1 \text{ мм. рт. ст.} = 1,33 \text{ гПа.}$$

Температура воздуха имеет две шкалы: теоретическую T (в Кельвинах) и практическую t (в $^{\circ}C$). Связь между ними:

$$TK = t^{\circ}C + 273.$$

Влажность воздуха имеет несколько характеристик, наиболее важные из которых:

1. Парциальное давление пара (e) – измеряется в тех же единицах, что и давление воздуха: гПа, мм. рт. ст.

2. Давление насыщенного водяного пара (E) — максимально возможное давление пара. Оно очень сильно зависит от температуры воздуха, а также от фазового состояния поверхности (вода, лед), над которой находится пар. Оно определяется с помощью «Психометрических таблиц», либо рассчитывается по эмпирической формуле:

$$E = 6,11 \exp\left(\frac{17,62 \cdot t}{243,12 + t}\right) \text{ гПа,}$$

где t – °С.

3. Относительная влажность воздуха (f) представляет собой отношение фактического давления пара к давлению насыщенного пара всегда над водой при данной температуре воздуха, т.е.

$$f = \frac{e}{E(t)}.$$

В системе СИ измеряется в долях единицы, в практической – в процентах (%) 1 ед.= 100%.

4. Абсолютная влажность воздуха (a) – масса водяного пара в единице объема влажного воздуха. Измеряется в системе СИ в $\text{кг}/\text{м}^3$, в практической системе – в $\text{г}/\text{м}^3$; Она рассчитывается по формуле:

$$a = 217 \frac{e}{T}, \text{ г}/\text{м}^3,$$

где e – гПа, T – К.

5. Массовая доля пара (S) – масса пара в единице массы влажного воздуха (старое название – удельная влажность воздуха). В системе СИ измеряется в долях единицы, в практической системе – в промилле ($^0/_{00}$): 1 ед.= $1000^0/_{00}$. Она рассчитывается по формуле:

$$S = 622 \frac{e}{p}, ^0/_{00}$$

6. Температура точки росы (t_d) – такая температура, которую должен иметь влажный воздух, если его изобарически (при посто-

янном давлении) охладить до состояния насыщения над водой. Эта температура однозначно зависит только от давления пара (e). При $f < 100\%$, $t_d < t$. При $f = 100\%$, $t = t_d$. Оно определяется с помощью «Психометрических таблиц», либо рассчитывается по формуле:

$$t_d = \frac{243,12 \cdot \ln(e/6,11)}{17,62 - \ln(e/6,11)}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Усвойте основное уравнение состояния любого газа, связывающего его давление P_i , плотность (ρ), температуру (T) и удельную газовую постоянную (R_i)

$$\rho_i = \frac{P_i}{R_i t}$$

Для сухого воздуха

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

где $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кгК}}$.

Для влажного воздуха (сухой воздух + пар)

$$\rho_v = \frac{P}{RT_v}$$

где T_v — виртуальная температура, отличающаяся от реальной (фактической) температуры на некоторую добавку, зависящую от влажности воздуха

$$T_v = T + \Delta T_v;$$

$$\Delta T_v = 0,378 \frac{eT}{P}$$

В соответствии с этими уравнениями при одних и тех же значениях давления и температуры плотность влажного воздуха меньше плотности сухого воздуха, хотя эти различия не велики и не превышают долей процента.

Изучите общее вертикальное строение атмосферы, деление ее на слои: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу, озоно-

сферу, ионосферу, пограничный слой и свободную атмосферу, го-мосферу и гетеросферу.

Усвойте такие понятия, как барические системы, циклоны, антициклоны, воздушные массы и фронты.

Литература

[1] – Введение, гл.1, гл. 2; [2] – гл. 2.

Вопросы для самопроверки

1. Давление воздуха 750 мм рт. ст. Переведите эту величину в гПа.
2. Дайте определение основных характеристик влажности воздуха.
3. Каков газовый состав воздуха у поверхности Земли и на больших высотах?
4. Что такое циклон и антициклон?

Радиация (лучистая энергия) в атмосфере

В этом разделе изучаются закономерности радиационного режима атмосферы, а также связанные с прохождением радиации оптические явления в атмосфере.

Изучите основные законы излучения (Кирхгофа, Планка, Вина и Стефана – Больцмана). Основные источники радиации — Солнце, земная поверхность и атмосфера.

Обратите внимание на существенное различие радиации от этих источников, обусловленное разницей в их температурах излучателей.

Солнце – основной источник энергии атмосферных процессов. Важнейшая характеристика — солнечная постоянная (S_0) — количество солнечной радиации, поступающей на единичную площадку в единицу времени на верхней границе атмосферы. Она определена экспериментальным путем на основе измерений и численно равна

$$S_0 = 1,38 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}.$$

Изучите основные закономерности прихода солнечной радиации на земную поверхность, связанные с процессами рассеяния, поглощения и ослабления. Количественно это выражается законом ослабления Бугера – Ламберта, связывающего поток радиации на земную поверхность (S) с солнечной постоянной (S_0), интегральным коэффициентом прозрачности атмосферы (P) и оптической массой атмосферы (m):

$$S = S_0 P^m.$$

Потоки прямой S' , рассеянной D и суммарной $Q = S' + D$ солнечной радиации зависят от высоты Солнца h_{\odot} , а также физического состояния всей вертикальной толщи атмосферы (степени её прозрачности).

Обратите внимание на существенные различия в отражательной способности (альбедо) различных земных поверхностей (вода, снег, почва, растительный покров и др.) и облаков.

Изучите основные закономерности длинноволнового излучения Земли и атмосферы, эффективного излучения.

Хорошо усвойте такие понятия как радиационный баланс земной поверхности, атмосферы и системы «Земля-атмосфера», их суточный и годовой ход, географическое распределение. Радиационный баланс в буквальном смысле слова имеет место только на верхней границе атмосферы. Количество поступившей от Солнца радиации здесь строго равно количеству уходящей от Земли в космос радиации (отраженная земной поверхностью и атмосферой солнечная радиация + часть длинноволнового излучения атмосферы).

Литература

[1] – раздел II, гл.1– 8; [2] – гл. 3.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение таких понятий, как радиация, поток радиации, поглощательная и отраженная способность.
2. Что такое ультрафиолетовая, видимая и инфракрасная радиация?
3. Чем отличается спектральный состав солнечной радиации от земного излучения и излучения атмосферы?
4. Каковы основные закономерности молекулярного и аэрозольного рассеяния света? Чем объясняется голубой цвет чистого неба?
5. Какие основные газы поглощают радиацию?
6. Каков физический смысл оптической массы атмосферы?
7. Что такое коротковолновая и длинноволновая радиация?
8. Что такое эффективное излучение? Факторы, влияющие на эффективное излучение.
9. Дайте определение понятия «радиационный баланс»
10. Опишите типичный суточный ход радиационного баланса земной поверхности при безоблачном небе и сплошной облачности.

Основы статики и термодинамики атмосферы

Изучите вывод и проанализируйте основное уравнение статики атмосферы

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g .$$

Давление воздуха с высотой всегда падает. Скорость его падения однозначно зависит от плотности воздуха: в более плотном падает быстрее, чем в холодном. В более теплом воздухе давление падает медленнее, чем в холодном.

Наиболее важное для практики значение имеет интегральный вид уравнения статики — т.н. барометрические формулы. Например, для изотермической атмосферы ($T = \text{const}$), либо изотермического слоя атмосферы барометрическая формула имеет вид:

$$P_2 = P_1 \exp\left(-\frac{g\Delta z}{RT}\right),$$

здесь P_2, P_1 — соответственно, давление на верхней и нижней границе слоя толщиной $\Delta Z = Z_2 - Z_1$;

$$\bar{T} - \text{средняя температура слоя } \bar{T} = \left(\frac{T_1 + T_2}{2}\right).$$

Обратите внимание на практическое использование барометрических формул при решении следующих задач:

1. Приведение давления к уровню моря.
2. Барометрическое нивелирование — определение превышения одного уровня над другим по измеренным на этих уровнях температуре и давлению воздуха.
3. Определение давления воздуха на высотах, если известны давление на исходном уровне и температура на высотах.

Изучите и проанализируйте первое начало термодинамики для атмосферы и его частный случай для сухадиабатического процесса

$$\frac{dT_i}{T_i} = \frac{R}{c_p} \frac{dP}{P},$$

здесь c_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении ($1005 \frac{\text{Дж}}{\text{кгК}}$).

Из этого уравнения нетрудно получить формулу для суходиабатического градиента температуры:

$$-\frac{dT_i}{dz} = \gamma_a = \frac{g}{c_p} \frac{T_i}{T_e} \approx 0,98 \frac{K}{100\text{ м}},$$

здесь T_i – температура адиабатической частицы, T_e – температура окружающей среды.

В интегральном виде это уравнение носит название уравнения Пуассона, или сухой адиабаты

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0,286}$$

При суходиабатическом процессе, который имеет место в сухом либо влажном, но не насыщенном воздухе, изменение температуры однозначно связано только с изменением давления: при увеличении давления температура растет и наоборот. Применительно к атмосфере это связано в основном с вертикальным движением воздуха. При подъеме воздуха давление падает, соответственно падает и температура примерно на один градус на каждые 100 м подъема, а при адиабатическом опускании температура растет с такой же скоростью.

Обратите внимание на существенные различия суходиабатического и влажноадиабатического процессов. Влажноадиабатический процесс всегда протекает во влажном насыщенном воздухе ($f = 100\%$), при этом продукты конденсации пара (капли воды) перемещаются вместе с воздухом. При подъеме такого воздуха вверх температура падает с меньшей скоростью, чем суходиабатический градиент, так как в этом случае избыточный водяной пар конденсируется с выделением большого количества тепла (скрытое тепло конденсации), идущее на нагревание воздуха. Скорость понижения температуры влажного насыщенного воздуха носит название влажноадиабатического – градиента $\gamma_{\text{ва}}$. Значение его не постоянно, как γ_a , а зависит прежде всего от температуры и давления воздуха. В теплом воздухе $\gamma_{\text{ва}}$ заметно меньше, чем γ_a . При низких температурах ($T \leq -40^\circ\text{C}$) $\gamma_{\text{ва}}$ приближается к γ_a .

Изучите устройство аэрологической диаграммы, которая широко используется при решении многих задач статики и термодинамики атмосферы, а также в анализе термодинамического состояния

реальной атмосферы. Обратите внимание на такие понятия как кривая стратификации атмосферы, уровень конденсации, кривая состояния и уровень конвекции.

Разберитесь с критериями вертикальной устойчивости атмосферы.

Литература

[1] – гл.4; [2] – гл. 2, пп. 19 – 26; гл. 4, пп. 27 – 30.

Вопросы для самопроверки

1. Выведите самостоятельно основное уравнение статики атмосферы.
2. Что такое вертикальный барический градиент и барическая ступень? Как они изменяются с высотой?
3. Выведите барометрическую формулу для изотермической атмосферы. Изобразите графический вид зависимости $P(z)$ для двух изотермических атмосфер с разными температурами.
4. Изобразите графический вид сухой адиабаты в координатах $T - Z$.
5. Объясните физически влияние температуры на величину влажноадиабатического градиента.
6. Что такое кривая состояния и кривая стратификации?
7. От чего зависит высота уровня конденсации?
8. Объясните понятие «устойчивая стратификация», «неустойчивая стратификация».
9. Что такое энергия неустойчивости.

Тепловой режим атмосферы и почвы

Изучите основные процессы передачи тепла, приводящие к изменению температуры; тепловой баланс земной поверхности и атмосферы.

Изучите основные закономерности теплового режима деятельного слоя почвы. Обратите внимание на теплофизические характеристики почвы, растительный и снежный покров и их влияние на тепловое состояние почвы. Рассмотрите особенности теплового режима водоемов.

Изучите основные закономерности теплового режима нижнего слоя атмосферы, тропосферы и стратосферы; суточный и годовой ход температуры воздуха; вертикальное и горизонтальное распределение температуры; приземные инверсии температуры и их роль в загрязнении приземного слоя атмосферы.

Литература

[1] – гл. 9 – 12; [2] – гл. 4.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы основные механизмы передачи тепла в почве, водоемах, атмосфере?
2. Изобразите графически суточный ход температуры почвы на двух разных глубинах.
3. Изобразите графически вертикальное распределение температуры в деятельном слое почвы днем и ночью.
4. Перечислите основные факторы, приводящие к изменению температуры в пограничном слое атмосферы.
5. Чем объясняется вертикальное распределение температуры в тропосфере и стратосфере?

Вода в атмосфере

Обратите внимание на целый ряд аномальных свойств воды и водяного пара, влияющих на атмосферные процессы и погоду (возможность сосуществование в трех разных агрегатных состояниях, большая удельная теплота конденсации и парообразования, большая удельная теплоемкость, наличие сильных полос поглощения паром длинноволновой радиации и др.) Изучите диаграмму равновесия фаз воды и общие условия перехода из одной фазы в другую.

Изучите процесс испарения в естественных условиях и основные факторы, влияющие на скорость испарения.

Обратите внимание на роль ядер конденсации (в основном, это гигроскопические частицы солей NaCl и сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в образовании облаков и туманов. Изучите общие физико-метеорологические условия образования облаков (это охлаждение воздуха и увеличение его влагосодержания при испарении воды). Усвойте международную классификацию облаков. Разберитесь с основными геометрическими, микрофизическими и термодинамическими характеристиками облаков и туманов. Они представляют собой совокупность мелких (размером в несколько мкм) взвешенных в воздухе капель либо ледяных кристаллов.

Изучите атмосферные осадки и их классификации. Разберитесь с процессами укрупнения облачных частиц до размеров частиц осадков. Изучите основные схемы образования осадков в слоистообразных и конвективных облаках, возникновения гроз. Ознакомьтесь с физическими основами и техническими средствами воздействия на туманы и облака.

Обратите внимание на понятие «наземные осадки» (роса, иней, изморозь, гололед) и условия их образования.

Литература

[1] – гл. 13 – 18; [2] – гл. 5.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы особенности физических свойств воды и водяного пара?
2. Какие факторы влияют на скорость испарения в естественных условиях?
3. В чем различие гомогенного и гетерогенного механизмов конденсации и замерзания капель?
4. Какова роль ядер конденсации в образовании облаков и туманов? Возможна ли конденсация пара в абсолютно чистом от примесей воздухе?
5. Какие причины могут привести к охлаждению воздуха и образованию облаков?
6. Что такое радиационный туман и при каких метеоусловиях он может образоваться?
7. Как связана водность облака и тумана с его микроструктурой?
8. От чего зависит дальность видимости в туманах и облаках?
9. Какова роль ледяной фазы в процессах образования атмосферных осадков (морось, дождь, ливень)?
10. Может ли образоваться град в слоистых либо слоисто – дождевых облаках?
11. Какие условия необходимы для возникновения грозных разрядов?
12. Каковы физические основы методов воздействия на облака с целью вызывания осадков?

Движение воздуха в атмосфере

При изучении этого раздела следует обратить внимание на силы, действующие в атмосфере. Основная сила, приводящая к появлению ветра — горизонтальный барический градиент G_n

$$G_n = -\frac{dP}{dn} \text{ [Н/м}^3\text{]}.$$

Остальные силы (Кориолиса, трения, центробежная) являются вторичными и приводят лишь к изменению скорости и направления ветра.

Вертикальные движения воздуха возникают в результате конвергенции ветра в циклонах (т.н. крупномасштабные упорядоченные вертикальные токи); за счет неупорядоченных мезомасштабных восходящих потоков в термически неустойчивой атмосфере (термическая конвекция); в зоне холодных атмосферных фронтов (динамическая конвекция).

Изучите вопрос о ламинарном и турбулентном характере движений воздуха и факторах, влияющих на атмосферную турбулентность.

Обратите внимание на такие понятия, как градиентный, геострофический и геоциклострофический ветер. Изучите основные закономерности ветрового режима в пограничном слое, тропосфере и стратосфере. Ознакомьтесь с местными ветрами (бризы, горнодолинные, фен, бора и др.) и условиями их образования.

Ознакомьтесь с понятием об общей циркуляции атмосферы.

Литература

[1] – раздел У, гл. 19 – 21; [2] – гл. 6.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключаются основные различия ламинарного и турбулентного движений?
2. Изобразите графически силы, действующие на частицу воздуха при прямолинейных изобарах в свободной атмосфере. Покажите здесь направление геострофического ветра для северного полушария.
3. Как изменяются с высотой в пограничном слое атмосферы скорость и направление ветра?
4. Почему в тропосфере в основном преобладает западно–восточный перенос, а скорость ветра с высотой возрастает?
5. Что такое струйное течение и на наших высотах оно расположено?
6. Что такое ночной и дневной бриз? Где и почему они возникают?

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Общие указания

Контрольная работа состоит из 6 заданий и 2х задач. Каждое задание и задача представлены в 10 вариантах вопросов. Номер выполняемого варианта соответствует последней цифре номера Вашей зачетной книжки. В заданиях сформулированы вопросы по основным разделам дисциплины. Ответы на вопросы должны быть краткими, с поясняющими графиками, формулами и их выводом, если это требует вопрос. Текст следует излагать своими словами, избегая дословного переписывания учебников. При расчетах обратите внимание на требуемую точность вычислений. Обязательно нужно указывать размерности вычисленных метеовеличин.

Задание 1

1. Значение метеорологии для народного хозяйства и здоровья человека.
2. Дайте определения основных метеовеличин и единиц их измерения.
3. Характеристики влажности воздуха и связь между ними.
4. Напишите и проанализируйте уравнения состояния сухого и влажного воздуха. Что такое виртуальная температура.
5. Опишите общее вертикальное строение атмосферы и деление ее на различные слои.
6. Дайте описание состава атмосферного воздуха у земли. Понятие об атмосферном аэрозоле.
7. Общее горизонтальное строение атмосферы. Понятие о барических системах, воздушных массах и фронтах.
8. Основные задачи метеорологии и ее связь с другими науками.
9. Организация метеорологических наблюдений у нас в стране и за рубежом. Всемирная метеорологическая организация и ее задачи.
10. Что такое тропосфера и стратосфера? Их основные свойства.

Задание 2

1. Что такое солнечная постоянная? Как она определяется и ее численное значение?
2. Опишите основные закономерности рассеяния и поглощения радиации. Чем объясняется голубой цвет неба, красный цвет Солнца при его восходе и заходе?

3. Опишите оптические явления, связанные с рассеянием света в атмосфере.
4. Проанализируйте закон ослабления радиации (закон Бугера – Ламберта). Что такое интегральный коэффициент прозрачности атмосферы (P)?
5. Опишите основные закономерности прямой, рассеянной и суммарной радиации.
6. Что такое отраженная, поглощенная радиация и альbedo земных поверхностей и облаков?
7. Опишите основные закономерности излучения земной поверхности, встречного излучения атмосферы и эффективного излучения.
8. Что такое радиационный баланс земной поверхности? Опишите основные факторы, влияющие на радиационный баланс.
9. Опишите спектральный состав солнечной радиации на верхней границе атмосферы и у поверхности Земли. Чем вызвано их различие?
10. Что такое радиация, чем отличается ультрафиолетовая, видимая и инфракрасная радиация? Опишите кратко основные законы излучения.

Задание 3

1. Выведите и проанализируйте основное уравнение статики атмосферы.
2. Выведите и проанализируйте барометрическую формулу для изотермической атмосферы.
3. Что такое вертикальный барический градиент и барическая ступень? Как они изменяются с высотой?
4. Выведите и проанализируйте первое начало термодинамики для атмосферы.
5. Суходиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Суходиабатический градиент. Потенциальная температура.
6. Влажноадиабатический процесс. Влажноадиабатический градиент. Кривая состояния.
7. Поясните смысл понятий «устойчивая стратификация», «неустойчивая стратификация». Каковы для них количественные критерии?
8. Что такое уровень конденсации и уровень конвекции? От чего зависит их высота и с чем они связаны?

9. Приведите примеры практического использования барометрических формул.
10. Как изменяется давление воздуха с высотой? Где быстрее падает: в теплом либо холодном воздухе?

Задание 4

1. Опишите основные механизмы передачи тепла, приводящие к изменению температуры.
2. Дайте краткое описание теплового баланса земной поверхности и системы земля – атмосфера.
3. Основные закономерности теплового режима почвы.
4. Опишите различия в тепловом режиме почвы и водоемов.
5. Закономерности теплового режима нижнего (пограничного) слоя атмосферы.
6. Опишите суточный и годовой ход температуры воздуха у земной поверхности.
7. Закономерности вертикального распределения температуры в тропосфере и стратосфере.
8. Что такое тропопауза? Как изменяются высота и температура тропопаузы?
9. Дайте объяснения вертикальному распределению температуры воздуха.
10. Что такое инверсия? Каковы причины их образования?

Задание 5

1. Что такое испарение и испаряемость? Факторы, влияющие на скорость испарения.
2. Общие физико–метеорологические условия образования облаков и туманов. Роль ядер конденсации и их характеристики.
3. Опишите международную классификацию основных форм облаков.
4. Условия образования туманов и их классификация.
5. Приведите основные характеристики облаков различных форм.
6. Оптические явления в облаках и осадках.
7. Атмосферные осадки и их классификация.
8. Опишите основные схемы образования осадков из облаков различных форм.
9. Условия возникновения гроз и ливней.
10. Наземные осадки и условия их образования.

Задание 6

1. Что такое ветер, скорость и направление ветра, линии тока?
2. Ветер и атмосферная турбулентность. Факторы, влияющие на турбулентность.
3. Опишите основные причины возникновения ветра и силы, действующие в атмосфере.
4. Градиентный ветер в циклоне и антициклоне северного полушария. Приведите схемы.
5. Влияние силы трения на ветер. Спираль Экмана. Барическое правило ветра.
6. Что такое географический ветер? Куда он направлен и от чего зависит его скорость?
7. Горизонтальный барический градиент и изменение его с высотой.
8. Местные ветры и условия их возникновения.
9. Основные закономерности ветрового режима в нижнем, пограничном слое атмосферы.
10. Основные закономерности ветрового режима в тропосфере и стратосфере. Струйные течения.

Задача 1

Дано: $P = 1020 - 10 \cdot N_0$, гПа

$$T = 20 - 2 \cdot N_0, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f = 50 + 4 \cdot N_0, \%$$

здесь N_0 — последняя цифра номера зачетной книжки (от 0 до 9).

Определить: давление насыщения (E), фактическое давление пара (e), температуру точки росы (t_d), дефицит точки росы (Δt_d), абсолютную влажность воздуха (a), массовую долю пара (S) и плотность воздуха (ρ). Точность вычислений: 0,1 гПа; 0,1 $^\circ$ C; 0,1 г/м 3 ; 0,1 $^\circ$ / $_{00}$ и 0,01 кг/м 3 .

Расчетные формулы

Давление насыщения определяется с помощью психрометрических таблиц, либо рассчитывается по эмпирической формуле

$$E(t) = 6,11 \exp\left(\frac{17,62 \cdot t}{243,12 + t}\right), \text{ гПа,}$$

здесь $t - ^\circ\text{C}$

$$e = \frac{f}{100} E(t).$$

Температура точки росы определяется в зависимости от давления пара «е» с помощью психрометрических таблиц, либо вычисляется по формуле:

$$t_d = \frac{243,12 \cdot \ln(e/6,11)}{17,62 - \ln(e/6,11)}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_d = t - t_d, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$S = 622 \frac{e}{p}, \text{ } \text{‰}$$

$$a = 217 \frac{e}{T}, \text{ } \text{г/м}^3$$

$$\rho = \frac{P}{RT},$$

здесь e – гПа, T – К

здесь P –Па, T –К

$$R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Задача 2

На основе исходных данных метеонаблюдений (см. Приложение 3) вычислить потоки прямой S , S' , рассеянной D и суммарной Q солнечной радиации, длинноволнового излучения Земли E_3 , встречного излучения атмосферы E_A , эффективного излучения $E_{\text{эфф}}$ и радиационный баланс земной поверхности R_3 . Точность вычислений – 0,01 кВт/м².

Расчетные формулы

- Коротковолновая солнечная радиация

$$S = S_0 P^m \quad m = \frac{1}{\sin h_0} = \text{cosec } h_0$$

$$S' = S \cdot \sin h_0 \quad D = 0,4 (S_0 - S) \sin h_0$$

$$Q = S' + D$$

- Длинноволновое излучение Земли и атмосферы

$$E_3 = \delta_3 \cdot \sigma T_0^4 \quad E_A = \delta_A \cdot \sigma T_A^4 \quad \delta_A = a + b \sqrt{e}$$

$$E_{\text{эфф}} = E_3 - \delta_3 \cdot E_A.$$

Здесь δ_3 – поглощательная способность земной поверхности ($\delta_3 = 0,95$),

σ – постоянная Стефана – Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-11} \text{кВт/м}^2\text{К}^4$,

δ_A – поглощательная способность атмосферы,

e – давление водяного пара у земли, гПа,

a, b – эмпирические коэффициенты, численно равные 0,53 и 0,06,

T_0, T_A – температуры земной поверхности и воздуха у земли, соответственно.

- Радиационный баланс земной поверхности

$$R_3 = Q(1 - A) - E_{\text{эфф}},$$

здесь A – альbedo земной поверхности (в долях ед.)

Давление насыщенного пара Е (гПа) при разных температурах воздуха

а) над плоской поверхностью чистой воды

t°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
+40	73,8	77,8	82,0	86,4	91,0	95,8	100	106	112	117
+30	42,4	44,9	47,5	50,3	53,2	56,2	59,4	62,8	66,2	69,9
+20	23,4	24,9	26,4	28,1	29,8	31,7	33,6	35,6	37,8	40,0
+10	12,3	13,1	14,0	15,0	16,0	17,0	18,2	19,4	20,6	22,0
0	6,11	6,57	7,06	7,57	8,13	8,72	9,34	10,0	10,7	11,5
-0	6,11	5,68	5,27	4,90	4,54	4,21	3,91	3,62	3,35	3,10
-10	2,86	2,64	2,44	2,25	2,08	1,91	1,76	1,62	1,49	1,37
-20	1,25	1,15	1,05	0,96	0,88	0,81	0,74	0,67	0,61	0,56
-30	0,51	0,46	0,42	0,38	0,35	0,31	0,28	0,26	0,23	0,21
-40	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,089	0,080	0,071
-50	0,064	0,057	0,050	0,045	0,040	0,035	0,031	0,028	0,024	0,022
-60	0,019	0,017	0,015	0,013	0,011	0,010	0,009	0,007	0,006	0,006

б) над плоской поверхностью чистого льда

t°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-0	6,11	5,62	5,17	4,76	4,37	4,01	3,68	3,38	3,10	2,84
-10	2,60	2,37	2,17	1,98	1,81	1,65	1,50	1,37	1,25	1,14
-20	1,03	0,94	0,85	0,77	0,70	0,63	0,57	0,52	0,47	0,42
-30	0,38	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14
-40	0,13	0,11	0,10	0,091	0,081	0,072	0,064	0,057	0,050	0,044
-50	0,039	0,035	0,031	0,027	0,024	0,021	0,018	0,016	0,014	0,012
-60	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003

Значения σT^4 , кВт/м² при разных температурах излучателей

$T, ^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
σT^4	0,32	0,34	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,58	0,62

Исходные данные метеонаблюдений

Метео	№ вариантов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h_0 , град	16	30	42	45	48	50	45	40	30	20
P , ед	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,70
A , ед	0,24	0,26	0,28	0,30	0,26	0,24	0,22	0,20	0,16	0,14
$T_0, ^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45	40	35	30	25
$T_A, ^\circ\text{C}$	15,4	18,6	20,2	22,5	23,0	24,8	24,2	22,1	20,6	18,5
f , %	86	80	75	65	60	64	72	80	84	86

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Общие указания	3
Литература	3
Указания по разделам	4
Общие сведения об атмосфере	4
Радиация (лучистая энергия) в атмосфере	7
Основы статики и термодинамики атмосферы	9
Тепловой режим атмосферы и почвы	11
Вода в атмосфере	12
Движение воздуха в атмосфере	13
Контрольная работа	15
Общие указания	15
Задание 1	15
Задание 2	15
Задание 3	16
Задание 4	17
Задание 5	17
Задание 6	18
Задача 1	18
Задача 2	19
Приложение 1	21
Приложение 2	22
Приложение 3	22

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по дисциплине
«ОСНОВЫ МЕТЕОРОЛОГИИ»

Составитель Борис Михайлович Воробьев

Редактор И.Г. Максимова

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 19.06.06. Формат 60х90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,4. Уч.-изд.л. 1,4. Тираж 200 экз. Заказ № 59
РГТМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «НПП «Система», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр.,80/2.
