

Министерство образования Российской Федерации

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет заочного обучения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине

“ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ ОКЕАНА И ВОД СУШИ”

Раздел: Физика атмосферы

Специальность 012600 – Метеорология

Курс III



Санкт–Петербург
2000

Одобрено Ученым советом метеорологического факультета

УДК 551.5(07)

Методические указания по дисциплине "Физика атмосферы". Физика атмосферы – СПб., Изд. РРГМУ. 2000. – 36 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины "Физика атмосферы океана и вод суши". Даются рекомендации по изучению разделов «Вода в атмосфере», «Оптические явления в облаках и осадках», «Движение воздуха».

Приводятся вопросы для самопроверки, рекомендуемая литература, контрольные работы.

Составители: Е. Г. Головина, В. И. Ковалев.

Ответственный редактор А. С. Гаврилов, проф.

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2000.

ПРЕДИСЛОВИЕ

На третьем курсе метеорологического факультета заочного обучения изучаются следующие разделы курса Физика атмосферы: «Вода в атмосфере», «Движение воздуха».

Понимание перечисленных разделов метеорологии невозможно без знания вертикального строения и состава атмосферы, основных уравнений, описывающих изменение состояния атмосферы (уравнений состояния сухого и влажного воздуха, уравнение статики атмосферы, уравнение притока тепла и т.д.), основ термодинамики атмосферы и закономерностей переноса лучистой энергии в атмосфере. Поэтому рекомендуется до изучения нового материала повторить разделы метеорологии, изучаемые ранее.

Студенты допускаются к экзаменационной сессии на третьем курсе после выполнения двух контрольных работ. Контрольные работы должны получить положительные рецензии преподавателя. При отрицательной рецензии студент должен внести необходимые для зачета исправления и сдать контрольную на проверку повторно.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

По дисциплине "Физика атмосферы" на третьем курсе предусматривается изучение разделов "Вода в атмосфере", "Движение воздуха". Студент должен выполнить две контрольных работы. Дисциплина завершается экзаменом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Матвеев Л. Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 751 с.
2. *Бройдо А. Г. и др.* Задачник по общей метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 312 с.
3. Психрометрические таблицы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 270 с.
4. Руководство по теплобалансовым наблюдениям. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 149 с.
5. Атлас облаков. Под ред А. Х. Хргиана, Н. И. Новожилова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978.

6. Метеорология верхней атмосферы Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 270 с.

7. *Матвеев Л.Т.* Динамика облаков.– Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 311 с.

8. *Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Хворостьянов В.И., Козодорев В.В.* Облака и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.– 517 с.

9. *Дубровина Л.С.* Облака и осадки по данным самолетного зондирования. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 216 с.

УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ

Введение

Выяснение основных задач в разделах «Вода в атмосфере», «Движение воздуха и силы, действующие в атмосфере» является заключительным этапом, завершающим изучение курса «Физика атмосферы, океана и вод суши по разделу «Физика атмосферы».

Их изучение предполагает кроме лекционного курса, выполнение 2-х контрольных работ и ряда индивидуальных заданий. Повторение материала 2-го курса и освоение 3-го курса являются базой для последующего прохождения комплексного государственного экзамена по метеорологическим дисциплинам.

Л и т е р а т у р а

[1] – Введение

Вода в атмосфере

Многие атмосферные явления связаны с наличием воды в атмосфере в трех фазовых состояниях. Прежде чем перейти к изучению самих явлений (роса, иней, дымка, туман, облака, осадки и т.д.), необходимо рассмотреть процесс перехода воды из одного состояния в другое с физической точки зрения. Поэтому, прежде всего, изучите условия равновесия фаз. Основной характеристикой состояния атмосферы, дающей представление о степени равновесия между фазами воды, является давление насыщенного водяного пара. Знание факторов, влияющих на эту величину, дает возможность понять физические

процессы, приводящие к испарению воды, а также к образованию в атмосфере капель воды и кристаллов льда.

Для изучения вопросов образования облаков, туманов, осадков необходимо ясное понимание рассмотренных ранее разделов физики атмосферы: статика атмосферы, перенос лучистой энергии в атмосфере, основы термодинамики атмосферы, тепловой режим атмосферы.

Условия фазовых переходов воды в атмосфере определяются прежде всего уравнением Клазиуса-Клапейрона, описывающим взаимосвязь насыщающего парциального давления водяного пара над плоской поверхностью чистой воды с ее температурой. Поправки к этой величине вносятся в связи наличием в воде растворенных солей (закон Рауля), а также из-за кривизны поверхности капель (формула Томсона).

О влиянии кривизны поверхности и фазового состояния воды на давление насыщения можно судить по результатам решения приведенной задачи.

Задача 1. Найти и сравнить между собой давление насыщенного водяного пара над замерзшими и переохлажденными каплями, имеющими радиус $6 \cdot 10^{-6}$ см и температуру $-10,0^{\circ}$ С. При какой относительной влажности воздуха они могут существовать не испаряясь?

Решение. Замерзшая и переохлажденная капли будут существовать не испаряясь при относительной влажности воздуха f большей или равной равновесной относительной влажности, определяющей состояние динамического равновесия между процессами испарения и конденсации. Равновесная относительная влажность рассчитывается по формуле

$$f_p = \frac{E_1}{E} * 100\% = 100\% \text{ .,} \quad (1)$$

где E_1 — давление насыщенного пара, определяемое с учетом температуры и свойств испаряющейся поверхности; E — давление насыщенного пара над плоскостью поверхности чистой воды, зависящее от температуры воздуха.

Из уравнения для зависимости насыщенного пара от кривизны поверхности можно записать:

$$E_r = E \left(1 + \frac{c_r}{r} \right), \quad (2)$$

где E_r — давление насыщенного пара над каплей радиусом r ; $c_r = 1,2 \cdot 10^{-7}$ см (см. [2]).

Для давления насыщения над ледяной частицей $E_r^{\text{л}}$ радиусом r запишем

$$E_{r^{\text{л}}} = E_{\text{л}} \left(1 + \frac{c_r}{r} \right), \quad (3)$$

где $E_{\text{л}}$ — давление насыщенного пара над плоской поверхностью льда. Величины E и $E_{\text{л}}$ можно рассчитать из уравнения Клаузиуса-Клайперона [1] или определить по психрометрическим таблицам.

При температуре $-10,0^{\circ}\text{C}$

$$E=2,86 \text{ гПа}, E_{\text{л}}=2,60 \text{ гПа}.$$

Из уравнения (2)

$$E_{\text{т}}=2,86 \cdot 1,02=2,92 \text{ гПа}.$$

Из уравнения (3)

$$E_{\text{т}}^{\text{л}}=2,60 \cdot 1,02=2,6 \text{ гПа}.$$

Рассчитаем равновесную относительную влажность

$$f_p = \frac{2,92}{2,86} 100\% = 102\%; \quad f_{\text{пл}} = \frac{2,65}{2,86} 100\% = 93\%.$$

Таким образом, расчеты показывают, что над частицами радиусом $6 \cdot 10^{-6}$ см давление насыщенного пара больше, чем над плоскостью и для существования капли такого размера необходимо пересыщение более двух процентов. Температура ниже $0,0^{\circ}\text{C}$ наиболее благоприятная для существования ледяных частиц, так как понижение давления насыщенного пара над льдом играет большую роль в величине f_p , чем кривизна поверхности.

Ответ. Капли могут существовать не испаряясь при относительной влажности воздуха $f \geq 102\%$, ледяные частицы — при $f \geq 92\%$.

Оценим влияние растворимых солей на давление насыщенного пара.

Задача 2. На кристалле поваренной соли образовалась капля насыщенного раствора радиусом $r_0=3,4 \cdot 10^{-6}$ см. Вычислить: 1) равновесную относительную влажность над каплей; 2) максимальную равновесную относительную влажность воздуха, при которой будет существовать не испаряясь растущая капля, образованная на данном кристалле.

Решение. Из формулы для равновесной относительной влажности с учетом влияния раствора и кривизны поверхности на величину давления насыщенного водяного пара следует:

$$f_p = \frac{E_{\text{тп}}}{E} * 100\% = \left[1 + \frac{c_r}{r} - c_p \left(\frac{r_0}{r} \right)^3 \right] * 100\%, \quad (4)$$

где $E_{\text{тп}}$ — давление насыщенного водяного пара над каплей раствора; r_0 — радиус капли насыщенного раствора соли; r — радиус капли раствора соли любой концентрации, выросшей из капли радиусом r_0 ; c_p — коэффициент, харак-

теризующий уменьшение давления насыщенного пара над насыщенным раствором соли (для насыщенного раствора поваренной соли $c_p = 0,22$)

1) рассчитаем равновесную относительную влажность. Из (4), учитывая, что $r=r_0$, запишем:

$$f_p = \left(1 + \frac{1,2 \cdot 10^{-7}}{3,4 \cdot 10^{-6}} - 0,22\right) * 100\% = 81,5\%$$

Если относительная влажность воздуха больше f_p , то капля будет расти.

2) максимальную равновесную относительную влажность воздуха, при которой будет существовать не испаряясь капля, растущая на заданном кристалле, можно найти из соотношения

$$\frac{df}{dr} = 0 \quad \text{или} \quad -\frac{c_r}{r^2} + \frac{3c_p r^3}{r^4} = 0$$

Радиус капли, при котором относительная влажность над ее поверхностью станет наибольшей, равен при этом:

$$r = \sqrt{\frac{3c_p r^3}{c_r}} = 14,7 \cdot 10^{-6} \text{ см}$$

Подставим r в (4). Тогда $f_p = 100,5\%$.

Таким образом, в облаке или тумане, где пересыщение больше 0,5%, капля, образованная на данном кристалле, может продолжать расти.

Литература

[1] – Гл. 13, §1–4.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы принципиальные особенности физических свойств воды, отличающие ее от других веществ в атмосфере?
2. Что такое равновесие фаз?

3. Каков физический смысл уравнения Клаузиуса-Клайперона?
4. В холодное или теплое время года изменение температуры воздуха приведет к большим изменениям давления насыщенного пара?
5. Какова разница давления насыщенного пара над водой при одной и той же температуре и почему?
6. Как влияет кривизна поверхности капли на давление насыщенного пара?
7. До какого размера капель кривизна поверхности влияет на давление насыщенного пара?
8. Перечислите все факторы, влияющие на давление насыщенного пара.
9. Что такое равновесная относительная влажность?

Испарение. Испарение является физическим процессом, обогащающим атмосферу водяным паром. Обратите внимание на факторы, влияющие на скорость испарения с поверхности суши и водоемов, а также на перенос водяного пара в турбулентной атмосфере.

Решить задачу о возможности испарения воды можно, используя понятие дефицита влажности d_I над испаряющейся поверхностью:

$$d_I = E_I - e,$$

где E_I - давление насыщенного пара над испаряющейся поверхностью, определяется с учетом температуры и свойств поверхности; e - парциальное давление водяного пара в атмосфере.

При дефиците влажности d_I меньше нуля наблюдается процесс конденсации, при d_I больше нуля — испарение. Таким образом, дефицит влажности d_I зависит от влажности воздуха и свойств испаряющей поверхности.

Задача 1. Температура поверхности водоема $t_1=10,0^{\circ}\text{C}$, а температура воздуха $t=20^{\circ}\text{C}$. Испаряется ли вода при относительной влажности $f=80\%$ и 90% ?

Решение. $d_I = E_I - e$, где E_I — парциальное давление насыщенного пара, определяемого свойствами испаряющей поверхности. По психрометрическим таблицам определим:

$$\text{при } t_1=10,0^{\circ}\text{C}, E_I=12,3 \text{ гПа},$$

$$\text{при } t=20,0^{\circ}\text{C}, e=14,0 \text{ гПа}.$$

Если $f=80\%$; $e=0,8 \cdot 14,0=11,2 \text{ гПа}$, $d_I=12,3 - 11,2 > 0$, т.е. вода испаряется.

Если $f=90\%$, $e=0,9 \cdot 14,0=12,6 \text{ гПа}$, $d_I=12,3 - 12,6 < 0$, т.е. при $f=90\%$ водяной пар конденсируется на поверхности водоема.

Эту же задачу можно решить, используя понятие равновесной относительной влажности:

$$f_p = \frac{E_I}{E} 100\% = \frac{12,3}{14,0} 100\% = 88\% .$$

При относительной влажности воздуха f меньше равновесной f_p вода испаряется. При $f > f_p$ водяной пар конденсируется на поверхности водоема. Таким образом, вода, в нашем случае, испаряется только при $f=80\%$

Задача 2. Будет ли испаряться снег при температуре его поверхности $-14,0^{\circ}\text{C}$, если температура воздуха $-15,0^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха 98% ?

Решение. Решим задачу, используя понятие дефицита влажности над испаряющейся поверхностью. По психрометрическим таблицам определим E_1 и E

$$\text{при } t_1 = -14,0^{\circ}\text{C}, E_1 = 1,81 \text{ гПа};$$

$$\text{при } t = -15,0^{\circ}\text{C}, E = 1,91 \text{ гПа}.$$

Определим парциальное давление водяного пара в атмосфере:

$$e = \frac{fE}{100} = \frac{98 \cdot 1,91}{100} = 1,872 \text{ Па}.$$

Поэтому

$$d_1 = E_1 - e = 1,81 - 1,87 < 0.$$

Ответ: Снег испаряться не будет.

Таким образом, при относительной влажности воздуха меньше 100% снежный и ледяной покровы иногда не испаряются, даже если они теплее воздуха.

Изучите методы расчета скорости испарения с поверхности суши и водоема. При известной скорости испарения можно определить затрату тепла на испарение.

Задача 3. Каков расход тепла на испарение с поверхности моря, имеющей температуру $t_1=10,0^{\circ}\text{C}$, если по судовым наблюдениям скорость ветра $V=5$ м/с, парциальное давление водяного пара $e = 10,3$ гПа.

Решение. Известно соотношение: $Q=WL$, где Q - расход тепла на испарение; L — удельная теплота парообразования ($L=2501$ кДж/кг); W — скорость испарения. Скорость испарения определим по формуле [2]:

$$W = 0,134 V (E_1 - e) \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сут}.$$

Таким образом, получаем: при $t_1=10,0^{\circ}\text{C}$ $E_1=12,3$ гПа;

$$W = 0,134 \cdot 5(12,3 - 10,3) = 1,34 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сут}.$$

$$Q = 2501 \cdot 1,34 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{сут} = 3351,3 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{сут}.$$

Ответ: Расход тепла на испарение равняется $3351,3$ кДж/м² · сут, т.е. $0,004$ кДж/м² · с.

Сравните методы расчета скорости испарения с поверхности ограниченных и неограниченных водоемов. Важное значение имеет знание испаряемости. Обратите внимание на метод расчета этой величины.

Литература

[1] – Гл. 14, § 5–6.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое скорость испарения и испаряемость?
2. Как рассчитать энергию, затраченную на испарение?
3. Какие факторы определяют испарение в естественных условиях?
4. Какие методы расчета скорости испарения с поверхности суши и водоема вы знаете?
5. Каков физический смысл уравнения турбулентной диффузии водяного пара?
6. Каков суточный ход характеристик влажности в пограничном слое атмосферы?
7. Как изменяется парциальное давление водяного пара с высотой?
8. Как влияет размер водоема на скорость испарения?
9. Как влияет направление ветра на скорость испарения?

Конденсация и сублимация водяного пара в атмосфере. Изучите вопрос гомогенной, гетерогенной конденсации и кристаллизации воды в атмосфере. Условия роста капель (кристаллов) определяются режимом влажности воздуха, окружающего их, а также свойствами поверхности капель (кристаллов). При изучении этой темы обратите внимание на роль ядер конденсации (кристаллизации) в фазовых переходах воды в атмосфере.

При отсутствии в атмосфере твердых или жидких частиц образование новой фазы воды возможно вследствие флуктуации плотности водяного пара. Образование при таких флуктуациях комплексы молекул могут являться зародышами капель воды. Работа, необходимая для образования зародыша A , пропорциональна площади поверхности зародыша [1] и равна

$$A = \frac{4}{3} \pi \sigma r^2 = \frac{16 \pi \sigma^3 \mu^2}{3 \rho^2 T^2 \left(\ln \frac{E^2}{E} \right)^2},$$

где σ — коэффициент поверхности натяжения на границе вода — водяной пар; μ — молярная масса водяного пара; T — температура воздуха в момент образования зародыша жидкой фазы; ρ — плотность воды (льда) в зависимости от фазы зародыша, E_r — давление насыщенного пара над поверхностью зародыша радиусом r .

Работа образования зародыша новой фазы на ядрах конденсации радиусом r_0 описывается выражением:

$$A = \frac{4\pi\sigma}{3}(r^2 - r_0^2) = \frac{16\pi\sigma^3\mu^2}{3\rho R^2 \left(\ln \left(\frac{E^2}{E} \right) \right)^2} - \frac{4\pi\sigma r_0^2}{3}.$$

Таким образом, ядра конденсации уменьшают работу образования зародыша новой фазы на величину $4/3\pi r_0^2\sigma$, увеличивая вероятность образования капли.

Литература

[1] — Гл. 15, §1–4.

Вопросы для самопроверки

1. В чем различие гомогенного и гетерогенного фазовых переходов?
2. До какой температуры воздуха возможно существование переохлажденной капли?
3. Что такое ядра конденсации? Как они распределены в атмосфере?
4. Какими свойствами должны обладать ядра конденсации, чтобы конденсация на них водяного пара начиналась при влажности меньше 100%?
5. Как изменяется равновесная относительная влажность при росте зародышевой капли?
6. Как зависит давление насыщенного пара от фазового состояния воды? Если условия в атмосфере одинаковые, какие частицы растут быстрее: кристаллические или жидкие?

Физико-метеорологические условия образования туманов, их классификация. Физические характеристики туманов. При изучении этого раз-

дела обратите внимание на физические условия образования туманов различных видов, их микрофизические характеристики. Зная физические процессы, приводящие к образованию тумана, можно рассчитать температуру, при которой образуется туман той или иной водности.

Например, для образования радиационного тумана (при неменяющемся парциальном давлении водяного пара) необходимо такое охлаждение воздуха ниже точки росы, чтобы водяного пара сконденсировалось достаточно для образования тумана (определенной водности δ). Это понижение температуры можно рассчитать по формуле:

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2,$$

где ΔT_1 - понижение температуры воздуха до точки росы; ΔT_2 - понижение температуры ниже точки росы, необходимое для создания тумана водностью δ ([2], гл. 10 § 3). Величины ΔT_1 , ΔT_2 можно вычислить по формулам:

$$\Delta T_1 = 0,115 T(2 - \lg f),$$

$$\Delta T_2 = 19 \frac{\delta}{e},$$

где T - температура воздуха (К) в вечерний срок (21 ч); f - относительная влажность воздуха в вечерний срок, (%); e - парциальное давление водяного пара (гПа).

Рассмотрим расчеты условий образования и развития тумана на примере задач.

Задача 1. При заходе солнца $t=17,0^{\circ}\text{C}$, $f=70\%$. Утром ожидается понижение температуры до $5,5^{\circ}\text{C}$. Считая поверхностно-эквивалентный радиус капель (r^*) тумана равным 10 мкм, определить: 1) через какое время после захода солнца видимость уменьшится до 260 м, если ожидается, что каждый час температура будет понижаться на $2,2^{\circ}\text{C}$? 2) какой будет минимальная видимость? 3) через сколько часов после наступления минимальной температуры туман рассеется полностью, если повышение температуры пойдет со скоростью $1,8^{\circ}\text{C/ч}$.

Решение. Для определения времени, необходимого для уменьшения видимости, найдем понижение температуры, необходимое для образования тумана водностью 260 м.

Метеорологическая дальность видимости $S_M = 2,6 \frac{r^*}{\delta}$, где δ — водность тумана, г/м³. Таким образом, при $S_M=260$ м водность в тумане должна быть равной

$$\delta = \frac{2,6 \cdot r^*}{S_M} = \frac{2,6 \cdot 10}{260} = 0,1 \text{ г/м}^3 .$$

Парциальное давление водяного пара в воздухе равно

$$e = \frac{fE}{100} = 0,7 \cdot 19,4 = 13,6 \text{ гПа} .$$

Понижение температуры воздуха для образования тумана данной водностью равно:

$$\Delta T = 0,115 \cdot T(2 - \lg f) + 19 \frac{\delta}{e} = 5,3^\circ \text{C} .$$

Такой туман образуется через время, равное

$$t^h = \frac{5,3}{2,2} = 2,4 \text{ ч} .$$

2. Минимальная видимость в тумане будет при максимальной водности тумана, т.е. при максимальном понижении температуры (ΔT) воздуха:

$$\Delta T = 17,0^\circ \text{C} - 5,5^\circ \text{C} = 11,5^\circ \text{C} .$$

Водность тумана тогда станет равной:

$$\delta = \frac{[\Delta T - 0,115 \cdot T(2 - \lg f)]e}{19} = 4,0 \text{ г/м}^3 ,$$

а минимальная видимость:

$$S_M = 2,6 \frac{10,0}{4,0} = 6,5 \text{ м} .$$

3. Туман рассеется при повышении температуры воздуха до температуры точки росы t_d . При $e = 13,6$ гПа, $t_d = 11,5^\circ \text{C}$. Общее повышение температуры воздуха до точки росы равно

$$11,5 - 5,5 = 6^\circ \text{C}$$

Туман рассеется через время:

$$t^h = \frac{6}{1,8} = 3,3 \text{ ч} .$$

Задача 2. На границе теплого и холодного морских течений происходит смешение воздушных масс: холодной (температура $5,0^\circ \text{C}$, относительная

влажность 90%) и теплой (температура 11,0 °С, относительная влажность 80%). Возможно ли образование тумана смешения?

Решение. При смешении двух воздушных масс образуется новая воздушная масса, имеющая температуру $t=(t_1 + t_2)/2$ и влажность $e=(e_1 + e_2)/2$,

$$e_1 = \frac{E_1 \cdot f_1}{100} = 7,9 \text{ гПа} ; \quad e_2 = \frac{E_2 \cdot f_2}{100} = 10,5 \text{ гПа} .$$

Найдем средние значения температуры и парциального давления водяного пара новой воздушной массы:

$$t = \frac{5,0 + 11,0}{2} = 8,0^0 \text{ C} ; \quad e = \frac{7,9 + 10,5}{2} = 9,2 \text{ гПа} .$$

Для того чтобы образовался туман, необходимо понижение температуры воздуха ниже точки росы. Для $e=9,2$ гПа точка росы $t_d=5,5^0 \text{ C}$, а средняя температура двух воздушных масс равняется $8,0^0 \text{ C}$. Таким образом, при смешении данных воздушных масс туман образовываться не будет.

Литература

[1] –гл.16, §1–4.

Вопросы для самопроверки

1. Какие физические процессы приводят к образованию тумана?
2. При какой скорости ветра образуется радиационный туман?
3. При каких условиях погоды образуется адвективный туман?
4. Какова стратификация атмосферы при образовании тумана?
5. Каково агрегатное состояние тумана и дымки при различных температурах?
6. Какова роль загрязнения воздуха в образовании туманов?
7. Что такое городской туман?
8. В каких пределах меняется водность тумана?
9. Каким средним размером капель характеризуется водность тумана?
10. Какова видимость в тумане и дымке?
11. Водность каких туманов больше — холодных или теплых?

12. Какой суточный ход туманов различных видов?

Физико-метеорологические условия образования облаков. Классификация облаков. Физические характеристики облаков. Конденсация и сублимация водяного пара на некоторой высоте от уровня земной поверхности приводит к образованию облаков. Различие физических процессов образования облаков и туманов приводит и к различию их микрофизических характеристик. Важно изучить морфологическую и генетическую классификации облаков. Прежде всего для этой цели следует привлечь «Атлас облаков». Необходимо знать все формы облаков, их виды и разновидности в русском и международном обозначениях, а также физические процессы, приводящие к образованию основных форм облачности.

Литература

[1] –гл.17, §1–8.

Вопросы для самопроверки

1. Какие физические процессы приводят к образованию облачности?
2. Каковы десять основных форм облачности и на каких высотах они образуются?
3. Как образуются кучевообразные облака?
4. Как образуются слоистообразные облака?
5. Какие процессы приводят к образованию волнистообразных облаков?
6. Какова система облаков теплого фронта?
7. Чем отличаются системы облаков холодного фронта 1-го и 2-го рода?
8. Как определяется высота нижней и верхней границ конвективных облаков?
9. В чем различие микрофизических характеристик туманов и конвективных облаков?
10. Каково агрегатное состояние основных форм облаков в летнее время?

Атмосферные и наземные осадки. Изучите условия образования наземных осадков: росы, иней, изморози, гололеда. При изучении образования осадков из облаков следует обратить внимание на процессы роста частиц облаков различного агрегатного состояния и условия выпадения осадков из этих облаков. Важно понять факторы, влияющие на скорость конденсационного,

сублимационного и коагуляционного роста капель. Расчет скорости роста капель позволяет определить, в каком соотношении находятся эти процессы роста различных размеров частиц. Капли облаков даже при большой влажности воздуха могут вырасти только до определенного, так называемого критического размера. Далее капли разбрызгиваются на более мелкие, которые, в свою очередь, могут, при соответствующих условиях, вырасти до размеров осадков. Этот процесс способствует образованию осадков в низких широтах. В более высоких широтах важное значение для образования осадков имеет сублимационный рост ледяных частиц, образующихся в облаках. Рассмотрим пример расчета условий роста облачных частиц.

Задача 1. Сопоставить время сублимационного и конденсационного роста сферической ледяной частицы и переохлажденной капли от 20 до 100 мкм, если средняя температура в облаке — -12°C , пересыщение по отношению к воде 0,1% (ветровой коэффициент можно не учитывать). Для какой частицы (жидкой или твердой) условия роста в облаке более благоприятны?

Решение. Время конденсационного роста капли:

$$t_{\text{конд.}}^h = \frac{50 \left(r_2^2 - r_1^2 \right)}{R_{\text{конд.}} \Delta f E} ,$$

где r_2 — конечный размер капли; r_1 — начальный размер капли, $R_{\text{конд.}} = 1,74 \cdot 10^{-7}$ см/гПа · с; Δf — пересыщение. При температуре -12°C $E = 2,44$ гПа. Тогда

$$t_{\text{конд.}}^h = \frac{50(10^4 - 2 \cdot 10^{-6})}{1,74 \cdot 10^{-7} \cdot 0,1 \cdot 2,44} = 144 \text{ мин} .$$

Время сублимационного роста ледяной частицы

$$t_{\text{субл.}}^h = \frac{r_2^2 - r_1^2}{2 R_{\text{субл.}} (E - E_n)} ,$$

где $R_{\text{субл.}} = 1,9 \cdot 10^{-7}$ см/гПа · с.; E — давление насыщенного пара в облаке; E_n — давление насыщенного пара над ледяной частицей, $E_n = 2,17$ гПа. Тогда

$$t_{\text{субл.}}^h = \frac{(10^{-4} - 2 \cdot 10^{-6})}{2 \cdot 1,9 \cdot 10^{-7} \cdot 2,17} = 16 \text{ мин} .$$

Таким образом, мы видим, что в облаке условия для роста ледяных частиц наиболее благоприятны. Поэтому в смешанных облаках ледяные частицы растут за счет сублимации значительно быстрее капель.

Литература

[1] –гл.18, §1–10.

Вопросы для самопроверки

1. Какие процессы приводят к укрупнению облачных элементов?
2. До какого размера капли облаков растут за счет конденсации?
3. Каковы размеры частиц осадков?
4. Какова роль сублимационного роста частиц в образовании осадков?
5. От чего зависит скорость падения облачных, дождевых капель?
6. От чего зависит скорость коагуляционного роста капель?
7. До какого размера могут расти облачные капли?
8. От чего зависит путь, который может пролететь капля не испаряясь?
9. Какова роль процесса сублимации в формировании осадков?
10. Какова причина образования росы и инея?

Антропогенные примеси в атмосфере, их природа. Обратите внимание на пространственное распространение и свойства антропогенного аэрозоля. Как он будет влиять на условия образования облаков и осадков. Совокупность метеорологических факторов, оказывающих влияния на формирование поля загрязнения атмосферы, называется потенциалом загрязнения атмосферы. Изучите его основные элементы.

Литература

[1] –раздел У1, гл.22, §8.

Вопросы для самопроверки

1. Какие источники атмосферных примесей вам известны?
2. Что такое потенциал загрязнения атмосферы?
3. Каковы особенности образования городских туманов?

Активные воздействия на облака, туманы и осадки. При изучении этой темы следует понять основные принципы активного воздействия на ту-

маны и облака (рассеивание их и искусственное вызывание осадков). Каковы методы воздействия на теплые и переохлажденные облака и туманы.

Литература

[1] –раздел 1У, гл.17, 18, §11.

Вопросы для самопроверки

1. Какие вы знаете методы воздействия на холодные облака и туманы?
2. Какие вы знаете методы воздействия на теплые туманы?

Оптические явления в облаках, туманах и осадках. *Оптические явления, обусловленные рассеянием, поглощением, преломлением и поляризацией света в атмосфере.*

При изучении этой темы необходимо вспомнить основные закономерности молекулярного и аэрозольного рассеяния и поглощения света в атмосфере, так как понимание законов рассеяния и поглощения электромагнитных волн различной длины дает возможность объяснить разнообразные оптические явления в атмосфере.

При исследовании прозрачности атмосферы нередко используют результаты измерения распределения поляризации света, рассеянного атмосферой.

Скорость распространения электромагнитных волн в атмосфере зависит от показателя преломления атмосферного воздуха или индекса рефракции ($n - 1$). Влияние состояния атмосферы (p, T, ρ) на индекс рефракции приводит к различным оптическим явлениям. Рассмотрите явления, обусловленные астрономической и земной рефракцией.

Литература

[1] – гл.6, §2, гл.22, § 1, 2

Вопросы для самопроверки

1. Чем объясняется яркость небесного свода?
2. Где на небосводе наблюдается максимум поляризации рассеянного света?
3. Что определяют на небосводе точки Араго, Бабинне, Брюстера?
4. Какие факторы влияют на преломление света в атмосфере?
5. Что такое астрономическая рефракция?
6. Что такое земная рефракция?
7. Какие оптические явления связаны с астрономической рефракцией?
8. Какие оптические явления связаны с земной рефракцией?

Видимость в атмосфере. Молекулярное и аэрозольное рассеяние света в атмосфере приводит к уменьшению дальности видимости объектов и, соответственно, к уменьшению метеорологической дальности видимости S_m . Метеорологическая дальность видимости (МДВ), как показывает теория, легко определить по коэффициенту ослабления α , который рассчитывается на единицу длины пути, m^{-1} или km^{-1} ;

$$S_m = 3,9/\alpha.$$

МДВ можно вычислить и при известном коэффициенте прозрачности в горизонтальном направлении:

$$S_m = 1/\lg \varepsilon / P,$$

где ε — порог контрастной чувствительности глаза (для дальности потери видимости $\varepsilon = 0,02$).

Коэффициент прозрачности идеальной атмосферы (с учетом только молекулярного рассеяния) для всей вертикальной толщи атмосферы описывается выражением:

$$P_i = e^{-\sigma_m H},$$

где σ_m — объемный коэффициент молекулярного рассеяния; H — высота однородной атмосферы.

При изучении этой темы рассмотрите все факторы, влияющие на дальность видимости реальных объектов, метеорологическую, полетную и посадочную дальность видимости.

Литература

[1] — гл.22, § 3.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое геометрическая дальность видимости?
2. Какие факторы влияют на дальность видимости реальных объектов?
3. Что такое яркостный контраст?
4. От чего зависит порог контрастной чувствительности глаза?
5. Что такое метеорологическая дальность видимости?
6. Как рассеяние света влияет на метеорологическую дальность видимости?
7. Как определяют дальность видимости ночью?
8. Как влияет состояние взлетно-посадочной полосы (сухая, мокрая, покрытая снегом) на посадочную дальность видимости?

Явления, обусловленные дифракцией света на каплях и кристаллах. При изучении этого вопроса обратите внимание на связь между размерами облачных элементов и размером венцов, глорий, каково агрегатное состояние облаков, вызывающих поляризацию.

Литература

[1] –гл.22, § 4.

Оптические явления, связанные с явлением преломления света в каплях и кристаллах. Изучите физические процессы, приводящие к образованию радуги и гало; как связаны оптические явления в облаках с изменением погоды?

Литература

[1]– гл.22, § 4.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается явление венцов и в каких облаках они наблюдаются?
2. Каково расположение цветов в венцах?
3. Как по размеру венца определить размер облачных элементов?
4. При какой высоте солнца возможно видеть радугу?

5. Каково агрегатное состояние облаков, при которых наблюдается явление гало?
6. Почему гало не всегда окрашены?
7. Каково расположение цветов в радуге?
8. Какие физические процессы приводят к образованию белого горизонтального круга и венцов?
9. От чего зависит размер гало?

Электрические явления в облаках и осадках. При изучении этой темы еще раз рассмотрите вопросы ионизации воздуха, проводимости и электрического поля атмосферы. Их повторение поможет в изучении основной темы.

Электрическое поле в атмосфере испытывает нередко большие колебания, обусловленные изменчивостью объемных зарядов и изменением проводимости. Изучите связь между характеристиками электрического поля атмосферы (напряженность поля, проводимость, плотность тока проводимости) и метеорологическими величинами. Рассмотрите влияние туманов, облаков и загрязненности атмосферы на величину градиента потенциала. Изучите процессы, приводящие к электризации частиц облаков и осадков, а также факторы, влияющие на величину электрических токов в атмосфере.

Литература

[1] –гл.23, § 1–7.

Вопросы для самопроверки

1. Как образуются легкие, средние и тяжелые ионы?
2. Как изменяется проводимость атмосферного воздуха с высотой?
3. На какой высоте расположена ионосфера? Каково ее строение?
4. Какие факторы влияют на напряженность электрического поля атмосферы?
5. Какие физические процессы приводят к образованию электрических токов в атмосфере?
6. От чего зависит напряженность электрического поля, создаваемого молниевым разрядом?

7. Какие физические процессы приводят к электризации облачных элементов?
8. Что такое тихие разряды?
9. Что такое атмосферерики? Какие процессы приводят к ионизации газов атмосферы?

Движение воздуха. Неравномерность распределения атмосферного давления в горизонтальной плоскости приводит атмосферы в движение. Описание движения воздушных масс в атмосфере является одной из важных задач метеорологии.

Общие закономерности атмосферных движений. Основные закономерности движения атмосферы можно понять, зная силы, действующие в атмосфере, учет которых позволяет получить уравнение движения атмосферы. При изучении этой темы оцените количественно все силы, действующие в атмосфере. Сделайте вывод об относительной роли сил, действующих при горизонтальном движении воздуха.

Литература

[1] –гл.19, §1–2

Вопросы для самопроверки

1. Почему ускорение сводного падения не создает заметных вертикальных перемещений воздуха?
2. Какая сила, действующая в атмосфере, вызывает горизонтальное движение воздуха?
3. Почему на силу барического градиента влияет плотность воздуха?
4. Возможно ли движение воздуха под действием только градиентной силы?
5. Может ли центробежная сила уравновешивать градиентную силу?

Ветер в свободной атмосфере. При описании движения в свободной атмосфере можно не учитывать силы трения. Выражение для скорости геострофического ветра при прямолинейных изобарах, а также градиентного ветра в циклоне и антициклоне легко получить, написав равенство сил, действующих в свободной атмосфере. Рассмотрите, как изменяется геострофический ветер с высотой при адвекции тепла и холода.

Литература

[1] –гл.20, § 1–2

Вопросы для самопроверки

1. Что такое геострофический ветер?
2. Объясните барический закон ветра.
3. Какие силы уравниваются в циклоне?
4. Какие силы уравниваются в антициклоне?
5. Как меняется геострофический ветер при адвекции тепла?
6. Чем объясняется левый поворот ветра в свободной атмосфере?
7. Сравните геострофическую скорость со скоростью градиентного ветра в циклоне при одинаковом барическом градиенте.
8. Сравните характеристики градиентного ветра в циклоне и антициклоне при одинаковом горизонтальном барическом градиенте.
9. Чему равняется скорость ветра в центре циклона и антициклона?
10. Чем отличается градиентный ветер в северном и южном полушарии Земли при одинаковом барическом градиенте?

Ветер в пограничном слое. В пограничном слое атмосферы (ПСА) на скорость ветра влияет сила трения. Обратите внимание на закономерности изменения скорости и направления ветра в приземном слое и во всей толще пограничного слоя. Объясните, что определяет суточный ход характеристик ветра в ПСА.

Литература

[1] –гл.21, § 1–4

Вопросы для самопроверки

1. Какие факторы влияют на скорость и направление геострофического ветра?
2. Каково направление ветра ПСА циклона?
3. Составьте равновесие сил в ПСА антициклона?
4. Как меняется скорость ветра с высотой в приземном слое атмосферы?

5. Какова причина суточного хода ветра в ПСА?

Местные ветры. Под влиянием воздействия неоднородностей земной поверхности на воздушные потоки возникают местные ветры. Изучите, какие ветры появляются при термическом влиянии земной поверхности, какие — при механическом.

Литература

[1] –гл.21, §5.

Вопросы для самопроверки

1. Какие факторы влияют на скорость местного ветра?
2. Какова закономерность суточного изменения местного ветра термического происхождения?
3. Чем объясняется появление на вершине горного хребта чечевицеобразного облака?
4. Какие факторы влияют на скорость горно-долинного ветра?
5. Как влияют ледники на характеристики горно-долинного ветра?
- 6.

Литература

[5]

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Общие указания

К выполнению контрольных работ следует приступить после повторения материала, изученного на II курсе. Для решения задач сведения о расчетных формулах по каждому из разделов курса, а также большой объем справочных данных, которые можно найти в «Задачнике по общей метеорологии». Сост.А.Г. Бройдо и др.Гидрометеиздат, 1984 г.[2]. В полученных вами решениях необходимо указывать размерность величин. Каждая контрольная работа содержит 7 заданий. Каждое задание дано в 10 вариантах. Номер вариантов

соответствует последней цифре зачетной книжки, вариант 10 соответствует цифре 0.

Ответы на вопросы контрольной работы должны быть сформулированы достаточно подробно, чтобы был ясен физический смысл излагаемого материала, подтвержденный, где это возможно, математическим формулам. Ответы решенных задач должны быть проанализированы

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Задание 1

Вычислить испарение и затраты тепла на испарение методами теплового баланса и турбулентной диффузии по следующим исходным данным (см. варианты). Результаты вычислений сопоставить и определить погрешность метода турбулентной диффузии по отношению к методу теплового баланса

Таблица 1

Варианты исходных данных

№ варианта	B кВт/м ²	P кВт/м ²	$t_{0,5}$ °C	$t_{2,0}$ °C	$e_{0,5}$ гПА	$e_{2,0}$ гПА	$u_{0,5}$ м/с	$u_{2,0}$ м/с
1	0,30	0,06	16,9	16,7	14,3	13,5	1,9	3,9
2	0,48	0,12	22,1	21,7	14,2	13,2	1,1	2,0
3	0,54	0,08	21,1	20,7	12,4	11,6	1,6	1,9
4	0,28	0,06	19,0	18,6	15,6	14,4	1,3	2,1
5	0,30	0,04	18,5	18,0	14,0	13,8	1,4	1,8
6	0,21	0,04	17,2	16,6	13,2	12,9	1,7	2,4
7	0,34	0,03	15,0	14,2	15,1	14,4	2,0	3,0
8	0,46	0,07	16,8	16,2	16,3	15,7	1,1	1,6
9	0,50	0,10	18,2	17,8	13,0	11,8	1,7	2,3
10	0,52	0,08	21,3	20,2	18,8	18,4	0,9	1,7

Задание 2

1. Температура поверхности снега -15°C , температура воздуха -12°C . Показать, какой процесс будет наблюдаться при относительной влажности воздуха 70%? Какие факторы влияют на скорость испарения с поверхности снега?

2. Как изменяется испарение с поверхности соленого моря по сравнению с испарением с поверхности пресного водоема? Привести расчетное доказательство ответа.

3. Показать, будет ли влиять кривизна поверхности на давление насыщенного пара над каплей радиусом 10 мкм. Какие факторы понижают давление насыщения над крупными каплями?

4. Используя психрометрические таблицы, построить график равновесия фаз дистиллированной воды в диапазоне температур от $-30,0^{\circ}\text{C}$ до $30,0^{\circ}\text{C}$. По построенному графику решить следующую задачу: $t=5,0^{\circ}\text{C}$, $e=7,5$ гПа. Определить, находится ли пар в равновесии с водой. Какие процессы должны произойти, чтобы такое равновесие установилось?

5. Какие свойства ядер конденсации увеличивают вероятность образования туманов (понижают равновесную относительную влажность)?

6. Сколько единичных зарядов должна нести на себе капля дистиллированной воды радиусом 10^{-7} см, чтобы она могла рсти при отсутствии пересыщения в окружающем воздухе? При каких размерах частиц заряд влияет на давление насыщенного пара? Почему?

7. Покажите с помощью уравнения Клаузиуса-Клайперона, как изменение температуры воздуха влияет на изменение давления насыщенного водяного пара?

8. При какой относительной влажности воздуха будет происходить конденсация водяного пара, если температура почвы $8,0^{\circ}\text{C}$, а температура воздуха 10°C ? При каких условиях образуется роса?

9. Вычислить давление насыщения над переохлажденными каплями дистиллированной воды и ледяными частицами, радиус которых $6 \cdot 10^{-6}$ см и температура $-24,0^{\circ}\text{C}$. Сравнить результат.

10. Какие факторы и как влияют на давление насыщенного пара?

Задание 3

1. Какие факторы влияют на испарение в естественных условиях?

2. Какие методы расчета скорости испарения с поверхности водоемов вам известны?

3. Как влияет размер водоема на скорость испарения?
4. Что такое испарение? Какие факторы влияют на скорость испарения с поверхности суши? Возможно ли испарение с поверхности, имеющей температуру ниже температуры воздуха?
5. В чем сущность психрометрического метода определения влажности воздуха?
6. Опишите годовой и суточный ход испарения с поверхности суши в умеренных широтах?
7. Как рассчитать скорость испарения падающей капли осадков? Какие факторы влияют на скорость ее испарения?
8. Что такое испаряемость? Каковы методы определения испаряемости?
9. Показать, что вода, имеющая температуру $10,0^{\circ}\text{C}$, будет испаряться при температуре воздуха $4,0^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 100%.
10. Какова скорость испарения с поверхности моря (солёность 35 ‰) при температуре воды $10,0^{\circ}\text{C}$, скорости ветра на высоте судовых наблюдений 5 м/с и парциальном давлении водяного пара $e=10,3 \text{ гПа}$. Сравнить скорость испарения с поверхности моря со скоростью испарения с поверхности пресного водоема при тех же условиях ($E_{\text{моря}}=0,975 E_{\infty}$).

Задание 4

1. Какое изобарическое охлаждение воздуха необходимо для образования тумана водностью $1,00 \text{ г/м}^3$, если температура воздуха $10,0^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность 80% ?
2. Две массы воздуха, температуры которых составляют $10,0^{\circ}\text{C}$ и $20,0^{\circ}\text{C}$, а относительная влажность 96% и 98% , соответственно смешиваются. Определить избыток водяного пара в 1 м^3 , образовавшийся в результате смешения. Какие значения водности характерны для туманов в теплое время года?
3. Возможно ли образование радиационного тумана, если вечером температура воздуха $15,0^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 80% , а скорость ветра 8 м/с . Ожидается понижение температуры до $9,0^{\circ}\text{C}$ при той же скорости ветра. Каковы условия образования радиационного тумана?
4. Какие физические процессы приводят к образованию тумана? Приведите классификацию туманов.
5. В какое время года наиболее вероятно образования и развитие адвективного тумана над морем? Почему?
6. Определить водность радиационного тумана, который образуется при условии, что вечером температура составляла $10,0^{\circ}$, относительная

влажность 90% и ожидалось ночное охлаждение воздуха на $6,0^{\circ}\text{C}$. В какое время года при одинаковом охлаждении воздуха водность образующегося тумана больше?

7. Температура воздуха равна $12,5^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление $1000,0$ гПа и относительная влажность 70%. Сколько тепла выделится при конденсации водяного пара в 1 кг воздуха?

8. Какие туманы относятся к туманам охлаждения и в результате каких процессов они образуются?

9. Какие факторы влияют на видимость в тумане? Какие Вы знаете методы рассеяния тумана?

10. Как меняется разность давления насыщенного пара над переохлажденной водой и льдом в интервале температур от $0,0^{\circ}\text{C}$ до $-25,0^{\circ}\text{C}$? Вычислить эту разность при температурах $-1,0^{\circ}\text{C}$, $-12,0^{\circ}\text{C}$, $-25,0^{\circ}\text{C}$. Результаты обсудить.

Задание 5

На кристалле поваренной соли образовалась капля насыщенного раствора радиусом r_0 . Вычислить: 1) равновесную относительную влажность над этой каплей; 2) равновесную относительную влажность над поверхностью капли насыщенного раствора, когда ее радиус увеличивается до размера r ; 3) размер капли, при котором относительная влажность над ее поверхностью возрастает до 100%; 4) радиус капли, при котором относительная влажность над ее поверхностью станет большей; 5) необходимое пересыщение в атмосфере для роста зародышевой капли до размеров облачной. Как меняется равновесная относительная влажность при дальнейшем росте капли?

Результаты расчета объяснить и представить графически (по оси ординат — относительную влажность).

Таблица 2

Варианты исходных данных

№ варианта	$r_0 \cdot 10^{-7}$ см	$r \cdot 10^{-6}$ см
1	4.2	0,871
2	4.4	0,912

3	4.6	0,955
4	4.8	1,000
5	5.1	1,047
6	5.3	1,096
7	5.5	1,148
8	5.8	1,202
9	6.1	1,259
10	6.3	1,318

Задание 6

1. Каково агрегатное состояние облаков, дающих ливневые осадки в умеренных и тропических широтах?

2. Рассчитать влагогенерирующий коэффициент (коэффициент подтока) системы слоисто-дождевых облаков, если по данным самолетного зондирования мощность облаков составляла 3,89 км, средняя водность 0,31 г/м³, а среднее количество осадков, выпавших на четырех станциях района образования облачности — 5,6 мм. В каком соотношении находится количество осадков, выпавших из облачной системы, и содержание воды в облаках?

3. Какова роль конденсационного роста капель в образовании осадков?

4. Какова роль коагуляционного роста капель в образовании осадков?

5. Какова роль сублимационного роста облачных элементов в образовании осадков?

6. Найти скорость восходящих движений воздуха, способных удержать в равновесии по отношению к поверхности Земли слоисто-кучевое облако, состоящее из капель радиусом 6 мм. Какова роль восходящих движений воздуха в образовании осадков?

7. Сопоставить время сублимационного и конденсационного роста сферической ледяной частицы и переохлажденной капли от 20 до 300 мкм, если средняя температура в облаке $-12,0^{\circ}\text{C}$, пересыщение по отношению к воде 0,1%. Для какой частицы условия роста в облаке более благоприятны?

8. Какие физические процессы приводят к образованию ливневых осадков в умеренных и тропических широтах?

9. Какие факторы влияют на размер капли осадков, выпадающих на землю?

10. Какие типы коагуляции вам известны и какая из них главным образом влияет на образование капель осадков?

Задание 7

1. Каковы условия, необходимые для образования и роста зародышевых капель?

2. Объясните образование самолетных облачных следов.

3. Почему в абсолютно чистой атмосфере невозможно образование капель при влажности 101%.

4. Что такое ядра конденсации? Какова их роль в фазовых переходах воды в атмосфере?

5. Какой процесс приводит к образованию системы облаков теплого фронта?

6. Как меняется равновесная относительная влажность над растущей каплей растворенной соли?

7. Какие процессы приводят к образованию волнистообразных облаков?

8. Какие процессы приводят к образованию кучевообразной облачности?

9. Объясните, какие облака образуются при прохождении холодного фронта П рода?

10. Определить высоту нижней границы C_u , C_b , если температура воздуха $19,0^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление 997 гПа и относительная влажность 74%. Использовать формулу Ферреля. Результат сопоставить с высотой уровня конденсации, определенной по аэрологической диаграмме. Какие факторы влияют на высоту нижней границы облаков?

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Задание 1

1. Какие оптические явления связаны с дифракцией света на каплях тумана?

2. При каком состоянии устойчивости атмосферы наблюдаются ложные солнца?

3. Какие оптические явления обусловлены дифракцией света в облаках и туманах?
4. Нарисовать ход луча в капле при возникновении первой и второй радуги. Какое расположение цветов в радуге?
5. В каких облаках наблюдаются явления венцов?
6. Как зависит внешний вид радуги от размера капель дождя?
7. Что такое гало? Какие формы гало вам известны?
8. Объясните, какое изменение погоды следует ожидать с появлением гало летом и зимой?
9. Объясните, какие факторы влияют на особенности гало?
10. Объясните явление глории.

Задание 2

Определить максимальную метеорологическую дальность видимости $S_{m, \max}$ и коэффициент прозрачности в горизонтальном направлении в идеальной атмосфере, в которой ослабление –лучистого потока обуславливается только молекулярным рассеянием. Коэффициент прозрачности всей толщи атмосферы — P , температура воздуха — $t^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление нормальное. Атмосферу считать однородной. Как и почему влияет изменение температуры воздуха у земной поверхности на $S_{m, \max}$? Почему нельзя увидеть достаточно высокий предмет любой яркости и цвета с расстояния, большего, чем полученное значение $S_{m, \max}$?

Таблица 1

Варианты исходных данных

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	0,906	0,916	0,922	0,927	0,906	0,935	0,916	0,922	0,92	0,906
$t^{\circ}\text{C}$	20,0	15,0	10,00	5,0	0,0	-5,0	-10,0	-15,0	-20,0	-25,0

Задание 3

1. Какие факторы влияют на проводимость атмосферы?
2. Каковы источники ионизации атмосферы? Как меняется степень ионизации атмосферы с высотой?

3. Какие процессы электризации облачных элементов вам известны?
4. Какие физические процессы приводят к образованию молнии?
5. Каково строение ионосферы?
6. От чего зависит напряженность приземного электрического поля атмосферы?
7. Какие электрические токи в атмосфере вам известны, как они образуются?
8. Объясните вертикальный профиль напряженности электрического поля атмосферы летом в ясную погоду.
9. Какова сила тока, создаваемого выпадающими обложными осадками, и сколько положительного электричества они приносят на Землю за сутки, если зона облажных осадков имеет ширину 200 км и длину 1200 км? Среднее количество осадков за сутки составило 10 мм, средний радиус каплей 1 мм, а заряд отдельной капли 10^{-12} Кл.
10. Объясните образование радуги.

Задание 4

Радиоимпульс с частотой f Гц, направленный вертикально вверх радиостанцией ионосферной станции, был принят назад через $2 \cdot 10^{-3}$ с. Определить: высоту слоя ионосферы, от которого отразился радиосигнал; концентрацию электронов в месте отражения, название этой области ионосферы; длину волны радиосигнала, отразившегося от этой области; длины волн, на которых можно осуществлять наземную радиосвязь с помощью этой области; на которых можно было бы осуществлять связь с межпланетными космическими кораблями, если в ионосфере выше области, от которой отразился радиосигнал, не имелось бы областей с более высокой концентрацией электронов.

Таблица 2

Варианты исходных данных

№ варианта	f Гц $\cdot 10^{-5}$	$\Delta t_c \cdot 10^{-4}$
1	1,02	4,00
2	1,93	5,60
3	2,46	4,40

4	2,68	5,40
5	3,81	4,60
6	5,14	4,80
7	6,29	5,20
8	6,36	6,00
9	7,07	8,60
10	7,78	6,80

Задание 5

1. Каково соотношение между скоростью геострофического ветра V_g и скоростью градиентного ветра в циклоне V_H и антициклоне? Доказать.
2. Показать графически, каково направление ветра в циклоне южного полушария в ПСА? Сделать пояснение к графику.
3. Доказать, ограничена ли скорость градиентного ветра в антициклоне.
4. Как изменяется скорость ветра с высотой в приземном слое атмосферы днем и ночью?
5. Какие факторы изменяют скорость ветра с высотой в свободной атмосфере? Показать графически.
6. Какой суточный ход скорости ветра над сушей и над океаном?
7. Какие ветры называют «местными»? Причины их образования.
8. Нарисовать силы, действующие на воздушную частицу в антициклоне и циклоне южного полушария в слое трения. Показать направление ветра.
9. Что такое геострофический ветер? Каковы его свойства? Может ли он меняться с высотой?
10. Какая сила вызывает горизонтальное движение воздуха?

Задание 6

Вычислить скорость ветра вблизи земной поверхности на широте φ , если при прямолинейных изобарах горизонтальная составляющая барического градиента равна G , а коэффициент внешнего трения в данной местности составляет k . Результат сравнить со скоростью геострофического ветра при тех же условиях.

Плотность воздуха у земной поверхности считать близкой к нормальной. Как влияет сила трения на скорость ветра вблизи земной поверхности?

Варианты исходных данных

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ^0	30	40	50	60	70	80	30	40	50	60
Гг-Па/111км	1,0	0,6	2,0	2,1	0,7	1,2	1,5	1,7	1,5	1,6
$\kappa \cdot 10^{-4} \cdot \text{с}^{-1}$	1,0	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,0	0,6	0,7

Задание 7

1. Найти максимальную скорость ветра в антициклоне на широте 60^0 , если радиус кривизны изобары составляет 100 км.

2. Найти скорость геострофического ветра на высоте, где плотность воздуха равна $1,0 \text{ кг/м}^3$, для широт $90, 60, 30^0$, если горизонтальная составляющая градиента давления на всех трех широтах на указанной высоте составляет 2 гПа/111 км. Результат проанализировать.

3. Найти скорость циклострофического ветра в круговом антициклоне на широте 60^0 и на высоте, где плотность воздуха составляет 1 кг/м^3 , если радиус кривизны изобары на этой высоте равен 100 км и горизонтальная составляющая градиента давления — $0,8 \text{ гПа/111 км}$. Результат сравнить со скоростью геострофического ветра при тех же условиях.

4. Во сколько раз меньше горизонтальная составляющая градиента давления на широте 20^0 , чем на широте 60^0 , если на высотах с одинаковой плотностью воздуха они создают одинаковый геострофический ветер?

5. Какова разница между отклонениями ветра от градиента давления на плюсе и на широте 30^0 при коэффициенте трения, равном $5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$? Как изменится направление ветра с высотой в пограничном слое Северного полушария?

6. Определить скорость геострофического ветра на широте 60^0 , если расстояние между двумя соседними изобарами составляет 300 км при среднем атмосферном давлении 1040,0 гПа и температуре $20,0^0\text{С}$.

7. Над спокойной поверхностью моря коэффициент трения равен $2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Каков будет угол отклонения ветра от градиента давления на широтах 20, 40, 60° ? Как угол отклонения зависит от вида подстилающей поверхности?

8. Найти при нормальной плотности воздуха силу барического градиента, если сопутствующая составляющая самого градиента равна 3 гПа/111 км. Результат сравнить с силой тяжести, действующей на ту же массу.

9. Найти скорость геострофического ветра в циклоне на широте 30° и на высоте, где $\rho=0,9 \text{ кг/м}^3$, если радиус кривизны изобары на этой высоте равен 200 км и горизонтальная составляющая градиента давления равна 1,39 гПа/111 км. Результат сравнить со скоростью в антициклоне при тех же условиях.

10. При какой величине горизонтальной составляющей барического градиента достигнет наибольшего значения скорость геострофического ветра в антициклоне на $\varphi=30^{\circ}$ и на высоте, где $\rho=1 \text{ кг/м}^3$, если радиус кривизны равен 200 км?

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Указания по разделам	3
Вода в атмосфере	4
Движение воздуха	22
Контрольная работа № 1	25
Контрольная работа № 2	31

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по дисциплине
"ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ, ОКЕАНА И ВОД СУШИ"
Раздел "Физика атмосферы"

Составители: Елена Георгиевна Головина

Редактор
Корректор

ЛР № 203209 от 30.12.16.

Подписано в печать	Формат бумаги	Бумага кн.-жур.	Печать офсетная.
Печ. л.	Уч.-изд. л.	Тираж	Зак.

195196, СПб, Малоохтинский пр. 98. РГГМУ.
Отпечатано