

А. Г. БРОЙДО

5575  
588

# ЗАДАЧНИК ПО ОБЩЕЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

ЧАСТЬ I

*Допущено*

*Министерством высшего и среднего специального  
образования СССР  
в качестве учебного пособия  
для студентов гидрометеорологических  
институтов  
и университетов*

242888



**БИБЛИОТЕКА**  
**Ленинградского**  
**Гидрометеорологического**  
**Института**

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕНИНГРАД • 1970

УДК 551.5(076.1)

В задачник включены задачи, охватывающие материал первой части курса общей метеорологии. Рассматриваются элементы астрономии, важнейшие метеорологические характеристики, статика и термодинамика атмосферы, лучистая энергия, атмосферная турбулентность, тепловой режим почвы, водоемов и нижних слоев атмосферы. Имеются краткие вводные пояснения и указания, относящиеся к теоретическому смыслу задач. Значительное число задач имеет по 30 вариантов исходных данных. В приложениях даны вспомогательные таблицы. Задачник является учебным пособием по курсу общей метеорологии в гидрометеорологических институтах, на физических и географических факультетах университетов, а также в сельскохозяйственных, педагогических, авиационных, морских и других вузах.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение общей метеорологии в вузах сопровождается практическими занятиями. Их целью является разбор и закрепление теоретического материала, сообщаемого студентам в лекционном курсе и в учебниках, и привитие навыков самостоятельной работы. Для достижения этой цели решаются различные задачи, строятся графики, анализируются результаты метеорологических наблюдений. Все эти способы закрепления теоретического материала представлены в настоящем задачнике. Включенные в него вопросы в основном согласованы с соответствующими главами «Курса метеорологии» П. Н. Тверского (1962 г.) и «Основ общей метеорологии» Л. Т. Матвеева (1965 г.), а также учебного пособия «Астрономия» Н. А. Пирожного (1967 г.).

В задачнике обобщен опыт проведения практических занятий, накопленный в послевоенные годы автором и его коллегами по кафедре общей метеорологии Ленинградского гидрометеорологического института (ЛГМИ), в первую очередь богатый опыт и многочисленные методические разработки доцента Б. М. Гальперин, а также ряд задач, предложенных в разное время М. С. Аверкиевым, Б. В. Кирюхиным, Л. Г. Качуриным, А. И. Неймарком, С. В. Зверевой, Н. П. Тверской, Л. П. Серяковой, Т. В. Ушаковой и др. В отдельных задачах частично использованы материалы из задачников Г. Ф. Фролова (1946 г.), И. И. Гуральника и др. (1968 г.), М. Е. Каулиной и Н. В. Кобышевой (1959 г.), М. Е. Каулиной, Б. М. Новикова, В. Я. Ляха (1967 г.), Л. С. Гандина и др. (1967 г.).

При работе с задачиком студенты не должны ограничиваться формальным решением задач. Следует анализировать физико-метеорологический их смысл, для чего предлагаются вопросы, помещенные в тексте задач или после них. Для решения большинства задач следует пользоваться счетной линейкой. Вспомогательные таблицы и ответы к задачам помещены в конце задачника. Задачи, отмеченные звездочкой (\*), являются основными. Они «индивидуализированы» путем введения вариантов исходных данных, причем ответ дается только к основной задаче.

Эти задачи предназначены, в частности, для самостоятельной работы студентов, проведения контрольных работ, рассылки заочникам и т. п.

Двумя звездочками (\*\*\*) в конце глав отмечены сводные задачи, охватывающие весь основной материал данной главы.

В задачнике всюду, кроме особо оговоренных случаев, используются северная широта и восточная долгота.

Автор выражает глубокую признательность коллективу кафедры метеорологии Одесского гидрометеорологического института и особенно доценту В. С. Навроцкой, а также проф. С. П. Хромову, внимательно просмотревшим рукопись задачника и сделавшим большое число весьма полезных замечаний, которые были учтены при ее доработке. С особой теплотой автор благодарит проф. Л. Т. Матвеева и доцента М. Е. Каулину, вложивших огромный труд в чрезвычайно тщательное редактирование всего материала задачника. При подготовке рукописи весьма кропотливую техническую работу, без которой опубликование задачника вряд ли было бы возможно, проделали Л. Ф. Якушева, В. Д. Студенникова, Э. С. Липкинд, А. Ф. Кудряшова и Т. В. Николаева, которым автор также приносит искреннюю благодарность.

Автор убежден, что первый задачник подобного типа не лишен ряда недостатков. Поэтому будут с благодарностью приняты любые замечания, которые могут быть использованы, в частности, при подготовке II части задачника.

ГЛАВА I  
ЭЛЕМЕНТЫ АСТРОНОМИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ  
В МЕТЕОРОЛОГИИ

§ 1. ИСТИННОЕ, СРЕДНЕЕ СОЛНЕЧНОЕ, ПОЯСНОЕ  
И ДЕКРЕТНОЕ ВРЕМЯ

Истинное солнечное время определяется по фактически наблюдаемому неравномерному движению центра диска истинного Солнца. В астрономии оно отсчитывается от истинного полдня (астрономический счет) и обозначается  $\tau$ . В метеорологии для него принят «гражданский счет» от предыдущей полночи и используется обозначение  $\tau_{\odot}$ .

$$\tau_{\odot} = \tau + 12 \text{ час } 00 \text{ мин.} \quad (1)$$

Среднее солнечное время (иногда называемое местным) определяется по равномерному движению центра диска воображаемого «среднего» Солнца. В астрономии оно также отсчитывается от полдня и обозначается  $t_m$ , а при переходе к гражданскому счету времени используется обозначение  $T$ , так что  $T = t_m + 12 \text{ час } 00 \text{ мин.}$  В метеорологии оно отсчитывается от предыдущей полночи и обозначается  $\tau_m$ . Оно находится из соотношения

$$\tau_m = \tau_{\odot} + \Delta\tau, \quad (2)$$

где  $\Delta\tau$  — «уравнение времени». Его значения в истинный полдень для 1968 г. приведены в приложении 1; без большой погрешности ими можно пользоваться и для любого другого года.

Значения  $\tau_{\odot}$ ,  $\tau$  и  $\tau_m$  округляют до минут.

Поясное время  $\tau_{\text{п}}$  — среднее солнечное время на основном меридиане часового пояса. На любой долготе  $\lambda$

$$\tau_{\text{п}} = \tau_{\text{м}} - \Delta\lambda, \quad (3)$$

где  $\Delta\lambda$  — разность между заданной долготой и долготой основного меридиана,

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{\text{о.м.}}, \quad (4)$$

выраженная в единицах времени ( $1^\circ = 4 \text{ мин}$ ,  $1' = 4 \text{ сек}$ ).

Декретное время  $\tau_{\text{д}}$  — время, идущее на 1 час впереди поясного,

$$\tau_{\text{д}} = \tau_{\text{п}} + 1 \text{ час } 00 \text{ мин.} \quad (5)$$

Московское декретное время (м. д. в.)  $\tau_{\text{м.д.}}$  — декретное время II часового пояса. Для других поясов  $\tau_{\text{д}} = \tau_{\text{м.д.}} + \Delta N$ , где  $\Delta N$  — разность номеров данного пояса и пояса, в котором расположена Москва.

### Задачи

1. Найти истинное солнечное время в 16 час 32 мин среднего солнечного времени 2/I, 24/II, 15/IV, 15/VI, 2/IX, 7/XI и 26/XII.
2. Найти среднее солнечное время в истинный полдень 15-го числа каждого месяца. Ответы представить в виде графика и описать годовое изменение интервала между истинным полднем и моментом 12 час 00 мин среднего солнечного времени. Каково предельное расхождение между моментами наступления полдня по истинному и среднему солнечному времени? Когда оно наблюдается?
3. На сколько различается в одном и том же пункте среднее солнечное время в истинный полдень 22/II и 25/X?
4. На сколько различается в один и тот же момент среднее солнечное время на меридианах  $37^\circ 26'$  и  $76^\circ 18'$ ?
5. Найти декретное и московское декретное время в момент, когда на меридиане  $80^\circ 31'$  среднее солнечное время составляет 14 час 11 мин.
6. Найти среднее солнечное и московское декретное время на меридиане  $57^\circ 14'$ , когда по декретному времени здесь 22 час 43 мин.
7. На сколько различается декретное время в крайних из часовых поясов, имеющих на территории СССР?
8. Найти декретное время в XII часовом поясе в 3, 9, 15 и 21 час м. д. в.
9. Определить среднее солнечное, поясное и декретное время на меридиане  $41^\circ 12'$  в 17 час 11 мин м. д. в.
10. Найти момент декретного времени, в который наступит истинный полдень 10/VIII на станции с долготой  $179^\circ 44'$ .

## § 2. ПОВЕРКА ЧАСОВ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Служебные часы метеостанции удобно установить по м. д. в. Личные же часы персонала обычно идут по декретному времени часового пояса, в котором находится станция. Для проверки служебных часов используются радиосигналы точного времени, даваемые по декретному времени передающей радиостанции. Часы можно сверять также со служебными часами ближайшего телеграфного пункта, железнодорожной станции, речного или морского вокзала, аэропорта и т. п., идущими по м. д. в. При проверке служебных часов определяется их поправка, равная разности между м. д. в. и показанием часов в данный момент.

### Задачи

11. Определить поправку часов станции, если в 14 час м. д. в. они показывают: 13 час 57 мин; 14 час; 14 час 02 мин.

12. В 19 час из Москвы передан сигнал точного времени. Сколько показывают в этот момент часы станции с долготой  $71^{\circ} 16'$ , поправка которых — 3 мин, и личные часы наблюдателя, имеющие поправку 5 мин?

13. Часы телеграфа показывают 7 час 42 мин, на часах станции в этот момент 7 час 43 мин, а на личных часах наблюдателя 10 час 46 мин. В каком часовом поясе находится станция? Каковы поправки часов станции и часов наблюдателя?

14. Станцией принят сигнал точного времени, переданный из VI часового пояса в 18 час.

Служебные часы в этот момент показывали 13 час 53 мин. Найти их поправку.

15. Личные часы наблюдателя на станции с долготой  $103^{\circ} 54'$  показывают 21 час 04 мин декретного времени. В этот момент принят сигнал точного времени, переданный из Москвы в 16 час. Найти поправку часов.

## § 3. СРОКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Общие наблюдения за погодой на метеорологических станциях СССР выполняются в единые сроки — 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 час м. д. в. Началом метеорологических суток считается срок, ближайший к 20 час декретного времени данного пояса. Первым в каждые сутки считается срок, ближайший к 23 час этого времени. Ленты суточного термографа и гигрографа сменяются в срок, ближайший к 13 час, лента пювниографа — в срок, ближайший к 20 час этого же времени. Смена лент гелиографа производится при продолжительности дня менее 9 час после захода солнца, при продолжительности дня от 9 до 18 час — между 11

и 12 час среднего солнечного времени и после захода солнца, при продолжительности дня более 18 час — в 4, 12 и 20 час того же времени. Осадки измеряются в 3 и 15 час м. д. в., а также в единые сроки, ближайšie к 8 и к 20 час декретного времени. На некоторых станциях ведутся дополнительные наблюдения в «климатологические» сроки — 1, 7, 13 и 19 час среднего солнечного времени. Актинометрические наблюдения проводятся в 0 час 30 мин, 6 час 30 мин, 9 час 30 мин, 12 час 30 мин, 15 час 30 мин и 18 час 30 мин среднего солнечного времени, а градиентные — в 1, 7, 10, 13, 16 и 19 час того же времени.

### Задачи

16. Найти единый срок, принимаемый за начало метеорологических суток в каждом из часовых поясов, имеющихсся на территории СССР.

17. Найти единые сроки выполнения первого наблюдения во II—XII часовых поясах.

18. Вычислить для 11/VII истинное солнечное, среднее солнечное, поясное и декретное время наблюдения в единый срок 12 час на станции с долготой  $82^{\circ} 34'$ .

19\*. Найти единые сроки смены лент термографа и гигрографа на станции с долготой  $149^{\circ} 24'$ .

Варианты исходных данных

Вариант	Долгота	Вариант	Долгота	Вариант	Долгота	Вариант	Долгота	Вариант	Долгота
1	$38^{\circ} 10'$	7	$128^{\circ} 22'$	13	$98^{\circ} 58'$	19	$69^{\circ} 34'$	25	$40^{\circ} 10'$
2	$53 12$	8	$143 24$	14	$114 00$	20	$84 36$	26	$55 12$
3	$68 14$	9	$38 50$	15	$129 02$	21	$99 33$	27	$70 14$
4	$83 16$	10	$53 52$	16	$144 04$	22	$114 40$	28	$85 16$
5	$98 18$	11	$68 54$	17	$39 30$	23	$129 42$	29	$100 18$
6	$113 20$	12	$83 56$	18	$54 32$	24	$144 44$	30	$115 20$

20. Вычислить поясное, декретное и московское декретное время второй смены лент гелиографа на станциях, лежащих на  $3^{\circ} 00'$  восточнее основного меридиана II—XII часовых поясов, при продолжительности дня более 18 час.

21. Найти поясное, декретное, московское декретное и истинное солнечное время первой смены лент гелиографа 25/VI на станции с долготой  $52^{\circ} 00'$  при продолжительности дня более 18 час.

22. Найти единые сроки, кроме 3 и 15 час, измерения количества выпавших осадков на станции, имеющей долготу  $80^{\circ} 20'$ .

23. На станции с долготой  $69^{\circ}13'$  необходимо выполнить наблюдение в третий климатологический срок. Сколько в этот срок покажут часы, установленные по среднему солнечному времени, личные часы наблюдателя, идущие по декретному времени, и часы телеграфа, идущие по м. д. в.?

24. Найти декретное время выполнения наблюдения в первый климатологический срок на станции с долготой  $63^{\circ}10'$ .

25. Найти декретное и московское декретное время второго срока градиентных наблюдений на станции с долготой  $59^{\circ}32'$ .

#### § 4. СКЛОНЕНИЕ, ЧАСОВОЙ УГОЛ И ВЫСОТА СОЛНЦА

Склонение  $\delta$  — угол между плоскостью небесного экватора и направлением на солнце, отсчитываемый по кругу склонения. К северу от экватора  $\delta$  считается положительным, к югу — отрицательным. Для любого момента суток принимается склонение, относящееся к истинному полдню этих суток. Полуденные склонения для определенной даты мало изменяются от года к году, поэтому при решении задач можно использовать, например, их значения для 1968 г., помещенные в приложении 2.

Часовой угол  $\tau$  — угол между плоскостью меридиана и кругом склонения солнца, отсчитываемый от юга к западу (от 0 до  $180^{\circ}$ ) или к востоку (от 0 до  $-180^{\circ}$ ). Он представляет собой истинное солнечное время по астрономическому счету, выраженное в угловой мере ( $1 \text{ час} = 15^{\circ}$ ,  $1 \text{ мин} = 15'$ ).

Высота солнца  $h_{\odot}$  — угол между плоскостью горизонта и направлением на светило. На широте  $\varphi$  в момент  $\tau$  истинного солнечного времени она находится из соотношения

$$\sin h_{\odot} = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau, \quad (6)$$

где  $\delta$  — склонение в истинный полдень данных суток. В истинный полдень любого дня  $h_{\odot} = 90 - \varphi + \delta$ . (7)

#### Задачи

26. Найти склонение солнца в истинный полдень следующих дней: 6/I, весеннего равноденствия, 6/V, летнего солнцестояния, 7/VIII, осеннего равноденствия, 6/XI, зимнего солнцестояния. Построить и описать график годового изменения склонения, указав общий вид кривой, величину и время наступления экстремумов, амплитуду изменения, моменты перехода через нулевые значения.

27. Найти даты, когда склонение солнца составляет  $-13,7$ ;  $9,4$ ;  $22,7^{\circ}$ .

28. Найти часовой угол солнца на любом меридиане в истинный полдень и в истинную полночь.

29. Найти часовой угол солнца на меридиане  $87^{\circ}14'$  1/V в 18 час 23 мин м. д. в.

30. Найти часовой угол солнца на меридиане  $72^{\circ}13'$  7/XI в 14 час 00 мин декретного времени.

31. Найти высоту солнца в пункте с широтой  $40^{\circ}00'$  и долготой  $70^{\circ}00' 24/V$  в 14 час 25 мин декретного времени.

32. Найти высоту солнца в пункте с широтой  $59^{\circ}18'$  и долготой  $42^{\circ}14' 1/V$  в 10 час 33 мин и в 15 час 43 мин декретного времени. Указать причину полученного соотношения между ответами.

33. Найти высоту солнца в истинный полдень  $18/V$  на широте  $52^{\circ}21'$ .

34. Найти широту, на которой  $15/IV$  солнце достигает зенита.

35. Найти широту, на которой солнце достигает зенита в дни: весеннего равноденствия,  $1/V$ , летнего солнцестояния,  $1/VIII$ , осеннего равноденствия. Результаты представить графически и проанализировать.

Сколько раз в году и когда солнце на экваторе и на ближайших к нему широтах в полдень достигает наибольшей возможной высоты? Каких особенностей в районе экватора можно ожидать в годовом ходе метеорологических элементов, тесно связанных с высотой солнца в полдень, например температуры земной поверхности и прилегающих к ней слоев атмосферы? (В каких районах солнце достигает зенита в период между осенним и следующим весенним равноденствием?)

36. Найти даты, когда солнце достигает зенита на широтах  $0^{\circ}$ ,  $10^{\circ}06'$ ,  $19^{\circ}54'$ .

37. Найти высоту солнца в истинный полдень в дни равноденствия и солнцестояния на экваторе, на широте  $12^{\circ}$ , северном тропике,  $45^{\circ}$ , северном полярном круге,  $79^{\circ}$ , Северном полюсе. Построить графики зависимости высоты солнца в полдень от широты места в разное время года и графики зависимости этой высоты от времени года на разных широтах.

В какой сезон можно ожидать большего различия между дневными значениями метеорологических элементов, зависящих от высоты солнца, на севере и на юге? Чем должен отличаться годовой ход этих метеорологических элементов во внетропических широтах от их хода вблизи экватора?

38\*. Найти высоту солнца в истинный полдень 15-го числа каждого четного месяца на широте  $45^{\circ}$ . Построить и описать график годового хода этой величины.

Каким должен быть в умеренных широтах характер годового хода метеорологических элементов, зависящих от высоты солнца в полдень?

#### Варианты исходных данных

Вариант	Широта	Вариант	Широта	Вариант	Широта
1	$30^{\circ}$	3	$42^{\circ}$	5	$55^{\circ}$
2	36	4	49	6	31

39. Найти высоту солнца в истинный полдень и истинную полночь 5/V на станции «Северный Полюс», дрейфующей в Арктике на широте  $80^{\circ}20'$ .

40. Вычислить погружение солнца под горизонт в истинную полночь 22/VI на широтах  $60^{\circ}$  и  $40^{\circ}$ .

К каким метеорологическим следствиям приводит различие в полученных результатах, в частности в безоблачную ночь?

41. Вычислить длину тени, отбрасываемой в истинный полдень 23/IX на широте  $68^{\circ}12'$  зданием высотой 20 м.

42. Метеорологическая площадка на широте  $60^{\circ}00'$  окружена строениями такой высоты, что закрытость горизонта (считая от центра площадки) во всех направлениях составляет  $11^{\circ}32'$ . Сколько времени центр площадки освещается прямыми солнечными лучами 21/IX при безоблачном небе?

#### § 5. ВРЕМЯ ВОСХОДА И ЗАХОДА, АЗИМУТЫ СОЛНЦА

Истинное солнечное время (по астрономическому счету) в момент восхода ( $-\tau_0$ ) и захода ( $+\tau_0$ ) определяется из соотношения

$$\cos \tau_0 = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta. \quad (8)$$

Отсюда  $\tau_0$  находят в угловых единицах и переводят в единицы времени ( $1^{\circ}=4$  мин,  $1'=4$  сек). Затем, используя соотношение (1), переходят к истинному солнечному времени по гражданскому счету. Длина интервала между моментами восхода и захода представляет собой продолжительность дня.

Продолжительность полярного дня в полярных областях определяется подсчетом по таблице склонений (см. приложение 2) числа дат, когда

$$\delta > 90 - \varphi - 0^{\circ}51',$$

а продолжительность полярной ночи — подсчетом числа дат с

$$\delta < -(90 - \varphi - 0^{\circ}51').$$

Здесь слагаемое  $0^{\circ}51'$  введено для учета рефракции солнечных лучей в атмосфере.

Азимут солнца  $\psi_{\odot}$  в любой момент отсчитывается от юга к западу (от 0 до  $180^{\circ}$ ) или от юга к востоку (от 0 до  $-180^{\circ}$ ) и находится из соотношения

$$\sin \psi_{\odot} = \frac{\cos \delta \sin \tau}{\cos h_{\odot}}.$$

При расчетах по этой формуле нужно из двух возможных выбрать азимут, находящийся в той же четверти, что и часовой угол.

#### Задачи

43. Для станции, находящейся на широте  $40^{\circ}$  и долготы  $70^{\circ}$ , найти время восхода и захода солнца 24/V: истинное солнечное по астрономическому счету; то же по гражданскому счету; среднее солнечное; поясное; декретное; московское декретное.

44\*. Найти декретное время восхода и захода солнца и продолжительность дня 14/IV в пункте с широтой  $37^{\circ} 19'$  и долготой  $96^{\circ} 53'$ .

Варианты исходных данных

Вариант	Дата	Широта	Долгота	Вариант	Дата	Широта	Долгота
1	2/II	$31^{\circ} 05'$	$95^{\circ} 28'$	16	22/VII	$49^{\circ} 30'$	$58^{\circ} 38'$
2	22/III	36 30	94 38	17	12/IX	54 55	47 48
3	12/V	41 55	73 48	18	2/XI	60 20	36 58
4	2/VIII	47 20	62 58	19	2/III	34 20	68 58
5	22/VIII	52 45	52 08	20	22/IV	39 45	78 08
6	12/X	58 10	41 18	21	12/VI	45 10	67 18
7	12/II	32 10	93 18	22	2/VIII	50 35	56 28
8	2/IV	37 35	82 28	23	22/IX	56 00	45 38
9	22/V	43 00	71 38	24	12/XI	61 25	34 48
10	12/VII	48 25	60 48	25	12/III	35 25	86 48
11	2/IX	53 50	49 58	26	2/V	40 50	75 58
12	22/X	59 15	39 08	27	22/VI	46 15	65 08
13	22/II	33 15	91 08	28	12/VIII	51 40	54 18
14	12/IV	38 40	80 18	29	2/X	57 05	43 28
15	2/VI	44 05	69 28	30	2/XI	62 30	32 38

45. Найти истинное солнечное время восхода и захода солнца (по гражданскому счету) в день летнего солнцестояния на широтах, указанных в задаче 37. Используя полученную там же высоту солнца в полдень этого дня, построить и описать график суточного ее изменения на разных широтах.

На каких широтах в летнее время можно ожидать наиболее сильного нагрева земной поверхности и нижних слоев атмосферы? Каким будет на разных широтах общий характер суточного хода метеорологических элементов, связанного с изменением высоты солнца?

46. Решить задачу 45 для дня зимнего солнцестояния.

47. Используя результаты задач 45 и 46, найти продолжительность дней летнего и зимнего солнцестояния на указанных широтах. Построить и описать график широтной изменчивости продолжительности дня.

48. Во вступлении к поэме «Медный всадник» А. С. Пушкин говорит о белых ночах в Петербурге:

И, не пуская тьму ночную  
 На золотые небеса,  
 Одна заря сменить другую  
 Спешит, дав ночи полчаса.

На сколько ошибся А. С. Пушкин, считая продолжительность ночи равной 0,5 часа?

Указание: за ночь считать период от захода до следующего восхода солнца (широта Ленинграда  $60^{\circ}$ ).

49. Вычислить продолжительность полярного дня на широтах 70, 80 и 85°. Какой ответ (без учета рефракции) получился бы для широт 66° 33' и 90°?

50. Вычислить продолжительность полярной ночи на широтах 70, 80 и 85°.

51. Найти широты, на которых полярный день начинается 1/IV, 1/V, 1/VI. На каких широтах он заканчивается 1/VIII, 1/IX, 15/IX?

52. Найти высоту и азимут солнца на широте 53° 08' и долготе 47° 42' 12/VIII в 15 час 43 мин декретного времени.

53\*. Найти азимуты точек восхода и захода солнца 14/VII на широте 60°.

#### Варианты исходных данных

Вариант	Дата	Широта	Вариант	Дата	Широта	Вариант	Дата	Широта
1	27/XII	44°	11	20/VII	60°	21	20/II	52°
2	1/I	48	12	17/XI	64	22	20/VI	56
3	1/V	52	13	9/VIII	44	23	18/X	60
4	21/I	56	14	7/XII	48	24	10/VII	64
5	21/V	60	15	29/VIII	52	25	7/XI	44
6	10/II	64	16	21/IV	56	26	30/VII	48
7	10/VI	44	17	11/I	60	27	27/XI	52
8	8/X	48	18	11/V	64	28	19/VIII	56
9	30/VI	52	19	31/I	44	29	17/XII	60
10	28/X	56	20	31/V	48	30	29/VII	64

#### § 6. НОМОГРАММА М. Е. НАБОКОВА

Для нахождения высоты солнца часто используется номограмма, предложенная в 1929 г. М. Е. Набоковым (см. приложение 3). По оси абсцисс номограммы отложены косинусы часового угла и надписаны его значения в целых часах истинного солнечного времени по гражданскому счету. Дополуденные часы указаны под нижней шкалой справа налево, симметричные с ними послеполуденные часы — над верхней шкалой слева направо. На оси ординат слева отложена высота солнца, справа — ее синусы. Наклонные прямые — изолинии склонения солнца от —23,4 до 23,4°. Горизонтальные и вертикальные изолинии печатаются на бланках типографским способом, а изолинии склонения рассчитываются и строятся отдельно для каждой метеорологической станции путем нахождения точек их пересечения с осями координат. Для этого в формуле (6) переходят от  $\tau$  к  $\tau_{\odot}$  по соотношению (1), в котором  $12 \text{ час} = 180^{\circ}$ . Тогда

$$\sin h_{\odot} = \sin \varphi \sin \delta - \cos \varphi \cos \delta \cos \tau_{\odot}. \quad (9)$$

Для заданной широты  $\sin \varphi = \text{const}$  и  $\cos \varphi = \text{const}$ , а для заданного склонения  $\sin \delta = \text{const}$  и  $\cos \delta = \text{const}$ . Следовательно,

в прямоугольной системе координат  $x = \cos \tau_{\odot}$  и  $y = \sin h_{\odot}$  изолиния склонения — прямая

$$y = a - bx,$$

где  $a = \sin \varphi \sin \delta$  и  $b = \cos \varphi \cos \delta$ . С осью абсцисс она пересекается в точке  $x = \frac{a}{b}$ , т. е.

$$\cos \tau_{\odot} = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta, \quad (10)$$

а с осью ординат — в точке  $\tau_{\odot} = 12 \text{ час } 00 \text{ мин} = 180^{\circ}$ , т. е.  $x = \cos \tau_{\odot} = -1$ , так что здесь

$$\sin h_{\odot} = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta, \quad (11)$$

или в соответствии с формулой (7)

$$h_{\odot} = 90 - \varphi + \delta.$$

Соединяя точки пересечения, найденные для всех склонений от  $-23,4^{\circ}$  до  $23,4^{\circ}$ , прямыми линиями, получаем для заданной широты искомое семейство изолиний склонения.

При пользовании номограммой находим на нижней или верхней горизонтальной шкале точку, отвечающую заданному истинному солнечному времени, и перемещаемся из нее по вертикали до пересечения с нужной изолинией склонения. Отсюда передвигаемся по горизонтали влево и на вертикальной шкале читаем высоту солнца с точностью до  $0,1^{\circ}$ . Передвинувшись по этой же горизонтали вправо, находим синус высоты с точностью до 0,001. Истинное солнечное время восхода в любой день находится как точка пересечения соответствующей изолинии склонения с осью абсцисс, а время захода — как симметричная с ней точка на верхней шкале. Разность моментов захода и восхода есть продолжительность дня.

**Примеры.** 1. По номограмме, помещенной в приложении 3, найти высоту солнца на широте  $59^{\circ} 18' 15''$  в 8 час 10 мин истинного солнечного времени.

**Решение.** В приложении 2 для 15/IV находим склонение  $21,6^{\circ}$ . На нижней шкале номограммы находим точку 8 час 10 мин. Поднимаемся от нее по вертикали до пересечения с изолинией  $21,6^{\circ}$ , положение которой мысленно определяем между линиями  $21$  и  $22^{\circ}$ . Отсюда перемещаемся по горизонтали влево и находим высоту солнца  $34,6^{\circ}$ . На той же горизонтали справа находим синус этой высоты, равный 0,568.

2. Построить на бланке номограммы изолинии склонений  $0$ ,  $10$  и  $20^{\circ}$  для широты  $59^{\circ} 18'$ .

*Решение.* Для заданной широты  $\sin \varphi = 0,8599$ ,  $\cos \varphi = 0,5105$  и  $\operatorname{tg} \varphi = 1,6842$ . По формуле (10) находим:

$\delta$	$\operatorname{tg} \delta$	$\cos \tau_{\odot}$	$\tau_{\odot}$	$\tau_{\odot}$
$0^{\circ}$	0,0000	0,0000	$90^{\circ} 00'$	6 час 00 мин
10	0,1763	0,2969	72 40	4 51
20	0,3640	0,6130	52 12	3 29

По формуле (11) находим:

$\delta$	$\sin \delta$	$\sin \varphi \sin \delta$	$\cos \delta$	$\cos \varphi \cos \delta$	$\sin h_{\odot}$	$h_{\odot}$
$0^{\circ}$	0,0000	0,0000	1,0000	0,5105	0,5105	$30^{\circ} 42'$
10	0,1736	0,1493	0,9848	0,5026	0,6519	40 41
20	0,3420	0,2941	0,9397	0,4747	0,7688	50 14

Нанеся полученные точки на оси абсцисс и ординат и соединив их прямыми, найдем искомые изолинии. Решение можно проверить по приложению 3.

### Задачи

(для решения задач 54—60 использовать приложение 3)

54. Найти высоту солнца на широте  $59^{\circ} 18'$  1/V в 9 час 25 мин и в 14 час 35 мин истинного солнечного времени. Результаты проверить по формуле (9), сравнить с ответами к задаче 32 и указать причину полученного соотношения между ответами.

55. Найти высоту солнца на широте  $59^{\circ} 18'$  в истинный полдень 22/V и 22/VII. Результаты проверить по формуле (7). Указать причину полученного соотношения между результатами.

56. Найти истинное солнечное время восхода и захода солнца и продолжительность дня 16/IV на широте  $59^{\circ} 18'$ . Результаты проверить по формуле (8). В какую другую дату и почему на данной широте продолжительность дня будет такая же?

57. Найти продолжительность самого длинного и самого короткого дня на широте  $59^{\circ} 18'$ .

58. Определить, будет ли на широте  $59^{\circ} 18'$  солнце находиться над горизонтом 13/V в 3 час 30 мин истинного солнечного времени.

59. На станции, находящейся на широте  $59^{\circ} 18'$  и долготе  $71^{\circ} 16'$ , 25/IV необходимо выполнить наблюдение при высоте солнца  $30^{\circ}$ . Определить, в какой момент декретного времени надо производить это наблюдение.

60. В книжку КМ-12 для записи актинометрических наблюдений вносятся следующие астрономические величины: среднее

солнечное время начала и конца наблюдений; среднее арифметическое из них  $\tau_m$ ; истинное солнечное время  $\tau_{\odot}$ ; склонение в истинный полдень данного дня  $\delta_{\odot}$ ; высота солнца  $h_{\odot}$ ; значение  $\sin h_{\odot}$ . Определить эти величины, если наблюдения на станции, лежащей на широте  $59^{\circ} 18'$  и долготе  $63^{\circ} 12'$ , выполнялись 26/VI с 14 час 32 мин до 14 час 52 мин декретного времени.

61. Найти точки на номограмме М. Е. Набокова для построения изолиний склонения 0, 10 и  $20^{\circ}$  для широты  $50^{\circ}$ .

62\*. Построить номограмму М. Е. Набокова для широты  $30^{\circ}$ .

Указание: найти по формулам (10) и (11) точки пересечения с осями координат для изолиний  $\delta$ , равных  $-23,4$ ;  $-20$ ;  $-15$ ;  $-10$ ;  $-5$ ; 0; 5; 10; 15; 20 и  $23,4^{\circ}$ . Построить эти линии, а промежуточные между ними, через  $1^{\circ}$ , найти интерполяцией.

Варианты исходных данных

Вариант	Широта	Вариант	Широта	Вариант	Широта
1	$30^{\circ} 42'$	11	$37^{\circ} 42'$	21	$44^{\circ} 42'$
2	$31 24$	12	$38 24$	22	$45 24$
3	$32 06$	13	$39 06$	23	$46 06$
4	$32 48$	14	$39 48$	24	$46 48$
5	$33 30$	15	$40 30$	25	$47 30$
6	$34 12$	16	$41 12$	26	$48 12$
7	$34 54$	17	$41 54$	27	$48 54$
8	$35 36$	18	$42 36$	28	$49 36$
9	$36 18$	19	$43 18$	29	$50 18$
10	$37 00$	20	$44 00$	30	$51 00$

63\*\*. Метеорологическая станция находится на широте  $52^{\circ} 13'$  и долготе  $92^{\circ} 31'$ . 11/IX принят сигнал точного времени, переданный из Москвы в 15 час 00 мин. Найти для этого момента декретное, поясное, среднее и истинное солнечное время (по гражданскому счету). Определить поправку служебных часов, показывающих в этот момент 15 час 03 мин. Вычислить для этого дня часовые углы, декретное время и азимуты восхода и захода солнца, продолжительность дня. Найти декретное время наступления истинного полдня и высоту солнца в этот момент. Определить для этой станции единый срок, считающийся началом метеорологических суток, и единый срок первого наблюдения, а также декретное время в эти сроки. Найти единые сроки смены лент термометра и гигрометра, измерения осадков, смены ленты пювниографа. Определить декретное время смены лент гелиографа, выполнения первого актинометрического и последнего градиентного наблюдения. Найти высоту и азимут солнца во время четвертого актинометрического наблюдения.

## ГЛАВА II

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

#### § 7. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

Температура воздуха характеризует его тепловое состояние. Она используется при сравнении этого состояния в разных точках атмосферы и в разные моменты. Температура выражается в градусах Международной практической температурной шкалы МПТШ ( $t^{\circ}\text{C}$ ) и в градусах термодинамической температурной шкалы ТТШ ( $T^{\circ}\text{K}$ ). До недавнего времени ее выражали также в градусах шкалы Реомюра ( $^{\circ}\text{R}$ ) и шкалы Фаренгейта ( $^{\circ}\text{F}$ ). В метеорологии температуру измеряют и вычисляют с точностью до десятых долей градуса.

#### Задачи

64. Пользуясь приведенными ниже данными, вывести формулы для перевода в  $^{\circ}\text{C}$  температуры, равной  $l^{\circ}\text{K}$ ,  $m^{\circ}\text{R}$ ,  $n^{\circ}\text{F}$ .

Температура кипения воды при давлении 760 мм рт. ст. . . . .	100° C	373,15° K	80° R	212° F
Температура плавления чистого льда при давлении 760 мм рт. ст. . . . .	0° C	273,15° K	0° R	32° F

Какая шкала имеет наиболее «крупные» градусы и какая — самые «мелкие»? Показание какого термометра — с МПТШ или со шкалой Реомюра — в один и тот же момент в одном и том же месте всегда больше по абсолютной величине (за исключением одинаковых показаний  $0,0^{\circ}$ )? Может ли показание термометра с МПТШ быть отрицательным, если по термометру Фаренгейта температура положительная?

65. Выразить температуру  $14,0^{\circ}\text{F}$  в градусах МПТШ и ТТШ.

66. Термометр Фаренгейта показывает  $77,0^{\circ}$ . Какова при этом температура в градусах МПТШ и ТТШ?

67. Старинный уличный термометр Реомюра показывает  $-32,0^{\circ}$ . Какова при этом температура в  $^{\circ}\text{C}$  и  $^{\circ}\text{K}$ ?

68. Температура воздуха составляет  $122,0^{\circ}\text{F}$ . Выразить эту температуру в градусах МПТШ, шкалы Реомюра и ТТШ.

69. Найти температуру, при которой показания термометров со шкалой Фаренгейта и МПТШ будут одинаковыми. Каково соотношение между показаниями этих термометров при температуре выше и ниже найденной?

70. Сколько покажет термометр с МПТШ, если термометр Фаренгейта показывает  $0,0^{\circ}$ ?

71. Выразить температуру абсолютного нуля ( $0,0^{\circ}\text{K}$ ) в градусах МПТШ, шкалы Реомюра и шкалы Фаренгейта.

72. В рассказе Дж. Лондона «За тех, кто в пути» действие происходит на Аляске при температуре воздуха  $-74,0^{\circ}\text{F}$ . Выразить эту температуру в  $^{\circ}\text{C}$ .

73. Наивысшая из измеренных до сих пор температур воздуха на высоте 2 м наблюдалась 11/VIII 1933 г. в Сан-Луи (Мексика) и 13/IX 1922 г. в Азизие (Триполитания). Она составила  $57,8^{\circ}\text{C}$ . Выразить ее в градусах шкалы Фаренгейта и ТТШ.

74. Наинизшая из измеренных до сих пор температур воздуха у поверхности Земли была зафиксирована 24/VIII 1960 г. на советской антарктической станции «Восток-1». Она составила  $-88,3^{\circ}\text{C}$ . Выразить ее в градусах шкалы Фаренгейта и ТТШ.

75. В стандартной атмосфере, положенной в основу многих расчетов в технике и авиации, температура воздуха на уровне моря принимается равной  $15,0^{\circ}\text{C}$ . Выразить ее в градусах ТТШ.

76. В ряде теоретических расчетов температура нижних слоев атмосферы округленно принимается равной  $300^{\circ}\text{K}$ . Выразить ее в МПТШ.

77. Температура нижней стратосферы над умеренными широтами в среднем составляет около  $-55,0^{\circ}\text{C}$ . Выразить ее в ТТШ.

78\*. Сколько покажут термометры с МПТШ и шкалой Реомюра при температуре воздуха  $100^{\circ}\text{F}$ ? Какова при этом температура в  $^{\circ}\text{K}$ ?

#### Варианты исходных данных

Вариант	$t^{\circ}\text{F}$	Вариант	$t^{\circ}\text{F}$	Вариант	$t^{\circ}\text{F}$
1	96,4	11	77,4	21	58,4
2	35,1	12	50,6	22	66,1
3	92,6	13	73,6	23	54,6
4	38,2	14	53,7	24	69,2
5	88,8	15	69,8	25	50,8
6	41,3	16	56,8	26	72,3
7	85,0	17	66,0	27	47,0
8	44,4	18	59,9	28	75,4
9	81,2	19	62,2	29	43,2
10	47,5	20	63,0	30	78,5

## § 8. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Атмосферное давление измеряется:

а) в миллибарах (*мб*) с точностью до десятых, например 984,7 *мб*, 1014,1 *мб*;

б) в  $\text{дин}/\text{см}^2$  с точностью до сотен, например  $972,3 \cdot 10^3 \text{ дин}/\text{см}^2$ ,  $1024,7 \cdot 10^3 \text{ дин}/\text{см}^2$ ;

в) в  $\text{н}/\text{м}^2$  с точностью до целых или (чаще) в  $\text{кн}/\text{м}^2$  с точностью до сотых, например 82  $\text{н}/\text{м}^2$ , 238  $\text{н}/\text{м}^2$ , 97,23  $\text{кн}/\text{м}^2$ , 102,43  $\text{кн}/\text{м}^2$ ;

г) в миллиметрах (с точностью до десятых) столба химически чистой ртути, уравнивающего вес воздуха и находящегося при температуре  $0,0^\circ \text{C}$  и нормальном ускорении силы тяжести ( $980,665 \text{ см}/\text{сек}^2$ ), например 754,2 *мм рт. ст.*, 771,8 *мм рт. ст.*

Единицы  $\text{дин}/\text{см}^2$ ,  $\text{н}/\text{м}^2$  и  $\text{кн}/\text{м}^2$  чаще используются при расчетах, а *мб* и *мм рт. ст.* — при измерениях давления. Соотношения между этими единицами следующие:

$$1 \text{ мб} = 10^3 \text{ дин}/\text{см}^2 = 10^2 \text{ н}/\text{м}^2 = 10^{-1} \text{ кн}/\text{м}^2 = \\ = 7,5 \cdot 10^{-1} \text{ мм рт. ст.}$$

$$1 \text{ дин}/\text{см}^2 = 10^{-3} \text{ мб} = 10^{-1} \text{ н}/\text{м}^2 = 10^{-4} \text{ кн}/\text{м}^2 = \\ = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ мм рт. ст.}$$

$$1 \text{ н}/\text{м}^2 = 10^{-2} \text{ мб} = 10 \text{ дин}/\text{см}^2 = 10^{-3} \text{ кн}/\text{м}^2 = \\ = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$$

$$1 \text{ кн}/\text{м}^2 = 10 \text{ мб} = 10^4 \text{ дин}/\text{см}^2 = 10^3 \text{ н}/\text{м}^2 = 7,5 \text{ мм рт. ст.}$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 1,333 \text{ мб} = 1333 \text{ дин}/\text{см}^2 = \\ = 133,3 \text{ н}/\text{м}^2 = 0,13 \text{ кн}/\text{м}^2.$$

Для перевода *мм рт. ст.* в *мб* и обратно служит табл. 3 из Сборника вспомогательных таблиц к Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3, ч. I (Гидрометеоздат, Л., 1969).

В некоторых странах высоту ртутного столба барометра выражают в дюймах (1 *дюйм* = 25,4 *мм*), пунктах и других единицах.

В показания стационарного чашечного барометра вводятся постоянная ( $\Delta h_{\text{п}}$ ) и температурная ( $\Delta h_{\text{т}}$ ) поправки. Постоянная поправка — это сумма инструментальной поправки ( $\Delta h_{\text{и}}$ ), указываемой в паспорте барометра, и поправки на приведение показания барометра к нормальному ускорению силы тяжести. Последняя складывается из поправки на приведение к ускорению силы

тяжести на широте  $45^\circ$  ( $\Delta h_{g(\varphi)}$ ) и поправки на приведение к ускорению силы тяжести на уровне моря ( $\Delta h_{g(z)}$ ). Их приближенно определяют по формулам:

$$\Delta h_{g(\varphi)} = -0,00265 h \cos 2\varphi,$$

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

где  $h$  — показание барометра;  $\varphi$  — широта места;  $z$  — высота барометра над уровнем моря. Точные их значения приведены в приложениях 4 и 5, которые обычно используются для среднего давления на данной станции. Это и позволяет включить эти поправки в постоянную поправку. Более подробные таблицы приведены, например, в книге В. Н. Кедровского, М. С. Стерзата «Метеорологические приборы» (Гидрометеиздат, Л., 1953). Температурная поправка к показанию барометра ( $\Delta h_T$ ) — это поправка на приведение этого показания к температуре  $0,0^\circ\text{C}$ :

$$\Delta h_T = -0,000163 h t,$$

где  $t$  — температура барометра в  $^\circ\text{C}$ . Значения этой поправки даны в табл. 2 в упомянутом выше Сборнике вспомогательных таблиц.

Полная поправка к показанию стационарного чашечного барометра

$$\Delta h = \Delta h_{\text{п}} + \Delta h_T = [\Delta h_{\text{п}} + \Delta h_{g(\varphi)} + \Delta h_{g(z)}] + \Delta h_T.$$

### Задачи

79. Вывести соотношение между *мм рт. ст.* и *мб.*

Указание: выразить в *мб* вес столба ртути сечением  $1 \text{ см}^2$  и высотой  $1 \text{ мм}$ , находящегося при нормальных условиях. Плотность химически чистой ртути при этих условиях считать равной  $13,5955 \text{ г/см}^3$ .

80. Выразить в *мб*,  $\text{дин/см}^2$  и  $\text{кн/м}^2$  давление, равное  $760 \text{ мм рт. ст.}$  Найти при этом давлении вес (в  $\text{кГ}$ ) столба воздуха сечением  $1 \text{ см}^2$ , простирающегося до верхней границы атмосферы.

81. Выразить в *мм рт. ст.*,  $\text{дин/см}^2$  и  $\text{кн/м}^2$  давление, равное  $1000,0 \text{ мб.}$  Найти при этом давлении вес (в  $\text{кГ}$ ) столба воздуха сечением  $1 \text{ см}^2$ , простирающегося до верхней границы атмосферы. С какой (приблизительно) силой атмосфера действует на  $1 \text{ см}^2$  земной поверхности и наземных предметов?

82. Найти высоту, которую при температуре  $0,0^\circ\text{C}$ , давлении  $1020,0 \text{ мб}$  и нормальном ускорении силы тяжести будут иметь уравновешивающие это давление столбы ртути, воды и бензина (плотность бензина  $0,7 \text{ г/см}^3$ ).

83. Найти вес (в Г) вертикального столба воздуха сечением  $1 \text{ см}^2$ , простирающегося до верхней границы атмосферы, при наибольшем и наименьшем давлении на уровне моря (1083,8 мб в Красноярском крае на ст. Агата 31/XII 1968 г. и 877,0 мб в тайфуне над Тихим океаном 24/IX 1958 г.<sup>1</sup>). Определить среднее из крайних значений давления на уровне моря и вычислить наибольшее отклонение от него (в процентах). Сделать вывод о степени изменчивости давления.

84\*. Найти давление у поверхности земли в  $\text{дин/см}^2$ ,  $\text{кн/м}^2$ , мб и мм рт. ст., если вертикальный столб воздуха сечением  $1 \text{ см}^2$ , простирающийся до верхней границы атмосферы, весит 1004 Г.

Варианты исходных данных

Вариант	Вес столба воздуха, Г	Вариант	Вес столба воздуха, Г	Вариант	Вес столба воздуха, Г
1	1020	11	1018	21	983
2	1005	12	990	22	1015
3	1000	13	1002	23	996
4	998	14	985	24	984
5	1001	15	1008	25	994
6	999	16	980	26	986
7	1016	17	981	27	989
8	997	18	1003	28	988
9	1022	19	982	29	987
10	995	20	1010	30	978

85. Перевести в мб давление 721,6, 758,4 и 782,3 мм рт. ст. Перевести в мм рт. ст. давление 959,2, 997,6 и 1041,7 мб.

86. Найти постоянную, температурную и полную поправки, если отсчет по стационарному чашечному барометру равен 981,3 мб, инструментальная поправка прибора 0,2 мб, широта места  $55^\circ$ , высота над уровнем моря 300 м, среднее давление на станции 967,6 мб, температура барометра  $14,7^\circ \text{С}$ .

У к а з а н и е: использовать приложения 4, 5 и табл. 2 из Сборника вспомогательных таблиц.

87. Найти постоянную, температурную и полную поправки, если показание барометра 1018,7 мб, инструментальная поправка  $-0,1 \text{ мб}$ , широта  $37^\circ$ , высота 100 м, среднее давление 992,7 мб, температура барометра  $-27,2^\circ \text{С}$ .

88. Показание стационарного чашечного барометра 1016,3 мб, постоянная поправка 0,8 мб, показание термометра при барометре  $22,3^\circ \text{С}$ , его поправка  $-0,1^\circ \text{С}$ . Найти атмосферное давление в мб, мм рт. ст.,  $\text{дин/см}^2$ ,  $\text{кн/м}^2$ .

<sup>1</sup> По другим данным, накануне здесь было даже 873,0 мб.

## § 9. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

### Гигрометрические характеристики

#### а. Упругость пара и упругость насыщения

Упругость пара  $e$  (парциальное давление водяного пара, находящегося в воздухе) выражается в *мб* или в *мм рт. ст.* с точностью до десятых долей, а в СИ — в  $\text{н/м}^2$  с точностью до целых или в  $\text{кн/м}^2$  с точностью до сотых. Упругость насыщения  $E$  (максимально возможное значение  $e$  при данной температуре) выражается в тех же единицах и находится, например, по «Психрометрическим таблицам»<sup>1</sup>. Для вычисления гигрометрических характеристик при отрицательных температурах всегда используются значения  $E$  над водой.

#### Задачи

89. Может ли при температуре воздуха  $13,8^\circ\text{C}$  упругость пара составлять  $25,0$  мб? Каково максимальное ее значение при данной температуре?

90. Температура воздуха  $-4,7^\circ\text{C}$ . Какие значения может принимать упругость пара?

91. Определить по таблицам изменение упругости насыщения при изменении температуры от  $-30,0$  до  $-31,0^\circ\text{C}$ , от  $1,0$  до  $0,0^\circ\text{C}$ , от  $31,0$  до  $30,0^\circ\text{C}$ . Представить схематически график функции  $E(t^\circ)$ . При какой температуре — высокой или низкой — одинаковое охлаждение воздуха сильнее уменьшает упругость насыщения? Как это влияет на водность высоких и низких облаков?

92. Найти температуру воздуха, если упругость насыщения составляет  $27,4$ ;  $12,8$ ;  $6,1$ ;  $4,3$ ;  $0,64$  мб.

#### б. Дефицит влажности

Дефицит влажности (недостаток насыщения)  $d$  — это разность между упругостью насыщения и упругостью пара:

$$d = E - e. \quad (12)$$

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

#### Вводные вопросы

1. В каких пределах может изменяться дефицит влажности? Может ли эта величина быть отрицательной?

<sup>1</sup> Наиболее точные значения  $E$ , рассчитанные по новейшим формулам, которые рекомендованы Всемирной метеорологической организацией, помещены в книге Л. Т. Матвеева «Основы общей метеорологии» (Гидрометеоиздат, Л., 1965, стр. 854—855).

2. В каком случае водяной пар при одной и той же температуре более близок к состоянию насыщения: при дефиците влажности 4,0 мб или 0,4 мб?

### Задачи

93. Температура воздуха 16,7°С, упругость пара 12,1 мб. Определить дефицит влажности в мб и кн/м<sup>2</sup>. Как и почему изменится ответ, если при той же температуре упругость пара будет больше (меньше) заданной? Если при данной упругости пара температура будет выше (ниже) заданной? Какие значения температуры возможны при заданной упругости пара?

94. Температура воздуха -4,2°С, упругость пара 154 н/м<sup>2</sup>. Определить дефицит влажности.

95. Температура воздуха 12,4°С, дефицит влажности 4,7 мб. Определить упругость насыщения и упругость пара.

96. Температура воздуха -7,4°С, дефицит влажности 82 н/м<sup>2</sup>. Определить упругость насыщения и упругость пара.

97. Может ли при температуре 8,4°С дефицит влажности составлять 14,3 мб? Каковы предельные значения дефицита влажности при данной температуре?

98. Найти температуру воздуха, если упругость пара 2,7 мб, а дефицит влажности 2,4 мб.

### в. Относительная влажность

Относительная влажность  $r$  — это отношение упругости пара к упругости насыщения. Она обычно выражается в процентах с точностью до целых:

$$r = \frac{e}{E} 100\% \quad (13)$$

### Вводные вопросы

1. В каких пределах теоретически может изменяться относительная влажность и в каких пределах она практически изменяется в природе?

2. Какова относительная влажность, если дефицит влажности равен: а) упругости насыщения; б) нулю?

3. В каком случае водяной пар при одной и той же температуре более близок к состоянию насыщения: при относительной влажности 5% или 95%?

### Задачи

99. Вычислить относительную влажность, если при температуре 14,4°С упругость пара составляет 0,0, 4,1, 8,2 мб, 1,23, 1,64 кн/м<sup>2</sup>. Могут ли в нижних слоях атмосферы встретиться пер-

вое и последнее из полученных значений? Может ли в атмосфере относительная влажность значительно превышать 100%?

100. Температура воздуха  $-3,1^{\circ}\text{C}$ , упругость пара 1,7 мб. Вычислить относительную влажность. Как и почему изменится ответ, если при той же температуре упругость пара будет больше (меньше) заданной? Если при данной упругости температура будет выше (ниже) заданной? Какие значения температуры возможны при заданной упругости пара?

101. Температура воздуха  $9,3^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 61%. Найти упругость насыщения, упругость пара и дефицит влажности.

102. Температура воздуха  $-8,6^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 74%. Найти упругость насыщения, упругость пара и дефицит влажности.

103. Относительная влажность 42%, дефицит влажности  $0,74 \text{ кн/м}^2$ . Найти температуру воздуха. Как и почему изменится ответ, если при той же относительной влажности дефицит будет больше (меньше) заданного? Может ли в данном случае дефицит влажности равняться нулю? То же, если при данном дефиците относительная влажность будет больше (меньше) заданной? Может ли она в данной задаче составлять 100%?

#### г. Точка росы

Точка росы  $\tau$  — это температура, до которой должен охладиться воздух при данном давлении, чтобы содержащийся в нем водяной пар стал насыщенным.

#### Вводные вопросы

1. Как определить точку росы с помощью таблиц упругости насыщения?

2. Чему равен дефицит влажности, если точка росы равна температуре воздуха? Какова при этом относительная влажность?

#### Задачи

104. Найти точку росы, если упругость пара составляет 1,7, 4,8, 6,1, 8,5 мб, 0,23, 1,38 кн/м<sup>2</sup>.

105. Какую характеристику можно найти в таблицах по заданной температуре? Чему она равна при температуре  $-6,5$ ,  $7,9$ ,  $21,4^{\circ}\text{C}$ ?

106. Какую характеристику можно найти в таблицах по заданной упругости насыщения? Чему она равна, если  $E$  составляет 1,56, 4,68, 11,8 мб, 6,7 кн/м<sup>2</sup>?

107. Какую величину можно найти в таблицах по заданным значениям точки росы? Каковы ее значения, если  $\tau$  составляет  $-2,4$ ,  $9,5$ ,  $29,5^{\circ}\text{C}$ ?

Какая из трех приведенных ниже схем правильно характеризует операции, выполняемые по таблицам упругости насыщения?

$$\begin{array}{ccc} t \longleftrightarrow e & t \longleftrightarrow E & t \longleftrightarrow \tau \\ \tau \longleftrightarrow E & \tau \longleftrightarrow e & e \longleftrightarrow E \end{array}$$

108. До какой температуры надо изобарически охладить воздух, чтобы содержащийся в нем пар стал насыщенным, если начальная его температура  $13,4^\circ\text{C}$  и дефицит влажности  $4,2 \text{ мб}$ ? Как и почему изменится ответ, если при той же начальной температуре дефицит влажности будет больше (меньше) заданного? В частности, если он будет равен нулю? Каковы предельные значения дефицита в условиях данной задачи? То же, если при данном дефиците влажности изменить начальную температуру? Ниже какого значения температура не может опуститься в условиях настоящей задачи?

109. Достигнет ли насыщения водяной пар, содержащийся в воздухе, если вечером температура была  $14,9^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $63\%$ , а к утру температура понизилась до  $6,7^\circ\text{C}$ , причем атмосферное давление осталось неизменным?

Какой процесс может начаться в условиях данной задачи? Что появится в воздухе? Какое практическое значение могут иметь подобные задачи? Какими двумя способами можно решить задачу? Изменится ли ответ, если при тех же температурах начальная относительная влажность будет больше (меньше) заданной? Если начальная (конечная) температура будет больше (меньше) заданной, а остальные величины не изменятся?

110. Температура воздуха  $26,4^\circ\text{C}$ , точка росы  $9,3^\circ\text{C}$ . Определить упругость насыщения, упругость пара, дефицит влажности и относительную влажность. Как и почему изменятся ответы, если при той же температуре точка росы будет выше (ниже) заданной? Каково предельное ее значение в условиях данной задачи? Если при данной точке росы температура воздуха будет выше (ниже) заданной? Ниже какого значения последняя не может опуститься в условиях настоящей задачи?

111. Температура воздуха  $-14,3^\circ\text{C}$ , точка росы  $-21,7^\circ\text{C}$ . Найти упругость насыщения, упругость пара, дефицит влажности и относительную влажность.

#### д. Абсолютная влажность

Абсолютная влажность  $a$  — это масса водяного пара, содержащегося в единице объема ( $1 \text{ м}^3$ ) воздуха. В практических единицах

$$a = \frac{0,8e}{1 + \alpha t} \text{ г/м}^3, \quad (14)$$

где  $e$  — упругость пара в мб;  $\alpha$  — объемный коэффициент тепло-

вого расширения газов ( $\alpha = 1/273 = 0,00366$ );  $t$  — температура воздуха. Значения  $1 + \alpha t$  при разных  $t$  помещены в приложении 6. Абсолютная влажность определяется с точностью до десятых долей  $г/м^3$ .

### Задачи

112. Температура воздуха  $7,2^\circ C$ , упругость пара  $4,7$  мб. Вычислить абсолютную влажность (в практических единицах) и плотность пара (в СГС и СИ). Как они изменятся, если при той же упругости пара температура воздуха будет выше (ниже) заданной? Ниже какого значения температура не может опуститься в условиях настоящей задачи? Если при данной температуре упругость пара будет больше (меньше) заданной? Каковы предельные ее значения в условиях настоящей задачи?

113. В  $1 м^3$  воздуха содержится  $7,0$  г пара. Выразить его плотность в единицах СГС и СИ.

114. При какой температуре воздуха абсолютная влажность численно равна упругости пара, выраженной в мб?

115. При какой температуре воздуха абсолютная влажность численно составляет  $80\%$  упругости пара, выраженной в мб?

116. В  $1 м^3$  воздуха содержится  $4,0$  г водяного пара. Какова его упругость, если температура воздуха  $0,0^\circ C$ ?

117. Температура воздуха  $30,0^\circ C$ , относительная влажность  $80\%$ . Найти абсолютную влажность.

118. Сколько воды можно получить, сконденсировав весь водяной пар, находящийся в изолированном помещении длиной  $6$  м, шириной  $5$  м и высотой  $3$  м, если температура в нем равна  $15,6^\circ C$ , а относительная влажность  $74\%$ ? Как и почему изменится ответ, если при той же температуре относительная влажность будет больше (меньше) заданной? Если при данной относительной влажности температура будет выше (ниже) заданной?

Указание: считать, что при конденсации пара температура в помещении остается неизменной.

119. Сколько воды надо испарить в изолированном помещении площадью  $30 м^2$  и высотой  $3$  м, в котором температура равна  $20,0^\circ C$  и дефицит влажности  $10,0$  мб, чтобы пар стал насыщенным?

Указание: считать, что при испарении воды температура в помещении не изменяется.

120. В тропических пустынях температура воздуха может иногда подниматься до  $45,0^\circ C$  (и выше), а относительная влажность в это время уменьшается до  $2\%$ . В полярных же районах возможна температура  $-40,0^\circ C$  (и ниже) при относительной влажности  $100\%$ . В каком случае абсолютная влажность больше и во сколько раз?

Может ли относительная влажность без учета температуры свидетельствовать о количестве пара, содержащегося в воздухе?

121. Может ли при температуре воздуха  $-5,2^{\circ}\text{C}$  абсолютная влажность составлять  $1,0\text{ г/м}^3$ ? Каково максимальное ее значение при данной температуре?

122. Может ли при температуре воздуха  $14,3^{\circ}\text{C}$  абсолютная влажность составлять  $22 \cdot 10^{-3}\text{ кг/м}^3$ ? Каково максимальное ее значение при данной температуре?

123. Температура воздуха  $23,7^{\circ}\text{C}$ , абсолютная влажность  $14,1\text{ г/м}^3$ . Определить упругость пара, упругость насыщения, дефицит влажности, относительную влажность, точку росы.

124. Температура воздуха  $-4,3^{\circ}\text{C}$ , абсолютная влажность  $1,2\text{ г/м}^3$ . Определить упругость пара, упругость насыщения, дефицит влажности, относительную влажность, точку росы.

#### е. Удельная влажность ✓

Удельная влажность  $q$  — это масса водяного пара, содержащегося в единице массы влажного воздуха. В практических единицах

$$q = 622 \frac{e}{p - 0,378e} \text{ г/кг}, \quad (15)$$

где  $e$  — упругость пара;  $p$  — атмосферное давление. Удельная влажность определяется с точностью до десятых долей  $\text{г/кг}$ . В реальных условиях  $e \ll p$  и с достаточной точностью

$$q = 622 \frac{e}{p} \text{ г/кг.}$$

Вводный вопрос

В чем разница между удельной и абсолютной влажностью?

#### Задачи

125. Атмосферное давление  $1000,0\text{ мб}$ , упругость пара  $10,0\text{ мб}$ . Найти удельную влажность воздуха в практических единицах, в СГС и СИ.

126. Температура воздуха  $19,1^{\circ}\text{C}$ , давление  $1004,7\text{ мб}$ . Определить удельную влажность, если пар, содержащийся в воздухе, насыщен.

127. Температура воздуха  $12,7^{\circ}\text{C}$ , давление  $974,2\text{ мб}$ , относительная влажность  $42\%$ . Найти удельную влажность.

128. Выразить относительную влажность воздуха через его фактическую и максимальную (насыщающую) удельную влажность.

129. Может ли при температуре  $11,4^{\circ}\text{C}$  и давлении  $981,4\text{ мб}$  удельная влажность составлять  $2,0\text{ г/кг}$ ? Каковы предельные ее значения в условиях данной задачи?

130. В каких пределах может лежать удельная влажность при температуре  $-9,2^{\circ}\text{C}$  и давлении  $101,49 \text{ кН/м}^2$ ?

131. Температура воздуха  $21,2^{\circ}\text{C}$ , давление  $1024,7 \text{ мб}$ , удельная влажность  $8,4 \text{ г/кг}$ . Определить упругость пара, упругость насыщения, дефицит влажности, относительную влажность, точку росы, абсолютную влажность.

✓ 132. Температура воздуха  $-7,1^{\circ}\text{C}$ , давление  $99,39 \text{ кН/м}^2$ , удельная влажность  $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг}$ . Найти упругость насыщения, упругость пара, дефицит влажности, относительную влажность, точку росы, абсолютную влажность.

#### ж. Отношение смеси ✓

Отношение смеси  $S$  — это масса водяного пара, приходящаяся на единицу массы сухого воздуха. В практических единицах

$$S = 622 \frac{e}{p - e} \text{ г/кг}, \quad (16)$$

где  $e$  — упругость пара;  $p$  — атмосферное давление. Отношение смеси определяется с точностью до десятых долей  $\text{г/кг}$ .

#### Вводные вопросы

1. Чем отличается отношение смеси от удельной влажности?
2. Сильно ли различаются эти величины в один и тот же момент в одном и том же пункте?
3. Какая из этих величин больше другой при одинаковых условиях?
4. Установить связь между  $q$  и  $S$ .

#### Задачи

✓ 133. Атмосферное давление  $1017,4 \text{ мб}$ , упругость пара  $14,1 \text{ мб}$ . Найти отношение смеси в практических единицах, в СГС и СИ.

134. Атмосферное давление  $982,7 \text{ мб}$ , упругость пара  $7,4 \text{ мб}$ . Какую долю составляет удельная влажность от отношения смеси?

#### Комплексные задачи на гигрометрические характеристики

Зная температуру и давление воздуха, а также одну (любую) гигрометрическую характеристику, можно вычислить все остальные.

135. Температура воздуха  $10,6^{\circ}\text{C}$ , давление  $1021,3 \text{ мб}$ , упругость пара  $7,4 \text{ мб}$ . Найти остальные гигрометрические характеристики.

136. Температура  $-6,2^{\circ}\text{C}$ , давление  $982,7$  мб, дефицит влажности  $0,54$  мб. Найти остальные психрометрические характеристики.

137. Температура  $-11,7^{\circ}\text{C}$ , давление  $102,12$  кн/м<sup>2</sup>, относительная влажность  $43\%$ . Найти упругость пара, дефицит влажности, точку росы, абсолютную влажность, удельную влажность.

138. Температура  $21,8^{\circ}\text{C}$ , давление  $1017,7$  мб, точка росы  $6,4^{\circ}\text{C}$ . Найти упругость пара, относительную влажность, дефицит влажности, абсолютную влажность, удельную влажность.

### Психрометрическая формула

Психрометрической формулой называется выражение

$$e = E' - Ap(t - t'), \quad (17)$$

где  $E'$  — упругость насыщения, взятая по показанию смоченного термометра с учетом фазового состояния воды на батисте;  $A$  — психрометрическая постоянная;  $p$  — атмосферное давление на уровне установки психрометра;  $t$  — показание сухого термометра;  $t'$  — смоченного термометра. Психрометрическая постоянная для стационарного психрометра равна  $0,7947 \cdot 10^{-3}$  град<sup>-1</sup>, для аспирационного  $0,662 \cdot 10^{-3}$  град<sup>-1</sup>. Если  $t' < 0,0^{\circ}\text{C}$ , то после отсчета должна быть записана буква «в.» или «л.», указывающая на то, что на батисте находилась переохлажденная вода или лед.

### Задачи

139. Показания термометров стационарного психрометра: сухого  $15,0$ , смоченного  $10,0$ . Давление  $1000,0$  мб. Вычислить упругость пара.

140. Показание сухого термометра аспирационного психрометра  $20,0$ , смоченного  $10,0$ . Давление  $1050,0$  мб. Вычислить упругость пара в единицах СИ.

141. Показания термометров стационарного психрометра: сухого  $-6,7$ , смоченного  $-8,4$  в. Давление  $1014,3$  мб. Вычислить упругость пара.

142. Показание сухого термометра аспирационного психрометра  $-4,3$ , смоченного  $-5,9$  л. Давление  $972,6$  мб. Вычислить упругость пара.

143. Найти соотношение между одновременно измеренными в одном и том же месте разностями показаний сухого и смоченного термометров стационарного и аспирационного психрометров, если показания их смоченных термометров одинаковы.

### Психрометрические таблицы

Результаты расчетов по формулам (17), (12) и (13) помещены в «Психрометрических таблицах». Правила пользования ими указаны в начале таблиц.

### Задачи

144. Показания термометров стационарного психрометра: сухого 24,3, смоченного 11,7. Давление 964,2 мб. Найти по таблицам упругость пара, относительную влажность, дефицит влажности, точку росы. Вычислить абсолютную и удельную влажность.

145. Показания термометров аспирационного психрометра: сухого —2,1, смоченного —3,2в. Давление 994,9 мб. Найти по таблицам упругость пара, относительную влажность, дефицит влажности, точку росы. Вычислить абсолютную и удельную влажность.

146. Температура воздуха —2,3° С, показание смоченного термометра аспирационного психрометра —3,5л. Давление 985,0 мб. Найти по таблицам упругость пара, относительную влажность, дефицит влажности, точку росы. Вычислить абсолютную и удельную влажность.

147. Показания термометров стационарного психрометра: сухого —4,1, смоченного —6,7в. Давление 1000,0 мб. Определить с помощью таблиц, каким станет показание смоченного термометра, если вода на батисте замерзнет (на страницах «лед» при прежней  $t$  найти новую  $t'$ , отвечающую прежним  $e$ ,  $r$  и  $d$ ).

Почему при замерзании воды на батисте изменяется показание смоченного термометра?

148. Показания термометров аспирационного психрометра: сухого 2,7, смоченного —2,0в. Давление 982,4 мб. Найти по таблицам упругость пара, относительную влажность и дефицит влажности. Почему при небольших положительных температурах воздуха показание смоченного термометра иногда может быть отрицательным?

149. Показания термометров стационарного психрометра: сухого 1,7, смоченного —2,8л. Давление 1034,7 мб. Найти по таблицам упругость пара, относительную влажность и дефицит влажности (на страницах «лед» случаев с  $t > 0,0^\circ \text{C}$  не имеется. Объяснения даны в «Правилах вычисления влажности» в начале таблиц).

150. Показания термометров аспирационного психрометра: сухого 12,8, смоченного 3,2. Давление 712,3 мб. Найти по таблицам упругость пара, относительную влажность и дефицит влажности. В каких условиях могут иметь место исходные данные этой задачи?

Указание: использовать «Дополнение к таблице 1».

151. Температура воздуха —18,2° С, показание волосяного гигрометра 80%. Найти по таблицам упругость пара, дефицит влажности и точку росы. В каких условиях могут иметь место исходные данные этой задачи?

Указание: использовать страницы «лед» и приложение 2б.

152. Температура воздуха  $-17,1^{\circ}\text{C}$ , показание волосного гигрометра 83%. Найти по таблицам упругость пара, дефицит влажности и точку росы.

153. Температура воздуха  $-31,8^{\circ}\text{C}$ , показание волосного гигрометра 64%. Найти по таблицам упругость пара и дефицит влажности.

154. Температура воздуха  $23,8^{\circ}\text{C}$ , упругость пара 27,5 мб. Определить по таблицам относительную влажность и дефицит влажности. Каким было бы в данных условиях показание смоченного термометра стационарного психрометра при давлении 1000 мб?

155. Температура воздуха  $12,7^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 56%. Определить по таблицам упругость пара и дефицит влажности.

#### § 10. ВЕТЕР

Ветер представляет собой горизонтальное движение воздуха по отношению к земной поверхности. Направление ветра определяется точкой горизонта, откуда он дует, и выражается в целых градусах окружности, отсчитываемых от севера к востоку. При наблюдениях по флюгеру для характеристики направления ветра используются 16 точек горизонта, называемых румбами и сокращенно обозначаемых С, ССВ, СВ, ВСВ, В, ВЮВ, ЮВ, ЮЮВ, Ю, ЮЮЗ, ЮЗ, ЗЮЗ, З, ЗСЗ, СЗ, ССЗ. Скорость ветра — длина пути, проходимого воздушным потоком в единицу времени. Обычно она выражается в метрах в секунду (*м/сек*). В авиации и мореплавании нередко используется другая единица — километры в час (*км/час*). В некоторых странах используются английские мили в час и морские мили в час (*узлы*). Соотношения между ними:

$$1 \text{ м/сек} = 3,6 \text{ км/час} = 2,237 \text{ мили/час} = 1,943 \text{ узла};$$

$$1 \text{ км/час} = 0,278 \text{ м/сек} = 0,621 \text{ мили/час} = 0,540 \text{ узла};$$

$$1 \text{ миля/час} = 0,447 \text{ м/сек} = 1,609 \text{ км/час} = 0,868 \text{ узла};$$

$$1 \text{ узел} = 0,512 \text{ м/сек} = 1,853 \text{ км/час} = 1,152 \text{ мили/час}.$$

#### Задачи

156. Как записать направление ветра в румбах и как его назвать, если воздушный поток движется: а) с севера на юг; б) с западо-юго-запада на востоко-северо-восток; в) с юго-юго-востока на северо-северо-запад? Если точка горизонта, откуда движется воздушный поток, лежит между: г) западом и северо-западом; д) югом и юго-западом; е) севером и северо-востоком?

157. Выразить в градусах окружности направления ветра: ЮЗ, ВСВ, ЮЮВ, ЗСЗ, С. Выразить в румбах направления ветра: 26, 194, 72, 300, 114°.

158. Наибольшая из измеренных до сих пор скоростей ветра у поверхности земли отмечена 12/IV 1934 г. на горе Вашингтон (США). Она составила 231 *милю/час*.

По данным о разрушениях, вызванных одним из торнадо, пронесшихся над США, удалось определить, что скорость ветра достигала около 680 *миль/час*. Выразить эти скорости в *м/сек* и *км/час*.

## § 11. ОБЛАЧНОСТЬ

При наземных наблюдениях определяются, в частности, количество облаков, их форма и высота нижней границы. Количество облаков выражается в баллах; один балл означает, что облаками покрыта 0,1 небосвода. Определяется и записывается общее количество всех имеющихся облаков. Рядом указывается количество облаков, нижняя граница которых лежит на высоте менее 2000 м над земной поверхностью (облака нижнего яруса). Правила записи подробно изложены в Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3, ч. I.

### Задачи

159. Объяснить смысл записей количества облаков: а) 8/6; б) 10/0; в) 10/4; г) 10/10; д) 0/0; е)  $\overline{10}/7$ ; ж)  $\overline{10}/0$ ; з) 10/ $\overline{10}$ ; и)  $\overline{10}/\overline{10}$ ; к) 10/?; л) «?»; м) 4/4.

160. Какие из приведенных ниже записей количества облаков возможны и что они обозначают, а какие неправильны (т. е. являются ошибкой наблюдателя) и почему: а) 7/4; б) 4/7; в) 10/0; г) 0/10; д) 10/ $\overline{10}$ ; е)  $\overline{10}/10$ ; ж) 10/?; з) ?/10; и) 6/7; к) 7/7; л) 8/7?

161. Приведенные ниже записи количества облаков ошибочны. Считая, что в них правильна первая запись, указать возможные значения второй, а считая правильной вторую запись, указать возможные значения первой: а) 3/8; б) 4/10; в) ?/5; г)  $\overline{10}/10$ ; д) 0/7.

## § 12. ОСАДКИ

Количество осадков характеризуется высотой слоя воды, который образовался бы на поверхности, если бы выпавшие осадки не стекали, не просачивались и не испарялись. Ее выражают в *мм* с точностью до десятых, а в некоторых странах в дюймах.

В СССР количество осадков измеряют преимущественно осадкомером Третьякова с площадью приемного отверстия 200 *см*<sup>2</sup>. Для измерения осадки переливают в измерительный ста-

к а н с ценой деления  $2 \text{ см}^3$ , что соответствует слою воды высотой  $0,1 \text{ мм}$ , и добавляют поправку на смачивание, равную  $0,2 \text{ мм}$ .<sup>1</sup>

Для непрерывной записи выпадающих жидких осадков применяется плювиограф с площадью приемного отверстия  $500 \text{ см}^2$ . Собранные осадки переливают в дождемерный стакан с ценой деления  $5 \text{ см}^3$ , что также отвечает слою воды высотой  $0,1 \text{ мм}$ . В момент смены ленты плювиографа производится искусственный слив, для чего в плювиограф доливают некоторое количество воды, предварительно измеренное дождемерным стаканом. При отсутствии дождемерного стакана может быть использован измерительный стакан осадкомера, но необходимо учитывать различие в цене их деления.

Интенсивность осадков — их количество в  $\text{мм}$ , выпадающее в единицу времени (обычно в  $1 \text{ мин}$ ).

При измерениях снежного покрова определяются его высота  $h \text{ см}$  и плотность снега  $d$ . При измерениях весовым снегомером

$$d = \frac{m}{10h}, \quad (18)$$

где  $m$  — число делений весов снегомера.

### Задачи

162. Определить количество осадков, если число делений измерительного стакана осадкомера равно 14, 58, 92.

163. Во время дождя выпало  $7,4 \text{ мм}$  осадков. Какая масса воды выпала на площадь  $1 \text{ м}^2$ ,  $1 \text{ га}$ ,  $1 \text{ км}^2$ , если считать, что в пределах каждой из них количество осадков во всех точках было таким же, как и в пункте измерений?

164. По многолетним данным средняя годовая сумма осадков составляет в Москве  $587 \text{ мм}$ , в Батуми  $2465 \text{ мм}$ , в Краснодарске  $117 \text{ мм}$ . Какая масса воды выпадает в этих районах за год на площадь  $1 \text{ га}$ , если во всех ее точках количество осадков такое же, как и в пункте установки осадкомера?

165. Осадки, собранные плювиографом, перелиты в измерительный стакан осадкомера, где они заняли 65 делений. Каково количество осадков в  $\text{мм}$ ?

166. Для выполнения искусственного слива в плювиограф долита вода измерительным стаканом осадкомера, в котором она занимала 40 делений. Какое количество осадков (в  $\text{мм}$ ) запишет плювиограф?

167. Наибольшие годовая, месячная и суточная суммы осадков отмечены в Черрапунджи (Индия) в 1861 г. Они составили соответственно 905,12, 366,14 и 90,55 дюйма. Выразить эти величины в  $\text{мм}$ .

<sup>1</sup> В настоящее время разрабатывается более сложная система поправок к показаниям осадкомера.

168. Найти среднюю интенсивность дождя, продолжавшегося 25 мин, если выпавшее количество воды составило 42 деления осадкомерного стакана.

169. Используя суточную сумму из задачи 167, определить среднюю суточную интенсивность осадков в мм/мин, считая, что они выпадали непрерывно в течение суток.

170. В районе Сочи в ноябре 1913 г. выпал ливень интенсивностью 4 мм/мин, а на Гавайских островах и в Калифорнии отмечены ливни интенсивностью 20 мм/мин. Считая, что каждый из этих ливней продолжался 10 мин, определить массу воды, выпавшей на 1 га земной поверхности.

171. В течение 10 мин прошел ливень интенсивностью 1,0 мм/мин, после чего на протяжении 10 час шел обложной дождь со средней интенсивностью 0,01 мм/мин. За какой из этих двух периодов выпало больше воды?

172. Определить плотность снега, если при взвешивании пробы, имевшей высоту 56 см, показание весов снегомера составило 12 делений.

173. Найти массу воды, содержащейся в снежном покрове на площади 1 га при средней его высоте 27 см и средней плотности снега 0,04 г/см<sup>3</sup>.

ГЛАВА III  
ОСНОВЫ СТАТИКИ АТМОСФЕРЫ

§ 13. ПЛОТНОСТЬ СУХОГО ВОЗДУХА

Плотность сухого воздуха вычисляется по уравнению состояния

$$\rho_c = \frac{p}{RT}, \quad (19)$$

где  $p$  — давление;  $R$  — удельная газовая постоянная сухого воздуха;  $T$  — температура в °К. В СГС  $R = 2,87 \cdot 10^6$  эрг/(г·град), в СИ  $R = 2,87 \cdot 10^2$  Дж/(кг·град).

*Вводные вопросы*

1. Как изменится плотность воздуха при постоянном давлении, если он нагреется или охладится? Какие движения воздуха возникнут, если нагревание или охлаждение произойдет в приземном слое атмосферы?

2. Почему в нагретой комнате под потолком теплее, чем у пола, а в верхней части тропосферы удерживается, не опускаясь вниз, более холодный воздух?

3. Каким должно быть уменьшение температуры с высотой по сравнению с уменьшением давления, чтобы плотность воздуха с высотой возрастала? Возможно ли это в реальных условиях?

*Задачи*

174. Вычислить плотность сухого воздуха при нормальных условиях в единицах СГС и СИ. Во сколько раз (округленно) сухой воздух легче воды?

175. Вычислить плотность сухого воздуха (в г/см<sup>3</sup> и кг/м<sup>3</sup>) при давлении 1000,0 мб и температуре 0,0° С.

176 \*. Вычислить (в г/см<sup>3</sup>) плотность сухого воздуха при температуре —23,2° С и давлении 750,0 мб.

Варианты исходных данных

Вариант	Температура, °С	Давление, мб	Вариант	Температура, °С	Давление, мб	Вариант	Температура, °С	Давление, мб
1	12,0	960,0	11	2,0	1010,0	21	-8,0	980,0
2	11,0	965,0	12	1,0	1015,0	22	-9,0	975,0
3	10,0	970,0	13	0,0	1020,0	23	-10,0	970,0
4	9,0	975,0	14	-1,0	1015,0	24	-11,0	965,0
5	8,0	980,0	15	-2,0	1010,0	25	-12,0	960,0
6	7,0	985,0	16	-3,0	1005,0	26	-13,0	965,0
7	6,0	990,0	17	-4,0	1000,0	27	-14,0	970,0
8	5,0	995,0	18	-5,0	995,0	28	-15,0	975,0
9	4,0	1000,0	19	-6,0	990,0	29	-16,0	980,0
10	3,0	1005,0	20	-7,0	985,0	30	-17,0	985,0

177. Используя исходные данные задач 73, 74 и 83 и считая воздух сухим, вычислить его плотность при самом высоком наблюдавшемся давлении и самой низкой температуре и при самом низком давлении и самой высокой температуре. На сколько процентов одна из них больше, а другая меньше плотности сухого воздуха при нормальных условиях?

178. Найти объем 1 г сухого воздуха при температуре 19,8°С и давлении 1000,0 мб. Сколько при этих условиях весит сухой воздух, занимающий литровую банку?

179. Вычислить вес 100 м<sup>3</sup> сухого воздуха при температуре -18,2°С и давлении 1040,0 мб.

√ § 14. ПЛОТНОСТЬ ВОДЯНОГО ПАРА И ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Плотность водяного пара вычисляется по уравнению состояния

$$\rho_{\text{п}} = \frac{e}{R_{\text{п}} T},$$

где  $e$  — упругость пара,  $R_{\text{п}}$  — его удельная газовая постоянная,  $T$  — температура в °К. В СГС  $R_{\text{п}} = 4,62 \cdot 10^6 \text{ эрг}/(\text{г} \cdot \text{град})$ , в СИ  $R_{\text{п}} = 4,62 \cdot 10^2 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ .

Плотность влажного воздуха рассчитывается по уравнению состояния

$$\rho_{\text{вл}} = \frac{p}{RT} \left( 1 - 0,378 \frac{e}{p} \right). \quad (20)$$

Вводные вопросы

1. Почему при вычислении плотности влажного воздуха удобно использовать газовую постоянную сухого воздуха?

2. Почему при одинаковом давлении и температуре плотность влажного воздуха меньше, чем сухого? На какую величину они различаются?

### Задачи

180. Вычислить в единицах СГС и СИ плотность водяного пара, имеющего температуру  $10,0^{\circ}\text{C}$  и упругость  $10,0 \text{ мб}$ . Найти отношение этой плотности к плотности сухого воздуха при тех же условиях.

Что легче — некоторый объем сухого воздуха или такой же объем водяного пара, находящегося при тех же условиях? Какую (примерно) долю составляет меньший из этих весов от большего?

181. Во сколько раз водяной пар в некотором объеме весит меньше сухого воздуха, находящегося в том же объеме, если упругость пара  $10,0 \text{ мб}$ , а давление смеси  $1010,0 \text{ мб}$ ?

182. Вычислить при нормальных условиях плотность (в  $\text{г/см}^3$ ) воздуха, содержащего насыщенный водяной пар. Какую долю она составляет от плотности сухого воздуха при тех же условиях? Как изменится последний результат при прочих равных условиях, но меньшей влажности воздуха или при более высокой температуре?

При высокой или низкой температуре и влажности необходимо считаться с различием в плотностях влажного и сухого воздуха?

183. В практических расчетах часто используется плотность воздуха при стандартных условиях — температуре  $15,0^{\circ}\text{C}$ , давлении  $760 \text{ мм рт. ст.}$  и относительной влажности  $50\%$ . Найти эту плотность.

184\*. Найти плотность воздуха при температуре  $18,3^{\circ}\text{C}$ , давлении  $976,4 \text{ мб}$  и относительной влажности  $43\%$ .

#### Варианты исходных данных

Вариант	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, $\text{мб}$	Относительная влажность, %	Вариант	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, $\text{мб}$	Относительная влажность, %
1	15,2	986,7	42	16	29,8	1044,7	89
2	16,2	990,7	48	17	28,8	1040,7	91
3	17,2	994,7	54	18	27,8	1036,7	93
4	18,2	998,7	60	19	26,8	1032,7	95
5	19,2	1002,7	66	20	25,8	1028,7	97
6	20,2	1006,7	72	21	24,8	1024,7	99
7	21,2	1010,7	78	22	23,8	1020,7	93
8	22,2	1014,7	84	23	22,8	1016,7	87
9	23,2	1018,7	90	24	21,8	1012,7	71
10	24,2	1022,7	96	25	20,8	1008,7	75
11	25,2	1026,7	94	26	19,8	1004,7	69
12	26,2	1030,7	92	27	18,8	1000,7	63
13	27,2	1034,7	90	28	17,8	996,7	57
14	28,2	1038,7	88	29	16,8	992,7	51
15	29,2	1042,7	86	30	15,8	988,7	45

$29,1 = e$   
 $28,9$

185. На сколько процентов плотность воздуха, имеющего температуру  $7,0^{\circ}\text{C}$ , давление  $1000,0\text{ мб}$  и содержащего насыщенный водяной пар, отличается от плотности сухого воздуха при тех же условиях?

186. Вычислить разность между весом  $1\text{ м}^3$  воздуха, содержащего насыщенный водяной пар при температуре  $23,4^{\circ}\text{C}$ , и весом такого же объема сухого воздуха при той же температуре.

187. В контейнере объемом  $300\text{ л}$  находился сухой воздух при температуре  $17,5^{\circ}\text{C}$ . Затем часть сухого воздуха была изотермически заменена водяным паром, насыщенным при этой же температуре, причем в контейнере восстановилось прежнее давление. Сколько изъято сухого воздуха и введено пара? Как изменился общий вес воздуха в контейнере?

188. В контейнере объемом  $287\text{ л}$  находился сухой воздух при температуре  $27,0^{\circ}\text{C}$ . Затем часть воздуха была изотермически заменена водяным паром, причем в контейнере восстановилось прежнее давление, относительная влажность стала  $30\%$ , а общая масса уменьшилась на  $3,0\text{ г}$ . Сколько изъято сухого воздуха и сколько введено пара?

189. Воздух с температурой  $17,5^{\circ}\text{C}$  и относительной влажностью  $20\%$  при давлении  $1000,0\text{ мб}$  прошел над теплой водной поверхностью, в результате чего его температура повысилась до  $24,1^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность — до  $80\%$ . Давление осталось прежним. Сколько водяного пара поступило в каждый  $\text{м}^3$  воздуха? Как и на сколько изменился вес  $1\text{ м}^3$  воздуха?

## § 15. ВИРТУАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Виртуальной температурой называется величина

$$T_v = T \left( 1 + 0,378 \frac{e}{p} \right). \quad (21)$$

### Вводные вопросы

1. Каков физический смысл виртуальной температуры?
2. В каком случае виртуальная температура совпадает с обычной?
3. Как записать уравнение состояния влажного воздуха с помощью виртуальной температуры?

### Задачи

190. Вычислить виртуальную температуру воздуха, находящегося при температуре  $7,0^{\circ}\text{C}$ , давлении  $1000,0\text{ мб}$  и содержащего насыщенный водяной пар.

191. Вычислить разность между виртуальной и кинетической температурой воздуха, находящегося при давлении  $1000,0\text{ мб}$  и

содержащего насыщенный водяной пар при температуре —30,0 и 30,0° С.

При какой температуре и влажности — высокой или низкой — различие между виртуальной и кинетической температурой может быть значительным? Для каких слоев атмосферы — высоких или низких — при вычислении плотности воздуха вместо кинетической температуры нужно использовать виртуальную?

192. Вычислить виртуальную температуру воздуха, имеющего температуру 27,0° С и удельную влажность 10,0 г/кг.

193. Вычислить виртуальную температуру воздуха, имеющего температуру 0,0° С, давление 378,0 мб и абсолютную влажность 0,8 г/м<sup>3</sup>.

194\*. Вычислить виртуальную температуру и плотность воздуха, имеющего температуру 17,5° С, давление 1000,0 мб и относительную влажность 50%.

Варианты исходных данных

Вариант	Температура, °С	Давление, мб	Относительная влажность, %	Вариант	Температура, °С	Давление, мб	Относительная влажность, %
1	-5,0	1000,0	90	16	12,0	1050,0	90
2	-5,0	1000,0	80	17	15,0	1000,0	80
3	-1,0	950,0	90	18	15,0	1000,0	90
4	-1,0	950,0	80	19	18,0	950,0	80
5	-1,0	1000,0	90	20	18,0	950,0	90
6	-1,0	1000,0	80	21	20,0	1000,0	80
7	2,0	950,0	90	22	20,0	1000,0	90
8	2,0	950,0	80	23	22,0	1050,0	80
9	5,0	1000,0	80	24	22,0	1050,0	90
10	5,0	1000,0	90	25	25,0	1050,0	80
11	8,0	950,0	80	26	25,0	1050,0	90
12	8,0	950,0	90	27	28,0	1000,0	80
13	10,0	1000,0	80	28	28,0	1000,0	90
14	10,0	1000,0	90	29	30,0	1050,0	80
15	12,0	1050,0	80	30	30,0	1050,0	90

✓ § 16. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ГРАДИЕНТ ДАВЛЕНИЯ И БАРИЧЕСКАЯ СТУПЕНЬ

Вертикальным градиентом давления называется вектор, величина которого равняется взятой со знаком минус производной давления по высоте:

$$G = - \frac{dp}{dz},$$

а направление совпадает с положительным направлением вертикали. В СГС он выражается в дин/см<sup>3</sup>, а в СИ — в н/м<sup>3</sup>. Чаще

используются практические единицы  $мб/100 м$  с точностью до десятых долей. Соотношения между этими единицами:

$$1 мб/100 м = 10^{-1} дин/см^3 = 1 н/м^3;$$

$$1 дин/см^3 = 10 мб/100 м = 10 н/м^3;$$

$$1 н/м^3 = 10^{-1} дин/см^3.$$

При нормальном или близком к нему ускорении силы тяжести вертикальный градиент давления вычисляют по формуле

$$G = 3,42 \frac{p}{T} мб/100 м, \quad (22)$$

где  $p$  — давление в  $мб$ ;  $T$  — температура в  $^{\circ}К$ .

Из основного уравнения статики можно также получить

$$G = g\rho = 9806\rho мб/100 м,$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести;  $\rho$  — плотность воздуха в  $г/см^3$ .

Барическая ступень — величина, обратная вертикальному градиенту давления. Обычно ее выражают в  $м/мб$  и вычисляют по формуле

$$\bar{h} = \frac{8000}{p} (1 + \alpha t), \quad (23)$$

где  $\alpha = 0,00366 град^{-1}$  и  $p$  — давление в  $мб$ .

#### Вводные вопросы

1. Каков физический смысл вертикального градиента давления и барической ступени?
2. Как изменяются вертикальный градиент давления и барическая ступень с высотой и каков характер изменения давления с высотой?
3. В каком воздухе — холодном или теплом, сухом или влажном — давление быстрее изменяется с высотой?
4. В каких широтах — низких или высоких — давление быстрее изменяется с высотой при прочих равных условиях?

#### Задачи

195. Вычислить вертикальный градиент давления в практических единицах при давлении  $1000,0 мб$  и температуре  $0,0^{\circ}С$ .

На сколько  $мб$  в среднем уменьшается давление вблизи земной поверхности при подъеме на каждые  $100 м$ ? Приблизительно определить давление на высоте  $400 м$ , если на уровне моря оно составляет  $1020,0 мб$ , и указать, в какую сторону отклоняется полученный результат от действительного давления на заданной высоте.

196. Вычислить вертикальный градиент давления на высоте, где температура равна  $-30,0^{\circ}\text{C}$  и давление  $243,2\text{ мб}$ .

197. Сравнить значение вертикального градиента давления у поверхности земли ( $G_0$ ) при температуре  $-11,9^{\circ}\text{C}$  и давлении  $104,50\text{ кн/м}^2$  с его значением на высоте ( $G_z$ ), где температура равна  $-38,8^{\circ}\text{C}$  и давление  $46,87\text{ кн/м}^2$ .

Как изменяется вертикальный градиент давления с высотой и чем это объясняется?

198. Сравнить значение вертикального градиента давления у поверхности земли при нормальных условиях ( $G_0$ ) с его значением на высоте ( $G_z$ ), где плотность воздуха составляет  $0,431 \times 10^{-3}\text{ г/см}^3$ , и построить схему изменения давления с высотой (ускорение силы тяжести на обоих уровнях считать одинаковым).

Если давление на уровне моря одинаково на широтах  $15$  и  $80^{\circ}$ , то на какой из этих широт оно меньше на высоте  $3\text{ км}$  при одинаковой средней температуре слоя  $0-3\text{ км}$ ?

199. В двух пунктах, первый из которых находится на экваторе, а второй — в Арктике, на уровне моря измерено одинаковое давление —  $990,0\text{ мб}$ . Температура в первом пункте была  $27,0^{\circ}\text{C}$ , а во втором —  $23,0^{\circ}\text{C}$ . Приближенно считая, что вертикальный градиент давления не изменяется с высотой, определить в этих пунктах давление на высоте  $5\text{ км}$ . Как изменится результат при учете изменения вертикального градиента давления с высотой?

Если давление у подножия горы, находящейся в умеренных широтах северного полушария, было одинаковым  $15/\text{I}$  и  $15/\text{VII}$ , то в какой из этих дней оно будет больше на вершине горы?

200. У подножия горы высотой  $3\text{ км}$  среднее давление в один из зимних и в один из летних месяцев оказалось одинаковым и равным  $100,00\text{ кн/м}^2$ , а средняя температура за эти месяцы составила соответственно  $-23,0$  и  $27,0^{\circ}\text{C}$ . 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.

201. Принцип работы самолетного высотомера основан на уменьшении атмосферного давления с высотой. Вместо давления на шкале прибора (барометра-анероида) нанесена высота. При изменениях наземного давления стрелка прибора на самолете, находящемся в аэропорту, вручную переводится на нуль шкалы высот.

Используя среднее значение вертикального градиента давления, определить мнимую высоту полета, которую укажет высотомер на самолете, в действительности стоявшем на аэродроме, если после перевода стрелки высотомера на нуль приземное давление уменьшится от  $1025,0$  до  $975,0\text{ мб}$ .

202. Вычислить барическую ступень у поверхности земли при давлении  $1000,0\text{ мб}$  и температуре  $0,0$ ,  $-40,0$  и  $40,0^{\circ}\text{C}$ .

На сколько метров надо переместиться по вертикали вблизи земной поверхности, чтобы давление изменилось на 1 мб? Летом или зимой, днем или ночью давление быстрее меняется с высотой? Какое изменение высоты не может быть обнаружено обычным барометром, точность отсчетов которого не превышает 0,1 мб?

8 м/мб 203. Используя среднее значение барической ступени и условно считая его не меняющимся с высотой, найти давление на вышке Исаакиевского собора в Ленинграде (высота 102 м), Эйфелевой башне в Париже (300 м), небоскребе «Эмпайр Стейт Билдинг» в Нью-Йорке (380 м) и Останкинской башне (533 м), когда у поверхности земли давление 1000,0 мб. Как изменятся полученные результаты, если учесть изменение барической ступени с высотой?

204 \*. Вычислить с точностью до десятых долей практических единиц и единиц СГС вертикальный градиент давления, если барическая ступень составляет 12,5 м/мб.

Варианты исходных данных

Вариант	Барическая ступень, м/мб	Вариант	Барическая ступень, м/мб	Вариант	Барическая ступень, м/мб
1	5,6	11	7,6	21	9,6
2	5,8	12	7,8	22	9,8
3	6,0	13	8,0	23	10,0
4	6,2	14	8,2	24	10,2
5	6,4	15	8,4	25	10,4
6	6,6	16	8,6	26	10,6
7	6,8	17	8,8	27	10,8
8	7,0	18	9,0	28	11,0
9	7,2	19	9,2	29	11,2
10	7,4	20	9,4	30	11,4

205. Сравнить барическую ступень на высоте ( $h_2$ ), где температура равна  $-30,0^\circ\text{C}$  и давление 500,0 мб, с ее средним значением у поверхности земли ( $h_0$ ). Как она изменяется с высотой и что на этом основании можно сказать о характере изменения давления с высотой?

206. Считая, что барическая ступень не меняется с высотой, найти давление на уровне моря, если на высоте 4800 м оно равно 50,00 кн/м<sup>2</sup>, а температура  $0,0^\circ\text{C}$ . Бывает ли в действительности на уровне моря такое давление? Как изменится ответ, если учесть изменение барической ступени с высотой?

207. Как и на сколько изменится расстояние между изобарическими поверхностями 1000,0 и 800,0 мб, если температура на нижнем уровне увеличится от  $0,0$  до  $10^\circ\text{C}$ ? В теплом или холод-

ном воздухе расстояние между одинаковыми изобарическими поверхностями больше? Как сказывается на относительном расположении двух изобарических поверхностей изменение температуры находящегося между ними слоя атмосферы?

✓ 208. Сравнить барическую ступень в воздухе, имеющем температуру  $32,5^\circ\text{C}$ , давление  $980,0\text{ мб}$  и содержащем насыщенный пар ( $h_{\text{вл}}$ ), с ее значением в сухом воздухе ( $h_c$ ) при тех же условиях. В сухом или влажном воздухе давление медленнее уменьшается с высотой при одинаковой температуре и одинаковом давлении на нижнем уровне?

209. Вычислить вертикальный градиент температуры, при котором давление линейно уменьшается с высотой.

### § 17. ОДНОРОДНАЯ АТМОСФЕРА ✓

Однородной атмосферой называется условная атмосфера, в которой плотность не меняется с высотой. Барометрическая формула такой атмосферы:

$$p = p_1 - \rho_1 g (z - z_1),$$

где  $p$  и  $p_1$  — давление на уровнях  $z$  и  $z_1$ ;  $\rho_1$  — плотность однородной атмосферы, равная плотности на уровне  $z_1$ . Высота этой атмосферы (над уровнем  $z_1$ ) вычисляется по соотношениям:

$$H = \frac{RT_1}{g}, \quad (24)$$

$$H = \frac{p_1}{\rho_1 g}, \quad (25)$$

$$H = H_0 (1 + \alpha t_1), \quad (26)$$

где  $R$  — удельная газовая постоянная воздуха (в общем случае любого газа);  $t_1$  и  $p_1$  — температура и давление на уровне  $z_1$ ;  $H_0$  — высота однородной атмосферы при  $t_1 = 0,0^\circ\text{C}$ .

Для сухого воздуха  $H_0 = 7997\text{ м} \approx 8000\text{ м}$ .

#### Вводные вопросы

1. Как и почему изменяется высота однородной атмосферы при изменении температуры у ее основания?

2. Как при прочих одинаковых условиях высота однородной атмосферы зависит от ее состава?

#### Задачи

210. Вычислить давление на высотах  $2000$ ,  $3998,5$  и  $7997\text{ м}$  в однородной атмосфере при нормальных условиях у поверхности земли. На какой высоте давление оказалось вдвое меньше,

чем у земли? Больше или меньше эта высота в однородной атмосфере по сравнению с реальной?

211. Вычислить вертикальный градиент давления в однородной атмосфере при нормальных условиях у поверхности земли. Схематически изобразить изменение давления с высотой в такой атмосфере. В однородной или в реальной атмосфере давление быстрее изменяется с высотой?

212. Вычислить высоту однородной атмосферы при температуре у земной поверхности от  $-20,0$  до  $20,0^\circ\text{C}$  через каждые  $5^\circ$ . Как и на сколько изменяется высота однородной атмосферы при изменении температуры у земной поверхности на  $1^\circ$ ?

213. Какую высоту имела бы однородная атмосфера, если бы она состояла из молекулярного водорода, а температура у поверхности земли была  $0,0^\circ\text{C}$ ? Какая однородная атмосфера выше при одинаковой температуре у поверхности земли — воздушная или водородная — и во сколько раз?

214. Определить средний вертикальный градиент температуры в однородной атмосфере при нормальных условиях у поверхности земли; результат сравнить с полученным в задаче 209. Найти температуру в такой атмосфере на высотах 2, 4 и 8 км.

### § 18. ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ АТМОСФЕРА

Изотермической называется условная атмосфера, в которой температура воздуха не изменяется с высотой. Барометрическая формула для изотермической атмосферы или отдельных изотермических слоев:

$$p = p_1 e^{-\frac{z-z_1}{H}}, \quad (27)$$

где  $p_1$  и  $p$  — давление на уровнях  $z_1$  и  $z$ ;  $H$  — высота однородной атмосферы, в которой температура на уровне  $z_1$  равна заданной температуре изотермической атмосферы. Для решения ряда задач удобнее другой вид этой формулы:

$$z - z_1 = 18\,400(1 + \alpha t) \lg \frac{p_1}{p}, \quad (28)$$

где  $z - z_1$  в метрах.

#### Вводные вопросы

1. Каково практическое назначение барометрических формул для изотермической атмосферы?

2. На какой высоте в изотермической атмосфере, имеющей температуру  $0,0^\circ\text{C}$ , давление уменьшается в  $e$  раз по сравнению с давлением на уровне моря? Каково (примерно) давление на этой высоте, если на уровне моря оно составляет  $1000,0$  мб? Каково давление на этой высоте в однородной атмосфере? В какой

атмосфере давление быстрее убывает с высотой — в однородной или в изотермической?

3. Какова высота изотермической атмосферы?

### Задачи

✓ 215. Во сколько раз в изотермической атмосфере, имеющей температуру  $0,0^{\circ}\text{C}$ , давление на высоте  $16\text{ км}$  меньше, чем на уровне моря? Найти давление на этой высоте, если на уровне моря оно составляет  $1000,0\text{ мб}$ .

216. При одном из радиозондирований атмосферы оказалось, что температура на высотах  $18$  и  $24,5\text{ км}$  одинакова и равна  $-50,0^{\circ}\text{C}$ , а давление на первой из них составляет  $10,80\text{ кН/м}^2$ . Вычислить давление на второй высоте.

217\*. На метеорологической станции, находящейся на высоте  $368\text{ м}$  над уровнем моря, измерена температура  $0,0^{\circ}\text{C}$  и давление  $955,0\text{ мб}$ . Определить поправку на приведение давления к уровню моря.

С какой целью давление, измеряемое на метеорологических станциях, приводится к уровню моря? При каких условиях для приведения давления к уровню моря можно пользоваться барометрической формулой для изотермической атмосферы? Решить эту задачу устно, используя среднее значение барической степени, и объяснить причину расхождения результата с ранее найденным ответом.

### Варианты исходных данных

Вариант	Высота, м	Давление, мб	Вариант	Высота, м	Давление, мб	Вариант	Высота, м	Давление, мб
1	46	995,0	11	506	945,0	21	1012	860,0
2	92	990,0	12	552	940,0	22	1104	850,0
3	138	985,0	13	598	935,0	23	1196	840,0
4	184	980,0	14	644	930,0	24	1288	830,0
5	230	975,0	15	690	920,0	25	1380	820,0
6	276	970,0	16	736	910,0	26	1472	810,0
7	322	965,0	17	782	900,0	27	1564	800,0
8	368	960,0	18	828	890,0	28	1656	790,0
9	414	955,0	19	874	880,0	29	1748	780,0
10	460	950,0	20	920	870,0	30	1840	770,0

✓ 218\*. На метеорологической станции, находящейся на высоте  $184\text{ м}$  над уровнем моря, измерена температура  $10,0^{\circ}\text{C}$  и давление  $1000,0\text{ мб}$ . Найти поправку на приведение давления к уровню моря.

Варианты исходных данных

Вариант	Температура, °С	Давление, мб	Вариант	Температура, °С	Давление, мб	Вариант	Температура, °С	Давление, мб
1	-20,0	970,0	11	0,0	1020,0	21	-20,0	1005,0
2	-10,0	975,0	12	10,0	1025,0	22	-10,0	1010,0
3	0,0	980,0	13	20,0	1030,0	23	0,0	1015,0
4	10,0	985,0	14	-10,0	970,0	24	10,0	1020,0
5	20,0	990,0	15	0,0	975,0	25	20,0	1025,0
6	10,0	995,0	16	10,0	980,0	26	10,0	1030,0
7	0,0	1000,0	17	20,0	985,0	27	0,0	970,0
8	-10,0	1005,0	18	10,0	990,0	28	10,0	975,0
9	-20,0	1010,0	19	0,0	995,0	29	-20,0	980,0
10	-10,0	1015,0	20	-10,0	1000,0	30	-10,0	985,0

§ 19. ПОЛИТРОПНАЯ АТМОСФЕРА

Политропной называется условная атмосфера, в которой вертикальный градиент температуры не изменяется с высотой. Барометрическая формула политропной атмосферы:

$$p = p_1 \left[ 1 - \frac{\gamma(z - z_1)}{T_1} \right]^{\frac{g}{R\gamma}}, \quad (29)$$

где  $p_1$  и  $p$  — давление на высотах  $z_1$  и  $z$ ;  $\gamma$  — вертикальный градиент температуры;  $T_1$  — температура воздуха на высоте  $z_1$  в °К;  $R$  — удельная газовая постоянная воздуха. Высота политропной атмосферы над уровнем  $z_1$

$$H_\gamma = \frac{T_1}{\gamma}. \quad (30)$$

Вводные вопросы

1. В какой атмосфере давление медленнее уменьшается с высотой — в политропной, имеющей любой положительный вертикальный градиент температуры, или в изотермической?

2. При каких значениях вертикального градиента температуры формула (30) теряет физический смысл?

Задачи

219. Найти давление на высоте 10 км в политропной атмосфере, имеющей вертикальный градиент температуры  $1^\circ/100$  м (адиабатическая атмосфера), если на уровне моря температура  $-23,1^\circ$  С и давление 1000 мб.

220. Найти высоту политропной атмосферы, если температура на уровне моря составляет  $27,0^\circ \text{C}$ , а вертикальный градиент температуры равен  $0,5, 0,65, 1^\circ/100 \text{ м}$ .

Будет ли быстрее изменяться давление с высотой в политропной атмосфере при увеличении вертикального градиента температуры? Как изменится высота реальной атмосферы, если она будет политропной с вертикальным градиентом температуры, равным среднему градиенту в тропосфере ( $6,5^\circ/\text{км}$ )? Почему высота реальной атмосферы отличается от высоты политропной атмосферы с градиентом  $0,65^\circ/100 \text{ м}$ ?

221. Вычислить вертикальный градиент температуры, который наблюдался бы в реальной атмосфере, если бы на всех высотах она была политропной, а температура на уровне моря составляла  $26,9^\circ \text{C}$  (высоту реальной атмосферы считать равной  $3000 \text{ км}$ ). Какова разность температур на уровне моря и на высоте  $10 \text{ км}$ , если такой вертикальный градиент температуры наблюдается во всей реальной тропосфере?

К каким результатам в отношении вертикального распределения температуры в разных слоях реальной атмосферы приводит ее неполитропность?

222. Найти высоту политропной атмосферы при вертикальном градиенте температуры  $3,42^\circ/100 \text{ м}$ , если на уровне моря температура равна  $0,0^\circ \text{C}$ . Объяснить полученный результат, сравнив его с ответами к задачам 209 и 210.

#### § 20. РЕАЛЬНАЯ АТМОСФЕРА

Для особо точных расчетов высоты и давления в реальной атмосфере используется полная барометрическая формула (формула Лапласа):

$$z - z_1 = 18400 (1 + \alpha t_{\text{cp}}) \left[ 1 + \beta \left( \frac{e}{p} \right)_{\text{cp}} \right] (1 + a \cos 2\varphi) \times \times (1 + b z_{\text{cp}}) \lg \frac{p_1}{p}, \quad (31)$$

*модерниз., атм.*

где  $z - z_1$  — разность высот в  $\text{м}$ ;  $t_{\text{cp}}$  — средняя (по высоте) температура слоя воздуха между уровнями  $z$  и  $z_1$ ;  $\left( \frac{e}{p} \right)_{\text{cp}}$  — среднее (по высоте) отношение упругости пара, содержащегося в воздухе, к атмосферному давлению в том же слое;  $\varphi$  — широта места;  $z_{\text{cp}}$  — средний уровень в том же слое;  $\alpha, \beta, a$  и  $b$  — постоянные ( $\alpha = 0,00366 \text{ град}^{-1}$ ;  $\beta = 0,378$ ;  $a = 0,00264$ ;  $b = 3,14 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ). Средние величины, входящие в формулу, есть средние арифметические из значений на верхнем и нижнем уровнях.

Для большинства практических расчетов достаточно вычислять высоты с точностью до 1% по сокращенной барометрической формуле

$$z - z_1 = 18400(1 + \alpha t_{cp}) \lg \frac{p_1}{p}. \quad (32)$$

#### Вводные вопросы

1. Какие факторы, влияющие на скорость изменения давления с высотой, учтены в полной барометрической формуле?
2. Какая погрешность в вычисляемой высоте может возникнуть в случае неучета каждого из этих факторов?
3. Как следует производить расчет по полной барометрической формуле, учитывая, что высота входит в левую и правую части формулы?
4. Чем отличается сокращенная барометрическая формула для реальной атмосферы от формулы для изотермической атмосферы?

#### Задачи

**223.** В районе экватора на двух метеорологических станциях, одна из которых находится у подножия горы, а другая — на ее вершине, одновременно измерено:

Станция	Температура, °С	Давление, мб	Относительная влажность, %
У подножия	25,0	1000,0	60
На вершине	-5,0	500,0	40

Определить разность высот станций с ошибкой не более 0,1%, в первом приближении найдя ее по среднему значению барической ступени.

На какой (примерно) высоте в реальной атмосфере давление вдвое меньше, чем у земной поверхности?

**224.** На широте 45° на двух метеорологических станциях, одна из которых находится на уровне моря, а другая — на вершине горы, одновременно измерено:

Станция	Температура, °С	Давление, кн/м <sup>2</sup>	Упругость пара, кн/м <sup>2</sup>
На уровне моря	4,0	100,00	1,00
На вершине	-4,0	80,00	0,32

Определить высоту горы с точностью 0,3%.

225. Летом в умеренных широтах средняя температура тропосферы и нижней стратосферы мало отличается от  $0,0^{\circ}\text{C}$ .

Найти по сокращенной барометрической формуле высоты, на которых атмосферное давление в 2, 4, 8 и 10 раз меньше, чем на уровне моря.

Указать приблизительно высоту нижнего слоя атмосферы, содержащего  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{7}{8}$ ,  $\frac{9}{10}$  всей ее массы. Какая часть всей массы атмосферы сосредоточена ниже уровня 36,8 км?

226. Используя сокращенную барометрическую формулу, вычислить среднее давление на высоте 10 км, если на уровне моря в среднем имеют место нормальные условия, а вертикальный градиент температуры в реальной тропосфере в среднем составляет  $0,65^{\circ}/100\text{ м}$ . Как изменится результат, если температура на уровне моря будет меньше заданной, а вертикальный градиент—больше? Сравнить результат с ответом к задаче 219 и, используя ответ на предыдущий вопрос, объяснить причину расхождения.

Какая (примерно) часть всей массы атмосферы сосредоточена в нижнем 10-километровом ее слое? Ответ сравнить с результатами предыдущей задачи.

227. Определить с точностью до 1% давление на высоте 10 км в стандартной атмосфере, в которой на уровне моря принято давление 760 мм рт. ст. и температура  $15,0^{\circ}\text{C}$ , а вертикальный градиент температуры считается равным  $0,65^{\circ}/100\text{ м}$ . В какую сторону изменился бы ответ, если бы во всей тропосфере установилась изотермия или инверсия? Сравнить результаты настоящей и предыдущей задач и объяснить причину расхождения.

228\*. Определить с ошибкой не более 1% давление на вершине горы высотой 3680 м, если на уровне моря температура  $34,6^{\circ}\text{C}$ , давление 1048,5 мб, а средний вертикальный градиент температуры до уровня вершины горы равен  $0,5^{\circ}/100\text{ м}$ .

#### Варианты исходных данных

Вариант	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, мб	Вариант	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, мб	Вариант	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, мб
1	32,4	1045,4	11	10,4	1014,4	21	-11,6	983,4
2	30,2	1042,3	12	8,2	1011,3	22	-13,8	980,3
3	28,0	1039,2	13	6,0	1008,2	23	-16,0	977,2
4	25,8	1036,1	14	3,8	1005,1	24	-18,2	974,1
5	23,6	1033,0	15	1,6	1002,0	25	-20,4	971,0
6	21,4	1029,9	16	-0,6	998,9	26	-22,6	967,9
7	19,2	1026,8	17	-2,8	995,8	27	-24,8	964,8
8	17,0	1023,7	18	-5,0	992,7	28	-27,0	961,7
9	14,8	1020,6	19	-7,2	989,6	29	-29,2	958,6
10	12,6	1017,5	20	-9,4	986,5	30	-31,4	955,5

229. По барометру, установленному на борту самолета, с точностью 1% измерено давление 500,0 мб. С какой абсолютной погрешностью можно определить высоту полета, если средняя температура слоя от уровня моря до высоты полета равна 0,0° С?

В каком случае ошибка в определении давления более опасна (т. е. фактическая высота полета ниже вычисленной) — если измеренное давление больше или меньше действительного?

230. С какой абсолютной погрешностью высота горы определена в 6000 м, если средняя температура в слое от подножия до вершины горы измерена с точностью 20% и составляет 10,0° С? Если измеренная температура завышена, то будет ли найденная высота горы выше или ниже фактической?

231. Определить с ошибкой не более 1% высоту полета самолета, на борту которого измерена температура окружающего воздуха — 20,0° С и давление 533,2 мб, если на уровне моря в это же время температура 20,0° С и давление 1066,4 мб.

Как изменится показание барометра на самолете, если при прежних температурных условиях он будет на той же высоте пролетать над местностью, в которой давление на уровне моря ниже заданного? Какое ошибочное заключение о высоте полета может сделать пилот? Как изменится показание барометра на самолете, который на прежней высоте будет лететь над местностью с тем же давлением на уровне моря, но с более высокой средней температурой слоя воздуха? Какое ошибочное заключение о высоте полета может сделать летчик?

232. Самолетный высотомер установлен на нулевую высоту (см. задачу 201) в аэропорту А, над которым средняя по вертикали температура воздуха составляет —10,0° С. Полет происходит при постоянном показании высотомера 1840 м. На какой фактической высоте самолет подойдет к аэропорту Б, если высота над уровнем моря и приземное давление здесь такие же, как в аэропорту А, но средняя температура 10,0° С? Как изменится ответ, если при прочих неизменных условиях полет будет производиться из теплого в холодный район?

Представляет ли в условиях данной задачи повышение средней температуры столба воздуха угрозу для безопасности полета?

233. При неизменном показании высотомера 1840 м самолет перелетает из аэропорта А, в котором приземное давление 1050,0 мб и в котором высотомер был установлен на нуль, в аэропорт Б, где приземное давление 950,0 мб. На какой высоте самолет фактически придет в аэропорт Б, если высота обоих аэропортов над уровнем моря одинакова, а средняя температура столба воздуха над каждым из них равна 0,0° С? Как изменится ответ, если при прочих неизменных условиях полет будет происходить из области низкого в область высокого давления?

Гарантирует ли полученный результат безопасность полета?

234. Перед вылетом самолета давление в аэропорту составляло 1000,0 мб, температура 4,6° С, вертикальный градиент температуры 0,5°/100 м. Высотомер был установлен на нуль. Полет происходил при неизменном показании высотомера 1840 м. На какой высоте самолет фактически прошел над возвышенностью, на вершине которой давление 800,0 мб, температура 0,0° С и над которой наблюдалась изотермия?

235 \*\*. На станции, лежащей на высоте 552 м, давление равно 952,4 мб, температура 18,4° С, относительная влажность 74%. На высотах 3,68 и 7,36 км над уровнем станции температура —2,2 и —20,6° С. Найти поправку на приведение давления к уровню моря. На уровне станции вычислить виртуальную температуру (в °С), плотность воздуха, вертикальный градиент давления, барическую ступень. Найти давление на высоте 3,68 км по формулам однородной, изотермической, политропной атмосферы. Считая воздух на высоте 3,68 км сухим, вычислить на этом уровне давление по сокращенной формуле для реальной атмосферы, плотность воздуха, вертикальный градиент давления, барическую ступень. Найти те же величины на уровне 7,36 км. Построить и описать графики вертикального распределения (до высоты 7,36 км) температуры, давления, плотности, вертикального градиента давления, барической ступени.

Варианты исходных данных

Вариант	На станции			Температура на высотах (км)	
	<i>p</i> мб	<i>t</i> °С	<i>r</i> %	3,68	7,36
1	937,1	-30,1	40	-52,2	-74,3
2	942,6	-20,6	60	-42,8	-66,5
3	948,1	-11,1	80	-33,4	-55,7
4	954,8	-1,6	80	-23,8	-45,5
5	960,3	10,1	40	-12,2	-34,4
6	965,8	22,7	60	0,5	-21,4
7	938,2	-28,2	45	-50,4	-72,7
8	943,7	-18,7	65	-40,8	-65,7
9	949,2	-9,2	85	-31,6	-53,4
10	955,9	1,7	85	-20,4	-42,7
11	961,4	-12,2	45	-9,8	-32,1
12	966,9	24,8	65	2,6	-19,2
13	939,3	-26,3	50	-48,0	-70,2
14	944,8	-16,8	70	-39,1	-61,1
15	950,3	-7,3	90	-29,2	-51,4

## ГЛАВА IV

### ТУРБУЛЕНТНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

#### § 21. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Для характеристики интенсивности турбулентного перемешивания используется, в частности, коэффициент турбулентности  $k$ , обычно выражаемый в  $м^2/сек$  с точностью до сотых. При изучении приземного слоя атмосферы часто используется коэффициент турбулентности  $k_1$  на высоте 1 м, называемой единичной высотой  $z'$ . Для определения  $k$  и  $k_1$  используются, в частности, следующие методы.

##### 1. Метод теплового баланса

По этому методу

$$k_1 = \alpha (B - P), \quad (33)$$

где  $B$  — радиационный баланс деятельного слоя в  $кал/(см^2 \cdot мин)$ ;  
 $P$  — поток тепла в почве в тех же единицах;

$$\alpha = \frac{0,74}{\Delta t + 1,56\Delta e}, \quad (34)$$

$\Delta t = t_{0,5} - t_{2,0}$  ( $t_{0,5}$  и  $t_{2,0}$  — температура воздуха на стандартных уровнях градиентных измерений 0,5 и 2,0 м),  $\Delta e = e_{0,5} - e_{2,0}$  ( $e_{0,5}$  и  $e_{2,0}$  — упругость пара на тех же уровнях). Формула (34) табулирована (см. приложение 8 к Руководству по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса, Гидрометеиздат, Л., 1964). Если температура воздуха и (или) упругость пара измерены не на стандартных уровнях, то от разностей на этих уровнях надо перейти к  $\Delta t$  и  $\Delta e$  с помощью приложения 6 к тому же Руководству. Формулу (33) рекомендуется применять только при

$$B - P \geq 0,10 \text{ кал}/(см^2 \cdot мин), \quad \Delta t \geq 0,1^\circ \text{С}, \quad \Delta e \geq 0,1 \text{ мб.} \quad (35)$$

## 2. Методы турбулентной диффузии

Первый способ М. И. Будыко:

$$k_1 = 0,104 \Delta u \left( 1 + 1,38 \frac{\Delta t}{(\Delta u)^2} \right) z', \quad (36)$$

где  $\Delta u = u_{2,0} - u_{0,5}$  ( $u_{2,0}$  и  $u_{0,5}$  — скорость ветра в м/сек на уровнях 2,0 и 0,5 м). В инверсиях ( $\Delta t < 0$ ) формула (36) имеет смысл лишь при

$$\left| 1,38 \frac{\Delta t}{(\Delta u)^2} \right| \leq 1.$$

Формулу (36) уточнил Л. В. Дубровин, показавший, что

$$k_1 = 0,104 \Delta u m_1 z', \quad (37)$$

причем  $m_1$  связано с  $\Delta t$  и  $\Delta u$  несколько иначе, чем в формуле (36). Формула (37) табулирована (см. приложение 9 к Руководству).

Согласно теории М. И. Будыко, коэффициент турбулентности в приземном слое атмосферы линейно растет с высотой:

$$k = k_1 \frac{z}{z'}. \quad (38)$$

Уточненный способ М. И. Будыко используется, когда имеются результаты градиентных измерений более чем на двух уровнях. По этому способу

$$k_1 = 0,144 \operatorname{tg} \alpha \left( 1 - \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}^2 \alpha} \right) z', \quad (39)$$

где

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{du}{d \ln z}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{dt}{d \ln z}. \quad (40)$$

Последние величины находятся графически (см. задачу 242), причем всегда  $\operatorname{tg} \alpha \geq 0$ , но  $\operatorname{tg} \beta > 0$  только при инверсии, а при уменьшении температуры с высотой  $\operatorname{tg} \beta < 0$ . Формула (39) сохраняет смысл при  $\frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}^2 \alpha} \leq 1$ .

## 3. Опытные формулы

Формула М. П. Тимофеева:

$$k_1 = \frac{0,16 u_{1,0}}{\ln \frac{z'}{z_{00}}} \left( 1 + 7,5 \frac{\Delta t}{u_{1,0}^2} \right) z', \quad (41)$$

где  $u_{1,0}$  — скорость ветра в м/сек на высоте 1 м;  $z_{00}$  — параметр шероховатости при равновесных условиях. Он находится по полулогарифмическому графику ( $u; \ln z$ ), на который наносится ско-

рость ветра на нескольких уровнях. Если скорость измерена только на двух уровнях  $z_1$  и  $z_2$ , то

$$\lg \frac{z_{00}}{z'} = \frac{\lg z_2 - \frac{u_2}{u_1} \lg z_1}{1 - \frac{u_2}{u_1}}. \quad (42)$$

Если она измерена только на уровне 1 м, то  $z_{00}$  и  $\ln \frac{z'}{z_{00}}$  определяются приближенно по приложению 7 к Руководству.

В некоторых расчетах используется введенный М. И. Будыко коэффициент внешней диффузии  $D_{z_1-z_2}$ , характеризующий интенсивность турбулентного перемешивания в слое воздуха между уровнями  $z_1$  и  $z_2$ . Его называют также интегральным коэффициентом турбулентности. А. Г. Бройдо получил формулу для его значений (м/сек) в нижнем двухметровом слое:

$$D_{0-2} = 0,39 \cdot 10^{-2} u_1 (1 + 0,06y), \quad (43)$$

где  $y = \frac{t_0 - t_2}{u_1^2}$  ( $t_0$  — температура поверхности,  $t_2$  — температура воздуха на высоте 2 м,  $u_1$  — скорость ветра на высоте 1 м в м/сек).

#### Вводные вопросы

1. Каковы физические основы метода теплового баланса?
2. Какие исходные данные необходимы для определения коэффициента турбулентности методом теплового баланса?
3. Каков физический смысл интегрального коэффициента турбулентности?
4. Каково преимущество интегрального коэффициента турбулентности перед коэффициентами  $k$  и  $k_1$ ?

#### Задачи

**236.** При наблюдениях на луговой площадке в Колтушах (под Ленинградом) в 12 час 9/VII 1951 г. получено: радиационный баланс 1,00 кал/(см<sup>2</sup>·мин), поток тепла в почве 0,07 кал/(см<sup>2</sup>·мин), Температура воздуха и упругость пара на высотах 0,5 и 2,0 м в это время соответственно равны 19,6 и 18,6°С, 14,8 и 13,6 мб. Вычислить коэффициент турбулентности на высоте 1 м.

Каков порядок величины коэффициента турбулентности на высоте 1 м в умеренных широтах летом в полуденные часы?

**237.** При наблюдениях на паровом поле в Каменной Степи (Воронежская обл.) в 12 час 25 мин 9/VII 1951 г. получено: радиационный баланс 0,83 кал/(см<sup>2</sup>·мин), поток тепла в почве 0,08 кал/(см<sup>2</sup>·мин), температура воздуха и упругость пара на высотах 0,5 и 2,0 м соответственно 27,8 и 26,8°С, 8,2 и 8,0 мб. Вычислить коэффициент турбулентности на высоте 1 м.

Каковы возможные причины отличия найденных результатов от полученных в предыдущей задаче, хотя измерения выполнены одновременно? (Параметр шероховатости в Колтушах 1,7 см, в Каменной Степи 2,0 см, скорость ветра на высоте 1 м в Колтушах 1,9 м/сек, в Каменной Степи 3,5 м/сек.)

238. На метеорологической площадке ЛГМИ в Даймище 16/VII 1964 г. в 15 час получено  $t_{0,5}=14,6^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{2,0}=13,8^{\circ}\text{C}$ ,  $u_{0,5}=1,8$  м/сек,  $u_{2,0}=2,8$  м/сек. Найти коэффициент турбулентности на высоте 1 м по таблице Л. В. Дубровина. Повлияет ли на ответ одинаковое изменение температуры или скорости ветра на обеих высотах?

239. На метеорологической площадке ЛГМИ в Даймище 11/VII 1964 г. в 11 час получено: на высотах 0,2 и 1 м температура 19,9 и 19,2°С, на высотах 0,2 и 2,0 м скорость ветра 1,3 и 1,8 м/сек. Привести разности температур и скоростей к стандартным высотам и найти коэффициент турбулентности на высоте 1 м по таблице Л. В. Дубровина.

240. Найти предельную глубину инверсии в слое 0,5—2,0 м, при которой может использоваться формула (36), если скорость ветра на высотах 0,5 и 2,0 м составляет соответственно 1,2 и 1,8 м/сек. Почему формула (36) не может быть использована при решении данной задачи при еще более глубокой инверсии?

241 \*. При каких разностях скоростей ветра на стандартных высотах можно пользоваться формулой (36), если глубина инверсии составляет  $-1,0^{\circ}\text{C}$ ? Почему при инверсии формула (36) может быть использована только при разности скоростей ветра, превосходящей некоторую минимальную величину?

Варианты исходных данных

Вариант	Глубина инверсии, °С										
1	-0,1	6	-0,6	11	-1,2	16	-1,7	21	-2,2	26	-2,7
2	-0,2	7	-0,7	12	-1,3	17	-1,8	22	-2,3	27	-2,8
3	-0,3	8	-0,8	13	-1,4	18	-1,9	23	-2,4	28	-2,9
4	-0,4	9	-0,9	14	-1,5	19	-2,0	24	-2,5	29	-3,0
5	-0,5	10	-1,1	15	-1,6	20	-2,1	25	-2,6	30	-3,1

242. При градиентных измерениях на высотах 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 м получены следующие значения температуры и скорости ветра: 31,5; 30,5; 29,4; 28,6°С и 2,1; 3,5; 4,5; 5,3 м/сек. Вычислить коэффициент турбулентности на высоте 1 м по уточненному способу и по данным для двух стандартных уровней. Определить относительную погрешность второго ответа.

Решение. Построить два «графика тангенсов». На оси ординат отложить  $\ln z$  от  $-1,6$  до  $1,0$  в масштабе  $1 \text{ см}=0,2$ . Ось абсцисс провести при

значении  $\ln z=0,00$ ; на первом графике отложить скорость ветра от 2 до 6 м/сек в масштабе 3 см=1 м/сек, на втором — температуру от 28,0 до 32,0° С в масштабе 3 см=1,0° С. Вычислить натуральные логарифмы высот и провести отвечающие им тонкие линии, параллельные оси абсцисс. Нанести на них измеренные значения. По четырем точкам на каждом графике провести прямую так, чтобы сумма расстояний от точек до прямой по перпендикуляру была примерно одинакова слева и справа. Точки должны располагаться слева и справа от прямой либо через одну, либо две крайние — по одну сторону, а две средние — по другую. Продолжить прямую вверх до пересечения с линией  $\ln z=1,0$ . Из точки пересечения опустить перпендикуляр на ось абсцисс. Расстояние от его основания до точки пересечения оси абсцисс с построенной прямой, выраженное в соответствующих единицах (согласно масштабу на оси абсцисс), на первом графике есть  $\operatorname{tg} \alpha$ , а на втором —  $\operatorname{tg} \beta$ . Графики тангенсов для настоящей задачи приведены на рис. 1. В данном случае  $\operatorname{tg} \alpha=5,75-4,38=1,37$  м/сек и  $\operatorname{tg} \beta=28,13-29,47=-1,34$ ° С. Тогда

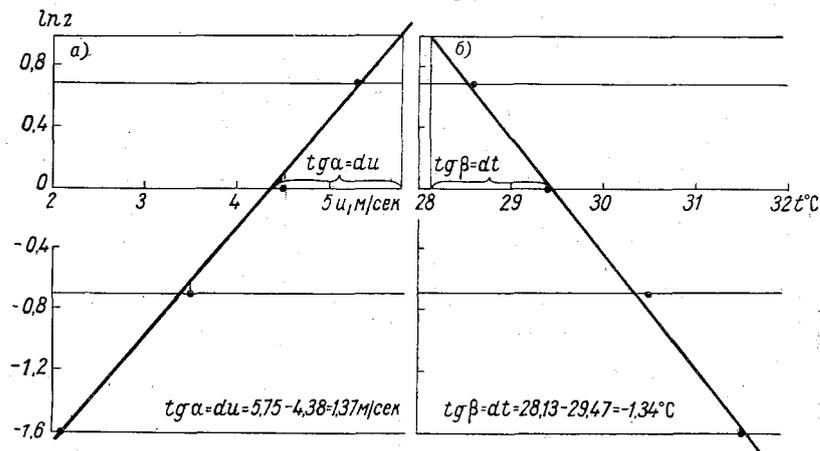


Рис. 1. Графики тангенсов (к задаче 242).

*a* — определение  $\operatorname{tg} \alpha$ , *b* — определение  $\operatorname{tg} \beta$ .

по формуле (39)  $k_1=0,34$  м<sup>2</sup>/сек. Используя значения на стандартных высотах 0,5 и 2,0 м, найдем  $\Delta t=1,9$ ° С и  $\Delta u=1,8$  м/сек, откуда по таблице  $k_1=0,27$  м<sup>2</sup>/сек. Относительная погрешность этого значения по сравнению с найденным по уточненному способу равна 21%.

Примечание. Масштабы, указанные для осей абсцисс, относятся лишь к данной задаче. Их следует каждый раз подбирать так, чтобы угол между прямой и осью абсцисс не очень отличался от 45 или 135°.

**243\*.** Вычислить коэффициент турбулентности на высоте 1 м по методу теплового баланса, первому и уточненному способам турбулентной диффузии, используя следующие результаты градиентных измерений на высотах 0,2; 0,5; 1,0 и 2,0 м: температура 22,8; 22,0; 21,6 и 21,1° С; упругость пара 16,4; 16,1; 15,7 и 15,6 мб; скорость ветра 1,7; 2,2; 2,8 и 3,2 м/сек. Радиационный баланс составляет 0,70 кал/(см<sup>2</sup>·мин), поток тепла в почве равен 0,08 кал/(см<sup>2</sup>·мин). Определить погрешности второго и третьего результатов относительно первого.

Варианты исходных данных

Вариант	B	P	$t_{0,2}^{\circ} C$	$t_{0,5}^{\circ} C$	$t_{1,0}^{\circ} C$	$t_{2,0}^{\circ} C$	$e_{0,2}$ мб	$e_{0,5}$ мб	$e_{1,0}$ мб	$e_{2,0}$ мб	$n_{0,2}$ м/сек	$n_{0,5}$ м/сек	$n_{1,0}$ м/сек	$n_{2,0}$ м/сек
1	0,79	0,12	20,6	20,4	19,9	19,8	9,4	8,9	8,4	8,0	1,7	2,3	2,5	3,0
2	0,70	0,07	17,3	17,0	16,6	16,4	11,3	10,8	10,2	10,0	0,3	0,7	1,1	1,6
3	0,85	0,09	17,0	16,9	16,6	16,2	12,6	12,4	12,2	11,1	2,2	2,6	2,9	3,2
4	0,42	0,04	18,0	17,5	17,2	17,0	11,8	11,6	11,5	11,1	1,0	1,2	1,4	1,7
5	0,70	0,05	16,1	15,8	15,5	15,3	10,5	9,6	9,5	8,7	1,9	2,2	2,4	2,7
6	0,75	0,08	19,4	18,9	18,6	18,3	18,9	18,3	17,4	17,2	0,4	0,8	1,0	1,3
7	0,64	0,12	27,9	27,2	26,9	26,4	16,9	16,2	16,1	15,9	1,1	1,4	1,7	1,9
8	0,40	0,07	24,7	24,5	24,3	23,9	20,1	19,3	18,9	18,7	2,0	2,7	3,0	3,5
9	0,66	0,11	22,1	21,9	21,6	21,4	11,4	11,1	10,2	10,1	0,7	0,9	1,2	1,6
10	0,64	0,09	23,7	23,5	23,2	23,0	12,1	11,7	11,1	10,9	1,1	1,5	1,6	1,9
11	0,59	0,12	22,5	22,1	21,8	21,7	18,2	17,0	16,7	16,4	1,4	1,6	1,8	2,1
12	0,78	0,12	21,6	21,1	20,8	20,7	14,2	14,0	12,1	11,6	1,3	1,6	1,7	1,9
13	0,43	0,06	18,9	18,5	18,4	18,0	14,2	14,0	13,9	13,8	1,3	1,4	1,5	1,8
14	0,30	0,05	17,4	17,2	16,8	16,6	13,4	13,2	13,0	12,9	1,1	1,1	1,2	1,4
15	0,66	0,10	17,3	16,8	16,4	16,2	16,8	16,3	16,1	15,7	0,9	1,1	1,3	1,6
16	0,72	0,15	18,6	18,2	17,9	17,8	13,6	13,0	12,2	11,8	1,1	1,7	2,1	2,3
17	0,75	0,12	21,8	21,3	20,6	20,2	19,1	18,8	18,7	18,4	0,4	0,9	1,4	1,7
18	0,65	0,13	20,4	20,1	19,6	19,5	11,0	10,4	10,3	9,9	0,4	1,3	2,0	2,2
19	0,44	0,10	21,0	20,6	20,4	20,1	18,6	18,3	17,9	17,6	1,3	1,7	2,0	2,2
20	0,63	0,06	17,0	16,3	15,7	15,5	10,8	10,4	10,3	10,0	0,6	1,0	1,5	1,7
21	0,43	0,04	21,7	21,2	20,9	20,7	10,1	9,9	9,9	9,7	1,0	1,3	1,4	1,6
22	0,74	0,12	22,0	21,2	20,8	20,6	10,3	9,9	9,6	9,4	1,3	1,8	2,0	2,2
23	0,70	0,09	15,9	15,2	14,9	14,6	11,8	11,6	11,2	11,0	1,4	1,7	1,8	2,1
24	0,44	0,02	18,5	18,2	18,1	17,8	10,7	10,3	9,6	9,4	0,6	1,1	1,0	1,2
25	0,57	0,06	20,7	20,6	20,3	19,8	10,4	10,1	9,8	9,6	1,2	0,9	1,6	1,9
26	0,55	0,08	20,0	19,7	19,4	19,1	11,7	11,3	10,9	10,5	0,7	1,0	1,3	1,5
27	0,64	0,12	19,7	19,2	19,0	18,8	11,6	11,2	10,6	10,2	1,3	1,5	1,8	2,1
28	0,25	0,04	16,1	15,8	15,6	15,5	15,2	14,8	14,6	14,3	1,3	1,7	2,2	2,4
29	0,51	0,07	15,5	15,3	15,0	14,8	14,4	13,7	13,3	12,7	0,3	0,9	1,2	1,5
30	0,69	0,13	19,2	18,9	18,6	18,2	17,9	17,1	16,6	16,1	1,2	1,6	2,3	2,5

**244.** Скорость ветра при равновесных условиях в Каменной Степи в июле 1951 г. (площадка на паровом поле) на высотах 0,6; 1,1; 2,0 и 11,5 м составляла 4,4; 5,7; 6,9 и 8,1 м/сек.

Определить параметр шероховатости графически и по формуле (42).

Указания. 1. На оси абсцисс отложить скорость ветра, начиная от 0 м/сек, а на оси ординат — значения  $\ln z$ . Прямую, построенную по точкам, продолжить вниз до пересечения с осью ординат и при  $u=0$  снять значение  $\ln z_{00}$ , заключенное между осью абсцисс и точкой пересечения. По  $\ln z_{00}$  найти  $\lg z_{00}$ , а по нему —  $z_{00}$  в м и перевести в см. 2. При вычислении по формуле (42) использовать данные для крайних высот.

**245.** Определить параметр шероховатости графически и по формуле (42), используя следующие данные (Долгопрудная, август 1947 г.):

$z$ м . . . . .	0,5	1,0	2,0	5,0	9,0	14,5
$u$ м/сек . . . . .	2,0	2,3	2,6	3,0	3,1	3,4

Чем можно объяснить отличие полученного результата от найденного в задаче 244?

**246.** Используя среднее из двух значений параметра шероховатости, полученных в задаче 244, найти  $k_1$  по формуле М. П. Тимофеева и по таблице Л. В. Дубровина над паровым полем в Каменной Степи в 14 час 2/VII 1951 г. по следующим результатам градиентных наблюдений:  $t_{0,5}=21,7^\circ\text{C}$ ,  $t_{2,0}=20,1^\circ\text{C}$ ,  $u_{0,5}=3,8$  м/сек,  $u_{1,0}=4,1$  м/сек,  $u_{2,0}=4,7$  м/сек.

Какому из двух результатов и почему следует отдать предпочтение?

**247.** Решить предыдущую задачу, используя ответ к задаче 245 и результаты измерений в Долгопрудной в 16 час 30 мин 7/VIII 1947 г.:

$z$ м . . . . .	0,5	1,0	2,0
$t^\circ\text{C}$ . . . . .	25,9	—	25,2
$u$ м/сек . . . . .	2,8	3,2	4,0

**248.** Найти коэффициент турбулентности на высоте 10 м, если на высоте 1 м он равен 0,20 м<sup>2</sup>/сек.

В пределах какого слоя атмосферы происходит увеличение коэффициента турбулентности с высотой?

**249.** В Днепровской экспедиции ГГО в 12 час 15/VII 1963 г. получено: температура поверхности почвы 26,6°С, температура на высоте 2 м 21,2°С, скорость ветра на высоте 1 м 1,9 м/сек. Вычислить интегральный коэффициент турбулентности в слое 0—2 м.

Каков порядок величины интегрального коэффициента турбулентности указанного слоя в умеренных широтах летом в полуденные часы?

250. Найти предельную глубину инверсии, при которой можно применять формулу (43), если скорость ветра на высоте 1 м составляет 1 м/сек.

## § 22. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Интенсивность турбулентности в приземном слое атмосферы зависит от двух динамических и двух термических факторов. Динамические факторы: шероховатость земной поверхности и различие скоростей ветра на разных уровнях; термические факторы: неравномерное нагревание различных участков поверхности и характер вертикального распределения температуры (термическая стратификация). Уменьшение температуры воздуха с высотой (неустойчивая стратификация) усиливает действие динамических факторов, а инверсия (устойчивая стратификация) ослабляет их. Соотношение между этими факторами можно выяснить с помощью формулы (36). Раскрывая в ней скобки, получим два слагаемых, первое из которых отражает влияние динамических причин и часто само условно называется динамическим фактором, а второе характеризует относительную роль термической стратификации и нередко условно называется термическим фактором.

### *Вводные вопросы*

1. Может ли существовать в природе «чисто динамическая» и «чисто термическая» турбулентность?

2. Какие знаки и при каких условиях могут иметь динамический и термический факторы? Как это влияет на изменение коэффициента турбулентности?

### *Задачи*

251. В 17 час 8/VII 1964 г. на площадке ЛГМИ в Даймише получено:  $t_{0,5}=13,6^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{2,0}=13,4^{\circ}\text{C}$ ,  $u_{0,5}=1,8$  м/сек,  $u_{2,0}=2,7$  м/сек. Какой фактор турбулентности был преобладающим?

252. В 15 час 13/VII 1964 г. на площадке ЛГМИ в Даймише получено:  $t_{0,5}=25,5^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{2,0}=24,9^{\circ}\text{C}$ ,  $u_{0,5}=0,4$  м/сек,  $u_{2,0}=0,6$  м/сек. Какой фактор турбулентности был преобладающим? Чем могло быть обусловлено различие результатов двух последних задач?

253. В результате градиентных измерений на площадке ЛГМИ в Даймише получено: 5/VII 1964 г.  $t_{0,5}=14,1^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{2,0}=13,9^{\circ}\text{C}$ ,  $u_{0,5}=2,0$  м/сек,  $u_{2,0}=2,3$  м/сек; 9/VII 1964 г.  $t_{0,5}=15,9^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{2,0}=15,6^{\circ}\text{C}$ ,  $u_{0,5}=1,1$  м/сек,  $u_{2,0}=1,8$  м/сек.

Как изменился термический фактор во время второго наблюдения по сравнению с первым? Какова причина найденного изменения?

254. Найти динамический фактор, термический фактор и коэффициент турбулентности на высоте 1 м, если:

$$\Delta u = 1,0 \text{ м/сек}, \Delta t = 0,5^\circ \text{ С};$$

$$\Delta u = 1,0 \text{ м/сек}, \Delta t = 0,0^\circ \text{ С};$$

$$\Delta u = 1,0 \text{ м/сек}, \Delta t = -0,5^\circ \text{ С}.$$

Как влияет термическая стратификация на интенсивность турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы?

255\*. Используя результаты градиентных измерений в Воейково 23 августа 1966 г. (см. таблицу), вычислить динамический, термический факторы и коэффициент турбулентности на высоте 1 м за все сроки наблюдений. Построить и проанализировать график суточного хода  $k_1$  и составляющих его факторов.

Исходные данные

Срок, час	$t_{0,5}$	$t_{2,0}$	$u_{0,5}$	$u_{2,0}$
1	9,5	9,6	1,8	2,4
7	11,2	11,2	2,6	3,3
10	13,0	12,8	3,4	4,2
13	13,3	13,2	4,2	5,4
16	12,7	12,7	4,0	5,0
19	12,2	12,3	5,4	6,7
1 след. суток	10,6	10,8	2,4	3,0

Указания. 1. На оси абсцисс отложить часы от 0 до 24 в масштабе 1 см=2 час. Надписать только 0, 4, 8 час и т. д. На оси ординат отложить значения от  $-0,04$  до  $0,16 \text{ м}^2/\text{сек}$  в масштабе 1 см= $0,02 \text{ м}^2/\text{сек}$ . Надписать только  $-0,04, 0,00, 0,04$  и т. д. Нанести нужные точки и соединить их отрезками прямых разного вида или цвета, получив три ломаные линии, каждая из которых должна начинаться в 0 час и оканчиваться в 24 час. На графике указать его содержание, время и место наблюдений. 2. Анализ выполнить письменно, последовательно рассматривая интервалы 0—7, 7—10, ..., 19—24 час. При анализе каждого интервала осветить два вопроса: 1) природа турбулентности (какой фактор вносит основной вклад в  $k_1$  и какую роль — усиливающую или ослабляющую — играет второй фактор?); 2) характер и причины изменения интенсивности турбулентности (под влиянием какого фактора изменялся  $k_1$  и какую роль играл при этом второй фактор?).

Пример анализа графика к задаче 255\*.

0—7 час. Турбулентность в основном динамическая, а в 7 час — чисто динамическая. Термический фактор был отрицательным и ослаблял действие динамического фактора. Турбулентность усиливалась, так как увеличивались оба фактора. Поэтому усиление турбулентности шло быстрее, чем увеличивался каждый фактор.

7—10 час. Турбулентность в 7 час чисто динамическая, а затем преимущественно динамическая. Термический фактор после 7 час стал положительным и усиливал действие динамического фактора. Турбулентность продолжала усиливаться в результате возрастания обоих факторов.

10—13 час. Турбулентность продолжала оставаться в основном динамической, а термический фактор был положительным и усиливал действие динамического. Усиление турбулентности продолжалось, но уже только за счет роста динамического фактора, тогда как термический фактор уменьшался, в результате чего замедлялось усиление турбулентности. Поэтому оно происходило медленнее, чем увеличивался динамический фактор.

Варианты исходных данных

Вариант, дата	Срок, час	$t_{0,5}^{\circ} C$	$t_{2,0}^{\circ} C$	$u_{0,5} \text{ м/сек}$	$u_{2,0} \text{ м/сек}$	Вариант, дата	Срок, час	$t_{0,5}^{\circ} C$	$t_{2,0}^{\circ} C$	$u_{0,5} \text{ м/сек}$	$u_{2,0} \text{ м/сек}$
1957 г.											
1 3/VI	1	5,7	6,0	1,8	2,6	6 18/VII	1	17,3	17,7	1,0	1,9
	7	10,6	10,4	2,2	3,1		7	20,5	20,4	1,5	2,1
	10	14,1	13,8	2,4	3,3		10	25,5	25,4	1,8	2,9
	13	17,1	16,6	1,7	3,9		13	26,1	26,0	2,4	4,5
	16	17,6	17,6	5,0	5,8		16	27,0	27,0	0,6	1,9
	19	14,9	14,8	5,1	6,7		19	22,1	22,5	1,8	3,3
	1 <sup>1</sup>	7,7	7,8	1,9	3,1		1 <sup>1</sup>	18,2	18,3	1,2	2,2
2 5/VI	1	10,3	10,4	1,5	1,9	7 22/VII	1	16,0	16,6	0,0	1,0
	7	9,6	9,5	1,4	1,7		7	21,5	21,4	1,7	2,8
	10	14,3	13,7	1,8	2,3		10	23,2	23,0	0,9	2,8
	13	15,2	14,8	2,6	3,3		13	28,3	27,3	2,3	4,8
	16	13,5	13,6	3,0	4,3		16	27,4	27,4	1,2	3,3
	19	11,0	11,2	2,3	3,3		19	19,2	19,3	0,0	1,6
	1 <sup>1</sup>	10,2	10,4	2,6	3,5		1 <sup>1</sup>	17,2	17,4	0,0	1,1
3 7/VI	1	9,4	9,5	0,9	1,6	8 1/VIII	1	15,1	15,6	0,4	1,4
	7	10,7	10,5	3,5	4,7		7	16,8	16,9	1,5	2,2
	10	13,4	13,0	4,5	5,8		10	19,2	19,1	0,9	1,5
	13	16,1	14,8	4,1	5,5		13	23,5	23,4	1,5	3,1
	16	12,7	12,0	1,7	2,4		16	21,4	21,4	0,8	1,7
	19	11,9	11,9	3,4	4,4		19	18,1	18,3	1,2	1,9
	1 <sup>1</sup>	8,0	8,1	2,0	2,8		1 <sup>1</sup>	15,7	15,9	0,6	1,2
4 9/VII	1	11,0	11,2	1,0	1,6	9 2/VIII	1	15,7	15,9	0,6	1,2
	7	13,4	13,3	1,2	1,6		7	16,1	15,9	0,8	1,2
	10	16,6	16,4	2,1	3,0		10	20,5	20,3	0,5	1,6
	13	19,9	19,1	1,2	1,8		13	17,0	16,0	1,2	2,2
	16	16,6	16,6	1,9	2,6		16	19,6	19,5	2,1	2,9
	19	17,1	17,2	1,2	1,7		19	18,1	18,0	0,0	0,5
	1 <sup>1</sup>	9,8	10,0	0,8	1,4		1 <sup>1</sup>	14,5	14,8	0,3	1,1
5 17/VII	1	17,2	17,7	0,0	1,8	10 6/VIII	1	13,5	13,6	1,4	2,3
	7	20,1	20,1	1,7	3,2		7	15,7	15,7	1,7	2,5
	10	24,6	24,3	2,6	3,7		10	19,0	18,8	1,9	2,6
	13	27,6	27,2	2,6	3,7		13	19,8	19,6	2,3	3,3
	16	27,8	27,7	2,2	3,6		16	17,0	16,8	1,9	2,7
	19	24,6	24,8	0,4	1,4		19	16,0	16,0	0,9	1,7
	1 <sup>1</sup>	17,3	17,7	1,0	1,9		1 <sup>1</sup>	11,5	11,9	1,0	1,9

Вариант, дата	Срок, час	$t_{0,5}^{\circ} \text{C}$	$t_{2,0}^{\circ} \text{C}$	$u_{0,5} \text{ м/сек}$	$u_{2,0} \text{ м/сек}$	Вариант, дата	Срок, час	$t_{0,5}^{\circ} \text{C}$	$t_{0,2}^{\circ} \text{C}$	$u_{0,5} \text{ м/сек}$	$u_{2,0} \text{ м/сек}$
1957 г.						1958 г.					
11 9/VIII	1	7,1	7,5	1,0	2,0	12 9/V	1	-0,3	0,0	0,3	1,2
	7	11,0	10,8	1,0	1,6		7	3,9	3,6	0,6	1,0
	10	12,7	12,7	1,9	3,6		10	8,9	8,5	1,0	1,3
	13	15,8	15,0	1,5	2,0		13	10,9	9,9	1,9	2,8
	16	13,3	12,8	0,3	0,6		16	10,2	9,8	0,4	0,8
	19	12,6	12,3	0,1	0,6		19	7,3	7,1	1,5	2,2
	1 <sup>1</sup>	6,5	7,2	0,1	1,2		1 <sup>1</sup>	3,8	3,7	1,5	2,2

<sup>1</sup> Следующие сутки.

ГЛАВА V  
ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ

§ 23. ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ ДЛЯ СУХОГО ВОЗДУХА  
И ВОЗДУХА С НЕНАСЫЩЕННЫМ ПАРОМ

Для 1 г указанного воздуха первое начало термодинамики записывается в виде

$$dQ = c_v dT + A p dV, \quad (44)$$

где  $dQ$  — сообщенное воздуху или отданное им тепло;  $c_v$  — удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме;  $dT$  — изменение его температуры;  $A$  — тепловой эквивалент работы (в СГС  $A = 0,24 \cdot 10^{-7}$  кал/эрг, в СИ  $A = 1$ );  $p$  — давление воздуха;  $dV$  — изменение его объема. Для сухого воздуха и воздуха с ненасыщенным водяным паром  $c_v = 0,17$  кал/(г · град) = 718 дж/(кг · град). Уравнение (44) можно привести к виду

$$dQ = c_p dT - ART \frac{dp}{p}, \quad (45)$$

где  $c_p$  — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении;  $R$  — его удельная газовая постоянная (см. § 13). Для сухого воздуха и воздуха с ненасыщенным паром  $c_p = 0,24$  кал/(г · град) = 1005 дж/(кг · град).

*Вводные вопросы*

1. Происходят ли в атмосфере процессы, описываемые уравнением (44)?
2. Приведите примеры процессов, описываемых уравнением (45).
3. Как изменяются объем и давление в порции воздуха при ее вертикальном перемещении? Как применить к ней первое начало термодинамики?
4. Какие процессы могут изменять температуру фиксированной порции воздуха?

### Задачи

256. В жестком герметичном сосуде содержится 1 кг сухого воздуха при температуре  $47,0^{\circ}\text{C}$ . Какую температуру он примет, если сообщить ему 1700 кал тепла? На какие процессы пойдет это тепло? На сколько изменится внутренняя энергия воздуха? Как изменится давление?

257. На сколько охладится воздух с начальными параметрами, заданными в предыдущей задаче, если отнять от него 850 кал тепла? Почему произойдет охлаждение?

258. Используя данные двух предыдущих задач, вычислить изменение давления в сосуде, если вначале оно составляло 960,2 мб.

259. Сколько тепла нужно сообщить сухому воздуху, находящемуся при нормальных условиях в герметичном помещении площадью  $20\text{ м}^2$  и высотой 3 м, чтобы температура поднялась до  $20,0^{\circ}\text{C}$ ? Как изменится внутренняя энергия? На сколько изменится давление?

260. 1 кг сухого воздуха находится в резиновой оболочке и имеет температуру  $47,0^{\circ}\text{C}$ . Какой она станет, если сообщить воздуху 1700 кал тепла? Почему ответ отличается от ответа к задаче 256?

261. Сколько тепла нужно сообщить 1 кг сухого воздуха, находящегося в резиновой оболочке, чтобы температура в ней повысилась на  $10,0^{\circ}\text{C}$ ? Сколько тепла пойдет при этом на изменение внутренней энергии и сколько на работу расширения? Вторым ответ сравнить с ответом к задаче 256. На сколько расширится оболочка, если давление составляет 1000,0 мб?

262. Сколько тепла надо сообщить  $60\text{ м}^3$  сухого воздуха при нормальных условиях, чтобы при постоянном давлении температура поднялась на  $20^{\circ}$ ? Сколько тепла израсходуется на изменение внутренней энергии воздуха и сколько на работу расширения? Вторым ответ проверить, сравнив с ответом к задаче 259.

263. На площадке ЛГМИ в Батово 5/VII 1963 г. в 5 час измерена температура  $11,5^{\circ}\text{C}$ . К 7 час при неизменном давлении и полном безветрии она поднялась до  $15,7^{\circ}\text{C}$ . Сколько тепла получил каждый кг воздуха? С какой целью в задаче упомянуто об отсутствии ветра?

264. 13/VII 1964 г. в 1 час на площадке ЛГМИ в Даймище измерена температура  $11,9^{\circ}\text{C}$  и давление 1007,7 мб. К 3 час температура при том же давлении и отсутствии ветра понизилась до  $8,7^{\circ}\text{C}$ . Сколько тепла отдал  $1\text{ м}^3$  воздуха?

265 \*. Сколько тепла требуется при постоянном давлении для нагревания 30 г сухого воздуха на  $31,0^{\circ}\text{C}$ , если воздух находился при давлении 950,0 мб и температуре  $16,0^{\circ}\text{C}$ ? Если нагревание произойдет без изменения объема? Сколько тепла пойдет в первом случае на работу расширения? На сколько при этом увели-

чится объем воздуха? На сколько во втором случае изменится давление?

Варианты исходных данных

Вариант	Масса воздуха, г	Нагрев, °С	Начальная температура, °С	Начальное давление, ммб	Вариант	Масса воздуха, г	Нагрев, °С	Начальная температура, °С	Начальное давление, ммб
1	900	1	-15,0	950,0	16	52	16	0,0	980,0
2	440	2	-14,0	960,0	17	51	17	1,0	990,0
3	290	3	-13,0	970,0	18	48	18	2,0	1000,0
4	215	4	-12,0	980,0	19	47	19	3,0	1010,0
5	170	5	-11,0	990,0	20	46	20	4,0	1020,0
6	130	6	-10,0	1000,0	21	44	21	5,0	1030,0
7	130	7	-9,0	1010,0	22	43	22	6,0	1040,0
8	115	8	-8,0	1020,0	23	42	23	7,0	1050,0
9	110	9	-7,0	1030,0	24	38	24	8,0	1060,0
10	84	10	-6,0	1040,0	25	37	25	9,0	950,0
11	75	11	-5,0	1050,0	26	34	26	10,0	960,0
12	68	12	-4,0	1060,0	27	33	27	11,0	970,0
13	62	13	-3,0	950,0	28	34	28	12,0	980,0
14	58	14	-2,0	960,0	29	33	29	13,0	990,0
15	54	15	-1,0	970,0	30	32	30	14,0	1000,0

§ 24. АДИАБАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СУХОГО ВОЗДУХА И ВОЗДУХА С НЕНАСЫЩЕННЫМ ПАРОМ (СУХОАДИАБАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ)

При таких изменениях температура и давление воздуха в начальном состоянии ( $T_1$  и  $p_1$ ) связаны с их значениями в конечном состоянии ( $T_2$  и  $p_2$ ) уравнением Пуассона

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0,286} \quad (46)$$

Практически это уравнение решается по аэрологической диаграмме с помощью сухих адиабат.

Вводные вопросы

1. Какие процессы называются адиабатическими?
2. Как решается уравнение Пуассона по диаграмме?
3. Обязательно ли воздух, изменение состояния которого представлено на диаграмме сухой адиабатой, должен сам перемещаться в вертикальном направлении?

Задачи

266. Объем сухого воздуха, имевшего температуру  $0,0^\circ\text{C}$ , адиабатически увеличился в 2 раза. Какую температуру он примет? Чем вызвано изменение его температуры? Может ли

указанный процесс происходит в искусственных и естественных условиях?

267. Как и почему изменится температура адиабатически расширяющегося сухого воздуха при уменьшении давления в 4 раза?

268. Как и почему изменится температура сухого воздуха, если адиабатически увеличить давление в 2 раза?

269. Какую температуру примет сухой воздух, находившийся при нормальных условиях, если адиабатически увеличить давление в 2 раза? Ответ проверить по результату предыдущей задачи. Может ли такой процесс самостоятельно происходить в атмосфере?

270. Как и на сколько изменится температура сухого воздуха, имевшего давление 1000,0 мб и температуру 0,0° С, при адиабатическом увеличении давления на 1 мб?

Могут ли адиабатические колебания давления заметно изменить температуру воздуха?

271. Как и на сколько изменится температура сухого воздуха, равная 27,0° С, если давление адиабатически уменьшится от высшего до низшего из значений, наблюдавшихся на уровне моря (см. задачу 83)? Может ли такое изменение давления в реальных условиях происходить адиабатически?

272. Одна порция воздуха имела температуру 27,0° С и давление 1050,0 мб, а другая находилась при той же температуре, но имела давление 950,0 мб. Какими должны быть адиабатические изменения давления, чтобы температура этих порций увеличилась на 1,0° С?

Задачи 273—280 решить по аэрологической диаграмме

273. При давлении 970,0 мб температура сухого воздуха 2,8° С. Какой она станет при адиабатическом изменении давления до 824,0 мб?

274. На уровне с давлением 769,0 мб сухой воздух имел температуру —6,0° С. Какой она станет после адиабатического опускания воздуха на уровень с давлением 1020,0 мб?

Можно ли использовать аэрологическую диаграмму для расчета адиабатических процессов в любом газе?

275. Сухой воздух находится при давлении 960,0 мб и температуре 25,0° С. Какую температуру он примет при адиабатическом изменении давления до 800,0 мб?

Как пользоваться диаграммой, если точка, соответствующая начальному состоянию, не лежит на напечатанной сухой адиабате?

276. На уровне с давлением 700,0 мб сухой воздух имел температуру 14,0° С. Какой она станет при адиабатическом перемещении воздуха на уровень с давлением 950,0 мб?

Указание: проэкстраполировать соответствующую сухую адиабату, изобару и изотерму.

277. При давлении 700,0 мб сухой воздух имеет температуру  $-11,5^{\circ}\text{C}$ . Какой она станет при адиабатическом изменении давления до 940,0 мб?

278. Найти давление на высоте, на которой адиабатически поднявшийся сухой воздух приобрел температуру  $-9,5^{\circ}\text{C}$ , если на уровне с давлением 925,0 мб он имел температуру  $7,1^{\circ}\text{C}$ .

279. При температуре  $-10,0^{\circ}\text{C}$  сухой воздух находился под давлением 604,3 мб. Какую температуру он примет при адиабатическом увеличении давления до 750,0, 900,0, 1050,0 мб?

280\*. При давлении 1015,8 мб сухой воздух имеет температуру  $23,7^{\circ}\text{C}$ . Какую температуру он примет, адиабатически поднявшись на уровни 912,2, 812,3, 712,4 мб?

Варианты исходных данных

Вариант	Давление, мб	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Уровень, мб			Вариант	Давление, мб	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Уровень, мб		
			1	2	3				1	2	3
1	1048,8	34,2	923,3	823,3	723,3	16	982,8	1,2	906,8	806,8	706,8
2	1046,6	32,0	922,2	822,2	722,2	17	1013,6	-1,0	905,7	805,7	705,7
3	1044,4	29,8	921,1	821,1	721,1	18	1011,4	-3,2	904,6	804,6	704,6
4	1042,2	27,6	920,0	820,0	720,0	19	1009,2	-5,4	903,5	803,5	703,5
5	1040,0	25,4	918,9	818,9	718,9	20	1007,0	-7,6	902,4	802,4	702,4
6	1037,8	23,2	917,8	817,8	717,8	21	1004,8	-9,8	901,3	801,3	701,3
7	1035,6	21,0	916,7	816,7	716,7	22	1002,6	-12,0	900,2	800,2	700,2
8	1033,4	18,8	915,6	815,6	715,6	23	1000,4	-14,2	899,1	799,1	699,1
9	1031,2	16,6	914,5	814,5	714,5	24	998,2	-16,4	898,0	798,0	698,0
10	1029,0	14,4	913,4	813,4	713,4	25	996,0	-18,6	896,9	796,9	696,9
11	1026,8	12,2	912,3	812,3	712,3	26	993,8	-20,8	895,8	795,8	695,8
12	1024,6	10,0	911,2	811,2	711,2	27	991,6	-23,0	894,7	794,7	694,7
13	1022,4	7,8	910,1	810,1	710,1	28	989,4	-25,2	893,6	793,6	693,6
14	1020,2	5,6	909,0	809,0	709,0	29	987,2	-27,4	892,5	792,5	692,5
15	1018,0	3,4	907,9	807,9	707,9	30	985,0	-29,6	891,4	791,4	691,4

**§ 25. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СУХОГО ВОЗДУХА И ВОЗДУХА С НЕНАСЫЩЕННЫМ ПАРОМ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ**

Эти изменения характеризуются сухоадиабатическим градиентом температуры  $\gamma_a$ , который при небольшом округлении равен  $0,01^{\circ}/\text{м}$ . Порция воздуха, имевшая на начальном уровне  $z=0$  температуру  $T'_0$ , адиабатически поднявшись на  $z$  м, примет температуру

$$T'_z = T'_0 - \gamma_a z. \quad (47)$$

### Вводные вопросы

1. Почему адиабатически поднимающийся воздух охлаждается, а опускающийся нагревается?

2. Почему название «сухоадиабатический градиент температуры» является условным и не вполне точным?

### Задачи

281. В 13 час 15/VII 1964 г. температура воздуха у поверхности земли на площадке ЛГМИ в Даймице составляла  $24,3^{\circ}\text{C}$ . Несмотря на интенсивные восходящие движения воздуха, облака не возникали, т. е. водяной пар в поднимающемся воздухе оставался ненасыщенным. Какую температуру принимали поднимающиеся порции воздуха на высоте 1 км, если их подъем происходил адиабатически? На какой высоте они охлаждались до  $0,0^{\circ}\text{C}$ ?

282. На сколько должен адиабатически подняться сухой воздух, чтобы его температура уменьшилась на  $12,7^{\circ}\text{C}$ ?

283. Сухой воздух адиабатически стекает с вершины к подножию горы высотой 820 м. Какую температуру он будет иметь внизу, если на вершине горы она была  $14,2^{\circ}\text{C}$ ?

284. Какую температуру имел сухой воздух на вершине горы высотой 1400 м, если, опустившись к ее подножию, он принял температуру  $21,7^{\circ}\text{C}$ ?

285. На высоте 12 км температура  $-50,0^{\circ}\text{C}$ . Какую температуру приобрел бы воздух, если бы он мог адиабатически опуститься с этой высоты на уровень моря? Чем объясняется неправдоподобность ответа?

### § 26. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Потенциальной температурой называется температура, которую примет воздух, если его сухоадиабатически привести к давлению 1000,0 мб. Она вычисляется по формулам:

$$\Theta = T \left( \frac{1000}{p} \right)^{0,286}, \quad (48)$$

$$\Theta = t + \gamma_a z + \frac{\Delta p}{12,5}, \quad (49)$$

где  $t$  — температура на высоте  $z$  (в метрах);  $\gamma_a = 0,01^{\circ}/\text{м}$ ;  $\Delta p = 1000 - p_0$  ( $p_0$  — давление у поверхности земли). Практически ее находят по диаграмме. Изменение потенциальной температуры с высотой описывается выражением

$$\frac{d\Theta}{dz} = \frac{\Theta}{T} (\gamma_a - \gamma), \quad (50)$$

где  $\gamma$  — вертикальный градиент температуры,

$$\gamma = - \frac{dt}{dz} \approx - \frac{t_2 - t_1}{z_2 - z_1}. \quad (51)$$

### Вводные вопросы

1. С какой целью рассматривается потенциальная температура воздуха?
2. Следует ли использовать потенциальную температуру воды при рассмотрении ее вертикальных перемещений в водоемах?
3. Изменяется ли потенциальная температура сухого воздуха при адиабатических изменениях его состояния?

### Задачи

286\*. Воздух находится при температуре  $6,0^{\circ}\text{C}$  и давлении  $820,0\text{ мб}$ . Найти его потенциальную температуру.

Варианты исходных данных

Вариант	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, мб	Вариант	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, мб	Вариант	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, мб
1	-14,2	650,0	11	-9,2	750,0	21	-4,2	850,0
2	-13,7	660,0	12	-8,7	760,0	22	-3,7	860,0
3	-13,2	670,0	13	-8,2	770,0	23	-3,2	870,0
4	-12,7	680,0	14	-7,7	780,0	24	-2,7	880,0
5	-12,2	690,0	15	-7,2	790,0	25	-2,2	890,0
6	-11,7	700,0	16	-6,7	800,0	26	-1,7	900,0
7	-11,2	710,0	17	-6,2	810,0	27	-1,2	910,0
8	-10,7	720,0	18	-5,7	820,0	28	-0,7	920,0
9	-10,2	730,0	19	-5,2	830,0	29	-0,2	930,0
10	-9,7	740,0	20	-4,7	840,0	30	0,3	940,0

287. На уровне с давлением  $800,0\text{ мб}$  потенциальная температура  $45,0^{\circ}\text{C}$ . Найти температуру на этом уровне. Как и почему изменится ответ при увеличении (уменьшении) заданной потенциальной температуры? При изменении заданного давления, но постоянной потенциальной температуры?

288. При температуре  $0,0^{\circ}\text{C}$  воздух имеет потенциальную температуру  $32,5^{\circ}\text{C}$ . При каком давлении он находится? Как и почему изменится ответ при увеличении (уменьшении) температуры? При изменении потенциальной температуры?

289. Одна порция воздуха находится при давлении  $804,7\text{ мб}$  и температуре  $7,0^{\circ}\text{C}$ , другая — при давлении  $498,8\text{ мб}$  и температуре  $-16,9^{\circ}\text{C}$ . Какая порция потенциально теплее и на сколько градусов? Чем объясняется такой результат?

290. Одна порция воздуха находится при давлении  $945,6\text{ мб}$  и имеет температуру  $-2,8^{\circ}\text{C}$ , вторая — на уровне  $751,6\text{ мб}$ . При

каких температурах вторая порция воздуха потенциально теплее первой? Как и почему изменится ответ, если вторая порция поднимется или опустится?

291. 1 г сухого воздуха находится при давлении 850,0 мб и температуре 7,0° С, другая такая же порция (1 г) — при давлении 950,0 мб и температуре 15,0° С. На сколько изменится их внутренняя энергия, если адиабатически привести их к давлению 1000,0 мб?

292. На высоте 4 км температура —16,8° С. Какова потенциальная температура на этой высоте, если у земли давление 975,0 мб?

293. Решить предыдущую задачу приближенно, пренебрегая отличием давления у земли от 1000,0 мб, и найти относительную погрешность результата.

294. Вертикальные градиенты температуры на разных уровнях равны —1,0, 0,0, 1,0, 2,0°/100 м. Как изменяется на этих уровнях потенциальная температура с высотой?

295. На уровне моря температура 20,0° С, давление 1025,0 мб, а на высоте 2 км температура 10,0° С. Определить среднее изменение потенциальной температуры с высотой в 2-км слое атмосферы. Каково в нем соотношение между вертикальным градиентом температуры и сухоадиабатическим градиентом?

296. У поверхности земли температура 20,0° С, а на высоте 300 м 18,0° С. Где больше потенциальная температура?

### § 27. УСКОРЕНИЕ КОНВЕКЦИИ И УРОВЕНЬ КОНВЕКЦИИ ДЛЯ СУХОГО ВОЗДУХА И ВОЗДУХА С НЕНАСЫЩЕННЫМ ПАРОМ

Если порция сухого воздуха примет температуру  $T'$ , отличающуюся от температуры окружающей атмосферы  $T$ , то она начнет перемещаться по вертикали с ускорением конвекции

$$a' = g \frac{T' - T}{T} \quad (52)$$

Уровень, на котором температура вертикально перемещающейся порции станет равна температуре окружающего воздуха, называется уровнем конвекции. Если на начальном уровне  $z=0$  отдельная порция имеет температуру  $T'_0$ , а окружающий воздух — температуру  $T_0$ , то высота уровня конвекции будет

$$z_{\text{конв}} = (t_{\text{нач}} - t_{\text{конв}}) \kappa_{\text{конв}} = \frac{T'_0 - T_0}{\Gamma_a - \Gamma} \cdot 100 \quad (53)$$

Работа  $A$  силы плавучести при вертикальном перемещении массы сухого воздуха  $m'$  с уровня  $z_1$  до уровня  $z_2$ :

$$A = m' a' (z_2 - z_1). \quad (54)$$

12-8,9 = 20,9

Так как ускорение конвекции на уровнях  $z_1$  и  $z_2$  может быть неодинаковым, то в расчетах часто используют среднее его значение. Работа подъема сухого воздуха может быть найдена также по аэрологической диаграмме.

### *Вводные вопросы*

1. При рассмотрении каких вопросов нужны сведения об ускорении конвекции и о высоте уровня конвекции?
2. При каких условиях имеет место положительная и отрицательная высота уровня конвекции? Каков их смысл?

### *Задачи*

297. У поверхности земли порция сухого воздуха перегрелась на  $6,0^\circ\text{C}$  по сравнению с окружающей средой, имеющей температуру  $27,0^\circ\text{C}$ . Какое ускорение конвекции она получит? В каком направлении и почему она будет перемещаться? За счет какой энергии производится работа ее подъема и расширения?

298. На уровне моря температура  $15,0^\circ\text{C}$ . Считая воздух сухим, найти ускорение конвекции, которое приобретет его порция, поднявшись на  $500\text{ м}$ , если вертикальный градиент температуры в  $500\text{-м}$  слое составляет  $2^\circ/100\text{ м}$ . Как и почему изменится результат, если порция воздуха на начальном уровне будет теплее окружающей среды? Если вертикальный градиент температуры будет больше или меньше заданного? За счет какой энергии теперь производится работа подъема и расширения?

299. Найти ускорение конвекции для порции сухого воздуха, имеющей температуру  $10,0^\circ\text{C}$  и находящейся на уровне, где температура  $15,0^\circ\text{C}$ . Куда она будет перемещаться?

300. Найти высоту уровня конвекции для порции сухого воздуха, имеющей температуру  $20,0^\circ\text{C}$ , если температура окружающего воздуха  $12,5^\circ\text{C}$ , а вертикальный градиент температуры составляет  $-0,5, 0,0, 0,5, 1,0, 1,5^\circ/100\text{ м}$ . Каков смысл двух последних ответов? Как будет в каждом случае изменяться разность температур между перемещающейся порцией и окружающей средой? Какой знак имеет в этих случаях ускорение конвекции и куда будет перемещаться рассматриваемая порция? Одинаковое ли влияние оказывает атмосфера на движение этой порции во всех пяти случаях?

301. На некотором уровне температура  $17,0^\circ\text{C}$ , а отдельная порция воздуха имеет температуру  $11,0^\circ\text{C}$ . Найти для нее ускорение конвекции и высоту уровня конвекции, если вертикальный градиент температуры  $1,6^\circ/100\text{ м}$ . В каком направлении она будет фактически перемещаться? Как будет изменяться разность

между ее температурой и температурой окружающего воздуха? Способствует ли данный слой атмосферы движению этой порции или тормозит его? При каких значениях вертикального градиента температуры действие слоя было бы обратным? При каком дополнительном условии порция будет двигаться в противоположную сторону?

**302.** Найти высоту уровня конвекции для порции сухого воздуха, перегретой у поверхности земли на  $5,0^\circ\text{C}$  по сравнению с окружающей средой, если в слое  $500\text{ м}$  вертикальный градиент температуры составляет  $0,4^\circ/100\text{ м}$ , а выше имеется инверсия, где градиент равен  $-0,5^\circ/100\text{ м}$ .

**303.** На сколько должна перегреться порция сухого воздуха по сравнению с окружающей средой, чтобы при вертикальном градиенте температуры  $0,4^\circ/100\text{ м}$  высота уровня конвекции составила  $1000\text{ м}$ ? Как изменится результат при изменении градиента или высоты уровня конвекции?

**304.** При вертикальном зондировании атмосферы получено следующее распределение температуры с высотой:

$z\text{ м}$ . . . . .	0	100	300	500	700	1000	1200
$t^\circ\text{C}$ . . . . .	20,0	18,6	16,6	15,0	15,0	13,6	14,4

Определить графически высоту уровня конвекции для порции сухого воздуха, поднимающейся с нижнего уровня: без перегрева, с перегревом на  $1,0^\circ\text{C}$  и с перегревом на  $5,0^\circ\text{C}$ .

Указание: исходные данные представить в прямоугольных координатах, отложив на оси ординат высоту, а на оси абсцисс — температуру. Изменение температуры поднимающейся порции представить в виде прямых (сухих адиабат), наклон которых отвечает сухоадиабатическому вертикальному градиенту.

**305.** При вертикальном зондировании атмосферы получено следующее распределение температуры и давления:

$p\text{ мб}$ . . . . .	1000,0	890,0	800,0	710,0	600,0	560,0	510,0
$t^\circ\text{C}$ . . . . .	15,0	2,0	-6,0	-13,0	-20,7	-20,7	-17,7

Найти по диаграмме давление на уровне конвекции и его высоту для сухого воздуха, начинающего подъем с нижнего уровня без перегрева и с перегревом на  $5,0^\circ\text{C}$ .

**306.** Используя данные предыдущей задачи, найти уровень, на котором разность между температурой сухого воздуха, поднимающегося с нижнего уровня без перегрева, и температурой окружающей среды будет наибольшей. Вычислить ускорение конвекции на этом уровне.

**307.** Используя исходные данные задачи 305, вычислить ускорение конвекции сухого воздуха на уровне с давлением  $885,0\text{ мб}$ .

308. Найти работу силы плавучести при подъеме 1 г сухого воздуха на 1 см, если температура окружающей среды  $7,0^{\circ}\text{C}$ , а поднимающейся порции  $9,8^{\circ}\text{C}$ .

309. У поверхности земли 1 кг сухого воздуха перегрет на  $3,0^{\circ}\text{C}$  относительно окружающей среды, имеющей температуру  $27,0^{\circ}\text{C}$ .

Найти работу силы плавучести при подъеме этой порции до уровня конвекции, если в окружающей атмосфере вертикальный градиент температуры  $0,7^{\circ}/100\text{ м}$ .

Указание: использовать среднее ускорение конвекции в слое между начальным и конечным уровнем.

310. Найти работу силы плавучести при подъеме 1 кг сухого воздуха на 1 км в слое с вертикальным градиентом температуры  $2^{\circ}/100\text{ м}$ , если на начальном уровне температура поднимающейся порции и окружающего воздуха составляла  $27,0^{\circ}\text{C}$ .

Указание: использовать среднее ускорение конвекции.

## § 28. УРОВЕНЬ КОНДЕНСАЦИИ

Уровень конденсации — это высота, при подъеме до которой воздух охлаждается настолько, что водяной пар в нем становится насыщенным. Этот уровень находится по диаграмме следующим образом: если известна удельная влажность на начальном уровне, то из точки, соответствующей начальному состоянию воздуха, нужно подняться по сухой адиабате до изограммы начальной удельной влажности (если задана точка росы, то до изограммы, проходящей через нее). Точка пересечения сухой адиабаты и изограммы исходной удельной влажности определяет давление на уровне конденсации. Его высота в м

$$z_{\text{конд}} = 100(t_{\text{нач}} - t_{\text{конд}}), \quad (55)$$

$$z_{\text{конд}} = 100(33,6 - 16) = 1760\text{ м}$$

где  $t_{\text{нач}}$  и  $t_{\text{конд}}$  — температура поднимающегося воздуха на начальном уровне и на уровне конденсации.

### Вводные вопросы

1. Какие метеорологические явления связаны с уровнем конденсации?

2. Как изменяется высота уровня конденсации при изменении относительной влажности воздуха у земной поверхности? Какова эта высота, если относительная влажность у земли равна 100%?

### **Задачи**

311. У поверхности земли температура  $23,1^{\circ}\text{C}$ , давление  $980,0$  мб, относительная влажность  $67\%$ . Найти давление и температуру на уровне конденсации, а также высоту этого уровня.

Как и почему изменится ответ, если при прочих неизменных условиях температура будет больше (меньше) заданной? Если увеличится (уменьшится) начальное давление? Если увеличится (уменьшится) относительная влажность?

312. У поверхности земли температура  $20,0^{\circ}\text{C}$ , давление  $1000,0$  мб, точка росы  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Найти давление и температуру на уровне конденсации, а также высоту этого уровня. Как изменится ответ, если при прочих неизменных условиях начальная точка росы будет выше (ниже) заданной?

### **§ 29. АДИАБАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА С НАСЫЩЕННЫМ ВОДЯНЫМ ПАРОМ (ВЛАЖНОАДИАБАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ)**

Такие изменения на аэрологической диаграмме характеризуются влажными адиабатами, с помощью которых находятся температура, давление и влажность воздуха.

### **Вводные вопросы**

1. Как выглядят влажные адиабаты на диаграмме?
2. Почему в правой нижней части диаграммы влажные адиабаты круче сухих, а в левой верхней они почти параллельны?

### **Задачи**

313. Две порции воздуха имеют одинаковую температуру  $8,3^{\circ}\text{C}$  и одинаковое давление  $980,0$  мб. В первой порции воздух сухой, во второй содержит насыщенный водяной пар. Как изменится их температура, если давление адиабатически уменьшится до  $800,0$  мб?

Почему изменения неодинаковы?

314. Две порции воздуха имеют одинаковую температуру  $-5,6^{\circ}\text{C}$  и одинаковое давление  $775,0$  мб. В первой порции воздух сухой, во второй содержит насыщенный пар. Как изменится их температура, если давление адиабатически увеличится до  $1000,0$  мб?

Почему изменения неодинаковы?

315. Воздух имеет температуру  $4,5^{\circ}\text{C}$ , давление  $1020,0$  мб и содержит насыщенный водяной пар. Какую температуру примет

воздух при адиабатическом уменьшении давления до 1000,0, 900,0 и 800,0 мб? Чем вызвано это изменение температуры? Как изменятся ответы, если при том же давлении увеличить (уменьшить) начальную температуру? Если при неизменной температуре увеличить (уменьшить) начальное давление?

316. При температуре  $-19,8^\circ\text{C}$  и давлении 710,0 мб воздух содержит насыщенный водяной пар. Найти его температуру при адиабатическом увеличении давления до 810,0, 910,0 1010,0 мб. Ответить также на вопросы предыдущей задачи.

317. При температуре  $21,8^\circ\text{C}$  и давлении 1010,0 мб воздух содержит насыщенный водяной пар. До каких значений нужно адиабатически изменять давление, чтобы температура стала  $19,0$ ,  $16,0$ ,  $11,9^\circ\text{C}$ ?

318. При температуре  $3,8^\circ\text{C}$  и давлении 700,0 мб воздух содержит насыщенный водяной пар. До каких значений нужно адиабатически изменять давление, чтобы температура стала  $6,5$ ,  $11,5$ ,  $16,1^\circ\text{C}$ ?

Подразумевается ли в двух последних задачах, что воздух совершает вертикальное перемещение? При каких атмосферных процессах наиболее часто происходят указанные изменения?

319. Влажный воздух находится при температуре  $22,5^\circ\text{C}$  и давлении 1030,0 мб. Найти его температуру при адиабатическом уменьшении давления до 900,0 и 800,0 мб, если при давлении 950,0 мб пар станет насыщенным? Чем отличаются процессы, происходящие при давлении от 1030,0 до 950,0 мб, от процессов, протекающих при давлении менее 950,0 мб?

320. При температуре  $-11,1^\circ\text{C}$  и давлении 700,0 мб воздух содержит насыщенный пар. До какого значения надо адиабатически увеличить давление, чтобы воздух принял температуру  $9,2^\circ\text{C}$ , если при давлении 909,0 мб пар перестает быть насыщенным? Как изменится ответ, если увеличится (уменьшится) конечная температура? Если изменится давление, при котором пар перестает быть насыщенным?

### § 30. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА С НАСЫЩЕННЫМ ВОДЯНЫМ ПАРОМ ПРИ ЕГО ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ

Это изменение характеризуется влажноадиабатическим градиентом температуры

$$\gamma_{\text{ва}} = \gamma_{\text{а}} \frac{p + 0,622 \frac{LE}{ART'}}{p + 0,622 \frac{L^2 E}{c_p AR_{\text{н}} T'^2}}, \quad (56)$$

где  $\gamma_{\text{а}} = 1^\circ/100 \text{ м}$ ;  $p$  — атмосферное давление;  $L$  — теплота конденсации (или парообразования), вычисляемая по соотношению

$$L = 597,26 - 0,647t' \quad (57)$$

( $t'$  и  $T'$  — температура порции воздуха с насыщенным паром в °С и °К);  $E$  — упругость насыщения при данной температуре;  $A$  — тепловой эквивалент работы (см. § 23);  $R$  — удельная газовая постоянная сухого воздуха (см. § 13);  $c_p$  — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении (см. § 23);  $R_{II}$  — удельная газовая постоянная водяного пара (см. § 14).

Значение  $\gamma_{ва}^{\circ}/100$  м удобно находить по диаграмме:

$$\gamma_{ва} = \frac{(\Delta t')_{нас}}{(\Delta t')_{сух}} \gamma_a, \quad (58)$$

где  $(\Delta t')_{нас}$  — изменение температуры воздуха с насыщенным паром при перемещении между заданными уровнями, определяемое по влажной адиабате;  $(\Delta t')_{сух}$  — изменение температуры сухого воздуха при таком же перемещении, определяемое по сухой адиабате.

#### Вводные вопросы

1. Как отражается на диаграмме зависимость  $\gamma_{ва}$  от температуры и давления перемещающегося воздуха?
2. Как отражается на диаграмме приближение влажноадиабатического градиента к сухоадиабатическому при подъеме воздуха с насыщенным паром?

#### Задачи

**\*321\***. Вычислить влажноадиабатический градиент температуры для порции воздуха, находящейся при температуре  $0,0^{\circ}\text{C}$  и давлении  $1000,0$  мб. Как изменится ответ при том же давлении, но более высокой (низкой) температуре?

#### Варианты исходных данных

Вариант	Температура, °С	Давление, мб	Вариант	Температура, °С	Давление, мб	Вариант	Температура, °С	Давление, мб
1	-40,0	1000,0	11	-40,0	600,0	21	-40,0	200,0
2	-20,0	1000,0	12	-20,0	600,0	22	-20,0	200,0
3	0,0	800,0	13	0,0	400,0	23	0,0	100,0
4	20,0	1000,0	14	20,0	600,0	24	20,0	200,0
5	40,0	1000,0	15	40,0	600,0	25	40,0	200,0
6	-40,0	800,0	16	-40,0	400,0	26	-40,0	100,0
7	-20,0	800,0	17	-20,0	400,0	27	-20,0	100,0
8	0,0	600,0	18	0,0	200,0	28	10,0	1000,0
9	20,0	800,0	19	20,0	400,0	29	20,0	100,0
10	40,0	800,0	20	40,0	400,0	30	40,0	100,0

**322\***. Используя значение  $\gamma_{ва}$ , полученное в предыдущей задаче, найти температуру воздуха с насыщенным паром,

адиабатически поднявшегося на 100 м над уровнем 1000,0 мб, на котором он имел температуру  $0,0^{\circ}\text{C}$ , и адиабатически опустившегося на 200 м с этого же уровня.

Варианты исходных данных те же, что к предыдущей задаче.

**323.** На сколько охладится воздух с насыщенным паром, адиабатически поднявшийся с уровня 1000,0 мб на уровень 900,0 мб, если начальная его температура 20,0 или  $-20,0^{\circ}\text{C}$ ? Чем объясняется разница между ответами?

**324.** Влажный воздух имеет температуру  $22,8^{\circ}\text{C}$  и давление 1034,7 мб. Какую температуру он примет при адиабатическом подъеме на уровни 1000,0, 900,0, 800,0 и 700,0 мб, если на уровне конденсации давление 920,0 мб?

**325.** На уровне 730,0 мб воздух имеет температуру  $-16,3^{\circ}\text{C}$  и относительную влажность 100%. Какой станет его температура после адиабатического перемещения на уровень 980,0 мб, если на уровне конденсации давление 930,0 мб?

**326.** При давлении 1000,0 мб и температуре  $20,0^{\circ}\text{C}$  относительная влажность воздуха равна 50%. Определить давление на уровне конденсации и температуру, которую примет воздух, адиабатически поднявшийся на уровни 900,0 и 800,0 мб.

**327.** При давлении 1000,0 мб воздух имеет температуру  $28,5^{\circ}\text{C}$ . Найти давление на уровне конденсации и температуру, которую примет адиабатически поднявшийся на уровень 700,0 мб воздух, если относительная влажность на начальном уровне 20 и 80%. Чем объясняется различие результатов? Какое это имеет значение для фазового состояния облаков?

**328.** Найти по диаграмме влажноадиабатический градиент температуры, используя данные задачи 323. Чем объясняется различие результатов?

**329.** По данным задачи 324 найти влажноадиабатический градиент температуры для порции воздуха, перемещающейся от уровня 920,0 до 900,0 мб, от 900,0 до 800,0 мб и от 800,0 до 700,0 мб. Почему влажноадиабатический градиент изменяется с высотой? Почему второй ответ отличается от первого меньше, чем третий от второго? Как это отражается на конфигурации влажных адиабат?

**330.** На метеорологической станции, расположенной у подножия горы с наветренной стороны, измерены: температура  $10,7^{\circ}\text{C}$ , давление 1009,0 мб, относительная влажность 50%. На вершине горы давление 720,0 мб. Какую температуру примет воздух, переваливший через гору и опустившийся к подножию с подветренной стороны (здесь давление 1005,0 мб), если продукты конденсации полностью выпадут при подъеме? Каким был градиент температуры в поднимавшемся воздухе? Какова высота горы (рассчитать отдельно для наветренной и подветренной стороны)? Изменения состояния воздуха изобразить на диаграмме.

**§ 31. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИГРОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПО ДИАГРАММЕ И ИХ ИЗМЕНЕНИЕ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ  
ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ВОЗДУХА**

При известной относительной влажности  $r$  фактическая удельная влажность воздуха равна

$$q = r q_n, \quad (59)$$

где  $q_n$  — насыщающая удельная влажность, которая определяется по изограммам. По заданной насыщающей и фактической удельной влажности вычисляется относительная влажность. Фактическая удельная влажность может быть найдена по известной точке росы: при заданном давлении надо найти изограмму, проходящую через точку росы. Наоборот, по известной фактической удельной влажности находится точка росы.

При подъеме воздуха до уровня конденсации фактическая удельная влажность в нем не изменяется, насыщающая влажность уменьшается, а относительная возрастает и приближается к 100%; точка росы уменьшается, но медленнее, чем температура, так что разность температуры и точки росы (дефицит точки росы) тоже уменьшается и приближается к  $0,0^\circ \text{C}$ .

На уровне конденсации насыщающая удельная влажность в поднимающемся воздухе уменьшается до фактической, относительная достигает 100%, температура совпадает с точкой росы на этом уровне, дефицит точки росы обращается в нуль.

Выше уровня конденсации относительная влажность поднимающегося воздуха остается равной 100%, насыщающая и фактическая удельная влажности одинаковы и уменьшаются, точка росы совпадает с температурой, дефицит точки росы равен нулю.

Количество пара, конденсирующегося в 1 кг воздуха при его подъеме до любого уровня, лежащего выше уровня конденсации, называется конденсационным эффектом

$$\Delta q = q - q_{\text{нач}}, \quad (60)$$

где  $q$  и  $q_{\text{нач}}$  — удельная влажность поднимающегося воздуха на данном и на начальном уровнях.

При опускании воздуха (если продукты конденсации не выпали) все характеристики влажности меняются в обратном порядке.

*Вводные вопросы*

1. Если изотермы на диаграмме понимать как изолинии точки росы, то насыщающую или фактическую удельную влажность будут характеризовать изограммы?

2. Почему температура поднимающегося воздуха на уровне конденсации не совпадает с точкой росы на начальном уровне?

### Задачи

331\*. Температура  $17,0^\circ$ , давление  $1020,0$  мб, относительная влажность  $50\%$ . Найти насыщающую и фактическую удельную влажность, точку росы и дефицит точки росы. Как изменятся три первые величины, если при прочих неизменных условиях температура будет больше (меньше)? При более высоком (низком) давлении или меньшей относительной влажности?

Варианты исходных данных

Вариант	Температура, $^\circ\text{C}$	Давление, мб	Относительная влажность, %	Вариант	Температура, $^\circ\text{C}$	Давление, мб	Относительная влажность, %
1	-15,0	1050,0	20	16	0,0	1000,0	50
2	-14,0	1047,0	30	17	1,0	997,0	60
3	-13,0	1044,0	40	18	2,0	994,0	70
4	-12,0	1040,0	50	19	3,0	990,0	80
5	-11,0	1037,0	60	20	4,0	987,0	70
6	-10,0	1034,0	70	21	5,0	984,4	60
7	-9,0	1030,0	80	22	6,0	984,0	50
8	-8,0	1027,0	70	23	7,0	977,0	40
9	-7,0	1024,0	60	24	8,0	974,0	30
10	-6,0	1020,0	50	25	9,0	970,0	20
11	-5,0	1017,0	40	26	10,0	967,0	30
12	-4,0	1014,0	30	27	11,0	964,0	40
13	-3,0	1010,0	20	28	12,0	960,0	50
14	-2,0	1007,0	30	29	13,0	957,0	60
15	-1,0	1004,0	40	30	14,0	954,0	70

332. Температура  $18,9^\circ\text{C}$ , давление  $990,0$  мб, удельная влажность  $3,5$  г/кг. Определить относительную влажность, точку росы и дефицит точки росы.

333. Температура  $14,8^\circ\text{C}$ , давление  $970,0$  мб, точка росы  $4,8^\circ\text{C}$ . Определить удельную и относительную влажность, вычислить дефицит точки росы.

334. Температура  $26,8^\circ\text{C}$ , давление  $1010,0$  мб, дефицит точки росы  $10,0^\circ\text{C}$ . Определить удельную и относительную влажность.

335. Давление  $990,0$  мб, точка росы  $12,3^\circ\text{C}$ , дефицит точки росы  $16,0^\circ\text{C}$ . Определить удельную и относительную влажность.

336. При вертикальном зондировании атмосферы получены следующие результаты:

$p$ мб . . . . .	1000,0	900,0	800,0	700,0	600,0
$t$ $^\circ\text{C}$ . . . . .	20,0	14,9	10,5	7,1	3,1
$q$ г/кг . . . . .	6,0	8,0	5,0	3,0	4,0

Найти относительную влажность, точку росы и дефицит точки росы на каждом уровне.

337. При вертикальном зондировании атмосферы получены следующие результаты:

$p$ мб . . . . .	900,0	830,0	770,0	660,0	630,0
$t$ °С . . . . .	27,2	22,4	20,7	17,3	14,0

Определить удельную влажность на каждом уровне.

338. У поверхности земли температура  $30,5^{\circ}\text{C}$ , давление  $984,2$  мб, относительная влажность  $50\%$ . Определить давление на уровне конденсации. Найти удельную и относительную влажность, точку росы и дефицит точки росы в поднимающемся воздухе на уровнях: начальном,  $900,0$  мб, конденсации,  $800,0$  и  $700,0$  мб. Вычислить конденсационный эффект при подъеме до уровней  $800,0$  и  $700,0$  мб. Чем по существу отличается данная задача от предыдущей?

339. У поверхности земли температура  $-4,2^{\circ}\text{C}$ , давление  $950,0$  мб, относительная влажность  $60\%$ . Найти конденсационный эффект при подъеме воздуха до уровня  $750,0$  мб.

340. У поверхности земли температура  $21,2^{\circ}\text{C}$ , давление  $990,0$  мб, относительная влажность  $75\%$ . До какого уровня поднялся воздух, если в  $1$  кг содержится  $4,0$  г воды?

### § 32. НЕКОТОРЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Эквивалентная  $t_s$  — это температура, которую примет воздух, если при данном давлении весь пар сконденсируется, а выделившееся тепло пойдет только на нагревание воздуха:

$$t_s = t + 2,5q, \quad (61)$$

где  $t$  — температура воздуха;  $q$  — удельная влажность в г/кг. Если пар непосредственно переходит в твердую фазу, то

$$t_s = t + 2,84q. \quad (62)$$

Эквивалентно-потенциальная  $t_{\text{эл}}$  — это температура, которую примет воздух, если при данном давлении весь пар сконденсируется и выделившееся тепло пойдет только на нагревание, а затем воздух будет сухоадиабатически приведен к давлению  $1000,0$  мб. Иначе говоря, это потенциальная температура воздуха, который на начальном уровне имел температуру, равную эквивалентной:

$$t_{\text{эл}} = \Theta + \Delta\Theta, \quad (63)$$

где  $\Theta$  — потенциальная температура,

$$\Delta\Theta = 2,5q \left( \frac{1000}{p} \right)^{0,286}.$$

Псевдопотенциальная  $t_{\text{пс}}$  — это температура, которую примет воздух, если поднять его сухоадиабатически до уровня

конденсации и затем влажноадиабатически до высоты, на которой сконденсируется весь пар, а продукты конденсации полностью выпадут, после чего сухоадиабатически привести его к давлению 1000,0 мб (псевдоадиабатический процесс). Эта температура на диаграмме надписана на влажных адиабатах.

#### Вводные вопросы

1. Изменяется ли эквивалентная температура воздуха, если при постоянном давлении изменяется фазовое состояние содержащейся в нем воды?
2. Как изменяется потенциальная температура при влажноадиабатических процессах? Как при этом изменяется величина  $\Delta\Theta$  в формуле (63)?
3. Изменяется ли эквивалентно-потенциальная температура при влажноадиабатическом процессе?
4. Чем отличается псевдоадиабатический процесс от влажноадиабатического? Какой из них является обратимым?

#### Задачи

341. Температура  $13,8^\circ\text{C}$ , давление 900,0 мб, относительная влажность 40%. Найти эквивалентную температуру. Как изменится результат, если при прочих равных условиях температура будет больше (меньше) заданной? При изменении заданной относительной влажности?

342. При одинаковом давлении 950,0 мб первая порция воздуха имеет температуру  $18,3^\circ\text{C}$  и относительную влажность 40%, вторая — температуру  $15,8^\circ\text{C}$  и относительную влажность 80%. У какой порции эквивалентная температура выше и на сколько градусов? Всегда ли будет такое соотношение между эквивалентными температурами двух порций воздуха с разной температурой?

343. Какими должны быть удельная и относительная влажности второй порции в предыдущей задаче, чтобы ее эквивалентная температура была не ниже, чем у первой порции?

344. Какими должны быть удельная и относительная влажности первой порции воздуха в задаче 342, чтобы ее эквивалентная температура была не выше, чем у второй порции?

345. Две порции воздуха находятся при одинаковом давлении 1000,0 мб, температура первой порции  $31,8^\circ\text{C}$ , а второй  $24,8^\circ\text{C}$ . Какими должны быть их удельная и относительная влажности, чтобы эквивалентная температура обеих порций была  $46,8^\circ\text{C}$ ?

346. Температура  $18,8^\circ\text{C}$ , давление 980,0 мб, относительная влажность 50%. Найти эквивалентно-потенциальную температуру. Как изменится результат, если температура будет выше (ниже) заданной? Если изменится относительная влажность?

347. Температура  $-4,2^{\circ}\text{C}$ , давление  $950,0$  мб, относительная влажность  $67\%$ . Найти эквивалентно-потенциальную температуру поднимающейся порции воздуха на начальном уровне, на уровне конденсации и на уровне  $800,0$  мб. Является ли соотношение между ответами частным случаем или общей закономерностью?

348. Температура  $6,8^{\circ}\text{C}$ , давление  $1022,0$  мб, относительная влажность  $60\%$ . Найти потенциальную и эквивалентно-потенциальную температуру поднимающейся порции воздуха на начальном уровне, уровне конденсации и на уровнях  $900,0$ ,  $800,0$  и  $700,0$  мб. Почему изменяются эти температуры?

349. Воздух с насыщенным паром имеет температуру  $-24,4^{\circ}\text{C}$  и давление  $700,0$  мб. Найти его потенциальную и эквивалентно-потенциальную температуру на начальном уровне и при адиабатическом опускании на уровнях  $800,0$ ,  $900,0$  и  $1000,0$  мб, если пар остается насыщенным.

350. По данным задачи 336 найти потенциальную, эквивалентную и эквивалентно-потенциальную температуру на всех уровнях. Почему в настоящей задаче потенциальная и эквивалентно-потенциальная температура изменяется с высотой иначе, чем в двух предыдущих задачах?

351. Температура  $21,7^{\circ}\text{C}$ , давление  $1020,0$  мб, относительная влажность  $75\%$ . Найти потенциальную и псевдопотенциальную температуру. Чем объясняется соотношение между ответами? Как изменится второй ответ при изменении одной из заданных величин?

352. Найти псевдопотенциальную температуру порции воздуха, рассмотренной в задаче 348. Почему псевдопотенциальная температура несколько отличается от потенциальной и эквивалентно-потенциальной?

353. По данным задачи 336 найти псевдопотенциальную температуру на всех уровнях. Почему в данной задаче псевдопотенциальная температура изменяется с высотой иначе, чем в предыдущей задаче?

### § 33. СТРАТИФИКАЦИЯ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ

Стратификация слоя атмосферы определяется: а) по вертикальному градиенту температуры  $\gamma$ : если  $\gamma < \gamma_a$ , то слой сухоустойчив, если  $\gamma = \gamma_a$ , то он сухобезразличен, а при  $\gamma > \gamma_a$  сухонеустойчив. При  $\gamma < \gamma_{ва}$  слой влажноустойчив, при  $\gamma = \gamma_{ва}$  влажнобезразличен и при  $\gamma > \gamma_{ва}$  влажнонеустойчив; б) по изменению с высотой потенциальной и псевдопотенциальной температуры: если  $\Theta$  растет с высотой, то слой сухоустойчив, если  $\Theta(z) = \text{const}$ , то он сухобезразличен, а при уменьшении  $\Theta$  с высотой сухонеустойчив. При росте  $t_{\text{пс}}$  с высотой слой влажноустойчив, при  $t_{\text{пс}}(z) = \text{const}$  он влажнобезразличен и при уменьшении  $t_{\text{пс}}$  с высотой влажнонеустойчив; в) по аэрологической диаграмме, для

чего строится «кривая стратификации». Если отдельный ее отрезок поднимается круче сухой адиабаты, проходящей через его начало, то данный слой сухоустойчив, если он совпадает с сухой адиабатой, то слой сухобезразличен, если же проходит более полого, то слой сухонеустойчив. Сравнение тех же отрезков с влажными адиабатами позволяет судить о влажноустойчивости или влажнонеустойчивости.

По кривой стратификации можно также определить давление на уровне конвекции, для чего нужно найти точку ее пересечения с кривой состояния. Высоту уровня конвекции можно приближенно найти, продолжив от уровня конденсации вверх до уровня конвекции сухую адиабату, отвечающую нижней части кривой состояния.

#### *Вводные вопросы*

1. Как влияют на вертикальные перемещения сухого воздуха сухоустойчивые, сухобезразличные и сухонеустойчивые слои?
2. Может ли слой быть сухоустойчивым, но влажнонеустойчивым и наоборот?
3. Какими являются сухонеустойчивые и сухобезразличные слои по отношению к вертикальным перемещениям воздуха с насыщенным паром? Каким является влажноустойчивый слой по отношению к вертикальным перемещениям воздуха с ненасыщенным паром?
4. Какое влияние оказывает стратификация атмосферы на развитие различных атмосферных процессов?

#### *Задачи*

354. На высоте 2,5 км температура 3,0° С, а на высоте 3 км 0,0° С. Определить стратификацию этого слоя по отношению к вертикальным перемещениям сухого воздуха. Можно ли в данном случае судить о стратификации по отношению к воздуху с насыщенным паром? При каком условии порция сухого воздуха, находящегося на высоте 2,5 км, могла бы начать подниматься?

355. На площадке ЛГМИ в Даймище в 15 час 16/VII 1964 г. измерена температура на высоте 1 м 27,2° С и на высоте 2 м 26,6° С. Определить стратификацию данного слоя атмосферы. Можно ли судить о его стратификации по отношению к воздуху с насыщенным паром?

356. На той же площадке и в тот же день в 21 час на высоте 1 м измерена температура 15,1° С, а на высоте 2 м 15,4° С. Определить стратификацию слоя.

357. При зондировании атмосферы получены следующие результаты:

$z$ м	. . . . .	0	100	300	500	700	1000
$t$ ° С	. . . . .	16,2	14,6	12,6	11,2	11,2	12,4
$\gamma_{ва}$ °/100 м	. . . . .	0,75	0,80	0,65	0,80	0,70	

(последняя строка рассчитана). Определить стратификацию каждого слоя. Каковы знаки вертикального градиента температуры при ее уменьшении и росте с высотой? Какие специальные названия имеют в данном случае слои 500—700 и 700—1000 м? Одинакова ли устойчивость найденных устойчивых слоев?

358. Охарактеризовать стратификацию по отношению к вертикальным перемещениям сухого воздуха, а если возможно, то и воздуха с насыщенным паром, если вертикальный градиент равен: 1,2; 1,0; —1,2; 0,3; 0,6; 0,8; 0,0°/100 м.

359. Из наблюдений над распространением дыма в нижнем 100-метровом слое атмосферы сделан вывод о неустойчивости его стратификации. Что можно предположить о значении температуры на высоте 100 м, если у поверхности земли она 17,7°С?

360. Какой должна быть температура на высоте 2 км, чтобы слой 2—3 км был сухоустойчив, если на высоте 3 км температура —7,1°С?

361. На высоте 2,5 км температура —8,7°С, а у поверхности земли температура 9,3°С и давление 1037,5 мб. Найти изменение потенциальной температуры с высотой и определить стратификацию данного слоя по отношению к вертикальным перемещениям сухого воздуха. Проверить ответ, вычислив вертикальный градиент температуры. Как должна измениться температура на высоте, чтобы ответ оказался противоположным?

362. У поверхности земли температура —12,8°С, а на высоте 2 км —21,3°С. Как изменяется потенциальная температура с высотой? Как должна измениться температура у поверхности, чтобы ответ стал противоположным?

363. Считая, что в нижних слоях атмосферы отношение потенциальной температуры к температуре воздуха близко к единице, приблизительно определить вертикальные градиенты потенциальной температуры, используя условия задачи 358. Результаты сопоставить с ответами к этой задаче.

364. На уровне 960,0 мб температура —20,0°С, а на уровне 800,0 мб —28,0°С. По изменению потенциальной температуры с высотой определить состояние данного слоя относительно вертикальных перемещений сухого воздуха.

365. Используя результаты задач 350 и 353, определить стратификацию соответствующих слоев.

366. Решить задачу 364 по диаграмме без нахождения потенциальной температуры.

Если с нижнего уровня начнет подниматься порция сухого воздуха, то какова будет ее температура по сравнению с окружающей средой на любом уровне в пределах данного слоя? Ответить на тот же вопрос в отношении порции воздуха с насыщенным паром. Каков знак ускорения конвекции этих порций? Куда они будут перемещаться при отсутствии внешней силы?

При каком условии они могут подниматься? Что можно сказать о влиянии данного слоя на вертикальные перемещения воздуха?

367. На уровне 960,0 мб температура  $-20,0^{\circ}\text{C}$ , а на уровне 800,0 мб  $-40,0^{\circ}\text{C}$ . Определить стратификацию слоя.

Если с верхнего уровня начнет опускаться порция сухого воздуха, то какова будет ее температура по сравнению с окружающей средой на любом уровне в пределах данного слоя? Ответить на тот же вопрос в отношении порции воздуха с насыщенным паром. Каков знак ускорения конвекции этих порций? Нужна ли для их перемещения внешняя сила? Что можно сказать о влиянии данного слоя на вертикальные перемещения воздуха?

368. На уровне 1000,0 мб температура  $14,7^{\circ}\text{C}$ , а на уровне 800,0 мб  $2,0^{\circ}\text{C}$ . Определить стратификацию слоя.

Ответить на вопросы задач 366 и 367.

369. На уровне 960,0 мб температура  $-20,0^{\circ}\text{C}$ , а на уровне 800,0 мб  $-33,2^{\circ}\text{C}$ . Определить стратификацию слоя.

Ответить на вопросы задач 366 и 367.

370. На уровне 960,0 мб температура  $-20,0^{\circ}\text{C}$ , а на уровне 800,0 мб  $-31,8^{\circ}\text{C}$ . Определить стратификацию слоя.

Ответить на вопросы задач 366 и 367.

371. При зондировании атмосферы получены следующие результаты:

<i>p</i> мб . . . . .	1020,0	950,0	900,0	820,0	660,0	610,0	550,0
<i>t</i> °C . . . . .	4,1	-8,9	-13,0	-19,0	-22,0	-31,0	-30,0

Определить стратификацию прозондированных слоев.

372. По данным предыдущей задачи определить высоту уровня конвекции и конденсационный эффект при подъеме до этого уровня, если на начальном уровне относительная влажность 60%. Какова примерная высота верхней границы конвективных облаков при этих условиях?

373. По данным задачи 371 найти высоту уровня конденсации и уровня конвекции, конденсационный эффект и примерную вертикальную мощность конвективного облака, образующегося в случае перегрева порций воздуха на начальном уровне на  $2,6^{\circ}\text{C}$ . Как изменятся полученные ответы при увеличении (уменьшении) перегрева?

Как зависит вертикальная мощность конвективного облака от взаимного положения уровней конденсации и конвекции?

374. При зондировании получены следующие результаты:

<i>p</i> мб . . . . .	970,0	880,0	820,0	630,0	520,0	470,0
<i>t</i> °C . . . . .	17,5	12,0	1,2	-14,0	-19,0	-19,0

Определить стратификацию прозондированных слоев. Какой из сухоустойчивых слоев наиболее устойчив? Какой из влажно-неустойчивых слоев наиболее неустойчив?

375. При зондировании получены следующие результаты:

$p$ мб . . . . .	1000,0	940,0	840,0	700,0	650,0	600,0
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	10,0	5,0	-5,0	-15,0	-13,0	-20,0

Определить стратификацию прозондированных слоев. Какой из сухонеустойчивых слоев наиболее неустойчив?

376 \*\*. При зондировании атмосферы получены следующие результаты:

$p$ мб . . . . .	1000,0	970,0	900,0	770,0	630,0	540,0	480,0
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	0,0	-8,0	-13,0	-19,5	-24,0	-24,0	-29,0

Определить: стратификацию прозондированных слоев; высоту уровня конвекции для порции сухого воздуха, поднимающейся с начального уровня без перегрева и с перегревом на 5,0 и на 10,0°С; высоту уровней конденсации и конвекции для порции воздуха, которая на начальном уровне перегрелась на 6,5°С и приобрела относительную влажность 50%; удельную и относительную влажность той же порции на уровнях 1000,0, 900,0, 800,0, 700,0 мб и на уровне конвекции; конденсационный эффект при ее подъеме до последнего уровня; ее потенциальную, эквивалентную, эквивалентно-потенциальную и псевдопотенциальную температуру на тех же уровнях.

377 \*\*. При зондировании атмосферы получены следующие результаты:

$p$ мб . . . . .	1000,0	970,0	900,0	770,0	630,0	540,0	480,0
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	-10,0	-17,8	-23,2	-29,5	-34,0	-34,0	-38,7

Определить: стратификацию прозондированных слоев; высоту уровня конденсации, если относительная влажность у земли равна 72%; высоту уровня конвекции для порции воздуха, поднимающейся с начального уровня без перегрева; температуру, удельную и относительную влажность, точку росы, потенциальную, эквивалентную, эквивалентно-потенциальную и псевдопотенциальную температуру этой порции на уровнях 1000,0, 950,0, 900,0, 800,0 и 750,0 мб (результат представить в виде таблицы); конденсационный эффект при ее подъеме до уровня конвекции; относительную и удельную влажность окружающего воздуха на тех же уровнях, если точка росы на них -13,3, -23,3, -26,8, -30,4, -33,8°С.

378 \*\*. При зондировании атмосферы получены следующие результаты:

$p$ мб . . . . .	1000,0	900,0	820,0	760,0	690,0	620,0	580,0	500,0
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	19,1	8,0	1,0	-3,0	-4,0	-4,0	-2,0	-8,5
$r\%$ . . . . .	50	70	80	—	—	—	—	—

Определить: стратификацию прозондированных слоев; высоту уровня конденсации; высоту уровня конвекции для порции воздуха, поднимающейся с начального уровня без перегрева; высоту уровня конденсации и уровня конвекции для порции, перегретой на начальном уровне на  $5,0^{\circ}\text{C}$ ; удельную и относительную влажность порции, поднимающейся без начального перегрева, на уровнях 900,0, 800,0 и 700,0 мб; конденсационный эффект при ее подъеме до тех же уровней и до уровня конвекции; ее эквивалентную и псевдопотенциальную температуру на уровнях: начальном, конденсации и конвекции; точку росы в окружающей атмосфере на первых трех прозондированных уровнях.

379 \*\*. Зондирование атмосферы дало следующие результаты:

$p$ мб . . . . .	1000,0	890,0	810,0	720,0	660,0	600,0	560,0	500,0	450,0
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	16,0	2,0	-5,5	-13,0	-17,0	-19,0	-17,0	-20,5	-22,0
$r^{\circ}/_0$ . . . . .	40	50	80	70	60	—	—	—	—

Определить: стратификацию прозондированных слоев; потенциальную, эквивалентную и эквивалентно-потенциальную температуру на первых пяти уровнях; высоту уровня конвекции для порции воздуха, перегретой на начальном уровне на  $5,0^{\circ}\text{C}$  и имеющей относительную влажность 50%; абсолютную влажность этой порции на уровне конвекции; конденсационный эффект при ее подъеме до этого уровня.

380 \*\*. При зондировании атмосферы получено следующее распределение температуры и влажности:

$p$ мб . . . . .	1030,0	940,0	870,0	720,0	610,0	490,0	400,0
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	22,3	9,2	4,0	-10,9	-8,0	-19,4	-19,4
$\tau^{\circ}\text{C}$ . . . . .	8,5	2,0	-7,0	-13,5	-20,3	-32,8	-29,2

Определить: фактическую и насыщающую • удельную влажность, относительную влажность, потенциальную, эквивалентную и псевдопотенциальную температуру на прозондированных уровнях (результаты представить в виде таблицы) стратификацию прозондированных слоев (ответы проверить по изменению потенциальной и псевдопотенциальной температуры); давление на уровне конденсации и его высоту для порции воздуха, поднимающейся с начального уровня без перегрева; давление на уровне конвекции и его высоту для той же порции; (примерную вертикальную мощность конвективных облаков); температуру, фактическую и насыщающую удельную влажность, относительную влажность, точку росы, потенциальную, эквивалентную, псевдопотенциальную температуру и ускорение конвекции той же порции на уровнях: начальном, 900,0 мб, конденсации, 700,0 мб и конвекции (составить таблицу); конденсационный эффект при подъеме порции до уровня конвекции.

87

Варианты исходных данных

Вариант		Уровень, мб						
		1020,0	950,0	850,0	700,0	600,0	500,0	400,0
1	t	35,0	21,0	9,0	4,0	0,0	0,0	2,1
	τ	22,0	10,1	2,9	1,1	-1,9	-1,9	-5,0
2	t	28,1	10,1	2,9	1,1	-1,9	-1,9	-5,0
	τ	13,8	6,0	-4,4	-13,8	-7,0	-5,3	-8,3
3	t	13,8	6,0	-4,4	-13,8	-7,0	-5,3	-8,3
	τ	0,2	-2,8	-8,5	-24,7	-11,0	-11,5	-10,9
4	t	32,1	15,7	8,8	-13,8	-11,0	-11,5	-10,0
	τ	17,2	2,3	-5,4	-16,2	-14,8	-16,9	-16,0
5	t	17,2	2,3	-5,4	-16,2	-14,8	-16,9	-16,0
	τ	2,4	-8,1	-16,2	-22,5	-20,0	-22,0	-51,0
6	t	2,4	-8,1	-16,2	-26,9	-20,0	-22,0	-51,0
	τ	-10,5	-22,3	-29,8	-29,9	-20,9	-34,9	-55,6
7	t	-10,5	-22,3	-29,8	-37,8	-42,3	-32,8	-23,6
	τ	-23,2	-25,8	-31,4	-41,6	-46,2	-41,6	-34,8
8	t	33,6	24,8	15,5	7,2	6,4	9,7	10,3
	τ	19,7	10,0	8,2	3,5	0,1	0,7	7,2
9	t	26,4	10,0	8,2	-0,5	0,1	0,7	7,2
	τ	14,5	1,0	-7,0	-11,1	-14,3	-12,8	-3,2
10	t	14,5	1,0	-7,0	-11,1	-14,3	-12,8	3,2
	τ	4,7	-2,0	-10,2	-13,7	-18,5	-16,8	-8,4
11	t	17,2	-2,0	-10,2	-13,7	-18,5	-16,8	-8,4
	τ	6,7	-9,2	-16,0	-16,0	-27,0	-18,4	-17,1
12	t	20,0	-9,2	-16,0	-16,0	-27,0	-18,4	-17,1
	τ	3,8	-14,7	-18,1	-23,8	-29,7	-24,9	-20,8
13	t	3,8	-14,7	-18,1	-23,8	-29,7	-24,9	-20,8
	τ	-9,7	-28,3	-37,7	-43,3	-37,7	-35,5	-27,6
✓14	t	-9,7	-28,3	-37,7	-43,3	-37,7	-35,5	-27,6
	τ	-23,0	-33,7	-39,4	-44,3	-40,3	-36,2	-30,1
15	t	31,8	16,2	9,6	-0,8	0,8	7,0	3,2
	τ	18,2	10,7	2,7	-13,5	-5,0	0,8	2,1
16	t	18,2	10,7	2,7	-13,5	-5,0	0,8	2,1
	τ	7,8	-1,8	-9,4	-25,4	-19,1	-6,6	-2,4
17	t	7,8	-1,8	-9,4	-25,4	-19,1	-6,6	-2,4
	τ	-8,1	-14,9	-22,0	-27,1	-24,0	-13,9	-8,2
18	t	5,3	-14,9	-22,0	-27,1	-24,0	-13,9	-8,2
	τ	-9,8	-18,0	-25,3	-29,2	-27,1	-18,4	-8,2
19	t	2,6	-18,0	-25,3	-29,2	-27,1	-18,4	-8,2
	τ	-9,8	-30,0	-41,0	-50,0	-39,8	-35,0	-17,6
20	t	-9,8	-30,0	-41,0	-50,0	-39,8	-35,0	-17,6
	τ	-19,8	-31,7	-44,0	-51,1	-45,3	-35,8	-19,7

Вариант		Уровень, мб						
		1020,0	950,0	850,0	700,0	600,0	500,0	400,0
21	t	29,2	18,3	11,5	7,2	4,8	7,6	6,0
	τ	19,5	14,5	8,5	0,9	1,5	3,2	4,3
22	t	26,6	14,5	8,5	0,9	1,5	3,2	4,3
	τ	14,2	6,9	-1,7	-5,8	-2,3	0,9	1,9
23	t	23,7	6,9	-1,7	-5,8	-2,3	0,9	1,9
	τ	12,5	1,2	-8,3	-8,1	-4,3	-3,7	0,7
24	t	20,5	1,2	-8,3	-8,1	-4,3	-3,7	0,7
	τ	4,6	-2,6	-10,7	-10,0	-9,5	-6,7	-4,0
25	t	17,8	-2,6	-10,7	-10,0	-9,5	-6,7	-4,0
	τ	3,8	-6,1	-13,8	-12,1	-10,6	-8,3	-4,4

## ГЛАВА VI

### ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ В АТМОСФЕРЕ

#### § 34. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ АТМОСФЕРЫ

К солнечной радиации применимы законы температурного излучения абсолютно черных тел:

а) закон смещения (закон Вина)

$$\lambda_m T = \text{const}, \quad (64)$$

где  $\lambda_m$  — длина волны, на которую приходится наибольшая энергия;  $T$  — температура излучающей поверхности в °К. В СИ  $\lambda_m$  выражается в мкм и  $\text{const} = 2898 \text{ мкм} \cdot \text{°К}$ ;

б) закон Стефана—Больцмана

$$E = \sigma T^4, \quad (65)$$

где  $E$  — излучательная способность;  $\sigma$  — постоянная Стефана—Больцмана;  $T$  — температура излучающей поверхности в °К. В СИ  $\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°К}^4)$ , в практических единицах  $\sigma = 0,81252 \cdot 10^{-10} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин} \cdot \text{°К}^4)$  (перевод  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  в  $\text{вт}/\text{м}^2$  см. в приложении 7). Закон Стефана—Больцмана позволяет найти солнечную постоянную  $S_0$ , т. е. поток солнечной радиации на верхней границе атмосферы при среднем расстоянии Земли от Солнца. В практических единицах ее значение равно  $1,98 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , в СИ  $1382 \text{ вт}/\text{м}^2$ .

Приход солнечной радиации на верхней границе атмосферы на горизонтальную площадку определяется выражением

$$S'_0 = S_0 \sin h_{\odot}, \quad (66)$$

где  $h_{\odot}$  — высота солнца.

Теоретическая суточная сумма солнечной радиации:

$$\sum_{\text{сут}} S'_0 = \frac{S_0 T}{\pi} (\tau_0 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \tau_0), \quad (67)$$

где  $T$  — период вращения Земли вокруг оси (остальные

обозначения пояснены в главе I). На широтах более  $66,5^\circ$  в период полярного дня  $\tau_d = \pi = 3,14 \text{ рад}$ , в период полярной ночи  $\sum_{\text{сут}} S'_0 = 0$ .

### Вводные вопросы

1. Какие характеристики лучистой энергии наиболее широко используются в метеорологии?
2. Каковы источники трех потоков лучистой энергии, играющих наибольшую роль в атмосферных процессах?
3. Каков спектр солнечной радиации на верхней границе атмосферы?

### Задачи

381. За пределами атмосферы видимая часть солнечного спектра соответствует излучению абсолютно черного тела с температурой  $6116^\circ \text{K}$ . Вычислить длину волны, имеющей наибольшую энергию.

Какая из величин, фигурирующих в задаче, в действительности находится из измерений (и экстраполицией за пределы атмосферы), а какая вычисляется? На какую область спектра приходится наибольшая энергия в солнечной радиации? В каких других областях спектра лучистой энергии и в каких относительных количествах солнечная радиация также поступает в земную атмосферу? Поступает ли в атмосферу лучистая энергия от других источников? Каков смысл термина «коротковолновая радиация»?

382. Полный спектр излучения Солнца примерно соответствует излучению абсолютно черного тела с температурой  $5710^\circ \text{K}$ . Вычислить в практических единицах излучательную способность Солнца и общее излучение всей его поверхности (радиус Солнца  $695,6 \cdot 10^3 \text{ км}$ ).

383. Во сколько раз излучательная способность Солнца больше, чем у нити горячей электролампочки, если оба объекта излучают как абсолютно черные тела с температурами, соответственно равными  $6000$  и  $2000^\circ \text{K}$ ?

384. Используя результат задачи 382, вычислить в практических единицах и в СИ значение солнечной постоянной.

Указание: считать Солнце точечным источником, находящимся в центре сферы, радиус которой равен среднему расстоянию от Солнца до Земли ( $149 \cdot 10^6 \text{ км}$ ).

385. Доказать, что если считать Солнце точечным источником, то солнечные постоянные для разных планет обратно пропорциональны квадратам расстояний их центров от центра Солнца.

386. Используя результат задачи 385, вычислить в единицах СИ солнечную постоянную для Марса (расстояние между центрами Марса и Солнца  $230 \cdot 10^6 \text{ км}$ ).

387. Вычислить поток солнечной радиации на верхней границе атмосферы 2/1 (Земля в перигелии, расстояние до Солнца  $147 \cdot 10^6$  км) и 4/VII (Земля в афелии, расстояние до Солнца  $152 \cdot 10^6$  км).

Указание: использовать среднее расстояние от Солнца до Земли ( $149 \cdot 10^6$  км) и значение солнечной постоянной.

388. Используя результаты задачи 387, найти среднее из двух крайних значений потока и их отклонения от среднего годового значения.

389\*. Вычислить поток солнечной радиации на верхней границе атмосферы 15/III. Отношение квадрата расстояния от Земли до Солнца в данный день к квадрату среднего годового расстояния равно 0,990.

Варианты исходных данных

Вариант	Дата	Отноше- ние	Вариант	Дата	Отноше- ние	Вариант	Дата	Отноше- ние
1	1/I	0,967	11	15/V	1,022	21	20/II	0,978
2	25/I	0,969	12	20/V	1,024	22	5/IX	1,016
3	1/II	0,971	13	25/V	1,026	23	10/IX	1,014
4	10/II	0,974	14	1/VI	1,028	24	15/IX	1,011
5	1/III	0,982	15	10/VI	1,031	25	25/X	0,989
6	10/III	0,987	16	5/VII	1,034	26	1/XI	0,985
7	25/IV	1,012	17	20/VII	1,032	27	5/XI	0,983
8	1/V	1,015	18	1/VIII	1,030	28	10/XI	0,981
9	5/V	1,017	19	10/VIII	1,027	29	20/XI	0,976
10	10/V	1,020	20	1/IX	1,018	30	10/XII	0,970

390. Вычислить количество солнечной радиации, приходящей к Земле (вместе с атмосферой) за 1 мин, сутки и год, и средний по всей поверхности атмосферы поток этой радиации на верхней ее границе за те же интервалы.

391. Используя результаты задач 382 и 390, найти долю всего излучения Солнца, доходящую до верхней границы атмосферы.

392. Вычислить толщину слоя льда, который мог бы растаять за год, если бы лед равномерно покрывал всю Землю, имел температуру  $0,0^\circ\text{C}$  и поглощал всю солнечную радиацию, приходящую к Земле за этот период. Средняя плотность льда  $0,9 \text{ г/см}^3$ , теплота плавления  $80 \text{ кал/г}$ .

393. В 1965 г. мировая добыча угля составила около  $2 \cdot 10^9$  т, нефти — около  $1,5 \cdot 10^9$  т. Вычислить количество тепла, которое выделится при сжигании всего этого топлива (теплотворная способность угля в среднем  $10^3 \text{ ккал/кг}$ , нефти  $0,75 \cdot 10^3 \text{ ккал/кг}$ ). Сравнить результат с годовым приходом солнечной радиации

к Земле (см. задачу 390) и сделать вывод о роли последнего в энергетическом бюджете планеты.

394. Из недр Земли к  $1 \text{ см}^2$  ее поверхности за год поступает около 50 кал тепла. Используя результат задачи 390, найти отношение годового прихода солнечной радиации к поступлению тепла из глубин Земли.

395. Вычислить в единицах СИ поток солнечной радиации на горизонтальную площадку на верхней границе атмосферы при высотах солнца 0, 15, 30, 40, 60, 75 и 90°. Результаты представить в виде графика.

396\*. Вычислить в  $\text{кал/см}^2$  теоретические суточные суммы солнечной радиации в день летнего солнцестояния на экваторе, на широтах 30, 60° и на Северном полюсе. Результаты представить графически. Чем объясняется широтное изменение этой величины?

#### Варианты исходных данных

Вариант	Дата	Вариант	Дата	Вариант	Дата	Вариант	Дата	Вариант	Дата	Вариант	Дата
1	1/V	6	12/V	11	23/V	16	10/VI	21	17/VII	26	29/VII
2	4/V	7	14/V	12	26/V	17	2/VII	22	20/VII	27	31/VII
3	6/V	8	16/V	13	29/V	18	7/VII	23	22/VII	28	2/VIII
4	8/V	9	18/V	14	1/VI	19	11/VII	24	24/VII	29	4/VIII
5	10/V	10	21/V	15	5/VI	20	14/VII	25	27/VII	30	6/VIII

Результат каждого варианта нанести на ранее построенный график и объяснить причины различия широтного изменения теоретических сумм в разные дни.

397. Решить задачу 396 для дня зимнего солнцестояния. Результат нанести на построенный в ней график. Как изменился его вид для каждой широты?

Как сказывается годовое изменение теоретических сумм радиации на одной и той же широте на амплитуде годового хода температуры почвы и нижнего слоя атмосферы?

398. Решить задачу 396 для дней весеннего и осеннего равноденствия. Результаты нанести на построенный в ней график и сравнить с ответами к двум предыдущим задачам.

399\*. Вычислить теоретические суточные суммы солнечной радиации на широте 60° 15-го числа всех четных месяцев. Построить и проанализировать график годового хода теоретических суточных сумм на данной широте. Как изменится результат для широт менее 23,5° или более 66,5°?

Варианты исходных данных

Вариант	Число	Вариант	Число	Вариант	Число	Вариант	Число	Вариант	Число	Вариант	Число
1	6	6	5	11	4	16	3	21	2	26	1
2	12	7	26	12	10	17	9	22	8	27	7
3	19	8	18	13	17	18	16	23	14	28	13
4	25	9	24	14	23	19	22	24	21	29	20
5	11	10 <sup>1</sup>	30	15	29	20	28	25	27	30 <sup>2</sup>	31

<sup>1</sup> Для февраля в этом варианте взять 29-е число.

<sup>2</sup> Этот вариант выполнить для месяцев, имеющих 31 день

400\*. Решить задачу 399 для широты 30°. Результат нанести на построенный в ней график и объяснить различия в годовом ходе теоретических сумм на разных широтах.

Варианты исходных данных

Вариант	Широта										
1	3°	6	50°	11	14°	16	65°	21	38°	26	86°
2	11	7	62	12	23	17	74	22	45	27	48
3	20	8	71	13	35	18	83	23	56	28	59
4	32	9	80	14	43	19	17	24	68	29	89
5	41	10	5	15	53	20	26	25	77	30	8

§ 35. ПРОХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ

Ослабление солнечной радиации при прохождении через атмосферу определяется, например, интегральным коэффициентом прозрачности атмосферы  $P$ :

$$P = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (68)$$

где  $S$  — поток прямой радиации у земной поверхности;  $S_0$  — солнечная постоянная;  $m$  — число масс, пройденных солнечными лучами (см. приложение 8).

Интегральный коэффициент прозрачности связан с коэффициентом экстинкции (ослабления)  $a$  соотношением

$$P = e^{-a}, \quad (69)$$

где  $e$  — основание натуральных логарифмов.

Для исключения зависимости  $P$  от  $m$  нужно приводить значения  $P$ , найденные при разных  $m$ , к одинаковому  $m$ , например к  $m=1$ :

$$P_1 = \frac{P^m m}{1 + P^m (m-1)} \text{ или } P_1 = \frac{Sm}{S_0 + S(m-1)}. \quad (70)$$

С. И. Сивков разработал методику приведения измеренных  $P$  к  $m=2$ :

а) по измеренному  $S$  и дате измерения находится поправка  $\Delta S$  для приведения  $S$  к среднему расстоянию от Земли до Солнца (см. приложение 9), после чего вычисляется

$$S_p = S + \Delta S;$$

б) по  $S_p$  и высоте солнца делается приведение  $S_p$  к  $h_\odot = 30^\circ$  ( $m=2$ ), т. е. находится  $S_{p, 30^\circ}$  (см. приложение 10);

в) по  $S_{p, 30^\circ}$  находится приведенный к  $m=2$  коэффициент прозрачности  $P_2$  (см. приложение 11).

Зависимость от  $m$  почти отсутствует у коэффициента ослабления  $c$ , входящего в формулу В. Г. Кастрова

$$S = \frac{S_0}{1 + cm}. \quad (71)$$

При известном  $c$  упрощается и вычисление  $P_1$ :

$$P_1 = \frac{1}{1 + c}. \quad (72)$$

Для характеристики ослабления прямой радиации используется также фактор мутности

$$T = \frac{\lg P}{\lg P_n}, \quad (73)$$

где  $P_n$  — коэффициент прозрачности идеальной атмосферы; его значения при разных  $m$ :

$m$ . . . . .	1	2	3	4	5	8	10
$P_n$ . . . . .	0,906	0,916	0,922	0,927	0,935	0,941	0,946

С использованием (68) выражение (73) принимает вид

$$T = \frac{\lg \frac{S}{S_0}}{m \lg P_n}. \quad (74)$$

С. И. Сивков получил формулу

$$T = 11,5 \lg \frac{S_0}{S_{p, 30^\circ}}, \quad (75)$$

которая табулирована (см. приложение 12)

Ослабление прямой радиации за счет рассеивания молекулами, атмосферных газов обратно пропорционально четвертой степени длины волны:

$$\frac{c_1}{c_2} = \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^4. \quad (76)$$

#### Вводные вопросы

1. Какие факты доказывают, что в атмосфере происходит ослабление солнечной радиации?
2. В результате какого процесса происходит наибольшее ослабление солнечной радиации?
3. Как при одном и том же оптическом состоянии атмосферы изменяется интегральный коэффициент прозрачности при изменении высоты солнца? Как изменяется при этом поток прямой солнечной радиации у земной поверхности? Почему необходимо приводить коэффициенты прозрачности к одинаковому числу масс?
4. Каковы следствия поглощения солнечной радиации в атмосфере?
5. Какие явления вызваны неодинаковым молекулярным рассеиванием волн разной длины?

#### Задачи

401. Выписать из таблицы Бемпорада число масс при высотах солнца от 10 до 90° через каждые 10°. Результат представить графически и объяснить причину изменения  $m$ .

402. Какое число масс проходят солнечные лучи в полдень летнего и зимнего солнцестояния на широтах 68, 56 и 41°? Какое значение имеет изменение  $m$  с широтой или в течение года для прихода солнечной радиации к земной поверхности?

403. Найти высоту солнца, при которой число масс составляет 1, 2, 3, 4 и 5.

404. При высоте солнца 30° измерен поток прямой радиации 600  $\text{вт/м}^2$ . Вычислить коэффициент прозрачности и коэффициент экстинкции. Каков смысл первого из них и что характеризует второй?

405\*. При высоте солнца 42° измерен поток прямой радиации 1,05  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Вычислить коэффициент прозрачности и коэффициент экстинкции. Как изменился первый из них по сравнению с предыдущей задачей?

Если предположить, что исходные данные двух последних задач получены в один и тот же день в одном и том же пункте, то можно ли утверждать, что в промежутке между измерениями изменилась прозрачность атмосферы? Какая другая причина могла вызвать изменение  $P$ ?

Варианты исходных данных

Вариант	$h_{\odot}^{\circ}$	$S$ кал/(см <sup>2</sup> ·мин)	Вариант	$h_{\odot}^{\circ}$	$S$ кал/(см <sup>2</sup> ·мин)
1	21	0,85	16	55	1,03
2	31	0,90	17	65	1,08
3	41	0,95	18	75	1,13
4	51	1,01	19	27	0,88
5	61	1,06	20	37	0,93
6	71	1,11	21	47	0,98
7	23	0,86	22	57	1,04
8	33	0,91	23	67	1,09
9	43	0,96	24	77	1,14
10	53	1,02	25	29	0,89
11	63	1,07	26	39	0,94
12	73	1,12	27	49	0,99
13	25	0,87	28	59	1,05
14	35	0,92	29	69	1,10
15	45	0,97	30	79	1,15

406. При  $m=1,3$  измерен поток прямой радиации  $1,00 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Вычислить коэффициент прозрачности и коэффициент экстинкции. Как и почему изменятся результаты при большем (меньшем) числе масс?

407. Вычислить коэффициент прозрачности, если при высоте солнца  $19,3^{\circ}$  поток прямой радиации у земной поверхности составлял  $51,2\%$  от ее потока на верхней границе атмосферы.

408. Найти высоту солнца, если при коэффициенте прозрачности  $0,75$  измерен поток прямой радиации  $698 \text{ вт}/\text{м}^2$ .

409. В некотором пункте в один и тот же день дважды измерен поток прямой радиации  $S$ : при  $h_{\odot} = 90^{\circ}$  он составил  $1,41 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а при  $h_{\odot} = 30^{\circ}$   $S = 1,00 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Считая коэффициент прозрачности одинаковым, найти его и вычислить поток радиации на верхней границе атмосферы.

Справедливо ли предположение, сделанное в задаче?

410. Решить задачу 409, если при первом измерении  $h_{\odot} = 19,3^{\circ}$  и  $S = 1,00 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , при втором  $h_{\odot} = 30^{\circ}$  и  $S = 1,25 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

411. Привести коэффициенты прозрачности, найденные в задачах 404 и 405, к  $m=1$ . Подтверждается ли при сравнении  $P_1$  вывод, сделанный при сравнении  $P$ , найденных в задачах 404 и 405? Как и почему отличаются приведенные  $P$  от неприведенных?

412. 13/VII 1964 г. на площадке ЛГМИ в Даймище при высоте солнца  $48^{\circ}$  измерен поток прямой радиации  $1,06 \text{ кал}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ . Найти коэффициент прозрачности, приведенный к  $m=2$ , и сравнить с  $P_1$ . Чем объясняется такое соотношение между  $P_2$  и  $P_1$ ?

413\*. Решить задачу 412, если 18/IX при высоте солнца  $40^\circ$  измерен поток прямой радиации  $0,91 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

Варианты исходных данных

Вариант	Дата	$h_\odot^\circ$	$S$ кал/(см <sup>2</sup> ·мин)	Вариант	Дата	$h_\odot^\circ$	$S$ кал/(см <sup>2</sup> ·мин)
1	25/I	12	0,49	16	25/II	17	0,54
2	25/V	21	0,63	17	5/V	37	1,19
3	5/VI	40	0,97	18	5/VII	44	1,18
4	5/VIII	47	0,93	19	5/IX	50	1,25
5	15/X	53	1,06	20	15/XI	61	1,30
6	5/II	14	0,53	21	5/III	18	0,76
7	15/IV	23	0,79	22	15/V	38	1,07
8	15/VI	41	0,96	23	15/VII	62	1,13
9	15/VIII	11	0,47	24	15/IX	68	1,13
10	25/X	55	1,13	25	25/XI	58	1,25
11	15/II	15	0,45	26	15/III	20	0,85
12	25/IV	24	0,80	27	25/V	39	1,11
13	25/VI	43	1,06	28	25/VII	46	1,10
14	25/VIII	49	1,18	29	25/IX	52	1,20
15	5/XI	56	1,10	30	5/XII	59	1,34

414. Считая, что исходные данные задач 404 и 405 получены в один и тот же день 15/V, привести найденные коэффициенты к  $m=2$ . Почему ответы отличаются от ответов к задаче 411?

415. 6/VII 1963 г. на площадке ЛГМИ в Батово при высоте солнца  $42^\circ$  измерен поток прямой радиации  $1,25 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Определить коэффициент ослабления  $s$ .

416. При высоте солнца  $30^\circ$  измерен поток прямой радиации  $0,95 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а при высоте  $6^\circ 45'$   $S=0,37 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Определить неприведенные коэффициенты прозрачности и коэффициенты ослабления  $s$ . Какова причина изменения коэффициента прозрачности при изменении высоты солнца?

417. Используя значения  $s$ , найденные в задаче 416, вычислить коэффициент прозрачности при  $m=1$ . Подтверждается ли полученный в ней вывод?

418. При высоте солнца  $41^\circ 40'$  измерен поток прямой радиации  $0,90 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а при высоте  $7^\circ 51'$   $S=0,31 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Определить неприведенные коэффициенты прозрачности, коэффициенты ослабления  $s$  и коэффициенты прозрачности при  $m=1$ .

419. При высоте солнца  $30^\circ$  1/X измерен поток прямой радиации  $0,97 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а при высоте  $10^\circ$   $S=0,51 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Вычислить неприведенные коэффициенты прозрачности, коэффициенты ослабления  $s$ , коэффициенты прозрачности при  $m=1$  и  $m=2$ .

420\*. 7/VII 1962 г. на площадке ЛГМИ в Батово при высоте солнца  $42^\circ$  измерен поток прямой радиации  $0,93 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

Найти фактор мутности, используя коэффициент прозрачности идеальной атмосферы. Каков физический смысл полученной величины?

Варианты исходных данных те же, что к задаче 405.

421. Л. И. Мамонтова и С. П. Хромов нашли, что на Европейской территории СССР воздушные массы в среднем характеризуются следующими факторами мутности: континентальный арктический воздух — 2,45, морской воздух умеренных широт — 2,66, континентальный воздух умеренных широт — 3,09, континентальный тропический воздух — 3,49. Принимая средний коэффициент прозрачности идеальной атмосферы равным 0,92, найти средние коэффициенты прозрачности в указанных воздушных массах. Как изменяются фактор мутности и коэффициент прозрачности при изменении запыленности и влажности воздуха?

422. Фактор мутности равен 4,00. Какой процесс ослабления радиации интенсивнее и во сколько раз: поглощение и рассеяние примесями или рассеяние молекулами?

423. При высоте солнца  $19,3^\circ$  измерен поток прямой радиации  $940 \text{ вт/м}^2$ . Найти отношение ослабления радиации примесями к ослаблению в результате молекулярного рассеяния. Какой качественный вывод можно сделать о степени загрязнения воздуха примесями в данных условиях?

424. Фактор мутности в Павловске (под Ленинградом) в июле составляет в среднем 3,00. Найти для этого месяца средний поток прямой радиации у земной поверхности при высоте солнца  $30^\circ$ .

425. Считая коэффициент прозрачности идеальной атмосферы в среднем равным 0,92, определить высоту солнца, при которой получен поток прямой радиации  $0,90 \text{ кал/(см}^2 \cdot \text{мин)}$ , если фактор мутности равнялся 2,00.

426\*. 29/VI 1964 г. на площадке ЛГМИ в Даймище при высоте солнца  $52,8^\circ$  измерен поток прямой радиации  $1,10 \text{ кал/(см}^2 \times \text{мин)}$ . Найти фактор мутности по методике С. И. Сивкова.

Варианты исходных данных те же, что к задаче 413.

427. По данным задачи 412 найти фактор мутности через коэффициенты прозрачности и по методике С. И. Сивкова.

428. Найти факторы мутности для двух случаев, указанных в задаче 419. Согласуется ли результат с выводами из этой задачи?

429. Во сколько раз волны длиной  $0,3 \text{ мкм}$  ослабляются вследствие молекулярного рассеяния сильнее, чем волны длиной  $0,75 \text{ мкм}$ ?

Как и почему смещается оптический центр пучка солнечных лучей при прохождении через атмосферу? Какие атмосферные явления связаны с молекулярным рассеянием?

430. Во сколько раз интенсивность молекулярного рассеяния фиолетовых лучей (длина волны около  $0,4 \text{ мкм}$ ) больше, чем красных (длина волны около  $0,8 \text{ мкм}$ )?

### § 36. ПРИХОД СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Поток прямой радиации можно непосредственно измерить или вычислить по формулам (68), (71) и др.

Поток на горизонтальную поверхность

$$S' = S \sin h_{\odot}, \quad (77)$$

где  $h_{\odot}$  — высота солнца. Приход прямой радиации на поверхность, наклоненную на угол  $\alpha$  к горизонту и ориентированную в любую сторону,

$$S_{\Pi} = S (\sin h_{\odot} \cos \alpha + \cos h_{\odot} \sin \alpha \cos \psi), \quad (78)$$

где  $\psi = 180 + \psi_0 - \psi_{\Pi}$  [ $\psi_0$  — азимут солнца (см. § 5);  $\psi_{\Pi}$  — азимут поверхности, т. е. угол, отсчитываемый от севера к востоку между направлением на север и горизонтальной проекцией нормали к поверхности].

Поток рассеянной радиации  $D$  измеряется непосредственно. Суммарная радиация

$$Q = S' + D. \quad (79)$$

Потоки  $S$ ,  $S'$ ,  $D$  и  $Q$  принято выражать в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  с точностью до сотых или (в СИ) в  $\text{вт}/\text{м}^2$  с точностью до целых.

Возможные и действительные суммы радиации за час, сутки, месяц, год при отсутствии самописцев вычисляются при достаточно частых измерениях потоков или сумм за более короткие периоды по формулам трапеций, коэффициенты в которых зависят от длины интервалов между наблюдениями или периодов определения промежуточных сумм. Эти суммы выражают в  $\text{кал}/\text{см}^2$  с точностью до десятых и в  $\text{ккал}/\text{см}^2$  с точностью до целых, а в СИ — в  $\text{дж}/\text{м}^2$ ,  $\text{кдж}/\text{м}^2$ ,  $\text{Мдж}/\text{м}^2$  и т. д.

При отсутствии измерений действительные суммы суммарной радиации  $(S' + D)_{\text{д}}$  можно приближенно определить по известным возможным ее суммам  $(S' + D)_{\text{в}}$ , в частности по формуле Савинова

$$(S' + D)_{\text{д}} = (S' + D)_{\text{в}} (1 - C\bar{n}),$$

где  $C$  — облачный коэффициент,  $\bar{n}$  — среднее количество облаков за интервал, для которого вычисляется сумма. Облачные коэффициенты для разных районов и месяцев подбираются опытным путем. Иногда вместо  $\bar{n}$  применяют выражение, учитывающее продолжительность солнечного сияния, или вместо  $C$  используют коэффициент вида  $1 - K$  ( $K$  для разных районов и сезонов также определяется опытным путем).

### Вводные вопросы

1. От каких факторов и как зависит поток прямой радиации на горизонтальную поверхность?
2. Каковы основные характеристики суточного и годового хода прямой радиации?
3. Какие факторы влияют на поток рассеянной радиации?

### Задачи

431\*. Вычислить в практических единицах и в СИ поток прямой радиации на перпендикулярную поверхность при высоте солнца  $51^\circ$  и коэффициенте прозрачности 0,75. Как изменится ответ, если при том же оптическом состоянии атмосферы увеличится (уменьшится) высота солнца или при постоянной высоте солнца изменится состояние атмосферы?

Варианты исходных данных

Вариант	$h_\odot$	$P$	Вариант	$h_\odot$	$P$	Вариант	$h_\odot$	$P$
1	35	0,65	6	36	0,66	11	37	0,67
2	41	0,71	7	42	0,72	12	43	0,73
3	47	0,78	8	48	0,79	13	49	0,80
4	54	0,68	9	55	0,69	14	56	0,70
5	60	0,74	10	61	0,76	15	62	0,77

432. Вычислить поток прямой радиации на перпендикулярную поверхность на широте  $56^\circ 15'/VII$  при высотах солнца 10, 20,  $30^\circ$  и т. д. до максимальной высоты, возможной в данный день, если неприведенный коэффициент прозрачности равен 0,71. Построить и проанализировать график дневного изменения потока, для чего каждую высоту солнца отложить на оси абсцисс дважды: до и после полудня. Почему изменяется поток прямой радиации с изменением высоты солнца при неизменной прозрачности атмосферы? Какие периодические изменения он поэтому испытывает? Какова широтная его изменчивость, связанная с зависимостью от высоты солнца?

433. Средние коэффициенты прозрачности в Баку при разном числе масс (см. индексы у  $P$ ) равны:  $P_{1,5}=0,698$ ,  $P_2=0,736$ ,  $P_3=0,769$ . Вычислить при этих массах поток прямой радиации на перпендикулярную поверхность при ясном небе в единицах СИ. Построить график зависимости потока от числа масс (см. задачу 432).

434. Вычислить поток прямой радиации на перпендикулярную поверхность при высоте солнца  $30^\circ$ , если коэффициент прозрачности составляет 0,50, 0,60, 0,70, 0,80. Построить и проанализировать график зависимости потока от коэффициента прозрачности при постоянной высоте солнца.

435\*. Решить задачу 434 при высоте солнца  $60^\circ$ . Результат нанести на построенный в ней график. Одинаково ли изменяется поток прямой радиации с изменением прозрачности при любой высоте солнца?

Варианты исходных данных

Вариант	$h_\odot$										
1	31	6	32	11	33	16	34	21	35	26	36
2	37	7	38	12	39	17	40	22	41	27	42
3	43	8	44	13	45	18	46	23	47	28	48
4	49	9	50	14	51	19	52	24	53	29	54
5	55	10	56	15	57	20	58	25	59	30	61

436. Вычислить действительную часовую сумму прямой радиации на перпендикулярную поверхность, если в середине часа ее поток равен  $0,70 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а состояние атмосферы осталось неизменным.

Указание: принять, что в течение часа высота солнца не меняется.

437. Прямая радиация в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  в Каменной Степи (широта  $51^\circ$ ) 9/VII 1951 г.:

$\tau_\odot \text{ час}$	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
$S$	0,00	0,00	0,71	1,06	1,23	1,31	1,30	1,30	1,05	0,60	0,00	0,00

Построить и проанализировать график суточного хода  $S$ , указав следующее: было ли изменение потока беспорядочным или упорядоченным; какой вид оно имело (монотонный рост, простая волна, двойная волна и т. п.); в какое время суток, сколько всего часов и минут поток был равен нулю; с какого момента утром поток стал положительным и когда он вечером вновь уменьшился до нуля; в какое время суток и на протяжении какого интервала времени он был положительным; время наступления и величину максимума; типичен ли такой ход потока для ясного дня или дня с переменной облачностью.

438. Для данных задачи 437 вывести формулу трапеций и вычислить в практических единицах и в СИ действительную суточную сумму прямой радиации на перпендикулярную площадку. От каких факторов и как зависят такие суммы?

439. Вывести формулу трапеций для вычисления суточной суммы прямой радиации по наблюдениям, выполняемым на широте  $60^\circ$  1/IX в стандартные актинометрические сроки (см. § 3).

440. Вывести формулу трапеций для вычисления суточной суммы прямой радиации по наблюдениям в 6, 10, 12, 14 и 18 час, если восход солнца был в 5 час, заход — в 19 час.

441. Средние часовые действительные суммы прямой радиации на перпендикулярную поверхность в  $\text{кал/см}^2$  в Воейково:

Месяц	Интервал, час							
	0-1	3-4	6-7	9-10	12-13	15-16	18-19	21-22
Июнь . . . . .	0	5	28	36	33	31	20	0
Декабрь . . . . .	0	0	0	1	4	0	0	0

Представить эти данные графически и объяснить причины различия суточного хода часовых сумм в разные месяцы.

442. Вывести формулу трапеций применительно к интервалам времени в задаче 441 и вычислить действительные суточные суммы прямой радиации на перпендикулярную поверхность для июня и декабря. Чем вызвано их различие? Как оно изменится для более северных (южных) пунктов при неизменном состоянии атмосферы?

443. Средние часовые действительные суммы прямой радиации на перпендикулярную поверхность в  $\text{кал/см}^2$  в июне:

Пункт	Интервал, час							
	0-1	3-4	6-7	9-10	12-13	15-16	18-19	21-22
Якутск	0	9	31	40	38	31	23	1
Карадаг	0	0	34	50	49	44	22	0

Решить задачу 441.

444. По формуле, выведенной в задаче 442, и данным задачи 443 вычислить действительные суточные суммы прямой радиации на перпендикулярную поверхность в двух пунктах. Почему результаты близки между собой? Как они изменятся, если вместо Якутска рассмотреть более северный пункт?

445. Средние за месяц коэффициенты прозрачности в одном из пунктов на широте  $60^\circ$ :

Месяц . . . . .	I	III	V	VII	IX	XI
$P$ . . . . .	0,798	0,795	0,780	0,766	0,786	0,800

Вычислить в единицах СИ поток прямой радиации на перпендикулярную поверхность в полдень 15-го числа каждого месяца. Построить и проанализировать график годового хода потока.

446. Действительные месячные суммы прямой радиации на

перпендикулярную площадку в  $\text{ккал}/\text{см}^2$  в том же пункте, что и в предыдущей задаче:

Месяц . . . . .	II	IV	VI	VIII	X	XII
$\sum_{\text{мес}} S$ . . . . .	2,67	9,40	14,48	10,75	3,28	0,73

Построить график годового хода месячных сумм и сравнить с графиком из задачи 445. Как изменится график для более северного (южного) пункта при неизменном состоянии атмосферы?

447. По данным задачи 446 вычислить действительную годовую сумму прямой радиации на перпендикулярную поверхность.

Указание; считать, что месячные суммы меняются от месяца к месяцу линейно.

448. Ответ к задаче 447 проверить по результатам наблюдений в соседнем пункте, где найдены следующие средние действительные суточные суммы прямой радиации на перпендикулярную поверхность ( $\text{ккал}/\text{см}^2$ ):

Месяц . . . . .	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\sum_{\text{сут}} S$ . . . . .	31	110	258	310	435	463	424	349	205	80	41	16

449. Поток прямой радиации на перпендикулярную поверхность на площадке ЛГМИ в Даймише 6/VII 1964 г. при высоте солнца  $34^\circ$  составлял  $1,12 \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Вычислить поток радиации на горизонтальную поверхность. Всегда ли между этими потоками сохраняется такое соотношение?

450\*. Вычислить поток прямой радиации на горизонтальную поверхность при высоте солнца  $36^\circ$  и коэффициенте прозрачности 0,72. Как изменится ответ при увеличении (уменьшении) одной из заданных величин?

Варианты исходных данных

Вариант	$h_{\odot}^{\circ}$	$P$	Вариант	$h_{\odot}^{\circ}$	$P$	Вариант	$h_{\odot}^{\circ}$	$P$
1	40	0,76	11	42	0,74	21	44	0,72
2	46	0,70	12	48	0,68	22	50	0,66
3	52	0,82	13	54	0,80	23	56	0,78
4	58	0,76	14	60	0,74	24	62	0,72
5	64	0,70	15	66	0,68	25	68	0,66
6	41	0,75	16	43	0,73	26	45	0,71
7	47	0,69	17	49	0,67	27	51	0,65
8	53	0,81	18	55	0,79	28	57	0,77
9	59	0,75	19	61	0,73	29	63	0,71
10	65	0,69	20	67	0,67	30	69	0,65

451. Вычислить потоки прямой радиации на горизонтальную поверхность на широте  $60^\circ$  в истинный полдень 22/VI и 22/XII, если поток на перпендикулярную поверхность в первом случае равен  $1,00 \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а во втором  $0,20 \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

Почему во втором случае поток на перпендикулярную поверхность меньше, чем в первом? Во сколько раз изменились потоки на перпендикулярную и горизонтальную поверхность во втором случае по сравнению с первым? Почему их изменение неодинаково? Всегда ли так бывает?

452. Найти отношение потоков прямой радиации на горизонтальную поверхность на широтах  $41^\circ$  и  $69^\circ$   $S'_{41}/S'_{69}$  в полдень  $1/V$ , если потоки на перпендикулярную поверхность были одинаковыми.

Почему потоки на перпендикулярную поверхность в один и тот же момент на разных широтах могут быть одинаковыми? На какой поток высота солнца влияет сильнее?

453\*. При высоте солнца  $30^\circ$  поток прямой радиации на горизонтальную поверхность  $0,68 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Определить коэффициент прозрачности. Как изменится результат, если при той же высоте солнца поток радиации будет больше (меньше) заданного?

Варианты исходных данных

Вариант	$S'$ кал/(см <sup>2</sup> · мин)	Вариант	$S'$ кал/(см <sup>2</sup> · мин)	Вариант	$S'$ кал/(см <sup>2</sup> · мин)
1	0,38	11	0,40	21	0,42
2	0,44	12	0,46	22	0,48
3	0,50	13	0,52	23	0,54
4	0,56	14	0,58	24	0,60
5	0,62	15	0,64	25	0,66
6	0,39	16	0,41	26	0,43
7	0,45	17	0,47	27	0,49
8	0,51	18	0,53	28	0,55
9	0,57	19	0,59	29	0,61
10	0,63	20	0,65	30	0,66

454. Вычислить в практических единицах и в СИ часовую сумму прямой радиации на горизонтальную площадку, если за этот час средняя высота солнца  $30^\circ$ , а коэффициент ослабления  $c=0,25$ .

455. По наблюдениям в районе Ташкента в июле 1952 г., поток прямой радиации на горизонтальную поверхность в полдень достигал  $1,25 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Определить в единицах СИ мощность прямой радиации, приходящей на площадь  $10 \text{ км}^2$ , и сравнить с мощностью Братской ГЭС ( $4,1 \cdot 10^6 \text{ квт}$ ).

456. Вычислить потоки прямой радиации в полдень дня летнего солнцестояния на перпендикулярную и горизонтальную поверхности на широтах, кратных  $10^\circ$ , начиная с  $0^\circ$ , если коэффициент прозрачности всюду равен  $0,70$ . Результат представить графически. Чем объясняется широтное изменение этих потоков? Почему второй поток изменяется с широтой больше первого?

457. Решить задачу 456 для дня зимнего солнцестояния. Результаты нанести на тот же график. Чем отличается широтное изменение потоков от найденных в задаче 456?

458. Поток прямой радиации на перпендикулярную поверхность в  $\text{ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  13/VII 1951 г. в пункте на широте  $51^\circ$ :

Часы . . .	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
$h_\odot$ . . . .	—	—	$7^\circ 30'$	$25^\circ 49'$	$43^\circ 23'$	$57^\circ 27'$	$59^\circ 15'$	$46^\circ 04'$	$27^\circ 38'$	$9^\circ 47'$	—	—
$S$ . . . .	0,00	0,00	0,69	1,01	1,15	1,21	1,21	1,18	0,97	0,53	0,00	0,00

Вычислить для каждого срока поток прямой радиации на горизонтальную поверхность. Построить и проанализировать график суточного хода обоих потоков.

459. По данным задачи 458 и формуле трапеций, выведенной в задаче 438, вычислить действительные суточные суммы прямой радиации на перпендикулярную и горизонтальную площадки.

Как изменится соотношение сумм в том же пункте в зимнее время года или в данный день, но на других широтах?

460. Средние действительные месячные суммы прямой радиации на перпендикулярную и горизонтальную площадки в  $\text{ккал}/\text{см}^2$  в Павловске (по Н. Н. Калитину) равны:

Месяц . . . .	II	IV	VI	VIII	X	XII
$\sum_{\text{мес}} S$ . . . .	2,67	9,40	14,18	10,75	3,28	0,73
$\sum_{\text{мес}} S'$ . . . .	0,62	4,40	8,14	5,44	0,95	0,07

Построить и проанализировать график годового хода этих величин.

461. По данным задачи 460 вычислить отношение  $\frac{\sum_{\text{мес}} S'}{\sum_{\text{мес}} S}$  для каждого месяца и построить график его годового хода. Проанализировать полученные результаты. На каких широтах и в какие месяцы рассматриваемое отношение приближается к единице?

462. Средние месячные действительные суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность в  $\text{ккал}/\text{см}^2$ :

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Ленинград . . . .	0,3	3,9	7,2	4,0	0,6	0,0
Астрахань . . . .	2,3	6,0	11,8	10,0	4,2	0,8

Построить и проанализировать график годового хода этих сумм.

463. Действительные месячные суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность в  $\text{ккал}/\text{см}^2$  в Ленинграде (станция находится в городе) и в Воейково (станция — в 30 км от центра города):

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Ленинград . . . . .	0,3	3,9	7,2	4,0	0,6	0,0
Воейково . . . . .	0,5	4,6	7,8	4,4	0,5	0,1

Представить эти данные графически и объяснить причину различия в приходе радиации.

464. Средние годовые действительные суммы прямой радиации на перпендикулярную и на горизонтальную поверхности составляют (по И. Н. Ярославцеву): в Павловске 82,6 и 39,8 ккал/см<sup>2</sup>, в Ташкенте 174,4 и 101,6 ккал/см<sup>2</sup>. Найти отношение вторых сумм к первым. Как оно изменится для пункта, лежащего севернее Павловска, и для пункта, находящегося южнее Ташкента?

465\*. Поток прямой радиации на перпендикулярную поверхность в пункте с широтой 59° 18' и долготой 29° 53' 5/VII 1964 г. в 13 час декретного времени составил 1,18 кал/(см<sup>2</sup>·мин). Сколько прямой радиации поступало на вертикальные поверхности, обращенные на север, восток, юг и запад? Как изменятся ответы для более раннего (позднего) момента времени или для данного момента, но зимнего дня?

Варианты исходных данных

Вариант	Азимут поверхности										
1	10°	6	20°	11	30°	16	40°	21	50°	26	60°
2	70	7	80	12	100	17	110	22	120	27	130
3	140	8	150	13	160	18	170	23	190	28	200
4	210	9	220	14	230	19	240	24	250	29	260
5	280	10	290	15	300	20	310	25	320	30	330

Варианты исходных данных к задаче 466 \*

Вариант	Крутизна										
1	78°	6	76°	11	74°	16	72°	21	70°	26	68°
2	66	7	64	12	62	17	58	22	56	27	54
3	52	8	50	13	48	18	46	23	44	28	42
4	40	9	38	14	36	19	34	24	32	29	30
5	28	10	26	15	24	20	22	25	20	30	18

466 \*. Решить задачу 465 для северного и южного склонов холма, если их крутизна  $60^\circ$ . Как изменятся ответы при большей (меньшей) крутизне?

467. Решить задачу 465 для склонов крутизной  $30^\circ$ , обращенных на восток и запад. Как изменятся ответы при изменении ориентации и крутизны склонов?

468. Средний поток рассеянной радиации в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  на широте  $42^\circ$  в июне равен:

Часы . . . 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23  
 $D$  . . . 0,00 0,00 0,03 0,16 0,28 0,30 0,30 0,26 0,16 0,03 0,00 0,00

Построить и проанализировать график суточного хода рассеянной радиации, условно считая, что данные относятся к 15/VI.

Какие факторы и как влияют на суточный ход рассеянной радиации?

469. Для данных задачи 468 вывести формулу трапеций и вычислить в практических единицах и в СИ среднюю за месяц суточную сумму рассеянной радиации. Как изменится результат для зимнего месяца или более северного (южного) района?

470. Средний поток рассеянной радиации в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  на широте  $42^\circ$  в декабре составляет:

Часы . . . 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23  
 $D$  . . . 0,00 0,00 0,00 0,01 0,10 0,17 0,17 0,09 0,00 0,00 0,00 0,00

Выполнить задание задач 468 и 469.

471. Средние за месяц суточные суммы рассеянной радиации в  $\text{кал}/\text{см}^2$ :

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Якутск . . . . .	56	169	203	140	59	12
Тбилиси . . . . .	101	157	157	147	99	62

Представить данные графически и указать причины различия годового хода рассеянной радиации в этих пунктах.

472. Средние месячные суммы рассеянной радиации в  $\text{ккал}/\text{см}^2$ :

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Игарка . . . . .	0,9	5,9	7,4	5,6	1,5	0,0
Смоленск . . . . .	1,9	4,6	6,4	5,9	2,2	0,7
Ашхабад . . . . .	3,1	5,4	4,6	4,1	3,0	2,1

Построить график годового хода рассеянной радиации в этих пунктах, сравнить с графиком из задачи 471 и объяснить причины различия.

473. По данным задачи 472 вычислить годовые суммы рассеянной радиации в трех пунктах (использовать указание

к задаче 447). Значительно ли различаются результаты? Чем это объясняется?

474. Годовые действительные суммы рассеянной радиации в  $\text{ккал}/\text{см}^2$  (по Т. Г. Берлянд) равны:

Широта, град . . . . .	80	70	60	50	40
$\sum_{\text{год}} D$ . . . . .	47	40	37	39	49

Построить и проанализировать график широтного хода этой величины.

475. Найти суммарную радиацию, если при высоте солнца  $30^\circ$  поток прямой радиации на перпендикулярную поверхность  $0,60 \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , поток рассеянной  $0,20 \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

Может ли поток рассеянной радиации быть больше потока прямой радиации на горизонтальную поверхность? Может ли суммарная радиация состоять только из прямой или только из рассеянной? От каких факторов зависит соотношение между прямой и рассеянной радиацией?

476. При наблюдениях в Днепропетровской области 7/VII 1961 г. получено в  $\text{ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ :

Часы . . . . .	7	9	11	13	15	17	19
$S'$ . . . . .	0,24	0,72	1,00	1,00	0,75	0,38	0,04
$D$ . . . . .	0,08	0,14	0,16	0,20	0,19	0,14	0,08

Вычислить для каждого срока суммарную радиацию и вклад в нее (в процентах) прямой и рассеянной радиации. Построить график-диаграмму.

Указание: на оси абсцисс отложить сроки, на оси ординат — проценты. Для каждого срока нанести долю прямой радиации и соединить точки ломаной линией, а над ней — долю рассеянной. Сумма ординат должна равняться 100%.

Две получившиеся площади выделить разной штриховкой.

Чем объясняется изменение долей прямой и рассеянной радиации в течение дня?

477. Вычислить средние действительные суточные суммы суммарной радиации в январе и июле, если средние за эти месяцы возможные ее суммы равны соответственно 53 и  $710 \text{ ккал}/\text{см}^2$ , среднее количество облаков 8,3 и 6,1 балла, облачные коэффициенты в формуле С. И. Савинова 0,060 и 0,045.

478\*. Действительные месячные суммы прямой (на горизонтальную поверхность) и рассеянной радиации в  $\text{ккал}/\text{см}^2$  в Куйбышеве равны:

Месяц . . . . .	II	IV	VI	VIII	X	XII
$\sum_{\text{мес}} S'$ . . . . .	1,4	5,3	11,2	7,9	1,9	0,4
$\sum_{\text{мес}} D$ . . . . .	2,5	6,6	6,2	5,2	2,3	1,0

Вычислить месячные суммы суммарной радиации, построить и проанализировать графики их годового хода.

Варианты исходных данных

Вариант	Пункт		II	IV	VI	VIII	X	XII
1	Верхоянск	$\sum S'$	1,0	7,5	9,0	5,3	1,2	0,0
		$\sum D$	0,8	4,2	7,0	5,0	1,4	0,0
2	Ашхабад	$\sum S'$	3,7	6,0	12,4	13,2	7,2	1,6
		$\sum D$	3,1	5,4	4,6	4,1	3,0	2,1
3	Игарка	$\sum S'$	0,2	6,0	7,9	5,2	0,5	0,0
		$\sum D$	0,9	5,9	7,4	5,6	1,5	0,0
4	Фергана	$\sum S'$	3,3	8,0	13,9	13,2	6,1	1,0
		$\sum D$	3,6	5,8	5,1	4,8	3,8	2,3
5	Архангельск	$\sum S'$	0,2	3,9	6,6	4,7	0,4	0,0
		$\sum D$	1,1	5,7	7,7	4,9	1,2	0,1
6	Ташкент	$\sum S'$	3,3	7,9	14,5	13,3	6,2	1,5
		$\sum D$	3,2	5,2	4,8	3,9	3,2	2,2
7	Якутск	$\sum S'$	1,0	7,2	10,6	6,9	1,2	0,1
		$\sum D$	1,5	5,6	6,2	4,9	2,2	0,3
8	Тбилиси	$\sum S'$	3,2	6,5	11,1	11,0	5,1	1,7
		$\sum D$	3,0	5,7	5,9	5,2	3,4	1,9
9	Ленинград	$\sum S'$	0,3	3,9	7,2	4,0	0,6	0,0
		$\sum D$	1,2	3,8	6,1	4,7	1,4	0,2
10	Фрунзе	$\sum S'$	2,8	6,6	12,2	10,6	5,2	1,2
		$\sum D$	3,7	5,2	5,3	4,8	3,1	2,6
11	Рига	$\sum S'$	0,6	4,8	8,4	5,2	1,0	0,4
		$\sum D$	1,6	4,0	6,2	5,1	2,0	0,4
12	Махачкала	$\sum S'$	1,3	5,6	10,6	9,7	4,4	0,8
		$\sum D$	2,2	5,8	5,2	4,6	3,1	1,6
13	Омск	$\sum S'$	1,6	7,6	9,8	6,4	1,5	0,4
		$\sum D$	2,3	4,9	6,4	5,6	2,4	1,0
14	Владивосток	$\sum S'$	5,0	6,6	5,6	5,4	5,4	2,7
		$\sum D$	2,6	5,2	6,0	5,5	2,8	2,0
15	Каунас	$\sum S'$	1,3	3,0	7,2	4,7	1,2	0,1
		$\sum D$	2,0	5,1	6,8	5,6	2,2	0,7

Вариант	Пункт		II	IV	VI	VIII	X	XII
16	Алма-Ата	$\Sigma S'$	2,6	5,9	10,7	9,4	5,1	1,4
		$\Sigma D$	3,4	5,3	5,7	5,2	3,3	2,1
17	Новосибирск	$\Sigma S'$	1,6	6,0	8,8	6,4	1,7	0,3
		$\Sigma D$	2,3	4,8	5,9	5,0	2,1	1,0
18	Сочи	$\Sigma S'$	2,6	5,2	11,1	10,4	4,3	1,2
		$\Sigma D$	2,2	4,8	5,4	4,7	2,7	1,5
19	Смоленск	$\Sigma S'$	0,9	3,2	7,0	3,6	1,0	0,3
		$\Sigma D$	1,9	4,6	6,4	5,9	2,2	0,7
20	Карадаг	$\Sigma S'$	1,5	5,4	11,2	11,2	4,2	0,9
		$\Sigma D$	2,6	5,6	5,8	4,7	3,1	1,5
21	Минск	$\Sigma S'$	1,0	3,6	8,1	5,4	1,6	0,2
		$\Sigma D$	1,9	5,4	6,8	5,5	2,1	0,7
22	Астрахань	$\Sigma S'$	2,3	6,0	11,8	10,0	4,2	0,8
		$\Sigma D$	2,5	4,9	4,7	4,5	2,5	1,2
23	Иркутск	$\Sigma S'$	2,0	6,6	9,8	8,7	2,6	0,4
		$\Sigma D$	2,0	4,8	5,8	4,4	2,5	1,0
24	Одесса	$\Sigma S'$	2,0	6,0	10,9	10,2	3,8	0,8
		$\Sigma D$	2,6	5,7	6,4	5,0	3,2	1,4
25	Целиноград	$\Sigma S'$	2,6	5,4	10,6	6,4	2,4	0,7
		$\Sigma D$	2,5	5,3	5,7	5,1	2,4	1,3
26	Южно-Сахалинск	$\Sigma S'$	3,1	5,1	5,6	4,1	3,5	1,4
		$\Sigma D$	3,5	6,4	6,4	5,9	2,8	1,8
27	Комсомольск-на-Амуре	$\Sigma S'$	2,6	5,1	7,9	6,7	2,9	1,3
		$\Sigma D$	2,9	6,0	6,5	5,1	2,5	1,3
28	Кишинев	$\Sigma S'$	1,4	4,8	9,3	8,3	3,4	0,6
		$\Sigma D$	2,7	5,6	7,0	5,5	2,9	1,4
29	Киев	$\Sigma S'$	0,1	3,8	8,8	7,4	2,3	0,5
		$\Sigma D$	2,3	5,4	6,8	5,4	2,7	1,1
30	Хабаровск	$\Sigma S'$	3,9	6,5	8,9	6,7	3,9	2,0
		$\Sigma D$	2,6	5,7	6,6	5,8	2,6	1,5

479\*. По данным задачи 478 вычислить долю прямой и рассеянной радиации в месячных суммах суммарной радиации. Построить график-диаграмму их годового изменения (см. указание к задаче 476).

Варианты исходных данных те же, что и к задаче 478.

480. Средние годовые действительные суммы прямой (на горизонтальную поверхность) и рассеянной радиации в  $\text{ккал}/\text{см}^2$ :

Пункт . . . . .	Хибины	Архангельск	Ленинград	Одесса	Ташкент
$\sum_{\text{год}} S'$ . . . . .	28,0	32,2	33,9	69,4	93,5
$\sum_{\text{год}} D$ . . . . .	38,5	40,7	34,8	48,9	45,8

Вычислить годовые суммы суммарной радиации, долю прямой и рассеянной радиации, построить для каждого пункта линейную или круговую диаграмму.

### § 37. ОТРАЖЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНЫМ СЛОЕМ

Отражательные свойства деятельного слоя характеризует его альbedo. Альbedo есть отношение отраженной деятельным слоем части суммарной радиации ко всей приходящей суммарной радиации

$$A = \frac{Q_{\text{отр}}}{Q}. \quad (80)$$

Альbedo выражают с точностью до сотых или в целых процентах.

Поглощенная деятельным слоем часть суммарной радиации

$$Q_{\text{п}} = Q(1 - A). \quad (81)$$

#### Вводные вопросы

1. Какие естественные поверхности и почему имеют наибольшее и наименьшее альbedo?
2. Как изменяется альbedo почвы при осушении и орошении, вспашке и появлении растительности, при установлении и сходе снежного покрова? Как эти изменения влияют на тепловой режим почвы и прилегающего к ней воздуха?
3. Каковы возможные пути искусственного воздействия человека на климат отдельных территорий через изменение альbedo?
4. Каковы особенности альbedo водоемов?

#### Задачи

481. Вычислить альbedo, если суммарная радиация  $0,90 \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а отраженная  $0,16 \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Для каких видов деятельного слоя характерно такое альbedo?

482. Альbedo свежевспаханного сырого чернозема около 10%, а чистого сухого снега около 90%. Если поток суммарной радиации на эти участки одинаков, то какой из них 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 слоев атмосферы?

483 \*. Средние месячные альbedo в Куйбышеве:

Месяц . . . . .	II	IV	VI	VIII	X	XII
Альbedo, % . . . . .	72	18	15	14	20	66

Построить график и объяснить причины изменения альbedo в течение года.

Варианты исходных данных

Вариант	Пункт	Среднее альbedo, %					
		II	IV	VI	VIII	X	XII
1	Верхоянск . . . . .	84	77	18	20	69	73
2	Ашхабад . . . . .	30	24	26	28	28	26
3	Игарка . . . . .	79	84	15	20	71	83
4	Фергана . . . . .	38	29	29	31	30	38
5	Архангельск . . . . .	73	46	20	22	30	75
6	Ташкент . . . . .	38	20	22	23	24	55
7	Якутск . . . . .	83	60	17	18	49	79
8	Тбилиси . . . . .	20	19	17	18	20	21
9	Ленинград . . . . .	58	17	17	18	19	47
10	Фрунзе . . . . .	50	21	20	20	22	50
11	Рига . . . . .	59	19	18	20	20	51
12	Махачкала . . . . .	36	17	18	18	18	28
13	Омск . . . . .	74	28	16	17	23	79
14	Владивосток . . . . .	69	19	21	20	22	59
15	Каунас . . . . .	60	20	20	20	20	49
16	Алма-Ата . . . . .	60	19	21	20	22	59
17	Новосибирск . . . . .	67	23	16	17	21	69
18	Сочи . . . . .	28	20	20	22	24	24
19	Смоленск . . . . .	75	36	25	25	31	73
20	Карадаг . . . . .	17	15	15	15	15	14
21	Минск . . . . .	66	21	18	17	21	62
22	Астрахань . . . . .	30	16	16	18	17	33
23	Иркутск . . . . .	55	8	12	15	19	58
24	Одесса . . . . .	27	15	17	16	18	21
25	Целиноград . . . . .	74	28	19	18	21	56
26	Южно-Сахалинск . . . . .	72	25	21	22	21	70
27	Комсомольск-на-Амуре . . . . .	31	16	19	18	19	19
28	Кишинев . . . . .	31	16	19	18	19	39
29	Киев . . . . .	47	17	19	20	20	49
30	Хабаровск . . . . .	59	23	20	21	24	50

484. Средние альbedo (%) в Ленинграде и Воейково:

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

Представить эти данные графически и объяснить причины различия в годовом ходе альbedo (см. задачу 463).

485. Средние значения альbedo поверхности Черного моря летом следующие:

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

Представить эти данные графически и объяснить причину уменьшения альbedo моря при увеличении высоты солнца.

486. Вычислить количество солнечной радиации, поглощаемой за 1 мин  $1 \text{ см}^2$  поверхности снега, имеющего альbedo 80%, в истинный полдень 21/III на широте  $60^{\circ}$ , если коэффициент ослабления  $s$  равен 0,25, а поток рассеянной радиации  $0,10 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

487. Вычислить часовую сумму поглощенной радиации на свежеспаханном черноземном поле ( $A=10\%$ ) и на песчаном пляже ( $A=40\%$ ), если суммарная радиация в среднем за этот час на обеих площадках  $838 \text{ вт}/\text{м}^2$ .

488. На сколько градусов мог бы за час нагреться пруд глубиной 1 м, если суммарная радиация равна  $1,00 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , альbedo пруда в течение этого часа 5% и поглощаемая прудом часть суммарной радиации расходуется только на его нагревание?

На какие процессы, кроме нагревания воды, расходуется в действительности лучистая энергия, поглощаемая водоемом? Будет ли фактический нагрев воды больше или меньше найденного? Одинаков ли нагрев воды на всех глубинах?

489. Вычислить мощность прямой радиации, поглощаемой за 1 час 1 га поля с горизонтальной поверхностью и альbedo 20% при высоте солнца  $30^{\circ}$  и коэффициенте прозрачности 0,70.

490\*. Используя данные задач 478 и 483, вычислить месячные суммы поглощенной и отраженной радиации в Куйбышеве в указанные месяцы. Результат для каждого месяца представить в виде линейной диаграммы. Чем объясняется изменение соотношения между поглощенной и отраженной радиацией в течение года?

Варианты исходных данных те же, что и к задачам 478 и 483.

§ 38. ИЗЛУЧЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ, ВСТРЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ  
АТМОСФЕРЫ И ЭФФЕКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Излучение деятельного слоя (земное, или собственное, излучение)

$$E_3 = \delta \sigma T_3^4, \quad (82)$$

где  $\delta$  — относительная излучательная способность деятельного слоя (коэффициент серости), характеризующая также его поглощательную способность по отношению к длинноволновой радиации ( $\delta$  некоторых видов деятельного слоя приведена в приложении 13);  $\sigma$  — постоянная Стефана—Больцмана (см. § 34);  $T_3$  — температура поверхности деятельного слоя в °К. Значения  $\sigma T^4$  при разных температурах табулированы (см. приложение 14).

Встречное излучение атмосферы при ясном небе можно рассчитать по формуле Онгстрема

$$E_A = \sigma T_A^4 (A - B \cdot 10^{-Fe}), \quad (83)$$

где  $T_A$  — температура воздуха в °К на высоте 2 м над деятельным слоем;  $e$  — упругость водяного пара в мм рт. ст. на той же высоте;  $A$ ,  $B$  и  $F$  — постоянные. По Больцу и Фадькенбергу  $A = 0,820$ ;  $B = 0,250$ ;  $F = 0,126$ .

По формуле Брента

$$E_A = \sigma T_A^4 (D + G \sqrt{e}). \quad (84)$$

Т. Г. Берлянд и М. Е. Берлянд получили  $D = 0,61$ ,  $G = 0,05$  ( $e$  выражено в мб).

Эффективное излучение деятельного слоя

$$E_{эф} = E_3 - \delta E_A. \quad (85)$$

Эффективное излучение, взятое со знаком минус, называется балансом длинноволновой радиации:

$$B_d = \delta E_A - E_3. \quad (86)$$

При подстановке (82) и (84) в (85) получается полная формула:

$$E_{эф, \text{полн}} = \delta [\sigma T_3^4 - \sigma T_A^4 (D + G \sqrt{e})]. \quad (87)$$

Иногда принимают  $T_3 = T_A$  и получают приближенную формулу:

$$E_{эф, \text{прибл}} = \delta \sigma T_A^4 (1 - D - G \sqrt{e}). \quad (88)$$

Результат, полученный по (88), можно привести к значению, вычисленному по полной формуле (87), введя в первый из них поправку

$$\Delta E_{эф} = \delta (\sigma T_3^4 - \sigma T_A^4). \quad (89)$$

Уменьшение эффективного излучения облачностью характеризуется соотношением

$$E_{\text{эф, обл}} = E_{\text{эф, ясн}}(1 - Cn), \quad (90)$$

где  $n$  — количество облаков в баллах,  $C$  — эмпирический коэффициент, меняющийся, как определено М. Е. Берляндом, для широт от  $0$  до  $75^\circ$  в пределах  $0,50$ — $0,82$ , а в среднем он равен  $0,76$ . Коэффициент различен для облаков разных ярусов, поэтому более точным является соотношение

$$E_{\text{эф, обл}} = E_{\text{эф, ясн}}(1 - C_n n_n - C_{\text{ср}} n_{\text{ср}} - C_v n_v),$$

где  $n_n$ ,  $n_{\text{ср}}$  и  $n_v$  — количество облаков нижнего, среднего и верхнего ярусов в баллах. По Н. Г. Евфимову, для Павловска  $C_n = 0,076$ ,  $C_{\text{ср}} = 0,052$  и  $C_v = 0,029$ .

Для средних месячных значений эффективного излучения при ясном небе Н. А. Евфимова получила формулу

$$E_{\text{эф}} = \sigma T_A^4 (0,254 - 0,005e). \quad (91)$$

#### а. Излучение деятельного слоя

##### *Вводные вопросы*

1. Какие опытные данные подтверждают близость излучения деятельного слоя к излучению абсолютно черного тела при той же температуре?

2. Какие тела называются серыми? Каков смысл коэффициента серости? Почему можно считать, что излучение деятельного слоя происходит как излучение серого тела?

##### *Задачи*

491. Средняя температура поверхности Земли около  $15,0^\circ \text{C}$ . Считая излучение деятельного слоя близким к излучению абсолютно черного тела с такой же температурой, найти длину волны, имеющей наибольшую энергию. Ответ сравнить с ответом к задаче 381 и объяснить причины различия.

Каков смысл терминов «коротковолновая радиация» и «длинноволновая радиация»?

492. Решить предыдущую задачу для участков деятельного слоя с температурой  $-40,0$  и  $40,0^\circ \text{C}$ .

493. Считая излучение поверхности Солнца и деятельного слоя Земли близким к излучению абсолютно черных тел с температурами  $6000^\circ \text{K}$  и  $27^\circ \text{C}$ , найти, во сколько раз излучательная способность деятельного слоя Земли меньше, чем поверхности Солнца.

Можно ли из этого результата сделать вывод о незначительной роли излучения деятельного слоя для его теплового режима?

494 \*. Вычислить поток радиации, излучаемой поверхностью сухого песка при температуре  $5,0^{\circ}\text{C}$ . Ответ выразить в практических единицах и в СИ.

Варианты исходных данных

Вариант	$t^{\circ}\text{C}$								
1	-30,0	7	-16,0	13	-2,0	19	12,0	25	26,0
2	-18,0	8	-4,0	14	10,0	20	24,0	26	-20,0
3	-6,0	9	8,0	15	22,0	21	-22,0	27	-8,0
4	6,0	10	20,0	16	-24,0	22	-10,0	28	4,0
5	18,0	11	-26,0	17	-12,0	23	2,0	29	16,0
6	-28,0	12	-14,0	18	0,0	24	14,0	30	28,0

495. Результат задачи 494 сравнить с потоком прямой радиации на горизонтальную поверхность при высоте солнца  $30^{\circ}$  и коэффициенте прозрачности 0,7. Значительно ли различаются эти потоки? Может ли излучение деятельного слоя скомпенсировать или превысить поглощенную часть прямой (и суммарной) радиации?

496. Вычислить излучение поверхности оголенной сухой почвы при температуре  $40,0$  и  $-40,0^{\circ}\text{C}$ .

Значительно ли изменяется земное излучение, например, от лета к зиме? Изменится ли ответ, если учесть, что зимой почва может быть покрыта снегом?

497. На сколько процентов излучение густой травы превосходит излучение сухого песка при одинаковой температуре?

498 \*. Определить температуру поверхности сухого торфа, если его излучение составляет  $0,79 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

Варианты исходных данных

Вариант	$E_z$ кал/(см <sup>2</sup> ·мин)	Вариант	$E_z$ кал/(см <sup>2</sup> ·мин)	Вариант	$E_z$ кал/(см <sup>2</sup> ·мин)
1	0,93	11	0,86	21	0,82
2	0,76	12	0,72	22	0,68
3	0,64	13	0,60	23	0,55
4	0,53	14	0,49	24	0,45
5	0,40	15	0,36	25	0,32
6	0,87	16	0,84	26	0,78
7	0,74	17	0,71	27	0,66
8	0,62	18	0,58	28	0,54
9	0,49	19	0,47	29	0,41
10	0,38	20	0,34	30	0,30

499. Вычислить относительную излучательную способность глинистой почвы, если при температуре  $20,0^{\circ}\text{C}$  ее излучение составило  $0,54 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

500. Поток длинноволновой радиации на поверхность сырого песка  $832 \text{ вт}/\text{м}^2$ . Сколько из этого количества поглощается и сколько отражается?

В чем различие отражения деятельного слоя коротковолновой и длинноволновой радиации?

501. В Арысской экспедиции ГГО 26/VIII 1945 г. получено  $E_3 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ :

Часы . . . . .	0	4	8	12	16	20	24
$E_3$ . . . . .	0,56	0,54	0,67	0,87	0,78	0,59	0,56

Представить эти результаты графически и объяснить причины суточного изменения  $E_3$ .

502. На площадке ЛГМИ в Даймище 12/VII 1964 г. температура поверхности с редкой травой:

Часы . . . . .	0	4	8	12	16	20	24
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	13,5	11,2	23,4	36,9	28,1	17,4	13,7

Вычислить излучение деятельного слоя в каждый срок. Результаты представить графически и проанализировать. Вывести формулу трапеций и найти суточную сумму излучения в практических единицах и в СИ.

503. Многолетняя средняя месячная температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) деятельного слоя на ст. Воейково:

Месяц	Срок, час мин					
	0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
Январь . . . . .	-9,5	-10,0	-9,7	-8,3	-9,5	-10,2
Июль . . . . .	12,6	16,3	24,4	27,7	26,6	19,3

Вычислить излучение деятельного слоя в каждый срок, считая, что в январе поверхность покрыта снегом, а в июле — редкой травой. Результаты представить графически и проанализировать. Вывести формулу трапеций и вычислить суточные суммы излучения.

Указание: значения за срок 0 час 30 мин использовать дважды: для начала и конца суток.

504. Многолетняя средняя месячная температура деятельного слоя в Куйбышеве в 12 час 30 мин:

Месяц . . . . .	II	IV	VI	VIII	X	XII
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	-12,4	13,8	46,0	39,3	11,5	-7,7

Вычислить излучение деятельного слоя, считая, что в феврале и декабре поверхность покрыта снегом, а в остальные месяцы — редкой травой. Результат представить графически и проанализировать.

505. Среднее альbedo поверхности Земли (без атмосферы) 2,3%. Какую температуру имела бы земная поверхность при отсутствии атмосферы?

Ответ сравнить со значением, заданным в задаче 491, и сделать вывод о влиянии атмосферы на тепловой режим земной поверхности.

Указание: исходить из радиационного равновесия планеты (поглощение солнечной радиации равно длинноволновому излучению). Среднее  $\delta$  поверхности Земли считать равным 0,95.

#### б. Встречное излучение атмосферы (противоизлучение)

##### Вводные вопросы

1. Чем отличается излучение атмосферы от излучения Солнца и земной поверхности? Почему к нему нельзя автоматически применять законы излучения абсолютно черных и серых тел?

2. Какие газы в основном определяют излучение атмосферы? Как на него влияет облачность?

3. Какая часть атмосферного излучения называется встречным (или противоизлучением)? Какую роль оно играет в тепловом режиме земной поверхности?

##### Задачи

506. Температура нижней стратосферы в умеренных широтах около  $-55,0^{\circ}\text{C}$ . Условно считая ее излучение близким к излучению абсолютно черного тела с той же температурой, найти длину волны, имеющей наибольшую энергию. Ответ сравнить с ответами к задачам 491 и 381. Почему допущение, принятое в задаче, не является вполне справедливым?

• 507. Вычислить по формуле Онгстрема встречное излучение при ясном небе, температуре  $20,0^{\circ}\text{C}$  и упругости пара 9,0 мб. Как изменится ответ при увеличении (уменьшении) заданной температуры и влажности воздуха? Сравнить его с данными задачи 501 и ответами к задаче 502. Сделать вывод о соотношении между этими величинами.

508. Решить задачу 507, используя формулу Брента. Каково соотношение результатов? Всегда ли оно такое же, как

в данном случае? Как изменятся ответы, если небо не будет ясным? Какую из сравниваемых формул следует предпочесть?

509. Вычислить излучение сухой почвы, имеющей температуру 20,0° С. Ответ сравнить с ответами к задачам 507 и 508 и указать, является ли результат обычным или исключительным.

510. Используя результаты задач 507 и 508, вычислить часть встречного излучения, поглощенного сухой почвой и густой травой. Значительно ли различаются ответы? По отношению к коротковолновой или длинноволновой радиации поглощательные свойства разных участков различаются более сильно?

511\*. Многолетние средние месячные температура воздуха и упругость пара в Воейково в январе следующие:

Срок, час мин . . . . .	0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
$t^{\circ} \text{C}$ . . . . .	-9,2	-9,7	-9,1	-8,5	-8,8	-9,7
$e$ мб . . . . .	2,9	3,0	3,1	3,1	2,9	2,9

Вычислить для каждого срока встречное излучение по формуле Брента. Результаты представить графически и проанализировать. Вычислить суточную сумму встречного излучения в практических единицах и в СИ (использовать формулу из задачи 503). Чем вызваны особенности суточного хода встречного излучения? Как он изменится в этом же пункте летом или для заданного месяца, но более южных пунктов?

Варианты исходных данных

Вариант	Пункт	Месяц		Срок, час мин					
				0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
1	Якутск	IV	$t$	-12,1	-13,4	-7,5	-4,2	-2,9	-5,9
			$e$	1,8	1,8	2,0	2,3	2,2	2,2
2	Воейково	V	$t$	5,5	7,1	10,1	11,5	11,3	9,9
			$e$	7,3	7,9	7,7	8,0	7,6	7,8
3	Куйбышев	VI	$t$	17,2	17,7	22,1	24,6	25,0	23,0
			$e$	11,8	12,6	13,1	11,0	10,2	11,9
4	Деркул	VII	$t$	18,6	19,4	24,8	27,4	28,2	25,8
			$e$	13,2	14,8	14,0	12,5	12,1	13,1
5	Карадаг	VIII	$t$	22,4	22,6	26,3	27,0	26,4	24,3
			$e$	15,7	16,7	18,0	19,2	19,5	18,4
6	Якутск	IX	$t$	2,8	3,1	6,8	10,0	11,3	6,5
			$e$	6,5	7,9	8,9	6,5	6,4	6,7
7	Воейково	IV	$t$	-0,8	-0,9	2,1	4,2	3,9	2,0
			$e$	4,8	5,0	4,9	5,0	4,9	5,1
8	Куйбышев	V	$t$	11,9	12,0	15,6	18,3	18,6	17,1
			$e$	9,0	9,4	9,9	8,7	8,6	8,8

Вариант	Пункт	Месяц		Срок, час мин					
				0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
9	Деркул	VI	<i>t</i>	17,0	18,5	24,0	26,4	26,4	23,6
			<i>e</i>	12,1	13,1	12,5	11,0	11,0	12,3
10	Карадаг	VII	<i>t</i>	21,6	22,8	25,7	26,5	25,6	24,2
			<i>e</i>	15,9	16,9	18,5	19,2	19,5	18,5
11	Якутск	VIII	<i>t</i>	11,0	13,1	18,2	20,0	20,8	18,2
			<i>e</i>	11,0	11,2	11,7	11,1	11,3	12,2
12	Воейково	IX	<i>t</i>	8,3	8,3	11,5	13,3	12,9	10,6
			<i>e</i>	10,1	10,3	10,7	10,5	10,5	10,6
13	Куйбышев	IV	<i>t</i>	4,4	2,3	5,6	8,0	8,6	7,8
			<i>e</i>	6,3	5,8	6,2	6,3	6,3	6,8
14	Деркул	V	<i>t</i>	11,6	12,2	17,0	19,3	19,9	17,3
			<i>e</i>	9,4	10,3	9,9	7,0	9,3	10,0
15	Карадаг	VI	<i>t</i>	18,6	20,1	22,8	23,0	22,6	21,3
			<i>e</i>	15,5	16,0	17,4	18,0	18,4	17,2
16	Якутск	VII	<i>t</i>	13,9	17,0	20,4	23,3	23,4	22,4
			<i>e</i>	13,2	12,7	13,8	12,0	12,5	12,7
17	Воейково	VIII	<i>t</i>	12,4	13,4	16,9	18,3	18,3	16,1
			<i>e</i>	13,2	14,0	14,2	13,8	13,7	14,3
18	Куйбышев	IX	<i>t</i>	10,3	8,8	12,5	15,2	15,8	13,6
			<i>e</i>	9,0	9,3	6,8	7,1	7,1	6,3
19	Деркул	IV	<i>t</i>	4,1	3,6	7,2	10,1	11,3	8,8
			<i>e</i>	6,6	6,6	7,1	6,4	6,9	7,1
20	Карадаг	V	<i>t</i>	12,9	14,1	15,8	17,0	16,6	15,2
			<i>e</i>	10,6	11,3	12,6	13,0	13,1	12,6
21	Якутск	VI	<i>t</i>	10,8	15,4	18,6	20,6	20,8	19,8
			<i>e</i>	10,0	10,6	10,5	9,6	9,4	10,2
22	Воейково	VII	<i>t</i>	11,8	14,7	17,6	18,9	18,9	17,3
			<i>e</i>	13,6	14,3	14,1	13,9	13,9	14,2
23	Куйбышев	VIII	<i>t</i>	17,7	16,8	21,0	24,0	24,6	22,4
			<i>e</i>	13,0	13,5	13,7	12,5	12,1	13,4
24	Деркул	IX	<i>t</i>	12,0	10,8	16,3	18,2	20,0	15,9
			<i>e</i>	9,1	9,3	10,1	9,4	8,8	9,4
25	Карадаг	IV	<i>t</i>	7,8	7,5	9,8	11,0	10,9	9,4
			<i>e</i>	7,7	7,8	8,4	8,5	8,6	8,4
26	Якутск	V	<i>t</i>	0,8	3,4	6,0	8,6	8,0	7,3
			<i>e</i>	4,7	4,7	4,6	4,4	4,6	4,9
27	Воейково	VI	<i>t</i>	11,7	14,1	23,4	18,5	18,3	16,6
			<i>e</i>	11,4	12,7	12,5	12,3	12,0	12,2
28	Куйбышев	VII	<i>t</i>	17,7	17,9	22,0	24,3	24,6	22,8
			<i>e</i>	14,1	15,0	14,0	13,7	13,5	14,2

Вариант	Пункт	Месяц		Срок, час мин					
				0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
29	Деркул	VIII	<i>t</i>	18,4	18,3	24,2	27,3	27,8	24,7
			<i>e</i>	12,6	13,2	13,2	12,0	11,9	12,1
30	Карадаг	IX	<i>t</i>	17,3	17,4	20,8	22,1	21,3	18,8
			<i>e</i>	12,5	13,0	14,4	15,0	14,6	13,4

512. Решить 22-й вариант задачи 511 и результаты нанести на график, построенный в той же задаче. Объяснить причины различия суточного хода встречного излучения зимой и летом.

513. Многолетние средние месячные температура воздуха и упругость пара в Куйбышеве следующие:

Месяц . . . . .	II	IV	VI	VIII	X	XII
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	-15,2	8,0	24,6	24,0	8,4	-9,5
<i>e мб</i> . . . . .	1,7	6,3	11,1	12,5	7,2	2,9

Вычислить для каждого месяца встречное излучение по формуле Брента. Результаты представить графически, проанализировать и указать причины годового изменения встречного излучения.

514. Температура поверхности редкой травы  $30,0^{\circ}\text{C}$ , температура воздуха  $20,0^{\circ}\text{C}$ , упругость пара  $16,0\text{ мб}$ , небо ясное. Вычислить излучение поверхности, поглощенную часть встречного излучения и разность между ними.

Указание: для расчета встречного излучения использовать формулу Брента.

Преобладает ли в данном случае приход или расход длинноволновой радиации в деятельном слое? Возможно ли обратное соотношение между ними? Как называется последняя из найденных величин? О каком соотношении двух первых величин свидетельствует ее знак?

515. Воздух с температурой  $27,0^{\circ}\text{C}$  и упругостью пара  $25,0\text{ мб}$  при ясном небе натекает на поверхность сырого песка с температурой  $7,0^{\circ}\text{C}$ . Вычислить излучение поверхности, поглощенную часть встречного излучения и разность между ними (см. указание к предыдущей задаче). Является ли результат обычным или исключительным? Какие особенности исходных данных к нему привели? О каком соотношении между потоками длинноволновой радиации свидетельствует знак их разности?

**в. Эффективное излучение деятельного слоя и баланс длинноволновой радиации**

*Вводные вопросы*

1. Чем отличается эффективное излучение деятельного слоя от солнечного, земного и атмосферного излучения?
2. При каких условиях эффективное излучение бывает положительным и отрицательным? Каким оно чаще бывает в естественных условиях?
3. Каков характер суточного хода эффективного излучения на суше летом при ясном небе и чем он определяется? Как и почему на эффективное излучение влияет облачность?
4. К каким уровням, кроме деятельного слоя, и в каком смысле применим термин «эффективное излучение»?

*Задачи*

**516.** Вычислить при ясном небе излучение деятельного слоя, имеющего  $\delta = 0,90$  и температуру  $20,0^\circ\text{C}$ , встречное излучение атмосферы по формуле Брента, если температура воздуха  $15,0^\circ\text{C}$  и упругость пара  $9,0 \text{ мб}$ , поглощенную часть встречного излучения, эффективное излучение деятельного слоя, баланс длинноволновой радиации. Каков смысл полученных знаков эффективного излучения и баланса длинноволновой радиации? Происходит ли в данном случае за счет длинноволновой радиации нагревание или выхолаживание деятельного слоя?

**517.** По данным задачи 516 рассчитать эффективное излучение по приближенной формуле и найти относительную погрешность полученного ответа.

От чего зависит погрешность расчета эффективного излучения по приближенной формуле? В каком случае эта погрешность равна нулю?

**518.** Найти поправку к эффективному излучению, полученному в задаче 517, на разность температур деятельного слоя и воздуха. Результат сравнить с ответом к задаче 516.

**519.** Вычислить по приближенной формуле эффективное излучение деятельного слоя, имеющего  $\delta = 0,95$  и температуру  $55,0^\circ\text{C}$ , если температура воздуха  $25,0^\circ\text{C}$ , упругость пара  $25,0 \text{ мб}$ , небо ясное. В ответ внести поправку, после чего сравнить его с результатом расчета по полной формуле.

Может ли введение поправки значительно изменить результат расчета по приближенной формуле? Почему в данном случае поправка значительно превышает  $E_{\text{эф}}$ , полученное по приближенной формуле?

**520.** Вычислить эффективное излучение и баланс длинноволновой радиации деятельного слоя, имеющего  $\delta = 0,90$  и температуру  $30,0^\circ\text{C}$ , если температура воздуха  $10,0^\circ\text{C}$ , упругость пара  $9,0 \text{ мб}$  и небо ясное.

521. Каким станет эффективное излучение деятельного слоя, составлявшее при ясном небе  $0,25 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , если половина неба будет закрыта облаками верхнего, среднего или нижнего яруса?

Как влияет облачность на эффективное излучение? Почему облака разных ярусов неодинаково изменяют эффективное излучение?

522. Вычислить эффективное излучение поверхности чистого снега, имеющей температуру  $-6,0^\circ \text{C}$ , если температура воздуха  $-5,0^\circ \text{C}$ , упругость пара  $4,0 \text{ мб}$  и наблюдается 4 балла облаков среднего и 5 баллов облаков нижнего яруса.

523. М. Е. Берлянд и Т. Г. Берлянд установили, что в холодное время года коэффициент  $C_H$  на широтах более  $60^\circ$  составляет  $0,090$ , а в поясе  $50-40^\circ$   $0,082$ . В каком поясе эффективное излучение зимой сильнее уменьшается по сравнению со значением при ясном небе и на сколько процентов, если небо полностью покрыто облаками нижнего яруса? Каковы возможные причины такого результата?

524. М. Е. Берлянд и Т. Г. Берлянд нашли, что на широте Москвы коэффициент  $C_{\text{ср}}$  в холодное время года составляет  $0,074$ , а в теплое  $0,067$ . В какое время года сильнее снижается эффективное излучение деятельного слоя по сравнению со значением при ясном небе и на сколько процентов, если небо наполовину закрыто облаками среднего яруса?

525. Вычислить эффективное излучение и баланс длинноволновой радиации водной поверхности, имеющей температуру  $30,0^\circ \text{C}$ , если температура воздуха  $20,0^\circ \text{C}$ , упругость пара  $4,0 \text{ мб}$  и половина неба закрыта облаками нижнего яруса.

526. Найти баланс длинноволновой радиации, если эффективное излучение составляет  $0,25$ ,  $0,10$ ,  $-0,03 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Определить эффективное излучение, если баланс длинноволновой радиации составляет  $-0,15$ ,  $-0,07$ ,  $0,04 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

527. Многолетние средние значения эффективного излучения деятельного слоя в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  в Воейково в июне составляют:

Срок, час мин . . .	0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
$E_{\text{эф}}$ . . . . .	0,06	0,11	0,15	0,14	0,13	0,09

Построить и проанализировать график суточного хода эффективного излучения (см. указание к задаче 503). Вывести формулу трапеций и вычислить суточную сумму. Чем вызван суточный ход эффективного излучения? Слабо или резко выраженным следует в данном случае считать его? Каким он будет в зимние месяцы? Как он изменится в том же месяце на значительно более южной (северной) станции?

528. По данным задачи 513 вычислить для каждого месяца эффективное излучение деятельного слоя при ясном небе по формуле Н. А. Ефимовой. Построить и проанализировать график годового хода. Чем вызван этот ход? Следует ли его считать выраженным отчетливо или слабо и чем это объясняется?

529. Многолетние средние месячные значения эффективного излучения деятельного слоя в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  в 12 час 30 мин:

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Якутск . . . . .	0,05	0,08	0,20	0,14	0,06	0,02
Карадаг . . . . .	0,08	0,18	0,27	0,27	0,16	0,06

Построить и проанализировать график годового хода эффективного излучения в указанных пунктах.

530. Месячные суммы эффективного излучения деятельного слоя в  $\text{ккал}/\text{см}^2$ :

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Воейково . . . . .	2,1	3,1	4,5	3,3	1,9	1,0
Куйбышев . . . . .	2,4	4,5	6,8	5,9	3,1	2,2

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

### § 39. РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ

Выражение для радиационного баланса деятельного слоя имеет вид

$$B = (S' + D)(1 - A) - E_{\text{эф}}. \quad (92)$$

Для средних многолетних условий в светлое время суток опытным путем получено

$$B = a(h_{\odot} - b). \quad (93)$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  зависят от альbedo и количества облаков. Если количество облаков составляет около 5 баллов, то:

$A\%$ . . . . .	10—20	20—30	50—60	60—70	70—80
$a$ . . . . .	0,013	0,012	0,006	0,007	0,004
$b$ . . . . .	10,0	9,8	7,4	7,4	8,5

При другом количестве облаков  $n$  в формулу (93) вводится поправочный коэффициент, равный:

$n$ , баллы . . . . .	0—2	3	4	5	6	7	8—10
Коэффициент . . . . .	1,06	1,06	1,04	1,00	0,97	0,93	0,88

Для травяного покрова экспериментально найдено:

$$B = \frac{(S' + D)(1 - A) - 0,06}{1,20} \quad (94)$$

### Задачи

531. Вычислить радиационный баланс деятельного слоя, если поглощенная часть прямой радиации на горизонтальную поверхность составляет  $0,50 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , рассеянной  $0,12 \text{ кал}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ , атмосферного излучения  $0,43 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , собственное излучение деятельного слоя  $0,58 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . О чем говорит знак ответа? Следует ли считать этот ответ близким к среднему или сравнительно большим (малым)? Для какого времени суток и года он характерен, если данные относятся к умеренным широтам?

532\*. Найти радиационный баланс деятельного слоя, если поглощенная часть коротковолновой радиации равна  $0,05 \text{ кал}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ , а эффективное излучение  $0,12 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Каков смысл знака ответа? К какому времени суток и года относятся данные, если они получены в умеренных широтах при безоблачном небе?

Варианты исходных данных

Вариант	$Q_{\text{п}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	$E_{\text{эф}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	Вариант	$Q_{\text{п}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	$E_{\text{эф}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	Вариант	$Q_{\text{п}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	$E_{\text{эф}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	Вариант	$Q_{\text{п}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	$E_{\text{эф}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$
1	0,03	0,08	4	0,22	0,13	7	0,11	0,16	10	0,29	0,06
2	0,10	0,15	5	0,28	0,07	8	0,17	0,18	11	0,06	0,10
3	0,16	0,19	6	0,04	0,09	9	0,23	0,12	12	0,12	0,17

Вариант	$Q_{\text{п}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	$E_{\text{эф}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	Вариант	$Q_{\text{п}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	$E_{\text{эф}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	Вариант	$Q_{\text{п}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	$E_{\text{эф}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	Вариант	$Q_{\text{п}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$	$E_{\text{эф}} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$
13	0,18	0,17	17	0,13	0,18	22	0,14	0,19	27	0,15	0,20
14	0,24	0,11	18	0,19	0,16	23	0,20	0,15	28	0,21	0,14
15	0,30	0,05	19	0,25	0,10	24	0,26	0,09	29	0,27	0,08
—	—	—	20	0,31	0,04	25	0,32	0,03	30	0,33	0,02
16	0,07	0,11	21	0,08	0,13	26	0,09	0,14	—	—	—

533. Вычислить радиационный баланс деятельного слоя, если баланс коротковолновой радиации  $B_{\text{к}} = 0,55 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а баланс длинноволновой радиации  $B_{\text{д}} = -0,15 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Может ли  $B_{\text{к}}$  равняться нулю или быть отрицательным? Как при этом изменится ответ при том же  $B_{\text{д}}$ ? Может ли  $B_{\text{д}}$  равняться нулю или быть положительным? Как при этом изменится ответ при том же  $B_{\text{к}}$ ? Каково обычно соотношение между радиационным балансом и балансом длинноволновой радиации в умеренных широтах днем и ночью?

534. Рассчитать радиационный баланс поверхности сухого песка, если поток прямой радиации на горизонтальную поверхность  $698 \text{ вт}/\text{м}^2$ , рассеянная радиация  $279 \text{ вт}/\text{м}^2$ , альbedo  $25\%$ , собственное излучение деятельного слоя  $524 \text{ вт}/\text{м}^2$ , встречное излучение  $209 \text{ вт}/\text{м}^2$ . Как изменится ответ, если солнечный диск закроется плотным облаком? Если увеличится (уменьшится) высота солнца? Если увеличится (уменьшится) альbedo? Если увеличится (уменьшится) температура поверхности при постоянстве остальных величин? Если увеличится (уменьшится) температура воздуха и упругость пара?

535. Решить задачу 534 при условии, что солнце закрыто плотным облаком и поступление прямой радиации прекратилось. Считать, что поток рассеянной радиации при этом уменьшится на  $10\%$ , температура поверхности деятельного слоя понизится на  $25,0^\circ \text{С}$ , а альbedo и встречное излучение останутся прежними. Как изменился ответ? За счет чего это произошло? Какова роль прямой радиации в радиационном балансе деятельного слоя?

536. Рассчитать радиационный баланс деятельного слоя, имеющего  $\delta = 0,84$ , если суммарная радиация  $1,20 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , альbedo  $20\%$ , температура поверхности  $45,0^\circ \text{С}$ , температура воздуха  $27,0^\circ \text{С}$ , упругость пара  $16,0 \text{ мб}$  и наблюдается 2 балла облаков нижнего яруса. Обсудить те же вопросы, что и в задаче 534.

537. Вычислить радиационный баланс поверхности чистого снега, если суммарная радиация  $0,20 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , альbedo 90%, температура поверхности и воздуха  $-30,0^\circ \text{C}$ , упругость пара  $0,25 \text{ мб}$ , 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 радиация отсутствует?

538. Вычислить радиационный баланс поверхности моря и соседнего с ним песчаного пляжа, если поток прямой радиации на обе поверхности  $558 \text{ вт}/\text{м}^2$ , поток рассеянной радиации  $142 \text{ вт}/\text{м}^2$ , альbedo песка 30%, моря 10%, температура поверхности песка  $50,0^\circ \text{C}$ , моря  $25,0^\circ \text{C}$ , температура воздуха над обеими поверхностями  $30,0^\circ \text{C}$ , упругость пара над песком  $16,0 \text{ мб}$ , над морем  $25,0 \text{ мб}$ , небо ясное, обе поверхности горизонтальные.

Каково обычно соотношение между радиационным балансом суши и водоема при одинаковом потоке солнечной радиации и чем оно вызвано? Что можно предположить о соотношении между радиационным балансом сухой и обильно увлажненной почвы (например, искусственно орошаемой), пустыни и оазиса, одной и той же почвы после периода засухи и после периода дождей?

539. Вычислить радиационный баланс деятельного слоя, имеющего альbedo 25%, при высотах солнца  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $60^\circ$ , если количество облаков равно 5 баллов. Почему радиационный баланс изменяется при изменении высоты солнца?

540. Вычислить радиационный баланс при высоте солнца  $50^\circ$  и облачности 5 баллов для участков деятельного слоя, имеющих альbedo 15, 25, 55%. Почему радиационный баланс изменяется при изменении альbedo?

541. Найти значение поглощенной коротковолновой радиации, при котором радиационный баланс травы равен нулю. Каково при этом встречное излучение атмосферы, если температура поверхности  $20,0^\circ \text{C}$ ? Почему радиационный баланс поверхности может обратиться в нуль, несмотря на поступление коротковолновой радиации?

542. Найти радиационный баланс травы, имеющей альbedo 20%, если поток прямой радиации на горизонтальную поверхность составляет  $0,78 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а рассеянной  $0,20 \text{ кал}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ .

543. Радиационный баланс в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  деятельного слоя площадки ЛГМИ в Даймище при безоблачном небе 13/VII 1964 г.:

Срок, час . . . . .	1	3	5	7	9	11
<i>B</i> . . . . .	-0,06	-0,06	0,09	0,28	0,49	0,61
Срок, час . . . . .	13	15	17	19	21	23
<i>B</i> . . . . .	0,64	0,59	0,27	-0,06	-0,09	-0,09

Представить эти данные графически и проанализировать. Указать общий характер изменения радиационного баланса, экстремальные значения, время их наступления, амплитуду колебания, продолжительность интервалов с положительными и отрицательными значениями, время переходов через нуль. Подсчитать сумму радиационного баланса за интервал с 1 до 23 час.

544\*. Средние месячные значения радиационного баланса деятельного слоя в кал/(см<sup>2</sup>·мин) в Минске в 1958 г.:

Месяц	Срок, час мин					
	0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
Январь . . . . .	-0,02	-0,02	0,00	-0,01	-0,01	-0,03
Июль . . . . .	-0,06	0,14	0,45	0,48	0,36	0,05

Представить эти данные графически, проанализировать и указать причины различия суточного хода радиационного баланса зимой и летом (см. указание к задаче 503). Вычислить его суточные суммы.

Варианты исходных данных

Вариант	Год	Месяц	Срок, час мин					
			0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
<b>Ленинград</b>								
1	1953	I	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02
		VII	-0,03	0,15	0,32	0,33	0,22	0,02
2	1954	I	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	-0,01	-0,02
		VII	-0,04	0,09	0,34	0,46	0,31	0,03
3	1955	I	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	-0,02	-0,02
		VII	-0,06	0,16	0,36	0,54	0,32	0,01
4	1956	I	-0,02	-0,01	0,00	0,00	-0,02	-0,02
		VII	-0,05	0,16	0,41	0,46	0,33	0,06
5	1957	I	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	-0,01	-0,02
		VII	-0,04	0,14	0,42	0,57	0,32	0,02
6	1958	I	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	-0,01	-0,02
		VII	-0,04	0,13	0,41	0,49	0,29	0,03
<b>Куйбышев</b>								
7	1953	I	-0,02	-0,02	0,02	0,04	-0,04	-0,03
		VII	-0,06	0,20	0,64	0,73	0,46	0,05
8	1954	I	-0,05	-0,04	0,01	0,03	-0,02	-0,05
		VII	-0,08	0,16	0,51	0,62	0,38	0,05

Вариант	Год	Месяц	Срок, час мин					
			0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
9	1955	I	-0,03	-0,03	0,00	0,00	-0,01	-0,03
		VII	-0,08	0,15	0,52	0,61	0,45	0,02
10	1956	I	-0,03	-0,02	0,00	0,01	-0,03	-0,03
		VII	-0,07	0,14	0,49	0,54	0,38	0,01
11	1957	I	-0,03	-0,02	-0,01	0,00	0,03	-0,03
		VII	-0,07	0,15	0,53	0,63	0,33	0,02
12	1958	I	-0,02	-0,02	-0,01	0,02	-0,02	-0,02
		VII	-0,06	0,16	0,46	0,61	0,41	0,04
Киев								
13	1953	I	-0,03	-0,02	0,01	0,05	-0,01	-0,02
		VII	0,08	0,15	0,56	0,60	0,42	0,01
14	1954	I	-0,02	-0,02	0,00	0,01	-0,02	-0,04
		VII	0,07	0,16	0,49	0,53	0,42	0,04
15	1955	I	-0,03	-0,03	0,01	0,05	-0,01	-0,03
		VII	0,08	0,16	0,54	0,62	0,36	0,02
16	1956	I	-0,02	-0,03	0,02	0,07	-0,01	-0,03
		VII	0,07	0,15	0,53	0,54	0,36	0,02
17	1957	I	-0,02	-0,02	0,01	0,07	0,00	-0,02
		VII	0,06	0,15	0,53	0,61	0,38	0,04
18	1958	I	-0,03	-0,03	0,02	0,05	-0,01	-0,02
		VII	0,06	0,15	0,49	0,67	0,35	0,02
Одесса								
19	1953	I	-0,04	-0,04	0,02	0,09	0,01	-0,03
		VII	-0,07	0,17	0,62	0,72	0,47	0,00
20	1954	I	-0,03	-0,03	0,02	0,09	0,00	-0,05
		VII	-0,07	0,17	0,52	0,71	0,38	0,02
21	1955	I	-0,03	-0,03	0,05	0,10	0,02	-0,03
		VII	-0,07	0,13	0,53	0,76	0,44	0,01
22	1956	I	-0,03	-0,02	0,05	0,14	0,00	-0,03
		VII	-0,08	0,15	0,63	0,60	0,39	0,02
23	1957	I	-0,05	-0,03	0,06	0,15	0,00	-0,05
		VII	-0,08	0,17	0,65	0,80	0,42	0,01
24	1958	I	-0,03	-0,04	0,06	0,16	0,02	-0,04
		VII	-0,08	0,17	0,65	0,80	0,42	0,01
Тбилиси								
25	1953	I	-0,09	-0,10	0,12	0,31	0,02	-0,11
		VII	-0,07	0,11	0,61	0,85	0,48	-0,04
26	1954	I	-0,04	-0,05	0,09	0,20	0,03	-0,04
		VII	-0,05	0,09	0,55	0,71	0,47	-0,09

Вариант	Год	Месяц	Срок, час мин					
			0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
27	1955	I	-0,04	-0,04	0,09	0,20	0,01	-0,05
		VII	-0,05	0,09	0,57	0,78	0,38	-0,02
28	1956	I	-0,05	-0,05	0,11	0,26	0,02	-0,06
		VII	-0,04	0,10	0,47	0,60	0,38	-0,02
29	1957	I	-0,04	-0,04	0,09	0,19	0,02	-0,05
		VII	-0,06	0,11	0,58	0,76	0,44	-0,01
30	1958	I	-0,04	-0,04	0,08	0,18	0,02	-0,04
		VII	-0,05	0,12	0,58	0,72	0,47	0,01

545. Средние месячные значения радиационного баланса деятельного слоя в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  в июле 1958 г.:

Срок . . . . .	0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30
Среднекан . . . . .	-0,05	0,18	0,37	0,44	0,29	0,08
Астрахань . . . . .	-0,07	0,18	0,58	0,64	0,34	0,03

Построить и проанализировать графики суточного хода радиационного баланса на этих станциях (см. указание к задаче 503). Вычислить его суточные суммы.

546. Средние многолетние месячные суммы радиационного баланса деятельного слоя в  $\text{ккал}/\text{см}^2$  в Новосибирске:

Месяц . . . . .	II	IV	VI	VIII	X	XII
$\sum_{\text{мес}} B$ . . . . .	-0,3	4,7	8,3	5,8	0,4	-0,9

Построить и проанализировать график годового хода радиационного баланса. Вычислить его годовую сумму.

547\*. Месячные суммы радиационного баланса деятельного слоя ( $\text{ккал}/\text{см}^2$ ):

Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
Среднекан . . . . .	-0,5	-0,1	7,6	5,7	-1,0	-0,6
Астрахань . . . . .	0,6	6,1	9,8	8,1	2,7	0,0

Представить эти данные графически, проанализировать и указать причины различия годового хода радиационного баланса на этих станциях. Вычислить его годовые суммы.

Варианты исходных данных

Вариант	Год	Пункт	II	IV	VI	VIII	X	XII
1	1957	Хибины . . . . .	-0,3	2,3	7,3	3,5	-0,1	-0,7
		Ашхабад . . . . .	1,4	4,7	6,7	5,9	2,3	0,7
2	1959	Верхоянск . . . . .	-0,4	0,0	8,6	5,2	-0,7	-0,8
		Кишинев . . . . .	0,7	4,8	8,5	6,6	1,8	-0,8
3	1955	Архангельск . . . . .	-0,5	2,5	6,0	5,4	-0,5	-1,4
		Ташкент . . . . .	0,9	5,3	9,1	6,5	2,1	0,4
4	1954	Якутск . . . . .	-0,2	2,9	8,4	5,2	0,0	-0,3
		Киев . . . . .	0,1	4,4	9,6	5,8	1,0	-0,4
5	1953	Ленинград . . . . .	-0,5	4,7	7,2	3,6	-0,1	-0,6
		Одесса . . . . .	0,9	5,9	10,6	6,8	2,0	-0,4
6	1952	Воейково . . . . .	-0,2	4,0	7,2	4,6	0,1	-0,6
		Тбилиси . . . . .	2,0	6,0	10,4	8,4	3,2	0,1
7	1958	Хибины . . . . .	-0,2	1,1	8,2	4,8	0,1	-0,6
		Ашхабад . . . . .	2,8	5,6	7,8	6,5	2,2	0,6
8	1956	Архангельск . . . . .	-1,1	2,2	8,3	3,9	-0,4	-0,4
		Ташкент . . . . .	0,5	4,4	7,0	6,7	1,8	0,1

548. Используя результаты наблюдений Пахта-Аральской экспедиции ГГО, проведенных в июле 1952 г. на площадке в полупустыне в районе Ташкента, вычислить для каждого срока суммарную радиацию и поглощенную ее часть, баланс длинноволновой радиации и радиационный баланс. Построить, проанализировать и описать график суточного хода прямой радиации на горизонтальную поверхность, рассеянной радиации, поглощенной коротковолновой радиации, баланса длинноволновой радиации и радиационного баланса. Вывести формулу трапеций и вычислить суточную сумму радиационного баланса.

Исходные данные — осредненные за 8 ясных суток июля 1952 г. результаты наблюдений Пахта-Аральской экспедиции ГГО за составляющими радиационного баланса в полупустыне (все величины, кроме  $A$ , в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ )

	Срок, час мин										
	0 30	4 30	6 30	8 30	10 30	12 30	14 30	16 30	18 30	20 30	0 30
$S'$	0,00	0,00	0,25	0,73	1,11	1,21	1,01	0,55	0,09	0,00	0,00
$D$	0,00	0,00	0,11	0,18	0,16	0,17	0,15	0,12	0,06	0,00	0,00
$A$	—	—	0,31	0,27	0,27	0,25	0,27	0,28	0,33	—	—
$E_3$	0,65	0,61	0,60	0,66	0,76	0,83	0,81	0,75	0,74	0,70	0,65
$\delta E_A$	0,56	0,54	0,48	0,47	0,47	0,46	0,53	0,57	0,59	0,60	0,56

549. Решить предыдущую задачу по материалам наблюдений той же экспедиции на орошаемом хлопковом поле. Объяснить полученные результаты и сделать выводы о влиянии орошения на радиационный баланс.

Исходные данные — осредненные за 8 ясных суток июля 1952 г. результаты наблюдений Пахта-Аральской экспедиции ГГО за составляющими радиационного баланса на орошаемом хлопковом поле (все величины, кроме  $A$ , в кал/ (см<sup>2</sup> · мин))

	Срок, час мин										
	0 30	4 30	6 30	8 30	10 30	12 30	14 30	16 30	18 30	20 30	0 30
$S'$	0,00	0,00	0,23	0,72	1,13	1,23	1,05	0,60	0,11	0,00	0,00
$D$	0,00	0,00	0,12	0,19	0,18	0,18	0,15	0,13	0,08	0,00	0,00
$A$	—	—	0,29	0,22	0,22	0,22	0,23	0,25	0,26	—	—
$E_3$	0,62	0,59	0,56	0,55	0,56	0,57	0,56	0,61	0,65	0,63	0,62
$\delta E_A$	0,55	0,53	0,49	0,47	0,43	0,43	0,46	0,52	0,54	0,56	0,55

#### § 40. РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС АТМОСФЕРЫ И СИСТЕМЫ ДЕЯТЕЛЬНЫЙ СЛОЙ—АТМОСФЕРА

Радиационный баланс атмосферы

$$B_A = q' + E_{эф} - F_{\infty}, \quad (95)$$

где  $q'$  — прямая и рассеянная радиация, поглощенная в вертикальном столбе сечением 1 см<sup>2</sup>, простирающемся от земной поверхности до верхней границы атмосферы;  $E_{эф}$  — эффективное излучение деятельного слоя;  $F_{\infty}$  — длинноволновое излучение деятельного слоя и атмосферы, выходящее через 1 см<sup>2</sup> внешней поверхности указанного столба в мировое пространство (уходящее излучение).

Радиационный баланс системы деятельный слой—атмосфера:

$$B_c = (S' + D)(1 - A) + q' - F_{\infty}. \quad (96)$$

Сумма первых двух слагаемых есть солнечная радиация, поглощенная деятельным слоем и атмосферой. Поэтому

$$B_c = Q_0(1 - A_c) - F_{\infty}, \quad (97)$$

где  $Q_0$  — приход солнечной радиации на верхней границе атмосферы;  $A_c$  — альbedo системы.

##### а. Радиационный баланс атмосферы

###### Вводные вопросы

1. Какие процессы происходят с солнечной радиацией, приходящей к верхней границе атмосферы?

2. Что происходит с солнечной радиацией, не отразившейся от атмосферы, облаков и деятельного слоя обратно в мировое пространство? Какая ее часть является для атмосферы «приходной» статьей?

3. Коротковолновой или длинноволновой является расходная часть этого баланса? Из каких потоков радиации она формируется?

### Задачи

550. По расчетам М. И. Будыко, среднее альbedo Земли с ее атмосферой составляет около 36%, а многолетняя средняя годовая сумма солнечной радиации, поглощенной атмосферой, вдвое меньше, чем для деятельного слоя. Используя ответ к задаче 390, найти годовую сумму солнечной радиации, поглощаемой Землей вместе с атмосферой и только атмосферой.

Велика ли роль атмосферы в поглощении солнечной радиации по сравнению с ролью деятельного слоя? Является ли атмосфера по отношению к солнечной радиации в большей степени рассеивающей или поглощающей средой? Каков смысл полученного знака радиационного баланса атмосферы?

551. По данным Д. Лондона, поглощение солнечной радиации составными частями атмосферы распределяется следующим образом: 16% — озон, 75% — водяной пар и твердые примеси, 9% — облака. Используя результат задачи 550, вычислить годовые суммы поглощаемой ими солнечной радиации. Какая составная часть атмосферы играет основную роль в поглощении солнечной радиации?

552. Результаты задач 550 и 551, характеризующие распределение годовой суммы солнечной радиации, поступающей к атмосфере, представить в виде схемы.

553. По данным М. И. Будыко, многолетняя средняя годовая сумма эффективного излучения деятельного слоя составляет  $40 \text{ ккал/см}^2$ , а уходящего излучения  $168 \text{ ккал/см}^2$ . Найти годовую сумму баланса длинноволновой радиации атмосферы. Каков смысл знака этого баланса? Сравнить абсолютную величину ответа с результатом задачи 550 и сделать вывод о знаке радиационного баланса атмосферы.

554. По расчетам Д. Лондона, атмосфера поглощает в среднем  $0,545 \text{ кал/(см}^2 \cdot \text{мин)}$  поступающего в нее излучения деятельного слоя, а излучает в мировое пространство  $0,297 \text{ кал/(см}^2 \cdot \text{мин)}$  и к земной поверхности  $0,482 \text{ кал/(см}^2 \cdot \text{мин)}$ . Вычислить баланс длинноволновой радиации атмосферы, найти его годовую сумму и сравнить с результатом задачи 553. Значительно ли различаются суммы, найденные двумя исследователями?

555. Дополнить схему из задачи 552 данными задачи 553 и проверить вывод о знаке годовой суммы радиационного баланса атмосферы.

556. Используя ответы к задачам 550 и 553, вычислить годовую сумму радиационного баланса атмосферы. Результат проверить по уравнению (95). Каков его смысл?

Почему не происходит систематического, монотонного изменения температуры воздуха от года к году? Как совместить полученный результат с законом сохранения энергии? Какое состояние в результате рассмотренных процессов устанавливается между деятельным слоем и атмосферой (в многолетнем среднем годовом выводе)?

557. По расчетам Д. Лондона, общее поглощение коротковолновой радиации в атмосфере составляет  $0,087 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Используя баланс длинноволновой радиации атмосферы, найденный в задаче 554, вычислить радиационный баланс атмосферы, найти его годовую сумму и сравнить с ответом к задаче 556. Значительно ли различаются суммы, найденные разными исследователями?

558. По расчетам Ф. Меллера, в поясе  $30-50^\circ$  суточная сумма прямой и рассеянной радиации, поглощенной атмосферой, в среднем составляет  $92 \text{ кал}/\text{см}^2$ , а разность уходящего и эффективного излучения деятельного слоя  $300 \text{ кал}/\text{см}^2$ . Вычислить суточную и годовую сумму радиационного баланса атмосферы в указанном поясе. Сохранился ли ранее найденный порядок годовой суммы?

559. Многолетние средние годовые суммы радиационного баланса атмосферы ( $\text{ккал}/\text{см}^2$ ), по Т. Г. Берлянд и К. Я. Винникову:

Северная широта, град . . .	70—60	50—40	30—20	10—0
$B_A$ . . . . .	-70	-60	-82	-76
Южная широта, град . . . . .	0—10	20—30	40—50	
$B_A$ . . . . .	-74	-74	-64	

Представить эти данные графически и проанализировать. Значительна ли междуширотная изменчивость годовых сумм радиационного баланса атмосферы?

#### б. Радиационный баланс системы деятельный слой—атмосфера

##### Вводные вопросы

1. Каковы приходные и расходные статьи этого баланса?
2. От каких свойств деятельного слоя и атмосферы зависит радиационный баланс их системы?
3. Каков смысл разных знаков этого баланса? Какие процессы возникают в деятельном слое и в атмосфере при том или ином знаке баланса?

##### Задачи

560. По расчетам Д. Лондона, количество солнечной радиации, отражающейся от земной поверхности, атмосферы и облаков

в мировое пространство, составляет в среднем  $0,176 \text{ кал}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ . Используя ответ к задаче 390, вычислить среднее альbedo Земли вместе с атмосферой и сравнить с данными задачи 550. Значительно ли различаются альbedo Земли, вычисленные разными исследователями? Какую долю приходящей солнечной радиации Земля отражает в мировое пространство? Какую радиацию, кроме отраженной солнечной, Земля также отдает в мировое пространство? Какой из этих двух потоков больше и примерно во сколько раз?

561. По данным Д. Лондона, в общее количество солнечной радиации, отражаемой Землей в мировое пространство, входит отражение от атмосферы —  $0,034 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , от облаков —  $0,121 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$  и от земной поверхности —  $0,021 \text{ кал}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ . Выразить эти числа в процентах от среднего прихода солнечной радиации на  $1 \text{ см}^2$  на верхней границе атмосферы за  $1 \text{ мин}$  (см. задачу 390). Просуммировать их и проверить альbedo, вычисленное в задаче 560. Какая часть системы деятельный слой—атмосфера вносит основной вклад в отражение солнечной радиации в мировое пространство?

562. Используя ответ к задаче 390 и среднее альbedo из задачи 550, вычислить годовую сумму солнечной радиации, отражаемой Землей в мировое пространство, и баланса коротковолновой радиации на верхней границе атмосферы. Какова энергетическая база большинства физических процессов, происходящих в атмосфере и на земной поверхности?

563. Вычислить величины, указанные в задаче 562, по данным и результатам задачи 560. Ответы сравнить с найденными в задаче 562.

564. По расчетам М. И. Будыко, многолетняя средняя годовая сумма эффективного излучения деятельного слоя составляет  $40 \text{ ккал}/\text{см}^2$ . Учитывая данные и ответ к задаче 550, вычислить годовую сумму коротковолновой радиации, поглощаемой деятельным слоем, и его радиационного баланса. Сравнить второй ответ с ответом к задаче 556 и указать причину их соотношения. Как оно сказывается на радиационном балансе системы деятельный слой — атмосфера?

565. По данным Д. Лондона, количество прямой радиации, поглощаемой деятельным слоем, в среднем составляет  $0,112 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а рассеянной  $0,125 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Эффективное излучение деятельного слоя в среднем равно  $0,090 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Вычислить радиационный баланс деятельного слоя, найти его годовую сумму и сравнить с ответом к задаче 557. Изменится ли при использовании данных других авторов соотношение между годовыми суммами радиационного баланса атмосферы и деятельного слоя, найденное в задаче 564? Справедливо ли оно лишь в среднем для всей Земли и всего года или также для любой отдельной точки и отдельного момента?

566. По расчетам М. И. Будыко, годовая сумма уходящего излучения составляет  $168 \text{ ккал/см}^2$ . Сравнить эту величину с ответом к задаче 550 и найти радиационный баланс системы деятельный слой—атмосфера (относительно мирового пространства). Результат проверить по формуле (97).

Находится ли Земля в состоянии лучистого равновесия с окружающим пространством? Какие опытные данные подтверждают такое ее состояние? Сохраняется ли оно лишь в среднем или также в конкретных пунктах и в любой момент?

567. По данным Д. Лондона, в поясе  $10\text{--}20^\circ$  солнечная радиация, поглощаемая деятельным слоем и атмосферой, в среднем составляет  $0,409 \text{ кал/(см}^2 \cdot \text{мин)}$ , а уходящее излучение  $0,354 \text{ кал/(см}^2 \cdot \text{мин)}$ . В поясе  $50\text{--}60^\circ$  эти величины соответственно  $0,224$  и  $0,287 \text{ кал/(см}^2 \cdot \text{мин)}$ . Вычислить радиационный баланс системы деятельный слой—атмосфера для указанных поясов. Чем можно объяснить различие результатов?

568. Средние месячные суммы солнечной радиации в  $\text{ккал/см}^2$ , поглощенной деятельным слоем и атмосферой, а также уходящего излучения в северном полушарии, по Д. Лондону:

Широта, град	И ю н ь							Д е к а б р ь								
	0	10	20	30	40	50	60	70	0	10	20	30	40	50	60	70
$Q_0(1 - A_c)$	15,5	17,2	18,5	19,1	19,0	18,3	17,2	15,4	16,9	15,5	12,8	9,6	5,7	2,6	0,7	0,0
$F_\infty$	12,7	13,3	14,2	14,6	14,1	13,6	13,4	12,9	13,1	14,1	14,8	14,3	13,1	12,3	11,7	11,4

Найти радиационный баланс системы деятельный слой—атмосфера на указанных широтах. Результаты представить графически и проанализировать. Какие причины вызывают широтное изменение этой величины в июне? Чем вызвано ее различие на одной и той же широте в июне и в декабре?

569. Многолетние средние годовые суммы радиационного баланса системы деятельный слой—атмосфера в  $\text{ккал/см}^2$ , по К. Я. Винникову:

Северная широта, град . . . . .	70—60	60—50	50—40	40—30	30—20	20—10	10—5
$\sum_{\text{год}} B_c$ . . . . .	-49	-30	-12	4	14	23	29
Южная широта, град . . . . .	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	
$\sum_{\text{год}} B_c$ . . . . .	31	28	20	9	-8	-29	

Представить эти данные графически и проанализировать. В каком широтном поясе годовая сумма радиационного баланса системы деятельный слой—атмосфера положительна и в каких областях Земли она отрицательна? К каким процессам в атмо-

Варианты исходных данных к задаче 570

Вариант, дата	Срок, час мин	$h_{\odot}$	S	D	A	B	Вариант, дата	Срок, час мин	$h_{\odot}$	S	D	A	B		
1957 г.															
1 9/V	0 30	—	0,00	0,00	—	-0,03	9 10/VII	12 30	51,8	1,22	0,21	0,20	0,78		
	6 30	19,8	0,89	0,13	0,16	0,27		15 30	37,8	1,16	0,21	0,20	0,50		
	9 30	40,3	1,20	0,13	0,15	0,62		18 30	15,7	0,53	0,17	0,23	0,02		
	12 30	46,6	0,91	0,35	0,15	0,76		0 30 1	—	0,00	0,00	—	—	-0,06	
	15 30	32,2	1,10	0,16	0,16	0,44		0 30	0 30	0,00	0,00	0,00	—	—	-0,08
	18 30	10,7	0,70	0,07	0,20	0,02		6 30	6 30	0,89	0,11	0,22	0,22	0,19	0,23
0 30 1	—	0,00	0,00	—	-0,03	9 30	9 30	1,10	0,17	0,19	0,19	0,63			
2 17/V	0 30	—	0,00	0,00	—	-0,07	10 13/VII	12 30	51,4	1,20	0,16	0,20	0,46		
	6 30	21,4	0,88	0,14	0,20	0,24		15 30	37,4	1,11	0,15	0,20	0,09		
	9 30	42,3	1,07	0,21	0,17	0,63		18 30	15,3	0,80	0,09	0,20	—	-0,06	
	12 30	48,7	1,14	0,30	0,16	0,84		0 30 1	—	0,00	0,00	—	—	—	
	15 30	33,8	0,98	0,26	0,19	0,67		0 30	0 30	0,00	0,00	0,00	—	—	-0,08
	18 30	12,2	0,64	0,09	0,22	0,05		6 30	6 30	0,42	0,21	0,22	0,22	0,18	
0 30 1	—	0,00	0,00	—	-0,10	9 30	9 30	0,75	0,33	0,20	0,20	0,48			
3 18/V	0 30	—	0,00	0,00	—	-0,10	11 15/VII	12 30	51,2	0,93	0,30	0,22	0,65		
	6 30	21,6	0,11	0,16	0,19	0,02		15 30	37,3	0,86	0,26	0,22	0,40		
	9 30	42,5	0,88	0,26	0,15	0,61		18 30	14,9	0,46	0,15	0,26	0,07		
	12 30	48,8	0,70	0,41	0,17	1,73		0 30 1	—	0,00	0,00	—	—	-0,08	
	15 30	34,0	0,75	0,34	0,20	0,49		0 30	0 30	0,00	0,00	0,00	—	—	
	18 30	12,3	0,56	0,10	0,23	0,05		6 30	6 30	0,64	0,20	0,23	0,23	0,07	
0 30 1	—	0,00	0,00	—	-0,10	9 30	9 30	0,61	0,43	0,20	0,20	0,53			
4 19/V	0 30	—	0,00	0,00	—	-0,10	12 17/VII	12 30	50,8	0,85	0,40	0,20	0,71		
	6 30	21,7	0,89	0,13	0,22	0,27		15 30	36,9	0,89	0,24	0,18	0,47		
	9 30	42,6	1,22	0,15	0,17	0,61		18 30	14,5	0,64	0,12	0,23	0,08		
	12 30	49,0	1,29	0,15	0,18	0,75		0 30 1	—	0,00	0,00	—	—	-0,07	
	15 30	34,2	1,18	0,13	0,19	0,46		0 30	0 30	0,00	0,00	0,00	—	—	
	0 30 1	—	0,00	0,00	—	-0,10		6 30	6 30	0,64	0,20	0,23	0,23	0,06	

5 23/V	18 30	12,5	0,64	0,08	0,22	0,04	27/VII	6 30	20,0	0,66	0,17	0,20	0,20
	0 30 <sup>1</sup>	—	0,00	0,00	—	-0,09		9 30	41,3	1,02	0,19	0,19	0,56
	6 30	—	0,00	0,00	—	-0,02		12 30	48,9	1,13	0,19	0,20	0,71
	9 30	22,4	0,29	0,24	0,22	0,16		15 30	35,2	1,00	0,24	0,22	0,46
	12 30	43,3	1,30	0,14	0,19	0,68		18 30	13,0	0,38	0,08	—	0,08
6 9/VI	18 30	49,8	1,41	0,13	0,18	0,83	14	0 30 <sup>1</sup>	—	0,00	0,00	—	-0,05
	0 30 <sup>1</sup>	35,0	1,27	0,11	0,20	0,51	29/VIII	0 30	—	0,00	0,00	—	-0,02
	6 30	13,2	0,05	0,10	0,18	0,02		6 30	12,5	0,40	0,10	0,21	0,04
	9 30	—	0,00	0,00	—	-0,13		9 30	32,8	1,22	0,33	0,18	0,32
	12 30	24,1	0,97	0,14	0,24	0,11		12 30	39,2	1,09	0,37	0,18	0,82
7 11/VI	18 30	45,2	1,14	0,18	0,18	0,65	15	18 30	26,0	1,05	0,17	0,19	0,37
	0 30 <sup>1</sup>	52,3	1,24	0,19	0,17	0,77	23/V	0 30 <sup>1</sup>	4,2	0,28	0,05	0,14	-0,04
	6 30	37,6	0,81	0,25	0,20	0,45		6 30	—	0,00	0,00	—	-0,07
	9 30	15,6	0,66	0,10	0,25	0,13		9 30	—	0,00	0,00	—	—
	12 30	—	0,00	0,00	—	-0,09		12 30	—	0,00	0,00	—	—
8 12/VI	18 30	—	0,00	0,00	—	-0,08	15	18 30	—	0,00	0,00	—	-0,12
	0 30 <sup>1</sup>	24,2	0,62	0,20	0,24	0,20	23/V	0 30	22,3	1,01	0,12	0,22	0,25
	6 30	45,3	0,85	0,38	0,19	0,58		6 30	43,1	1,23	0,15	0,16	0,65
	9 30	52,4	0,92	0,42	0,21	0,72		9 30	49,9	1,24	0,16	0,14	0,72
	12 30	37,6	0,88	0,25	0,22	0,47		12 30	35,0	0,66	0,26	0,14	0,20
9 10/VII	18 30	15,7	0,51	0,13	0,26	0,09	16	18 30	13,2	0,67	0,09	0,21	0,04
	0 30 <sup>1</sup>	—	0,00	0,00	—	-0,08	26/V	0 30 <sup>1</sup>	—	0,00	0,00	—	-0,06
	6 30	—	0,00	0,00	—	-0,08		6 30	—	0,00	0,00	—	-0,10
	9 30	24,2	0,66	0,19	0,24	0,23		9 30	22,9	0,84	0,13	0,17	0,29
	12 30	45,4	0,99	0,25	0,20	0,60		12 30	43,8	1,00	0,20	0,16	0,67
9 10/VII	18 30	52,5	1,11	0,24	0,21	0,75	17	18 30	50,3	0,98	0,25	0,17	0,80
	0 30 <sup>1</sup>	37,8	0,92	0,34	0,22	0,53	1/VI	0 30 <sup>1</sup>	35,4	0,86	0,22	0,15	0,54
	6 30	15,8	0,60	0,12	0,25	0,11		6 30	13,1	0,41	0,11	0,20	0,08
	9 30	—	0,00	0,00	—	-0,05		9 30	—	0,00	0,00	—	-0,09
	12 30	—	0,00	0,00	—	-0,09		12 30	—	0,00	0,00	—	-0,10
	22,7	1,03	0,08	0,23	0,25		6 30	23,5	1,11	0,10	0,20	0,29	
	44,0	1,22	0,13	0,19	0,62		9 30	44,6	1,31	0,12	0,15	0,67	
	—	—	—	—	—		12 30	51,5	1,29	0,14	0,17	0,80	

1958 г.

! Следующие сутки.

сфере приводит наличие областей с положительными и отрицательными годовыми суммами радиационного баланса? Каково соотношение между суммами радиационного баланса областей?

570 \*\*. В результате наблюдений и расчетов в один из ясных дней июня в Воейково получены следующие результаты [ $S$ ,  $D$  и  $B$  в кал/(см<sup>2</sup>·мин)]:

Срок, час мин	$h_{\odot}$	$S$	$D$	$A\%$	$B$
0 30	—	0,00	0,00	—	<del>-0,06</del>
6 30	25,4	0,72	0,16	0,22	0,25
9 30	46,6	1,06	0,30	0,18	0,67
12 30	53,7	1,17	0,33	0,17	0,82
15 30	39,0	0,98	0,27	0,16	0,57
18 30	17,0	0,66	0,12	0,20	<del>0,14</del>
0 30 след. сут.	—	0,00	0,00	—	-0,07

Для дневных сроков вычислить коэффициенты прозрачности — неприведенный и при массе 2, сравнить их между собой и указать причину различия (письменно). Построить и проанализировать график их дневного хода. Сделать вывод об изменении оптического состояния атмосферы в течение этого дня.

Для всех сроков найти поток прямой радиации на горизонтальную поверхность, суммарную радиацию, долю прямой и долю рассеянной радиации, поглощенную часть суммарной радиации и баланс длинноволновой радиации.

Письменно ответить на вопросы: 1) Почему во все сроки приход прямой радиации на горизонтальную поверхность меньше, чем на перпендикулярную? В каком случае эти величины одинаковы? Может ли первая быть больше второй? 2) Почему во все сроки поглощенная коротковолновая радиация меньше потока суммарной радиации? Могут ли эти величины быть одинаковыми? 3) Как и почему меняется в течение дня доля прямой и доля рассеянной радиации в потоке суммарной радиации? 4) Что показывает знак баланса длинноволновой радиации? 5) Каков смысл полученных знаков радиационного баланса?

Построить и описать график суточного хода прямой радиации на горизонтальную поверхность, рассеянной радиации, поглощенной части суммарной радиации, баланса длинноволновой радиации и радиационного баланса деятельного слоя.

Найти сумму радиационного баланса за интервал от 0 час 30 мин данных суток до 0 час 30 мин следующих суток.

Ответить на вопросы: 1) Как и почему изменится последний результат, если произвести расчет для этого же района, но для зимнего дня? 2) То же для летнего дня и площадки с таким же альбедо, но для более северного района. 3) То же для более южного района.

8.9

## ГЛАВА VII

### ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ И ВОДОЕМОВ

#### § 41. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ И ВОДОЕМОВ ВО ВРЕМЕНИ И В ПРОСТРАНСТВЕ

Температура поверхности и верхних слоев почвы и водоемов в среднем испытывает упорядоченный суточный и годовой ход. Обычно он имеет вид простой волны с одним максимумом и одним минимумом. Амплитуды суточного и годового хода зависят от большого числа факторов. В вертикальном распределении температуры почвы и водоемов различают тип инсоляции, тип излучения, промежуточные типы: утренний (весенний) и вечерний (осенний), а также случаи неупорядоченного изменения температуры с глубиной.

#### *Вводные вопросы*

1. От каких факторов зависят амплитуды суточного и годового хода температуры почвы?
2. Каковы особенности суточного и годового хода температуры водоемов по сравнению с сушей?
3. Чем отличаются друг от друга разные типы вертикального распределения температуры почвы?

#### *Задачи*

571 \*. Температура оголенной поверхности почвы на площадке ЛГМИ в Даймище 4/VII 1965 г.:

Срок, час . . . . .	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
t° С . . . . .	6	5	6	10	17	21	25	24	22	15	12	10	8

Построить и проанализировать график суточного хода температуры поверхности почвы.

Варианты исходных данных

Вариант	Дата	Срок, час												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	5/VII 1965 г.	8	7	6	13	20	22	24	26	24	16	14	10	8
2	6	8	8	6	14	20	23	24	22	20	18	14	10	10
3	7	10	10	11	12	13	14	16	22	19	16	14	9	7
4	8	7	7	6	11	15	19	22	23	16	16	13	9	6
5	9	6	5	4	10	16	17	18	17	17	15	14	11	10
6	10	10	10	7	12	18	14	19	20	18	17	12	10	8
7	11	8	7	7	12	14	17	23	23	19	17	13	8	5
8	12	5	3	3	12	21	25	27	32	29	21	14	9	6
9	13	6	5	5	12	22	28	29	27	27	22	16	13	11
10	14	11	10	10	13	19	26	28	22	20	17	15	13	10
11	15	10	8	8	11	22	32	35	33	25	20	19	17	11
12	5/VII 1964 г.	6	5	6	15	22	24	32	34	27	26	16	10	8
13	6	8	6	8	13	22	24	29	31	28	26	14	9	8
14	7	8	6	6	14	23	20	26	15	21	14	13	8	8
15	8	8	8	6	11	20	22	23	21	20	15	12	11	11
16	10	10	9	8	14	15	27	29	28	28	22	18	12	12
17	11	12	11	10	15	17	20	33	34	29	25	18	16	14
18	12	14	12	11	16	23	29	37	36	28	24	17	14	11
19	14	10	8	8	20	31	31	27	25	24	20	17	16	16
20	15	16	16	16	17	24	25	32	35	30	26	19	15	13
21	16	13	11	11	19	28	36	40	42	36	28	19	12	11
22	26/VI 1963 г.	10	8	8	18	24	30	30	35	25	18	14	14	12
23	27	12	11	12	15	16	20	21	27	25	22	17	11	9
24	28	9	8	7	10	24	34	33	30	28	26	17	12	9
25	29	9	8	7	15	28	35	41	43	42	27	21	18	13
26	30	13	12	12	19	25	28	32	36	32	21	21	17	16
27	1/VII	16	15	15	18	20	18	19	22	24	18	13	9	6
28	2	6	4	4	8	13	21	29	32	33	24	16	10	9
29	3	9	9	9	11	20	31	39	36	28	28	18	14	12
30	4	12	9	10	14	23	28	34	29	26	22	17	11	9

572. Температура поверхности почвы (°C) на площадке ЛГМИ в Даймище в пасмурный день 9/VII и в ясный день 13/VII 1964 г.:

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

Представить эти данные графически и проанализировать их, указав причины различия суточного хода температуры поверхности в ясные и пасмурные дни.

573. Средняя за 1953—1956 гг. температура поверхности почвы (°С) в Куйбышеве в январе и в июле:

Месяц	Срок, час мин						
	0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30	0 30
Январь . . .	-18	-19	-19	-14	-16	-16	-18
Июль . . . .	16	21	33	40	36	26	16

Представить эти данные графически, вычислить амплитуды и объяснить причины их различия.

574. По наблюдениям в Финляндии за несколько летних дней получена температура (°С) поверхности соседних участков с гранитной и с песчаной почвой:

Поверхность	Максимум	Минимум
Гранит . . . . .	34,8	14,5
Песок . . . . .	42,3	7,8

Вычислить амплитуды суточного хода температуры обеих поверхностей и объяснить причины их различия.

575. Температура поверхности воды в Атлантическом океане (корабль погоды Е) и примерно на той же широте на оголенной поверхности солончаковой почвы (ст. Чарджоу) 15/VIII 1968 г.:

Корабль погоды Е

Срок, час . . . . .	0	3	6	9	12	15	18	21	24
t °С . . . . .	25,6	25,2	25,2	25,1	25,1	25,1	25,1	25,0	25,2

Чарджоу

Срок, час . . . . .	1	7	10	13	16	19	1
t °С . . . . .	25,6	25,5	38,1	48,0	44,6	28,9	22,3

Представить эти данные графически, проанализировать и объяснить причины различия суточного хода температуры поверхности океана и суши.

576. Средняя за 8 суток температура поверхности почвы (°С) на площадке в полупустыне и на близлежащем орошаемом хлопковом поле совхоза Пахта-Арал (УзбССР) в июле 1952 г.:

Вид поверх- ности	Срок, час мин									
	0 30	4 30	6 30	8 30	10 30	12 30	14 30	16 30	18 30	0 30
Полупусты- ня	22,2	17,8	25,4	43,0	58,4	64,9	63,2	53,8	38,6	27,9
Орошаемое поле	20,6	18,8	20,3	24,0	28,3	35,6	32,7	30,1	27,3	23,8

Представить эти данные графически, проанализировать и объяснить причины различия суточного хода температуры поверхности этих площадок.

577. Температура поверхности и верхнего слоя почвы ( $^{\circ}\text{C}$ ) на паровом поле в Каменной Степи 12—14/VII 1951 г.:

Дата	Срок, час	Глубина, см				
		0	5	10	15	20
12/VII	19	31,2	30,5	29,6	27,4	25,3
13/VII	1	16,0	22,6	24,1	24,9	25,0
	7	31,2	22,7	21,5	22,3	22,7
	10	42,6	28,5	25,0	22,8	22,4
	13	48,3	32,4	28,5	25,0	23,1
	16	42,7	33,3	31,0	27,2	24,6
	19	29,9	30,6	29,9	27,8	25,5
14/VII	1	15,1	22,1	23,6	24,7	24,6

Построить и описать график суточного хода температуры на всех глубинах за 13/VII (с 0 до 24 час). Определить, меняется ли период колебаний 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. Вычислить среднее запаздывание на каждые 10 см глубины. Построить и проанализировать график термоизоплет.

578\*. Решить задачу 577 по результатам наблюдений над температурой почвы ( $^{\circ}\text{C}$ ) в Колтушах 10/VII 1951 г.:

Срок, час	Глубина, см				
	0	5	10	15	20
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

Срок, час	Глубина, см				
	0	5	10	15	20
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
24	11,2	16,0	16,2	16,3	16,1

Варианты исходных данных  
(за последний срок в каждом варианте принимать первый срок  
следующего варианта)

Вариант, дата	Срок, час	Глубина, см				
		0	5	10	15	20
1 1/VIII	0	8,1	15,2	16,2	16,3	16,0
	4	6,4	13,8	14,3	14,9	15,4
	8	19,8	14,6	14,3	14,4	14,6
	12	21,1	18,4	16,8	15,6	14,9
	16	20,2	18,6	17,0	16,5	16,1
	20	11,4	17,8	17,0	16,7	16,5
2 2/VIII	0	8,2	15,8	15,8	16,1	16,1
	4	5,6	13,6	14,1	14,7	14,8
	8	19,7	14,8	14,1	13,9	14,6
	12	34,9	20,7	17,8	15,9	15,0
	16	28,0	21,8	19,4	17,3	16,8
	20	12,5	19,2	18,4	17,6	17,0
3 3/VIII	0	8,5	16,3	16,4	16,6	17,2
	4	9,1	9,8	15,2	15,5	16,2
	8	20,9	15,4	13,8	13,6	13,8
	12	29,8	25,4	20,8	17,3	16,0
	16	33,4	26,5	22,4	19,3	17,6
	20	16,0	20,4	20,3	19,6	19,2
4 4/VIII	0	9,5	17,2	17,7	17,8	17,6
	4	9,5	16,0	16,2	16,6	16,4
	8	20,0	16,7	15,9	15,9	17,6
	12	33,0	20,6	17,2	16,9	16,4
	16	27,4	22,0	20,0	18,5	17,5
	20	15,8	20,2	19,8	18,8	18,3
5 5/VIII	0	12,9	18,4	18,6	18,4	18,1
	4	6,6	15,4	16,4	16,8	17,1
	8	23,2	17,4	16,4	16,3	16,5
	12	35,0	23,8	20,5	18,2	17,0
	16	30,6	26,2	23,6	21,1	19,2
	20	14,6	20,0	20,4	20,0	19,8

Вариант, дата	Срок, час	Глубина, см				
		0	5	10	15	20
6 6/VIII	0	8,5	14,4	16,8	17,3	17,5
	4	11,6	10,4	11,8	12,6	14,8
	8	19,7	16,4	15,6	15,8	16,1
	12	24,2	19,0	17,2	16,4	16,0
	16	20,7	20,2	18,4	17,4	17,0
	20	13,7	18,5	17,8	17,4	17,2
7 7/VIII	0	7,6	16,6	16,6	17,2	17,6
	4	5,8	14,9	15,4	15,8	16,1
	8	21,7	16,2	15,3	15,3	15,1
	12	29,1	19,5	17,4	15,4	16,1
	16	27,3	21,3	18,6	17,4	17,0
	20	15,6	20,0	18,3	18,3	18,0
8 8/VIII	0	13,8	18,1	17,8	17,7	17,6
	4	13,0	17,2	17,0	17,1	16,1
	8	25,4	18,2	17,0	16,8	16,7
	12	34,3	23,4	19,2	17,8	17,5
	16	29,8	23,3	21,0	19,4	17,9
	20	16,8	21,3	20,3	19,6	19,2
9 9/VIII	0	11,3	18,5	19,1	19,2	18,6
	4	9,2	17,6	17,8	18,0	17,6
	8	23,2	18,0	17,2	17,2	17,5
	12	33,9	20,7	18,9	18,2	18,0
	16	27,9	23,2	21,0	19,4	18,3
	20	15,9	21,4	20,4	19,6	19,4
10 10/VIII	0	13,4	19,2	19,1	19,0	18,9
	4	11,7	17,7	17,8	18,0	18,1
	8	22,4	18,4	17,5	17,5	17,4
	12	30,5	21,4	19,1	18,0	17,8
	16	19,4	21,4	19,9	18,8	18,3
	20	17,2	19,6	19,0	18,7	18,5
11 11/VIII	0	14,5	17,9	18,2	18,1	18,4
	4	11,0	16,8	17,1	17,4	17,8
	8	21,0	17,6	16,8	16,9	17,2
	12	26,8	23,1	20,5	18,6	17,8
	16	28,8	24,2	22,7	20,2	19,0
	20	15,5	19,8	20,2	20,6	20,3
12 12/VIII	0	11,5	15,1	17,4	18,4	18,4
	4	10,8	13,8	15,9	17,0	17,3
	8	18,4	16,3	16,0	16,4	17,4
	12	22,7	18,9	17,4	16,8	16,3
	16	18,8	19,0	18,8	17,4	17,0
	20	11,4	17,5	17,4	17,3	17,2
13 13/VIII	0	7,5	15,5	16,0	16,5	18,4
	4	12,2	15,1	15,0	15,7	16,0

Вариант, дата	Срок, час	Глубина, см				
		0	5	10	15	20
13 13/VIII	8	18,2	16,1	15,4	15,5	15,5
	12	31,2	20,3	17,6	16,4	16,0
	16	24,8	22,3	19,8	18,1	17,5
	20	14,3	19,8	19,1	18,4	18,0
14 14/VIII	0	13,6	18,3	18,3	18,0	17,8
	4	11,1	16,4	16,5	17,0	16,9
	8	20,9	17,1	16,4	16,4	16,4
	12	30,8	21,3	18,5	17,3	16,9
	16	23,4	22,6	20,1	19,2	18,7
	20	15,9	20,4	19,6	19,3	19,0
15 15/VIII	0	10,1	18,3	18,4	18,2	18,1
	4	12,3	16,7	16,7	17,2	17,4
	8	20,4	17,8	16,8	16,7	16,5
	12	27,4	18,6	16,9	16,8	16,7
	16	19,0	19,0	17,8	17,2	16,9
	20	16,8	18,4	17,7	17,3	17,1
16 16/VIII	0	16,0	17,7	17,2	17,2	17,1
	4	16,2	17,4	16,9	16,9	16,9
	8	18,1	17,2	16,6	16,6	16,5
	12	22,3	18,6	17,4	16,7	16,5
	16	21,3	19,8	18,6	17,6	17,2
	20	14,1	18,1	17,7	17,6	17,5

579\*. Многолетняя средняя месячная температура поверхности почвы на ст. Смоленск:

Месяц . . .	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t° С . . .	-9	-8	-5	3	13	18	20	17	11	4	-1	-6

Построить график и описать годовой ход температуры поверхности почвы.

Варианты исходных данных см. в задаче 586.

580. Многолетняя средняя месячная температура оголенной поверхности (°С) в двух пунктах с примерно одинаковым составом почвы:

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

Представить эти данные графически, проанализировать и указать причины различия годового хода температуры поверхности почвы на разных широтах.

581. Абсолютный максимум (округленное значение) температуры поверхности оголенной почвы (°С) приводится в таблице:

Широта, град	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
45	30	40	50	60	65	70	70	70	60	50	40	30
55	0	15	30	50	60	65	65	60	50	40	20	15
65	0	0	0	40	55	60	60	55	35	30	10	0

Построить и проанализировать график годового хода этой величины на разных широтах.

582. Средняя дневная температура поверхности почвы (°С) в районе Москвы в разные месяцы на северном и южном склонах одинаковой крутизны (20°) и на равнинной местности:

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

Представить эти данные графически, проанализировать и указать причины различия температурного режима почвы северного и южного склонов.

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

Пункт	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

Представить эти данные графически, проанализировать и указать причины различия годового хода температуры подстилающей поверхности в этих трех пунктах.

584. Многолетняя средняя месячная температура (°C) поверхности воды в Атлантическом океане (корабль погоды К) и поверхности почвы на той же широте на ст. Кзыл-Орда Казахской ССР:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Корабль погоды К	13,0	12,6	12,6	13,0	14,0	16,3	18,0	18,9	18,4	16,6	14,4	13,1
Кзыл-Орда . . .	-10	-7	2	13	23	29	31	27	18	8	-1	-7

Решить предыдущую задачу.

585. Средняя за 15 лет температура (°C) 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

Представить эти данные графически, проанализировать и объяснить причины различия в температурном режиме.

586\*. Многолетняя средняя месячная температура (°C) поверхности и верхних слоев почвы под естественным покровом в Смоленске:

Глубина, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	-9	-8	-5	3	13	18	20	17	11	4	-1	-6
1,6	3,6	2,9	2,4	2,3	4,9	8,4	11,0	12,5	12,1	9,9	7,4	5,0
3,2	6,1	5,3	4,7	4,1	4,3	5,6	7,4	8,9	9,8	9,7	8,8	7,5

Построить график и описать годовой ход температуры на поверхности и обеих глубинах (данные относить к серединам месяцев). Определить, меняется ли период колебаний с глубиной. Найти амплитуду на каждой глубине и описать ее изменение с глубиной. Определить по графику примерную дату наступления экстремумов на каждой глубине, найти запаздывание максимума по сравнению со временем его наступления на поверхности. Вычислить среднее запаздывание на 1 м глубины.

Варианты исходных данных

Вариант	Пункт	Глубина, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Торжок (Калининская область)	0,0	-10	-10	-7	2	12	17	20	17	10	4	-2	-8
		1,6	2,0	1,7	1,4	1,8	3,4	6,5	10,5	13,0	13,7	8,6	5,2	2,9
		3,2	5,0	4,2	3,8	3,4	4,1	4,1	6,1	8,1	9,7	9,4	8,0	6,3
2	Елец (Липецкая область)	0,0	-9	-9	-4	7	17	23	24	21	14	6	-1	-6
		1,6	2,6	1,5	1,0	1,8	6,9	11,2	14,0	14,0	15,2	10,8	7,2	4,2
		3,2	5,1	4,0	3,1	2,8	4,7	7,8	10,5	12,2	12,6	11,4	9,3	6,9
3	Бугуруслан (Оренбургская область)	0,0	-15	-15	-8	4	17	24	26	22	13	4	-5	-12
		1,6	2,7	1,6	0,9	1,0	3,2	7,2	10,3	10,3	12,2	10,6	7,7	5,1
		3,2	6,2	5,0	4,2	3,7	3,5	4,7	6,4	8,0	9,1	9,4	8,7	7,6
4	Ростов-на-Дону	0,0	-6	-5	1	11	20	26	28	27	18	10	2	-3
		1,6	6,7	5,4	4,7	5,8	9,3	12,8	15,4	15,4	17,0	13,9	12,2	9,2
		3,2	10,6	9,3	8,3	7,7	8,3	9,8	11,5	11,5	12,9	14,0	13,3	12,0
5	Алма-Ата	0,0	-11	-8	2	12	20	26	29	27	20	9	-1	-8
		1,6	6,1	4,7	4,2	6,2	9,8	13,0	15,6	15,6	17,4	15,5	11,8	8,5
		3,2	10,3	8,9	7,9	7,6	8,4	10,0	11,6	11,6	13,2	14,3	13,5	11,9
6	Чарджоу (Туркменская ССР)	0,0	1	4	10	19	27	33	34	31	24	16	8	3
		1,6	11,5	10,7	11,4	13,4	16,8	20,1	22,4	22,4	23,5	21,0	17,9	14,1
		3,2	15,9	14,6	14,0	14,0	14,8	16,2	17,7	17,7	18,9	19,7	19,8	17,8
7	Калинин	0,0	-10	-10	-6	3	12	17	19	17	10	3	-3	-8
		1,6	3,0	2,5	2,1	2,2	5,4	9,1	11,7	11,7	12,8	9,3	6,5	4,2
		3,2	5,5	4,7	4,1	3,7	4,2	6,1	8,0	8,0	9,6	9,5	8,2	6,7

8	Орел	0,0 1,6 3,2	-9 3,6 6,7	-9 2,5 5,7	-5 1,1 5,0	5 2,0 4,4	15 4,9 4,4	21 9,1 5,7	23 12,1 7,5	20 13,5 9,2	12 13,0 10,1	5 10,7 10,1	-2 7,7 9,3	-7 5,1 8,0
9	Казань	0,0 1,6 3,2	-14 3,1 5,3	-14 2,2 4,4	-8 1,6 3,6	3 1,6 3,2	13 4,2 3,2	20 7,8 4,9	22 10,6 6,9	19 12,2 8,6	11 11,9 9,6	3 9,8 9,6	-5 6,8 8,3	-11 4,3 6,8
10	Гигант (Ростовская область)	0,0 1,6 3,2	-5 8,0 11,5	-5 6,6 10,3	2 5,9 9,4	11 6,8 8,7	20 9,9 9,1	26 12,9 10,3	28 15,5 11,8	27 17,3 13,2	18 17,5 14,3	10 15,8 14,6	3 13,0 14,0	-2 10,1 12,9
11	Павлодар (Казахская ССР)	0,0 1,6 3,2	-18 0,3 4,8	-17 -1,1 3,4	-10 -1,6 2,4	5 0,1 1,8	17 4,5 2,5	24 10,4 5,3	26 13,3 8,0	22 14,6 9,8	14 14,0 10,8	3 11,0 10,4	-8 7,0 9,0	-15 3,3 7,0
12	Кизыл-Арват (Туркменская ССР)	0,0 1,6 3,2	0 12,1 17,8	4 11,4 16,3	10 11,6 15,3	18 13,9 15,1	28 18,1 16,1	35 22,3 17,8	37 25,3 19,8	34 27,1 21,5	27 26,6 22,5	17 23,9 22,6	8 19,8 21,6	3 15,4 19,7
13	Кашира I (Московская область)	0,0 1,6 3,2	-11 3,1 5,6	-10 2,5 4,8	-6 2,0 4,3	3 1,3 3,2	14 4,0 3,5	19 7,7 5,2	21 10,6 7,2	18 12,3 8,9	11 11,9 9,9	4 9,5 9,6	-3 6,5 8,1	-8 4,4 7,1
14	Курск	0,0 1,6 3,2	-9 3,8 7,3	-8 3,2 6,5	-4 2,5 5,5	7 2,7 4,8	17 6,4 5,2	22 10,1 6,9	24 12,7 8,3	21 13,8 9,5	14 12,9 9,9	6 10,4 9,6	-1 8,0 9,2	-6 5,4 8,2
15	Куйбышев	0,0 1,6 3,2	-14 3,7 6,9	-13 2,5 5,9	-8 1,6 5,0	5 1,8 4,3	18 4,2 4,2	25 8,1 5,2	27 11,2 6,7	23 12,8 8,1	14 12,9 9,2	4 10,9 9,7	-4 8,1 9,1	-11 5,4 8,2

587. Амплитуда годового хода температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) на одинаковых глубинах на суше и в море в районе Калининграда:

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

Представить эти данные графически, проанализировать и указать причину различия в температурном режиме.

588. По многолетним средним данным запаздывание максимума годовых колебаний температуры почвы составляет: в Павловске (под Ленинградом) 108 дней на глубину 3,2 м, в Нукусе (УзбССР) 105 дней на глубину 4,0 м, в Калининграде 111 дней на глубину 4 м.

Найти среднее запаздывание годовых колебаний температуры на 1 м глубины.

589. По данным задачи 577 построить график вертикального распределения температуры почвы в Каменной Степи в 1, 7, 13 и 19 час 13/VII 1951 г. К какому типу принадлежит каждое из представленных распределений температуры? Является ли оно нормальным для данного времени суток? Каковы причины такого распределения температуры в каждый срок? Каковы вертикальные градиенты температуры в слоях 0—5, 5—10, 10—15, 15—20 см (в  $^{\circ}\text{C}/\text{см}$ ) в 13 час?

Как и почему изменяется в этот срок вертикальный градиент температуры с глубиной?

Каково направление переноса тепла в каждом слое в четыре указанных срока?

590\*. По данным задачи 578 построить вертикальные профили температуры почвы в Колтушах 10/VII 1951 г. в сроки 0, 8, 12 и 20 час.

Ответить на вопросы предыдущей задачи (на четвертый вопрос ответить для срока 12 час).

Варианты исходных данных те же, что и к задаче 578.

591\*. Многолетняя средняя месячная температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) поверхности и более глубоких слоев почвы на ст. Смоленск:

Глубина, м	I	IV	VII	IX
0,0	-9	3	20	11
0,2	-0,5	1,8	17,2	12,0

Глубина, м	I	IV	VII	IX
0,4	0,4	1,6	16,2	12,4
0,6	1,2	1,5	15,0	12,5
0,8	1,8	1,5	14,0	12,6
1,2	2,8	1,9	12,4	12,4
1,6	3,6	2,3	11,0	12,1
2,4	5,1	3,2	8,9	11,0
3,2	6,1	4,1	7,4	9,8

Построить вертикальный профиль температуры в указанные месяцы. Назвать тип каждого профиля и указать, является ли он нормальным или аномальным для данного месяца. Описать причины возникновения таких профилей. Вычислить вертикальный градиент температуры ( $^{\circ}/м$ ) в июле для каждой прослойки и средний для всего слоя 0—3,2 м. Описать характер и причины его изменения с глубиной.

Указать направление переноса тепла в отдельных слоях в рассмотренные месяцы.

#### Варианты исходных данных

Вариант	Пункт	Глубина, м	I	IV	VII	IX
1	Торжок	0,0	-10	2	20	10
		0,2	0,1	2,2	17,0	11,0
		0,4	0,4	1,8	16,0	11,5
		0,6	0,9	1,8	15,2	11,7
		0,8	1,3	1,7	14,4	11,8
		1,2	2,0	1,8	13,0	11,8
		1,6	2,8	2,0	11,6	11,7
		2,4	4,1	2,7	9,6	11,1
		3,2	5,0	3,4	8,1	10,2
2	Елец	0,0	-9	7	24	14
		0,2	-1,6	3,7	19,9	13,8
		0,4	-0,9	2,8	18,6	14,0
		0,6	-0,2	2,3	17,5	14,1
		0,8	0,5	2,0	16,8	14,1
		1,2	1,5	1,8	15,3	14,1
		1,6	2,6	1,8	14,0	13,9
		2,4	4,3	2,4	11,8	13,2
		3,2	5,1	2,8	10,5	12,6

Вариант	Пункт	Глубина, м	I	IV	VII	IX
3	Бугуруслан	0,0	-15	4	26	13
		0,2	-3,6	2,0	19,1	13,3
		0,4	-2,5	1,2	17,5	13,6
		0,6	-1,5	0,8	16,0	13,6
		0,8	-0,4	0,4	14,5	13,6
		1,2	1,2	0,4	12,3	13,1
		1,6	2,7	1,0	10,3	12,3
		2,4	5,0	2,5	7,5	10,6
		3,2	6,2	3,7	6,4	9,1
4	Ростов-на-Дону	0,0	-6	11	28	18
		0,2	-1,8	8,9	23,9	18,4
		0,4	0,3	7,4	22,6	19,2
		0,6	2,0	6,9	21,3	19,1
		0,8	2,4	6,3	20,0	18,2
		1,2	5,1	5,8	17,2	17,6
		1,6	6,7	5,8	15,4	16,9
		2,4	9,2	6,6	13,1	15,5
		3,2	10,6	7,7	11,5	13,9
5	Алма-Ата	0,0	-11	12	29	20
		0,2	-1,6	9,9	22,8	19,0
		0,4	-0,2	9,0	21,5	18,9
		0,6	1,0	8,2	20,2	18,8
		0,8	2,3	7,5	19,2	18,8
		1,2	4,6	6,4	17,1	18,2
		1,6	6,1	6,2	15,6	17,4
		2,4	8,9	6,6	13,0	15,6
		3,2	10,3	7,6	11,6	14,1
6	Чарджоу	0,0	1	19	34	16
		0,2	4,6	18,4	31,9	18,0
		0,4	5,6	16,8	29,8	18,8
		0,6	6,7	15,6	28,2	19,5
		0,8	7,9	15,0	26,6	20,0
		1,2	9,7	13,9	24,3	20,6
		1,6	11,5	13,4	22,4	21,0
		2,4	14,1	13,3	19,4	20,6
		3,2	15,9	14,0	17,7	19,8
7	Калинин	0,0	-10	3	19	10
		0,2	-0,7	1,8	17,8	10,9
		0,4	0,0	1,6	16,4	11,8
		0,6	0,6	1,7	15,8	12,0
		0,8	1,3	1,9	14,9	12,2
		1,2	2,1	2,0	13,6	12,3
		1,6	3,0	2,2	11,7	11,9
		2,4	4,4	2,9	9,5	11,0
		3,2	5,5	3,7	8,0	10,1

Вариант	Пункт	Глубина, м	I	IV	VII	IX
8	Орел	0,0	-9	5	23	12
		0,2	-1,6	3,3	19,2	13,2
		0,4	-0,8	2,2	18,0	13,4
		0,6	0,1	1,6	16,8	13,6
		0,8	1,0	1,4	15,6	13,7
		1,2	2,2	1,4	13,8	13,4
		1,6	3,6	2,0	12,1	13,0
		2,4	5,5	3,1	9,3	11,6
		3,2	6,7	4,4	7,5	10,1
9	Қазань	0,0	-14	3	22	11
		0,2	-2,3	1,3	19,0	12,2
		0,4	-1,4	1,2	17,1	12,5
		0,6	0,1	0,9	15,1	12,6
		0,8	0,6	0,8	14,3	12,5
		1,2	2,1	1,3	12,2	12,3
		1,6	3,1	1,6	10,6	11,9
		2,4	4,5	2,4	8,3	10,8
		3,2	5,3	3,2	6,9	9,6
10	Гигант	0,0	-5	11	28	18
		0,2	0,6	9,7	24,1	18,9
		0,4	1,8	8,7	22,4	19,5
		0,6	3,2	7,8	20,7	19,3
		0,8	4,4	7,3	19,3	19,0
		1,2	6,4	6,7	17,2	18,3
		1,6	8,0	6,8	15,5	17,5
		2,4	10,2	7,6	13,1	15,8
		3,2	11,5	8,7	11,8	14,3
11	Павлодар	0,0	-18	5	26	X
		0,2	-9,0	3,7	22,6	3
		0,4	-7,1	2,3	20,8	5,7
		0,6	-5,3	1,3	19,0	7,0
		0,8	-4,3	0,7	17,4	8,2
		1,2	-1,8	0,1	15,3	9,2
		1,6	0,3	0,1	13,3	10,5
		2,4	3,1	0,7	10,1	11,0
		3,2	4,8	1,8	8,0	10,9
12	Қызыл-Арват	-0,0	0	18	37	27
		0,2	3,2	17,3	34,8	27,7
		0,4	4,5	17,1	33,4	28,2
		0,6	6,0	16,3	32,0	28,3
		0,8	7,3	15,7	30,3	28,2
		1,2	10,0	14,4	27,8	28,2
		1,6	12,1	13,9	25,3	27,5
		2,4	15,1	14,0	21,9	26,6
		3,2	17,8	15,1	19,8	24,6

Вариант	Пункт	Глубина, м	I	IV	VII	IX
13	Қашира	0,0	-11	3	21	11
		0,2	-1,0	2,0	18,5	12,2
		0,4	0,0	1,5	16,9	12,7
		0,6	0,5	1,2	15,7	12,7
		0,8	1,2	1,3	14,7	12,8
		1,2	2,2	1,3	12,6	12,5
		1,6	3,1	1,3	10,6	11,9
		2,4	4,6	2,4	8,7	10,9
		3,2	5,6	3,2	7,2	9,9
14	Курск	0,0	-9	7	24	14
		0,2	-0,9	4,6	18,5	13,0
		0,4	0,7	3,7	17,9	13,6
		0,6	1,5	3,4	17,0	13,7
		0,8	1,6	3,0	15,9	13,7
		1,2	2,7	2,6	14,1	13,3
		1,6	3,8	2,7	12,7	12,9
		2,4	5,6	3,4	10,3	11,5
		3,2	7,3	4,8	8,3	9,9
15	Куйбышев	0,0	-14	5	27	14
		0,2	-2,9	3,1	20,3	14,0
		0,4	-1,8	2,0	18,3	14,2
		0,6	-0,2	1,4	16,5	14,1
		0,8	0,6	1,2	15,0	14,1
		1,2	2,6	1,5	12,9	13,5
		1,6	3,7	1,8	11,2	12,9
		2,4	5,7	3,1	8,2	10,8
		3,2	6,9	4,3	6,7	9,2

592. Средняя месячная температура (°C) воды в Каспийском море:

Глубина, м	I	IV	VII	IX
0	11,1	10,9	26,2	23,6
10	11,0	10,7	24,7	22,6
25	11,0	9,6	18,7	18,7
50	10,6	8,8	10,0	10,7
100	9,0	7,5	7,4	6,4

Построить вертикальные профили температуры в указанные месяцы и сравнить с профилями из задачи 591. Вычислить вертикальный градиент температуры в июле для каждой прослойки и

средний для всего слоя 0—100 м. Результат сравнить с полученным в задаче 591 и объяснить причины различия.

593. Средняя температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) поверхности и верхних слоев оголенной почвы и почвы с травяным покровом в Ленинграде в июне:

Поверхность	Глубина, см			
	0	20	40	80
Оголенная . . . . .	24,6	21,6	20,0	17,4
Покрытая травой	20,5	16,8	14,6	12,8

Представить эти результаты графически и объяснить причины различия.

#### § 42. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВЫ И ВОДОЕМОВ

1. Коэффициент молекулярной теплопроводности  $\lambda$  в СГС выражается в  $\text{кал}/(\text{см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град})$ , в СИ — в  $\text{вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ ;  $1 \text{ кал}/(\text{см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}) = 4,1868 \cdot 10^2 \text{ вт}/(\text{см}\cdot\text{град})$ .

Значения  $\lambda$  некоторых почв и воды:

	$\text{кал}/(\text{см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град})$	$\text{вт}/(\text{см}\cdot\text{град})$
Гранит . . . . .	$10,0 \cdot 10^{-3}$	4,2
Глина влажная . . . . .	$5,0 \cdot 10^{-3}$	2,1
Песок сухой . . . . .	$2,5 \cdot 10^{-3}$	1,0
Неподвижная вода	$1,24 \cdot 10^{-3}$	0,5

Для неподвижного воздуха  $\lambda = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ кал}/(\text{см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}) = 2,34 \text{ вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ . Для снежного покрова по формуле Абельса  $\lambda = 6,7 \cdot 10^{-3} \rho^2$ , где  $\rho$  — плотность снега. Обычно  $\lambda$  не определяется непосредственно, а вычисляется через другие характеристики.

2. Удельная теплоемкость  $c_{\text{уд}}$  в СГС выражается в  $\text{кал}/(\text{г}\cdot\text{град})$ , в СИ — в  $\text{дж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$ ;  $1 \text{ кал}/(\text{г}\cdot\text{град}) = 4,1868 \text{ кдж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$ . Объемная теплоемкость  $c = c_{\text{уд}}\rho$ , где  $\rho$  — плотность. В СГС она выражается в  $\text{кал}/(\text{см}^3 \times \text{град})$ , в СИ — в  $\text{дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$ ;  $1 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град}) = 4,1868 \text{ Мдж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$ . При известной влажности почвы  $w$  ее объемная теплоемкость

$$c = (c_{\text{уд. сух}} + w)\rho, \quad (98)$$

где  $c_{\text{уд. сух}}$  и  $\rho$  — удельная теплоемкость и плотность сухой части почвы. Удельную теплоемкость ( $\text{кал}/\text{г}\cdot\text{град}$ ) можно приближенно определить по таблице:

Песок . . . . .	0,19	Суглинок . . . . .	0,18—0,21
Бурый песок . . . . .	0,14	Глина . . . . .	0,22

Чернозем . . . . .	0,18—0,20	Суглинистый чернозем . . . . .	0,30
Супесчаный чернозем . . . . .	0,26	Солончаки . . . . .	0,13—0,18

Влажность почвы определяется как отношение массы воды в некотором объеме почвы к массе сухой ее части в том же объеме. Для определения  $w$  и  $\rho$  взвешивается, а затем тщательно просушивается и вторично взвешивается проба почвы, имеющая известный объем  $V$ . Если вес до просушивания  $m_1$ , а после него  $m_2$ , то

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2}, \quad \rho = \frac{m_2}{V}.$$

Среднюю объемную теплоемкость некоторых почв в  $\text{кал}/(\text{см}^3 \times \text{град})$  можно приблизительно определить по таблице:

Характеристика влажности почвы	Песок	Глина	Гумус
Абсолютно сухая	0,29	0,23	0,16
Сухая . . . . .	0,37	0,28	0,18
Слабо увлажненная . . . . .	0,44	0,34	0,20
Влажная . . . . .	0,52	0,39	0,22
Сильно увлажненная . . . . .	0,59	0,44	0,24

Объемная теплоемкость воды  $1 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ , теплоемкость воздуха при постоянном давлении и нормальных условиях  $0,306 \cdot 10^{-3} \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ .

3. Коэффициент температуропроводности  $a$  — отношение коэффициента теплопроводности к объемной теплоемкости. Коэффициент температуропроводности численно равен тому повышению температуры, которое наблюдается при сообщении  $1 \text{ см}^3$  почвы  $\lambda \text{ кал}$  тепла. В СГС он выражается в  $\text{см}^2/\text{сек}$ , в СИ — в  $\text{м}^2/\text{сек}$ , практически чаще всего используются  $\text{см}^2/\text{час}$  с точностью до десятых. Приближенно он определяется:

а) по уменьшению амплитуды колебаний температуры почвы или водоема с глубиной:

$$a = \frac{0,6 (z_2 - z_1)^2}{T \left( \lg \frac{A_2}{A_1} \right)^2}, \quad (99)$$

где  $a$  — коэффициент температуропроводности слоя между глубинами  $z_1$  и  $z_2$ ,  $T$  — период колебаний,  $A_1$  и  $A_2$  — амплитуды на указанных глубинах. В частности, если использовать амплитуды суточных колебаний на поверхности ( $z_1=0$ ) и некоторой глубине

$z_2 = z$  см, а период выразить в часах, то

$$a = 2,5 \cdot 10^{-2} \frac{z^2}{\left(\lg \frac{A_z}{A_0}\right)^2},$$

а если использовать амплитуды годовых колебаний на этих глубинах, то

$$a = 6,85 \cdot 10^{-5} \frac{z^2}{\left(\lg \frac{A_z}{A_0}\right)^2};$$

б) по запаздыванию фазы колебаний на глубине  $z_2$  по сравнению с моментом ее наступления на глубине  $z_1$ :

$$a = \frac{T}{12,56} \frac{(z_2 - z_1)^2}{(\Delta\tau)^2}, \quad (100)$$

где  $\Delta\tau$  — время запаздывания в часах. В частности, в слое 0 —  $z$  см для суток

$$a = 1,91 \frac{z^2}{(\Delta\tau)^2},$$

для года

$$a = 697 \frac{z^2}{(\Delta\tau)^2}.$$

Точнее средний коэффициент теплопроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы находится как отношение  $M$  град·см<sup>2</sup> к  $N$  град·час, причем

$$M = \sum_i m_i \Delta' t_i,$$

$$N = \tau \sum_j n_j \Delta'' t_j,$$

где  $\Delta' t_i$  — разность температур на стандартных глубинах  $i$ , равных 0, 5, 10, 15 и 20 см, в вечерний ( $t_{19}$ ) и утренний ( $t_7$ ) сроки измерений;  $\Delta'' t_j = \frac{t_0 + t_{20}}{2} - t_{10}$  ( $t_0, t_{10}, t_{20}$  — температура на глубинах 0, 10 и 20 см в разные дневные сроки измерений  $j$ );  $\tau$  — продолжительность интервала между соседними сроками измерений;  $m_i$  — постоянные коэффициенты для разных глубин  $i$  ( $m_0 = 1,67, m_5 = 26,67, m_{10} = 43,34, m_{15} = 26,67, m_{20} = 1,67$ );  $n_j$  — постоянные коэффициенты, зависящие от числа дневных сроков измерений, разделенных одинаковыми интервалами  $\tau$ . Произведения  $m_i \Delta' t_i$  табулированы (см. приложение 15). Коэффициенты  $n_i$  для наиболее обычных случаев приведены в таблице:

Число сроков	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$	$n_7$
4	0,75	2,25	2,25	0,75	—	—	—
5	0,62	2,84	1,07	2,84	0,62	—	—
6	0,66	2,61	1,74	1,74	2,61	0,66	—
7	0,59	3,08	0,39	3,88	0,39	3,08	0,59

Пример расчета коэффициента температуропроводности. Исходные данные — температура почвы ( $^{\circ}\text{C}$ ) на ст. Чарджоу за I/VI 1967 г.:

Срок, час	Глубина, см				
	0	5	10	15	20
7	26,9	27,7	28,4	28,9	29,0
10	35,9	29,5	28,7	28,4	28,7
13	40,9	32,4	29,9	29,1	28,9
16	40,7	33,9	31,4	29,9	29,4
19	29,8	32,4	31,4	30,4	29,8

Расчет  $M$

	Глубина, см				
	0	5	10	15	20
$t_{19}$	29,8	32,4	31,4	30,4	29,8
$t_7$	26,9	27,7	28,4	28,9	29,0
$\Delta t_i = t_{19} - t_7$	2,9	4,7	3,0	1,5	0,8
$m_i$	1,67	26,67	43,34	26,67	1,67
$m_i \Delta t_i$	4,8	125,3	130,0	40,0	1,3

$$M = 301,4 \text{ град} \cdot \text{см}^2$$

Расчет  $N$

	Срок, час				
	7	10	13	16	19
$t_0^{\circ}\text{C}$	26,9	35,9	40,9	40,7	29,8
$t_{20}^{\circ}\text{C}$	29,0	28,7	28,9	29,4	29,8
$\frac{t_0 + t_{20}}{2}$	28,0	32,3	34,9	35,0	29,8
$t_{10}^{\circ}\text{C}$	28,4	28,7	29,9	31,4	31,4
$\Delta'' t_j = \frac{t_0 + t_{20}}{2} - t_{10}$	-0,4	3,6	5,0	3,6	-1,6

	Срок, час				
	7	10	13	16	19
$n_j$	0,62	2,84	1,07	2,84	0,62
$n_j \Delta^{\circ} t_j$	-0,2	10,2	5,4	10,2	-1,0
$\tau = 3 \text{ час}; \quad \sum n_j \Delta^{\circ} t_j = 24,6; \quad N = 73,8 \text{ град} \cdot \text{час}$					
$a = 4,1 \text{ см}^2/\text{час}$					

При известных  $a$  и  $c$  коэффициент молекулярной теплопроводности находится по соотношению  $\lambda = ac$ .

### Вводные вопросы

1. Какие свойства почвы влияют на ее теплофизические характеристики и каким образом?
2. Как влияет коэффициент теплопроводности на нагревание и охлаждение поверхности и более глубоких слоев почвы при заданном притоке (оттоке) тепла? Как это проявляется, например, в почве песчаной и каменистой, сухой и влажной? В какой из них при прочих равных условиях будет больше вертикальный градиент температуры?
3. Как влияет теплоемкость почвы на ее нагрев и охлаждение при заданном притоке тепла или теплоотдаче? Как это сказывается, например, в рыхлой и плотной почве, на одной и той же почве в засушливый и в дождливый период?
4. На какой почве более вероятен ночной заморозок: разрыхленной или утрамбованной, сухой или увлажненной? На какой из них чаще образуется и дольше удерживается иней или первый выпавший снег?
5. Почему поверхности крупных водоемов днем (и летом) меньше нагреваются, а ночью (и зимой) меньше охлаждаются, чем поверхность суши? Как это сказывается на климате приморских и континентальных районов суши?
6. Какие свойства почвы характеризует ее коэффициент температуропроводности?

### Задачи

594. Как изменится средняя температура двух изолированных почвенных монолитов объемом по  $20 \text{ см}^3$  при одинаковом притоке тепла  $12 \text{ кал}$  или при одинаковой теплоотдаче  $10 \text{ кал}$ ? Объемная теплоемкость первого из них  $0,20 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ , а второго  $0,40 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ .

Как влияет различие в теплоемкости разных участков почвы на их нагревание и охлаждение при одинаковом притоке тепла или одинаковой теплоотдаче?

595. Как изменится за 1 час средняя температура двух столбов почвы сечением  $10 \text{ см}^2$  и глубиной  $60 \text{ см}$ , имеющих объемную теплоемкость  $0,20$  и  $0,50 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ , если через  $1 \text{ см}^2$  их верхнего основания за 1 мин в глубь почвы проходит  $0,1 \text{ кал}$  тепла, которое целиком расходуется только на нагревание указанных столбов?

596. Проба абсолютно сухого песка объемом  $100 \text{ см}^3$  весит  $160 \text{ г}$ . Определить объемную теплоемкость этого песка.

597. Проба глины объемом  $40 \text{ см}^3$  весила до просушивания  $65,7 \text{ г}$ , после просушивания  $62,0 \text{ г}$ . Определить объемную теплоемкость глины до и после просушивания.

Как изменяется теплоемкость почвы при ее увлажнении или просушивании? Когда больше нагревается одна и та же почва при одинаковом притоке тепла: до или после дождя?

598. Влажность абсолютно сухого песка, имевшего плотность  $1,6 \text{ г}/\text{см}^3$ , после дождя стала  $15\%$ . Вычислить объемную теплоемкость песка после дождя.

599\*. На сколько процентов, как и почему изменится объемная теплоемкость песка, если его влажность, первоначально составлявшая  $25\%$ , станет равной  $10\%$ ?

Варианты исходных данных

Вариант	Влажность, %		Вариант	Влажность, %		Вариант	Влажность, %	
	начальная	конечная		начальная	конечная		начальная	конечная
1	5	20	11	25	10	21	15	35
2	10	20	12	30	5	22	20	10
3	15	5	13	5	30	23	25	35
4	20	40	14	10	30	24	30	15
5	25	15	15	15	30	25	5	40
6	30	40	16	20	30	26	10	40
7	5	25	17	25	5	27	15	40
8	10	25	18	30	10	28	20	5
9	15	25	19	5	35	29	25	40
10	20	35	20	10	35	30	30	20

600. Используя приведенные в начале данного параграфа коэффициенты теплопроводности и объемную теплоемкость, вычислить коэффициент температуропроводности гранита ( $c=0,5 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ ), влажной глины, сухого песка, неподвижной воды и неподвижного воздуха.

Для почвы, воды или воздуха сильнее различаются коэффициенты тепло- и температуропроводности? Как влияет увеличение

влажности почвы на ее коэффициент температуропроводности? К каким различиям в скорости и дальности распространения температурных колебаний в почве и в воздухе приводит значительная разница их коэффициентов температуропроводности? Как она влияет на сдвиг фазы этих колебаний?

**601\*.** Амплитуда суточного хода температуры поверхности почвы на площадке ЛГМИ в Даймище 16/VII 1964 г. составила  $31^{\circ}\text{C}$ , а на глубине 20 см  $3,7^{\circ}\text{C}$ . Вычислить средний коэффициент температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы в этот день.

Варианты исходных данных

Вариант	Амплитуда, $^{\circ}\text{C}$		Вариант	Амплитуда, $^{\circ}\text{C}$		Вариант	Амплитуда, $^{\circ}\text{C}$	
	на поверхности	на глубине 20 см		на поверхности	на глубине 20 см		на поверхности	на глубине 20 см
1	45	10,4	11	24	6,2	21	32	7,8
2	40	9,4	12	19	5,2	22	27	6,8
3	35	8,4	13	43	10,0	23	22	5,8
4	30	7,4	14	38	9,0	24	17	4,8
5	25	6,4	15	33	8,0	25	41	9,6
6	20	5,4	16	28	7,0	26	36	8,6
7	44	10,2	17	23	6,0	27	31	7,6
8	39	9,2	18	18	5,0	28	26	6,6
9	34	8,2	19	42	9,8	29	21	5,6
10	29	7,2	20	37	8,8	30	16	4,6

**602.** Экстремальные температуры почвы на площадке ЛГМИ в Даймище 15/VII 1965 г.:

Глубина, см	Максимум, $^{\circ}\text{C}$	Минимум, $^{\circ}\text{C}$
0	35,4	7,6
10	21,7	10,0
20	16,4	13,2

Найти коэффициенты температуропроводности в слое 0—10, 10—20 см, средний из них и средний для всего слоя 0—20 см. Указать возможные причины различия двух последних ответов.

**603\*.** Максимальная температура поверхности почвы на площадке ЛГМИ в Даймище 13/VII 1965 г. отмечена в 12 час, а на глубине 20 см — в 22 час. Найти средний коэффициент температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы в этот день.

Варианты исходных данных

Вариант	Время наступления, час		Вариант	Время наступления, час		Вариант	Время наступления, час	
	максимума	минимума		максимума	минимума		максимума	минимума
1	10	18	11	14	22	21	12	20
2	11	20	12	15	24	22	13	22
3	9	22	13	10	20	23	14	24
4	13	24	14	11	22	24	15	1
5	14	2	15	12	24	25	10	22
6	15	23	16	13	21	26	11	19
7	10	19	17	14	23	27	12	21
8	11	21	18	15	1	28	13	23
9	12	23	19	10	21	29	14	1
10	13	1	20	11	23	30	15	3

604. Результаты измерений температуры (°C) почвы на поверхности и на глубине 20 см в Днепровской экспедиции ГГО 1—2/VIII 1961 г.:

Глубина, см	Срок, час												
	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	3	5	7
0	23,4	35,0	44,6	46,4	43,7	37,9	29,3	25,0	23,8	22,4	21,2	20,4	23,6
20	25,2	24,9	24,6	25,2	25,9	26,6	27,0	27,3	27,1	26,7	26,4	26,1	25,6

Вычислить средний коэффициент температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы по уменьшению амплитуды с глубиной и по запаздыванию максимума. Указать возможные причины различия ответов.

605\*. Многолетняя средняя амплитуда годового хода температуры в Смоленске (см. задачу 586) на поверхности почвы 29°С, а на глубине 3,2 м 5,7°С. Вычислить средний коэффициент температуропроводности слоя 0—3,2 м.

Варианты исходных данных те же, что и в задаче 586.

606. По данным задачи 587 вычислить средний коэффициент температуропроводности верхнего слоя суши и моря толщиной 15 м. Объяснить причину различия ответов.

Почему полученный коэффициент температуропроводности для моря заметно отличается не только от коэффициента для суши, но и от коэффициента для воды, найденного в задаче 600?

607\*. По наблюдениям в Смоленске (см. задачи 579 и 586) максимум в годовом ходе температуры на поверхности почвы наступает примерно 11/VII, а на глубине 1,6 м — 22/VIII.

Вычислить средний коэффициент температуропроводности слоя почвы 0—1,6 м.

Варианты исходных данных те же, что и в задаче 586.

608. Используя данные задачи 577 за сроки с 7 до 19 час, вычислить средний коэффициент температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы в Каменной Степи 13/VII 1951 г.

609. Температура (°C) почвы в полупустыне и на близлежащем орошаемом хлопковом поле в совхозе Пахта-Арал 16/VII 1951 г.:

Срок, час миц	Участок	Глубина, см				
		0	5	10	15	20
8 30	Полупустыня	42,1	29,8	29,2	30,4	31,3
	Орошаемое поле	22,4	22,4	21,8	22,1	23,0
10 30	Полупустыня	55,8	36,5	32,9	31,1	31,2
	Орошаемое поле	26,3	25,1	24,2	23,0	23,2
12 30	Полупустыня	62,9	40,9	35,9	32,8	31,8
	Орошаемое поле	33,1	30,1	26,7	24,3	23,9
14 30	Полупустыня	61,3	45,6	39,2	35,0	32,7
	Орошаемое поле	30,6	29,5	27,3	25,5	24,7
16 30	Полупустыня	50,5	45,4	40,6	36,4	33,8
	Орошаемое поле	27,2	27,4	27,0	25,9	25,2

Вычислить средние коэффициенты температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы на обоих участках и объяснить причины их различия.

610\*. Используя данные задачи 578 за сроки с 8 до 20 час, вычислить средний коэффициент температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы в Колтушах 10/VII 1951 г.

Варианты исходных данных те же, что и в задаче 578.

611. На метеорологической станции взята проба песчаной почвы объемом 100 см<sup>3</sup>. Вес ее до просушивания 198 г, после просушивания 172 г. Температура почвы в день взятия пробы:

Срок, час	Глубина, см				
	0	5	10	15	20
7	18,6	22,6	25,0	25,9	26,5
10	38,0	26,2	25,5	25,5	26,2
13	48,9	31,1	28,3	26,9	26,6
16	43,6	33,0	30,4	28,4	27,8
19	24,2	30,2	29,9	29,0	28,4

Определить объемную теплоемкость и средние коэффициенты температуро- и теплопроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы.

612. Вычислить коэффициент теплопроводности снежного покрова при плотности  $0,1 \text{ г/см}^3$ . Как и почему изменится ответ, если плотность снега увеличится в 3 раза?

#### § 43. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОЧВЕ

Если почва однородна по вертикали, т. е. теплофизические характеристики не меняются с глубиной, то ее температура  $t$  на глубине  $z$  в момент  $\tau$  определяется из уравнения теплопроводности (уравнение Фурье)

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}, \quad (101)$$

где  $a$  — коэффициент температуропроводности.

Допустим, что колебание температуры поверхности имеет вид синусоиды:

$$t(\tau, 0) = t_{\text{ср}}(0) + \frac{A_0}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T}\tau + \varphi\right),$$

где  $t_{\text{ср}}(0)$  — средняя температура поверхности за период  $T$  (сутки, год);  $A_0$  — амплитуда колебания;  $\varphi$  — начальная фаза колебания, т. е. фаза в момент  $\tau=0$ , от которого ведется отсчет времени. Допустим также, что колебания температуры прекращаются на бесконечной глубине:

$$t(\tau, \infty) = \text{const.}$$

Тогда решение уравнения теплопроводности будет иметь вид

$$t(\tau, z) = t_{\text{ср}}(0) - \frac{\partial t}{\partial z} z + A_0 e^{-\sqrt{\frac{\pi}{aT}}z} \sin\left(\frac{2\pi}{T}\tau + \varphi - \sqrt{\frac{\pi}{aT}}z\right),$$

где  $-\frac{\partial t}{\partial z}$  — вертикальный градиент температуры.

Отсюда вытекают три основных закона распространения температурных колебаний в почве.

1. Закон неизменности периода колебаний с глубиной

$$T(z) = \text{const.}$$

2. Закон уменьшения амплитуды колебаний с глубиной

$$A_z = A_{z_1} e^{-\sqrt{\frac{\pi}{aT}}(z - z_1)},$$

где  $A_{z_1}$  и  $A_z$  — амплитуды на глубинах  $z_1$  и  $z$ ;  $a$  — коэффициент

температуропроводности почвы. Если  $z_1=0$ , то

$$A_z = A_0 e^{-\sqrt{\frac{\pi}{aT}} z} \quad (102)$$

При современной точности измерения температуры почвы ( $0,1^\circ\text{C}$ ) можно считать, что ее колебания полностью прекращаются начиная с глубины  $z_{\text{пр}}$ , на которой  $A_z \leq 0,1^\circ\text{C}$ . Поэтому

$$z_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{aT}{\pi}} \frac{1}{\lg e} \lg \frac{A_0}{0,1} \quad (103)$$

В частности, если выразить  $a$  в  $\text{см}^2/\text{час}$ , то для суточных колебаний температуры  $z_{\text{пр}} = 6,3 \sqrt{a} \lg \frac{A_0}{0,1}$  и для годовых  $z_{\text{пр}} = 120 \sqrt{a} \lg \frac{A_0}{0,1}$ .

По (102) можно в первом (очень грубом) приближении найти глубину зимнего промерзания и летнего оттаивания почвы, т. е. уровня, на котором минимальная температура не опускается ниже или максимальная не поднимается выше  $0,0^\circ\text{C}$ . В первом случае на этой глубине  $t_{z, \text{min}} = 0,0^\circ$ , поэтому повышение ее от поверхности до данной глубины составляет  $|t_{0, \text{min}} - t_{z, \text{min}}| = |t_{0, \text{min}}|$ . Если приближенно считать, что на столько же градусов уменьшается к этой глубине и максимум, наблюдавшийся на поверхности, то  $t_{z, \text{max}} = t_{0, \text{max}} - |t_{0, \text{min}}|$ . Таким образом, на искомой глубине  $A_z = t_{z, \text{max}} - t_{z, \text{min}} = t_{0, \text{max}} - |t_{0, \text{min}}|$ . При приближенном расчете глубины летнего протаивания аналогичным образом ищется глубина, на которой  $t_{z, \text{max}} = 0,0^\circ\text{C}$ .

Из формулы (102) вытекают следствия:

а) глубины, на которых в разных почвах ( $a_1 \neq a_2$ ) амплитуды температурных колебаний одинакового периода ( $T = \text{const}$ ) уменьшаются в одинаковое число раз  $\left(\frac{A_z}{A_0} = \text{const}\right)$ , относятся между собой как корни квадратные из коэффициентов температуропроводности этих почв:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{\sqrt{a_1}}{\sqrt{a_2}};$$

б) глубины, на которых в одной и той же почве ( $a = \text{const}$ ) амплитуды температурных колебаний разных периодов ( $T_1 \neq T_2$ ) уменьшаются в одинаковое число раз  $\left(\frac{A_z}{A_0} = \text{const}\right)$ , относятся между собой как корни квадратные из периодов:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{\sqrt{T_1}}{\sqrt{T_2}}.$$

3. Закон сдвига фазы колебаний с глубиной (запаздывание):

$$\Delta\tau_{z_1-z_2} = \frac{(z_2 - z_1)}{2} \sqrt{\frac{T}{a\pi}},$$

где  $\Delta\tau_{z_1-z_2}$  — запаздывание, т. е. разность между моментами наступления одинаковой фазы колебаний (например, максимума) на глубинах  $z_2$  и  $z_1$ . Если  $z_1=0$ , то

$$\Delta\tau_{0-z} = \frac{z}{2} \sqrt{\frac{T}{a\pi}}. \quad (104)$$

В частности, если выразить  $a$  в  $см^2/час$ , то для суточных колебаний температуры  $\Delta\tau_{0-z} = 1,4 \frac{z}{\sqrt{a}}$ , для годовых  $\Delta\tau_{0-z} = 26,4 \frac{z}{\sqrt{a}}$ .

#### Вводные вопросы

1. В какой степени выполняются в природе допущения, положенные в основу теории распространения колебаний температуры в почве?

2. Какие периоды наиболее отчетливо выражены в колебаниях температуры почвы в естественных условиях?

#### Задачи

613. Найти изменение температуры в единицу времени в слое почвы, в котором вертикальный градиент температуры на всех глубинах одинаков. Объяснить смысл ответа.

Какое условие необходимо и достаточно, чтобы температура почвы менялась во времени?

614. Определить приблизительно, как и на сколько изменится за 1 час средняя температура слоя почвы 0—5 см, имеющего коэффициент температуропроводности  $10 см^2/час$ , если вертикальный градиент температуры на верхнем его основании  $2^\circ/см$ , а на нижнем  $1^\circ/см$ . Как изменится ответ, если градиент температуры на нижнем основании слоя станет больше, чем на верхнем?

615. Найти начальную фазу суточного колебания температуры поверхности почвы, имеющего вид синусоиды, если время отсчитывается от момента, в который температура уменьшилась до среднего суточного значения.

616. Решить задачу 615 для случаев, когда отсчет времени начинается от моментов: падения температуры до минимума, повышения ее до среднего суточного значения, увеличения ее до максимума.

617. Найти среднюю суточную температуру почвы на глубине 20 см, если средняя температура поверхности  $26,4^\circ С$  и средний

вертикальный градиент температуры в верхнем 20-сантиметровом слое почвы  $0,6^\circ/\text{см}$ .

618. Для колебания, описанного в задаче 615, найти температуру почвы на глубине 20 см в 12 час, если средняя суточная температура поверхности почвы  $30,0^\circ\text{C}$ , амплитуда ее колебания  $20,0^\circ\text{C}$ , вертикальный градиент температуры  $0,8^\circ/\text{см}$  и средний коэффициент температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы  $12,56\text{ см}^2/\text{час}$ . Построить схематический график изменения температуры на поверхности и на глубине 20 см.

619. По данным задачи 618 найти запаздывание колебаний на глубину 20 см. Проверить ответ, вычислив температуру на указанной глубине в нулевой фазе колебания.

620. Амплитуда суточного хода температуры поверхности почвы на площадке ЛГМИ в Даймище 10/VII 1964 г. составила  $20,7^\circ\text{C}$ . Вычислить амплитуду на глубинах 20, 40 и 60 см, если средний коэффициент температуропроводности верхнего 60-сантиметрового слоя почвы в этот день равнялся  $18\text{ см}^2/\text{час}$ . Отвечает ли характер найденного изменения амплитуды с глубиной обычным результатам наблюдений?

621. Амплитуда суточного хода температуры поверхности  $25,0^\circ\text{C}$ , средний коэффициент температуропроводности верхнего слоя почвы  $13,08\text{ см}^2/\text{час}$ . На какой глубине амплитуда составит  $9,2^\circ\text{C}$ ? Как изменится ответ при большем (меньшем) коэффициенте температуропроводности?

Как влияет коэффициент температуропроводности почвы на затухание в ней температурных колебаний с глубиной?

622. Используя результат задачи 600, найти глубины, на которых уменьшается в 2 раза амплитуда суточных колебаний, в граните, влажной глине и сухом песке. Вычислить отношение первой из найденных глубин к третьей и отношение квадратных корней из соответствующих коэффициентов температуропроводности.

623. На каких глубинах уменьшится в  $e$  раз амплитуда суточных колебаний температуры в почвах, коэффициенты температуропроводности которых равны 4 и  $25\text{ см}^2/\text{час}$ ? Вычислить отношения, указанные в задаче 622.

В каком соотношении для колебаний одинакового периода находятся глубины уменьшения амплитуды в одинаковое число раз в разных почвах и коэффициенты температуропроводности этих почв?

624. Решить задачу 623 для годовых колебаний температуры, сравнить новые ответы с прежними и сделать вывод о влиянии периода колебаний на их затухание с глубиной.

625. На каких глубинах уменьшается в 2 раза амплитуда суточных и годовых колебаний температуры в почве с коэффициентом температуропроводности  $28,3\text{ см}^2/\text{час}$ ? Вычислить отношение найденных глубин и квадратных корней из периодов колебаний.

В каком соотношении в одной и той же почве находятся глубины уменьшения амплитуды суточных и годовых колебаний температуры в одинаковое число раз и периоды этих колебаний?

**626.** На какой глубине в одной и той же почве амплитуда годовых колебаний уменьшается во столько же раз, во сколько амплитуда суточных колебаний убывает на глубине 20 см?

На каком следствии из законов распространения температурных колебаний в почве основано решение задачи?

**627.** В каком соотношении находятся глубины, на которых амплитуда колебаний одинакового периода в одной и той же почве уменьшается в 3 раза и 10 раз? Как относится амплитуда на второй глубине к амплитуде на первой?

**628\*.** Амплитуда годового хода температуры поверхности почвы в Смоленске составляет  $29,0^\circ\text{C}$ . Используя средний коэффициент температуропроводности слоя 0—3,2 м, найденный в задаче 605, вычислить амплитуду на глубине 1,6 м, сравнить с фактической (см. задачу 586) и указать возможные причины различия.

Варианты исходных данных — варианты задачи 586 и результаты вариантов задачи 605.

**629.** Для почвы, имеющей средний коэффициент температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя  $13,08\text{ см}^2/\text{час}$ , вычислить следующие отношения амплитуд суточного хода температуры на поверхности и на глубинах 5, 10, 15 и 20 см:  $\frac{A_5}{A_0}$ ,  $\frac{A_{10}}{A_5}$ ,  $\frac{A_{15}}{A_{10}}$  и  $\frac{A_{20}}{A_{15}}$ . Как изменится ответ при большем (меньшем) коэффициенте температуропроводности?

**630.** По результатам задачи 577 найти фактические отношения амплитуд  $\frac{A_5}{A_0}$ ,  $\frac{A_{10}}{A_5}$ ,  $\frac{A_{15}}{A_{10}}$ ,  $\frac{A_{20}}{A_{15}}$ . Вычислить теоретическое значение этого отношения, используя результат задачи 608, и сделать вывод о качественном и количественном выполнении закона уменьшения амплитуды. Указать причины расхождения результатов.

**631\*.** Решить задачу 630, используя результаты задач 578 и 610.

Варианты исходных данных те же, что и в задаче 578.

**632.** Для почвы со средним коэффициентом температуропроводности верхнего 2-метрового слоя  $25,6\text{ см}^2/\text{час}$  вычислить следующие отношения амплитуд годового хода температуры на поверхности и на глубинах 1 и 2 м:  $\frac{A_1}{A_0}$  и  $\frac{A_2}{A_1}$ .

**633\*.** Используя вычисленную в задаче 579 амплитуду годового хода температуры поверхности почвы на ст. Смоленск и найденную в задаче 628 амплитуду на глубине 1,6 м, определить

теоретическое значение отношений  $\frac{A_{1,6}}{A_0}$  и  $\frac{A_{3,2}}{A_{1,6}}$ . Сравнить его с фактическими значениями, вычислив их по результатам задачи 586. Сделать вывод о качественном и количественном выполнении закона уменьшения амплитуды.

Варианты исходных данных те же, что и в задаче 586.

634. По наблюдениям в районе совхоза Пахта-Арал в июле 1952 г. температура поверхности песка днем достигала  $64,9^\circ\text{C}$ , а ночью падала до  $17,8^\circ\text{C}$ . Коэффициент температуропроводности почвы составлял  $7,2 \text{ см}^2/\text{час}$ . До какой глубины проникали указанные колебания температуры?

635. По данным задачи 572 вычислить глубину распространения суточных колебаний температуры поверхности почвы в Даймише в пасмурный и ясный день, если средний коэффициент температуропроводности в обоих случаях составлял  $16 \text{ см}^2/\text{час}$ .

От каких факторов и как зависит глубина распространения температурных колебаний? Какова примерная глубина распространения суточных колебаний температуры почвы?

636. Средняя за 1953—1956 гг. амплитуда суточного хода температуры поверхности почвы в Куйбышеве в январе  $4,3^\circ\text{C}$ , а в июне  $31,0^\circ\text{C}$ . Когда глубже проникают в почву эти колебания и на сколько (в процентах), если коэффициент температуропроводности летом и зимой одинаков?

637. По данным задачи 574 и коэффициентам температуропроводности, вычисленным в задаче 600, найти глубину проникновения указанных суточных колебаний температуры в гранит и в песок. Объяснить причину различия ответов.

638. По данным задачи 609 и найденным в ней коэффициентам температуропроводности найти глубину проникновения суточных колебаний температуры на площадке в полупустыне и на орошаемом хлопковом поле.

Сравнить результаты этой задачи и задачи 637. Указать, какой фактор оказывает преобладающее влияние на глубину распространения колебаний температуры.

639. По данным задачи 587 и коэффициентам температуропроводности, найденным в задаче 606, вычислить глубину проникновения годовых колебаний температуры на суше и в море.

К каким результатам в отношении влияния на климат приморских и континентальных районов приводит различие теплового режима моря и суши, заметное, в частности, из данной задачи?

640\*. Амплитуда годового хода температуры поверхности почвы в Смоленске  $29,0^\circ\text{C}$ . Используя коэффициент температуропроводности, найденный в задаче 605, вычислить глубину проникновения годовых колебаний температуры на этой станции. Как изменится ответ при большем (меньшем) коэффициенте темпера-

туропроводности? Какова примерная глубина проникновения колебаний температуры в почву?

Варианты исходных данных — варианты задачи 586 и ответы вариантов задачи 605.

**641\***. Используя данные задачи 579 и результаты задачи 605, приближенно определить глубину промерзания почвы в Смоленске (по результатам наблюдений многолетняя средняя глубина промерзания на этой станции равна 62 см, наибольшая 115 см). Чем вызван приближенный характер полученного ответа?

Варианты исходных данных — варианты задачи 586 и результаты вариантов задачи 605.

**642.** В пункте, находящемся в зоне вечной мерзлоты, многолетняя максимальная средняя месячная температура поверхности почвы составляет  $10,0^{\circ}\text{C}$ , а минимальная  $-30,0^{\circ}\text{C}$ . Определить приближенно глубину, до которой почва оттаивает летом, если средний коэффициент температуропроводности верхних ее слоев  $28,3\text{ см}^2/\text{час}$ .

**643.** Найти запаздывание момента наступления максимума в суточном и в годовом ходе температуры почвы на глубине 1 м, если средний коэффициент температуропроводности верхнего метрового слоя почвы  $18\text{ см}^2/\text{час}$ . Подтверждается ли опытными данными порядок найденных величин?

**644.** В пункте *N* максимум температуры поверхности почвы в суточном ее ходе отмечен в 3 час 25 мин. В какое время теоретически наступит максимум на глубинах 20, 40 и 60 см, если коэффициент температуропроводности на всех глубинах  $16\text{ см}^2/\text{час}$ ? Как изменится ответ при большем (меньшем) коэффициенте температуропроводности?

**645.** По результатам многолетних наблюдений в Павловске (под Ленинградом) максимальная температура поверхности почвы в суточном ходе наблюдается в 13 час 10 мин, а на глубине 20 см — в 18 час 10 мин. Рассчитать время наступления максимума на глубине 40 см, если коэффициенты температуропроводности слоев 0—20 и 20—40 см одинаковы (по результатам наблюдений максимум на глубине 40 см в Павловске в среднем наступает в 23 час 40 мин). Что можно в данном случае сказать о качественном и количественном выполнении закона запаздывания? Что можно предположить о коэффициенте температуропроводности слоя 20—40 см — больше он или меньше, чем в слое 0—20 см?

**646.** Максимум температуры поверхности почвы в пункте *X* за отдельный год отмечен 12/VII. В какую дату следует ожидать наибольшую температуру на глубине 1 м, если средний коэффициент температуропроводности верхнего метрового слоя почвы в данном пункте составляет  $14\text{ см}^2/\text{час}$ ?

**647.** Считая коэффициент температуропроводности почвы на глубине до 20 см одинаковым, вычислить следующие теоретиче-

ские отношения запаздывания фазы одних и тех же колебаний температуры на глубины 5, 10, 15 и 20 см в одной и той же почве:

$$\frac{\Delta\tau_{0-10}}{\Delta\tau_{0-5}}, \frac{\Delta\tau_{0-15}}{\Delta\tau_{0-5}}, \frac{\Delta\tau_{0-15}}{\Delta\tau_{0-10}}, \frac{\Delta\tau_{0-15}}{\Delta\tau_{5-10}}, \frac{\Delta\tau_{0-20}}{\Delta\tau_{0-5}}, \frac{\Delta\tau_{0-20}}{\Delta\tau_{0-10}}, \frac{\Delta\tau_{0-20}}{\Delta\tau_{10-20}},$$

$$\frac{\Delta\tau_{10-20}}{\Delta\tau_{0-10}}, \frac{\Delta\tau_{15-20}}{\Delta\tau_{5-10}}.$$

648. Используя результаты задачи 577, вычислить фактические отношения следующих запаздываний:  $\frac{\Delta\tau_{0-10}}{\Delta\tau_{0-5}}, \frac{\Delta\tau_{0-15}}{\Delta\tau_{0-5}}, \frac{\Delta\tau_{0-20}}{\Delta\tau_{0-10}}$ . Сравнить с теоретическими их значениями. Сделать вывод о качественном и количественном выполнении закона сдвига фазы.

649\*. Решить задачу 648 по результатам задачи 578.

Варианты исходных данных те же, что и в задаче 578.

#### § 44. ПОТОК ТЕПЛА В ПОЧВЕ

Поток тепла в почве на глубине  $z$

$$P = -\lambda \frac{\partial t}{\partial z}, \quad (105)$$

где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности почвы,  $-\frac{\partial t}{\partial z}$  — вертикальный градиент температуры. Однако по формуле (105) найдутся лишь очень приближенные значения  $P$ .

Средний поток тепла через поверхность почвы за интервал времени  $\tau$  равен

$$P = \frac{c}{\tau} z \Delta t_{\text{ср}}, \quad (106)$$

где  $c$  — объемная теплоемкость почвы;  $\tau$  — продолжительность интервала в минутах;  $z$  — глубина, ниже которой температура почвы не изменяется во времени,  $\Delta t_{\text{ср}}$  — разность средних температур слоя почвы до глубины  $z$  в конце и начале интервала  $\tau$ .

По наблюдениям над температурой почвы на стандартных глубинах 0, 5, 10, 15 и 20 см средний поток тепла на уровне поверхности почвы можно определить по сокращенной формуле

$$P = \frac{c}{\tau} S_1 \quad (107)$$

и более точно — по полной формуле

$$P = \frac{c}{\tau} \left( S_1 - \frac{a}{10} S_2 \right), \quad (108)$$

где  $S_1 = \sum_i r_i \Delta t_i$  ( $r_i$  — постоянные коэффициенты,  $\Delta t_i$  — разности температур в конце и начале интервала  $\tau$ ,  $i$  — глубины);  $a$  — ко-

эффицент температуропроводности;  $S_2 = \frac{\tau}{2} (\Delta t'_1 + \Delta t'_2)$  ( $\Delta t'_1$  — разность между температурами на глубинах 20 и 10 см в начале интервала  $\tau$ ,  $\Delta t'_2$  — то же в конце интервала). Произведения  $r_i \Delta t_i$  табулированы (см. приложение 10 к Руководству по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса, Гидрометеиздат, Л., 1964).

Пример расчета по формулам (107) и (108). Исходные данные — температура почвы (°C) на ст. Чарджоу за 1/VI 1967 г. (см. § 42):

Срок, час	Глубина, см				
	0	5	10	15	20
1	28,6	29,9	31,0	31,0	30,4
7	26,9	27,7	28,4	28,9	29,0
10	35,9	29,5	28,7	28,4	28,7
13	40,9	32,4	29,9	29,1	28,9
16	40,7	33,9	31,4	29,9	29,4
19	29,8	32,4	31,4	30,4	29,8
1 след. суток	25,4	28,0	28,9	29,0	29,0

Значение  $c$  на данной площадке в этот день 0,61 кал/ (см<sup>3</sup> · град).

Расчет по формуле (107) ( $t_1, t_7, t_{10}, t_{13}, t_{16}, t_{19}$  — температура (°C) в 1, 7, 10, 13, 16 и 19 час).

	Глубина, см				
	0	5	10	15	20
$t_1$ . . . . .	28,6	29,9	31,0	31,0	30,4
$t_7$ . . . . .	26,9	27,7	28,4	28,9	29,0
$\Delta t_i = t_7 - t_1$ . . . . .	-1,7	-2,2	-2,6	-2,1	-1,4
$r_i \Delta t_i$ . . . . .	-2,79	-14,65	-9,10	-6,55	-0,11
За интервал 1—7 час	$S_1 = -33,20; \frac{c}{\tau} = 0,0017; P = -0,06$				
$t_{10}$ . . . . .	35,9	29,5	28,7	28,4	28,7
$\Delta t_i = t_{10} - t_7$ . . . . .	9,0	1,8	0,3	-0,5	-0,3
$r_i \Delta t_i$ . . . . .	14,76	11,99	1,05	-1,56	-0,02
За интервал 7—10 час	$S_1 = 26,22; \frac{c}{\tau} = 0,0034; P = 0,09$				
$t_{13}$ . . . . .	40,9	32,4	29,9	29,1	28,9
$\Delta t_i = t_{13} - t_{10}$ . . . . .	5,0	2,9	1,2	0,7	0,2
$r_i \Delta t_i$ . . . . .	8,20	19,31	4,20	2,18	0,02
За интервал 10—13 час	$S_1 = 33,91; \frac{c}{\tau} = 0,0034; P = 0,12$				

	Глубина, см				
	0	5	10	15	20
$t_{16}$ . . . . .	40,7	33,9	31,4	29,9	29,4
$\Delta t_i = t_{16} - t_{13}$ . . . . .	-0,2	1,5	1,5	0,8	0,5
$r_i \Delta t_i$ . . . . .	-0,33	9,99	5,25	2,50	0,04
За интервал 13—16 час	$S_1 = 17,45; \quad \frac{c}{\tau} = 0,0034; \quad P = 0,06$				
$t_{19}$ . . . . .	29,8	32,4	31,4	30,4	29,8
$\Delta t_i = t_{19} - t_{16}$ . . . . .	-10,9	-1,5	0,0	0,5	0,4
$r_i \Delta t_i$ . . . . .	-17,88	-9,99	0,00	1,56	0,03
За интервал 16—19 час	$S_1 = -26,28; \quad \frac{c}{\tau} = 0,0034; \quad P = -0,09$				
$t_1$ (след. сутки) . . . . .	25,4	28,0	28,9	29,0	29,0
$\Delta t_i = t_1 - t_{19}$ . . . . .	-4,4	-4,4	-2,5	-1,4	-0,8
$r_i \Delta t_i$ . . . . .	-7,22	-29,30	-8,75	-4,37	-0,06
За интервал 19—1 час	$S_1 = -49,70; \quad \frac{c}{\tau} = 0,0017; \quad P = -0,08$				

Расчет  $S_2$  ( $t_{10}, t_{20}$  — температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) на глубинах 10 и 20 см).

	Срок, час						
	1	7	10	13	16	19	1
$t_{20}$ . . . . .	30,4	29,0	28,7	28,9	29,4	29,8	29,0
$t_{10}$ . . . . .	31,0	28,4	28,7	29,9	31,4	31,4	28,9
$\Delta t'_i = t_{20} - t_{10}$	-0,6	0,6	0,0	-1,0	-2,0	-1,6	0,1
$S_2$ . . . . .	0,0	0,9	-1,5	-4,5	-5,4	-4,5	

На данной площадке в указанный день  $a = 4,1 \text{ см}^2/\text{час}$  (см. § 42),  
а  $\frac{a}{10} = 0,41$ .

Расчет по формуле (108)

Интервал, час	$S_1$	$S_2$	$\frac{a}{10} S_2$	$S_1 - \frac{a}{10} S_2$	$\frac{c}{\tau}$	$P$
1—7	-33,20	0,0	0,00	-33,20	0,0017	-0,06
7—10	26,22	0,9	0,37	25,85	0,0034	0,09
10—13	33,91	-1,5	-0,62	34,53	0,0034	0,12
13—16	17,45	-4,5	-1,84	19,29	0,0034	0,07
16—19	-26,28	-5,4	-2,21	-24,07	0,0034	-0,08
19—1	-49,70	-4,5	-1,84	-47,86	0,0017	-0,08

Суточные суммы потока тепла в почве можно вычислить по формулам трапеций (см., например, задачи 503, 511 и др.).

### Вводные вопросы

1. Каков основной механизм передачи тепла в почве?
2. Почему формула (105) дает лишь грубо приближенные результаты?
3. Каков порядок величины потока тепла в почве за одну минуту?
4. Какова роль потока тепла в почве и водоемах в тепловом балансе их деятельного слоя?

### Задачи

**650.** Вычислить приближенно поток тепла в верхнем слое сухой песчаной почвы ( $\lambda$  см. в § 42), если температура ее поверхности  $23,6^\circ\text{C}$ , а температура на глубине  $5\text{ см}$   $19,4^\circ\text{C}$ .

**651.** Определить приближенно количество тепла, проходящее за  $1\text{ час}$  через площадку  $1\text{ м}^2$  на поверхности влажной глинистой почвы, если в течение этого часа температура поверхности  $16,8^\circ\text{C}$ , а температура на глубине  $2\text{ см}$   $14,2^\circ\text{C}$ . В каком направлении происходит перенос тепла?

**652.** Найти приближенно количество тепла, получаемого за  $10\text{ мин}$  поверхностью неподвижного пруда площадью  $1\text{ га}$ , если ее температура  $13,7^\circ\text{C}$ , а на глубине  $1\text{ см}$  температура  $13,8^\circ\text{C}$ .

**653.** Вычислить приближенно поток тепла в снежном покрове высотой  $10\text{ см}$ , если плотность снега  $0,2\text{ г/см}^3$ , температура его поверхности  $-14,3^\circ\text{C}$ , а температура поверхности почвы под снегом  $-2,7^\circ\text{C}$ .

**654.** Определить приближенно поток тепла в верхнем  $5\text{-сантиметровом}$  слое почвы в  $13\text{ час}$  по данным задачи 577, используя результат задачи 608, если объемная теплоемкость почвы на данной площадке  $0,5\text{ кал/(см}^3 \cdot \text{град)}$ .

**655.** Зная, что средний коэффициент теплопроводности земной коры составляет  $5,6 \cdot 10^{-3}\text{ кал/(см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град)}$ , а геотермическая ступень равна  $33\text{ м}$ , т. е. температура растет на  $1^\circ\text{C}$  на каждые  $33\text{ м}$  глубины, приближенно определить количество тепла, поступающее за год из недр Земли к  $1\text{ см}^2$  земной поверхности. Ответ сравнить с данными задачи 394.

**656.** Многолетняя средняя температура почвы ( $^\circ\text{C}$ ) в Москве на разных глубинах в марте и августе:

Месяц	Глубина, м												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Март	-1,4	-0,1	1,4	3,0	4,2	5,1	5,4	6,0	6,2	6,3	6,3	6,1	6,0
Август	16,6	14,4	12,3	10,4	8,5	7,2	6,1	5,7	5,4	5,5	5,6	5,8	6,0

Вычислить количество тепла, накапливаемое с марта по август столбом почвы сечением  $1 \text{ см}^2$  и глубиной  $12 \text{ м}$ , а также средний поток тепла за этот период, если средняя объемная теплоемкость почвы  $0,5 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ .

**657.** По исходным данным задачи 577 вычислить по сокращенной формуле средний поток тепла в почве за каждый интервал, если объемная теплоемкость почвы на этой площадке  $0,23 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ . Отнести полученные потоки к серединам интервалов, вывести формулу трапеций и вычислить суммарный поток за период с 22 час 12/VII до 22 час 13/VII. Указать смысл ответа. Построить и проанализировать график суточного хода потока. (Описать общий его характер и пояснить смысл знаков потока в разное время суток. Указать величину и время наступления экстремумов, отметить, были ли они нормальными. Вычислить амплитуду, отметить время переходов через нуль, продолжительность периодов с положительным и отрицательным потоком.)

Какими факторами обусловлены основные особенности суточного хода потока тепла в почве, в частности смена знака потока? Какие отличия в суточном ходе потока имели бы место на этой же широте в зимнее время года или летом, но в более северных (южных) районах?

**658.** По данным задачи 657 вычислить средний поток тепла в почве за те же интервалы по полной формуле, используя коэффициент температуропроводности, найденный для данной площадки в задаче 608. Ответы сравнить с полученными в предыдущей задаче и сделать вывод о степени уточнения расчетов при использовании полной формулы по сравнению с сокращенной.

**659\*.** Вычислить по сокращенной формуле средний поток тепла в почве за шесть интервалов по исходным данным задачи 578, считая объемную теплоемкость данной площадки равной  $0,36 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ . Найти суммарный поток за период с 2 до 22 час.

Варианты исходных данных те же, что и в задаче 578.

**660\*\*.** Исходные данные — результаты наблюдений над температурой почвы на ст. Чарджоу за 30/VI—2/VII 1967 г.:

Дата	Срок, час	Глубина, см				
		0	5	10	15	20
30/VI	19	32,0	36,1	34,9	33,4	32,3
1/VII	1	24,6	29,5	31,0	31,1	31,4
	7	29,4	26,8	28,2	28,9	29,5
	10	46,8	31,9	29,9	29,3	29,3
	13	52,9	37,3	33,3	30,9	30,3
	16	47,9	39,3	35,5	32,9	31,8
2/VII	19	32,4	36,0	34,9	33,4	32,5
	1	25,0	30,4	31,4	31,6	31,5

1. Построить и проанализировать график суточного хода температуры на поверхности и на всех глубинах за 1/VII: а) описать характер этого хода; б) вычислить амплитуды и указать характер их изменения с глубиной; в) вычислить отношения амплитуд  $\frac{A_5}{A_0}$ ,  $\frac{A_{10}}{A_5}$ ,  $\frac{A_{15}}{A_{10}}$  и  $\frac{A_{20}}{A_{15}}$ ; г) найти время наступления и запаздывание максимума на всех глубинах по сравнению с поверхностью; д) вычислить среднее запаздывание на 10 см глубины; е) вычислить отношения запаздываний  $\frac{\Delta\tau_{0-10}}{\Delta\tau_{0-5}}$ ,  $\frac{\Delta\tau_{0-15}}{\Delta\tau_{0-5}}$ ,  $\frac{\Delta\tau_{0-20}}{\Delta\tau_{0-10}}$  и сравнить с теоретическими; ж) вычислить коэффициент температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы по уменьшению амплитуды и по запаздыванию максимума, сравнить результаты; з) используя средний из них, найти глубину проникновения суточных колебаний.

2. Построить и проанализировать график вертикального распределения температуры в сроки 1, 7, 13 и 19 час 1/VII: а) назвать тип каждого профиля и отметить, нормален ли он для данного срока; б) указать причины, определяющие вид этих профилей; в) для срока 13 час вычислить вертикальный градиент температуры (в °/см) в каждой прослойке и средний для слоя 0—20 см; г) указать характер и причины изменения градиента температуры с глубиной; д) определить направление переноса тепла в каждой прослойке в указанные четыре срока.

3. Построить график термоизоплет.

4. а) По значениям температуры в сроки с 7 до 19 час вычислить средний коэффициент температуропроводности слоя 0—20 см по формуле (101) и сравнить с результатами, найденными в п. 1ж; б) используя значения полученного здесь  $a$  и амплитуды на поверхности почвы, вычислить амплитуду на глубине 10 см и сравнить с фактической; в) зная коэффициент  $a$ , найти теоретическое значение отношений амплитуд, указанных в п. 1в, сравнить его с фактическими и сделать вывод о качественном и количественном выполнении закона уменьшения амплитуды.

5. Рассчитать по сокращенной и полной формулам (используя значение  $a$  из п. 4а) средний поток тепла в почве за каждый интервал, принимая объемную теплоемкость равной  $0,63 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ .

6. Вывести формулу трапеций, вычислить по ней суточную сумму потока (за период с 22 час прошлых суток до 22 час данных суток) и пояснить смысл ответа.

7. Построить и проанализировать график суточного хода потока так, как указано в задаче 657.

Варианты исходных данных

Вариант, дата	Срок, час	Глубина, см				
		0	5	10	15	20
1 2/VII	19	32,0	36,1	34,9	33,4	32,3
	1	25,0	30,4	31,4	31,6	31,5
	7	30,1	27,5	28,6	29,4	29,8
	10	44,2	30,5	29,4	29,3	29,6
	13	54,9	37,3	33,7	31,4	30,5
	16	51,3	40,4	36,4	33,4	32,3
	19	34,0	37,8	36,2	34,4	33,3
2 3/VII	1	24,2	30,2	31,6	32,0	32,0
	7	28,6	28,2	29,4	29,9	30,3
	10	48,0	32,9	30,8	29,9	30,2
	13	51,5	36,8	33,4	31,6	30,9
	16	36,4	36,4	34,8	32,9	32,1
	19	30,8	33,5	33,3	32,6	32,2
3 4/VII	1	25,0	29,5	30,9	31,0	31,3
	7	30,0	27,4	28,6	29,3	29,5
	10	47,3	32,1	30,0	29,4	29,4
	13	54,8	37,4	33,6	31,2	30,4
	16	50,0	39,8	35,9	33,4	32,3
	19	33,4	37,1	35,7	33,9	33,0
4 5/VII	1	23,8	29,4	31,4	31,8	31,9
	7	29,3	27,4	28,9	29,5	29,9
	10	47,7	32,3	30,3	29,7	29,8
	13	59,0	38,6	33,9	31,6	30,8
	16	50,4	40,4	36,5	33,7	32,4
	19	33,5	37,3	36,0	34,4	33,4
5 6/VII	1	23,7	30,6	32,0	32,4	32,3
	7	25,5	27,4	28,9	29,8	30,3
	10	46,3	31,7	30,1	29,7	30,0
	13	54,0	37,4	33,4	31,4	30,8
	16	48,8	39,7	35,9	33,4	32,3
	19	33,1	37,3	35,9	34,3	33,3
6 7/VII	1	23,0	30,0	31,5	32,0	32,0
	7	28,8	27,2	28,9	29,7	30,3
	10	45,1	31,9	30,1	29,9	29,8
	13	54,8	37,3	32,9	31,4	30,8
	16	48,2	39,6	35,9	33,5	32,3
	19	31,9	36,5	35,5	34,0	33,0
7 8/VII	1	23,7	30,4	31,9	32,1	32,3
	7	31,0	27,6	28,9	29,7	30,1
	10	44,5	31,9	30,2	30,6	29,9
	13	54,6	37,3	33,6	31,5	30,8
	16	49,2	39,5	35,9	33,4	32,3
	19	34,2	36,8	35,9	34,0	33,2

Вариант, дата	Срок, час	Глубина, см				
		0	5	10	15	20
8 9/VII	1	24,2	29,6	31,6	31,9	32,0
	7	28,0	27,5	28,9	28,9	30,3
	10	39,8	31,4	30,0	29,9	29,9
	13	54,9	36,5	32,9	31,3	30,8
	16	46,5	39,1	35,5	33,2	31,9
	19	33,5	36,2	35,2	33,6	32,9
9 10/VII	1	25,4	30,0	31,5	31,9	31,9
	7	31,4	28,3	29,3	29,8	30,2
	10	42,5	32,8	30,9	30,3	30,3
	13	58,4	38,7	34,2	31,9	31,2
	16	51,2	40,8	36,8	33,9	32,8
	19	35,8	38,1	36,5	34,6	33,6
10 11/VII	1	26,9	31,2	32,4	32,6	32,6
	7	30,6	28,9	29,9	30,6	30,9
	10	47,4	33,4	31,4	30,8	30,8
	13	57,0	38,8	34,8	32,4	31,8
	16	49,6	40,8	37,2	34,5	33,3
	19	34,2	37,3	36,6	34,9	33,9
11 12/VII	1	25,9	30,9	32,4	32,8	32,8
	7	32,0	28,9	29,9	30,5	31,0
	10	50,7	34,5	31,9	31,1	31,0
	13	56,8	39,9	35,5	33,0	31,9
	16	52,2	41,8	37,9	34,9	33,8
	19	35,9	37,8	36,9	35,3	34,3
12 13/VII	1	27,4	32,0	33,4	33,5	33,4
	7	32,0	29,4	30,5	31,3	31,6
	10	49,6	34,6	32,3	31,4	31,4
	13	55,6	39,5	35,6	33,4	32,5
	16	47,4	40,3	37,3	34,9	33,8
	19	34,2	37,3	36,6	35,0	34,2
13 14/VII	1	28,0	31,5	33,8	33,9	33,6
	7	30,9	28,9	30,3	31,0	31,4
	10	47,7	34,3	31,9	31,3	31,4
	13	54,0	39,1	35,2	33,1	32,3
	16	46,9	40,3	37,0	34,7	33,5
	19	32,6	36,9	36,4	34,9	34,2
14 15/VII	1	25,6	30,5	32,0	32,5	32,6
	7	30,6	28,4	29,7	30,5	30,9
	10	46,5	33,1	31,4	30,9	30,9
	13	55,3	38,6	34,5	32,4	31,8
	16	49,6	40,3	36,7	34,3	33,2
	19	33,2	37,0	36,3	34,7	33,8

Примечания. 1. За первый срок каждого варианта принимать 19 час суток, предшествующих заданным, за последний срок — 1 час суток, следующих после заданных. 2. Объемную теплоемкость во всех вариантах считать такой же, как в основной задаче.

## ГЛАВА VIII

### ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ НИЖНЕГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

#### § 45. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ВО ВРЕМЕНИ И В ПРОСТРАНСТВЕ

Под влиянием периодических колебаний температуры деятельного слоя температура нижних слоев атмосферы в среднем приобретает упорядоченный суточный и годовой ход в виде простой волны. Амплитуда каждого из них зависит от многих факторов. Колебания температуры деятельного слоя и турбулентное перемешивание воздуха приводят к тому или иному распределению температуры с высотой (вертикальному ее «профилю»). При равновесной стратификации этот профиль часто описывается логарифмическим законом

$$\frac{t_1 - t_2}{t_3 - t_2} = \frac{\lg \frac{z_2}{z_1}}{\lg \frac{z_2}{z_3}},$$

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

#### *Вводные вопросы*

1. Какие факторы обуславливают величину амплитуды суточного и годового хода температуры воздуха?
2. Какие вертикальные профили температуры воздуха чаще всего наблюдаются вблизи земной поверхности?

#### *Задачи*

661. Многолетняя средняя температура воздуха в Москве в июле:

Срок, час	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
$t^\circ\text{C}$	17,3	16,3	15,7	16,3	18,4	20,5	21,7	22,3	22,4	21,7	20,1	18,5	17,3

Построить и описать график суточного хода температуры воздуха (см. задачу 571).

662\*. Дополнить исходные данные задачи 571 следующими значениями температуры воздуха, измеренными в тот же день на той же площадке:

Срок, час 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24  
 t°С . . . 7,2 7,0 7,3 9,2 11,6 13,0 13,5 14,2 14,8 14,2 11,8 10,2 8,4

Построить и проанализировать график суточного хода температуры поверхности почвы и воздуха.

Варианты исходных данных — варианты к задаче 571 и значения температуры воздуха:

Вариант	Дата	Срок, час						
		0	2	4	6	8	10	12
1	5/VII 1935 г.	8,1	7,2	7,4	10,5	13,5	16,0	15,4
2	6	8,7	8,3	8,0	12,5	15,6	17,0	17,4
3	7	10,2	10,7	11,2	11,6	12,3	13,0	14,2
4	8	8,4	8,2	8,4	10,0	12,6	14,2	14,3
5	9	8,2	6,3	7,4	11,3	14,5	14,7	15,5
6	10	11,9	10,2	9,8	11,8	12,2	12,7	13,4
7	11	9,9	8,6	8,5	10,1	11,6	12,9	15,4
8	12	5,2	4,8	4,7	9,8	15,6	17,5	18,2
9	13	6,8	6,3	6,1	11,4	17,4	20,3	20,7
10	14	12,7	12,2	12,0	12,6	13,8	14,8	15,8
11	15	12,0	9,9	9,6	10,2	15,8	18,5	19,2
12	5/VII 1964 г.	6,9	6,0	6,6	9,8	15,0	17,0	18,4
13	6	8,5	8,0	8,4	10,4	14,8	16,1	16,8
14	7	8,7	7,4	7,6	9,6	14,2	16,4	16,6
15	8	8,2	8,0	7,8	10,8	14,0	15,5	16,5
16	10	13,2	13,2	12,9	13,6	14,8	19,8	21,4
17	11	12,4	11,4	11,0	14,4	16,0	17,5	20,5
18	12	14,4	12,9	12,2	14,8	18,0	22,1	25,8
19	14	10,5	8,4	9,8	15,8	20,6	21,8	22,1
20	15	17,0	16,0	16,2	16,4	19,5	21,4	23,3
21	16	14,9	14,1	14,4	17,0	21,1	24,4	25,6
22	26/VI 1963 г.	11,8	9,5	9,7	13,0	17,8	20,0	21,5
23	27	13,8	12,8	13,6	14,2	14,4	15,6	17,4
24	28	10,3	9,5	10,0	10,1	16,6	18,6	19,7
25	29	9,7	9,1	7,8	13,2	18,1	20,2	21,4
26	30	14,3	12,5	12,8	16,2	18,8	19,7	21,5
27	1/VII 1963 г.	16,2	15,3	15,6	17,6	17,8	11,8	13,1
28	2	6,2	5,2	5,4	7,2	10,3	12,4	14,2
29	3	9,9	9,4	10,1	10,3	16,5	19,0	20,2
30	4	13,1	10,6	10,8	13,9	15,8	17,2	17,8

Вариант	Дата	Срок, час					
		14	16	18	20	22	24
1	5/VII 1965 г.	16,0	17,6	15,6	14,6	10,6	8,7
2	6	16,5	15,2	14,4	17,7	10,8	10,2
3	7	16,1	14,9	13,2	13,0	10,3	8,4
4	8	16,2	15,3	14,1	13,7	10,4	8,2
5	9	16,4	16,2	15,6	15,0	13,0	11,9
6	10	14,8	14,5	13,4	12,4	10,8	9,9
7	11	16,1	17,5	16,5	13,2	8,2	5,2
8	12	18,8	19,8	18,1	14,2	9,4	6,8
9	13	21,1	21,2	20,3	17,7	14,4	12,7
10	14	16,7	17,4	17,8	15,8	13,5	12,0
11	15	21,0	21,3	19,4	19,3	17,6	15,8
12	5/VII 1964 г.	19,0	18,9	17,6	16,3	11,7	8,5
13	6	17,0	16,6	16,4	14,6	9,7	8,7
14	7	15,0	14,9	14,4	10,6	8,6	8,2
15	8	16,2	14,6	13,3	12,7	12,1	12,0
16	10	21,8	21,8	20,6	18,0	13,7	12,4
17	11	22,0	22,7	21,2	18,6	16,7	14,4
18	12	25,2	21,0	17,6	17,6	15,7	12,6
19	14	21,4	20,3	18,7	18,0	17,2	17,0
20	15	24,4	24,3	23,4	20,8	17,2	14,9
21	16	26,2	26,2	24,8	19,7	16,4	15,3
22	26/VI 1963 г.	22,0	21,8	20,6	17,7	15,4	13,8
23	27	18,4	18,0	17,6	17,2	12,0	10,3
24	28	20,2	20,3	19,3	17,6	12,7	9,7
25	29	21,4	21,3	20,6	18,8	18,1	14,3
26	30	22,4	22,2	21,4	19,4	17,4	16,2
27	1/VII 1963 г.	14,8	15,2	14,6	13,2	9,2	6,2
28	2	16,0	16,6	16,2	13,8	10,4	9,9
29	3	21,3	21,3	19,9	18,7	15,2	13,7
30	4	17,8	18,0	17,8	17,4	11,7	9,3

663. Многолетняя средняя температура воздуха в Куйбышеве в январе ( $t_I$ ) и июле ( $t_{VII}$ ):

Срок, час . . .	0	2	4	6	8	10	12
$t_I$ °С . . . . .	-14,1	-14,2	-14,4	-14,5	-14,5	-14,0	-13,1
$t_{VII}$ °С . . . . .	18,3	17,3	16,5	17,3	19,6	22,0	23,7
Срок, час . . .	14	16	18	20	22	24	
$t_I$ °С . . . . .	-12,5	-12,9	-13,4	-13,8	-13,9	-14,1	
$t_{VII}$ °С . . . . .	24,4	24,5	23,5	21,3	19,5	18,3	

Представить эти данные графически, проанализировать и указать причины различия суточного хода.

**664.** Многолетние средние амплитуды суточного хода температуры воздуха на ст. Казань:

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
А°С	6,5	7,6	8,0	8,1	10,7	11,9	11,1	10,8	9,2	6,1	5,2	6,2

Построить график и описать годовое изменение амплитуды суточного хода температуры воздуха.

В высоких или в низких широтах сезонное различие суточного хода температуры воздуха проявляется сильнее?

Многолетняя средняя температура воздуха в июле:

Пункт	Срок, час											
	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	37,1	35,7	30,9	28,1

**665.** Объяснить причины различия суточного хода температуры воздуха на разных широтах.

**666.** Многолетняя средняя амплитуда суточного хода температуры воздуха (°С) на станциях Бежецк (Калининская область) и Ашхабад:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Бежецк	6,6	7,5	8,3	8,2	10,5	10,9	10,7	10,6	9,0	5,9	4,7	5,2
Ашхабад	9,0	10,1	10,4	12,3	13,7	14,2	14,5	15,0	15,3	14,1	11,2	9,0

Выполнить задание предыдущей задачи.

**667.** Температура воздуха (°С) над Атлантическим океаном 15/VIII 1968 г. на кораблях погоды Е и М (широты 35 и 66°):

Корабль погоды	Срок, час									
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	
Е	25,2	25,1	25,1	25,2	25,5	25,7	26,0	25,9	25,5	
М	8,0	8,1	8,5	9,8	10,0	10,0	9,5	9,5	9,7	

Представить эти данные графически, проанализировать и сравнить с результатами двух предыдущих задач. Как и почему изменяется широтное различие суточного хода температуры воздуха над океанами по сравнению с сушей?

668. Средняя за 8 суток температура воздуха (°С) на высоте 3 м над полупустыней и близлежащим орошаемым хлопковым полем совхоза Пахта-Арал (УзбССР) в июле 1952 г.:

Вид поверхности	Срок, час мин										
	0 30	4 30	6 30	8 30	10 30	12 30	14 30	16 30	18 30	20 30	0 30
Полупустыня Орошаемое поле	24,4	20,3	23,0	28,2	33,1	35,7	37,0	37,1	34,9	29,6	24,4
	23,2	19,4	21,2	25,9	30,2	33,1	34,4	34,0	30,6	26,6	23,2

Представить эти данные графически, проанализировать и объяснить причины различия суточного хода температуры воздуха над разными участками земной поверхности.

669. Многолетняя средняя температура воздуха (°С) в июле на двух соседних станциях, одна из которых (Ашхабад) находится на равнине, а другая (Хейрабад) — на возвышенности:

Пункт	Срок, час												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
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	27,4
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	15,2

Представить эти данные графически, проанализировать и объяснить причины различия суточного хода температуры воздуха на станциях, расположенных на равнине и возвышенности.

670. Многолетняя средняя амплитуда суточного хода температуры воздуха (°С) на двух станциях, рассмотренных в задаче 669:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ашхабад	9,0	10,1	10,4	12,3	13,7	14,2	14,5	15,0	15,3	14,1	11,2	9,0
Хейрабад	5,9	6,6	7,5	8,2	8,2	9,1	9,2	9,1	8,9	8,4	6,9	6,2

Выполнить задание задачи 669 и указать, в какой сезон и почему влияние рельефа на суточный ход температуры воздуха более заметно.

671. Многолетняя средняя амплитуда суточного хода температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на двух близких станциях, одна из которых (Вязьма) лежит на равнинной местности, а другая (Жиздра) — в низине, следующая:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Вязьма	6,3	7,1	7,9	8,9	11,0	11,2	10,8	10,5	9,2	6,4	4,8	5,2
Жиздра	7,3	8,3	8,6	9,9	12,4	12,7	12,4	12,1	10,7	7,3	5,4	5,7

Выполнить задание двух предыдущих задач.

672. Средняя за 9 суток температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) в 13 час над южным и северным склонами возвышенности в Батуми в сентябре—октябре 1938 г.:

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	22,0	21,8

Вычислить разность температур над южным и северным склонами на каждой высоте, указать причины ее изменения с высотой.

673. Температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на высоте 25 см над южным и северным склонами возвышенности в Саблино 16/VII 1938 г.:

Склон	Срок, час						
	8	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

Вычислить разность температур над южным и северным склонами в каждый срок, объяснить причины ее изменения в течение дня.

674. Температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) над Атлантическим океаном (корабль погоды Е) 15/VIII 1968 г. и многолетняя средняя температура в августе примерно на той же широте на ст. Чарджоу (Туркменская ССР):

Пункт	Срок, час								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Корабль пого- ды Е	25,2	25,1	25,1	25,2	25,5	25,7	26,0	25,9	25,5
Чарджоу	23,5	21,5	20,6	28,0	33,1	34,2	31,2	25,5	23,5

Представить эти данные графически, проанализировать и указать причины различия суточного хода температуры воздуха над океаном и сушей на одинаковой широте.

675. Многолетняя средняя температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) в июле на станциях Таллин и Якутск, находящихся примерно на одинаковой широте, равна:

Пункт	Срок, час												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
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	14,6
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	14,7

Представить эти данные графически, проанализировать и сравнить с результатами задачи 674.

676. Многолетняя средняя температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) в июле на ст. Красноводск (на берегу Каспийского моря) и на ст. Дарган-Ата (Туркменская ССР), находящейся на той же широте в 750 км от моря, в пустыне Каракум, равна:

Пункт	Срок, час												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Красно- водск	27,0	26,4	25,9	26,3	28,0	29,4	30,9	31,7	32,1	31,2	28,9	27,6	27,0
Дарган- Ата	24,6	23,3	22,1	22,4	22,7	32,3	34,4	35,3	35,2	33,5	29,3	26,6	24,6

Выполнить задание двух предыдущих задач и сравнить результаты.

677. Температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на площадке ЛГМИ в Даймище в пасмурный день 9/VII и в ясный день 13/VII 1964 г.:

Дата	Срок, час											
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
9/VII	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/VII	10,9	8,7	11,0	17,4	19,6	21,9	23,0	24,9	24,5	21,0	12,8	10,0

Представить эти данные графически, проанализировать и указать причины различия суточного хода температуры воздуха в пасмурные и ясные дни.

**678.** Многолетние средние амплитуды суточного хода температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на ст. Калинин в ясные и пасмурные дни:

Дни	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ясные	8,7	12,1	13,9	11,9	14,5	14,5	14,6	15,1	14,6	11,3	8,1	7,3
Пасмурные	5,5	5,6	4,8	5,9	7,5	7,9	7,2	6,5	6,0	4,4	3,8	4,1

Решить задачу 677 и указать возможные причины неравномерного изменения данной величины в течение года.

Как влияют на суточный ход температуры воздуха форма облаков и их количество? Какие другие погодные явления влияют на этот суточный ход и каким образом?

**679.** Средняя суточная температура воздуха на ст. Токсово (Ленинградская область) в период с 10 по 20/IV 1957 г.:

Дата . . . . .	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t^{\circ}\text{C}$ . . . . .	-4,0	-4,5	-1,1	-3,7	-3,2	-1,7	-2,1	0,0	2,2	1,6	2,8

Вычислить среднюю междусуточную изменчивость температуры воздуха на указанной станции за вторую декаду апреля 1957 г.

Какие атмосферные процессы отражает междусуточная изменчивость температуры воздуха?

**680.** Средняя за 8 суток температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на разной высоте в полупустыне в районе совхоза Пахта-Арал в июле 1952 г.:

Высота, м	Срок, час мин											
	0 30	4 30	6 30	8 30	10 30	12 30	14 30	16 30	18 30	20 30	0 30	
0,15	22,8	18,6	23,6	30,4	35,3	39,3	40,2	39,3	35,2	27,2	22,8	
0,50	23,3	19,1	23,5	29,4	34,8	37,8	38,9	38,3	34,9	28,0	23,3	
1,50	24,0	19,6	23,3	28,7	33,6	36,3	37,6	37,5	35,0	28,8	24,0	
3,00	24,4	20,3	23,0	28,2	33,1	35,7	37,0	37,1	34,9	29,6	24,4	

Построить и проанализировать график суточного хода температуры воздуха на всех высотах. Выполняются ли и в этом случае законы, характеризующие распространение колебаний температуры в почве?

681. По данным предыдущей задачи вычислить разность температур на высотах 0,5 и 3,0 м за каждый срок. Описать и объяснить суточный ход этой разности. Какие изменения стратификации нижнего слоя и интенсивности турбулентного перемешивания связаны с этим ходом?

Какие факторы приводят к возникновению и разрушению ночной приземной инверсии?

682. Температура воздуха (°C) на 300-метровой метеорологической мачте 11/VII 1963 г.:

Высота, м	Срок, час				
	1	7	13	19	1 (след. сут.)
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

Выполнить задание задачи 680.

683. По данным задач 576 и 680 построить и проанализировать вертикальные профили температуры от поверхности почвы до высоты 3,0 м над полупустыней в сроки 0 час 30 мин и 14 час 30 мин. Вычислить вертикальный градиент температуры в слое 0—3 м в °/100 м и сравнить его с сухоадиабатическим градиентом. Сделать выводы о стратификации этого слоя, о направлении и интенсивности переноса тепла в нем.

684. Температура поверхности почвы и воздуха (°C) на нескольких уровнях на площадке ЛГМИ в Даймище 8/VII 1964 г.:

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

Построить и описать вертикальные профили температуры воздуха за каждый срок. Вычислить вертикальный градиент темпе-

ратуры (в °/100 м) в каждом слое во все сроки, описать его изменение с высотой и во времени, указать направления переноса тепла в этих слоях.

685. По данным задачи 682 построить и проанализировать вертикальные профили температуры за все сроки.

686. Используя логарифмический закон для профиля температуры в приземном слое атмосферы, вычислить переводные коэффициенты для перехода от разности температур на уровнях 0,2 и 1,0 м, 0,5 и 1,5 м, 0,4 и 1,8 м к их разностям на стандартных уровнях градиентных измерений (0,5 и 2,0 м).

687\*. Считая профиль температуры в приземном слое атмосферы логарифмическим, вычислить температуру на уровне 1,0 м по данным о температуре на уровнях 0,5 и 2,0 м из задачи 243. Ответ сравнить с фактическим значением (см. ту же задачу) и в случае расхождения указать возможные причины.

Варианты исходных данных те же, что и в задаче 243.

688\*. Решить задачу 687, найдя температуру на уровне 8,0 м, и проанализировать характер профиля температуры в слое 0,5—8,0 м. Варианты исходных данных см. в задаче 243.

689\*. Многолетняя средняя месячная температура воздуха в Смоленске:

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t°С	-8,8	-8,5	-4,2	3,7	11,5	15,2	17,1	15,7	10,6	4,4	-1,3	-6,3

Относя температуру к серединам месяцев, построить и описать график годового хода.

Варианты исходных данных

Вариант	Пункт	I	II	III	IV	V	VI
1	Торжок . . . . .	-10,0	-9,6	-5,2	3,2	10,7	14,7
2	Елец . . . . .	-9,4	-9,3	-4,2	5,5	13,8	18,1
3	Бугуруслан . . . . .	-14,4	-14,2	-7,8	3,7	13,1	18,3
4	Ростов-на-Дону . . . . .	-5,7	-5,1	0,2	9,0	16,4	20,0
5	Алма-Ата . . . . .	-7,4	-5,6	1,8	10,5	16,2	20,6
6	Чарджоу . . . . .	0,6	3,5	9,3	16,8	23,0	27,4
7	Калинин . . . . .	-10,4	-10,0	-5,4	3,2	10,8	14,9
8	Орел . . . . .	-9,2	-9,2	-4,4	4,8	12,8	16,8
9	Казань . . . . .	-13,5	-12,9	-7,0	3,3	12,1	16,9
10	Гигант . . . . .	-5,5	-4,8	0,6	9,2	16,3	20,3
11	Павлодар . . . . .	-17,9	-17,2	-10,5	3,2	12,9	19,0
12	Кизыл-Арват . . . . .	0,1	3,3	8,8	15,9	23,3	28,3
13	Кашира I . . . . .	-10,8	-10,2	-5,2	3,6	11,8	15,6
14	Курск . . . . .	-8,6	-8,4	-3,4	5,8	13,7	17,4
15	Куйбышев . . . . .	-13,8	-13,0	-6,8	4,6	14,0	18,7

Вариант	Пункт	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Торжок . . . . .	17,0	15,1	9,8	3,6	-2,3	-7,3
2	Елец . . . . .	20,0	18,5	12,4	5,4	-1,0	-6,7
3	Бугуруслан . . . . .	20,2	18,0	11,5	3,5	-4,6	-11,4
4	Ростов-на-Дону . . . . .	22,9	22,1	16,2	9,2	2,2	-3,1
5	Алма-Ата . . . . .	23,3	22,3	16,9	9,5	0,8	-4,8
6	Чарджоу . . . . .	29,2	27,2	21,2	14,2	7,1	2,5
7	Калинин . . . . .	17,2	15,3	9,8	3,7	-2,3	-7,5
8	Орел . . . . .	18,8	17,4	11,6	4,8	-1,4	-6,8
9	Казань . . . . .	19,0	17,1	10,7	3,2	-4,7	-11,0
10	Гигант . . . . .	23,5	22,7	16,6	9,6	2,5	-2,8
11	Павлодар . . . . .	21,2	18,7	12,4	3,2	-7,6	-15,0
12	Кзыл-Арбат . . . . .	30,9	29,6	23,8	15,9	7,8	2,8
13	Кашира I . . . . .	18,0	16,3	10,6	3,8	-2,7	-8,2
14	Курск . . . . .	19,3	18,2	12,6	5,6	-0,9	-6,2
15	Куйбышев . . . . .	20,7	19,0	12,4	4,2	-4,1	-10,7

690. Многолетняя средняя месячная температура воздуха (°С) на трех станциях в экваториальном поясе:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI
Зунгеру (Нигерия)	27,5	27,7	30,5	30,4	28,2	26,1
Кафия-Кинги (Судан)	18,6	20,6	23,2	24,3	24,0	22,9
Форт Лами (Чад)	23,7	25,3	29,1	33,1	31,8	30,0

Пункт	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Зунгеру (Нигерия)	25,7	25,2	25,8	26,4	25,8	25,8
Кафия-Кинги (Судан)	22,0	21,8	22,3	22,4	20,9	18,9
Форт Лами (Чад)	27,2	26,2	27,7	28,7	27,9	26,2

Представить эти данные графически, проанализировать и объяснить особенности годового хода температуры воздуха в экваториальном поясе.

691. Многолетняя средняя месячная температура воздуха (°С) на станциях, лежащих примерно на одинаковой долготе, но на разных широтах:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI
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

Пункт	VII	VIII	IX	X	XI	XII
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

Представить эти данные графически и указать причины, приводящие к различиям в годовом ходе температуры воздуха на разных широтах.

692. Многолетняя средняя месячная температура воздуха (°С) над Атлантическим океаном (корабль погоды К) и на суше на той же широте (ст. Кзыл-Орда, Туркменская ССР):

Пункт	I	II	III	IV	V	VI
Корабль погоды К . . . . .	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

Пункт	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Корабль погоды К . . . . .	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

Представить эти данные графически, проанализировать и объяснить причины различия годового хода температуры воздуха над океаном и сушей.

693. По данным задачи 692 вычислить разность температур воздуха над океаном и над сушей для каждого месяца. Результаты представить графически, проанализировать и указать влияние величины и знака этой разности на развитие атмосферных процессов.

694. Многолетняя средняя месячная температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на двух станциях, лежащих примерно на одинаковой широте:

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	11,4	6,0	1,2	-2,6
Якутск . . .	18,7	14,8	6,2	-6,9	-23,0	-39,8

Представить эти данные графически, проанализировать и объяснить особенности годового хода температуры воздуха на приморской и континентальной станциях.

695. Многолетняя средняя месячная температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на двух станциях на одинаковой широте, причем одна станция (Гасан-Кули) лежит на берегу Каспийского моря, а другая (Ничка) — в 900 км от берега моря (см. также задачу 583), равна:

Пункт	I	II	III	IV	V	VI
Гасан-Кули . .	4,1	5,2	9,1	13,7	19,9	24,1
Ничка . . .	1,8	4,6	10,4	17,2	24,1	29,2

Пункт	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Гасан-Кули . .	27,2	27,4	24,1	17,6	11,1	6,5
Ничка . . .	31,8	29,4	23,2	15,7	8,4	3,8

Выполнить задание задачи 694.

696. Многолетняя средняя месячная температура (°C) на близко расположенных станциях Казахской ССР, лежащих на разной высоте над уровнем моря:

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
Весновка (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
Весновка (1007 м)	21,7	20,6	15,4	8,3	0,2	-4,0
Верхний Горельник (2252 м) . . . . .	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 график годового хода температуры воздуха на разных высотах.

697. Средняя температура воздуха в январе и в июле на станциях, сгруппированных попарно так, что станции каждой пары имеют примерно одинаковую долготу, равна:

Станция	Примерное расстояние между станциями, км	Температура, °C	
		I	VII
Мурманск	2700	-10,0	12,9
Симферополь		-0,5	21,2
Архангельск	2170	-12,5	15,6
Краснодар		-1,8	23,2
Печора	3000	-18,3	14,8
Ашхабад		1,4	30,7
Салехард	2820	-23,6	13,8
Ташкент		-0,9	26,9

Найти величину и направление горизонтального градиента температуры воздуха (в °/100 км) для каждой пары станций в указанные месяцы. Как и почему изменяется градиент от зимы к лету? Для каких станций это изменение наибольшее и почему?

698. Решить задачу 697 для двух пар станций, указанных в задачах 694 и 695 (расстояние Таллин—Якутск около 6150 км). Чем отличается изменение широтного градиента температуры воздуха от зимы к лету от соответствующего изменения меридионального градиента?

699\*. По данным задач 586 и 689 вычислить вертикальный градиент температуры в слое 0—2 м (в °/100 м) в Смоленске в январе и в июле и определить направление переноса тепла. Наблюдается ли вентильный эффект только в суточном или также в годовом цикле?

Варианты исходных данных — см. варианты задач 586 и 689.

700. Многолетняя средняя месячная температура воздуха (°С) в январе и в июле на близко расположенных станциях, лежащих на разной высоте над уровнем моря:

Станция	Высота, м	Температура, °С	
		I	VII
Ашхабад . . . . .	219	1,0	29,3
Фирюза I . . . . .	668	1,0	25,8
Гермаб . . . . .	988	0,2	23,7
Гаудан . . . . .	1436	−0,7	21,6
Хейрабад . . . . .	2028	−4,1	17,4

Проанализировать изменение температуры воздуха с увеличением высоты станций. Для июля вычислить вертикальный градиент температуры воздуха (в °/100 м) между соседними станциями и рассмотреть его изменение с высотой. Вычислить средний градиент во всем слое в тот же месяц и сравнить со средним значением градиента для всей тропосферы.

701. Используя вертикальный градиент, найденный в задаче 700, привести к уровню моря среднюю температуру июля на станциях, перечисленных в той же задаче.

#### § 46. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТЕПЛОВЫЙ РЕЖИМ НИЖНЕГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Молекулярный поток тепла в абсолютно неподвижном воздухе

$$M = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n},$$

где  $\lambda$  — коэффициент молекулярной теплопроводности воздуха (см. § 42),  $-\frac{\partial t}{\partial n}$  — градиент температуры. В частности, вертикальный молекулярный поток

$$M_z = -\lambda \frac{\partial t}{\partial z},$$

где  $-\frac{\partial t}{\partial z}$  — вертикальный градиент температуры.

Изменение температуры воздуха под влиянием адиабатического изменения давления находится из первого начала термодинамики (см. § 23), а изменение под влиянием фазовых превращений воды — с помощью эквивалентной температуры (§ 32).

Вертикальный турбулентный поток тепла на высоте  $z$  в приземном слое атмосферы в общем случае

$$L = -\rho c_p k \frac{\partial t}{\partial z}. \quad (109)$$

При практическом использовании эта формула дает грубо приближенные результаты. Точнее  $L$  можно получить следующими методами.

Метод теплового баланса:

$$L = A(B - P), \quad (110)$$

где

$$A = \frac{\Delta t}{\Delta t + 1,56\Delta e}; \quad (111)$$

$B$  и  $P$  — радиационный баланс деятельного слоя и поток тепла в нижележащих слоях в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ;  $\Delta t$  и  $\Delta e$  — разности температуры и упругости пара на стандартных высотах градиентных измерений (0,5 и 2,0 м). Формула (111) табулирована (см. приложение 12 к Руководству по градиентным наблюдениям). Формула (110) используется лишь при выполнении условий (35).

Метод турбулентной диффузии для обширных однородных и ровных участков деятельного слоя используется, если условия (35) не выполняются или не имеется необходимых исходных данных:

$$L = 1,35 \frac{k_1}{z'} \Delta t, \quad (112)$$

где  $k_1$  — коэффициент турбулентности на высоте 1 м (см. § 21),  $z' = 1$  м. Эта формула табулирована (см. приложение 14 к Руководству).

Уточненным способом турбулентной диффузии целесообразно пользоваться при наличии результатов градиентных измерений более чем на двух уровнях:

$$L = -1,87 k_1 \text{tg } \beta. \quad (113)$$

Смысл и порядок определения  $\text{tg } \beta$  изложены в § 21.

При известном интегральном коэффициенте турбулентности (§ 21)  $L$  определяется по формуле

$$L = \rho c_p D_{z_1, z_2} (t_1 - t_2).$$

В частности, для нижнего 2-метрового слоя атмосферы

$$L = \rho c_p D_{0-2} (t_0 - t_2), \quad (114)$$

где  $t_0$  — температура поверхности почвы или водоема,  $t_2$  — температура воздуха на высоте 2 м.

При известной затрате тепла на испарение  $V$  значение  $L$  можно приближенно получить из отношения Боуэна

$$\frac{L}{V} = 0,64 \frac{t_0 - t}{E_1 - e}, \quad (115)$$

где  $E_1$  — упругость насыщения, взятая по температуре испаряющей поверхности,  $t$  и  $e$  — температура воздуха и упругость пара. Этим соотношением можно пользоваться только для определения  $L$  над водоемами или избыточно увлажненной сушей.

При известных  $B$ ,  $P$  и  $V$  можно получить  $L$  как остаточный член уравнения теплового баланса  $L = B - P - V$ .

Этот способ удобен, в частности, для получения средних многолетних годовых сумм  $L$ , так как соответствующие суммы  $B$  как на суше, так и на замкнутых водоемах равны нулю.

Для суточных сумм  $L$  над морями и океанами можно пользоваться формулой

$$L = 5,1 u_{cp} (t_0 - t), \quad (116)$$

где  $u_{cp}$  — средняя за сутки скорость ветра на высоте судовых наблюдений (в м/сек);  $t_0$  и  $t$  — средние за этот же период температуры поверхности воды и воздуха.

В свободной атмосфере

$$L = -\rho c_p k (\gamma_a - \gamma), \quad (117)$$

где  $\gamma_a$  — сухоадиабатический (равновесный) градиент температуры. В воздухе с насыщенным паром  $\gamma_a$  должно быть заменено на  $\gamma_{ва}$ .

Минутные значения  $L$  выражают в кал/(см<sup>2</sup>·мин) с точностью до сотых, суммы — в кал/см<sup>2</sup> с точностью до целых и в ккал/см<sup>2</sup> с точностью до десятых или до целых.

#### Вводные вопросы

1. Какой из факторов, влияющих на тепловой режим атмосферы, играет определяющую роль в приземном ее слое?
2. Какова природа турбулентного теплообмена между деятельным слоем и атмосферой и его роль в тепловом балансе деятельного слоя?
3. Каково соотношение между турбулентным перемешиванием, турбулентным теплообменом и вертикальным турбулентным потоком тепла?

### Задачи

702. Вычислить вертикальный поток тепла через горизонтальную площадку, если вертикальный градиент температуры равен  $30^\circ/100$  м и воздух абсолютно неподвижен. Ответ выразить в  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

703. На уровне, лежащем на 1 см выше площадки, рассмотренной в задаче 702, вертикальный градиент температуры равен  $28^\circ/100$  м. Как и на сколько изменится за 1 час температура 1  $\text{см}^3$  воздуха между уровнями, если он абсолютно неподвижен и находится при нормальных условиях? Какова роль молекулярной теплопроводности в формировании теплового режима атмосферы?

704. Вычислить скорость (в  $^\circ/\text{час}$ ) адиабатического изменения температуры 1  $\text{см}^3$  сухого воздуха, находившегося при нормальных условиях, если давление изменяется на 1 мб в час. Какова роль адиабатических изменений давления в формировании теплового режима атмосферы?

705. Удельная влажность воздуха 10 г/кг. Как и на сколько градусов изменится температура 1  $\text{см}^3$  этого воздуха за 1 час, если весь содержащийся в нем пар за это время сконденсируется, а теплота конденсации будет использована только на изменение температуры этого объема воздуха? Какова роль фазовых переходов воды в атмосфере в формировании ее теплового режима по сравнению с ролью рассмотренных выше процессов? Чем объясняется нереальность абсолютной величины полученного ответа?

706. Найти приближенное значение и указать направление вертикального турбулентного потока тепла через площадку в приземном слое атмосферы, на уровне которой плотность равна нормальной, коэффициент турбулентности 0,40  $\text{м}^2/\text{сек}$ , вертикальный градиент температуры  $30^\circ/100$  м. Ответ сравнить с ответом к задаче 702 и сделать вывод об относительной роли сравниваемых процессов.

707. Сравнить вертикальный турбулентный поток тепла в приземном слое атмосферы при коэффициенте турбулентности 0,20  $\text{м}^2/\text{сек}$  с молекулярным потоком в неподвижном воздухе, если вертикальный градиент температуры одинаков, а плотность воздуха равна нормальной. Подтверждается ли вывод из задачи 706?

708. Решить задачу 703 в предположении, что изменение температуры 1  $\text{см}^3$  воздуха происходит благодаря турбулентному переносу тепла, величина которого вычислена в задаче 706. Ответ сравнить с результатами задач 703—705 и проверить вывод, полученный в задачах 706 и 707. Чем объясняется нереальность абсолютной величины ответа?

709. Как изменится величина и направление вертикального турбулентного потока тепла в приземном слое атмосферы, если при переходе от дня к ночи величина вертикального градиента температуры сохранится, но его знак изменится, а коэффициент

турбулентности уменьшится в 10 раз? В чем состоит вентильный эффект и какова его роль в суммарном теплообмене деятельного слоя с атмосферой за длительные интервалы времени?

710. По данным задачи 236 вычислить вертикальный турбулентный поток тепла в Колтушах в 12 час 9/VII 1951 г. и его долю (в процентах) от радиационного баланса.

711. Решить задачу 710 по данным задачи 237 и указать возможные причины различия результатов.

712. По данным задачи 253 вычислить вертикальный турбулентный поток тепла в два срока измерений. За счет каких причин этот поток изменился от первого срока ко второму?

713 \*. По данным задачи 255 вычислить вертикальный турбулентный поток тепла во все сроки наблюдений. Построить и описать график суточного хода. Вычислить суммарный поток за период с 1 час данных суток до 1 час следующих суток. Является ли найденный суточный ход нормальным? Отчетливо ли выражен в нем вентильный эффект? Варианты исходных данных см. в задаче 255.

714. По данным задачи 242 вычислить вертикальный турбулентный поток тепла по уточненному способу. Найти поток также по обычному методу турбулентной диффузии и определить его относительную погрешность.

715 \*. По данным задачи 243 вычислить вертикальный турбулентный поток тепла по методу теплового баланса и двум методам турбулентной диффузии. Определить погрешность второго и третьего ответов относительно первого.

Варианты исходных данных те же, что и в задаче 243.

716. По данным задачи 249 найти вертикальный турбулентный поток тепла в нижнем 2-метровом слое атмосферы, считая плотность воздуха нормальной.

717. Суточная сумма испарения с поверхности пруда 1,34 мм. Найти суточную сумму турбулентного потока тепла над прудом, если в среднем за эти сутки температура поверхности  $10,5^{\circ}\text{C}$ , воздуха  $11,5^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 77%.

У к а з а н и е: использовать отношение Боуэна.

718. Вычислить годовую сумму турбулентного потока тепла над поверхностью замкнутого водоема, если годовые суммы радиационного баланса и испарения составляют  $72 \text{ ккал/см}^2$  и  $910 \text{ мм}$ .

У к а з а н и е: использовать уравнение теплового баланса.

719. Вычислить суточную сумму турбулентного потока тепла над поверхностью моря, если средняя за эти сутки температура поверхности  $6,3^{\circ}\text{C}$ , воздуха  $5,3^{\circ}\text{C}$ , скорость ветра  $6 \text{ м/сек}$ .

720. Рассчитать вертикальный турбулентный поток тепла на некотором уровне в свободной атмосфере, где коэффициент турбулентности составляет  $10^2 \text{ м}^2/\text{сек}$ , плотность воздуха  $1,0 \times 10^{-3} \text{ г/см}^3$  и вертикальный градиент температуры  $0,8^{\circ}/100 \text{ м}$ .

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Уравнение времени в 1968 г.<sup>1</sup>  
(разность между средним и истинным солнечным временем в минутах)

Дата	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	3	13	12	4	-3	-2	4	6	0	-10	-16	-11
2	4	14	12	4	-3	-2	4	6	0	-11	-16	-11
3	4	14	12	3	-3	-2	4	6	-1	-11	-16	-10
4	4	14	12	3	-3	-2	4	6	-1	-11	-16	-10
5	5	14	12	3	-3	-2	4	6	-1	-11	-16	-9
6	5	14	11	3	-3	-2	5	6	-2	-12	-16	-9
7	6	14	11	2	-3	-1	5	6	-2	-12	-16	-9
8	6	14	11	2	-4	-1	5	6	-2	-12	-16	-8
9	7	14	11	2	-4	-1	5	5	-3	-13	-16	-8
10	7	14	10	1	-4	-1	5	5	-3	-13	-16	-7
11	7	14	10	1	-4	-1	5	5	-3	-13	-16	-7
12	8	14	10	1	-4	0	5	5	-4	-13	-16	-6
13	8	14	10	1	-4	0	6	5	-4	-14	-16	-6
14	9	14	9	0	-4	0	6	5	-4	-14	-16	-5
15	9	14	9	0	-4	0	6	4	-5	-14	-15	-5
16	9	14	9	0	-4	0	6	4	-5	-14	-15	-4
17	10	14	9	0	-4	1	6	4	-5	-15	-15	-4
18	10	14	8	-1	-4	1	6	4	-6	-15	-15	-4
19	10	14	8	-1	-4	1	6	4	-6	-15	-15	-3
20	11	14	8	-1	-4	1	6	3	-6	-15	-14	-3
21	11	14	7	-1	-4	2	6	3	-7	-15	-14	-2
22	11	14	7	-1	-3	2	6	3	-7	-15	-14	-2
23	12	14	7	-2	-3	2	6	3	-8	-16	-14	-1
24	12	13	6	-2	-3	2	6	2	-8	-16	-13	-1
25	12	13	6	-2	-3	2	6	2	-8	-16	-13	0
26	12	13	6	-2	-3	3	6	2	-9	-16	-13	0
27	13	13	6	-2	-3	3	6	2	-9	-16	-12	1
28	13	13	5	-2	-3	3	6	1	-9	-16	-12	1
29	13	13	5	-3	-3	3	6	1	-10	-16	-12	2
30	13	—	5	-3	-3	3	6	1	-10	-16	-11	2
31	13	—	4	—	-2	—	6	0	—	-16	—	3

<sup>1</sup> Астрономический календарь на 1968 г. Изд-во «Наука», М., 1967.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Склонение солнца в истинный полдень в 1968 г.<sup>1</sup>

Дата	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	-23,1	-17,4	-7,6	4,5	15,0	22,0	23,1	18,1	8,3	-3,1	-14,4	-21,8
2	-23,0	-17,1	-7,3	4,9	15,3	22,2	23,0	17,8	8,0	-3,5	-14,7	-21,9
3	-22,9	-16,9	-6,9	5,3	15,6	22,3	23,0	17,6	7,6	-3,9	-15,0	-22,1
4	-22,8	-16,6	-6,5	5,6	15,9	22,4	22,9	17,3	7,2	-4,3	-15,3	-22,2
5	-22,7	-16,3	-6,1	6,0	16,2	22,5	22,8	17,0	6,9	-4,7	-15,6	-22,4
6	-22,6	-16,0	-5,7	6,4	16,5	22,6	22,7	16,8	6,5	-5,1	-15,9	-22,5
7	-22,5	-15,7	-5,3	6,8	16,8	22,7	22,6	16,5	6,1	-5,4	-16,2	-22,6
8	-22,4	-15,4	-4,9	7,1	17,0	22,8	22,5	16,2	5,8	-5,8	-16,5	-22,7
9	-22,3	-15,0	-4,6	7,5	17,3	22,9	22,4	15,9	5,4	-6,2	-16,8	-22,8
10	-22,1	-14,7	-4,2	7,9	17,6	23,0	22,3	15,6	5,0	-6,6	-17,1	-22,9
11	-22,0	-14,4	-3,8	8,3	17,8	23,1	22,3	15,3	4,6	-7,0	-17,4	-23,0
12	-21,8	-14,1	-3,4	8,6	18,1	23,1	22,0	15,0	4,2	-7,3	-17,7	-23,1
13	-21,7	-13,7	-3,0	9,0	18,3	23,2	21,9	14,7	3,9	-7,7	-17,9	-23,1
14	-21,5	-13,4	-2,6	9,4	18,6	23,3	21,7	14,4	3,5	-8,1	-18,2	-23,2
15	-21,3	-13,1	-2,2	9,7	18,8	23,3	21,6	14,1	3,1	-8,5	-18,4	-23,3
16	-21,2	-12,7	-1,8	10,1	19,1	23,3	21,4	13,8	2,7	-8,8	-18,7	-23,3
17	-21,0	-12,4	-1,4	10,4	19,3	23,4	21,2	13,5	2,3	-9,2	-19,0	-23,4
18	-20,8	-12,0	-1,0	10,8	19,5	23,4	21,1	13,2	1,9	-9,6	-19,2	-23,4
19	-20,6	-11,7	-0,6	11,1	19,7	23,4	20,9	12,8	1,5	-9,9	-19,4	-23,4
20	-20,4	-11,3	-0,2	11,5	19,9	23,4	20,7	12,5	1,2	-10,3	-19,7	-23,4
21	-20,2	-11,0	0,0	11,8	20,2	23,4	20,5	12,2	0,8	-10,7	-19,9	-23,4
22	-19,9	-10,6	0,6	12,1	20,4	23,4	20,3	11,8	0,4	-11,0	-20,1	-23,4
23	-19,7	-10,2	1,0	12,5	20,6	23,4	20,1	11,5	0,0	-11,4	-20,3	-23,4
24	-19,5	-9,9	1,4	12,8	20,7	23,4	19,9	11,2	-0,4	-11,7	-20,5	-23,4
25	-19,2	-9,5	1,8	13,1	20,9	23,4	19,7	10,8	-0,8	-12,0	-20,7	-23,4
26	-19,0	-9,1	2,1	13,5	21,1	23,4	19,5	10,5	-1,2	-12,4	-20,9	-23,4
27	-18,8	-8,8	2,5	13,8	21,3	23,3	19,3	10,1	-1,6	-12,7	-21,1	-23,3
28	-18,5	-8,4	2,9	14,1	21,4	23,3	19,0	9,8	-2,0	-13,1	-21,3	-23,3
29	-18,2	-8,0	3,3	14,4	21,6	23,2	18,8	9,4	-2,3	-13,4	-21,5	-23,2
30	-18,0	-7,7	3,7	14,7	21,7	23,2	18,6	9,1	-2,7	-13,7	-21,6	-23,2
31	-17,7	-7,4	4,1	-	21,9	-	18,3	8,7	-	-14,1	-	-23,1

<sup>1</sup> Астрономический календарь на 1968 г. Изд-во «Наука», М., 1967.

Поправки для приведения показаний барометра к ускорению силы тяжести на широте 45°<sup>1</sup>

Широта		Показания барометра, мм												
вычитать	прибавлять	950,0	960,0	970,0	980,0	990,0	1000,0	1010,0	1020,0	1030,0	1040,0	1050,0		
0°	90°	2,46	2,49	2,51	2,54	2,56	2,59	2,62	2,64	2,67	2,69	2,72		
1	89	2,46	2,48	2,51	2,54	2,56	2,59	2,61	2,64	2,66	2,69	2,72		
2	88	2,46	2,48	2,51	2,53	2,56	2,58	2,61	2,64	2,66	2,69	2,71		
3	87	2,45	2,47	2,50	2,52	2,55	2,58	2,60	2,63	2,65	2,68	2,71		
4	86	2,44	2,46	2,49	2,51	2,54	2,56	2,59	2,62	2,64	2,67	2,69		
5	85	2,42	2,45	2,48	2,50	2,53	2,55	2,58	2,60	2,63	2,65	2,68		
6	84	2,41	2,43	2,46	2,48	2,51	2,53	2,56	2,58	2,61	2,63	2,66		
7	83	2,39	2,41	2,44	2,46	2,49	2,51	2,54	2,56	2,59	2,61	2,64		
8	82	2,37	2,39	2,42	2,44	2,47	2,49	2,51	2,54	2,56	2,59	2,61		
9	81	2,34	2,36	2,39	2,41	2,44	2,46	2,49	2,51	2,54	2,56	2,59		
10	80	2,31	2,34	2,36	2,38	2,41	2,43	2,46	2,48	2,51	2,53	2,56		
11	79	2,28	2,30	2,33	2,35	2,38	2,40	2,42	2,45	2,47	2,50	2,52		
12	78	2,25	2,27	2,30	2,32	2,34	2,37	2,39	2,42	2,44	2,46	2,49		
13	77	2,21	2,24	2,26	2,28	2,30	2,33	2,35	2,38	2,40	2,42	2,44		
14	76	2,17	2,20	2,22	2,24	2,26	2,29	2,31	2,33	2,36	2,38	2,40		
15	75	2,13	2,15	2,18	2,20	2,22	2,24	2,26	2,29	2,31	2,33	2,36		
16	74	2,09	2,11	2,13	2,15	2,17	2,20	2,22	2,24	2,26	2,28	2,31		
17	73	2,04	2,06	2,08	2,10	2,13	2,15	2,17	2,19	2,21	2,23	2,25		
18	72	1,99	2,01	2,03	2,05	2,07	2,10	2,12	2,14	2,16	2,18	2,20		
19	71	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,04	2,06	2,08	2,10	2,14	2,16		

<sup>1</sup> В. Н. Кедровливанский, М. С. Стернзат. Метеорологические приборы. Гидрогеониздат, Л., 1953.

Широта		Показания барометра, мм												
вместать	прибав- лять	950,0	960,0	970,0	980,0	990,0	1000,0	1010,0	1020,0	1030,0	1040,0	1050,0		
20°	70°	1,88	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,04	2,06	2,08		
21	69	1,83	1,85	1,87	1,89	1,92	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02		
22	68	1,77	1,79	1,81	1,82	1,84	1,86	1,88	1,90	1,92	1,94	1,96		
23	67	1,71	1,73	1,75	1,77	1,80	1,80	1,82	1,84	1,86	1,87	1,89		
24	66	1,65	1,66	1,68	1,70	1,72	1,73	1,75	1,77	1,79	1,80	1,82		
25	65	1,58	1,60	1,62	1,63	1,65	1,67	1,68	1,70	1,72	1,73	1,75		
26	64	1,52	1,53	1,55	1,55	1,58	1,60	1,61	1,63	1,64	1,66	1,68		
27	63	1,45	1,46	1,48	1,49	1,51	1,52	1,54	1,55	1,57	1,58	1,60		
28	62	1,38	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	1,45	1,48	1,49	1,51	1,52		
29	61	1,30	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	1,41	1,43	1,44		
30	60	1,23	1,24	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36		
31	59	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,28		
32	58	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19		
33	57	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11		
34	56	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02		
35	55	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93		
36	54	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,82	0,83	0,84		
37	53	0,68	0,69	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75		
38	52	0,60	0,60	0,61	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,65	0,65	0,66		
39	51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54	0,55	0,56	0,56	0,57		
40	50	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47		
41	49	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,38		
42	48	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29		
43	47	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19		
44	46	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10		
45		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Поправки для приведения показаний барометра к ускорению силы тяжести на уровне моря<sup>1</sup>

Высота, м	Показания барометра, мм																
	740,0	760,0	780,0	800,0	820,0	840,0	860,0	880,0	900,0	920,0	940,0	960,0	980,0	1000,0	1020,0	1040,0	1060,0
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	—
400	—	—	—	—	—	—	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	—
500	—	—	—	—	—	—	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	—
600	—	—	—	—	—	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	—	—	—
700	—	—	—	—	—	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	—	—	—
800	—	—	—	—	—	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	—	—	—
900	—	—	—	—	—	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	—	—	—	—	—
1000	—	—	—	—	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	—	—	—	—	—
1100	—	—	—	—	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	—	—	—	—	—
1200	—	—	—	—	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	—	—	—	—	—
1300	—	—	—	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	—	—	—	—	—	—
1400	—	—	—	0,20	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	—	—	—	—	—	—
1500	—	—	—	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	—	—	—	—	—	—	—
1600	—	0,24	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	—	—	—	—	—	—	—
1700	—	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	—	—	—	—	—	—	—
1800	—	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,31	—	—	—	—	—	—	—	—
1900	0,28	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2000	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

<sup>1</sup> В. Н. Кедровичанский, М. С. Стернзат. Метеорологические приборы. Гидрометеоздат, Л., 1953.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Значения  $(1 + \alpha t)^1$   
 $\left( \alpha = \frac{1}{273,15} = 0,00366 \right)$

Десятки °С	Единицы °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-30	0,890	0,887	0,883	0,879	0,875	0,872	0,868	0,865	0,861	0,857
-20	0,927	0,923	0,919	0,916	0,912	0,908	0,905	0,901	0,898	0,894
-10	0,963	0,960	0,956	0,952	0,949	0,945	0,941	0,938	0,934	0,930
0	1,000	0,996	0,993	0,989	0,985	0,982	0,978	0,974	0,971	0,967
10	1,000	1,004	1,007	1,011	1,015	1,018	1,022	1,026	1,029	1,033
20	1,037	1,040	1,044	1,048	1,051	1,055	1,059	1,062	1,066	1,070
30	1,073	1,077	1,081	1,084	1,088	1,092	1,095	1,099	1,102	1,106
40	1,110	1,113	1,117	1,121	1,125	1,131	1,132	1,135	1,139	1,143
	1,146	1,150	1,154	1,157	1,164	1,165	1,168	1,172	1,176	1,178
$t$	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75		
$1 + \alpha t$	0,854	0,835	0,817	0,799	0,780	0,762	0,744	0,725		

1 И. И. Гайворонский, М. С. Аверкиев. Метеорологический практикум. Гидрометеоздаг, Л., 1949.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица для перевода кал/(см<sup>2</sup>·мин) в вт/м<sup>2</sup> (1 кал/(см<sup>2</sup>·мин) = 697,8 вт/м<sup>2</sup>)

кал/(см <sup>2</sup> ·мин)	Сотые доли кал/(см <sup>2</sup> ·мин)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63
0,10	70	77	84	91	98	105	112	119	126	130
0,20	140	147	154	160	167	174	181	188	195	202
0,30	209	216	223	230	237	244	251	258	265	272
0,40	279	286	293	300	307	314	321	328	335	342
0,50	349	356	363	370	377	384	391	398	405	412
0,60	419	426	433	440	447	454	461	468	474	481
0,70	488	495	502	509	516	523	530	537	544	551
0,80	558	565	572	579	586	593	600	607	614	621
0,90	628	635	642	649	656	663	670	677	684	691
1,00	698	705	712	719	726	733	740	747	754	761
1,10	768	775	782	789	796	802	809	816	823	830
1,20	837	844	851	858	865	872	879	886	893	900
1,30	907	914	921	928	935	942	949	956	963	970
1,40	977	984	991	998	1005	1012	1019	1026	1033	1040
1,50	1047	1053	1060	1067	1074	1081	1088	1095	1102	1109

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Таблица Бемпорада для определения числа масс, пройденных лучами при разной высоте солнца<sup>1</sup>

Десятки градусов	Градусы									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	35,0	27,0	19,8	15,4	12,4	10,4	8,9	7,8	6,9	6,18
10	5,60	5,12	4,72	4,37	4,08	3,82	3,59	3,39	3,21	3,05
20	2,90	2,77	2,65	2,55	2,45	2,36	2,27	2,20	2,12	2,06
30	2,00	1,94	1,88	1,83	1,78	1,74	1,70	1,66	1,62	1,59
40	1,55	1,52	1,49	1,46	1,44	1,41	1,39	1,37	1,34	1,32
50	1,30	1,28	1,27	1,25	1,24	1,22	1,20	1,19	1,18	1,17
60	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08	1,07
70	1,06	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02
80	1,015	1,012	1,010	1,007	1,005	1,004	1,002	1,002	1,001	1,00

<sup>1</sup> Ю. Д. Янишевский. Актинометрические приборы и методы наблюдений. Гидрометеоздат, Л., 1957.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Поправки  $\Delta S$  для приведения измеренных  $S$  к среднему расстоянию между Землей и Солнцем<sup>1</sup>

Дата		$S$	$\Delta S$						
первого полугодия	второго полугодия								
1/I—13/II	23/XI—31/XII	0,17—0,49	-0,01	0,50—0,83	-0,02	0,84—1,16	-0,03	1,17—1,50	-0,04
14/II—7/III	1—22/XI	<0,26	0,00	0,26—0,74	-0,01	0,75—1,25	-0,02	>1,25	-0,03
8—25/III	14—31/X	<0,51	0,00	0,51—1,49	-0,01	>1,49	-0,02	—	—
26/III—11/IV	26/IX—13/X								
12—30/IV	8—25/IX	<0,51	0,00	0,51—1,49	0,01	>1,49	0,02	—	—
1—21/V	17/VIII—7/IX	<0,26	0,00	0,26—0,74	0,01	0,75—1,25	0,02	>1,25	0,03
22/V—30/VI	1/VII—16/VIII	0,17—0,49	0,01	0,50—0,83	0,02	0,84—1,16	0,03	1,17—1,50	0,04

$\Delta S = 0,00$  при любых  $S$

<sup>1</sup> С. И. Сивков. Методические указания по определению характеристик прозрачности атмосферы. ГГО, Л., 1965.

Сокращенная таблица для приведения  $S_p$  к  $h_{\odot} = 30^{\circ}$  1

	$h_{\odot}$						$S_p, 30^{\circ}$	$h_{\odot}$					
	10	13	16	19	22	25		36	42	48	54	60	70
0,26	0,35	0,44	0,52	0,58	0,63	0,70	0,78	0,85	0,92	0,96	1,00	1,03	
0,29	0,39	0,48	0,56	0,62	0,67	0,74	0,82	0,89	0,96	1,00	1,04	1,07	
0,32	0,43	0,52	0,59	0,65	0,70	0,78	0,86	0,94	1,00	1,04	1,08	1,10	
0,36	0,47	0,56	0,62	0,69	0,74	0,80	0,90	0,98	1,07	1,11	1,15	1,17	
0,40	0,50	0,59	0,66	0,73	0,78	0,86	0,94	1,01	1,07	1,11	1,15	1,18	
0,44	0,54	0,63	0,70	0,77	0,82	0,90	0,98	1,05	1,11	1,14	1,18	1,21	
0,48	0,58	0,67	0,74	0,81	0,86	0,94	1,02	1,09	1,14	1,17	1,20	1,23	
0,51	0,62	0,72	0,79	0,85	0,90	0,98	1,06	1,11	1,16	1,20	1,23	1,26	
0,55	0,66	0,76	0,83	0,89	0,94	1,02	1,10	1,15	1,19	1,23	1,26	1,28	
0,59	0,70	0,80	0,87	0,93	0,98	1,06	1,13	1,18	1,22	1,26	1,29	1,31	
0,63	0,74	0,84	0,91	0,97	1,02	1,10	1,17	1,22	1,26	1,29	1,32	1,34	
0,67	0,78	0,88	0,95	1,01	1,06	1,14	1,21	1,26	1,30	1,33	1,35	1,37	
0,72	0,83	0,92	1,00	1,06	1,11	1,18	1,25	1,29	1,33	1,36	1,38	1,40	
0,76	0,87	0,96	1,04	1,10	1,15	1,22	1,29	1,32	1,36	1,39	1,42	1,44	
0,80	0,92	1,01	1,08	1,14	1,20	1,26	1,32	1,36	1,39	1,42	1,44	1,46	
0,84	0,96	1,05	1,13	1,19	1,24	1,30	1,35	1,39	1,41	1,45	1,47	1,49	
0,89	1,01	1,10	1,17	1,22	1,28	1,34	1,39	1,42	1,45	1,48	1,50	1,52	
0,94	1,06	1,15	1,22	1,28	1,32	1,38	1,42	1,45	1,48	1,51	1,53	1,55	
0,99	1,11	1,21	1,27	1,32	1,36	1,42	1,46	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	
1,05	1,16	1,26	1,32	1,37	1,41	1,46	1,50	1,52	1,55	1,57	1,59	1,61	
1,11	1,21	1,31	1,37	1,41	1,46	1,50	1,54	1,56	1,58	1,61	1,62	1,64	
1,18	1,27	1,36	1,42	1,45	1,49	1,54	1,58	1,60	1,62	1,64	1,65	1,67	
1,25	1,34	1,41	1,46	1,50	1,54	1,58	1,61	1,64	1,66	1,68	1,69	1,70	

1 С. И. Сивков. Методические указания по определению характеристик прозрачности атмосферы. ГГО, Л., 1965.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Коэффициент прозрачности, приведенный к  $t=2$ , при разных  $S_{p, 30}^-$  <sup>1</sup>

$S_{p, 30}^-$ кал/(см <sup>2</sup> ·мин)	Сотые доли кал/(см <sup>2</sup> ·мин)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,40	0,45	0,45	0,46	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,50
0,50	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54
0,60	0,55	0,55	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58	0,59
0,70	0,59	0,60	0,60	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,63	0,63
0,80	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67
0,90	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70	0,70	0,71
1,00	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74
1,10	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78
1,20	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,80	0,81
1,30	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,84	0,84
1,40	0,84	0,84	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87
1,50	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	—	—	—

<sup>1</sup> С. И. Сивков. Методические указания по определению характеристик прозрачности атмосферы. ГГО, Л., 1965.

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Фактор мутности  $T$  при разных  $S_{p, 30}^-$  <sup>1</sup>

$S_{p, 30}^-$ кал/(см <sup>2</sup> ·мин)	Сотые доли кал/(см <sup>2</sup> ·мин)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,40	7,99	7,88	7,76	7,64	7,52	7,40	7,29	7,19	7,08	6,98
0,50	6,87	6,78	6,68	6,59	6,49	6,40	6,31	6,22	6,14	6,05
0,60	5,96	5,88	5,80	5,72	5,64	5,56	5,49	5,41	5,34	5,26
0,70	5,19	5,12	5,05	4,99	4,92	4,85	4,79	4,72	4,66	4,59
0,80	4,53	4,47	4,41	4,35	4,28	4,22	4,16	4,11	4,05	4,00
0,90	3,94	3,89	3,83	3,78	3,72	3,67	3,62	3,57	3,51	3,46
1,00	3,41	3,36	3,31	3,27	3,22	3,17	3,12	3,08	3,03	2,99
1,10	2,94	2,89	2,85	2,80	2,76	2,71	2,66	2,62	2,58	2,54
1,20	2,50	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,26	2,22	2,18	2,14
1,30	2,10	2,06	2,02	1,98	1,94	1,91	1,87	1,84	1,80	1,77
1,40	1,73	1,70	1,66	1,63	1,59	1,56	1,53	1,49	1,46	1,42
1,50	1,39	1,36	1,32	1,29	1,25	1,22	1,19	1,16	1,12	1,09
1,60	1,06	1,03	1,00	—	—	—	—	—	—	—

<sup>1</sup> С. И. Сивков. Методические указания по определению характеристик прозрачности атмосферы. ГГО, Л., 1965.

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

Относительная излучательная способность (коэффициент серости)  
некоторых видов деятельного слоя (по В. Л. Гаевскому)<sup>1</sup>

Вид деятельного слоя	$\delta$	Вид деятельного слоя	$\delta$
Песок сухой . . . . .	0,949	Торф сырой . . . . .	0,983
Песок сырой . . . . .	0,962	Трава густая . . . . .	0,986
Почва сухая . . . . .	0,954	Трава редкая . . . . .	0,975
Почва сырая . . . . .	0,968	Снег чистый . . . . .	0,986
Торф сухой . . . . .	0,970	Вода . . . . .	0,960

<sup>1</sup> К. Я. Кондратьев. Актинометрия. Гидрометеиздат, Л., 1965.

ПРИЛОЖЕНИЕ 14

Значения  $\sigma T^4$  в кал/(см<sup>2</sup>·мин) при разных температурах в °С  
( $\sigma = 0,81252 \cdot 10^{-10}$  кал/(см<sup>2</sup>·мин·°К<sup>4</sup>))

Десятки °С	°С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-60	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14
-50	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17
-40	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21
-30	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24
-20	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31	0,30	0,30	0,29	0,29
-10	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34
0	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42	0,41	0,41	0,40	0,40
10	0,52	0,53	0,54	0,54	0,55	0,56	0,57	0,57	0,58	0,59
20	0,60	0,61	0,62	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68
30	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77
40	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
50	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99
60	1,00	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11

ПРИЛОЖЕНИЕ 15

Произведения  $m_i \Delta' t_i$  при  $\Delta' t_i$  от 0,1 до 10,0

$\Delta' t_i$	$m_i$			$\Delta' t_i$	$m_i$		
	1,67	26,67	43,34		1,67	26,67	43,34
0,1	0,2	2,7	4,3	5,1	8,5	136,0	221,0
0,2	0,3	5,3	8,7	5,2	8,7	138,7	225,4
0,3	0,5	8,0	13,0	5,3	8,9	141,3	229,7
0,4	0,7	10,7	17,3	5,4	9,0	144,0	234,0
0,5	0,8	13,3	21,7	5,5	9,2	146,7	238,4
0,6	1,0	16,0	26,0	5,6	9,3	149,3	241,7
0,7	1,2	18,7	30,3	5,7	9,5	152,0	247,0
0,8	1,3	21,3	34,7	5,8	9,7	154,7	251,4
0,9	1,5	24,0	39,0	5,9	9,9	157,3	255,7
1,0	1,7	26,7	43,3	6,0	10,0	160,0	260,0
1,1	1,8	29,4	47,7	6,1	10,2	162,7	264,4
1,2	2,0	32,0	52,0	6,2	10,4	165,3	268,7
1,3	2,2	34,7	56,3	6,3	10,5	168,0	273,0
1,4	2,3	37,3	60,7	6,4	10,7	170,7	277,4
1,5	2,5	40,0	65,0	6,5	10,9	173,3	281,7
1,6	2,7	42,7	69,3	6,6	11,0	176,0	286,0
1,7	2,8	45,3	73,7	6,7	11,2	178,7	290,4
1,8	3,0	48,0	78,0	6,8	11,4	181,3	294,7
1,9	3,2	50,7	82,3	6,9	11,5	184,0	299,0
2,0	3,3	53,3	86,7	7,0	11,7	186,7	303,4
2,1	3,5	56,0	91,0	7,1	11,9	189,3	307,7
2,2	3,7	58,7	95,3	7,2	12,0	192,0	312,0
2,3	3,8	61,3	99,7	7,3	12,2	194,7	316,4
2,4	4,0	64,0	104,0	7,4	12,4	197,3	320,7
2,5	4,2	66,7	108,4	7,5	12,5	200,0	325,0
2,6	4,3	69,3	112,7	7,6	12,7	202,7	329,4
2,7	4,5	72,0	117,0	7,7	12,9	205,3	333,7
2,8	4,7	74,7	121,4	7,8	13,0	208,0	338,1
2,9	4,8	77,3	125,7	7,9	13,2	210,7	342,4
3,0	5,0	80,0	130,0	8,0	13,4	213,3	346,7
3,1	5,2	82,7	134,4	8,1	13,5	216,0	351,1
3,2	5,3	85,3	138,7	8,2	13,7	218,7	355,4
3,3	5,5	88,0	143,0	8,3	13,9	221,3	359,7
3,4	5,7	90,7	147,4	8,4	14,0	224,0	364,1
3,5	5,8	93,3	151,7	8,5	14,2	226,7	368,4
3,6	6,0	96,0	156,0	8,6	14,4	229,3	372,7
3,7	6,2	98,7	160,4	8,7	14,5	232,0	377,1
3,8	6,3	101,3	164,7	8,8	14,7	234,7	381,4
3,9	6,5	104,0	169,0	8,9	14,9	237,3	385,7
4,0	6,7	106,7	173,4	9,0	15,0	240,0	390,1
4,1	6,8	109,3	177,7	9,1	15,2	242,7	394,4
4,2	7,0	112,0	182,0	9,2	15,4	245,3	398,7
4,3	7,2	114,7	186,4	9,3	15,5	248,0	403,1
4,4	7,3	117,3	190,7	9,4	15,7	250,7	407,4
4,5	7,5	120,0	195,0	9,5	15,9	253,3	411,7
4,6	7,7	122,7	199,4	9,6	16,0	256,0	416,1
4,7	7,8	125,3	203,7	9,7	16,2	260,7	420,4
4,8	8,0	128,0	208,0	9,8	16,4	263,3	424,7
4,9	8,2	130,7	212,4	9,9	16,5	266,0	429,1
5,0	8,3	133,3	216,7	10,0	16,7	266,7	433,4

## ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

### Глава I

- § 1. 1. 16 час 28 мин, 16 час 19 мин, 16 час 32 мин, 16 час 32 мин, 16 час 32 мин, 16 час 48 мин, 16 час 32 мин. 2. 12 час 09 мин, 12 час 14 мин, 12 час 09 мин, 12 час 00 мин, 11 час 56 мин, 12 час 00 мин, 12 час 06 мин, 12 час 04 мин, 11 час 55 мин, 11 час 46 мин, 11 час 45 мин, 11 час 55 мин. 3. На 30 мин. 4. На 2 час 35 мин. 5. 14 час 49 мин, 11 час 49 мин. 6. 21 час 32 мин, 20 час 43 мин. 7. На 10 час. 8. 13 час, 19 час, 1 час, 7 час. 9. 18 час 11 мин, 17 час 11 мин, 16 час 56 мин. 10. 13 час 06 мин.
- § 2. 11. 3 мин; 0 мин; —2 мин. 12. 19 час 03 мин, 21 час 55 мин. 13. В V поясе; —1, —4 мин. 14. 7 мин. 15. —4 мин.
- § 3. 16. II—21 час; III, IV, V—18 час; VI, VII, VIII—15 час; IX, X, XI—12 час; XII—9 час. 17. II—0 час; III, IV, V—21 час; VI, VII, VIII—18 час; IX, X, XI—15 час; XII—12 час. 18. 14 час 25 мин, 14 час 30 мин, 15 час 00 мин, 16 час 00 мин. 19. 6 час. 20. Поясное—11 час 57 мин; декретное—12 час 57 мин; м.д.в.—12 час 57 мин, 11 час 57 мин, 10 час 57 мин, ..., 3 час 57 мин, 2 час 57 мин. 21. 3 час 32 мин, 4 час 32 мин, 3 час 32 мин, 3 час 58 мин. 22. 6 час, 18 час. 23. 13 час 00 мин, 14 час 23 мин, 12 час 23 мин. 24. 1 час 47 мин. 25. 8 час 02 мин, 6 час 02 мин.
- § 4. 28.  $0^{\circ}00'$ ,  $\pm 180^{\circ}00'$ . 29.  $138^{\circ}45'$ . 30.  $16^{\circ}15'$ . 31.  $65^{\circ}50'$ . 32.  $37^{\circ}26'$ ,  $37^{\circ}26'$ . 33.  $58^{\circ}09'$ . 34.  $9^{\circ}35'$ . 35.  $0^{\circ}00'$ ,  $15^{\circ}00'$ ,  $23^{\circ}24'$ ,  $18^{\circ}06'$ ,  $0^{\circ}00'$ . 36. 21/III и 23/IX; 16/IV и 27/VII; 20/V и 24/VII. 37.  $90^{\circ}00'$ ,  $66^{\circ}30'$ ,  $66^{\circ}30'$ ;  $78^{\circ}00'$ ,  $78^{\circ}36'$ ,  $54^{\circ}36'$ ;  $66^{\circ}36'$ ,  $90^{\circ}00'$ ,  $43^{\circ}12'$ ;  $45^{\circ}00'$ ,  $68^{\circ}24'$ ,  $21^{\circ}36'$ ;  $23^{\circ}24'$ ,  $46^{\circ}48'$ ,  $00^{\circ}00'$ ;  $15^{\circ}00'$ ,  $38^{\circ}24'$ ,  $-8^{\circ}24'$ ;  $0^{\circ}00'$ ,  $23^{\circ}24'$ ,  $-23^{\circ}24'$ . 38.  $31^{\circ}54'$ ,  $54^{\circ}42'$ ,  $68^{\circ}18'$ ,  $59^{\circ}06'$ ,  $36^{\circ}30'$ ,  $21^{\circ}42'$ . 39.  $25^{\circ}54'$ ,  $6^{\circ}32'$ . 40.  $-6^{\circ}36'$ ,  $-26^{\circ}36'$ . 41. 50 м. 42. 8 час 52 мин.
- § 5. 43. —7 час 14 мин, 7 час 14 мин; 4 час 46 мин, 19 час 14 мин; 4 час 43 мин, 19 час 11 мин; 5 час 03 мин, 19 час 31 мин; 6 час 03 мин, 20 час 31 мин; 3 час 03 мин, 17 час 31 мин. 44. 6 час 03 мин, 19 час 01 мин, 12 час 58 мин. 45. 6 час 00 мин, 18 час 00 мин; 5 час 37 мин, 18 час 23 мин; 5 час 17 мин, 18 час 43 мин; 4 час 17 мин, 19 час 43 мин; на остальных широтах не заходит. 46. 6 час 00 мин, 18 час 00 мин; 6 час 23 мин, 17 час 27 мин; 6 час 43 мин, 17 час 17 мин; 7 час 43 мин, 16 час 17 мин; на остальных широтах не восходит. 47. 12 час 00 мин, 12 час 00 мин; 12 час 46 мин, 11 час 14 мин; 13 час 26 мин, 10 час 04 мин; 15 час 26 мин, 8 час 34 мин; на остальных широтах—24 час 00 мин, 0 час 00 мин. 48. На 5 час 02 мин. 49. 72, 138, 165 сут. 50. 68, 132, 157 сут. 51.  $85^{\circ}39'$ ,  $74^{\circ}09'$ ,  $67^{\circ}09'$ ;  $71^{\circ}03'$ ,  $80^{\circ}51'$ ,  $86^{\circ}03'$ . 52.  $43^{\circ}58'$ ,  $46^{\circ}33'$ . 53.  $\mp 137^{\circ}41'$ .
- § 6. 54.  $37^{\circ}26'$ . 55.  $51^{\circ}00'$ ,  $51^{\circ}06'$ . 56. 4 час 51 мин, 19 час 09 мин, 14 час 18 мин. 57. 18 час 14 мин, 5 час 46 мин. 58. Нет. 59. 9 час 44 мин.

60. 13 час 45 мин, 14 час 05 мин; 13 час 55 мин; 13 час 52 мин; 23,4°; 49,0°; 0,755. 61. На оси абсцисс: 12 час 00 мин, 5 час 12 мин, 4 час 17 мин; на оси ординат: 40° 01', 50° 00', 60° 27'. 62.

$\delta$	..	-23,4	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	23,4
$\tau_{\odot}$	..	7 00	6 49	6 36	6 23	6 12	6 00	5 48	5 37	5 24	5 11	5 00
$h_{\odot}$	..	36,6	40	45	50	55	60	65	70	75	80	83,4

63. 19 час 00 мин, 18 час 00 мин, 17 час 50 мин, 17 час 53 мин; —3 мин;  $\mp 95^{\circ} 57'$ , 6 час 23 мин и 19 час 11 мин,  $\mp 97^{\circ} 30'$ , 12 час 48 мин; 12 час 47 мин,  $42^{\circ} 33'$ ; 15 и 18 час, 19 и 22 час; 9 час, 3 и 15 час, 15 час; 11 час 50 мин — 12 час 50 мин и после захода солнца, 1 час 20 мин, 19 час 50 мин;  $41^{\circ} 54'$ ,  $11^{\circ} 05'$ .

## Глава II

- § 7. 64.  $t^{\circ}K = (t - 273,15)^{\circ}C$ ,  $t^{\circ}R = (\frac{5}{4}t)^{\circ}C$ ,  $n^{\circ}F = [\frac{5}{9}(n - 32)]^{\circ}C$ . 65.  $-10,0^{\circ}C$ ,  $263,2^{\circ}K$ . 66.  $25,0^{\circ}C$ ,  $298,2^{\circ}K$ . 67.  $-40,0^{\circ}C$ ,  $233,2^{\circ}K$ . 68.  $50,0^{\circ}C$ ,  $40,0^{\circ}R$ ,  $323,2^{\circ}K$ . 69.  $-40,0^{\circ}$ . 70.  $-17,8^{\circ}C$ . 71.  $-273,2^{\circ}C$ ,  $-218,6^{\circ}R$ ,  $-459,8^{\circ}F$ . 72.  $-58,9^{\circ}C$ . 73.  $136,0^{\circ}F$ ,  $331,0^{\circ}K$ . 74.  $-126,9^{\circ}F$ ,  $184,8^{\circ}K$ . 75.  $288,2^{\circ}K$ . 76.  $26,8^{\circ}C$ . 77.  $218,2^{\circ}K$ . 78.  $37,8^{\circ}C$ ;  $30,2^{\circ}R$ ;  $311,0^{\circ}K$ .
- § 8. 79. 1 мм рт. ст. = 1,333 мб. 80. 1013,2 мб,  $1013,2 \cdot 10^3$  дин/см<sup>2</sup>, 101,32 кн/м<sup>2</sup>; 1,0332 кг. 81. 750,1 мм рт. ст.,  $1000,0 \cdot 10^3$  дин/см<sup>2</sup>, 100,00 кн/м<sup>2</sup>; 1,0198 кг. 82. 765,1 мм, 10,4, 14,86 м. 83. 1105, 894 Г; 980,4 мб, 10%. 84.  $984,5 \cdot 10^3$  дин/см<sup>2</sup>, 98,45 кн/м<sup>2</sup>, 984,5 мб, 738,4 мм рт. ст. 85. 962,1, 1011,1, 1043,0 мб; 719,4, 748,2, 781,4 мм рт. ст. 86. 1,0, -2,3, -1,3 мб. 87. 0,8, 4,5, 3,7 мб. 88. 1013,5 мб, 760,2 мм рт. ст.,  $1013,5 \cdot 10^3$  дин/см<sup>2</sup>, 101,35 кн/м<sup>2</sup>.
- § 9. 89. Нет; 15,8 мб. 90. 0,0—4,3 мб. 91. 0,05, 0,5, 2,5 мб. 92. 22,6, 10,6, 0,0, -4,7, -27,5°С. 93. 6,9 мб, 0,69 кн/м<sup>2</sup>. 94. 294 н/м<sup>2</sup>. 95. 14,4, 9,7 мб. 96. 351, 269 кн/м<sup>2</sup>. 97. Нет; 0,0 и 11,0 мб. 98.  $-2,4^{\circ}C$ . 99. 0, 25, 50, 75, 100%. 100. 35%. 101. 11,7, 7,1, 4,6 мб. 102. 3,2, 2,4, 0,8 мб. 103.  $10,6^{\circ}C$ . 104. -16,4, -3,3, 0,0, 4,7, -12,7, 11,8°С. 105. Упругость насыщения; 3,8, 10,6, 25,5 мб. 106. Температуру; -17,4, -3,6, 9,4,  $38,2^{\circ}C$ . 107. Упругость пара; 5,1, 11,9, 41,3 мб. 108.  $8,7^{\circ}C$ . 109. Да. 110. 34,4, 11,7, 22,7 мб, 34%. 111. 2,02, 1,08, 0,94 мб, 53%. 112. 3,7 г/м<sup>3</sup>,  $3,7 \times 10^{-6}$  г/см<sup>3</sup>,  $3,7 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>. 113.  $7 \cdot 10^{-6}$  г/см<sup>3</sup>,  $7 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>. 114.  $-54,6^{\circ}C$ . 115.  $0,0^{\circ}C$ . 116. 5,0 мб. 117. 24,5 г/м<sup>3</sup>. 118. 889 г. 119. 694 г. 120. В пустыне, в 7 раз. 121. Да; 3,4 г/м<sup>3</sup>. 122. Нет;  $12,4 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>. 123. 5,6, 29,3, 23,7 мб, 19%,  $-1,2^{\circ}C$ . 124. 1,47, 4,44, 2,97 мб, 33%,  $-18,1^{\circ}C$ . 125. 6,2 г/кг,  $6,2 \cdot 10^{-3}$  г/г,  $6,2 \cdot 10^{-3}$  кг/кг. 126. 13,7 г/кг. 127. 3,9 г/кг. 129. Да; 0,0—8,7 г/кг. 130. От 0,0 до  $1,9 \cdot 10^{-3}$  кг/кг. 131. 13,7, 25,2, 11,5 мб, 54%,  $11,6^{\circ}C$ , 10,2 г/м<sup>3</sup>. 132. 359, 32, 327 н/м<sup>2</sup>, 9%,  $-34,5^{\circ}C$ ,  $2,6 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>3</sup>. 133. 8,7 г/кг,  $8,7 \cdot 10^{-3}$  г/г,  $8,7 \cdot 10^{-3}$  кг/кг. 134. 99%. 135.  $d=5,4$  мб,  $r=58\%$ ,  $\tau=2,6^{\circ}C$ ,  $a=5,7$  г/м<sup>3</sup>,  $q=4,5$  г/кг,  $S=4,54$  г/кг. 136.  $e=3,3$  мб,  $r=86\%$ ,  $\tau=-8,2^{\circ}C$ ,  $a=2,7$  г/м<sup>3</sup>,  $q=2,1$  г/кг,  $S=2,1$  г/кг. 137. 105, 145 н/м<sup>2</sup>,  $-22,0^{\circ}C$ ,  $8,8 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>3</sup>,  $6,4 \cdot 10^{-4}$  кг/кг. 138. 9,6 мб, 37%, 16,5 мб, 7,1 г/м<sup>3</sup>, 5,9 г/кг. 139. 8,3 мб. 140. 0,53 кн/м<sup>2</sup>. 141. 1,9 мб. 142. 2,7 мб. 143.  $(t-t')_{ст} = 0,8343(t-t')_{асп}$ . 144. 4,1 мб, 3%, 26,3 мб,  $-5,4^{\circ}C$ ; 8,0 г/м<sup>3</sup>, 8,6 г/кг. 145. 4,1 мб, 78%, 1,1 мб,  $-5,4^{\circ}C$ ; 3,3 г/м<sup>3</sup>, 2,6 г/кг. 146. 3,8 мб, 73%, 1,4 мб,  $-6,4^{\circ}C$ ; 3,1 г/м<sup>3</sup>, 2,4 г/кг. 147. -6,5л. 148. 2,2 мб, 30%, 5,2 мб. 149. 1,2 мб, 17%, 5,7 мб. 150. 3,2 мб, 22%, 11,6 мб. 151. 1,2 мб, 0,3 мб,  $-20,5^{\circ}C$ . 152. 1,4 мб, 0,2 мб,  $-18,7^{\circ}C$ . 153. 0,28, 0,15 мб. 154. 93%, 2,0 мб;  $23,0^{\circ}C$ . 155. 8,2, 6,5 мб.
- § 10. 157. 225, 68, 158, 292,  $360^{\circ}$ ; ССВ, ЮЮЗ, ВСВ, ЗСЗ, ВЮВ. 158. 103 м/сек, 372 км/час; 304 м/сек, 1094 км/час.

- § 11. 160. Возможны: а, в, д, ж, к, л; невозможны: б, г, е, з, и.  
 § 12. 162. 1,6, 6,0, 9,4 мм. 163. 7,4 кг. 74, 7400 т. 164. 5870, 24 650, 1170 т.  
 165. 2,8 мм. 166. 1,6 мм. 167. 22 290,1, 9300,0, 2300,0 мм. 168. 0,18 мм/мин.  
 169. 1,6 мм/мин. 170. 400, 2000 т. 171. За первый. 172. 0,021 г/см<sup>3</sup>.  
 173. 10 800 т.

### Глава III

- § 13. 174.  $1,292 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, 1,292 кг/м<sup>3</sup>. 175.  $1,276 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, 1,276 кг/м<sup>3</sup>.  
 176.  $1,045 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>. 177.  $2,034 \cdot 10^{-3}$ ,  $0,923 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>; на 58 и 29%.  
 178. 840,8 см<sup>3</sup>. 179. 139 кг.  
 § 14. 180.  $0,764 \cdot 10^{-5}$  г/см<sup>3</sup>,  $0,764 \cdot 10^{-2}$  кг/м<sup>3</sup>; 0,622. 181. В 167 раз. 182.  $1,289 \times 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>; 99,8%. 183.  $1,222 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>. 184.  $1,166 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>. 185. На 0,4%. 186. 12,7 Г. 187. 7,2, 4,5 г; -2,7 г. 188. 3,6, 0,6 г. 189. 14,6 г; увеличился на 2,1 г.  
 § 15. 190. 8,1° С. 191. 0,05, 4,9° С. 192. 28,8° С. 193. 0,3° С. 194. 18,6° С,  $1,194 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>.  
 § 16. 195. 12,5 мб/100 м. 196. 3,4 мб/100 м. 197.  $G_0/G_z=2$ . 198.  $G_0/G_z=3$ .  
 199. 425,0, 315,0 мб. 200.  $589,6 \cdot 10^2$ ,  $658,0 \cdot 10^2$  н/м<sup>2</sup>. 201. 400 м. 202. 8,0, 6,8, 9,2 м/мб. 203. 987,2, 962,5, 952,5, 933,0 мб. 204. 8,0 мб/100 м, 0,8 дин/см<sup>3</sup>. 205.  $n_z/n_0=1,8$ . 206.  $800,0 \cdot 10^2$  н/м<sup>2</sup>. 207. Увеличится на 60 м.  
 208.  $n_{вп}/n_c=1,02$ . 209.  $3,42^\circ/100$  м.  
 § 17. 210. 759,8, 506,6, 0,0 мб. 211. 12,67 мб/100 м. 212. 7411,6, 7558,0, 7704,3, 7850,6, 7996,7, 8143,3, 8289,7, 8436,0, 8582,4 м. 213. 116 км; водородная, в 14,5 раза. 214.  $3,42^\circ/100$  м; -68,4, -136,8, -273,0° С.  
 § 18. 215. В 7,3 раза; 137,0 мб. 216.  $39,7 \cdot 10^2$  н/м<sup>2</sup>. 217. 45,0 мб. 218. 22,5 мб.  
 § 19. 219. 174,7 мб. 220. 60, 46,2, 30 км. 221.  $0,01^\circ/100$  м. 222. 7,99 км.  
 § 20. 223.  $(5781,0 \pm 5,8)$  м. 224.  $(1780 \pm 5,3)$  м. 225. Около 5,5, 11, 16,5, 18,4 км. 226. 244,8 мб. 227.  $(266,1 \pm 2,7)$  мб. 228.  $(687,8 \pm 6,9)$  мб. 229.  $\mp 184$  м. 230.  $\pm 42,4$  м. 231.  $(5539 \pm 55)$  м. 232. 1980 м. 233. 1041,3 м. 234. 57,4 м. 235. 63,7 мб; 20,2° С.  $1,131 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, 11,2 мб/100 м, 9,0 м/мб; 544,1, 618,6, 609,0 мб; 608,9 мб,  $0,783 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, 7,7 мб/100 м, 13,0 м/мб; 378,9 мб,  $0,523 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, 5,3 мб/100 м, 19,5 м/мб.

### Глава IV

- § 21. 236. 0,24 м<sup>2</sup>/сек. 237. 0,42 м<sup>2</sup>/сек. 238. 0,16 м<sup>2</sup>/сек. 239. 0,10 м<sup>2</sup>/сек. 240. -0,26° С. 241.  $> 1,2$  м/сек. 242. 0,34, 0,27 м<sup>2</sup>/сек; 21%. 243. 0,27, 0,17, 0,26 м<sup>2</sup>/сек; 37, 4%. 244. 1,6, 1,8 см. 245. 0,4, 0,4 см. 246. 0,28, 0,19 м<sup>2</sup>/сек. 247. 0,14, 0,18 м<sup>2</sup>/сек. 248. 2,00 м<sup>2</sup>/сек. 249. 0,81 см/сек. 250. 16,7° С.  
 § 22. 251. Динамический. 252. Термический. 253. Уменьшился в 2,3 раза. 254. 0,10, 0,07, 0,17 м<sup>2</sup>/сек; 0,10, 0,00, 0,10 м<sup>2</sup>/сек; 0,10, -0,07, 0,03 м<sup>2</sup>/сек. 255. Динамический: 0,062, 0,073, 0,083, 0,125, 0,104, 0,135, 0,062 м<sup>2</sup>/сек; термический: -0,024, 0,000, 0,036, 0,012, 0,000, -0,011, -0,048 м<sup>2</sup>/сек;  $k_1$ : 0,04, 0,07, 0,12, 0,14, 0,10, 0,12, 0,01 м<sup>2</sup>/сек.

### Глава V

- § 23. 256. 57,0° С. 257. На 5,0° С. 258. 30,0, -15,0 мб. 259. 264 ккал; увеличится на 264 ккал; на 74,2 мб. 260. 54,1° С. 261. 2400 кал; 1700, 700 кал; 0,03 м<sup>3</sup>. 262. 372 ккал; 264, 108 ккал. 263. 1008 кал. 264. 946 кал. 265. 223,2 кал; 158,1 кал; 65,1 кал; на 2810 см<sup>3</sup>; на 101,8 мб.  
 § 24. 266. -66,2° С. 267. Уменьшится на 33%. 268. Увеличится на 21,9%. 269. 59,9° С. 270. Увеличится  $\approx$  на 0,1° С. 271. Уменьшится на 17,6° С. 272. 12,2 и 11,1 мб. 273. -10,0° С. 274. 16,6° С. 275. 9,6° С. 276. 42,5° С.

277. 11,0° С. 278. 745,0 мб. 279. 6,7, 22,0, 34,9° С. 280. 14,4, 5,3, —5,6° С.
- § 25. 281. 14,3° С; 2,43 км. 282. На 1,27 км. 283. 22,4° С. 284. 7,7° С. 285. 70,0° С.
- § 26. 286. 22,3° С. 287. 25,4° С. 288. 677,0 мб. 289. Вторая, на 15,0° С. 290. >—20,0° С. 291. 2,3 0,7 кал/г. 292. 25,2° С. 293. 0,7%. 294. Увеличивается, увеличивается, не изменяется, уменьшается. 295. 0,5°/100 м;  $\gamma < \gamma_a$ . 296. На высоте.
- § 27. 297. 19,6 см/сек<sup>2</sup>; вверх. 298. 17,6 см/сек<sup>2</sup>. 299. —17,0 см/сек<sup>2</sup>; вниз. 300. 500, 750, 1500, сс, —1500 м. 301. —20,3 см/сек<sup>2</sup>, 1000 м; вниз; уменьшаться. 302. 633 м. 303. На 6,0° С. 304. 500, 600, 1100 м. 305. 390,0 и 595,0 мб, 2950 и 4050 м. 306. 890,0 мб; 12,1 см/сек<sup>2</sup>. 307. 12,1 см/сек<sup>2</sup>. 308. 9,8 эрг. 309. 49 дж. 310. 175 дж.
- § 28. 311. 890,0 мб, 14,8° С, 830 м. 312. 750,0 мб, —3,4° С, 2340 м.
- § 29. 313. Уменьшится на 16,0 и 9,4° С. 314. Увеличится на 25,6 и 12,5° С. 315. 3,3, —1,8, —8,0° С. 316. —12,2, —6,0, —0,3° С. 317. 940,0, 870,0, 710,0 мб. 318. 750,0, 850,0, 950,0 мб. 319. 13,5, 8,8° С. 320. 990,0 мб.
- § 30. 321. 0,67°/100 м. 322. —0,7, 1,3° С. 323. На 4,0 и 7,0° С. 324. 20,0, 12,0, 7,3, 1,5° С. 325. 1,5° С. 326. 855,0 мб, 11,1, 4,2° С. 327. 710,0 мб, —0,5° С; 957,0 мб, 13,0° С. 328. 0,45, 0,92°/100 м. 329. 0,50, 0,51, 0,54°/100 м. 330. 15,2° С; 0,68°/100 м; 2640 м.
- § 31. 331. 12, 6 г/кг, 6,7, 10,3° С. 332. 25%, —1,7, 20,6° С. 333. 5,5 г/кг, 50%, 10,0° С. 334. 12,0 г/кг, 53%. 335. 9,0 г/кг, 36%. 336. 40%, 6,6, 13,4° С; 67%, 9,9, 5,0° С; 50%, 0,5, 10,0° С; 33%, —8,1, 15,2° С; 50%, —6,3, 9,4° С. 337. 26,0, 21,0, 20,0, 19,0, 16,0 г/кг. 338. 827,0 мб; начальный: 14,0 г/кг, 50%, 18,9, 11,7° С; 900,0 мб: 14,0 г/кг, 72%, 17,5, 5,6° С; конденсации: 14,0 г/кг, 100%, 16,3, 0,0° С; 800,0 мб: 13,5 г/кг, 100%, 15,0, 0,0° С; 700,0 мб: 11,0 г/кг, 100%, 9,8, 0,0° С; 0,5, 3,0 г/кг. 339. 0,7 г/кг. 340. 730,0 мб.
- § 32. 341. 24,8° С. 342. У второй, на 7,5° С. 343. >6,6 г/кг, >55%. 344. <8,6 г/кг, <61%. 345. 6,0 г/кг, 20%; 8,8 г/кг, 44%. 346. 38,1° С. 347. Одинаковая, 4,8° С. 348. 5,0, 13,5; 5,0, 13,5; 5,3, 13,5; 8,3, 13,5; 10,5, 13,5° С. 349. 1,6, 4,8; 0,8, 4,8; —1,5, 4,8; —3,6, 4,8° С. 350. 20,0, 35,0, 35,0° С; 23,9, 34,9, 44,0° С; 29,0, 23,0, 42,5° С; 37,5, 14,6, 45,8° С; 47,0, 13,1, 58,3° С. 351. 20,0, 55,0° С. 352. Одинаковая, 15,0° С. 353. 37,8; 47,5, 45,0, 47,5, 62,0° С.
- § 33. 354. Сухоустойчив. 355. Абсолютно неустойчив. 356. Абсолютно устойчив. 357. Сухоустойчив, влажнонеустойчив; сухобезразличен, влажнонеустойчив; сухоустойчив, влажнонеустойчив; сухоустойчив, влажноустойчив; сухоустойчив, влажноустойчив. 358. Абсолютно неустойчив; сухобезразличен, влажнонеустойчив; абсолютно устойчив; абсолютно неопределенный; сухоустойчив, влажнонеопределенный; абсолютно устойчив. 359.  $t < 16,7^\circ \text{С}$ . 360. >—17,1° С. 361. Сухоустойчив. 362. Увеличивается; <—1,3° С. 363. —0,2, 0,0, 2,2, 0,7, 0,4, 0,2, 1,0°/100 м. 364. Сухоустойчив. 365. Абсолютно устойчив; сухоустойчив, влажнонеустойчив; абсолютно устойчив; абсолютно устойчив. 366. Сухоустойчив, влажноустойчив. 367. Абсолютно неустойчив. 368. Сухоустойчив, влажнонеустойчив. 369. Сухобезразличен, влажнонеустойчив. 370. Сухоустойчив, влажнобезразличен. 371. Абсолютно неустойчив; сухобезразличен, влажнонеустойчив; сухоустойчив, влажнонеустойчив; абсолютно устойчив; абсолютно неустойчив; абсолютно устойчив. 372. 3060 м, 2,4 г/кг. 373. 1190, 4270 м, 2,4 г/кг, 3080 м. 374. Сухоустойчив, влажнонеустойчив; абсолютно неустойчив; сухоустойчив, влажнонеустойчив; абсолютно устойчив; абсолютно устойчив. 375. Сухобезразличен, влажнонеустойчив; абсолютно неустойчив; сухоустойчив, влажнобезразличен; абсолютно устойчив; абсолютно неустойчив. 376. Первый — абсолютно неустойчив, второй — сухоустойчив, влажнонеустойчив, остальные — абсолютно устойчивы; 1950, 2630, 3350 м; 1050, 3350 м;

Уровень, мб . . . . .	1000,0	900,0	800,0	700,0	Конвекции
$q$ г/кг . . . . .	3,0	3,0	2,4	1,4	0,9
$r$ % . . . . .	50	80	100	100	100

Конденсационный эффект 2,1 г/кг;

$\theta'$ °C . . . . .	6,5	6,5	8,0	11,0	13,0
$t'_3$ °C . . . . .	14,0	5,5	-3,5	-13,8	-21,8
$t'_{эп}$ °C . . . . .	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
$t'_{пс}$ °C . . . . .	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0

377. Первый — абсолютно неустойчив, остальные — абсолютно устойчивы; 540 м; 2300 м;

$p$ мб . . . . .	1000,0	950,0	900,0	800,0	750,0
$t'$ °C . . . . .	-10,0	-13,7	-17,5	-24,7	-28,8
$q'$ г/кг . . . . .	1,3	1,3	1,1	0,65	0,50
$r'$ % . . . . .	72	93	100	100	100
$\tau'$ °C . . . . .	-14,2	-14,9	-17,5	-24,7	-28,8
$\theta'$ °C . . . . .	-10,0	-10,0	-9,5	-8,9	-8,0
$t'_3$ °C . . . . .	-6,8	-10,4	-14,8	-23,1	-27,6
$t'_{эп}$ °C . . . . .	-6,8	-6,8	-6,8	-6,8	-6,8
$t'_{пс}$ °C . . . . .	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0

Конденсационный эффект 0,8 г/кг

$q$ г/кг . . . . .	1,4	0,65	0,5	0,4	0,3
$r$ % . . . . .	78	81	68	77	67

378. Первый — абсолютно неустойчив, второй — сухобезразличен, влажнонеустойчив, третий — сухоустойчив; влажнобезразличен, остальные — абсолютно устойчивы; 1310 м; 3030 м; 1410 и 2910 м; 7,0 г/кг и 80%; 6,2 г/кг и 100%, 4,4 г/кг и 100%; 0,0, 0,8, 2,6, 2,8 г/кг; 36,6 и 40,0° C, 23,5 и 40,0° C, 6,5 и 40,0° C; 8,3, 2,5, -3,3° C. 379. Первый — абсолютно неустойчив, второй — сухобезразличен, влажнонеустойчив, третий — сухоустойчив, влажнонеустойчив, остальные — абсолютно устойчивы;

$p$ мб . . . . .	1000,0	890,0	810,0	720,0	660,0
$\theta$ °C . . . . .	16,0	10,5	10,5	11,5	15,5
$t_3$ °C . . . . .	27,5	8,2	1,0	-9,5	-14,8
$t_{эп}$ °C . . . . .	27,5	18,5	16,9	17,2	18,5

5650 м; 1,0 г/м<sup>3</sup>; 3,0 г/кг.

380.

$p$ мб . . . . .	1030,0	940,0	870,0	720,0	610,0	490,0	400,0
$q_{ф}$ г/кг . . . . .	6,8	4,7	2,6	1,9	1,25	0,5	0,9
$q_{пс}$ г/кг . . . . .	16,2	7,8	5,8	2,3	3,4	2,6	2,0
$r$ % . . . . .	42	60	45	83	37	19	45
$\theta$ °C . . . . .	19,5	14,3	15,2	15,2	33,0	45,0	58,0
$t_3$ °C . . . . .	39,3	21,0	10,5	-6,1	-4,9	-12,8	-17,2
$t_{пс}$ °C . . . . .	40,0	36,5	28,0	21,8	37,5	47,0	62,0

Первый — абсолютно неустойчив, второй — сухоустойчив, влажнонеустойчив, третий — сухобезразличен, влажнонеустойчив, остальные — абсолютно устойчивы; 843 мб, 1660 м; 625 мб, 3930 м; 2270 м.

С. 180 / 1162  
 513 / 10,42  
 220

Уровень	$t' \text{ } ^\circ\text{C}$	$q_{\text{ф}} \text{ г/кг}$	$q_{\text{в}} \text{ г/кг}$	$r \text{ } \%$	$\tau' \text{ } ^\circ\text{C}$	$\theta' \text{ } ^\circ\text{C}$	$t'_{\text{а}} \text{ } ^\circ\text{C}$	$t'_{\text{пс}} \text{ } ^\circ\text{C}$	$d' \text{ см/сек}^2$
1030									
Начальный	22,3	6,8	16,2	42	8,5	19,5	39,3	39,5	0,0
900 мб	11,0	6,8	9,0	76	6,8	19,5	28,0	39,5	17,2
Конденсации	5,7	6,8	6,8	100	5,7	19,5	22,7	39,5	14,9
700 мб	3,0	4,4	4,4	100	3,0	26,5	8,0	39,5	27,2
Конвекции	8,4	3,3	3,3	100	8,4	30,0	-0,2	39,5	0,0

Конденсационный эффект 8,5 г/кг.

### Глава VI

- § 34. 381. 0,47 мкм. 382. 86,3 ккал/(см<sup>2</sup>·мин), 52,3·10<sup>23</sup> ккал/мин. 383. В 81 раз. 384. 1,88 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 1,31 квт/м<sup>2</sup>. 386. 580 вт/м<sup>2</sup>. 387. 2,04, 1,90 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 388. 1,97; ±0,07 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 389. 2,00 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 390. 2,5·10<sup>18</sup>, 3,6·10<sup>21</sup>, 1,3·10<sup>24</sup> кал; 0,5 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 720 кал/см<sup>2</sup>, 263 ккал/см<sup>2</sup>. 391. 5·10<sup>-10</sup> (одна двух-миллиардная). 392. 36 м. 393. 3,12·10<sup>15</sup> ккал; приход тепла от солнца в 4·10<sup>8</sup> раз больше. 394. 5260. 395. 0, 357, 691, 977, 1197, 1335, 1382 вт/м<sup>2</sup>. 396. 833, 936, 1031, 1132 кал/см<sup>2</sup>. 397. 833, 461, 50, 0 кал/см<sup>2</sup>. 398. 908, 786, 454, 0 кал/см<sup>2</sup>. 399. 204, 675, 1068, 784, 284, 51 кал/см<sup>2</sup>. 400. 614, 900, 936, 946, 703, 462 кал/см<sup>2</sup>.
- § 35. 402. 1,40 и 0, 1,19 и 5,30, 1,06 и 2,39. 403. 90, 30, 19,3, около 14,3, около 11,3°. 404. 0,66, 0,417. 405. 0,65, 0,426. 406. 0,59, 0,525. 407. 0,80. 408. 24°. 409. 0,71, 1,99 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 410. 0,80, 1,95 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 411. 0,61, 0,63. 412. 0,67. 413. 0,63, 0,57. 414. 0,67, 0,68. 415. 0,39. 416. 0,69, 0,54; 0,81, 0,54. 417. 0,65. 418. 0,59, 0,77; 0,80, 0,77; 0,56, 0,56. 419. 0,70, 0,78; 0,52, 0,52; 0,66, 0,66; 0,70, 0,70. 420. 5,45. 421. 0,81, 0,80, 0,77, 0,75. 422. Первый, в 3 раза. 423. 0,58. 424. 1,17 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 425. 12,0°. 426. 4,00. 427. 4,88, 4,05. 428. 3,57, 3,51. 429. В 39 раз. 430. В 16 раз.
- § 36. 431. 1,38 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 963 вт/м<sup>2</sup>. 432. 0,29, 0,73, 1,00, 1,16, 1,27, 1,31 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 433. 805, 748, 628 вт/м<sup>2</sup>. 434. 0,50, 0,71, 0,97, 1,27 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 435. 0,89, 1,10, 1,31, 1,53 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 436. 42 кал/см<sup>2</sup>. 438.  $\frac{\Delta \tau}{2} (S_5 + S_{19}) + 120 (0,5S_5 + S_7 + S_9 + S_{11} + S_{13} + S_{15} + S_{17} + 0,5S_{19})$ ; 980 кал/см<sup>2</sup>, 41 Мдж/м<sup>2</sup>. 439. 134,5 S<sub>6</sub> ч. 30 м. + 180 (S<sub>9</sub> ч. 30 м. + S<sub>12</sub> ч. 30 м. + S<sub>15</sub> ч. 30 м.) + 104,5 S<sub>18</sub> ч. 30 м. 440. 120 (1,25 S<sub>6</sub> + 1,5 S<sub>10</sub> + S<sub>12</sub> + 1,5 S<sub>14</sub> + 1,25 S<sub>18</sub>). 422. 3 (0,5 S<sub>0-1</sub> + S<sub>3-4</sub> + S<sub>6-7</sub> + ... + S<sub>21-22</sub> + 0,5 S<sub>0-1</sub> след. сут. 459, 15 кал/см<sup>2</sup>. 444. 519, 597 кал/см<sup>2</sup>. 445. 332, 843, 995, 981, 883, 470 вт/м<sup>2</sup>. 447. 83 ккал/см<sup>2</sup>. 448. 83 ккал/см<sup>2</sup>. 449. 0,63 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 450. 0,67 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 451. 0,80, 0,02 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 452. S<sub>41</sub>'/S<sub>69</sub>' = 1,55. 453. 0,83. 454. 39,6 кал/см<sup>2</sup>, 1,7 Мдж/м<sup>2</sup>. 455. 872·10<sup>4</sup> квт, больше в 2,1 раза. 456. 1,34, 1,23; 1,37, 1,33; 1,39, 1,39; 1,38, 1,37; 1,36, 1,30; 1,33; 1,19; 1,27, 1,02; 1,18, 0,81; 1,04, 0,57; 0,81, 0,32 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 457. 1,34, 1,23; 1,29, 1,18; 1,21, 0,88; 1,09, 0,65; 0,89, 0,40; 0,58, 0,16; 0,11, 0,00 кал/(см<sup>2</sup>·мин); далее оба потока равны 0,00 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 458. 0,00, 0,00, 0,09, 0,44, 0,79, 1,02, 1,04, 0,85, 0,45, 0,09, 0,00, 0,00 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 459. 917, 567 кал/см<sup>2</sup>. 461. 14, 36, 53, 56, 41, 16%. 464. 48, 58%. 465. 0,00, 0,02, 0,70, 0,00 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 466. 0,00, 1,08 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 467. 0,83, 0,81 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 469.  $(\frac{t}{2} + 60) \times (D_5 + D_{19}) + 120 (D_7 + D_9 + D_{11} + D_{13} + D_{15} + D_{17})$ , 180 кал/см<sup>2</sup>, 7,54 Мдж/м<sup>2</sup>.

470. 60 кал/см<sup>2</sup>, 2,51 Мдж/м<sup>2</sup>. 473. 42,6, 43,4, 44,6 ккал/см<sup>2</sup>. 475. 0,50 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 476. 0,32 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 75, 25%; 0,86 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 84, 16%; 1,16 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 86, 14%; 1,20 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 83, 17%; 0,94 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 80, 20%; 0,52 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 73, 27%; 0,12 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 33, 67%. 477. 27, 515 кал/см<sup>2</sup>.
- § 37. 481. 18%. 482. Первый, в 9 раз. 486. 0,15 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 487. 2,7, 1,8 Мдж/м<sup>2</sup>. 488. На 0,6° С. 489. 2700 кет. 490. 1,1, 2,8; 9,8, 2,1; 14,8, 2,6; 11,3, 1,8; 3,4, 0,8; 0,5, 0,9 ккал/см<sup>2</sup>.
- § 38. 491. 10,1 мкм. 492. 12,4, 9,3 мкм. 493. В 16·10<sup>4</sup> раз. 494. 0,46 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 321 Вт/м<sup>2</sup>. 496. 0,74, 0,23 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 497. На 4%. 498. 43,1° С. 499. 0,90. 500. 800, 32 Вт/м<sup>2</sup>. 502. 0,52, 0,51, 0,60, 0,73, 0,65, 0,56, 0,54 кал/(см<sup>2</sup>·мин); 857 кал/см<sup>2</sup>, 35,9 Мдж/м<sup>2</sup>. 503. 0,39, 0,53; 0,38, 0,56; 0,38, 0,61; 0,40, 0,65; 0,39, 0,64; 0,39, 0,58 кал/(см<sup>2</sup>·мин), 559, 823 кал/см<sup>2</sup>. 504. 0,37, 0,54, 0,82, 0,75, 0,53, 0,39 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 505. 8,5° С. 506. 13,3 мкм. 507. 0,47 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 508. 0,46 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 509. 0,57 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 510. 0,44, 0,46 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 511. 0,28, 0,27, 0,28, 0,28, 0,28, 0,27 кал/(см<sup>2</sup>·мин); 398 кал/см<sup>2</sup>, 16,7 Мдж/м<sup>2</sup>. 512. 0,43, 0,45, 0,46, 0,47, 0,47, 0,45 кал/(см<sup>2</sup>·мин); 649,8 кал/см<sup>2</sup>, 27,2 Мдж/м<sup>2</sup>. 513. 0,24, 0,38, 0,50, 0,48, 0,38, 0,28 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 514. 0,66, 0,48, 0,18 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 515. 0,48, 0,55, -0,07 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 516. 0,54, 0,43, 0,39, 0,15, -0,15 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 517. 0,12 кал/(см<sup>2</sup>·мин); 20%. 518. 0,04 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 519. 0,08; 0,28 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 520. 0,25, -0,25 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 521. 0,22, 0,18, 0,15 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 522. 0,04 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 523. В первом, на 8%. 524. В холодное, на 4%. 525. 0,15, -0,15 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 526. -0,25, -0,10, 0,03 кал/(см<sup>2</sup>·мин); 0,15, 0,07, -0,04 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 527. 180(2E<sub>0 30</sub>+1,5E<sub>6 30</sub>+E<sub>9 30</sub>+E<sub>12 30</sub>+E<sub>15 30</sub>+1,5E<sub>18 30</sub>), 151 кал/см<sup>2</sup>. 528. 0,09, 0,11, 0,13, 0,12, 0,11, 0,10 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 530. 31,8, 49,8 ккал/см<sup>2</sup>.
- § 39. 531. 0,47 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 532. -0,07 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 533. 0,40 кал/(см<sup>2</sup>·мин) × мин). 534. 408 Вт/м<sup>2</sup>. 535. 10 Вт/м<sup>2</sup>. 536. 0,75 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 537. -0,08 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 538. 593, 272 Вт/м<sup>2</sup>. 539. 0,24, 0,42, 0,60 кал/(см<sup>2</sup>·мин) × мин). 540. 0,52, 0,48, 0,26 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 541. 0,06, 0,54 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 542. 0,60 кал/(см<sup>2</sup>·мин). 543. 322,2 кал/см<sup>2</sup>. 544. -24, 262 кал/см<sup>2</sup>. 545. 250, 312 кал/см<sup>2</sup>. 546. 36 ккал/см<sup>2</sup>. 547. 22, 55 ккал/см<sup>2</sup>. 548.

	Срок, час мин					
	0 30	4 30	6 30	8 30	10 30	12 30
	Q	0,00	0,00	0,36	0,91	1,27
Q <sub>п</sub>	0,00	0,00	0,25	0,66	0,93	1,04
B <sub>д</sub>	-0,09	-0,07	-0,12	-0,19	-0,29	-0,37
B	-0,09	-0,07	-0,13	0,47	0,64	0,67

	Срок, час мин				
	14 30	16 30	18 30	20 30	0 30
	Q	1,16	0,67	0,15	0,00
Q <sub>п</sub>	0,85	0,48	0,10	0,00	0,00
B <sub>д</sub>	-0,28	-0,18	-0,15	-0,10	-0,09
B	0,57	0,30	-0,05	-0,10	-0,09

$$120(2B_{0\ 30} + 1,5B_{4\ 30} + B_{6\ 30} + B_{8\ 30} + \dots + B_{18\ 30} + 1,5B_{20\ 30}), \quad 281 \text{ ккал/см}^2.$$

549.

	Срок, час мин					
	0 30	4 30	6 30	8 30	10 30	12 30
$Q$	0,00	0,00	0,35	0,91	1,31	1,41
$Q_{\text{п}}$	0,00	0,00	0,25	0,71	1,02	1,10
$B_{\text{д}}$	-0,07	-0,06	-0,07	-0,08	-0,13	-0,14
$B$	-0,07	-0,03	0,18	0,63	0,89	0,95

	Срок, час мин				
	14 30	16 30	18 30	20 30	0 30
$Q$	1,20	0,73	0,19	0,00	0,00
$Q_{\text{п}}$	0,92	0,55	0,14	0,00	0,00
$B_{\text{д}}$	-0,10	-0,09	-0,11	-0,07	-0,07
$B$	0,82	0,46	0,03	-0,07	-0,07

437 ккал/см<sup>2</sup>.

- § 40. 550. 168, 56 ккал/см<sup>2</sup>. 551. 9, 42, 5 ккал/см<sup>2</sup>. 553. -128 ккал/см<sup>2</sup>. 554. -0,234 ккал/(см<sup>2</sup>·мин), -123 ккал/см<sup>2</sup>. 556. -72 ккал/см<sup>2</sup>. 557. -77 ккал/см<sup>2</sup>. 558. -208 ккал/см<sup>2</sup>, -76 ккал/см<sup>2</sup>. 560. 35%. 561. 35%. 562. 95, 168 ккал/см<sup>2</sup>. 563. 92, 171 ккал/см<sup>2</sup>. 564. 112, 72 ккал/см<sup>2</sup>. 565. 0,147 ккал/(см<sup>2</sup>·мин); 77 ккал/см<sup>2</sup>. 566. 0 ккал/см<sup>2</sup>. 567. 0,055. -0,063 ккал/(см<sup>2</sup>·мин). 568. 2,8, 3,8; 3,9, 1,4; 4,3, -2,0; 4,5, -4,7; 4,9, -7,4; 4,7, -9,7; 3,8, -11,0; 2,5, -11,4 ккал/см<sup>2</sup>. 570.

	Срок, час мин						
	0 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30	0 30 след. сут.
$P$		0,65	0,64	0,65	0,64	0,73	
$P_2$		0,62	0,67	0,70	0,67	0,68	
$S^2$	0,00	0,31	0,77	0,94	0,62	0,19	0,00
$Q$	0,00	0,47	1,07	1,27	0,89	0,31	0,00
$S^1/Q$	—	66	72	74	70	61	—
$D/Q$	—	34	28	26	30	39	—
$Q_{\text{п}}$	—	0,37	0,88	1,05	0,75	0,25	—
$B_{\text{д}}$	-0,06	-0,12	-0,21	-0,23	-0,18	-0,11	-0,07

$$\sum B = 453 \text{ ккал/см}^2$$

### Глава VII

- § 41. 571. Максимум 25,2° С в 12 час 30 мин, минимум 4,6° С в 3 час, амплитуда 20,6° С. 572. Максимум 21,2° С в 15 час, минимум 9,6° С в 23 час, амплитуда 11,6° С; максимум 40,0° С в 14 час, минимум 9,0° С в 4 час,

- амплитуда  $31,0^{\circ}\text{C}$ . 573. Максимум  $-14,0^{\circ}\text{C}$  в 13 час, минимум  $-18,8^{\circ}\text{C}$  в 7 час 30 мин, амплитуда  $4,8^{\circ}\text{C}$ ; максимум  $40,1^{\circ}\text{C}$  в 13 час, минимум  $16,5^{\circ}\text{C}$  в 0 час 30 мин, амплитуда  $23,6^{\circ}\text{C}$ . 574. 20,3,  $34,5^{\circ}\text{C}$ . 575. Максимум  $25,6^{\circ}\text{C}$  в 0 час, минимум  $25,0^{\circ}\text{C}$  в 21 час, амплитуда  $0,6^{\circ}\text{C}$ ; максимум  $48,0^{\circ}\text{C}$  в 13 час, минимум  $22,8^{\circ}\text{C}$  в 24 час, амплитуда  $25,2^{\circ}\text{C}$ . 576. Максимум  $65,6^{\circ}\text{C}$  в 13 час, минимум  $16,8^{\circ}\text{C}$  в 3 час 15 мин, амплитуда  $48,8^{\circ}\text{C}$ ; максимум  $35,6^{\circ}\text{C}$  в 12 час 45 мин, минимум  $18,8^{\circ}\text{C}$  в 4 час 30 мин, амплитуда  $16,8^{\circ}\text{C}$ . 577. 32,6, 11,7, 9,6, 5,6,  $3,2^{\circ}\text{C}$ ; 13 час, 15 час 30 мин, 16 час 30 мин, 20 час, 21 час 30 мин; 2 час 30 мин, 3 час 30 мин, 7 час, 8 час 30 мин; 4 час 15 мин. 578. 12,0, 3,8, 2,9, 1,7,  $1,6^{\circ}\text{C}$ ; 12 час, 14 час 30 мин, 16 час 12 мин, 17 час 12 мин, 20 час; 2 час 30 мин, 4 час 12 мин, 5 час 12 мин, 8 час; 4 час. 579. Амплитуда  $29,0^{\circ}\text{C}$ . 580. Максимум  $22,0^{\circ}\text{C}$  22/VII, минимум  $-10,0^{\circ}\text{C}$  17/I, амплитуда  $32,0^{\circ}\text{C}$ ; максимум  $37,0^{\circ}\text{C}$  20/VIII, минимум  $1,0^{\circ}\text{C}$  15/I, амплитуда  $36,0^{\circ}\text{C}$ . 582. Амплитуда: 18,8, 19,0,  $18,6^{\circ}\text{C}$ . 583. Амплитуда: 17,6, 28,5,  $36,0^{\circ}\text{C}$ . 584. Амплитуда: 6,4,  $41,0^{\circ}\text{C}$ . 586. 29,0, 10,2,  $5,7^{\circ}\text{C}$ ; максимум: 11/VII, 22/VIII, 22/IX, минимум: 22/I, 1/IV, 27/IV; запаздывание: 42, 73 дня; 23 дня. 588. 29 дней. 589. Излучения, промежуточный утренний, инсоляции, промежуточный вечерний; нормальные; 3,18, 0,78, 0,70,  $0,38^{\circ}\text{C}/\text{см}$ ;  $\uparrow\uparrow\uparrow$ ,  $\uparrow\uparrow\uparrow$ ,  $\uparrow\uparrow\uparrow$ ,  $\uparrow\uparrow\uparrow$ . 590. Промежуточный вечерний, инсоляции, инсоляции, промежуточный вечерний; первый тип аномальный, остальные нормальные; 0,84, 0,36, 0,24,  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{см}$ ;  $\uparrow\uparrow\uparrow$ ,  $\uparrow\uparrow\uparrow$ ,  $\uparrow\uparrow\uparrow$ ,  $\uparrow\uparrow\uparrow$ , 591. 14,0, 5,0, 6,0, 5,0, 4,0, 3,5, 2,6, 1,9, ср.  $3,9^{\circ}/\text{м}$ . 592. 0,15, 0,40, 0,35, 0,05, ср.  $0,19^{\circ}/\text{м}$ .
- § 42. 594. Увеличится на 3,0 и  $1,5^{\circ}\text{C}$ , уменьшится на 2,5 и  $1,2^{\circ}\text{C}$ . 595. Увеличится на 0,5 и на  $0,2^{\circ}\text{C}$ . 596.  $0,46 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ . 597. 0,43,  $0,34 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ . 598.  $0,66 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ . 599. Уменьшится на 28%. 600. 72,0, 46,2, 31,0, 4,5,  $658,8 \text{ см}^2/\text{час}$ . 601.  $11,8 \text{ см}^2/\text{час}$ . 602. 17,7, 7,9, 12,8,  $11,4 \text{ см}^2/\text{час}$ . 603.  $7,7 \text{ см}^2/\text{час}$ . 604. 11,9,  $12,6 \text{ см}^2/\text{час}$ . 605.  $14,1 \text{ см}^2/\text{час}$ . 606. 29,  $940 \text{ см}^2/\text{час}$ . 607.  $17,6 \text{ см}^2/\text{час}$ . 608.  $6,3 \text{ см}^2/\text{час}$ . 609. 7,7,  $51,2 \text{ см}^2/\text{час}$ . 610.  $5,4 \text{ см}^2/\text{час}$ . 611.  $0,59 \text{ кал}/(\text{см}^3 \cdot \text{град})$ ,  $4,2 \text{ см}^2/\text{час}$ ,  $6,9 \cdot 10^{-4} \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град})$ . 612.  $6,7 \cdot 10^{-5} \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град})$ , увеличится в 9 раз.
- § 43. 613.  $0^{\circ}/\text{час}$ . 614. Увеличится на  $2,0^{\circ}\text{C}$ . 615.  $\pm 180^{\circ}$ . 616.  $-90$ , 0,  $90^{\circ}$ . 617.  $14,4^{\circ}\text{C}$ . 618.  $12,8^{\circ}\text{C}$ . 619. 7,8 час. 620. 3,7, 0,7,  $0,1^{\circ}\text{C}$ . 621. 10 см. 622. 16,3, 13,1, 10,7 см; 1,52, 1,52. 623. 5,5, 13,8 см, 2,5, 2,5. 624. 105,4, 263,5 см, 2,5, 2,5. 625. 10,2 см, 1,95 м; 19,1, 19,1. 626. 3,8 м. 627. 0,48, 0,3. 628.  $12,9^{\circ}\text{C}$ , фактическая  $10,2^{\circ}\text{C}$ . 629. 0,61. 630. 0,36, 0,82, 0,58, 0,57; 0,49. 631. 0,32, 0,76, 0,59, 0,94; 0,46. 632. 0,69. 633. Теоретическое 0,44; фактическое 0,35 и 0,56. 634. 45,1 см. 635. 51, 63 см. 636. В июне, на 52%. 637. 123,4, 89,1 см. 638. 41, 92 см. 639. 14,9, 84 м. 640. 11,1 м. 641. 1,89 м. 642. 1,9 м. 643. 32,6 час, 26 сут. 644. 20 час 25 мин, 3 час 25 мин, 10 час 25 мин. 645. 23 час 10 мин. 646. 10/VIII. 647. 2, 3, 1,5, 3, 4, 2, 2, 1, 1. 648. 1,4, 2,8, 1,5. 649. 1,64, 2,08, 1,90.
- § 44. 650.  $0,13 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . 651. 36 ккал. 652. 744 ккал. 653.  $-0,02 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . 654.  $0,003 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . 655. 53 кал. 656.  $2,75 \text{ ккал}/\text{см}^2$ ,  $0,012 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . 657.  $-0,07$ , 0,01, 0,09, 0,07, 0,02,  $-0,05$ ,  $-0,07 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ;  $7,2 \text{ кал}/\text{см}^2$ . 658.  $-0,06$ , 0,00, 0,09, 0,08, 0,03,  $-0,04$ ,  $-0,07 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ;  $10,8 \text{ кал}/\text{см}^2$ . 659.  $-0,02$ , 0,02, 0,04, 0,01,  $-0,03$ ,  $-0,04 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ;  $2,4 \text{ кал}/\text{см}^2$ . 660. 1. б) 28,5, 12,6, 7,5, 4,5,  $3,3^{\circ}\text{C}$ ; в) 0,44, 0,60, 0,60, 0,73; г) 13 час, 16 час, 16 час 30 мин, 19 час, 20 час; 3 час, 3 час 30 мин, 6 час, 7 час; д) 3,5 час/10 см; е) 1,17, 2,00, 2,00; ж) 11,4,  $15,6 \text{ см}^2/\text{час}$ ; з) 57 см. 2. а) излучения, нормальный; промежуточный утренний, нормальный; инсоляции, нормальный; промежуточный вечерний, нормальный; в) 3,12, 0,80, 0,28, 0,12,  $1,13^{\circ}\text{C}/\text{см}$ ; 4. а)  $5,1 \text{ см}^2/\text{час}$ ; б)  $5,7^{\circ}\text{C}$ ; в) 0,45. 5. По сокращенной:  $-0,13$ ,  $-0,05$ , 0,24, 0,22, 0,07,  $-0,17$ ,  $-0,12 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ; по полной:  $-0,13$ ,  $-0,05$ , 0,24, 0,23, 0,08,  $-0,15$ ,  $-0,11 \text{ кал}/\text{см}^2 \cdot \text{мин}$ ; 6.  $21,6 \text{ кал}/\text{см}^2$ .

### Глава VIII

- § 45. 679.  $0,7^{\circ}\text{C}$ . 683.  $-73, 540^{\circ}/100 \text{ м}$ . 684.  $-700, -133, -40, -30^{\circ}/100 \text{ м}$ ;  $1400, -100, -40, -10^{\circ}/100 \text{ м}$ ;  $4100, 100, 60, 20^{\circ}/100 \text{ м}$ ;  $-1000, 33, 20, 10^{\circ}/100 \text{ м}$ . 686.  $0,86, 1,26, 0,92$ . 687.  $21,6^{\circ}\text{C}$ . 688.  $20,2^{\circ}\text{C}$ . 697.  $0,35$  и  $0,31, 0,49$  и  $0,35, 0,66$  и  $0,53, 0,80$  и  $0,46^{\circ}/100 \text{ км}$ . 698.  $0,63$  и  $-0,03, 0,26$  и  $-0,51^{\circ}/100 \text{ км}$ . 699.  $-10, 145^{\circ}/100 \text{ м}$ . 700.  $0,78, 0,66, 0,42, 0,78^{\circ}/100 \text{ м}$ ;  $0,65^{\circ}/100 \text{ м}$ . 701.  $30,7, 30,1, 30,1, 31,3^{\circ}\text{C}$ ;  $30,6^{\circ}\text{C}$ .
- § 46. 702.  $10^{-5} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . 703. Увеличится на  $0,12^{\circ}\text{C}$ . 704.  $0,08^{\circ}/\text{час}$ . 705.  $25,0^{\circ}\text{C}$ . 706.  $0,22 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , вверх. 707. Турбулентный больше в  $10^4$  раз. 708. Увеличится на  $2,3 \cdot 10^3^{\circ}\text{C}/\text{час}$ . 709. Уменьшится в 10 раз, примет обратное направление. 710.  $0,33 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ,  $33\%$ . 711.  $0,57 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ,  $69\%$ , 712.  $0,02, 0,10 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . 713.  $-0,01, 0,00, 0,03, 0,02, 0,00, -0,02, 0,00 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ;  $1,8 \text{ кал}/\text{см}^2$ . 714.  $0,85 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ;  $19\%$ . 715.  $0,33, 0,21, 0,38 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ;  $36, 15\%$ . 716.  $0,08 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . 717.  $-23 \text{ кал}/\text{см}^2$ . 718.  $17,4 \text{ ккал}/\text{см}^2$ . 719.  $31 \text{ кал}/\text{см}^2$ . 720.  $-0,29 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава I. Элементы астрономии, используемые в метеорологии . . . . .</b>	<b>5</b>
§ 1. Истинное, среднее солнечное, поясное и декретное время (задачи 1—10) . . . . .	—
§ 2. Поверка часов на метеорологических станциях (задачи 11—15) . . . . .	7
§ 3. Сроки метеорологических наблюдений (задачи 16—25) . . . . .	—
§ 4. Склонение, часовой угол и высота солнца (задачи 26—42) . . . . .	9
§ 5. Время восхода и захода, азимуты солнца (задачи 43—53) . . . . .	11
§ 6. Номограмма М. Е. Набокова (задачи 54—62) . . . . .	13
<b>Глава II. Предварительные сведения об основных метеорологических элементах . . . . .</b>	<b>17</b>
§ 7. Температура воздуха (задачи 64—78) . . . . .	—
§ 8. Атмосферное давление (задачи 79—88) . . . . .	19
§ 9. Влажность воздуха (задачи 89—155) . . . . .	22
§ 10. Ветер (задачи 156—158) . . . . .	31
§ 11. Облачность (задачи 159—161) . . . . .	32
§ 12. Осадки (задачи 162—173) . . . . .	—
<b>Глава III. Основы статики атмосферы . . . . .</b>	<b>35</b>
§ 13. Плотность сухого воздуха (задачи 174—179) . . . . .	—
§ 14. Плотность водяного пара и влажного воздуха (задачи 180—189) . . . . .	36
§ 15. Виртуальная температура (задачи 190—194) . . . . .	38
§ 16. Вертикальный градиент давления и барическая ступень (задачи 195—209) . . . . .	39
§ 17. Однородная атмосфера (задачи 210—214) . . . . .	43
§ 18. Изотермическая атмосфера (задачи 215—218) . . . . .	44
§ 19. Политропная атмосфера (задачи 219—222) . . . . .	45
§ 20. Реальная атмосфера (задачи 223—234) . . . . .	47
<b>Глава IV. Турбулентное перемешивание в приземном слое атмосферы . . . . .</b>	<b>52</b>
§ 21. Характеристики интенсивности турбулентного перемешивания (задачи 236—250) . . . . .	—
§ 22. Факторы, влияющие на интенсивность турбулентного перемешивания (задачи 251—255) . . . . .	59

<b>Глава V. Основы термодинамики атмосферы . . . . .</b>	<b>63</b>
§ 23. Первое начало термодинамики для сухого воздуха и воздуха с ненасыщенным паром (задачи 256—265) . . . . .	—
§ 24. Адиабатические изменения состояния сухого воздуха и воздуха с ненасыщенным паром (сухоадиабатические процессы) (задачи 266—280) . . . . .	65
§ 25. Изменения температуры сухого воздуха и воздуха с ненасыщенным паром при вертикальных перемещениях (задачи 281—285) . . . . .	67
§ 26. Потенциальная температура (задачи 286—296) . . . . .	68
§ 27. Ускорение конвекции и уровень конвекции для сухого воздуха и воздуха с ненасыщенным паром (задачи 297—310) . . . . .	70
§ 28. Уровень конденсации (задачи 311—312) . . . . .	73
§ 29. Адиабатические изменения состояния воздуха с насыщенным водяным паром (влажноадиабатические процессы) (задачи 313—320) . . . . .	74
§ 30. Изменения температуры воздуха с насыщенным водяным паром при его вертикальных перемещениях (задачи 321—330) . . . . .	75
§ 31. Определение гигрометрических характеристик по диаграмме и их изменение при вертикальных перемещениях воздуха (задачи 331—340) . . . . .	78
§ 32. Некоторые термодинамические температуры (задачи 341—353) . . . . .	80
§ 33. Стратификация слоев атмосферы (задачи 354—375) . . . . .	82
<b>Глава VI. Лучистая энергия в атмосфере . . . . .</b>	<b>90</b>
§ 34. Солнечная радиация на верхней границе атмосферы (задачи 381—400) . . . . .	—
§ 35. Прохождение солнечной радиации через атмосферу (задачи 401—430) . . . . .	94
§ 36. Приход солнечной радиации на земную поверхность (задачи 431—480) . . . . .	100
§ 37. Отражение и поглощение солнечной радиации деятельным слоем (задачи 481—490) . . . . .	112
§ 38. Излучение деятельного слоя, встречное излучение атмосферы и эффективное излучение (задачи 491—530) . . . . .	115
§ 39. Радиационный баланс деятельного слоя (задачи 531—549) . . . . .	125
§ 40. Радиационный баланс атмосферы и системы деятельный слой—атмосфера (задачи 550—569) . . . . .	133
<b>Глава VII. Тепловой режим почвы и водоемов . . . . .</b>	<b>141</b>
§ 41. Изменения температуры почвы и водоемов во времени и в пространстве (задачи 571—593) . . . . .	—
§ 42. Теплофизические характеристики почвы и водоемов (задачи 594—612) . . . . .	157
§ 43. Теоретические законы распространения колебаний температуры в почве (задачи 613—649) . . . . .	166
§ 44. Поток тепла в почве (задачи 650—659) . . . . .	173
<b>Глава VIII. Тепловой режим нижнего слоя атмосферы . . . . .</b>	<b>181</b>
§ 45. Изменения температуры воздуха во времени и в пространстве (задачи 661—701) . . . . .	—
§ 46. Факторы, определяющие тепловой режим нижнего слоя атмосферы (задачи 702—720) . . . . .	195

Приложения

1. Уравнение времени в 1968 г. . . . .	200
2. Склонение солнца в истинный полдень в 1968 г. . . . .	201
3. Номограмма М. Е. Набокова для широты $59^{\circ} 18'$ . . . . .	вкл.
4. Поправки для приведения показаний барометра к ускорению силы тяжести на широте $45^{\circ}$ . . . . .	202
5. Поправки для приведения показаний барометра к ускорению силы тяжести на уровне моря . . . . .	204
6. Значения $1 + \sigma t$ . . . . .	205
7. Таблица для перевода $кал/(см^2 \cdot мин)$ в $вт/м^2$ . . . . .	206
8. Таблица Бемпорада для определения числа масс, пройденных лучами при разной высоте солнца . . . . .	—
9. Поправки $\Delta S$ для приведения измеренных $S$ к среднему расстоянию между Землей и Солнцем . . . . .	207
10. Сокращенная таблица для приведения $S_p$ к $h_{\odot} = 30^{\circ}$ . . . . .	208
11. Коэффициент прозрачности, приведенный к $m=2$ , при разных $S_p, 30^{\circ}$ . . . . .	209
12. Фактор мутности $T$ при разных $S_p, 30^{\circ}$ . . . . .	—
13. Относительная излучательная способность (коэффициент серости) некоторых видов деятельного слоя (по В. Л. Гаевскому) . . . . .	210
14. Значения $\sigma T^4$ в $кал/(см^2 \cdot мин)$ при разных температурах в $^{\circ}C$ . . . . .	—
15. Произведения $t_i \Delta t_i$ при $\Delta t_i$ от 0,1 до $10,0^{\circ}C$ . . . . .	211
Ответы к задачам . . . . .	212

Бройдо Александр Григорьевич

ЗАДАЧНИК ПО ОБЩЕЙ МЕТЕОРОЛОГИИ, часть I

Отв. редакторы: Л. Т. Матвеев и М. Е. Каулина

Редактор Л. К. Сурыгина

Художник Б. А. Быков. Худож. редактор И. Н. Кошаровский  
Технич. редактор М. И. Брайнина. Корректор В. С. Игнатова

Сдано в набор 19/VI 1970 г. Подписано к печати 10/XII 1970 г. М-12580  
Формат бумаги  $60 \times 90^{1/16}$ . Бум. тип. № 1. Бум. л. 7+1 вкл. Печ. л. 14,5. Уч.-изд. л. 14,92.  
Тираж 4200 экз. Индекс МЛ-245. Заказ 340. Цена 72 коп.

Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, В-53, 2-я линия, д. 23.  
Ленинградская типография № 8 Главполиграфпрома Комитета по печати  
при Совете Министров СССР. Ленинград, Прачечный пер., д. 6.

