

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

06  
т 28

ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ  
имени А. И. ВОЕЙКОВА

ТРУДЫ

ВЫПУСК 196

ПРОБЛЕМЫ  
СПУТНИКОВОЙ  
МЕТЕОРОЛОГИИ

Под редакцией  
В. Л. ГАЕВСКОГО и К. С. ШИФРИНА

БИБЛИОТЕКА  
Ленинградского  
Гидрометеорологического  
Института



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1966

191807

В сборник включены работы, выполненные в 1963—1964 гг. в ГГО в новом направлении метеорологии — спутниковой метеорологии, а также оптические исследования, выполненные в связи с задачей интерпретации измерений с метеорологических спутников Земли. Рассматриваются вопросы интерпретации данных, получаемых со спутников, исследуются закономерности радиационных процессов системы Земля — атмосфера, решаются некоторые вспомогательные задачи.

Сборник рассчитан на специалистов в области метеорологии и смежных наук.

К. Я. КОНДРАТЬЕВ, Е. П. НОВОСЕЛЬЦЕВ,  
Н. Е. ТЕР-МАРКАРЯНЦ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ОБЛАКОВ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Рассматриваются факторы, определяющие погрешности в измерении температуры подстилающей поверхности и облаков с искусственных спутников Земли в различных спектральных интервалах (3,5—4,0; 8,0—12,0 мк).

На основании расчета радиационной температуры для 25 пунктов СССР в различные сезоны предлагаются наиболее вероятные поправки к температуре подстилающей поверхности, измеренной с метеорологических спутников.

Использование искусственных спутников Земли дает возможность определять в масштабе всей планеты ряд величин, необходимых для прогноза погоды и климата.

Одной из задач, которую можно решить с помощью метеорологических спутников, является определение температуры подстилающей поверхности и облаков путем измерения величины уходящей радиации в тех спектральных интервалах, где искажающее влияние атмосферы минимально.

К таким спектральным интервалам относятся так называемые «окна прозрачности» атмосферы, расположенные в пределах 3,5—4,0 и 8—12 мк.

Целью данной работы является, во-первых, рассмотрение вопроса о том, какой из спектральных интервалов является наиболее выгодным для измерения температуры подстилающей поверхности, и, во-вторых, оценка возможных погрешностей измерения температуры подстилающей поверхности в реальных условиях.

Для оценки точности определения температуры подстилающей поверхности при помощи радиометров в различных спектральных интервалах авторами были рассчитаны величины уходящей радиации, по которым определялась радиационная температура, измеряемая спутником при наиболее характерных метеорологических условиях для большого числа пунктов Советского Союза, расположенных в различных климатических районах.

Определение уходящей радиации производилось по известной формуле

$$I_{yx} = I_0 P(\omega^*) + \int_{P(\omega^*)}^1 I [T(P(\omega))] dP(\omega), \quad (1)$$

где  $I_{yx}$  — величина интенсивности уходящей радиации,  $I_0$  — интенсивность излучения черного тела при температуре подстилающей поверхности,  $P(\omega)$  — функция пропускания радиации,  $\omega$  — эффективное содержание поглощающей субстанции в столбе атмосферы от данного уровня до верхней границы атмосферы,

$$\omega = \omega_{\text{ист}} \left( \frac{p}{p_0} \right)^{0,8},$$

где  $\omega_{\text{ист}}$  — фактическое содержание водяного пара,  $p$  — давление на рассматриваемом уровне,  $p_0$  — давление у поверхности земли,  $\omega^*$  — эффективное содержание поглощающей субстанции в слое от уровня земли до верхней границы атмосферы.

Расчет по формуле (1) производился численным методом.

Величина интеграла  $\int IdP$  обычно определяется методом прямоугольников, т. е. вся атмосфера разбивается на достаточно большое число слоев, в каждом из которых температура считается постоянной. Такие расчеты оказываются весьма трудоемкими.

В целях упрощения расчетов при вычислении указанного интеграла был применен метод Гаусса (квадратурный метод наивысшей точности). В этом случае интеграл заменяется соответствующей суммой

$$\int_{P(\omega^*)}^1 IdP = [1 - P(\omega^*)] \sum_{k=1}^n A_k I[P_k], \quad (2)$$

где

$$P_k = P(\omega^*) + [1 - P(\omega^*)] x_k$$

узлы интерполяции, которые являются корнями полинома Лежандра степени  $n$ ,  $A_k$  — веса квадратуры.

Величины  $x_k$  и  $A_k$  заимствованы из работы [4]. Функция пропускания для окна прозрачности 8—12 мк рассчитывалась по экспоненциальному закону

$$P(\omega) = e^{-k\omega}.$$

Для окна прозрачности 3,5—4,0 мк функция пропускания взята из работы [8]. Данный метод вычисления оказывается гораздо менее трудоемким по сравнению с методом прямоугольников при вполне удовлетворительной точности.

Как показывают расчеты, при определении  $I_{yx}$  по данному методу вполне достаточно использовать пять узлов. В ряде же случаев можно ограничиться лишь тремя узлами.

О точности используемого метода можно судить по данным расчетов интенсивности уходящей радиации, приведенным в табл. 1, где в графе 2 указаны величины интенсивности уходящей радиации, рассчитанные по 20 узлам интерполяции (т. е. практически точные), в графе 3 — данные, вычисленные по пяти, и в 4 — по трем узлам.

Из рассмотрения таблицы видно, что ошибка в вычислении  $I_{yx}$  в указанных пунктах СССР при пяти узлах интерполяции не превышает 0,6%, при трех узлах она не превышает 1,1%. Следовательно, вычисление уходящей радиации при пяти узлах интерполяции обеспечивает вполне достаточную точность, для ряда же практических задач можно считать удовлетворительными расчеты, полученные при трех узлах.

Перейдем далее к рассмотрению основных факторов, влияющих на

Т а б л и ц а 1

Величины интенсивности уходящей радиации,  
определенные по формуле (2)

| Пункт              | $n = 20$ | $n = 5$ | $n = 3$ | $\delta_5$ (%) | $\delta_3$ (%) |
|--------------------|----------|---------|---------|----------------|----------------|
| Киев . . . . .     | 3,254    | 3,270   | 3,285   | 0,5            | 0,9            |
| Алма-Ата . . . . . | 3,416    | 3,429   | 3,439   | 0,4            | 0,7            |
| Баку . . . . .     | 3,524    | 3,536   | 3,562   | 0,3            | 1,0            |
| Тбилиси . . . . .  | 3,476    | 3,497   | 3,515   | 0,6            | 1,1            |

точность измерения температуры подстилающей поверхности со спутников. Зная величину уходящего излучения, измеренную со спутника, мы можем определить ошибку в определении температуры подстилающей поверхности, получаемую вследствие искажающего влияния атмосферы.

Нетрудно показать, что ошибка  $\Delta T$ , обусловленная влиянием атмосферы, определяется следующим простым соотношением:

$$\Delta T = - \frac{T_{п.п}}{n(T_{п.п})} \ln \psi, \quad (3)$$

где  $T_{п.п}$  — температура подстилающей поверхности,  $n(T_{п.п})$  — показатель степени, определяющий зависимость излучения черного тела в данном спектральном интервале от температуры,  $\psi = \frac{I_{yx}}{I_0}$ .

Действительно, так как интенсивность излучения в данном спектральном диапазоне пропорциональна  $T^n$ , то

$$I_0 = g T_0^{n_0(\Delta\lambda)}.$$

С другой стороны,

$$T_{рад} = T_0 - \Delta T,$$

поэтому

$$I_{yx} = g [T_0 - \Delta T]^n = g T_0^n \left[ 1 - \frac{\Delta T}{T_0} \right]^n.$$

Обычно в тех спектральных интервалах, где  $T_{п.п}$  определяется радиационным методом,  $T_{рад}$  не очень сильно отличается от  $T_0$ , и с достаточной степенью точности можно считать

$$n_0(\Delta\lambda) = n_1(\Delta\lambda) = n(\Delta\lambda).$$

Поэтому

$$I_{yx} = g [T_0 - \Delta T]^n = g T_0^n \left[ 1 - \frac{\Delta T}{T_0} \right]^n,$$

т. е.

$$I_{yx} = I_0 \left[ 1 - \frac{\Delta T}{T} \right]^n$$

или

$$\frac{I_{yx}}{I_0} = \psi = \left[ 1 - \frac{\Delta T}{T} \right]^n.$$

Отсюда

$$\ln \psi = -n(\Delta\lambda) \ln \left[ 1 - \frac{\Delta T}{T} \right].$$

Так как  $\frac{\Delta T}{T} \ll 1$ , то

$$\ln \left[ 1 - \frac{\Delta T}{T} \right] \approx -\frac{\Delta T}{T},$$

и окончательно

$$\Delta T = -\frac{T}{n(\Delta\lambda)} \ln \psi.$$

В табл. 2 приводятся значения  $n$  в зависимости от длины волны и температуры [11].

Таблица 2

Значения показателя степени  $n$  при различной температуре черного тела  $T$  в зависимости от длины волны  $\lambda$

| $\lambda$ мк | $T$  |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
|              | 213  | 233  | 253  | 273  | 293  | 313  |
| 2,5          | 27,1 | 24,8 | 22,8 | 21,1 | 19,8 | 18,5 |
| 3,0          | 22,6 | 20,6 | 19,0 | 17,6 | 16,4 | 15,4 |
| 4,0          | 16,9 | 15,5 | 14,3 | 13,2 | 12,3 | 11,5 |
| 5,0          | 13,6 | 12,4 | 11,4 | 10,6 | 9,9  | 9,2  |
| 6,0          | 11,3 | 10,3 | 9,5  | 8,8  | 8,2  | 7,7  |
| 7,0          | 9,7  | 8,6  | 8,2  | 7,6  | 7,0  | 6,6  |
| 8,0          | 8,5  | 7,8  | 7,1  | 6,6  | 6,2  | 5,8  |
| 9,0          | 7,5  | 6,9  | 6,3  | 5,9  | 5,5  | 5,1  |
| 10,0         | 6,8  | 6,2  | 5,7  | 5,3  | 4,9  | 4,6  |
| 12,0         | 5,6  | 5,2  | 4,8  | 4,4  | 4,1  | 3,8  |
| 15,0         | 4,5  | 4,1  | 3,8  | 3,5  | 3,3  | 3,1  |

Таким образом, из формулы (3) видно, что ошибка в определении температуры подстилающей поверхности определяется не только тем, насколько сильно ослабляет атмосфера излучение земли, но и зависит от того, на каком спектральном участке ведется измерение ( $n$  является функцией длины волны и при постоянной температуре обратно пропорционально длине волны).

Рассмотрим зависимость точности определения температуры подстилающей поверхности радиометрическим методом от влагосодержания атмосферы на спектральных участках 3,5—4,0 и 10,55—12,0 мк. Расчеты производились при предположении, что температура воздуха изменяется по высоте с постоянным температурным градиентом 6 град/км, содержание водяного пара изменяется согласно закону Гана,  $T_0$  равно 273° К. Функция пропускания радиации на отдельных участках коротковолнового окна 3,5—4,0 мк приведена в табл. 3 [8].

Функции пропускания радиации водяным паром в окне 8—12 и 10,55—12,0 мк были взяты в виде экспоненты  $P(\omega) = e^{-k\omega}$ , где  $k = 0,10$ . Пропускание радиации озоном на участке 9,6—10,1 мк было заимствовано из работ [5, 10].

Результаты расчета представлены на рис. 1. На рисунке видно, что погрешность в определении температуры подстилающей поверхности на участке 3,5—4,0 мк оказывается значительно меньшей, чем на участке 10,55—12,0 мк. Это объясняется тем, что на первом участке

Таблица 3

Функция пропускания излучения атмосферным водяным паром на уровне моря

| $\lambda$ мк | Количество осажденной воды, см |       |       |       |       |       |       |
|--------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 0,01                           | 0,1   | 0,5   | 1     | 2     | 5     | 10    |
| 3,5          | 0,988                          | 0,962 | 0,915 | 0,881 | 0,832 | 0,736 | 0,635 |
| 3,6          | 0,994                          | 0,982 | 0,958 | 0,947 | 0,916 | 0,866 | 0,812 |
| 3,7          | 0,997                          | 0,988 | 0,972 | 0,960 | 0,944 | 0,911 | 0,874 |
| 3,8          | 0,998                          | 0,994 | 0,986 | 0,980 | 0,972 | 0,956 | 0,937 |
| 3,9          | 0,998                          | 0,994 | 0,986 | 0,980 | 0,972 | 0,956 | 0,937 |
| 4,0          | 0,997                          | 0,990 | 0,977 | 0,970 | 0,960 | 0,930 | 0,900 |
| 4,1          | 0,997                          | 0,988 | 0,972 | 0,960 | 0,944 | 0,911 | 0,874 |
| 4,2          | 0,994                          | 0,982 | 0,958 | 0,947 | 0,916 | 0,866 | 0,812 |

поглощение радиации водяным паром, существенно меньше и весьма велики значения показателя  $n$  ( $\Delta\lambda$ ).

Приведенные выше погрешности относятся к тому случаю, когда предполагается, что величина интенсивности уходящего излучения известна нам совершенно точно, т. е. ошибка измерения равна нулю.

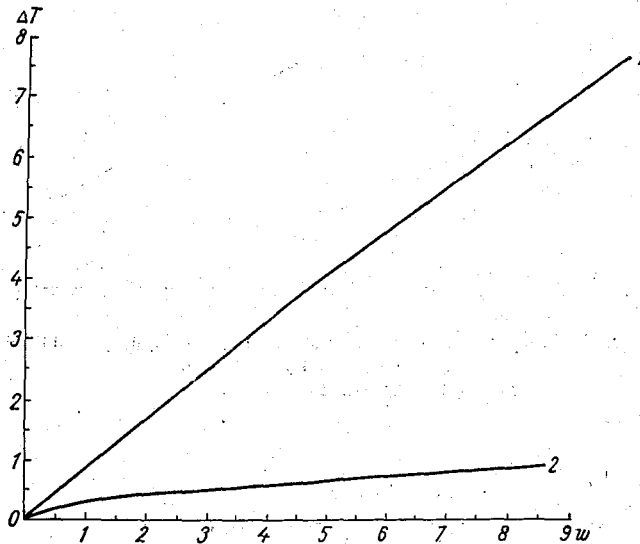


Рис. 1. Зависимость величины  $\Delta T$  от эффективного содержания водяного пара в атмосфере.

1 —  $10,55 \div 12,0$  мк, 2 —  $3,5 \div 4,0$  мк.

К сожалению, точность измерений со спутников в настоящее время еще не очень высока. Поэтому необходимо учитывать возможные ошибки в определении температуры подстилающей поверхности, которые возникнут из-за погрешности эксперимента.

Оценим теперь ошибки в определении температуры подстилающей поверхности, обусловленные погрешностями эксперимента, определим выражение для этой погрешности с учетом ошибки измерения уходящей радиации.

Пусть  $\Delta I$  абсолютная погрешность в определении интенсивности уходящего излучения,

Тогда

$$\psi_{\text{факт}} = \frac{I_{\text{ист}} \pm \Delta I}{I_0}.$$

Будем рассматривать только худший случай, т. е. тот, когда измерения дают заниженное значение уходящей радиации.

В этом случае

$$\psi_{\text{факт}} = \frac{I_{\text{ист}} - \Delta I}{I_0}.$$

Относительная погрешность измерений

$$\frac{\Delta I}{I_{yx}} = \delta.$$

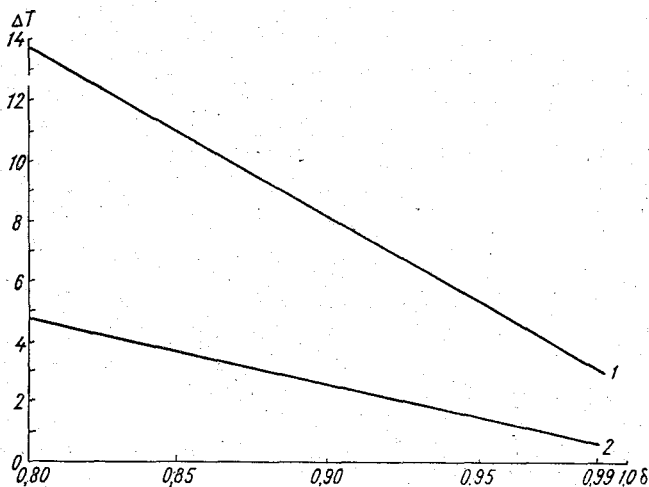


Рис. 2. Погрешность в определении  $T_{\text{п.п}}$  при различной степени черноты последней.

1 — 10,55 ÷ 12,0 мк, 2 — 3,5 ÷ 4,0 мк.

Отсюда

$$\frac{\Delta I}{I_0} = \frac{\delta I_{\text{ист}}}{I_0} = \delta \psi_{\text{ист}},$$

$$\psi_{\text{факт}} = \psi_{\text{ист}} (1 - \delta).$$

Следовательно,

$$\Delta T = \frac{-T_{\text{п.п}}}{n} \ln [\psi (1 - \delta)].$$

Если  $\delta \leq 20\%$ , то

$$\Delta T = \frac{-T}{n} \{ \ln \psi - |\delta| \}.$$

Таким образом, ошибка в определении температуры подстилающей поверхности пропорциональна относительной погрешности измерения и обратно пропорциональна величине показателя  $n$ .

На рис. 2 представлена зависимость величин  $\Delta T$  от  $\delta$  для рассмотренных ранее спектральных интервалов.



При расчете принималось, что  $T_{п.п}$  равна  $273^\circ \text{K}$ , изменение температуры с высотой происходит с постоянным градиентом —  $6^\circ \text{град/км}$ , плотность водяного пара убывает согласно закону Гана и общее влагосодержание атмосферы равно  $3 \text{ г/см}^2$ .

Как видно на рисунке, ошибки в определении  $T$ , возникающие вследствие погрешности измерения радиационных потоков в окне  $10,55\text{—}12,0 \text{ мк}$ , в несколько раз превышают соответствующую погрешность при измерении в интервале  $3,5\text{—}4,0 \text{ мк}$ .

Рассмотрим теперь вопрос о том, какую ошибку мы получим, если будем измерять радиационным методом температуру поверхности, чернота которой будет отлична от 1.

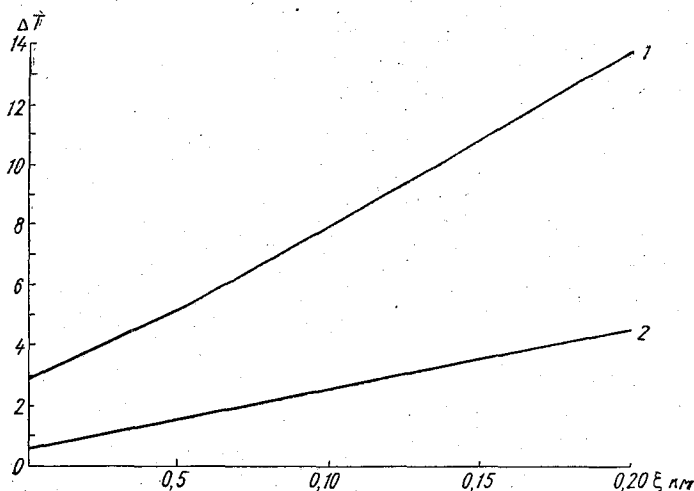


Рис. 3. Зависимость погрешности в определении  $T_{п.п}$  от величины относительной ошибки измерений.

1 —  $10,55\text{—}12,0 \text{ мк}$ , 2 —  $3,5\text{—}4,0 \text{ мк}$ .

В соответствии с рядом теоретических и экспериментальных работ [1, 6, 7], степень черноты реальных излучающих объектов заметно отличается от 1. Вследствие этого радиационная температура данного тела может довольно существенно отличаться от его истинной температуры. Естественно, что при одной и той же степени черноты объекта в различных спектральных интервалах разница между радиационной и истинной температурами будет неодинакова.

Поскольку при измерении  $T$  со спутника степень черноты подстилающей поверхности неизвестна, предпочтительнее работать в тех спектральных интервалах, где отклонение степени черноты от 1 наименьшим образом будет влиять на точность определения истинной температуры подстилающей поверхности. На рис. 3 представлена зависимость погрешности, получаемой при измерении температуры подстилающей поверхности в спектральных интервалах  $3,5\text{—}4,0$  и  $10,55\text{—}12,0 \text{ мк}$ .

На рисунке видно, что погрешность в определении  $T_{п.п}$  в спектральном интервале  $3,5\text{—}4,0 \text{ мк}$  оказывается значительно меньшей, чем в области атмосферного окна  $10,55\text{—}12,0 \text{ мк}$ .

В заключение остановимся на следующем практически важном вопросе. При определении  $T_{п.п}$  в глобальном масштабе в ряде случаев подстилающая поверхность будет покрыта частичной облачностью. Если количество облачности невелико и размеры облачных ячеек не превы-

шают 2—3 км (например,  $\text{Cu hum.}$ ,  $\text{Cu fr.}$  и т. д.), то в поле зрения радиометра будет находиться какое-то количество облаков, обнаружить присутствие которых со спутника часто не будет представляться возможным. Однако на показания радиометров эта частичная облачность будет влиять, что приведет к тому, что измеренная температура поверхности окажется ниже истинной.

В связи с этим авторами произведена оценка влияния частичной облачности на точность определения температуры подстилающей поверхности в различных спектральных интервалах.

На рис. 4 представлена зависимость погрешности определения  $T_{\text{п.п}}$  при различном количестве облачности в поле зрения радиометра в интервалах 3,5—4,0 и 10,55—12,0 мк.

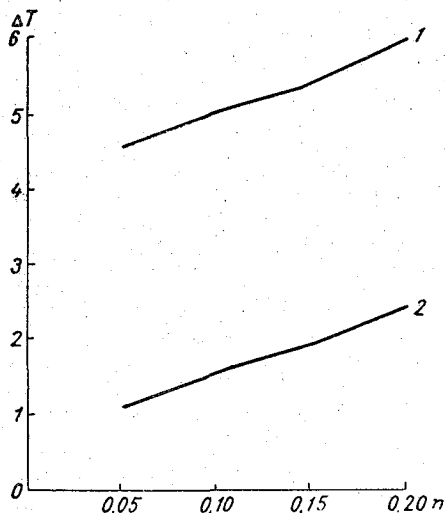


Рис. 4. Связь ошибки в определении  $T_{\text{п.п}}$  с количеством облачности в поле зрения радиометра.

1 — 10,55 ÷ 12,0 мк, 2 — 3,5 ÷ 4,0 мк.

На рисунке видно, что и в этом случае следует отдать предпочтение более коротковолновому окну прозрачности.

Из всего сказанного выше видно, что измерение температуры подстилающей поверхности в окне прозрачности 3,5—4,0 мк обладает рядом несомненных преимуществ по сравнению с измерением в области 10,55—12,0 мк. Аналогичные выводы можно сделать и относительно всего окна в целом (т. е. 8—12 мк).

Однако прежде чем делать окончательный вывод о целесообразности использования именно этого интервала для определения температуры подстилающей поверхности с метеорологических спутников, необходимо рассмотреть следующие три вопроса:

а) смогут ли существующие радиометры с достаточно малым углом зрения измерить в интервале 3,5—4,0 мк энергию при наземных температурах;

б) не возникнет ли значительных трудностей при конструировании аппаратуры в связи с сильной изменчивостью интенсивности в интервале 3,5—4,0 мк вследствие изменения температуры;

в) насколько сильно будет влиять на измерения температуры в области 3,5—4,0 мк рассеянная земной поверхностью и атмосферой солнечная радиация?

Остановимся на рассмотрении этих вопросов.

а) В связи с тем, что спектральный интервал 3,5—4,0 мк сравнительно узок и расположен в той части планковской кривой, где при наземных температурах сосредоточено сравнительно мало энергии, возникает вопрос о том, можно ли измерить эту энергию существующими радиометрами.

В табл. 4 приведены величины излучения черного тела в интервале 3,5—4,0 мк, измеряемые радиометром с различными углами зрения  $\theta^\circ$ .

Из таблицы видно, что при температуре подстилающей поверхности  $250^\circ\text{K}$  и выше измерение существующими приемниками радиации даже с малыми углами зрения не представляет трудности. Так, например,

Таблица 4

Величины излучения черного тела (вт/см<sup>2</sup>) в интервале длин волн 3,5—4,0 мк, измеряемые радиометром с различными углами зрения  $\vartheta^\circ$

| T° K | $\vartheta$           |                       |                      |                      |                      |                      |
|------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|      | 1                     | 2                     | 3                    | 4                    | 5                    | 10                   |
| 233  | $1,67 \cdot 10^{-10}$ | $6,67 \cdot 10^{-10}$ | $1,48 \cdot 10^{-9}$ | $2,66 \cdot 10^{-9}$ | $4,14 \cdot 10^{-9}$ | $1,67 \cdot 10^{-8}$ |
| 253  | $6,10 \cdot 10^{-10}$ | $2,48 \cdot 10^{-9}$  | $5,57 \cdot 10^{-9}$ | $9,90 \cdot 10^{-9}$ | $1,53 \cdot 10^{-8}$ | $6,10 \cdot 10^{-8}$ |
| 273  | $1,86 \cdot 10^{-9}$  | $7,44 \cdot 10^{-9}$  | $1,67 \cdot 10^{-8}$ | $2,97 \cdot 10^{-8}$ | $4,61 \cdot 10^{-8}$ | $1,86 \cdot 10^{-7}$ |
| 293  | $4,88 \cdot 10^{-9}$  | $1,95 \cdot 10^{-8}$  | $4,39 \cdot 10^{-8}$ | $7,80 \cdot 10^{-8}$ | $1,21 \cdot 10^{-7}$ | $4,88 \cdot 10^{-7}$ |

фотосопротивление PbTe имеет пороговую чувствительность порядка  $10^{-11}$  вт. Если приемная поверхность фотосопротивления равна  $10^{-2}$  см<sup>2</sup>, а площадь фокусирующего зеркала 200—300 см<sup>2</sup>, то измеряемая величина радиации при угле зрения радиометра 3° будет превышать пороговое значение на несколько порядков. Однако при более низких температурах вследствие быстрого убывания интенсивности с понижением температуры излучающей поверхности величина измеряемой энергии будет близка к значению пороговой чувствительности приемников радиации и поэтому здесь будут возможны большие погрешности измерений.

Следовательно, при низких температурах в настоящее время целесообразно измерять температуру подстилающей поверхности в окне 10,55—12 мк, тем более что при низких температурах подстилающей поверхности содержание водяного пара в атмосфере очень незначительно и, следовательно, его искажающее влияние будет невелико.

б) Как следует из приведенной выше табл. 4, в спектральном интервале, соответствующем коротковолновому окну прозрачности атмосферы 3,5—4,0 мк, имеет место чрезвычайно сильная изменчивость величины излучения с изменением температуры. Так, например, интенсивность излучения, соответствующая температуре излучателя 293° K, почти на два порядка величины превышает интенсивность, соответствующую температуре излучателя 233° K (при этом, естественно, наиболее быстрое изменение происходит в области низких температур). Столь сильная изменчивость интенсивности создает дополнительные трудности при конструировании аппаратуры, так как вряд ли возможно надежно измерить одним приемником (без введения дополнительных ослабителей или диафрагм или изменения чувствительности радиометра) столь сильно изменчивую радиацию. Поэтому при низких температурах выгоднее производить измерение температуры в окне 8—12 или 10,55—12,0 мк. Однако при достаточно высоких температурах подстилающей поверхности, например выше 0° C, изменчивость излучения сравнительно невелика и весь диапазон изменения интенсивности вполне может быть охвачен шкалой одного приемника. Следовательно, при достаточно высоких температурах использование диапазона 3,5—4,0 мк представляется вполне целесообразным, особенно учитывая то обстоятельство, что в атмосфере над теплой подстилающей поверхностью, как правило, содержится значительное количество водяного пара.

в) Наконец, рассмотрим вопрос о том, насколько сильное влияние может оказать на измерение температуры подстилающей поверхности рассеянная земной поверхностью и атмосферы солнечная радиация.

Сравним для этого величину солнечной радиации в интервале 3,5—4,0 мк и тепловую радиацию Земли при различных температурах.

Согласно данным работы [9], излучение Солнца на участке спектра 3,5—4,0 мк составляет  $6,05 \cdot 10^{-3}$  вт/см<sup>2</sup>. Если предположить, что альбедо системы земная поверхность — атмосфера равно 20%, то отраженная солнечная радиация (при Солнце в зените) будет превышать тепловое излучение подстилающей поверхности в зависимости от ее температуры в следующее число раз:

|                                 |      |      |     |      |
|---------------------------------|------|------|-----|------|
| $T^{\circ} \text{ К} \dots$     | 233  | 253  | 273 | 293  |
| $I_{\odot}/I_{\text{ух}} \dots$ | 57,0 | 15,5 | 5,8 | 1,97 |

Из приведенной таблицы следует, что определение температуры подстилающей поверхности днем в интервале 3,5—4,0 мк оказывается невозможным из-за сильного искажающего влияния отраженной радиации.

Резюмируя все сказанное выше, можно сделать следующие выводы.

1. Измерение температуры подстилающей поверхности на ночной стороне Земли при не очень низких температурах (порядка 0° С и выше) выгоднее производить в спектральном интервале 3,5—4,0 мк.

2. При достаточно низких температурах подстилающей поверхности интервалы 10,55—12,0 и 8—12 мк оказываются более удобными по сравнению с интервалом 3,5—4,0 мк.

3. В дневное время, когда возможна подсветка прибора отраженной от Земли солнечной радиацией, измерение температуры подстилающей поверхности оказывается возможным лишь на более длинноволновых участках спектра (10,55—12,0; 8—12 мк).

Таким образом, оказывается, что несмотря на то, что по целому ряду качеств интервалы 10,55—12,0 и 8—12 мк уступают более коротковолновому окну 3,5—4,0 мк, они являются более универсальными и измерения температуры подстилающей поверхности можно производить в них практически во всех условиях. Интервал же 3,5—4,0 мк оказывается очень выгодным при измерении температуры подстилающей поверхности на ночной стороне Земли.

Перейдем далее к оценке точности измерения температуры подстилающей поверхности и облаков в реальных метеорологических условиях в различных географических районах Советского Союза в разное время года.

В связи с тем, что в дневное время суток, как показано выше, оказывается более выгодным производить измерения температуры в диапазоне 8—12 мк, а главное, учитывая то обстоятельство, что в настоящее время измерения температуры подстилающей поверхности производятся именно в этом диапазоне [2], определим ошибку измерения температуры подстилающей поверхности и облаков во всем окне прозрачности атмосферы 8—12 мк и в интервале 10,55—12,0 мк, где отсутствует поглощение радиации озоном.

Для определения наиболее вероятных ошибок измерений температуры подстилающей поверхности и облаков авторами были произведены расчеты наиболее вероятных величин уходящей радиации, приходящей к верхней границе атмосферы как от безоблачных районов, так и от облаков нижнего яруса, для различных районов Советского Союза в различное время года. Для расчета этих величин необходимо знать типичные для района в данное время года величины температуры подстилающей поверхности, распределение температуры и влажности воздуха по высоте, высоту облачности и температуру облаков. Средневно-

голетние величины температуры поверхности почвы были определены для всех месяцев года путем осреднения данных таблиц ТМ-1 и ТМ-3 [3] для 24 городов СССР. Среднеголетние величины дневных и ночных температур верхней границы облаков, а также высоты верхней границы облаков были получены для всех месяцев года в результате осреднения данных самолетных зондирований для 24 городов СССР.

Характерные данные о распределении температуры и влажности воздуха по высоте для всех месяцев года в каждом из рассматриваемых пунктов были получены путем осреднения данных самолетного зондирования [3].

Расчет величин интенсивности уходящей радиации производился по вышеописанной методике.

В результате расчета были получены величины интенсивности уходящей радиации  $I_{ух}$  при безоблачном небе и при облаках нижнего яруса для 24 городов Советского Союза за все месяцы.

На результатах расчетов величин уходящей радиации при облаках среднего и верхнего ярусов авторы здесь не останавливаются, так как вследствие нечерноты этих облаков определение их температуры со спутника становится крайне ненадежным.

По рассчитанным величинам  $I_{ух}$  в интервале 8—12 и 10,55—12,0 мк были определены величины радиационной температуры  $T_{рад}$  как подстилающей поверхности, так и облаков нижнего яруса за все месяцы для 24 городов СССР. Эти данные приведены в таблицах 5—8 и сравнены с фактической температурой подстилающей поверхности и облаков.

В таблицах 9—12 представлены разности  $\Delta T$  между фактической температурой подстилающей поверхности и облаков и их радиационной температурой, которые характеризуют ошибку в измерении температуры подстилающей поверхности радиационным методом (если не вводить поправку, учитывающую влияние промежуточного слоя атмосферы).

Из рассмотрения табл. 9 видно, что в интервале длин волн 8—12 мк разности между фактической и радиационной температурами подстилающей поверхности  $\Delta T_{пов}$  составляют в зимние месяцы 7—8°, в летние месяцы ночью 9—10°, а днем 12—17°.

Разность  $\Delta T_{обл}$  между фактической и радиационной температурами облаков нижнего яруса (см. табл. 10) составляет в среднем 7—8° и почти не зависит от времени года. В ряде пунктов наблюдается незначительное увеличение величины  $\Delta T_{обл}$  в летние месяцы.

В таблицах 11—12 представлены разности между фактической и радиационной температурами земли и облаков в интервале 10,55—12,0 мк. В этом интервале разница между фактической температурой подстилающей поверхности и ее радиационной температурой значительно меньше (табл. 11). В зимние месяцы  $\Delta T_{пов}'$  составляет в среднем 0,5—1,0°, а в летние месяцы ночью 1,5—2,0°, а днем 3—6°.

Величины  $\Delta T_{обл}'$  составляют в интервале 10,55—12,0 мк в среднем 0,3—0,5°, не превышая летом, как правило, 1° (табл. 12).

На рис. 5 представлен для примера годовой ход величин  $\Delta T_{пов}$  ( $\Delta T_{пов}'$ ) для безоблачной атмосферы в окне прозрачности 8—12 и 10,55—12,0 мк для района Харькова.

На рис. 6 представлены аналогичные кривые  $\Delta T_{обл}$  ( $\Delta T_{обл}'$ ) при наличии облачности нижнего яруса. Сплошной линией изображена их величина за разные месяцы в дневные часы, пунктирной — в ночные часы суток.

Таблица 5

Радиационная температура подстилающей поверхности в интервале 8—12 мк  
днем (1-я строка) и ночью (2-я строка)

| Город       | I              | II             | III            | IV             | V              | VI             | VII            | VIII           | IX             | X              | XI             | XII            |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Куйбышев    | 254,8<br>251,7 | 256,2<br>250,4 | 262,7<br>255,7 | 277,3<br>265,3 | 293,0<br>272,5 | 296,3<br>276,7 | 298,3<br>277,8 | 295,7<br>277,1 | 286,1<br>272,8 | 274,0<br>266,9 | 263,4<br>259,6 | 257,9<br>255,7 |
| Баку        | 268,8<br>262,2 | 270,2<br>261,9 | 274,0<br>263,9 | 286,5<br>270,4 | 292,8<br>274,5 | 297,5<br>278,0 | 299,8<br>281,2 | 299,6<br>280,9 | 290,1<br>277,0 | 282,9<br>272,9 | 274,5<br>268,4 | 271,2<br>264,4 |
| Тбилиси     | 272,9<br>263,4 | 276,0<br>263,7 | 280,9<br>267,2 | 291,3<br>272,4 | 298,6<br>276,3 | 302,6<br>280,2 | 306,5<br>283,3 | 305,8<br>283,1 | 296,8<br>278,7 | 288,9<br>273,5 | 277,8<br>269,7 | 272,9<br>264,2 |
| Омск        | 249,9<br>246,2 | 252,7<br>246,2 | 259,7<br>248,9 | 273,2<br>261,9 | 287,5<br>269,9 | 295,7<br>274,5 | 293,3<br>276,4 | 290,8<br>275,0 | 283,8<br>271,4 | 272,4<br>264,7 | 259,7<br>256,2 | 251,1<br>248,7 |
| Иркутск     | 248,2<br>240,6 | 252,2<br>239,9 | 262,9<br>248,7 | 274,0<br>261,9 | 285,8<br>266,9 | 292,5<br>273,5 | 292,8<br>276,3 | 290,0<br>274,5 | 284,5<br>268,8 | 274,3<br>262,4 | 259,2<br>250,6 | 249,2<br>242,9 |
| Алма-Ата    | 262,8<br>253,4 | 264,9<br>255,7 | 272,5<br>262,4 | 287,3<br>270,3 | 294,0<br>274,1 | 299,6<br>277,5 | 305,8<br>280,9 | 305,8<br>279,7 | 300,0<br>275,6 | 286,8<br>269,4 | 271,0<br>260,7 | 263,7<br>255,7 |
| Сыктывкар   | 250,9<br>249,4 | 252,1<br>248,8 | 259,4<br>252,2 | 267,4<br>260,4 | 277,6<br>267,2 | 287,6<br>273,1 | 287,3<br>274,0 | 285,6<br>274,6 | 275,6<br>270,6 | 267,4<br>264,4 | 258,2<br>256,9 | 253,9<br>253,6 |
| Волгоград   | 260,2<br>257,2 | 260,7<br>254,5 | 267,2<br>258,4 | 284,1<br>268,9 | 295,3<br>274,5 | 300,3<br>279,2 | 303,4<br>281,9 | 300,4<br>280,7 | 292,5<br>274,5 | 279,9<br>270,3 | 268,8<br>262,7 | 262,7<br>260,2 |
| Харьков     | 260,9<br>258,4 | 261,2<br>256,6 | 266,9<br>260,7 | 281,4<br>268,8 | 292,0<br>273,5 | 296,3<br>276,8 | 297,3<br>278,4 | 296,1<br>288,8 | 288,0<br>273,5 | 276,1<br>268,8 | 267,7<br>263,7 | 263,2<br>201,4 |
| Одесса      | 266,2<br>262,4 | 268,9<br>262,7 | 273,5<br>264,2 | 286,3<br>270,4 | 295,1<br>275,3 | 300,3<br>278,7 | 303,1<br>281,2 | 300,4<br>280,7 | 294,0<br>276,3 | 280,4<br>272,5 | 273,1<br>269,4 | 269,9<br>265,7 |
| Новосибирск | 250,6<br>245,2 | 252,9<br>244,9 | 262,2<br>251,9 | 274,0<br>262,2 | 288,6<br>269,4 | 295,5<br>274,0 | 297,0<br>277,0 | 292,5<br>275,2 | 285,5<br>271,0 | 272,8<br>265,2 | 257,7<br>253,2 | 251,1<br>248,4 |
| Минск       | 260,2<br>258,2 | 260,7<br>256,2 | 265,6<br>258,2 | 276,7<br>266,8 | 286,8<br>272,1 | 291,5<br>275,6 | 292,0<br>276,8 | 290,0<br>277,1 | 284,0<br>272,9 | 271,1<br>268,9 | 266,7<br>264,2 | 262,4<br>260,9 |
| Киев        | 261,8<br>258,9 | 262,4<br>257,8 | 267,8<br>261,2 | 280,2<br>267,8 | 289,5<br>273,1 | 294,1<br>276,7 | 294,8<br>277,9 | 294,1<br>277,6 | 287,6<br>273,8 | 277,8<br>269,9 | 268,7<br>264,9 | 264,2<br>262,2 |
| Чита        | 247,9<br>235,6 | 254,5<br>237,9 | 266,2<br>248,9 | 280,7<br>260,2 | 291,3<br>266,4 | 295,4<br>274,3 | 292,5<br>276,8 | 290,8<br>275,0 | 285,1<br>269,2 | 274,0<br>263,7 | 258,9<br>248,7 | 248,7<br>239,9 |
| Рига        | 260,9<br>259,2 | 261,4<br>257,2 | 266,4<br>259,2 | 275,3<br>266,0 | 285,0<br>270,6 | 289,0<br>273,5 | 290,8<br>275,6 | 288,3<br>275,3 | 281,2<br>272,8 | 274,0<br>267,6 | 267,4<br>265,6 | 263,7<br>263,2 |
| Львов       | 262,2<br>260,2 | 263,2<br>258,4 | 269,4<br>262,2 | 276,1<br>267,7 | 284,3<br>272,1 | 289,0<br>275,3 | 290,5<br>277,0 | 288,0<br>276,7 | 284,3<br>273,1 | 277,3<br>270,2 | 269,7<br>266,0 | 265,3<br>262,9 |
| Актюбинск   | 255,2<br>250,2 | 255,2<br>248,7 | 261,4<br>252,7 | 276,7<br>264,9 | 294,0<br>272,5 | 298,3<br>276,7 | 300,7<br>278,9 | 300,8<br>277,6 | 292,0<br>273,1 | 277,3<br>266,4 | 263,9<br>258,2 | 257,4<br>253,2 |
| Свердловск  | 253,7<br>250,9 | 253,4<br>247,5 | 262,2<br>252,2 | 273,1<br>263,3 | 284,5<br>270,2 | 289,8<br>274,0 | 288,3<br>275,7 | 286,5<br>274,8 | 278,2<br>270,4 | 270,3<br>264,7 | 259,9<br>256,9 | 252,9<br>251,1 |
| Хабаровск   | 250,2<br>242,2 | 255,7<br>244,9 | 264,2<br>253,0 | 276,2<br>264,2 | 284,6<br>271,2 | 290,4<br>276,0 | 291,6<br>279,7 | 290,1<br>280,8 | 284,3<br>274,0 | 275,6<br>267,2 | 262,4<br>255,2 | 251,9<br>245,2 |
| Москва      | 256,6<br>254,0 | 258,2<br>252,7 | 263,7<br>256,9 | 274,3<br>265,2 | 284,7<br>271,0 | 289,0<br>274,6 | 290,4<br>276,4 | 287,3<br>275,6 | 278,9<br>272,4 | 272,1<br>268,1 | 263,4<br>261,4 | 259,4<br>258,2 |
| Ленинград   | 258,3<br>257,2 | 258,4<br>253,9 | 263,5<br>255,7 | 272,9<br>264,2 | 284,0<br>269,7 | 289,8<br>274,1 | 290,5<br>276,3 | 287,8<br>275,6 | 278,2<br>272,1 | 271,7<br>268,4 | 260,9<br>263,0 | 260,4<br>259,7 |
| Ашхабад     | 274,0<br>265,1 | 278,0<br>265,7 | 284,1<br>270,2 | 294,8<br>274,5 | 304,8<br>279,4 | 312,8<br>283,5 | 315,7<br>286,9 | 315,4<br>285,0 | 309,1<br>280,2 | 296,3<br>274,0 | 282,9<br>268,1 | 275,6<br>265,3 |
| Архангельск | 252,4<br>252,4 | 253,4<br>250,6 | 260,4<br>253,2 | 268,4<br>259,9 | 276,9<br>266,2 | 285,3<br>272,4 | 288,1<br>274,0 | 285,8<br>273,6 | 275,6<br>270,3 | 267,7<br>264,9 | 259,7<br>258,9 | 255,5<br>252,2 |
| Якутск      | —<br>—         | 234,9<br>—     | 249,9<br>233,5 | 265,2<br>249,2 | 283,5<br>264,7 | 294,2<br>272,4 | 294,6<br>275,3 | 291,5<br>273,3 | 281,9<br>266,7 | 261,2<br>253,4 | 239,9<br>236,3 | —<br>—         |

Таблица 6

Радиационная температура облаков нижнего яруса в интервале 8—12 мк  
днем (1-я строка) и ночью (2-я строка)

| Город       | I              | II             | III            | IV             | V              | VI             | VII            | VIII           | IX             | X              | XI             | XII            |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Куйбышев    | 255,7<br>251,7 | 252,4<br>252,9 | 255,4<br>256,6 | 257,2<br>260,9 | 261,2<br>261,9 | 265,7<br>266,4 | 268,4<br>270,3 | 265,6<br>268,9 | 262,4<br>266,0 | 262,2<br>263,0 | 258,0<br>258,7 | 256,4<br>254,5 |
| Баку        | 261,4<br>260,9 | 260,4<br>259,7 | 261,7<br>260,7 | 265,2<br>264,2 | 268,4<br>264,4 | —<br>—         | 278,9<br>275,0 | 277,0<br>276,8 | 273,1<br>273,3 | 269,4<br>270,3 | 265,2<br>266,0 | 264,2<br>262,9 |
| Тбилиси     | 258,7<br>259,7 | 257,2<br>257,2 | 256,9<br>258,4 | 262,9<br>263,7 | 261,4<br>265,6 | 268,1<br>268,1 | 269,9<br>271,9 | 268,5<br>272,4 | 268,1<br>270,1 | 265,8<br>264,7 | 258,7<br>261,0 | 258,7<br>258,4 |
| Омск        | 255,2<br>250,6 | 253,1<br>251,0 | 255,2<br>256,8 | 258,1<br>258,2 | 260,1<br>261,9 | 264,4<br>265,2 | 270,5<br>271,7 | 267,6<br>270,2 | 261,8<br>264,1 | 259,6<br>258,3 | 256,2<br>253,3 | 253,1<br>253,1 |
| Иркутск     | 247,1<br>245,4 | 243,4<br>244,5 | 249,8<br>252,3 | 252,8<br>252,6 | 257,8<br>253,6 | 267,8<br>268,3 | 272,6<br>270,7 | 270,7<br>268,8 | 263,3<br>262,8 | 254,7<br>255,6 | 249,3<br>250,1 | 245,8<br>248,3 |
| Алма-Ата    | 255,4<br>251,9 | 255,9<br>254,5 | 259,4<br>257,9 | 260,4<br>258,2 | 264,4<br>259,9 | 267,7<br>259,7 | 269,9<br>263,4 | 261,2<br>262,2 | 260,4<br>262,2 | 254,2<br>256,6 | 255,4<br>254,5 | 253,7<br>252,4 |
| Сыктывкар   | 248,4<br>—     | 243,2<br>—     | 256,6<br>254,6 | 255,9<br>259,2 | 255,2<br>259,2 | 263,9<br>267,4 | 265,6<br>271,0 | 266,2<br>269,2 | 264,2<br>264,9 | 261,2<br>260,4 | 250,2<br>—     | —<br>—         |
| Волгоград   | 255,5<br>264,6 | 258,1<br>257,1 | 255,3<br>257,1 | 261,8<br>260,3 | 265,9<br>267,3 | 267,3<br>271,3 | 266,2<br>—     | 271,4<br>273,8 | 264,3<br>264,5 | 264,1<br>262,8 | 260,6<br>262,1 | 257,6<br>257,1 |
| Харьков     | 258,1<br>257,8 | 256,8<br>256,1 | 257,8<br>257,1 | 259,8<br>259,6 | 261,1<br>263,3 | 268,0<br>268,2 | 270,1<br>272,0 | 268,8<br>273,3 | 264,3<br>268,7 | 263,8<br>264,6 | 259,8<br>259,1 | 258,3<br>258,8 |
| Одесса      | 257,6<br>256,1 | 258,1<br>255,8 | 257,6<br>257,8 | 260,8<br>265,1 | 268,0<br>265,6 | 268,7<br>—     | 274,5<br>—     | 266,3<br>—     | 270,2<br>274,6 | 268,0<br>268,3 | 261,1<br>258,8 | 260,3<br>258,6 |
| Новосибирск | 248,3<br>250,5 | 253,1<br>251,0 | 253,1<br>252,3 | 256,5<br>253,6 | 260,3<br>261,3 | 265,6<br>268,0 | 267,6<br>272,4 | 266,0<br>268,7 | 263,1<br>262,3 | 255,6<br>257,1 | 252,8<br>252,1 | 251,6<br>249,3 |
| Минск       | 255,1<br>255,3 | 253,8<br>253,3 | 254,7<br>255,3 | 259,1<br>258,1 | 260,3<br>263,6 | 266,8<br>266,6 | 266,6<br>266,8 | 269,6<br>271,6 | 266,6<br>266,3 | 262,8<br>263,8 | 259,8<br>258,6 | 256,8<br>257,3 |
| Киев        | 255,6<br>255,7 | 254,8<br>253,1 | 255,4<br>257,0 | 257,9<br>259,9 | 263,9<br>261,9 | 268,9<br>266,9 | 265,8<br>266,4 | 271,2<br>273,3 | 264,4<br>270,3 | 262,7<br>262,5 | 259,9<br>259,2 | 258,2<br>258,5 |
| Чита        | —<br>—         | —<br>—         | 250,5<br>—     | 247,8<br>253,8 | 250,5<br>256,1 | 259,0<br>267,1 | 273,6<br>270,5 | 267,8<br>264,1 | 262,6<br>258,1 | 253,3<br>253,8 | —<br>249,8     | —<br>—         |
| Рига        | 256,1<br>256,1 | 254,1<br>252,3 | 256,1<br>256,5 | 259,3<br>259,3 | 260,8<br>263,6 | 266,3<br>267,0 | 266,6<br>268,3 | 266,6<br>272,1 | 266,0<br>267,1 | 265,2<br>264,8 | 260,6<br>259,1 | 258,1<br>258,6 |
| Львов       | 253,8<br>255,3 | 253,3<br>253,1 | 256,1<br>256,1 | 259,3<br>259,8 | 261,1<br>262,6 | 267,6<br>269,3 | 269,8<br>267,7 | 270,2<br>268,3 | 266,0<br>267,6 | 264,8<br>264,1 | 259,0<br>258,1 | 258,3<br>259,0 |
| Актюбинск   | 253,6<br>255,6 | 256,1<br>253,1 | 256,5<br>253,8 | 257,6<br>261,6 | 259,6<br>262,6 | 266,1<br>265,2 | 264,3<br>267,1 | 263,7<br>267,6 | 262,6<br>262,8 | 259,8<br>260,8 | 257,6<br>257,1 | 255,3<br>255,8 |
| Свердловск  | 253,2<br>253,3 | 250,9<br>252,7 | 254,5<br>253,2 | 257,4<br>257,9 | 260,2<br>263,4 | 263,4<br>267,9 | 268,9<br>271,4 | 267,9<br>268,5 | 262,2<br>263,4 | 260,4<br>259,9 | 255,4<br>256,6 | 253,9<br>252,9 |
| Хабаровск   | 247,9<br>243,6 | 247,9<br>248,7 | 252,9<br>248,9 | 253,7<br>264,7 | 261,7<br>259,2 | 271,2<br>271,7 | 273,1<br>273,8 | 273,6<br>279,8 | 271,7<br>271,2 | 260,9<br>262,2 | 253,7<br>252,9 | 265,2<br>265,2 |
| Москва      | 254,8<br>255,7 | 254,2<br>254,6 | 255,7<br>255,7 | 258,4<br>258,7 | 262,4<br>263,9 | 268,4<br>268,1 | 268,8<br>271,0 | 268,8<br>270,6 | 264,9<br>265,7 | 262,5<br>262,7 | 256,9<br>257,9 | 256,9<br>256,9 |
| Ленинград   | 254,5<br>253,7 | 252,9<br>252,2 | 255,4<br>256,6 | 253,9<br>255,7 | 259,4<br>258,7 | 263,4<br>263,7 | 266,2<br>267,7 | 266,0<br>269,7 | 265,3<br>266,4 | 261,7<br>261,9 | 257,7<br>256,6 | 256,2<br>256,2 |
| Ашхабад     | 261,7<br>260,7 | 261,2<br>260,7 | 263,2<br>263,4 | 262,7<br>264,9 | 273,8<br>263,9 | 271,4<br>268,4 | 275,2<br>276,4 | 273,6<br>273,8 | 267,7<br>266,0 | 267,7<br>266,0 | 261,7<br>261,9 | 263,7<br>261,9 |
| Архангельск | 252,2<br>252,3 | 251,7<br>252,4 | 253,2<br>253,4 | 254,2<br>257,2 | 257,9<br>256,6 | 262,2<br>263,9 | 266,9<br>268,4 | 267,7<br>269,4 | 262,9<br>263,7 | 259,2<br>258,9 | 256,6<br>255,4 | 255,4<br>254,2 |
| Якутск      | —<br>—         | 264,4<br>264,4 | 238,2<br>230,7 | 249,2<br>247,5 | 251,5<br>251,4 | 262,7<br>263,7 | 267,4<br>269,2 | 264,4<br>271,0 | 253,7<br>255,7 | 252,2<br>250,2 | 239,5<br>243,5 | —<br>—         |

Таблица 7

Радиационная температура подстилающей поверхности в интервале 10,55—12,0 мк  
днем (1-я строка) и ночью (2-я строка)

| • Город     | I              | II             | III            | IV             | V              | VI             | VII            | VIII           | IX             | X              | XI             | XII            |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Куйбышев    | 262,2<br>258,8 | 264,0<br>257,8 | 270,6<br>263,2 | 286,6<br>273,2 | 302,2<br>280,0 | 305,7<br>285,4 | 307,6<br>286,4 | 304,6<br>285,6 | 294,4<br>279,8 | 281,8<br>274,2 | 270,6<br>266,8 | 265,2<br>263,0 |
| Баку        | 276,0<br>269,4 | 277,2<br>269,2 | 282,2<br>271,4 | 295,0<br>277,2 | 301,4<br>282,8 | 306,4<br>286,5 | 308,6<br>288,8 | 308,3<br>288,5 | 298,4<br>285,0 | 289,8<br>279,6 | 282,4<br>275,2 | 277,4<br>271,0 |
| Тбилиси     | 280,4<br>270,8 | 284,8<br>271,4 | 289,4<br>274,6 | 300,2<br>279,2 | 308,0<br>284,8 | 312,2<br>288,2 | 315,6<br>290,6 | 314,8<br>290,2 | 305,3<br>286,6 | 297,0<br>280,8 | 286,5<br>276,4 | 280,6<br>271,4 |
| Омск        | 257,0<br>252,8 | 260,2<br>253,0 | 267,8<br>256,0 | 281,4<br>269,8 | 296,4<br>277,2 | 305,2<br>283,0 | 302,0<br>284,8 | 299,4<br>283,4 | 291,5<br>278,2 | 279,2<br>272,2 | 266,8<br>263,2 | 258,0<br>255,2 |
| Иркутск     | 254,6<br>247,2 | 259,8<br>246,6 | 270,8<br>255,4 | 282,8<br>269,8 | 294,4<br>274,4 | 301,4<br>281,2 | 301,5<br>284,6 | 298,5<br>292,8 | 292,4<br>275,6 | 282,2<br>269,4 | 266,2<br>257,2 | 255,8<br>249,4 |
| Алма-Ата    | 270,2<br>260,4 | 272,6<br>263,2 | 280,0<br>270,0 | 295,7<br>277,4 | 302,8<br>282,2 | 308,8<br>286,0 | 315,1<br>288,6 | 315,1<br>287,5 | 308,8<br>283,5 | 294,8<br>276,2 | 277,6<br>267,8 | 270,4<br>262,2 |
| Сыктывкар   | 258,2<br>256,8 | 259,8<br>255,8 | 267,4<br>259,8 | 275,4<br>268,4 | 287,0<br>275,0 | 296,4<br>281,0 | 295,7<br>282,2 | 293,8<br>283,0 | 284,0<br>277,5 | 274,6<br>272,0 | 265,6<br>264,2 | 261,8<br>261,2 |
| Волгоград   | 267,8<br>264,4 | 268,4<br>262,0 | 274,8<br>266,0 | 292,6<br>276,4 | 304,5<br>283,2 | 309,8<br>287,6 | 313,1<br>289,6 | 309,5<br>288,5 | 300,7<br>282,4 | 288,2<br>277,2 | 275,6<br>270,0 | 270,2<br>267,4 |
| Харьков     | 268,6<br>266,0 | 269,0<br>264,0 | 274,6<br>268,4 | 289,8<br>276,2 | 300,8<br>281,2 | 305,6<br>284,5 | 306,4<br>287,0 | 305,2<br>286,1 | 296,0<br>280,8 | 284,5<br>275,6 | 274,6<br>271,0 | 270,6<br>268,8 |
| Одесса      | 273,8<br>270,2 | 276,4<br>270,4 | 281,8<br>272,0 | 294,8<br>277,5 | 304,4<br>283,8 | 309,6<br>287,2 | 312,7<br>289,0 | 309,4<br>288,4 | 302,5<br>284,5 | 291,6<br>279,2 | 280,4<br>276,3 | 277,0<br>273,4 |
| Новосибирск | 257,4<br>252,0 | 260,4<br>251,8 | 270,2<br>259,4 | 283,0<br>270,2 | 297,6<br>276,8 | 304,8<br>282,0 | 306,0<br>285,5 | 301,0<br>283,5 | 293,5<br>277,6 | 280,0<br>272,4 | 265,0<br>260,2 | 258,0<br>254,6 |
| Минск       | 268,0<br>265,8 | 268,6<br>264,0 | 273,6<br>265,8 | 285,4<br>274,2 | 295,6<br>279,2 | 300,3<br>284,0 | 300,4<br>285,4 | 298,4<br>285,6 | 291,8<br>280,0 | 282,2<br>276,0 | 274,0<br>271,4 | 270,0<br>268,6 |
| Киев        | 269,4<br>266,4 | 270,4<br>265,4 | 275,4<br>269,0 | 288,8<br>275,2 | 298,4<br>280,8 | 303,2<br>285,2 | 303,6<br>286,5 | 302,6<br>286,0 | 295,7<br>281,0 | 286,5<br>276,7 | 275,6<br>272,2 | 271,8<br>269,4 |
| Чита        | 254,0<br>242,0 | 262,2<br>244,2 | 274,2<br>256,0 | 289,5<br>267,8 | 300,3<br>274,0 | 304,6<br>282,4 | 301,0<br>285,2 | 299,2<br>283,2 | 293,2<br>276,0 | 281,8<br>270,8 | 265,8<br>254,6 | 255,0<br>246,2 |
| Рига        | 268,6<br>266,8 | 269,4<br>265,0 | 274,4<br>267,2 | 284,6<br>274,0 | 293,6<br>277,6 | 297,8<br>281,4 | 299,5<br>284,0 | 296,5<br>283,6 | 292,0<br>279,8 | 282,0<br>276,8 | 274,6<br>273,0 | 271,2<br>270,8 |
| Львов       | 270,0<br>268,0 | 271,0<br>266,0 | 277,0<br>270,0 | 285,2<br>275,0 | 292,5<br>279,4 | 297,6<br>283,8 | 299,0<br>285,5 | 295,8<br>284,8 | 292,0<br>280,0 | 285,8<br>277,0 | 276,7<br>273,4 | 273,0<br>270,4 |
| Актюбинск   | 262,4<br>257,4 | 262,8<br>255,4 | 269,2<br>260,0 | 285,8<br>272,8 | 303,2<br>279,7 | 307,7<br>285,2 | 310,0<br>287,4 | 310,0<br>286,0 | 300,3<br>280,0 | 285,8<br>273,6 | 271,0<br>265,2 | 264,8<br>260,4 |
| Свердловск  | 261,2<br>258,0 | 261,2<br>254,2 | 270,2<br>259,4 | 281,8<br>271,2 | 292,6<br>277,0 | 298,8<br>282,0 | 296,6<br>284,0 | 294,6<br>283,2 | 286,8<br>277,6 | 277,2<br>272,0 | 267,2<br>264,0 | 260,2<br>258,2 |
| Хабаровск   | 257,2<br>249,0 | 263,4<br>251,8 | 272,0<br>260,4 | 285,5<br>272,0 | 292,8<br>278,0 | 299,0<br>284,5 | 300,2<br>287,8 | 298,5<br>287,5 | 292,0<br>281,4 | 284,0<br>274,2 | 269,4<br>262,0 | 259,0<br>252,0 |
| Москва      | 264,0<br>261,4 | 265,8<br>260,2 | 271,8<br>264,4 | 283,4<br>273,2 | 293,2<br>278,2 | 297,6<br>283,4 | 299,0<br>284,8 | 295,6<br>284,0 | 287,4<br>279,3 | 279,0<br>275,0 | 270,8<br>268,8 | 266,8<br>265,6 |
| Ленинград   | 266,0<br>265,0 | 266,2<br>262,0 | 271,8<br>263,8 | 281,2<br>272,2 | 292,6<br>277,2 | 298,8<br>282,4 | 299,4<br>284,8 | 296,2<br>284,0 | 286,8<br>279,0 | 278,8<br>275,4 | 268,4<br>270,4 | 268,2<br>267,2 |
| Ашхабад     | 282,2<br>272,4 | 287,0<br>273,4 | 292,2<br>277,2 | 303,7<br>282,8 | 314,4<br>287,8 | 322,9<br>291,5 | 324,9<br>294,6 | 324,4<br>292,5 | 318,2<br>287,8 | 305,2<br>281,2 | 290,4<br>275,0 | 283,4<br>272,2 |
| Архангельск | 260,2<br>260,2 | 261,4<br>258,2 | 268,6<br>261,2 | 276,3<br>268,0 | 286,4<br>274,2 | 293,8<br>279,8 | 296,6<br>282,0 | 294,0<br>281,2 | 274,8<br>277,2 | 274,8<br>272,6 | 267,2<br>266,2 | 263,0<br>262,8 |
| Якутск      | —<br>—         | 241,6<br>233,0 | 257,4<br>240,2 | 273,4<br>256,2 | 292,2<br>272,6 | 303,6<br>279,8 | 303,7<br>283,8 | 300,7<br>280,8 | 289,8<br>274,0 | 268,6<br>260,4 | 246,2<br>242,2 | —<br>—         |



Таблица 8

Радиационная температура облаков нижнего яруса в интервале 10,55—12,0 мк  
днем (1-я строка) и ночью (2-я строка)

| Город       | I              | II             | III            | IV             | V              | VI             | VII            | VIII           | IX             | X              | XI             | XII            |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Куйбышев    | 263,2<br>258,8 | 259,8<br>260,4 | 263,2<br>264,2 | 264,8<br>268,6 | 268,6<br>269,4 | 273,2<br>273,8 | 275,4<br>277,0 | 272,6<br>275,8 | 269,4<br>273,2 | 269,4<br>270,2 | 265,2<br>265,8 | 263,8<br>261,8 |
| Баку        | 268,8<br>268,2 | 267,8<br>266,8 | 269,0<br>268,2 | 272,6<br>271,4 | 275,2<br>271,8 | —<br>—         | 287,0<br>283,0 | 285,0<br>284,8 | 279,8<br>280,0 | 275,8<br>276,7 | 272,2<br>273,4 | 270,8<br>269,4 |
| Тбилиси     | 265,8<br>267,0 | 264,4<br>264,4 | 264,2<br>265,8 | 270,4<br>270,8 | 268,6<br>273,0 | 274,8<br>274,8 | 276,2<br>278,0 | 275,0<br>278,4 | 274,6<br>276,3 | 273,0<br>271,4 | 265,6<br>268,0 | 265,8<br>265,6 |
| Омск        | 262,8<br>257,6 | 260,4<br>258,2 | 262,8<br>264,4 | 265,6<br>265,8 | 267,2<br>269,4 | 271,8<br>272,6 | 277,2<br>278,2 | 274,5<br>276,8 | 268,8<br>271,2 | 266,4<br>265,2 | 263,4<br>260,2 | 260,2<br>260,2 |
| Иркутск     | 253,2<br>252,0 | 250,2<br>251,2 | 257,0<br>259,8 | 259,8<br>259,4 | 265,0<br>260,6 | 274,6<br>275,2 | 279,2<br>277,5 | 277,4<br>275,6 | 270,2<br>270,0 | 261,2<br>262,2 | 255,4<br>256,8 | 252,0<br>254,4 |
| Алма-Ата    | 262,8<br>258,8 | 263,4<br>259,0 | 266,8<br>261,8 | 268,4<br>265,2 | 271,4<br>265,2 | 267,8<br>267,0 | 266,4<br>266,2 | 268,0<br>269,0 | 267,2<br>269,0 | 261,0<br>263,2 | 262,2<br>261,2 | 260,0<br>258,8 |
| Сыктывкар   | 255,2<br>—     | 250,4<br>—     | 264,4<br>262,4 | 263,8<br>267,2 | 263,0<br>267,0 | 271,4<br>274,8 | 273,2<br>277,8 | 273,5<br>276,3 | 271,2<br>272,2 | 268,4<br>267,8 | 257,0<br>—     | —<br>—         |
| Волгоград   | 262,8<br>262,0 | 265,4<br>264,4 | 262,8<br>264,2 | 269,4<br>267,8 | 273,4<br>274,4 | 274,2<br>277,8 | 273,4<br>—     | 277,4<br>281,2 | 271,0<br>271,2 | 271,0<br>270,0 | 267,4<br>269,0 | 264,4<br>264,2 |
| Харьков     | 265,4<br>265,2 | 264,0<br>263,4 | 265,2<br>264,4 | 267,0<br>266,8 | 268,2<br>270,8 | 274,8<br>275,2 | 276,8<br>278,8 | 275,6<br>280,6 | 271,0<br>275,2 | 270,8<br>271,8 | 266,8<br>265,8 | 265,4<br>265,8 |
| Одесса      | 264,4<br>263,2 | 265,4<br>263,2 | 264,8<br>265,0 | 268,0<br>272,4 | 274,8<br>271,2 | 275,4<br>—     | 282,4<br>—     | 273,4<br>—     | 276,7<br>282,8 | 274,6<br>274,8 | 268,0<br>265,8 | 267,4<br>265,6 |
| Новосибирск | 254,6<br>257,2 | 260,4<br>258,0 | 260,2<br>259,4 | 263,8<br>261,0 | 267,8<br>268,8 | 273,0<br>275,0 | 274,4<br>279,2 | 273,4<br>275,4 | 270,2<br>269,2 | 262,2<br>263,8 | 259,4<br>258,8 | 258,2<br>255,8 |
| Минск       | 262,4<br>262,8 | 261,2<br>260,8 | 262,2<br>263,0 | 266,2<br>265,2 | 267,8<br>271,0 | 274,0<br>273,8 | 273,5<br>277,8 | 276,2<br>273,5 | 273,6<br>270,8 | 270,0<br>265,6 | 266,8<br>265,6 | 264,0<br>264,4 |
| Киев        | 262,8<br>263,0 | 262,4<br>260,8 | 262,8<br>264,4 | 265,4<br>267,2 | 271,2<br>269,4 | 276,0<br>274,0 | 273,0<br>273,6 | 277,8<br>280,8 | 271,4<br>276,8 | 270,0<br>269,8 | 267,0<br>266,2 | 265,4<br>265,8 |
| Чита        | —<br>—         | —<br>—         | 257,4<br>261,0 | 254,0<br>263,2 | 257,0<br>263,2 | 265,8<br>274,2 | 281,2<br>271,2 | 274,5<br>271,0 | 269,4<br>264,8 | 259,8<br>260,4 | —<br>256,0     | —<br>—         |
| Рига        | 263,4<br>263,4 | 261,8<br>259,8 | 263,8<br>264,0 | 267,0<br>266,8 | 268,4<br>271,2 | 273,8<br>285,8 | 273,5<br>275,0 | 273,5<br>278,8 | 272,6<br>274,0 | 267,8<br>272,0 | 265,4<br>266,0 | 265,8<br>265,8 |
| Львов       | 261,0<br>262,8 | 260,8<br>260,4 | 263,4<br>263,4 | 266,4<br>267,2 | 268,4<br>269,8 | 274,6<br>276,3 | 276,4<br>274,5 | 276,7<br>274,8 | 273,2<br>274,4 | 272,0<br>271,0 | 265,8<br>265,0 | 265,4<br>266,0 |
| Актюбинск   | 260,8<br>262,4 | 263,4<br>260,2 | 264,0<br>261,2 | 265,0<br>269,0 | 266,8<br>269,8 | 273,4<br>272,4 | 271,2<br>274,0 | 270,4<br>274,4 | 269,4<br>269,4 | 266,8<br>267,8 | 264,2<br>263,8 | 262,2<br>262,8 |
| Свердловск  | 260,6<br>260,8 | 258,0<br>260,2 | 262,2<br>260,8 | 265,0<br>265,6 | 267,8<br>270,8 | 271,0<br>275,0 | 275,8<br>278,0 | 274,6<br>275,4 | 269,4<br>270,6 | 267,4<br>267,0 | 262,8<br>263,8 | 261,2<br>260,2 |
| Хабаровск   | 254,2<br>250,2 | 254,6<br>255,4 | 260,2<br>255,4 | 261,2<br>—     | 269,0<br>266,2 | 277,8<br>278,4 | 280,2<br>281,4 | 278,0<br>287,4 | 278,0<br>277,6 | 268,2<br>269,0 | 260,4<br>259,8 | —<br>—         |
| Москва      | 262,2<br>263,2 | 262,0<br>262,2 | 263,4<br>263,4 | 266,0<br>266,4 | 270,2<br>272,0 | 275,6<br>275,4 | 275,8<br>277,6 | 275,8<br>277,4 | 272,0<br>273,0 | 269,4<br>270,0 | 264,0<br>265,2 | 264,0<br>264,0 |
| Ленинград   | 262,2<br>261,4 | 260,8<br>259,8 | 263,4<br>264,4 | 261,8<br>263,8 | 267,0<br>266,2 | 270,8<br>271,2 | 273,6<br>274,6 | 273,2<br>276,4 | 272,6<br>273,6 | 268,8<br>269,0 | 265,0<br>263,8 | 263,4<br>263,4 |
| Ашхабад     | 269,0<br>268,2 | 268,4<br>268,0 | 270,4<br>270,8 | 270,0<br>272,2 | 281,4<br>271,0 | 278,4<br>265,6 | 283,2<br>284,5 | 280,4<br>280,8 | 274,4<br>272,8 | 274,4<br>273,0 | 268,6<br>268,8 | 270,2<br>268,4 |
| Архангельск | 259,8<br>260,0 | 259,4<br>260,2 | 261,2<br>261,4 | 262,2<br>265,0 | 265,6<br>264,2 | 269,8<br>271,4 | 274,4<br>275,4 | 274,6<br>276,3 | 270,2<br>270,8 | 266,2<br>266,0 | 264,0<br>263,0 | 263,0<br>261,8 |
| Якутск      | —<br>—         | —<br>—         | 245,2<br>288,0 | 256,2<br>254,0 | 258,8<br>258,4 | 270,4<br>271,2 | 274,5<br>276,2 | 271,4<br>277,8 | 266,4<br>262,8 | 259,0<br>257,0 | 246,2<br>250,2 | —<br>—         |

Таблица 9

Разность между фактической температурой подстилающей поверхности  
и радиационной температурой в интервале 8—12 мк днем (1-я строка)  
и ночью (2-я строка)

| Город       | I          | II          | III         | IV          | V            | VI           | VII          | VIII         | IX           | X           | XI          | XII        |
|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|------------|
| Куйбышев    | 8,0<br>7,4 | 8,4<br>7,4  | 8,5<br>7,8  | 11,1<br>8,4 | 13,0<br>9,1  | 14,7<br>10,1 | 15,9<br>10,6 | 14,7<br>10,2 | 11,4<br>8,5  | 9,6<br>8,0  | 8,0<br>7,6  | 7,7<br>7,5 |
| Баку        | 7,9<br>7,9 | 7,8<br>7,9  | 10,6<br>8,4 | 12,7<br>7,6 | 13,4<br>9,2  | 15,0<br>9,7  | 16,6<br>9,3  | 16,4<br>9,1  | 13,1<br>9,0  | 9,0<br>7,8  | 9,4<br>7,2  | 7,3<br>7,0 |
| Тбилиси     | 9,8<br>8,2 | 10,6<br>8,8 | 11,8<br>8,1 | 11,5<br>8,4 | 15,4<br>10,2 | 16,9<br>10,2 | 19,2<br>10,0 | 17,2<br>9,6  | 15,4<br>10,0 | 12,5<br>9,0 | 10,7<br>7,6 | 9,2<br>8,2 |
| Омск        | 7,3<br>6,5 | 7,9<br>6,8  | 8,5<br>7,0  | 9,9<br>8,3  | 12,0<br>8,0  | 14,7<br>9,9  | 14,1<br>10,1 | 13,2<br>9,7  | 10,4<br>8,0  | 8,6<br>8,1  | 7,9<br>7,6  | 7,1<br>6,5 |
| Иркутск     | 6,8<br>6,8 | 5,9<br>6,9  | 8,6<br>6,7  | 10,0<br>8,3 | 11,2<br>8,0  | 14,0<br>9,3  | 15,0<br>9,8  | 13,8<br>9,6  | 10,8<br>7,9  | 9,7<br>7,8  | 7,7<br>6,8  | 6,8<br>6,8 |
| Алма-Ата    | 8,1<br>7,2 | 8,5<br>7,8  | 9,2<br>8,0  | 11,5<br>7,9 | 13,4<br>9,6  | 15,2<br>10,2 | 16,2<br>9,6  | 15,7<br>9,5  | 13,5<br>8,9  | 10,6<br>7,5 | 7,9<br>7,6  | 7,3<br>6,7 |
| Сыктывкар   | 7,7<br>7,6 | 7,9<br>6,9  | 8,8<br>7,8  | 9,1<br>8,7  | 11,5<br>8,8  | 12,9<br>9,8  | 14,1<br>11,3 | 12,2<br>10,2 | 10,4<br>8,4  | 8,5<br>8,4  | 8,0<br>7,8  | 8,1<br>7,9 |
| Волгоград   | 8,1<br>7,7 | 8,2<br>7,7  | 8,6<br>8,2  | 11,0<br>8,4 | 13,6<br>9,8  | 15,1<br>10,3 | 16,5<br>10,2 | 15,2<br>9,9  | 12,4<br>9,2  | 10,6<br>7,9 | 7,9<br>7,6  | 8,2<br>7,7 |
| Харьков     | 8,3<br>8,2 | 8,5<br>7,8  | 8,7<br>8,4  | 11,0<br>8,0 | 12,8<br>9,4  | 15,0<br>10,4 | 15,7<br>10,6 | 15,0<br>10,2 | 11,6<br>8,7  | 10,3<br>7,8 | 8,1<br>8,1  | 8,2<br>8,0 |
| Одесса      | 8,4<br>8,5 | 8,6<br>8,4  | 10,2<br>8,6 | 11,5<br>8,2 | 14,3<br>10,0 | 16,1<br>10,5 | 16,9<br>10,3 | 16,1<br>10,1 | 13,6<br>9,7  | 10,6<br>8,6 | 9,4<br>7,9  | 8,3<br>8,3 |
| Новосибирск | 7,2<br>6,8 | 7,9<br>6,9  | 8,5<br>7,6  | 10,2<br>8,4 | 12,0<br>7,9  | 14,2<br>9,1  | 15,2<br>9,7  | 13,4<br>9,3  | 10,6<br>7,5  | 8,6<br>7,8  | 7,7<br>7,2  | 7,2<br>6,4 |
| Минск       | 8,5<br>8,0 | 8,6<br>8,0  | 8,8<br>8,0  | 10,3<br>7,8 | 11,7<br>8,7  | 12,7<br>9,7  | 12,7<br>10,1 | 12,3<br>10,1 | 10,8<br>8,7  | 9,5<br>7,9  | 8,0<br>8,1  | 8,2<br>8,1 |
| Киев        | 8,4<br>8,2 | 8,8<br>8,0  | 8,8<br>8,6  | 11,2<br>8,2 | 12,8<br>9,5  | 14,6<br>10,5 | 15,2<br>10,8 | 14,2<br>10,3 | 12,0<br>9,2  | 10,9<br>7,8 | 8,1<br>8,1  | 8,3<br>8,2 |
| Чита        | 6,3<br>6,5 | 8,1<br>6,4  | 8,6<br>7,0  | 10,4<br>8,0 | 11,9<br>8,0  | 14,7<br>9,3  | 15,1<br>9,8  | 14,2<br>9,8  | 11,0<br>7,7  | 9,5<br>5,2  | 7,5<br>6,2  | 6,5<br>6,5 |
| Рига        | 8,4<br>8,0 | 8,8<br>8,2  | 8,8<br>8,6  | 11,1<br>8,6 | 11,4<br>8,5  | 13,4<br>9,9  | 13,4<br>10,0 | 12,9<br>10,0 | 10,8<br>8,8  | 9,9<br>8,0  | 8,4<br>8,2  | 8,5<br>8,2 |
| Львов       | 8,4<br>8,2 | 8,8<br>8,1  | 8,9<br>8,7  | 11,1<br>8,1 | 12,7<br>9,4  | 13,6<br>10,4 | 14,3<br>10,5 | 13,0<br>9,9  | 11,5<br>9,0  | 10,9<br>7,8 | 8,1<br>8,0  | 8,6<br>8,2 |
| Актюбинск   | 7,6<br>7,4 | 7,8<br>6,9  | 8,3<br>7,2  | 10,5<br>8,3 | 12,6<br>8,3  | 14,7<br>9,7  | 15,3<br>10,0 | 14,7<br>9,5  | 11,8<br>8,2  | 10,1<br>7,7 | 7,8<br>7,3  | 7,7<br>7,4 |
| Свердловск  | 7,8<br>7,3 | 8,2<br>6,8  | 8,5<br>7,6  | 10,2<br>8,6 | 10,7<br>7,7  | 13,4<br>9,6  | 12,9<br>10,0 | 12,1<br>9,9  | 11,0<br>8,4  | 8,0<br>8,1  | 7,9<br>7,5  | 7,6<br>7,2 |
| Хабаровск   | 7,3<br>6,9 | 8,0<br>6,9  | 8,5<br>7,7  | 10,6<br>8,4 | 10,8<br>8,3  | 13,4<br>10,1 | 15,2<br>10,9 | 14,5<br>9,4  | 11,0<br>9,5  | 9,7<br>7,7  | 7,8<br>7,3  | 7,4<br>6,8 |
| Москва      | 8,0<br>7,9 | 8,1<br>7,9  | 8,9<br>8,0  | 10,6<br>8,6 | 11,1<br>8,5  | 13,2<br>10,3 | 13,6<br>10,2 | 12,9<br>10,1 | 11,0<br>8,5  | 8,9<br>8,0  | 8,4<br>8,1  | 8,0<br>7,8 |
| Ленинград   | 8,3<br>8,1 | 8,5<br>8,3  | 9,2<br>8,3  | 10,3<br>8,7 | 11,2<br>8,3  | 13,3<br>10,0 | 13,7<br>10,6 | 12,8<br>10,2 | 11,2<br>8,9  | 9,1<br>8,1  | 8,2<br>8,3  | 8,4<br>8,2 |
| Ашхабад     | 9,9<br>7,9 | 10,6<br>8,2 | 10,7<br>7,9 | 13,4<br>9,5 | 16,1<br>9,7  | 17,7<br>9,9  | 17,4<br>9,5  | 15,1<br>8,8  | 14,7<br>8,6  | 13,1<br>8,2 | 9,8<br>7,2  | 9,0<br>7,2 |
| Архангельск | 8,1<br>8,2 | 8,4<br>7,8  | 8,8<br>8,2  | 9,0<br>8,8  | 11,7<br>8,8  | 11,9<br>9,3  | 13,3<br>10,4 | 11,8<br>9,8  | 10,2<br>8,2  | 8,2<br>8,5  | 8,2<br>8,1  | 7,9<br>8,1 |
| Якутск      | —<br>—     | 6,6<br>—    | 7,9<br>6,5  | 8,7<br>7,2  | 10,6<br>8,4  | 14,1<br>9,0  | 14,9<br>9,8  | 13,5<br>9,3  | 10,3<br>7,8  | 8,0<br>7,4  | 6,5<br>5,9  | —<br>—     |

Таблица 10

Разность между фактической температурой облаков нижнего яруса  
и радиационной температурой в интервале 8—12 мк днем (1-я строка)  
и ночью (2-я строка)

| Город       | I          | II         | III        | IV         | V          | VI         | VII          | VIII       | IX         | X          | XI         | XII        |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Куйбышев    | 7,7<br>7,3 | 7,6<br>7,8 | 8,2<br>8,0 | 7,8<br>8,2 | 7,8<br>8,1 | 8,0<br>7,9 | 7,6<br>7,5   | 7,6<br>7,6 | 7,5<br>7,7 | 7,7<br>7,8 | 7,4<br>7,3 | 7,5<br>7,6 |
| Баку        | 8,9<br>7,8 | 6,6<br>7,6 | 7,7<br>7,8 | 7,7<br>7,7 | 7,4<br>7,4 | —<br>—     | 9,4<br>8,1   | 9,2<br>9,2 | 7,9<br>7,9 | 7,0<br>7,1 | 7,5<br>7,6 | 7,1<br>7,0 |
| Тбилиси     | 7,5<br>7,8 | 7,8<br>7,9 | 7,7<br>7,6 | 7,9<br>7,8 | 7,5<br>7,9 | 7,2<br>7,3 | 7,0<br>7,1   | 7,1<br>7,0 | 7,1<br>6,9 | 7,7<br>7,5 | 7,1<br>7,4 | 7,4<br>7,5 |
| Омск        | 7,7<br>7,2 | 7,7<br>7,6 | 7,7<br>8,0 | 7,8<br>7,8 | 7,7<br>8,0 | 8,0<br>7,9 | 7,3<br>7,7   | 7,4<br>7,5 | 7,5<br>7,7 | 7,4<br>7,1 | 7,5<br>7,1 | 7,3<br>7,3 |
| Иркутск     | 6,4<br>6,6 | 6,8<br>6,7 | 7,4<br>7,8 | 7,3<br>7,1 | 7,4<br>7,1 | 7,7<br>7,7 | 8,2<br>7,7   | 7,5<br>7,5 | 7,4<br>7,5 | 6,7<br>6,8 | 6,5<br>6,9 | 6,4<br>6,3 |
| Алма-Ата    | 7,1<br>7,1 | 7,9<br>7,3 | 7,9<br>7,6 | 7,8<br>7,4 | 7,6<br>7,3 | 7,2<br>7,3 | 6,8<br>6,8   | 7,0<br>7,1 | 7,2<br>7,0 | 7,1<br>6,8 | 7,1<br>7,0 | 6,6<br>6,7 |
| Сыктывкар   | 7,0<br>—   | 7,3<br>—   | 8,4<br>8,4 | 8,4<br>8,5 | 8,0<br>8,3 | 8,3<br>8,3 | 8,0<br>8,3   | 8,0<br>8,0 | 8,1<br>8,1 | 7,8<br>8,0 | 7,1<br>—   | —<br>—     |
| Волгоград   | 7,6<br>7,6 | 7,6<br>7,7 | 7,8<br>7,7 | 8,2<br>7,9 | 7,7<br>7,5 | 7,3<br>7,5 | 7,6<br>—     | 7,4<br>8,6 | 7,1<br>7,3 | 7,7<br>7,6 | 7,3<br>7,3 | 7,3<br>7,4 |
| Харьков     | 7,8<br>7,8 | 7,8<br>8,0 | 7,8<br>7,9 | 7,8<br>7,7 | 7,6<br>7,9 | 7,4<br>7,7 | 7,4<br>8,1   | 7,2<br>8,8 | 7,1<br>7,3 | 7,7<br>7,8 | 7,4<br>7,1 | 7,5<br>7,4 |
| Одесса      | 7,5<br>7,5 | 7,6<br>7,7 | 7,6<br>7,7 | 7,5<br>7,8 | 7,6<br>7,6 | 7,3<br>—   | 9,1<br>—     | 7,4<br>—   | 6,9<br>8,9 | 7,4<br>7,3 | 7,3<br>7,2 | 7,7<br>7,1 |
| Новосибирск | 6,7<br>6,9 | 7,7<br>7,3 | 7,3<br>7,4 | 7,6<br>7,7 | 7,6<br>7,8 | 7,7<br>7,3 | 7,0<br>7,8   | 7,6<br>7,3 | 7,2<br>7,3 | 7,0<br>6,8 | 7,0<br>6,8 | 6,8<br>6,8 |
| Минск       | 7,6<br>7,6 | 7,7<br>7,8 | 7,9<br>7,9 | 7,4<br>7,3 | 7,7<br>8,0 | 7,5<br>7,6 | 7,8<br>7,3   | 7,3<br>7,5 | 7,4<br>7,5 | 7,6<br>7,7 | 7,4<br>7,2 | 7,5<br>7,4 |
| Киев        | 7,7<br>7,9 | 8,1<br>7,8 | 7,1<br>8,0 | 7,7<br>7,9 | 8,0<br>8,0 | 8,0<br>7,8 | 12,2<br>12,6 | 7,7<br>8,8 | 7,6<br>7,4 | 7,6<br>7,7 | 7,7<br>7,5 | 7,5<br>7,7 |
| Чита        | —<br>—     | —<br>—     | 7,2<br>—   | 6,3<br>7,5 | 6,7<br>7,4 | 7,1<br>7,6 | 9,0<br>7,3   | 7,3<br>7,3 | 7,5<br>6,9 | 6,7<br>7,0 | —<br>6,5   | —<br>—     |
| Рига        | 7,9<br>7,8 | 7,8<br>7,6 | 7,8<br>7,7 | 8,3<br>8,0 | 8,0<br>8,4 | 7,8<br>9,9 | 7,7<br>7,6   | 7,4<br>8,5 | 7,7<br>7,4 | 7,9<br>7,7 | 7,5<br>7,3 | 7,7<br>7,6 |
| Львов       | 7,4<br>7,6 | 7,8<br>7,7 | 7,8<br>8,0 | 7,8<br>8,0 | 7,7<br>7,7 | 7,8<br>7,9 | 7,5<br>7,5   | 7,3<br>7,3 | 7,7<br>7,5 | 7,9<br>7,7 | 7,3<br>7,2 | 7,6<br>7,6 |
| Актюбинск   | 8,0<br>7,5 | 7,6<br>7,4 | 7,8<br>7,7 | 7,6<br>7,0 | 7,3<br>7,6 | 7,6<br>7,6 | 7,5<br>7,4   | 7,0<br>7,0 | 7,2<br>7,1 | 7,3<br>7,5 | 6,9<br>7,0 | 7,2<br>7,1 |
| Свердловск  | 7,6<br>7,7 | 7,3<br>7,8 | 8,0<br>7,9 | 8,0<br>8,2 | 7,7<br>7,8 | 8,0<br>7,9 | 7,8<br>8,0   | 7,5<br>7,6 | 7,9<br>7,8 | 7,6<br>7,6 | 7,7<br>7,3 | 7,6<br>7,7 |
| Хабаровск   | 6,3<br>6,8 | 6,8<br>6,8 | 7,6<br>6,9 | 7,9<br>—   | 7,7<br>7,6 | 7,8<br>8,1 | 8,9<br>9,4   | 8,8<br>9,2 | 7,3<br>7,2 | 7,5<br>7,2 | 7,0<br>7,2 | 7,8<br>7,8 |
| Москва      | 7,9<br>8,0 | 8,0<br>7,8 | 8,3<br>8,4 | 8,0<br>8,4 | 7,9<br>8,4 | 7,9<br>8,0 | 7,6<br>7,7   | 7,8<br>7,6 | 7,6<br>7,8 | 7,7<br>7,9 | 7,4<br>7,7 | 7,5<br>7,7 |
| Ленинград   | 8,1<br>8,0 | 8,1<br>7,7 | 8,4<br>8,1 | 8,2<br>8,3 | 8,2<br>7,8 | 8,2<br>8,2 | 7,9<br>7,7   | 7,7<br>7,4 | 7,8<br>8,0 | 7,8<br>7,8 | 7,7<br>7,7 | 7,9<br>7,8 |
| Ашхабад     | 7,7<br>7,8 | 7,6<br>7,7 | 7,8<br>8,2 | 7,6<br>7,9 | 9,0<br>7,6 | 8,1<br>7,7 | 8,6<br>9,0   | 8,0<br>8,0 | 6,8<br>7,0 | 7,0<br>7,4 | 7,3<br>7,4 | 7,1<br>6,9 |
| Архангельск | 7,7<br>7,9 | 8,0<br>8,0 | 8,3<br>8,3 | 8,3<br>8,3 | 8,2<br>8,2 | 8,1<br>8,2 | 8,0<br>7,8   | 7,6<br>7,8 | 6,6<br>7,7 | 7,6<br>7,7 | 7,9<br>7,9 | 8,2<br>8,1 |
| Якутск      | —<br>—     | 8,6<br>8,6 | 7,2<br>7,4 | 7,4<br>6,7 | 7,6<br>7,4 | 8,0<br>8,1 | 7,8<br>7,8   | 7,9<br>7,8 | 7,4<br>7,4 | 7,2<br>7,0 | 6,8<br>6,8 | —<br>—     |

Таблица 11

Разность между фактической температурой подстилающей поверхности  
и радиационной температурой в интервале 10,55—12,0 мк  
днем (1-я строка) и ночью (2-я строка)

| Город       | I           | II           | III         | IV         | V          | VI         | VII         | VIII       | IX         | X           | XI         | XII        |
|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Куйбышев    | 0,6<br>0,3  | 0,6<br>0,0   | 0,6<br>0,3  | 1,8<br>0,5 | 3,8<br>1,6 | 5,3<br>1,4 | 6,6<br>2,0  | 5,8<br>1,7 | 3,1<br>1,5 | 1,8<br>0,7  | 0,8<br>0,4 | 0,4<br>0,2 |
| Баку        | 0,7<br>0,7  | 0,8<br>0,6   | 2,4<br>0,9  | 4,2<br>0,8 | 4,8<br>0,9 | 6,1<br>1,2 | 7,8<br>1,7  | 7,7<br>1,5 | 4,8<br>1,0 | 2,1<br>1,1  | 1,5<br>0,4 | 1,1<br>0,4 |
| Тбилиси     | 2,3<br>0,8  | 1,8<br>1,1   | 3,3<br>0,7  | 2,6<br>1,6 | 6,0<br>1,7 | 7,3<br>2,2 | 10,1<br>2,7 | 8,2<br>2,5 | 6,9<br>2,1 | 4,4<br>1,7  | 2,0<br>0,9 | 1,5<br>1,0 |
| Омск        | 0,2<br>-0,1 | 0,4<br>0,0   | 0,4<br>-0,1 | 1,7<br>0,4 | 3,1<br>0,7 | 5,2<br>1,4 | 5,4<br>1,7  | 4,6<br>1,3 | 2,7<br>1,2 | 1,8<br>0,6  | 0,8<br>0,6 | 0,2<br>0,0 |
| Иркутск     | 0,4<br>0,2  | -1,7<br>0,2  | 0,7<br>0,0  | 1,2<br>0,4 | 2,6<br>0,5 | 5,1<br>1,6 | 6,3<br>1,5  | 5,3<br>1,3 | 2,9<br>1,1 | 1,8<br>0,8  | 0,7<br>0,2 | 0,2<br>0,3 |
| Алма-Ата    | 0,7<br>0,2  | 0,8<br>0,3   | 1,7<br>0,4  | 3,1<br>0,8 | 4,6<br>1,5 | 6,0<br>1,7 | 6,9<br>1,9  | 6,4<br>1,7 | 4,7<br>1,0 | 2,6<br>0,7  | 1,3<br>0,5 | 0,6<br>0,2 |
| Сыктывкар   | 0,4<br>0,2  | 0,2<br>-0,1  | 0,8<br>0,2  | 1,1<br>0,7 | 2,1<br>1,0 | 4,1<br>1,9 | 5,7<br>3,1  | 4,0<br>1,8 | 2,0<br>1,5 | 1,3<br>0,8  | 0,6<br>0,5 | 0,2<br>0,3 |
| Волгоград   | 0,5<br>0,5  | 0,5<br>0,2   | 1,0<br>0,6  | 2,5<br>0,9 | 4,4<br>1,1 | 5,6<br>1,9 | 6,6<br>2,5  | 6,1<br>2,1 | 4,2<br>1,3 | 2,3<br>1,0  | 1,1<br>0,3 | 1,7<br>0,5 |
| Харьков     | 0,6<br>0,6  | 0,7<br>0,4   | 1,0<br>0,7  | 2,6<br>0,6 | 4,0<br>1,7 | 5,7<br>1,7 | 6,6<br>2,0  | 5,9<br>1,9 | 3,6<br>1,4 | 1,9<br>1,0  | 1,2<br>0,8 | 0,8<br>0,6 |
| Одесса      | 0,8<br>0,7  | 1,1<br>0,7   | 1,9<br>0,8  | 3,0<br>1,1 | 5,0<br>1,5 | 6,8<br>2,0 | 7,3<br>2,5  | 7,1<br>2,4 | 5,1<br>1,5 | 3,0<br>1,9  | 2,1<br>1,0 | 1,2<br>0,6 |
| Новосибирск | 0,4<br>0,0  | 0,4<br>0,0   | 0,5<br>0,1  | 1,2<br>0,4 | 3,0<br>0,5 | 4,9<br>1,1 | 6,2<br>1,2  | 4,9<br>1,0 | 2,6<br>0,9 | 1,4<br>0,6  | 0,4<br>0,2 | 0,3<br>0,2 |
| Минск       | 0,7<br>0,4  | 0,7<br>0,2   | 0,8<br>0,4  | 1,6<br>0,4 | 2,9<br>1,6 | 3,9<br>1,3 | 4,3<br>1,5  | 3,9<br>1,6 | 2,7<br>1,6 | 1,4<br>0,8  | 0,7<br>0,9 | 0,6<br>0,4 |
| Киев        | 0,8<br>0,7  | 0,8<br>0,4   | 1,2<br>0,8  | 2,6<br>0,8 | 3,9<br>1,8 | 5,5<br>2,0 | 6,4<br>2,2  | 5,7<br>1,9 | 3,9<br>2,0 | 2,2<br>1,0  | 1,2<br>0,8 | 0,7<br>1,0 |
| Чита        | 0,2<br>0,1  | 0,4<br>0,1   | 0,6<br>-0,1 | 1,6<br>0,4 | 2,9<br>0,4 | 5,5<br>1,2 | 6,6<br>1,4  | 5,8<br>1,6 | 2,9<br>0,9 | 1,7<br>-1,9 | 0,6<br>0,3 | 0,2<br>0,2 |
| Рига        | 0,7<br>0,4  | 0,8<br>0,4   | 0,8<br>0,6  | 1,8<br>0,6 | 2,8<br>1,5 | 4,6<br>2,0 | 4,7<br>1,6  | 4,7<br>1,7 | 3,0<br>1,8 | 1,9<br>1,1  | 1,2<br>0,8 | 1,0<br>0,6 |
| Львов       | 0,6<br>0,4  | 1,0<br>0,5   | 1,3<br>0,9  | 2,0<br>0,8 | 3,9<br>2,1 | 5,0<br>1,9 | 5,8<br>2,0  | 5,2<br>1,8 | 3,8<br>2,1 | 2,4<br>1,0  | 1,1<br>0,6 | 0,9<br>0,7 |
| Актюбинск   | 0,4<br>0,2  | 0,2<br>0,2   | 0,5<br>-0,1 | 1,4<br>0,4 | 3,4<br>1,1 | 5,3<br>1,2 | 6,0<br>1,5  | 5,5<br>1,1 | 3,5<br>1,3 | 1,6<br>0,5  | 0,7<br>0,3 | 0,3<br>0,2 |
| Свердловск  | 0,3<br>0,2  | 0,4<br>0,1   | 0,5<br>0,4  | 1,5<br>0,7 | 2,6<br>0,9 | 4,4<br>1,4 | 4,6<br>1,7  | 4,0<br>1,5 | 2,4<br>1,5 | 1,1<br>0,8  | 0,6<br>0,4 | 0,3<br>0,1 |
| Хабаровск   | 0,3<br>0,1  | 0,3<br>0,0   | 0,7<br>0,3  | 1,5<br>0,6 | 2,6<br>1,5 | 4,8<br>1,6 | 6,6<br>2,8  | 6,1<br>2,7 | 3,3<br>2,1 | 1,3<br>0,7  | 0,8<br>0,5 | 0,3<br>0,0 |
| Москва      | 0,6<br>0,5  | 0,5<br>0,4   | 0,8<br>0,5  | 1,5<br>0,6 | 2,6<br>1,3 | 4,6<br>1,5 | 5,0<br>1,8  | 4,6<br>1,7 | 2,5<br>1,6 | 2,0<br>1,1  | 1,0<br>0,7 | 0,6<br>0,4 |
| Ленинград   | 0,6<br>0,3  | 0,7<br>0,2   | 0,9<br>0,2  | 2,0<br>0,7 | 2,6<br>0,8 | 4,3<br>1,7 | 4,8<br>2,1  | 4,4<br>1,8 | 2,6<br>2,0 | 2,0<br>1,1  | 0,7<br>0,9 | 0,6<br>0,7 |
| Ашхабад     | 1,7<br>0,6  | 1,6<br>0,5   | 2,6<br>0,9  | 4,5<br>1,2 | 6,5<br>1,3 | 7,6<br>1,9 | 8,2<br>1,8  | 7,1<br>1,3 | 5,6<br>1,0 | 4,2<br>1,0  | 2,3<br>0,3 | 1,2<br>0,3 |
| Архангельск | 0,3<br>0,4  | 0,4<br>0,2   | 0,6<br>0,2  | 1,1<br>0,7 | 1,6<br>0,8 | 3,4<br>1,9 | 4,8<br>2,4  | 3,6<br>1,2 | 1,8<br>1,3 | 1,1<br>0,8  | 0,7<br>0,8 | 0,4<br>0,5 |
| Якутск      | —<br>—      | -0,1<br>-1,5 | 0,4<br>-0,2 | 0,5<br>0,2 | 0,9<br>0,5 | 4,7<br>1,6 | 5,8<br>1,3  | 4,8<br>1,8 | 2,4<br>0,5 | 0,6<br>0,4  | 0,2<br>0,0 | —<br>—     |

Таблица 12

Разность между фактической температурой облаков нижнего яруса  
и радиационной температурой в интервале 10,55—12,0 мк  
днем (1-я строка) и ночью (2-я строка)

| Город       | I          | II         | III        | IV          | V          | VI         | VII        | VIII       | IX         | X          | XI         | XII        |
|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Куйбышев    | 0,2<br>0,2 | 0,2<br>0,3 | 0,4<br>0,4 | 0,2<br>0,5  | 0,4<br>0,6 | 0,5<br>0,5 | 0,6<br>0,8 | 0,6<br>0,7 | 0,5<br>0,5 | 0,5<br>0,6 | 0,2<br>0,2 | 0,1<br>0,3 |
| Баку        | 0,5<br>0,5 | 0,5<br>0,5 | 0,4<br>0,3 | 0,3<br>0,5  | 0,6<br>0,0 | —<br>—     | 1,3<br>0,1 | 1,2<br>1,2 | 1,2<br>1,2 | 0,6<br>0,7 | 0,5<br>0,2 | 0,5<br>0,2 |
| Тбилиси     | 0,4<br>0,5 | 0,6<br>0,7 | 0,4<br>0,2 | 0,4<br>0,7  | 0,3<br>0,5 | 0,5<br>0,6 | 0,7<br>0,1 | 0,6<br>1,0 | 0,6<br>0,7 | 0,5<br>0,8 | 0,2<br>0,4 | 0,3<br>0,3 |
| Омск        | 0,1<br>0,2 | 0,4<br>0,4 | 0,1<br>0,4 | 0,3<br>0,2  | 0,6<br>0,5 | 0,6<br>0,5 | 0,6<br>1,2 | 0,5<br>0,9 | 0,5<br>0,6 | 0,6<br>0,2 | 0,3<br>0,2 | 0,2<br>0,2 |
| Иркутск     | 0,3<br>0,0 | 0,0<br>0,0 | 0,2<br>0,3 | 0,3<br>0,3  | 0,2<br>0,1 | 0,9<br>0,8 | 1,6<br>0,9 | 0,8<br>0,7 | 0,5<br>0,3 | 0,2<br>0,2 | 0,4<br>0,2 | 0,2<br>0,2 |
| Алма-Ата    | 0,2<br>0,2 | 0,4<br>0,2 | 0,5<br>0,3 | 0,3<br>0,1  | 0,6<br>0,3 | 0,1<br>0,2 | 0,3<br>0,3 | 0,2<br>0,3 | 0,4<br>0,2 | 0,3<br>0,2 | 0,3<br>0,3 | 0,3<br>0,3 |
| Сыктывкар   | 0,2<br>—   | 0,1<br>—   | 0,6<br>0,6 | 0,5<br>0,5  | 0,2<br>0,5 | 0,8<br>0,9 | 0,4<br>1,5 | 0,7<br>0,9 | 1,1<br>0,8 | 0,6<br>0,6 | 0,3<br>—   | —<br>—     |
| Волгоград   | 0,3<br>0,2 | 0,3<br>0,4 | 0,3<br>0,6 | 0,6<br>0,4  | 0,2<br>0,4 | 0,4<br>1,0 | 0,4<br>—   | 1,0<br>1,2 | 0,4<br>0,6 | 0,8<br>0,4 | 0,5<br>0,4 | 0,5<br>0,3 |
| Харьков     | 0,5<br>0,4 | 0,6<br>0,7 | 0,4<br>0,6 | 0,6<br>0,5  | 0,5<br>0,4 | 0,6<br>0,7 | 0,7<br>1,3 | 0,4<br>1,5 | 0,4<br>0,8 | 0,7<br>0,6 | 0,4<br>0,4 | 0,4<br>0,4 |
| Одесса      | 0,7<br>0,4 | 0,3<br>0,3 | 0,4<br>0,5 | 0,3<br>0,5  | 0,8<br>0,5 | 0,6<br>—   | 1,2<br>—   | 0,3<br>—   | 0,4<br>0,7 | 0,8<br>0,8 | 0,4<br>0,2 | 0,6<br>0,1 |
| Новосибирск | 0,4<br>0,2 | 0,4<br>0,3 | 0,2<br>0,3 | 0,3<br>0,3  | 0,1<br>0,3 | 0,3<br>0,3 | 0,2<br>1,0 | 0,2<br>0,6 | 0,1<br>0,4 | 0,4<br>0,1 | 0,4<br>0,1 | 0,2<br>0,3 |
| Минск       | 0,3<br>0,1 | 0,3<br>0,3 | 0,4<br>0,2 | 0,3<br>0,2  | 0,2<br>0,6 | 0,3<br>0,4 | 0,3<br>0,3 | 0,7<br>1,3 | 0,4<br>0,3 | 0,4<br>0,7 | 0,4<br>0,2 | 0,3<br>0,3 |
| Киев        | 0,5<br>0,6 | 0,5<br>0,1 | 0,5<br>0,6 | 0,2<br>0,6  | 0,7<br>0,5 | 0,9<br>0,7 | 5,0<br>5,4 | 1,1<br>1,9 | 0,6<br>0,9 | 0,3<br>0,4 | 0,6<br>0,5 | 0,3<br>0,5 |
| Чита        | —<br>—     | —<br>—     | 0,3<br>—   | 0,1<br>0,3  | 0,2<br>0,3 | 0,3<br>0,5 | 1,4<br>0,6 | 0,6<br>0,4 | 0,7<br>0,2 | 0,2<br>0,4 | —<br>0,3   | —<br>—     |
| Рига        | 0,6<br>0,5 | 0,1<br>0,1 | 0,1<br>0,2 | 0,6<br>0,5  | 0,4<br>0,8 | 0,5<br>1,1 | 0,5<br>0,9 | 0,5<br>1,8 | 0,5<br>0,5 | 0,5<br>0,5 | 0,3<br>0,4 | 0,4<br>0,4 |
| Львов       | 0,2<br>0,1 | 0,3<br>0,4 | 0,5<br>0,7 | 0,7<br>0,6  | 0,4<br>0,5 | 0,8<br>0,9 | 0,9<br>0,7 | 0,8<br>0,8 | 0,5<br>0,7 | 0,7<br>0,8 | 0,5<br>0,3 | 0,5<br>0,6 |
| Актюбинск   | 0,3<br>0,4 | 0,3<br>0,3 | 0,3<br>0,3 | 0,2<br>0,6  | 0,1<br>0,4 | 0,3<br>0,4 | 0,6<br>0,5 | 0,3<br>0,2 | 0,4<br>0,5 | 0,3<br>0,5 | 0,3<br>0,3 | 0,3<br>0,1 |
| Свердловск  | 0,2<br>0,2 | 0,2<br>0,3 | 0,3<br>0,3 | 0,4<br>0,5  | 0,1<br>0,4 | 0,4<br>0,8 | 0,9<br>1,4 | 0,8<br>0,7 | 0,7<br>0,4 | 0,6<br>0,5 | 0,3<br>0,1 | 0,3<br>0,4 |
| Хабаровск   | 0,0<br>0,2 | 0,1<br>0,1 | 0,3<br>0,4 | 0,4<br>—    | 0,4<br>0,6 | 1,2<br>1,4 | 1,8<br>1,8 | 1,6<br>1,6 | 1,0<br>0,8 | 0,2<br>0,4 | 0,3<br>0,3 | —<br>—     |
| Москва      | 0,5<br>0,5 | 0,2<br>0,2 | 0,6<br>0,7 | 0,4<br>0,7  | 0,1<br>0,3 | 0,7<br>0,7 | 0,6<br>1,1 | 0,8<br>0,8 | 0,5<br>0,5 | 0,8<br>0,6 | 0,3<br>0,4 | 0,4<br>0,6 |
| Ленинград   | 0,4<br>0,3 | 0,2<br>0,1 | 0,4<br>0,3 | 0,3<br>—0,4 | 0,6<br>0,3 | 0,8<br>0,7 | 0,5<br>0,8 | 0,5<br>0,7 | 0,7<br>0,8 | 0,7<br>0,7 | 0,4<br>0,5 | 0,7<br>0,6 |
| Ашхабад     | 0,4<br>0,3 | 0,4<br>0,4 | 0,6<br>0,8 | 0,3<br>0,6  | 1,4<br>0,5 | 1,1<br>0,5 | 0,6<br>0,9 | 1,2<br>1,0 | 0,1<br>0,2 | 0,3<br>0,4 | 0,4<br>0,5 | 0,6<br>0,4 |
| Архангельск | 0,1<br>0,2 | 0,3<br>0,2 | 0,3<br>0,3 | 0,3<br>0,5  | 0,5<br>0,6 | 0,5<br>0,7 | 0,5<br>0,8 | 0,7<br>0,9 | 0,7<br>0,6 | 0,6<br>0,6 | 0,5<br>0,3 | 0,6<br>0,5 |
| Якутск      | —<br>—     | —<br>—     | 0,2<br>0,1 | 0,4<br>0,2  | 0,3<br>0,4 | 0,3<br>0,6 | 0,7<br>0,8 | 0,9<br>1,0 | 0,7<br>0,3 | 0,4<br>0,2 | 0,1<br>0,1 | —<br>—     |

На рис. 5 видно, что ошибка в измерении температуры подстилающей поверхности со спутника радиационными методами будет значительно больше в летние месяцы, что легко объясняется большим содержанием водяного пара в атмосфере в теплое время года. Ошибка в измерении температуры облаков практически постоянна в течение года. Некоторое увеличение ее наблюдается в летние месяцы.

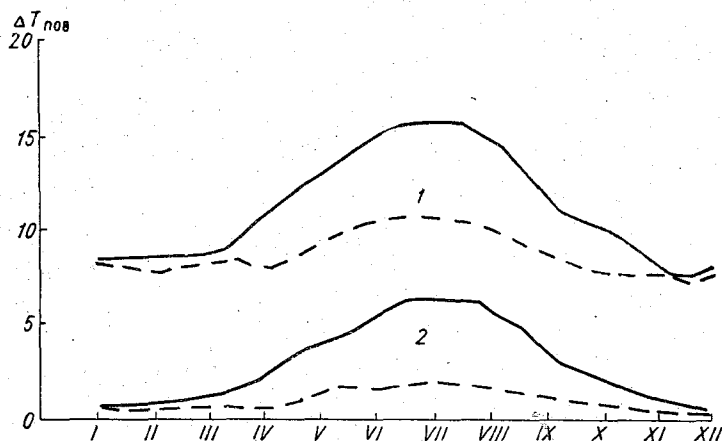


Рис. 5. Годовой ход величины  $\Delta T_{\text{п}}$  ( $\Delta T_{\text{п}}'$ ) для безоблачной атмосферы в интервалах спектра 8—12 (1) и 10,55—12,0 мк (2) для района Харькова.

Сравнение ошибок в определении температуры подстилающей поверхности, имеющих место при измерениях в диапазонах 8—12 и 10,55—12,0 мк, показывает, что ошибки в измерении температуры подстилающей поверхности и облаков оказываются значительно меньшими во втором диапазоне, где отсутствует поглощение радиации озоном, и, следовательно, выгоднее производить измерение температуры подстилающей поверхности и облаков с метеорологических спутников.

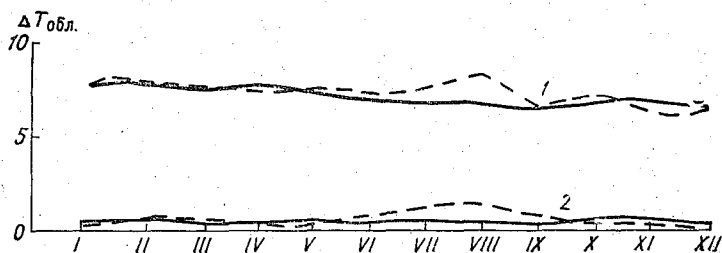


Рис. 6. Годовой ход величины  $\Delta T_{\text{п}}$  ( $\Delta T_{\text{п}}'$ ) при наличии облачности нижнего яруса в интервалах спектра 8—12 (1) и 10,55—12,0 мк (2) для района Харькова.

На рис. 7 представлена вероятность распределения ошибок в измерении температуры подстилающей поверхности при безоблачном небе радиационным методом в диапазоне 8—12 мк. Кривая получена из рассмотрения данных для 24 городов в течение всего года.

Как видно на рисунке, наиболее вероятными ошибками при измере-

нии температуры подстилающей поверхности в области 8—12 мк являются ошибки порядка  $10^\circ$ ; они наблюдаются в 60% случаев.

Отметим в заключение, что представляется возможным рекомендовать использование полученных климатологических разностей между

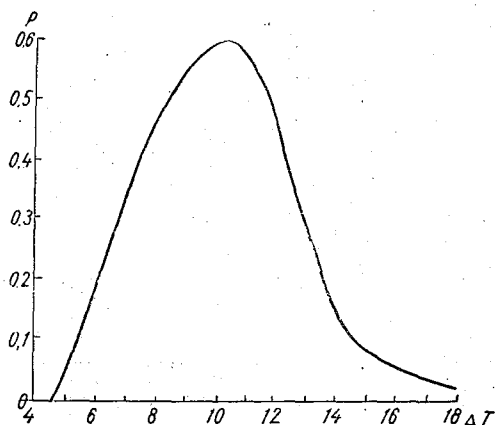


Рис. 7. Вероятность распределения ошибок в измерении  $T_{п.п.}$  при безоблачном небе радиационным методом в диапазоне 8—12 мк.

радиационной и фактической температурами подстилающей поверхности (табл. 9—12) в качестве поправок к результатам измерений температуры подстилающей поверхности с метеорологических спутников Земли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллова Т. В. Формирование радиационного баланса деятельной поверхности. Тр. Всесоюз. научн. мет. совещ., т. VI. Гидрометеиздат, Л., 1963.
2. Кондратьев К. Я. Метеорологические спутники. Гидрометеиздат, Л., 1963.
3. Кондратьев К. Я., Тер-Маркарянц Н. Е. О возможности обнаружения облачности на ночной стороне Земли по данным измерений уходящего теплового излучения в «окне прозрачности» атмосферы. Тр. ГГО, вып. 170, 1965.
4. Кронрод А. С. Узлы и веса квадратурных формул. Изд. «Наука», Москва, 1964.
5. Нийлиск Х. Об определении интенсивности длинноволновой радиации в атмосфере. Исследования по физике атмосферы. Изд. АН ЭССР, 1962.
6. Новосельцев Е. П., Тер-Маркарянц Н. Е. Об излучательной способности водной поверхности. Тр. Всесоюз. научн. мет. совещ., т. VI. Гидрометеиздат, Л., 1963.
7. Гребер Г., Эрк С. и Григуль У. Основы учения о теплообмене. ИЛ, 1958.
8. Генри Л. Хэкфорд. Инфракрасное излучение. Изд. «Энергия», М.—Л., 1964.
9. Jonson F. The solar constant. Journal of Meteorology, N 6, 1954.
10. Walshaw C. D. Integrated absorption by the 9,6  $\mu$  band of ozone. Quart. Journ. Roy. Met. Soc., N 83, 1957.
11. Новосельцев Е. П. О выборе спектрального диапазона для целей определения температуры подстилающей поверхности и облаков со спутника при помощи радиометра. Тр. ГГО, вып. 166, 1965.

*В. Л. ГАЕВСКИЙ, Ю. И. РАБИНОВИЧ,  
А. И. РЕШЕТНИКОВ*

### **НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ АЛЬБЕДО СЛОИСТЫХ ОБЛАКОВ В ОБЛАСТИ СПЕКТРА 8—12 мк**

Приведены результаты самолетных измерений излучения облаков нижнего и среднего ярусов в области спектра 8—12 мк. По данным измерений и результатам вертикального зондирования атмосферы определены альбедо для облаков различной толщины и агрегатного состояния. Проведены сопоставления с данными расчетов.

Излучательная способность облаков в различных спектральных областях представляет существенный интерес для решения задач по определению радиационного баланса облачного слоя и системы Земля — атмосфера в целом. Расчеты по определению альбедо облаков выполнялись в ряде работ, из которых наиболее существенными являются [1, 2]. Особое значение представляют данные об альбедо облачности в области спектра 8—12 мк, поскольку измерения излучения облаков со спутника на этом спектральном участке могут использоваться для определения высоты верхней границы облачности. С помощью методики и аппаратуры, описанной в работе [3], был выполнен ряд измерений излучения облаков в области спектра 8—12 мк, которые могут быть использованы для оценки величины альбедо. Они производились с самолета, летящего над верхней кромкой на высоте 50—100 м, с тем чтобы можно было не учитывать влияния слоя атмосферы между облаком и самолетом. Этим измерениям предшествовали вертикальное зондирование атмосферы, при котором определялась толщина облака и профиль температуры воздуха внутри облака, и измерения профиля радиационной температуры по всей толще облака.

Если оптическая толщина облаков оказывалась достаточно большой, то на некотором уровне внутри облака наблюдалось термодинамическое равновесие, при котором радиационная температура, измеряемая прибором, обращенным вниз, становилась равной или близкой к температуре воздуха. При недостаточной оптической толщине облака его радиационная температура на верхней кромке зависит также от радиационной температуры подстилающей поверхности. Оптическая толщина облака зависит от размеров облачных капель, агрегатного состояния облака, геометрической толщины и высоты облака, поскольку последняя определяет размер облачных частиц и агрегатное состояние. Обычно более высокие облака при равной геометрической толщине имеют меньшую оптическую толщину, поскольку они имеют существенно меньший запас влаги.



Таблица I

## Результаты определения альbedo облаков

| Дата, район                   | Агрегатное состояние облаков | Нижняя кромка |                   |                  | Внутри облака |                   |                  | Верхняя кромка |                   |                  | Альbedo |
|-------------------------------|------------------------------|---------------|-------------------|------------------|---------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|------------------|---------|
|                               |                              | $H_m$         | $t_{\text{возд}}$ | $t_{\text{рад}}$ | $H_m$         | $t_{\text{возд}}$ | $t_{\text{рад}}$ | $H_m$          | $t_{\text{возд}}$ | $t_{\text{рад}}$ |         |
| 11/XII, Ленинград . . . . .   | Водяные                      | 1500          | —                 | —                | —             | —                 | —                | 2500           | -6,2              | -7,0             | 0,02    |
| 23/XII, Ленинград . . . . .   | "                            | 1200          | —                 | —                | —             | —                 | —                | 1600           | -9,4              | -9,4             | 0,00    |
| 25/XII, Ленинград . . . . .   | "                            | 600           | 1,2               | -3,2             | 1000          | -5,8              | -6,4             | 1200           | -6,4              | -9,0             | 0,06    |
| 26/I, Рига . . . . .          | Смешанные                    | 250           | —                 | —                | 400           | -13,5             | -13,2            | 500            | -13,5             | -18,1            | 0,08    |
| 26/I, Таллин . . . . .        | Ледяные                      | 500           | -6,0              | -17,0            | 550           | -13,0             | -14,4            | 600            | -4,5              | -16,4            | 0,23    |
| 27/I, Таллин . . . . .        | Смешанные                    | 1100          | -6,0              | -8,9             | 1400          | -9,6              | -9,0             | 1800           | -12,0             | -15,0            | 0,06    |
| 29/I, Рига . . . . .          | "                            | 4000          | -10,2             | -12,2            | 4200          | -13,5             | -13,4            | 4500           | -18,0             | -21,4            | 0,08    |
| 30/I, Кольский п-ов . . . . . | Водяные                      | 1800          | -9,0              | -9,6             | 2000          | -9,0              | -10,4            | 2500           | -12,0             | -13,2            | 0,03    |
| 30/I, Петрозаводск . . . . .  | Смешанные                    | 200           | —                 | —                | 400           | -12,5             | -16,2            | 450            | -10,0             | -16,0            | 0,12    |

В табл. 1 даны результаты измерений, выполненных авторами для слоистых и слоисто-кучевых водяных и смешанных облаков в зимнее время года. Расчет альбеда производился следующим образом. По величине радиационной температуры верхней кромки облачности определялось излучение облака с учетом спектральной характеристики прибора. Аналогичный расчет выполнялся для излучения облака при температуре, равной температуре воздуха у верхней кромки. Величина альбеда вычислялась по следующей формуле:

$$A = 1 - \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(T_{\text{рад}}) \Phi(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(T_{\text{возд}}) \Phi(\lambda) d\lambda}$$

Здесь  $F(T_{\text{рад}})$  и  $F(T_{\text{возд}})$  — функции Планка для соответствующих температур,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — длины волн, соответствующие границам области пропускания фильтра радиометра, а  $\Phi(\lambda)$  — спектральная характеристика радиометра.

При таком определении альбеда делается два существенных допущения:

1) эффективная температура излучающего слоя облака совпадает с температурой воздуха у верхней кромки;

2) измерения, выполненные в нормальном направлении, распространяются на все углы, т. е. предполагается, что облако ортотропно.

Результаты вычисления, приведенные в табл. 1, показывают, что для водяных облаков средняя величина альбеда составила 0,03—0,04, причем отличия в альбеде между St и As замечено не было. Для смешанных облаков значения альбеда получились выше и среднее значение их составляет 0,08—0,09. Несколько отличается один случай измерения 26/1. Здесь для кристаллического облака было получено значение альбеда 0,23. При небольшой толщине облака (порядка 150 м) видно сильное влияние излучения холодной подстилающей поверхности. Радиационная температура подстилающей поверхности (снег) в этом случае составила около  $-18^\circ\text{C}$ .

По данным Е. М. Фейгельсон [2] (табл. 2), альбеда водяных облаков имеет более высокие значения. Для слоистых облаков приводятся следующие значения спектрального альбеда.

Таблица 2

| Альбеда водяных облаков, по данным Е. М. Фейгельсон |    |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------|----|----|----|----|----|
| $\lambda$ мк                                        | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| $A\%$                                               | 41 | 18 | 12 | 5  | 5  |

Следует заметить, что допущения, принятые в нашей методике, должны приводить к некоторому завышению величины альбеда.

В работе [4] предлагается другой метод расчета излучательной способности облаков по измерениям восходящего потока. Здесь рассматривается схема, при которой учитывается собственное излучение и пропускание облака. В этом случае получаются простые соотношения для определения излучательной способности. Таким приближением, по-видимому, можно пользоваться для очень тонких просвечивающих облаков, но и в этом случае учет альбеда может дать существенные погрешности.

К сожалению, большие затруднения, связанные с проведением самолетных измерений, не позволяют в короткий срок получить достаточно большой экспериментальный материал для определения зависимости альбедо от высоты и толщины облака. Кроме того, трудности в измерении потока радиации, падающего на верхнюю кромку облака, не позволяют непосредственно по экспериментальным данным определять альбедо облаков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шифрин К. С. Перенос тепловой радиации в облаках. Тр. ГГО, вып. 46, 1955.
2. Фейгельсон Е. М. Радиационные процессы в слоистообразных облаках. Изд. «Наука», М., 1962.
3. Гаевский В. Л., Рабинович Ю. И. Об учете влияния атмосферы на результаты измерения радиационной температуры земной поверхности с искусственных спутников Земли. Тр. ГГО, вып. 166, 1964.
4. P. M. K u h n. Measured effective long-wave emissivity of clouds. Monthly Weather Rev., 1963, v. 91, N 10, 12.

Е. П. БАРАШКОВА

## К ВЕРТИКАЛЬНОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ДЛИННОВОЛНОВОГО ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА

Приводятся результаты и анализ расчетов вертикального распределения восходящего длинноволнового потока  $E_{3z}$  для 26 пунктов Советского Союза.

Для проверки методики расчета произведено сопоставление рассчитанных и измеренных с помощью актинометрического зонда величин  $E_{3z}$ , которое показало их удовлетворительное согласие.

В связи с развитием работ по изучению радиационного режима системы Земля — атмосфера большой интерес представляют вопросы, связанные с вертикальным распределением радиационного баланса и отдельных его составляющих.

Несмотря на значительное развитие за последние годы экспериментальных работ, проводимых в этом направлении, таких, как самолетные и аэростатные измерения, актинометрическое радиозондирование, объем полученных сведений все еще остается недостаточным, для того чтобы получить представление о характере вертикального распределения отдельных составляющих радиационного баланса в различные сезоны и в различных географических зонах СССР. Поэтому для оценки вертикального распределения восходящего длинноволнового потока в различных географических районах СССР был использован расчетный метод, предложенный ранее в работе [1]. Из этой работы следует, что при безоблачном небе восходящий длинноволновый поток  $E_{3z}$  на высоте  $z$  может быть представлен в виде

$$E_{3z} = \sigma T_0^4 \cdot 10^{-0,0036(T_0 - T_z)}, \quad (1)$$

где  $T_0$  — температура подстилающей поверхности,  $T_z$  — температура воздуха на высоте  $z$ ,  $\sigma$  — постоянная Стефана — Больцмана.

Таким образом, исходными данными для расчета по формуле (1) являются данные о вертикальном распределении температуры воздуха и температуре подстилающей поверхности. Формула (1) была получена в результате анализа величин радиационных потоков, рассчитанных с помощью диаграммы Шехтер [2].

Полученные за последние годы экспериментальные данные позволили проверить справедливость формулы (1). В частности, для этой цели были использованы результаты актинометрических радиозондирований, проводимых сотрудниками Центральной аэрологической observa-

торий в Долгопрудной в 1962 г. На рис. 1, где по оси абсцисс отложена разность  $T_0 - T_z$ , а по оси ординат — отношение  $\frac{E_{3z}}{\sigma T_0^4}$ , сплошная линия соответствует формуле (1), а отдельные точки и крестики — результатам актинометрического зондирования. Здесь  $T_0$  — температура почвы на метеоплощадке.

Средняя зависимость  $\frac{E_{3z}}{\sigma T_0^4}$  от  $T_0 - T_z$ , полученная на основании актинометрического зондирования, совпадает с зависимостью, представленной формулой (1). Отдельные точки отклоняются от средней кривой, однако в большинстве случаев отклонение не превышает  $\pm 10\%$ .

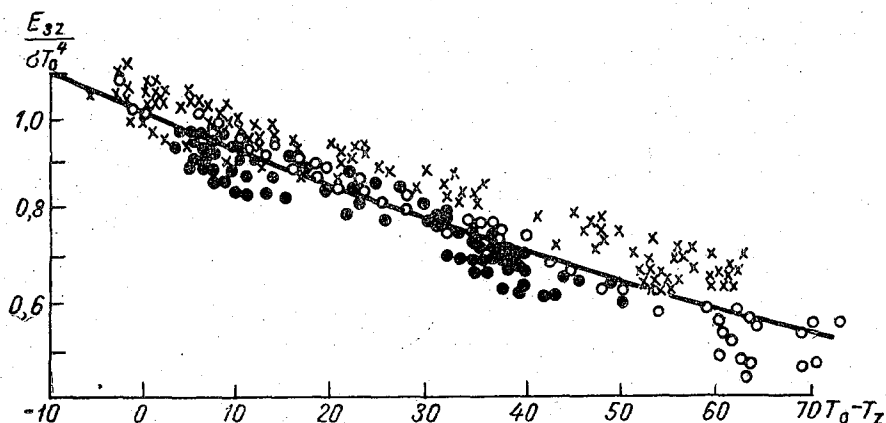


Рис. 1. Зависимость отношения  $\frac{E_{3z}}{\sigma T_0^4}$  от разности температур почва—воздух ( $T_0 - T_z$ ).

Наблюдаемый разброс точек на рис. 1 может быть вызван рядом причин:

- 1) ошибками в измерении радиационных потоков;
- 2) ошибками в определении температуры почвы;
- 3) ошибками в определении температуры воздуха на различных высотах;
- 4) несоответствием температуры почвы, измеренной на метеорологической площадке, средней температуре территории, над которой происходит зондирование;
- 5) несоответствием излучательной способности реальной и принятой при расчетах подстилающей поверхности.

По теоретическим оценкам Г. Н. Костяного [3], ошибка в определении радиационного баланса с помощью актинометрического зонда достигает 10%, следовательно, ошибку в определении восходящих и нисходящих потоков можно принять равной 5%.

По данным З. А. Логиновой [4], в ночное время ртутный термометр по сравнению с радиационным методом дает завышенные значения температуры почвы примерно на  $1^\circ$ , точность радиационного метода при этом оценивается в  $\pm 2^\circ$ . Таким образом, ошибка в определении температуры почвы при измерениях ртутным термометром в ночное время может меняться от  $-1$  до  $3^\circ$ , что соответствует изменению величины  $\sigma T_0^4$  в формуле (1) на 2—5%.

Вероятные максимальные ошибки при определении температуры воздуха на основании температурного зондирования, по оценкам

С. И. Соколова [5], увеличиваются с высотой зондирования от 1,3 до 4,9° С при изменении высоты зондирования от 0,5 до 10 км. Ошибка в значении ( $T_0 - T_z$ ) на 5° приводит к ошибке в определении  $E_{3z}$  на 4%.

Температурные неоднородности подстилающей поверхности, по измерениям В. Л. Гаевского [6] в Ленинградской области, наиболее заметным образом проявляются в летний сезон в дневное время. В этот период температурные различия при переходе от водной поверхности к суше достигали 30°, температура отдельных участков суши изменялась от 10 до 30°. В утренние часы, когда подстилающая поверхность недостаточно прогрета солнечными лучами, различие температур, вызванное неоднородностью подстилающей поверхности, не превышает 8°. К сожалению, не проводилось измерений радиационных температур в ночное время. Однако следует ожидать, что в ночное время соответственно времени проведения актинометрического зондирования температурные неоднородности проявляются в меньшей степени, чем в утренние часы.

В зимний сезон температуры всех поверхностей близки между собой, температурные различия не превышают 4°. Допустим, что максимальные различия в температуре подстилающей поверхности не превышали 5°. Такое различие температур вызывает расхождение в величинах восходящих потоков в 7—8%. При совместном влиянии всех перечисленных выше источников ошибок расхождение в величинах  $E_{3z}$ , вычисленных и измеренных, может достигать 20%.

Однако непосредственное сопоставление вертикальных распределений  $E_{3z}$ , полученных с помощью актинометрического зонда и по формуле (1), представленное на рис. 2, указывает на меньшее расхождение этих величин (на рис. 2 сплошной линией нанесены результаты расчетов, пунктирной — результаты измерений). За исключением 27 VIII (на высотах, больших 10 км) и 5 IV, во всех остальных случаях совпадение тех и других данных можно считать вполне удовлетворительным.

Всего было сопоставлено 256 значений  $E_{3z}$ , соответствующих 12 зондированиям, из которых 6 проводилось в апреле, 4 — в декабре и 2 — в августе. Отношения  $E_{3z}$ , рассчитанные по формуле (1), к измеренным с помощью актинометрического радиозонда  $E_{3z}^*$  распределяются следующим образом:

| $\frac{E_{3z}}{E_{3z}^*}$ | Число случаев | Число случаев (%) |
|---------------------------|---------------|-------------------|
| 0,95—1,05                 | 136           | 53                |
| 0,90—1,10                 | 220           | 86                |
| 0,85—1,15                 | 247           | 96                |

Таким образом, в большинстве случаев (в 86 случаях из 100) отклонение рассчитанных  $E_{3z}$  от измеренных не превышало  $\pm 10\%$ .

При расчетах восходящего длинноволнового потока по формуле (1) для характеристики температуры подстилающей поверхности были использованы результаты измерений температуры оголенной почвы на ряде метеостанций Советского Союза, осредненные за 4 стандартных срока (1, 7, 13 и 19 часов) по отдельным месяцам. Список этих станций, а также сводная таблица средних многолетних значений температуры почвы, составленная Л. Н. Гусевой, представлены ниже (табл. 1). Средняя величина температуры почвы, полученная таким образом, ближе всего к температуре почвы в 19 часов. Различие в большинстве случаев не превышает 2—3°.

Таблица I

Средние суточные многолетние значения температуры почвы

| Пункт                 | I     | II    | III   | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X     | XI    | XII   |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Архангельск . . . . . | -13,4 | -13,6 | -9,2  | -0,9 | 7,5  | 15,7 | 18,7 | 15,8 | 7,9  | 1,1   | -5,7  | -9,8  |
| Якутск . . . . .      | -43,7 | -38,6 | -27,4 | -9,3 | 9,3  | 21,3 | 23,3 | 18,7 | 6,5  | -9,8  | -29,9 | -41,7 |
| Сыктывкар . . . . .   | -15,5 | -16,1 | -10,4 | -0,8 | 8,7  | 18,1 | 19,6 | 16,6 | 8,2  | 0,6   | -8,0  | -11,5 |
| Ленинград . . . . .   | -7,4  | -9,5  | -6,1  | 3,2  | 12,7 | 19,2 | 21,0 | 18,4 | 10,7 | 4,7   | -1,6  | -3,6  |
| Киров . . . . .       | -13,4 | -14,5 | -7,8  | 1,9  | 12,7 | 20,2 | 20,7 | 17,8 | 9,7  | 1,7   | -6,5  | -10,7 |
| Рига . . . . .        | -5,2  | -6,1  | -2,8  | 5,9  | 13,2 | 19,0 | 20,7 | 18,4 | 12,1 | 6,6   | -1,4  | -1,4  |
| Свердловск . . . . .  | -13,8 | -16,6 | -10,0 | 3,1  | 12,2 | 19,5 | 19,3 | 16,9 | 9,3  | 1,4   | -7,7  | -14,2 |
| Казань . . . . .      | -12,4 | -13,4 | -8,2  | 3,1  | 12,9 | 20,5 | 21,2 | 18,4 | 11,0 | 3,3   | -5,0  | -9,1  |
| Москва . . . . .      | -10,4 | -10,6 | -5,6  | 4,9  | 13,5 | 19,7 | 21,2 | 18,3 | 11,0 | 4,5   | -3,0  | -6,7  |
| Новосибирск . . . . . | -19,4 | -19,0 | -10,8 | 2,8  | 14,1 | 22,0 | 24,6 | 19,5 | 11,2 | 2,3   | -11,4 | -17,3 |
| Омск . . . . .        | -19,4 | -18,0 | -13,3 | 1,8  | 14,0 | 23,0 | 22,5 | 19,1 | 11,2 | 2,0   | -8,2  | -17,2 |
| Минск . . . . .       | -6,2  | -7,3  | -4,1  | 6,1  | 15,0 | 20,6 | 21,4 | 19,4 | 12,8 | 5,7   | -0,1  | -3,6  |
| Куйбышев . . . . .    | -12,9 | -13,4 | -7,6  | 6,1  | 18,4 | 25,3 | 26,0 | 23,0 | 13,8 | 4,3   | -4,9  | -9,2  |
| Иркутск . . . . .     | -23,6 | -22,7 | -12,3 | 2,2  | 11,3 | 20,0 | 22,1 | 18,4 | 9,8  | 1,1   | -13,0 | -21,7 |
| Чита . . . . .        | -27,6 | -23,6 | -11,3 | 3,3  | 13,4 | 21,7 | 21,9 | 19,2 | 10,1 | -0,05 | -15,2 | -24,2 |
| Киев . . . . .        | -5,1  | -5,6  | -1,1  | 8,6  | 17,0 | 23,0 | 24,3 | 22,1 | 15,2 | 7,6   | -1,0  | -2,1  |
| Актюбинск . . . . .   | -13,9 | -15,3 | -9,6  | 5,2  | 18,5 | 25,0 | 27,2 | 24,7 | 15,7 | 4,9   | -5,9  | -11,2 |
| Харьков . . . . .     | -5,8  | -7,0  | -1,6  | 9,3  | 14,6 | 24,2 | 25,6 | 23,4 | 13,5 | 6,5   | -0,1  | -3,1  |
| Львов . . . . .       | -4,2  | -4,7  | 0,2   | 6,9  | 14,6 | 19,9 | 21,6 | 18,9 | 14,9 | 8,0   | -2,0  | -1,2  |
| Волгоград . . . . .   | -7,4  | -8,8  | -3,6  | 10,3 | 21,1 | 27,6 | 30,2 | 26,5 | 17,3 | 8,6   | -1,0  | -4,3  |
| Хабаровск . . . . .   | -21,5 | -18,0 | -8,5  | 4,4  | 12,6 | 20,1 | 23,9 | 22,2 | 14,1 | 4,8   | -8,6  | -19,1 |
| Одесса . . . . .      | -1,2  | -0,2  | 2,9   | 12,0 | 20,9 | 26,2 | 29,0 | 26,5 | 19,5 | 11,7  | -5,6  | -2,1  |
| Алма-Ата . . . . .    | -9,5  | -6,7  | 0,9   | 12,1 | 19,4 | 25,2 | 29,2 | 27,2 | 20,4 | 9,6   | -2,0  | -8,2  |
| Владивосток . . . . . | -13,8 | -10,3 | -2,7  | 5,3  | 12,0 | 15,6 | 20,1 | 22,4 | 17,3 | 9,0   | -1,5  | -10,1 |
| Баку . . . . .        | -1,2  | -0,8  | 3,1   | 12,3 | 19,2 | 24,6 | 27,3 | 25,3 | 18,4 | 11,4  | -4,9  | 0,2   |
| Ашхабад . . . . .     | 3,0   | 5,1   | 10,2  | 19,2 | 27,7 | 34,5 | 37,3 | 34,4 | 27,0 | 17,2  | 7,2   | 2,9   |

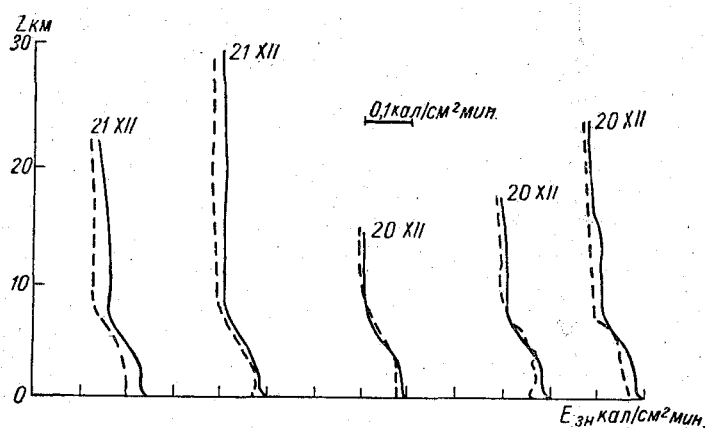
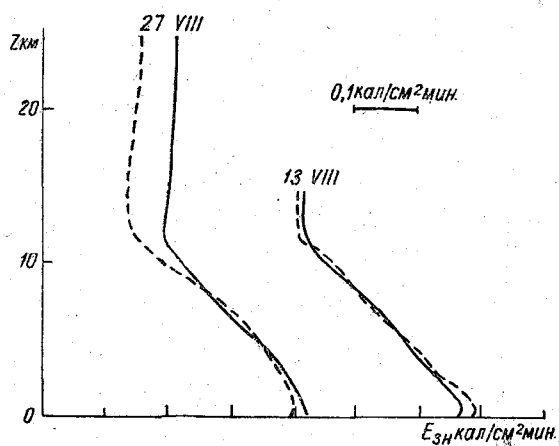
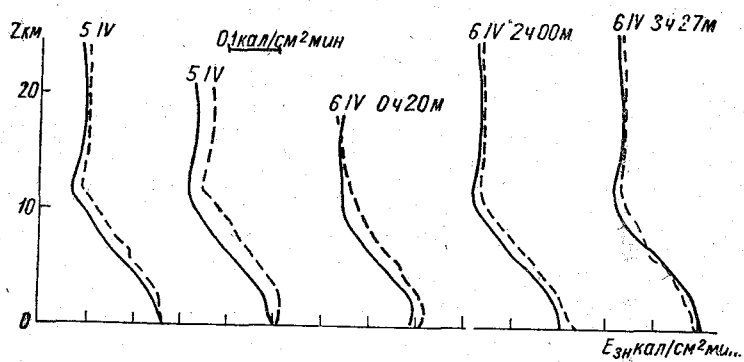


Рис. 2. Сравнение вертикальных распределений восходящего длинноволнового потока.



Рассмотрим, каким образом суточный ход температуры подстилающей поверхности отразится на величине восходящего длинноволнового потока. Наиболее заметным образом это влияние проявляется непосредственно у подстилающей поверхности, где  $E_{3z} = \sigma T_0^4$ . Ниже приводится отношение величин  $\sigma T_0^4$ , соответствующих срокам 1, 7, 13 и 19 часов, к их среднему за сутки значению в январе и июле для нескольких пунктов, расположенных в различных климатических зонах.

Таблица 2

Изменение отношения  $\frac{\sigma T_0^4}{(\sigma T_0^4)_{\text{ср}}}$  в течение суток

| Пункт                 | Январь |      |      |      | Июль |      |      |      |
|-----------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       | 1      | 7    | 13   | 19   | 1    | 7    | 13   | 19   |
| Ашхабад . . . . .     | 0,95   | 0,95 | 1,12 | 0,98 | 0,83 | 0,92 | 1,33 | 0,96 |
| Владивосток . . . . . | 0,96   | 0,94 | 1,13 | 0,99 | 0,94 | 0,97 | 1,12 | 0,98 |
| Одесса . . . . .      | 0,99   | 0,98 | 1,04 | 0,99 | 0,87 | 0,94 | 1,26 | 0,96 |
| Харьков . . . . .     | 0,99   | 0,98 | 1,03 | 0,99 | 0,88 | 0,97 | 1,21 | 0,96 |
| Омск . . . . .        | 0,98   | 0,98 | 1,06 | 0,98 | 0,88 | 0,97 | 1,17 | 0,99 |
| Свердловск . . . . .  | 1,00   | 0,98 | 1,04 | 0,98 | 0,91 | 0,97 | 1,13 | 1,00 |
| Ленинград . . . . .   | 0,99   | 0,99 | 1,01 | 0,99 | 0,90 | 0,98 | 1,15 | 0,99 |
| Якутск . . . . .      | 0,98   | 0,99 | 1,04 | 0,99 | 0,86 | 0,94 | 1,19 | 1,03 |

Из табл. 2 следует, что наибольшие отклонения  $\sigma T_0^4$  от среднего значения  $(\sigma T_0^4)_{\text{ср}}$  отмечаются в дневные часы летних месяцев; при этом в таких южных пунктах, как Одесса и Ашхабад, они достигают 26—33%, в более северных районах величина отклонения не превышает 20%. В зимние месяцы отклонение от среднего в большинстве случаев не превосходит нескольких процентов.

С увеличением высоты влияние суточного хода  $T_0$  на величину  $E_{3z}$  уменьшается. В табл. 3 приводятся средние значения восходящего длинноволнового потока  $E_{3z}$  и температуры воздуха  $T_z$  на разных высотах для ночного (03,8 часа) и дневного (15,8 часа) времени в летний и зимний сезоны, полученные для Одессы по материалам температурного зондирования в 1955 г.

Если на подстилающей поверхности различие в величинах восходящего потока в ночное и дневное время в летний период составляет около 20%, то уже на высоте  $z=0,5$  км оно уменьшается до 10% и на больших высотах остается в пределах 7—9%. В зимний период различие дневных и ночных значений на подстилающей поверхности не превосходит 8%, а с увеличением высоты до 5 км падает до нуля. Основной причиной расхождения дневных и ночных значений  $E_{3z}$  является различие в температуре подстилающей поверхности, которое в данном случае составляет  $15,6^\circ$  в летний период и  $5,1^\circ$  в зимний, так как различия в величинах температуры воздуха для ночного и дневного времени уже начиная с высот  $z=0,5$  км не превышают  $3^\circ \text{C}$ .

В дальнейшем при расчете восходящего длинноволнового потока по формуле (1) для каждого месяца использовались средние многолетние значения температуры воздуха  $T_z$ , полученные осреднением всех результатов радиозондирований, проведенных в дневные и в ночные сроки.

Расчеты произведены для 26 пунктов Советского Союза: Архангельск, Ленинград, Сыктывкар и Киров — характеризуют север и северо-запад ЕТС; Киев, Харьков, Одесса — области Украины; Москва,

Сравнение вертикального распределения восходящего длинноволнового потока в ночное и дневное время

| z км                                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 0,0                                               | 0,04  | 0,50  | 1,0   | 1,5   | 2,0   | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 6,0   | 7,0   | 8,0   |       |  |
| Лето                                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| День $E_{3z}$                                     | 0,756 | 0,742 | 0,678 | 0,650 | 0,626 | 0,607 | 0,580 | 0,557 | 0,534 | 0,518 | 0,486 | 0,446 |  |
| $T_z$                                             | 34,9  | 24,0  | 20,8  | 17,2  | 13,4  | 10,1  | 4,7   | -0,6  | -5,9  | -12,3 | -19,3 | -26,4 |  |
| Ночь $E_{3z}$                                     | 0,628 | 0,608 | 0,616 | 0,604 | 0,584 | 0,567 | 0,547 | 0,521 | 0,495 | 0,476 | 0,449 | 0,418 |  |
| $T_z$                                             | 19,3  | 17,8  | 18,1  | 15,5  | 11,7  | 8,5   | 2,9   | -2,5  | -8,5  | -14,9 | -21,9 | -26,4 |  |
| $\frac{E_{3z}(\text{день})}{E_{3z}(\text{ночь})}$ | 1,20  | 1,22  | 1,10  | 1,08  | 1,07  | 1,07  | 1,06  | 1,07  | 1,08  | 1,09  | 1,08  | 1,07  |  |
| $\Delta T_z$                                      | 15,6  | 6,2   | 2,7   | 1,7   | 1,7   | 1,6   | 1,8   | 1,9   | 2,6   | 2,6   | 2,6   | 0,0   |  |
| Зима                                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| День $E_{3z}$                                     | 0,483 | 0,476 | 0,494 | 0,490 | 0,480 | 0,472 | 0,439 | 0,419 | 0,399 |       |       |       |  |
| $T_z$                                             | 2,2   | 3,6   | 0,1   | -0,7  | -2,4  | -4,7  | -10,1 | -16,6 | -22,6 |       |       |       |  |
| Ночь $E_{3z}$                                     | 0,448 | 0,440 | 0,460 | 0,460 | 0,441 | 0,437 | 0,426 | 0,410 | 0,398 |       |       |       |  |
| $T_z$                                             | -2,9  | -2,1  | -2,1  | -2,8  | -4,6  | -6,8  | -10,9 | -16,1 | -21,0 |       |       |       |  |
| $\frac{E_{3z}(\text{день})}{E_{3z}(\text{ночь})}$ | 1,07  | 1,08  | 1,07  | 1,06  | 1,08  | 1,08  | 1,03  | 1,02  | 1,00  |       |       |       |  |
| $\Delta T_z$                                      | 5,1   | 5,7   | 2,2   | 2,1   | 2,2   | 2,1   | 0,8   | -0,5  | -1,6  |       |       |       |  |

Казань, Куйбышев, Волгоград — центральную часть ЕТС; Омск, Новосибирск, Актыбинск — Западную Сибирь и Казахстан; Хабаровск, Владивосток, Чита — дальневосточные районы СССР; Восточная Сибирь представлена Якутском; Средняя Азия — Ашхабадом, Алма-Атой.

Во всех пунктах значения  $E_{3z}$  получены для высот  $z = 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0$  км над уровнем моря. Значения  $z = 0$  соответствуют уровню подстилающей поверхности.

Результаты расчетов приведены в табл. 4. Таблица содержит величины  $E_{3z}$  для всех высот и пунктов.

Эти данные позволяют проследить, во-первых, годовой ход восходящего длинноволнового потока на разных высотах, во-вторых, особенности его вертикального распределения в зависимости от сезона и географического положения пункта.

Годовой ход восходящего длинноволнового потока на всех рассмотренных высотах является следствием изменения температуры почвы и поэтому повторяет ее годовой ход: максимум  $E_{3z}$ , как правило, отмечается в июле, минимум — в январе и феврале. Наиболее отчетливо годовой ход  $E_{3z}$  проявляется в нижних слоях, с увеличением высоты он несколько сглаживается, но остается еще весьма заметным и на высоте 8 км. Для большинства рассмотренных пунктов характерным является то обстоятельство, что наиболее заметное сглаживание годового хода с высотой проявляется в нижнем трехкилометровом слое; при дальнейшем увеличении высоты относительные изменения  $E_{3z}$  в течение года практически остаются постоянными. Это заключение подтверждается табл. 5, где на примере нескольких пунктов показано изменение с высотой отношения максимальных и минимальных значений  $E_{3z}$ , отмечаемых в течение года.

Исключение составляет Якутск, где годовой ход температуры почвы выражен наиболее ярко. В этом случае сглаживание годового хода  $E_{3z}$  с высотой прослеживается до 8 км. Остановимся на вертикальном распределении восходящего длинноволнового потока.

Из формулы (1) следует, что зависимость  $E_{3z}$  от высоты определяется поведением разности  $T_0 - T_z$ , т. е. в конечном счете вертикальное распределение  $E_{3z}$  зависит от вертикального распределения температуры.

Известно, что наиболее неустойчивые градиенты  $T_z$  наблюдаются в нижнем двухкилометровом слое, где значения градиентов изменяются в течение года и в зависимости от времени суток. В летний период днем в этом слое отмечаются сверхадиабатические градиенты, а ночью и зимой возникают глубокие инверсии температуры. Выше этого слоя градиенты температуры более устойчивы.

Такой же ход с высотой отмечается и у восходящего длинноволнового потока. На рис. 3 даны примеры вертикального распределения  $E_{3z}$  в нескольких пунктах, расположенных в различных климатических зонах (по оси ординат на этом рисунке отложена высота в км, по оси абсцисс —  $E_{3z}$  в кал/см<sup>2</sup> мин.). На этом рисунке отчетливо проявляется различие в характере вертикального распределения  $E_{3z}$  в нижнем и верхнем слое тропосферы.

В слое, расположенном выше 3 км, независимо от времени года и географического положения пункта происходит линейное убывание  $E_{3z}$  с высотой. Характерно, что величина градиента  $\gamma = -\frac{\Delta E_{3z}}{\Delta z}$ , считаемого положительным при убывании  $E_{3z}$  с высотой, имеет отчетливый годовой ход, увеличиваясь при переходе от зимних месяцев к летним. Максимум достигается в июне, июле; минимум — в январе, феврале. Ниже

Таблица 4

| Пункт                 | Восходящий длинноволновый поток (кал/см <sup>2</sup> мин.) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | z км                                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                       | 0,0                                                        | 0,2   | 0,5   | 1,0   | 1,5   | 2,0   | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 6,0   | 7,0   | 8,0   |
| Январь                |                                                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Архангельск . . . . . | 0,370                                                      | 0,376 | 0,377 | 0,375 | 0,371 | 0,365 | 0,351 | 0,333 | 0,316 | 0,300 | 0,285 | 0,273 |
| Якутск . . . . .      | 0,225                                                      | 0,227 | 0,238 | 0,252 | 0,257 | 0,257 | 0,251 | 0,241 | 0,230 | 0,220 | 0,210 | 0,202 |
| Сыктывкар . . . . .   | 0,358                                                      | 0,359 | 0,361 | 0,363 | 0,362 | 0,358 | 0,346 | 0,331 | 0,314 | 0,298 | 0,283 | 0,269 |
| Ленинград . . . . .   | 0,405                                                      | 0,402 | 0,402 | 0,401 | 0,397 | 0,392 | 0,378 | 0,361 | 0,343 | 0,325 | 0,306 | 0,291 |
| Киров . . . . .       | 0,370                                                      | —     | 0,375 | 0,377 | 0,375 | 0,371 | 0,358 | 0,343 | 0,326 | 0,310 | 0,293 | 0,278 |
| Рига . . . . .        | 0,419                                                      | 0,420 | 0,418 | 0,415 | 0,410 | 0,404 | 0,389 | 0,371 | 0,353 | 0,334 | 0,317 | 0,301 |
| Свердловск . . . . .  | 0,367                                                      | —     | 0,366 | 0,371 | 0,370 | 0,367 | 0,355 | 0,340 | 0,323 | 0,307 | 0,291 | 0,276 |
| Казань . . . . .      | 0,375                                                      | 0,369 | 0,372 | 0,374 | 0,373 | 0,370 | 0,357 | 0,342 | 0,326 | 0,309 | 0,292 | 0,278 |
| Москва . . . . .      | 0,387                                                      | —     | 0,383 | 0,385 | 0,384 | 0,379 | 0,366 | 0,351 | 0,333 | 0,316 | 0,300 | 0,284 |
| Новосибирск . . . . . | 0,337                                                      | 0,342 | 0,345 | 0,352 | 0,351 | 0,348 | 0,337 | 0,322 | 0,307 | 0,291 | 0,278 | 0,264 |
| Омск . . . . .        | 0,337                                                      | 0,344 | 0,352 | 0,358 | 0,357 | 0,353 | 0,341 | 0,326 | 0,310 | 0,294 | 0,276 | 0,261 |
| Минск . . . . .       | 0,412                                                      | —     | 0,409 | 0,408 | 0,406 | 0,400 | 0,386 | 0,369 | 0,352 | 0,334 | 0,316 | 0,300 |
| Куйбышев . . . . .    | 0,372                                                      | 0,369 | 0,372 | 0,376 | 0,376 | 0,372 | 0,360 | 0,346 | 0,330 | 0,312 | 0,296 | 0,281 |
| Иркутск . . . . .     | 0,315                                                      | —     | —     | 0,335 | 0,334 | 0,329 | 0,315 | 0,303 | 0,289 | 0,275 | 0,263 | 0,249 |
| Чита . . . . .        | 0,295                                                      | —     | —     | 0,307 | 0,309 | 0,307 | 0,298 | 0,287 | 0,274 | 0,261 | 0,248 | 0,238 |
| Киев . . . . .        | 0,419                                                      | —     | 0,416 | 0,415 | 0,412 | 0,406 | 0,391 | 0,374 | 0,356 | 0,338 | 0,320 | 0,302 |
| Актюбинск . . . . .   | 0,367                                                      | —     | 0,365 | 0,374 | 0,374 | 0,372 | 0,361 | 0,345 | 0,327 | 0,306 | 0,289 | 0,275 |
| Харьков . . . . .     | 0,415                                                      | 0,406 | 0,405 | 0,408 | 0,405 | 0,400 | 0,386 | 0,369 | 0,353 | 0,334 | 0,316 | 0,299 |
| Дьнов . . . . .       | 0,425                                                      | —     | 0,428 | 0,428 | 0,421 | 0,415 | 0,400 | 0,382 | 0,363 | 0,344 | 0,326 | 0,308 |
| Волгоград . . . . .   | 0,405                                                      | 0,395 | 0,401 | 0,407 | 0,405 | 0,401 | 0,388 | 0,371 | 0,353 | 0,334 | 0,315 | 0,297 |
| Хабаровск . . . . .   | 0,326                                                      | 0,325 | 0,325 | 0,324 | 0,322 | 0,319 | 0,311 | 0,299 | 0,285 | 0,273 | 0,261 | 0,253 |
| Одесса . . . . .      | 0,444                                                      | 0,440 | 0,438 | 0,435 | 0,431 | 0,425 | 0,409 | 0,391 | 0,372 | 0,352 | 0,332 | 0,314 |
| Алма-Ата . . . . .    | 0,392                                                      | —     | —     | 0,407 | 0,413 | 0,410 | 0,394 | 0,374 | 0,354 | 0,334 | 0,315 | 0,296 |
| Владивосток . . . . . | 0,367                                                      | 0,363 | 0,362 | 0,357 | 0,353 | 0,349 | 0,339 | 0,327 | 0,312 | 0,300 | 0,284 | 0,274 |
| Баку . . . . .        | 0,444                                                      | 0,458 | 0,454 | 0,448 | 0,442 | 0,435 | 0,419 | 0,399 | 0,378 | 0,358 | 0,338 | 0,319 |
| Ашхабад . . . . .     | 0,472                                                      | —     | 0,472 | 0,468 | 0,464 | 0,454 | 0,433 | 0,412 | 0,390 | 0,370 | 0,348 | 0,328 |
| Февраль               |                                                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Архангельск . . . . . | 0,369                                                      | 0,375 | 0,376 | 0,374 | 0,371 | 0,374 | 0,371 | 0,365 | 0,352 | 0,338 | 0,322 | 0,305 |
| Якутск . . . . .      | 0,246                                                      | 0,252 | 0,261 | 0,271 | 0,274 | 0,274 | 0,267 | 0,256 | 0,245 | 0,233 | 0,223 | 0,215 |
| Сыктывкар . . . . .   | 0,355                                                      | 0,361 | 0,362 | 0,363 | 0,362 | 0,352 | 0,345 | 0,331 | 0,315 | 0,299 | 0,284 | 0,269 |
| Ленинград . . . . .   | 0,392                                                      | 0,393 | 0,393 | 0,391 | 0,388 | 0,382 | 0,368 | 0,352 | 0,335 | 0,318 | 0,301 | 0,284 |

|                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Киров . . . . .       | 0,363 | —     | 0,368 | 0,371 | 0,370 | 0,366 | 0,354 | 0,339 | 0,323 | 0,305 | 0,288 | 0,274 |
| Рига . . . . .        | 0,413 | 0,416 | 0,413 | 0,409 | 0,404 | 0,398 | 0,383 | 0,366 | 0,347 | 0,328 | 0,311 | 0,295 |
| Свердловск . . . . .  | 0,352 | —     | 0,363 | 0,366 | 0,365 | 0,361 | 0,348 | 0,333 | 0,317 | 0,301 | 0,285 | 0,270 |
| Казань . . . . .      | 0,370 | 0,371 | 0,373 | 0,375 | 0,373 | 0,369 | 0,356 | 0,344 | 0,327 | 0,311 | 0,294 | 0,279 |
| Москва . . . . .      | 0,386 | —     | 0,388 | 0,388 | 0,386 | 0,381 | 0,369 | 0,352 | 0,335 | 0,318 | 0,301 | 0,286 |
| Новосибирск . . . . . | 0,339 | 0,344 | 0,348 | 0,352 | 0,352 | 0,348 | 0,337 | 0,322 | 0,307 | 0,290 | 0,276 | 0,264 |
| Омск . . . . .        | 0,344 | 0,346 | 0,354 | 0,357 | 0,356 | 0,352 | 0,339 | 0,326 | 0,312 | 0,295 | 0,279 | 0,263 |
| Минск . . . . .       | 0,406 | —     | 0,408 | 0,408 | 0,404 | 0,399 | 0,384 | 0,368 | 0,350 | 0,332 | 0,314 | 0,297 |
| Куйбышев . . . . .    | 0,370 | 0,371 | 0,375 | 0,378 | 0,378 | 0,374 | 0,361 | 0,347 | 0,330 | 0,313 | 0,296 | 0,280 |
| Иркутск . . . . .     | 0,319 | —     | —     | 0,340 | 0,337 | 0,331 | 0,317 | 0,303 | 0,289 | 0,276 | 0,263 | 0,250 |
| Чита . . . . .        | 0,315 | —     | —     | 0,327 | 0,326 | 0,321 | 0,311 | 0,299 | 0,285 | 0,270 | 0,257 | 0,246 |
| Киев . . . . .        | 0,416 | —     | 0,418 | 0,416 | 0,412 | 0,407 | 0,393 | 0,375 | 0,357 | 0,338 | 0,319 | 0,302 |
| Актюбинск . . . . .   | 0,359 | —     | 0,362 | 0,372 | 0,373 | 0,370 | 0,358 | 0,343 | 0,329 | 0,309 | 0,292 | 0,274 |
| Харьков . . . . .     | 0,407 | 0,410 | 0,408 | 0,407 | 0,404 | 0,399 | 0,385 | 0,367 | 0,350 | 0,332 | 0,314 | 0,298 |
| Львов . . . . .       | 0,422 | —     | 0,429 | 0,425 | 0,420 | 0,414 | 0,398 | 0,380 | 0,361 | 0,341 | 0,322 | 0,304 |
| Волгоград . . . . .   | 0,397 | 0,393 | 0,399 | 0,401 | 0,398 | 0,392 | 0,379 | 0,362 | 0,344 | 0,325 | 0,307 | 0,291 |
| Хабаровск . . . . .   | 0,344 | 0,344 | 0,344 | 0,341 | 0,336 | 0,331 | 0,320 | 0,307 | 0,293 | 0,281 | 0,268 | 0,259 |
| Одесса . . . . .      | 0,451 | 0,447 | 0,444 | 0,441 | 0,437 | 0,430 | 0,414 | 0,396 | 0,376 | 0,356 | 0,335 | 0,318 |
| Алма-Ата . . . . .    | 0,409 | —     | —     | 0,413 | 0,418 | 0,415 | 0,399 | 0,379 | 0,360 | 0,342 | 0,322 | 0,303 |
| Владивосток . . . . . | 0,388 | 0,380 | 0,378 | 0,371 | 0,365 | 0,360 | 0,348 | 0,335 | 0,320 | 0,307 | 0,292 | 0,282 |
| Баку . . . . .        | 0,447 | 0,460 | 0,455 | 0,449 | 0,443 | 0,437 | 0,421 | 0,400 | 0,382 | 0,360 | 0,341 | 0,321 |
| Ашхабад . . . . .     | 0,487 | —     | 0,483 | 0,479 | 0,474 | 0,464 | 0,442 | 0,419 | 0,397 | 0,378 | 0,356 | 0,336 |

Март

|                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Архангельск . . . . . | 0,394 | 0,395 | 0,394 | 0,388 | 0,382 | 0,375 | 0,359 | 0,347 | 0,331 | 0,314 | 0,298 | 0,285 |
| Якутск . . . . .      | 0,296 | 0,314 | 0,319 | 0,318 | 0,315 | 0,310 | 0,300 | 0,288 | 0,274 | 0,261 | 0,249 | 0,241 |
| Сыктывкар . . . . .   | 0,387 | 0,392 | 0,391 | 0,385 | 0,380 | 0,375 | 0,361 | 0,345 | 0,328 | 0,312 | 0,297 | 0,283 |
| Ленинград . . . . .   | 0,413 | 0,418 | 0,416 | 0,410 | 0,404 | 0,398 | 0,384 | 0,368 | 0,350 | 0,336 | 0,313 | 0,293 |
| Киров . . . . .       | 0,403 | —     | 0,405 | 0,400 | 0,396 | 0,390 | 0,376 | 0,360 | 0,343 | 0,326 | 0,308 | 0,293 |
| Рига . . . . .        | 0,434 | 0,435 | 0,431 | 0,425 | 0,419 | 0,411 | 0,396 | 0,380 | 0,361 | 0,342 | 0,326 | 0,308 |
| Свердловск . . . . .  | 0,389 | —     | 0,398 | 0,394 | 0,390 | 0,385 | 0,372 | 0,356 | 0,339 | 0,322 | 0,306 | 0,289 |
| Казань . . . . .      | 0,400 | 0,404 | 0,404 | 0,402 | 0,396 | 0,391 | 0,377 | 0,363 | 0,344 | 0,325 | 0,308 | 0,292 |
| Москва . . . . .      | 0,416 | 0,404 | 0,415 | 0,410 | 0,405 | 0,399 | 0,385 | 0,368 | 0,351 | 0,332 | 0,314 | 0,300 |
| Новосибирск . . . . . | 0,389 | 0,387 | 0,389 | 0,388 | 0,384 | 0,379 | 0,366 | 0,350 | 0,334 | 0,319 | 0,303 | 0,286 |
| Омск . . . . .        | 0,370 | 0,378 | 0,382 | 0,381 | 0,378 | 0,373 | 0,360 | 0,344 | 0,328 | 0,317 | 0,302 | 0,284 |
| Минск . . . . .       | 0,426 | —     | 0,429 | 0,424 | 0,419 | 0,412 | 0,397 | 0,381 | 0,362 | 0,344 | 0,325 | 0,308 |
| Куйбышев . . . . .    | 0,404 | 0,407 | 0,408 | 0,406 | 0,402 | 0,397 | 0,382 | 0,368 | 0,351 | 0,332 | 0,314 | 0,297 |
| Иркутск . . . . .     | 0,376 | —     | —     | 0,391 | 0,382 | 0,373 | 0,356 | 0,341 | 0,324 | 0,309 | 0,295 | 0,280 |
| Чита . . . . .        | 0,382 | —     | —     | 0,384 | 0,378 | 0,370 | 0,354 | 0,340 | 0,323 | 0,306 | 0,290 | 0,276 |
| Киев . . . . .        | 0,445 | —     | 0,440 | 0,434 | 0,428 | 0,421 | 0,405 | 0,387 | 0,368 | 0,352 | 0,333 | 0,315 |
| Актюбинск . . . . .   | 0,392 | —     | 0,402 | 0,405 | 0,404 | 0,399 | 0,385 | 0,370 | 0,353 | 0,332 | 0,315 | 0,298 |
| Харьков . . . . .     | 0,442 | 0,441 | 0,437 | 0,433 | 0,429 | 0,423 | 0,407 | 0,389 | 0,374 | 0,355 | 0,334 | 0,316 |

| Пункт       | З км  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 0,0   | 0,2   | 0,5   | 1,0   | 1,5   | 2,0   | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 6,0   | 7,0   | 8,0   |
| Львов       | 0,453 | —     | 0,446 | 0,440 | 0,434 | 0,428 | 0,412 | 0,394 | 0,375 | 0,355 | 0,335 | 0,317 |
| Волгоград   | 0,429 | 0,426 | 0,428 | 0,426 | 0,422 | 0,417 | 0,404 | 0,387 | 0,368 | 0,347 | 0,326 | 0,307 |
| Хабаровск   | 0,398 | 0,397 | 0,396 | 0,389 | 0,380 | 0,372 | 0,357 | 0,343 | 0,328 | 0,312 | 0,293 | 0,286 |
| Одесса      | 0,472 | 0,466 | 0,464 | 0,459 | 0,452 | 0,445 | 0,428 | 0,408 | 0,389 | 0,369 | 0,348 | 0,328 |
| Алма-Ата    | 0,458 | —     | —     | 0,462 | 0,459 | 0,452 | 0,434 | 0,413 | 0,392 | 0,372 | 0,351 | 0,332 |
| Владивосток | 0,434 | 0,429 | 0,426 | 0,418 | 0,408 | 0,400 | 0,384 | 0,370 | 0,353 | 0,337 | 0,320 | 0,306 |
| Баку        | 0,473 | 0,479 | 0,476 | 0,470 | 0,465 | 0,458 | 0,439 | 0,419 | 0,397 | 0,376 | 0,355 | 0,335 |
| Ашхабад     | 0,524 | —     | 0,520 | 0,512 | 0,504 | 0,494 | 0,470 | 0,446 | 0,423 | 0,400 | 0,377 | 0,356 |
| Апрель      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Архангельск | 0,446 | 0,446 | 0,443 | 0,433 | 0,423 | 0,415 | 0,397 | 0,383 | 0,364 | 0,346 | 0,328 | 0,313 |
| Якутск      | 0,394 | 0,403 | 0,403 | 0,395 | 0,386 | 0,378 | 0,362 | 0,347 | 0,331 | 0,314 | 0,299 | 0,286 |
| Сыктывкар   | 0,447 | 0,452 | 0,450 | 0,441 | 0,430 | 0,422 | 0,405 | 0,390 | 0,368 | 0,350 | 0,331 | 0,315 |
| Ленинград   | 0,473 | 0,474 | 0,471 | 0,462 | 0,450 | 0,440 | 0,422 | 0,404 | 0,384 | 0,364 | 0,344 | 0,326 |
| Киров       | 0,465 | —     | 0,453 | 0,456 | 0,446 | 0,437 | 0,421 | 0,402 | 0,383 | 0,364 | 0,344 | 0,326 |
| Рига        | 0,492 | 0,493 | 0,488 | 0,473 | 0,466 | 0,456 | 0,438 | 0,420 | 0,400 | 0,379 | 0,359 | 0,339 |
| Свердловск  | 0,472 | —     | 0,458 | 0,461 | 0,450 | 0,440 | 0,423 | 0,402 | 0,386 | 0,365 | 0,346 | 0,328 |
| Казань      | 0,473 | 0,481 | 0,479 | 0,468 | 0,457 | 0,447 | 0,429 | 0,412 | 0,393 | 0,371 | 0,351 | 0,332 |
| Москва      | 0,485 | 0,476 | 0,476 | 0,466 | 0,456 | 0,446 | 0,430 | 0,411 | 0,391 | 0,370 | 0,351 | 0,333 |
| Новосибирск | 0,468 | 0,466 | 0,464 | 0,457 | 0,448 | 0,439 | 0,422 | 0,405 | 0,384 | 0,365 | 0,345 | 0,326 |
| Омск        | 0,464 | 0,473 | 0,470 | 0,462 | 0,452 | 0,443 | 0,424 | 0,406 | 0,384 | 0,361 | 0,343 | 0,324 |
| Минск       | 0,494 | —     | 0,494 | 0,483 | 0,471 | 0,461 | 0,442 | 0,422 | 0,403 | 0,381 | 0,361 | 0,342 |
| Куйбышев    | 0,494 | 0,490 | 0,488 | 0,479 | 0,467 | 0,457 | 0,438 | 0,419 | 0,399 | 0,378 | 0,357 | 0,338 |
| Иркутск     | 0,467 | —     | —     | 0,460 | 0,449 | 0,436 | 0,414 | 0,394 | 0,375 | 0,357 | 0,338 | 0,320 |
| Чита        | 0,474 | —     | —     | 0,461 | 0,450 | 0,437 | 0,413 | 0,394 | 0,374 | 0,354 | 0,335 | 0,318 |
| Киев        | 0,512 | —     | 0,503 | 0,497 | 0,485 | 0,474 | 0,455 | 0,434 | 0,412 | 0,391 | 0,371 | 0,350 |
| Актюбинск   | 0,488 | —     | 0,497 | 0,488 | 0,475 | 0,463 | 0,442 | 0,421 | 0,401 | 0,380 | 0,361 | 0,340 |
| Харьков     | 0,517 | 0,515 | 0,512 | 0,501 | 0,488 | 0,478 | 0,457 | 0,436 | 0,418 | 0,396 | 0,372 | 0,351 |
| Львов       | 0,500 | —     | 0,506 | 0,500 | 0,487 | 0,475 | 0,454 | 0,433 | 0,412 | 0,389 | 0,366 | 0,345 |
| Волгоград   | 0,524 | 0,508 | 0,507 | 0,496 | 0,486 | 0,476 | 0,456 | 0,440 | 0,418 | 0,394 | 0,373 | 0,352 |
| Хабаровск   | 0,482 | 0,477 | 0,474 | 0,462 | 0,450 | 0,438 | 0,416 | 0,398 | 0,377 | 0,359 | 0,341 | 0,325 |
| Одесса      | 0,537 | 0,525 | 0,524 | 0,516 | 0,504 | 0,492 | 0,471 | 0,450 | 0,428 | 0,405 | 0,382 | 0,360 |
| Алма-Ата    | 0,538 | —     | —     | 0,530 | 0,522 | 0,510 | 0,486 | 0,460 | 0,438 | 0,414 | 0,392 | 0,370 |
| Владивосток | 0,488 | 0,482 | 0,481 | 0,474 | 0,463 | 0,453 | 0,431 | 0,412 | 0,392 | 0,374 | 0,355 | 0,338 |
| Баку        | 0,539 | 0,528 | 0,528 | 0,523 | 0,514 | 0,504 | 0,482 | 0,453 | 0,433 | 0,410 | 0,388 | 0,365 |
| Ашхабад     | 0,593 | —     | 0,574 | 0,562 | 0,550 | 0,537 | 0,512 | 0,485 | 0,458 | 0,434 | 0,418 | 0,392 |

Май

|             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Архангельск | 0,504 | 0,490 | 0,484 | 0,472 | 0,460 | 0,450 | 0,429 | 0,411 | 0,390 | 0,371 | 0,352 | 0,336 |
| Якутск      | 0,517 | 0,505 | 0,498 | 0,485 | 0,470 | 0,458 | 0,439 | 0,415 | 0,392 | 0,374 | 0,354 | 0,338 |
| Сыктывкар   | 0,513 | 0,504 | 0,498 | 0,485 | 0,472 | 0,461 | 0,442 | 0,423 | 0,405 | 0,385 | 0,365 | 0,347 |
| Ленинград   | 0,539 | 0,522 | 0,518 | 0,507 | 0,494 | 0,482 | 0,462 | 0,442 | 0,421 | 0,398 | 0,377 | 0,357 |
| Киров       | 0,542 | —     | 0,519 | 0,510 | 0,498 | 0,486 | 0,467 | 0,447 | 0,425 | 0,402 | 0,380 | 0,360 |
| Рига        | 0,546 | 0,534 | 0,529 | 0,516 | 0,503 | 0,490 | 0,470 | 0,451 | 0,428 | 0,404 | 0,384 | 0,364 |
| Свердловск  | 0,539 | —     | 0,523 | 0,512 | 0,500 | 0,486 | 0,464 | 0,445 | 0,424 | 0,402 | 0,380 | 0,360 |
| Казань      | 0,544 | 0,539 | 0,535 | 0,520 | 0,505 | 0,491 | 0,469 | 0,450 | 0,426 | 0,405 | 0,383 | 0,362 |
| Москва      | 0,548 | —     | 0,530 | 0,518 | 0,504 | 0,490 | 0,470 | 0,450 | 0,430 | 0,407 | 0,385 | 0,364 |
| Новосибирск | 0,553 | 0,536 | 0,531 | 0,519 | 0,504 | 0,492 | 0,475 | 0,453 | 0,429 | 0,409 | 0,390 | 0,363 |
| Омск        | 0,552 | 0,544 | 0,539 | 0,526 | 0,512 | 0,494 | 0,475 | 0,453 | 0,429 | 0,409 | 0,390 | 0,363 |
| Минск       | 0,560 | —     | 0,543 | 0,530 | 0,515 | 0,501 | 0,480 | 0,458 | 0,436 | 0,413 | 0,391 | 0,368 |
| Куйбышев    | 0,587 | 0,560 | 0,555 | 0,541 | 0,525 | 0,511 | 0,487 | 0,465 | 0,442 | 0,421 | 0,398 | 0,376 |
| Иркутск     | 0,532 | —     | —     | 0,513 | 0,502 | 0,487 | 0,461 | 0,438 | 0,416 | 0,394 | 0,373 | 0,353 |
| Чита        | 0,548 | —     | —     | 0,520 | 0,509 | 0,494 | 0,466 | 0,442 | 0,419 | 0,397 | 0,375 | 0,356 |
| Киев        | 0,576 | —     | —     | 0,544 | 0,528 | 0,514 | 0,491 | 0,468 | 0,446 | 0,424 | 0,404 | 0,381 |
| Актюбинск   | 0,588 | —     | 0,558 | 0,544 | 0,527 | 0,514 | 0,491 | 0,468 | 0,446 | 0,424 | 0,404 | 0,381 |
| Харьков     | 0,589 | 0,569 | 0,566 | 0,550 | 0,532 | 0,517 | 0,493 | 0,470 | 0,450 | 0,427 | 0,404 | 0,380 |
| Львов       | 0,557 | —     | 0,542 | 0,534 | 0,521 | 0,508 | 0,484 | 0,462 | 0,439 | 0,416 | 0,394 | 0,372 |
| Волгоград   | 0,609 | 0,574 | 0,572 | 0,560 | 0,544 | 0,530 | 0,505 | 0,484 | 0,460 | 0,437 | 0,413 | 0,390 |
| Хабаровск   | 0,542 | 0,533 | 0,527 | 0,515 | 0,502 | 0,488 | 0,463 | 0,441 | 0,419 | 0,399 | 0,380 | 0,361 |
| Одесса      | 0,607 | 0,578 | 0,574 | 0,564 | 0,549 | 0,535 | 0,510 | 0,486 | 0,462 | 0,438 | 0,414 | 0,390 |
| Алма-Ата    | 0,595 | —     | —     | 0,579 | 0,568 | 0,553 | 0,523 | 0,494 | 0,469 | 0,446 | 0,422 | 0,399 |
| Владивосток | 0,537 | 0,528 | 0,526 | 0,521 | 0,511 | 0,499 | 0,475 | 0,453 | 0,431 | 0,410 | 0,389 | 0,368 |
| Баку        | 0,593 | 0,579 | 0,578 | 0,570 | 0,560 | 0,549 | 0,521 | 0,495 | 0,468 | 0,445 | 0,421 | 0,397 |
| Ашхабад     | 0,665 | —     | 0,634 | 0,621 | 0,605 | 0,590 | 0,559 | 0,529 | 0,500 | 0,471 | 0,447 | 0,421 |

Июнь

|             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Архангельск | 0,565 | 0,546 | 0,539 | 0,526 | 0,514 | 0,501 | 0,479 | 0,460 | 0,436 | 0,414 | 0,396 | 0,374 |
| Якутск      | 0,611 | 0,579 | 0,573 | 0,558 | 0,541 | 0,524 | 0,498 | 0,478 | 0,455 | 0,432 | 0,410 | 0,388 |
| Сыктывкар   | 0,585 | 0,563 | 0,557 | 0,543 | 0,528 | 0,514 | 0,491 | 0,471 | 0,447 | 0,424 | 0,402 | 0,381 |
| Ленинград   | 0,593 | 0,569 | 0,563 | 0,551 | 0,537 | 0,524 | 0,502 | 0,481 | 0,458 | 0,436 | 0,413 | 0,390 |
| Киров       | 0,602 | —     | 0,572 | 0,562 | 0,547 | 0,532 | 0,506 | 0,483 | 0,460 | 0,436 | 0,412 | 0,391 |
| Рига        | 0,592 | 0,568 | 0,563 | 0,551 | 0,537 | 0,524 | 0,503 | 0,484 | 0,459 | 0,435 | 0,414 | 0,392 |
| Свердловск  | 0,596 | —     | 0,572 | 0,561 | 0,546 | 0,531 | 0,506 | 0,484 | 0,461 | 0,439 | 0,415 | 0,392 |
| Казань      | 0,604 | 0,594 | 0,588 | 0,570 | 0,552 | 0,536 | 0,509 | 0,484 | 0,456 | 0,434 | 0,410 | 0,386 |
| Москва      | 0,597 | —     | 0,571 | 0,557 | 0,541 | 0,526 | 0,505 | 0,484 | 0,461 | 0,438 | 0,415 | 0,391 |
| Новосибирск | 0,616 | 0,588 | 0,581 | 0,567 | 0,551 | 0,535 | 0,511 | 0,487 | 0,462 | 0,437 | 0,415 | 0,393 |
| Омск        | 0,625 | 0,595 | 0,589 | 0,574 | 0,558 | 0,543 | 0,517 | 0,492 | 0,462 | 0,441 | 0,421 | 0,398 |

| Пункт                 | З КМ  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 0,0   | 0,2   | 0,5   | 1,0   | 1,5   | 2,0   | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 6,0   | 7,0   | 8,0   |
| Минск . . . . .       | 0,605 | —     | 0,577 | 0,563 | 0,549 | 0,534 | 0,511 | 0,489 | 0,468 | 0,445 | 0,421 | 0,398 |
| Куйбышев . . . . .    | 0,645 | 0,613 | 0,608 | 0,591 | 0,573 | 0,555 | 0,526 | 0,500 | 0,475 | 0,453 | 0,430 | 0,405 |
| Иркутск . . . . .     | 0,600 | —     | —     | 0,568 | 0,557 | 0,542 | 0,513 | 0,490 | 0,466 | 0,443 | 0,422 | 0,398 |
| Чита . . . . .        | 0,614 | —     | —     | 0,580 | 0,568 | 0,552 | 0,521 | 0,496 | 0,472 | 0,449 | 0,425 | 0,402 |
| Киев . . . . .        | 0,625 | —     | 0,591 | 0,576 | 0,560 | 0,545 | 0,521 | 0,498 | 0,478 | 0,455 | 0,432 | 0,409 |
| Актюбинск . . . . .   | 0,542 | —     | 0,610 | 0,597 | 0,578 | 0,560 | 0,530 | 0,505 | 0,476 | 0,452 | 0,430 | 0,408 |
| Харьков . . . . .     | 0,635 | 0,606 | 0,601 | 0,575 | 0,566 | 0,549 | 0,524 | 0,501 | 0,479 | 0,456 | 0,431 | 0,408 |
| Львов . . . . .       | 0,599 | —     | 0,574 | 0,564 | 0,549 | 0,534 | 0,510 | 0,489 | 0,465 | 0,442 | 0,419 | 0,395 |
| Волгоград . . . . .   | 0,665 | 0,620 | 0,617 | 0,602 | 0,584 | 0,566 | 0,538 | 0,513 | 0,489 | 0,465 | 0,440 | 0,414 |
| Хабаровск . . . . .   | 0,601 | 0,586 | 0,579 | 0,566 | 0,552 | 0,537 | 0,510 | 0,486 | 0,464 | 0,442 | 0,424 | 0,401 |
| Одесса . . . . .      | 0,652 | 0,615 | 0,609 | 0,596 | 0,580 | 0,563 | 0,537 | 0,513 | 0,488 | 0,464 | 0,439 | 0,415 |
| Алма-Ата . . . . .    | 0,644 | —     | —     | 0,616 | 0,605 | 0,587 | 0,553 | 0,521 | 0,494 | 0,468 | 0,444 | 0,420 |
| Владивосток . . . . . | 0,565 | 0,556 | 0,553 | 0,551 | 0,545 | 0,533 | 0,509 | 0,486 | 0,465 | 0,443 | 0,419 | 0,398 |
| Баку . . . . .        | 0,638 | 0,621 | 0,618 | 0,609 | 0,595 | 0,581 | 0,553 | 0,526 | 0,499 | 0,472 | 0,449 | 0,425 |
| Ашхабад . . . . .     | 0,728 | —     | 0,682 | 0,667 | 0,649 | 0,628 | 0,595 | 0,564 | 0,533 | 0,503 | 0,476 | 0,451 |
| Июль                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Архангельск . . . . . | 0,589 | 0,565 | 0,560 | 0,548 | 0,535 | 0,523 | 0,499 | 0,476 | 0,455 | 0,432 | 0,412 | 0,390 |
| Якутск . . . . .      | 0,627 | 0,604 | 0,593 | 0,584 | 0,568 | 0,552 | 0,527 | 0,504 | 0,482 | 0,458 | 0,433 | 0,411 |
| Сыктывкар . . . . .   | 0,594 | 0,571 | 0,564 | 0,551 | 0,535 | 0,523 | 0,501 | 0,482 | 0,466 | 0,441 | 0,419 | 0,396 |
| Ленинград . . . . .   | 0,608 | 0,582 | 0,576 | 0,564 | 0,548 | 0,525 | 0,512 | 0,491 | 0,469 | 0,445 | 0,422 | 0,398 |
| Киров . . . . .       | 0,606 | —     | 0,578 | 0,566 | 0,553 | 0,539 | 0,515 | 0,494 | 0,472 | 0,448 | 0,426 | 0,402 |
| Рига . . . . .        | 0,606 | 0,584 | 0,577 | 0,563 | 0,548 | 0,534 | 0,512 | 0,493 | 0,470 | 0,446 | 0,423 | 0,400 |
| Свердловск . . . . .  | 0,594 | —     | 0,577 | 0,566 | 0,552 | 0,538 | 0,513 | 0,492 | 0,469 | 0,446 | 0,422 | 0,397 |
| Казань . . . . .      | 0,610 | 0,594 | 0,588 | 0,571 | 0,554 | 0,539 | 0,515 | 0,493 | 0,474 | 0,450 | 0,427 | 0,404 |
| Москва . . . . .      | 0,610 | —     | 0,586 | 0,573 | 0,558 | 0,544 | 0,520 | 0,498 | 0,474 | 0,451 | 0,423 | 0,404 |
| Новосибирск . . . . . | 0,638 | 0,609 | 0,603 | 0,590 | 0,572 | 0,557 | 0,528 | 0,505 | 0,479 | 0,454 | 0,431 | 0,408 |
| Омск . . . . .        | 0,621 | 0,604 | 0,598 | 0,582 | 0,565 | 0,548 | 0,524 | 0,497 | 0,472 | 0,453 | 0,430 | 0,404 |
| Минск . . . . .       | 0,611 | —     | 0,585 | 0,570 | 0,554 | 0,539 | 0,516 | 0,496 | 0,473 | 0,450 | 0,427 | 0,404 |
| Куйбышев . . . . .    | 0,651 | 0,617 | 0,612 | 0,596 | 0,579 | 0,562 | 0,537 | 0,512 | 0,490 | 0,467 | 0,442 | 0,418 |
| Иркутск . . . . .     | 0,617 | —     | —     | 0,589 | 0,576 | 0,561 | 0,531 | 0,508 | 0,485 | 0,462 | 0,440 | 0,416 |
| Чита . . . . .        | 0,616 | —     | —     | 0,593 | 0,582 | 0,568 | 0,538 | 0,514 | 0,492 | 0,469 | 0,445 | 0,421 |
| Киев . . . . .        | 0,636 | —     | 0,602 | 0,590 | 0,572 | 0,556 | 0,532 | 0,509 | 0,487 | 0,465 | 0,440 | 0,416 |
| Актюбинск . . . . .   | 0,661 | —     | 0,629 | 0,617 | 0,596 | 0,578 | 0,547 | 0,522 | 0,499 | 0,473 | 0,451 | 0,428 |
| Харьков . . . . .     | 0,647 | 0,613 | 0,609 | 0,593 | 0,576 | 0,560 | 0,536 | 0,512 | 0,490 | 0,467 | 0,442 | 0,418 |



|                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Львов . . . . .       | 0,613 | —     | 0,588 | 0,579 | 0,564 | 0,549 | 0,525 | 0,503 | 0,480 | 0,455 | 0,433 | 0,409 |
| Волгоград . . . . .   | 0,688 | 0,640 | 0,636 | 0,620 | 0,602 | 0,585 | 0,565 | 0,531 | 0,506 | 0,483 | 0,458 | 0,431 |
| Хабаровск . . . . .   | 0,632 | 0,615 | 0,609 | 0,595 | 0,581 | 0,568 | 0,542 | 0,517 | 0,497 | 0,476 | 0,454 | 0,431 |
| Одесса . . . . .      | 0,677 | 0,637 | 0,632 | 0,617 | 0,599 | 0,582 | 0,554 | 0,530 | 0,506 | 0,481 | 0,456 | 0,430 |
| Алма-Ата . . . . .    | 0,679 | —     | —     | 0,645 | 0,633 | 0,614 | 0,576 | 0,541 | 0,513 | 0,487 | 0,461 | 0,437 |
| Владивосток . . . . . | 0,601 | 0,592 | 0,588 | 0,585 | 0,578 | 0,567 | 0,544 | 0,521 | 0,501 | 0,480 | 0,458 | 0,436 |
| Баку . . . . .        | 0,662 | 0,647 | 0,643 | 0,633 | 0,618 | 0,604 | 0,577 | 0,551 | 0,522 | 0,496 | 0,474 | 0,453 |
| Ашхабад . . . . .     | 0,755 | —     | 0,708 | 0,693 | 0,673 | 0,653 | 0,618 | 0,590 | 0,556 | 0,528 | 0,506 | 0,485 |

Август

|                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Архангельск . . . . . | 0,566 | 0,554 | 0,549 | 0,536 | 0,524 | 0,511 | 0,488 | 0,468 | 0,446 | 0,423 | 0,405 | 0,382 |
| Якутск . . . . .      | 0,589 | 0,572 | 0,571 | 0,556 | 0,541 | 0,526 | 0,504 | 0,484 | 0,458 | 0,437 | 0,415 | 0,393 |
| Сыктывкар . . . . .   | 0,570 | 0,557 | 0,553 | 0,539 | 0,527 | 0,515 | 0,495 | 0,474 | 0,454 | 0,431 | 0,409 | 0,388 |
| Ленинград . . . . .   | 0,587 | 0,570 | 0,566 | 0,552 | 0,539 | 0,527 | 0,506 | 0,485 | 0,463 | 0,440 | 0,417 | 0,394 |
| Киров . . . . .       | 0,582 | —     | 0,562 | 0,552 | 0,540 | 0,528 | 0,506 | 0,485 | 0,461 | 0,439 | 0,415 | 0,392 |
| Рига . . . . .        | 0,587 | 0,578 | 0,571 | 0,556 | 0,542 | 0,529 | 0,506 | 0,488 | 0,468 | 0,444 | 0,422 | 0,398 |
| Свердловск . . . . .  | 0,575 | —     | 0,564 | 0,554 | 0,540 | 0,528 | 0,506 | 0,485 | 0,463 | 0,439 | 0,416 | 0,392 |
| Казань . . . . .      | 0,587 | 0,582 | 0,578 | 0,564 | 0,548 | 0,534 | 0,511 | 0,490 | 0,467 | 0,443 | 0,419 | 0,396 |
| Москва . . . . .      | 0,586 | —     | 0,572 | 0,562 | 0,547 | 0,534 | 0,511 | 0,490 | 0,467 | 0,443 | 0,419 | 0,395 |
| Новосибирск . . . . . | 0,596 | 0,577 | 0,573 | 0,561 | 0,547 | 0,533 | 0,508 | 0,486 | 0,462 | 0,437 | 0,412 | 0,389 |
| Омск . . . . .        | 0,593 | 0,580 | 0,578 | 0,563 | 0,547 | 0,533 | 0,509 | 0,485 | 0,461 | 0,440 | 0,418 | 0,394 |
| Минск . . . . .       | 0,595 | —     | 0,578 | 0,564 | 0,550 | 0,535 | 0,513 | 0,493 | 0,471 | 0,448 | 0,424 | 0,401 |
| Куйбышев . . . . .    | 0,625 | 0,601 | 0,597 | 0,583 | 0,567 | 0,552 | 0,525 | 0,501 | 0,479 | 0,457 | 0,432 | 0,408 |
| Иркутск . . . . .     | 0,587 | —     | —     | 0,563 | 0,552 | 0,539 | 0,513 | 0,488 | 0,464 | 0,443 | 0,421 | 0,397 |
| Чита . . . . .        | 0,593 | —     | —     | 0,566 | 0,556 | 0,542 | 0,515 | 0,493 | 0,473 | 0,449 | 0,427 | 0,403 |
| Киев . . . . .        | 0,617 | —     | —     | 0,582 | 0,566 | 0,550 | 0,524 | 0,502 | 0,482 | 0,458 | 0,436 | 0,412 |
| Актюбинск . . . . .   | 0,640 | —     | 0,598 | 0,602 | 0,583 | 0,567 | 0,537 | 0,514 | 0,491 | 0,466 | 0,444 | 0,420 |
| Харьков . . . . .     | 0,628 | 0,606 | 0,604 | 0,587 | 0,570 | 0,556 | 0,531 | 0,508 | 0,488 | 0,463 | 0,441 | 0,416 |
| Львов . . . . .       | 0,591 | —     | 0,603 | 0,575 | 0,560 | 0,546 | 0,520 | 0,496 | 0,474 | 0,452 | 0,430 | 0,407 |
| Волгоград . . . . .   | 0,655 | 0,624 | 0,621 | 0,608 | 0,590 | 0,573 | 0,546 | 0,521 | 0,496 | 0,472 | 0,447 | 0,422 |
| Хабаровск . . . . .   | 0,618 | 0,606 | 0,599 | 0,586 | 0,574 | 0,560 | 0,536 | 0,513 | 0,489 | 0,472 | 0,452 | 0,430 |
| Одесса . . . . .      | 0,655 | 0,625 | 0,620 | 0,606 | 0,589 | 0,573 | 0,548 | 0,524 | 0,501 | 0,477 | 0,451 | 0,426 |
| Алма-Ата . . . . .    | 0,661 | —     | —     | 0,633 | 0,621 | 0,603 | 0,568 | 0,535 | 0,507 | 0,478 | 0,453 | 0,430 |
| Владивосток . . . . . | 0,620 | 0,609 | 0,604 | 0,594 | 0,585 | 0,574 | 0,551 | 0,529 | 0,506 | 0,487 | 0,464 | 0,441 |
| Баку . . . . .        | 0,645 | 0,639 | 0,634 | 0,623 | 0,608 | 0,593 | 0,567 | 0,541 | 0,511 | 0,486 | 0,463 | 0,441 |
| Ашхабад . . . . .     | 0,727 | —     | 0,688 | 0,672 | 0,651 | 0,632 | 0,598 | 0,570 | 0,541 | 0,517 | 0,492 | 0,472 |

Сентябрь

|                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Архангельск . . . . . | 0,507 | 0,510 | 0,503 | 0,492 | 0,482 | 0,472 | 0,452 | 0,433 | 0,411 | 0,389 | 0,371 | 0,352 |
| Якутск . . . . .      | 0,497 | 0,497 | 0,495 | 0,484 | 0,472 | 0,461 | 0,441 | 0,421 | 0,403 | 0,382 | 0,362 | 0,343 |

| Пункт       | z км  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 0,0   | 0,2   | 0,5   | 1,0   | 1,5   | 2,0   | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 6,0   | 7,0   | 8,0   |
| Сыктывкар   | 0,509 | 0,508 | 0,503 | 0,493 | 0,482 | 0,473 | 0,454 | 0,435 | 0,413 | 0,391 | 0,371 | 0,352 |
| Ленинград   | 0,527 | 0,525 | 0,518 | 0,510 | 0,498 | 0,489 | 0,470 | 0,450 | 0,430 | 0,407 | 0,385 | 0,364 |
| Киров       | 0,520 | —     | 0,516 | 0,508 | 0,497 | 0,486 | 0,467 | 0,447 | 0,426 | 0,404 | 0,382 | 0,360 |
| Рига        | 0,538 | 0,541 | 0,534 | 0,522 | 0,509 | 0,500 | 0,479 | 0,460 | 0,438 | 0,415 | 0,394 | 0,371 |
| Свердловск  | 0,517 | —     | 0,514 | 0,506 | 0,495 | 0,484 | 0,465 | 0,445 | 0,425 | 0,403 | 0,380 | 0,360 |
| Казань      | 0,530 | 0,534 | 0,530 | 0,517 | 0,502 | 0,492 | 0,472 | 0,450 | 0,431 | 0,408 | 0,386 | 0,367 |
| Москва      | 0,530 | —     | 0,525 | 0,516 | 0,504 | 0,494 | 0,475 | 0,455 | 0,435 | 0,413 | 0,391 | 0,350 |
| Новосибирск | 0,531 | 0,525 | 0,524 | 0,515 | 0,502 | 0,490 | 0,468 | 0,448 | 0,426 | 0,403 | 0,381 | 0,359 |
| Омск        | 0,531 | 0,531 | 0,529 | 0,518 | 0,505 | 0,493 | 0,470 | 0,450 | 0,427 | 0,406 | 0,384 | 0,362 |
| Минск       | 0,543 | —     | 0,538 | 0,527 | 0,515 | 0,504 | 0,484 | 0,464 | 0,442 | 0,421 | 0,398 | 0,376 |
| Куйбышев    | 0,551 | 0,546 | 0,544 | 0,533 | 0,520 | 0,508 | 0,485 | 0,464 | 0,442 | 0,421 | 0,398 | 0,376 |
| Иркутск     | 0,521 | —     | —     | 0,510 | 0,501 | 0,488 | 0,464 | 0,441 | 0,418 | 0,395 | 0,374 | 0,353 |
| Чита        | 0,523 | —     | —     | 0,510 | 0,502 | 0,490 | 0,465 | 0,444 | 0,422 | 0,400 | 0,378 | 0,357 |
| Киев        | 0,562 | —     | 0,554 | 0,541 | 0,526 | 0,515 | 0,493 | 0,472 | 0,450 | 0,428 | 0,407 | 0,385 |
| Актюбинск   | 0,565 | —     | 0,555 | 0,544 | 0,529 | 0,516 | 0,494 | 0,475 | 0,452 | 0,425 | 0,407 | 0,384 |
| Харьков     | 0,559 | 0,556 | 0,554 | 0,539 | 0,525 | 0,512 | 0,492 | 0,471 | 0,452 | 0,428 | 0,409 | 0,386 |
| Львов       | 0,548 | —     | 0,543 | 0,535 | 0,523 | 0,511 | 0,490 | 0,469 | 0,448 | 0,426 | 0,403 | 0,382 |
| Волгоград   | 0,578 | 0,569 | 0,568 | 0,554 | 0,539 | 0,526 | 0,504 | 0,484 | 0,461 | 0,436 | 0,414 | 0,391 |
| Хабаровск   | 0,553 | 0,547 | 0,543 | 0,530 | 0,516 | 0,503 | 0,480 | 0,458 | 0,436 | 0,414 | 0,394 | 0,372 |
| Одесса      | 0,596 | 0,583 | 0,578 | 0,564 | 0,550 | 0,537 | 0,514 | 0,493 | 0,471 | 0,447 | 0,425 | 0,399 |
| Алма-Ата    | 0,603 | —     | —     | 0,582 | 0,573 | 0,560 | 0,539 | 0,502 | 0,475 | 0,447 | 0,424 | 0,400 |
| Владивосток | 0,578 | 0,566 | 0,561 | 0,548 | 0,536 | 0,526 | 0,501 | 0,481 | 0,459 | 0,436 | 0,416 | 0,394 |
| Баку        | 0,587 | 0,598 | 0,592 | 0,580 | 0,569 | 0,557 | 0,535 | 0,509 | 0,481 | 0,456 | 0,430 | 0,406 |
| Ашхабад     | 0,659 | —     | 0,637 | 0,623 | 0,607 | 0,590 | 0,563 | 0,534 | 0,506 | 0,479 | 0,457 | 0,431 |

## Октябрь

|             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Архангельск | 0,459 | 0,460 | 0,454 | 0,446 | 0,439 | 0,430 | 0,412 | 0,393 | 0,372 | 0,353 | 0,336 | 0,320 |
| Якутск      | 0,391 | 0,402 | 0,400 | 0,393 | 0,386 | 0,379 | 0,367 | 0,352 | 0,335 | 0,318 | 0,304 | 0,289 |
| Сыктывкар   | 0,456 | 0,456 | 0,450 | 0,442 | 0,435 | 0,429 | 0,414 | 0,396 | 0,377 | 0,358 | 0,338 | 0,322 |
| Ленинград   | 0,484 | 0,479 | 0,476 | 0,467 | 0,459 | 0,452 | 0,435 | 0,416 | 0,397 | 0,377 | 0,357 | 0,338 |
| Киров       | 0,463 | —     | 0,457 | 0,450 | 0,443 | 0,437 | 0,422 | 0,405 | 0,386 | 0,365 | 0,344 | 0,326 |
| Рига        | 0,498 | 0,494 | 0,490 | 0,480 | 0,471 | 0,463 | 0,446 | 0,428 | 0,407 | 0,387 | 0,366 | 0,347 |
| Свердловск  | 0,462 | —     | 0,458 | 0,451 | 0,444 | 0,437 | 0,422 | 0,404 | 0,385 | 0,364 | 0,345 | 0,327 |
| Казань      | 0,474 | 0,474 | 0,469 | 0,460 | 0,452 | 0,446 | 0,430 | 0,412 | 0,392 | 0,371 | 0,350 | 0,331 |

|             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Москва      | 0,483 | —     | 0,473 | 0,466 | 0,458 | 0,452 | 0,438 | 0,468 | 0,399 | 0,380 | 0,358 | 0,340 |
| Новосибирск | 0,468 | 0,468 | 0,464 | 0,457 | 0,448 | 0,440 | 0,424 | 0,406 | 0,387 | 0,369 | 0,348 | 0,330 |
| Омск        | 0,465 | 0,466 | 0,464 | 0,456 | 0,448 | 0,440 | 0,424 | 0,404 | 0,383 | 0,366 | 0,347 | 0,329 |
| Минск       | 0,491 | —     | 0,484 | 0,475 | 0,467 | 0,460 | 0,445 | 0,428 | 0,407 | 0,386 | 0,365 | 0,346 |
| Куйбышев    | 0,481 | 0,480 | 0,477 | 0,469 | 0,461 | 0,454 | 0,438 | 0,419 | 0,399 | 0,378 | 0,330 | 0,338 |
| Иркутск     | 0,459 | —     | —     | 0,459 | 0,452 | 0,441 | 0,420 | 0,401 | 0,382 | 0,364 | 0,343 | 0,325 |
| Чита        | 0,452 | —     | —     | 0,448 | 0,442 | 0,432 | 0,413 | 0,395 | 0,377 | 0,358 | 0,338 | 0,320 |
| Киев        | 0,505 | —     | —     | 0,488 | 0,479 | 0,471 | 0,456 | 0,437 | 0,416 | 0,396 | 0,374 | 0,355 |
| Актюбинск   | 0,485 | —     | 0,497 | 0,476 | 0,468 | 0,461 | 0,447 | 0,427 | 0,406 | 0,384 | 0,366 | 0,344 |
| Харьков     | 0,497 | 0,497 | 0,492 | 0,483 | 0,475 | 0,469 | 0,453 | 0,433 | 0,411 | 0,390 | 0,371 | 0,351 |
| Львов       | 0,508 | —     | 0,503 | 0,497 | 0,488 | 0,480 | 0,462 | 0,444 | 0,422 | 0,401 | 0,379 | 0,359 |
| Волгоград   | 0,512 | 0,500 | 0,499 | 0,491 | 0,483 | 0,476 | 0,459 | 0,438 | 0,418 | 0,397 | 0,376 | 0,356 |
| Хабаровск   | 0,485 | 0,485 | 0,481 | 0,470 | 0,458 | 0,448 | 0,428 | 0,410 | 0,389 | 0,352 | 0,335 | 0,318 |
| Одесса      | 0,535 | 0,528 | 0,523 | 0,514 | 0,506 | 0,498 | 0,479 | 0,459 | 0,437 | 0,414 | 0,392 | 0,378 |
| Алма-Ата    | 0,519 | —     | —     | 0,518 | 0,513 | 0,504 | 0,481 | 0,455 | 0,431 | 0,408 | 0,384 | 0,363 |
| Владивосток | 0,515 | 0,510 | 0,505 | 0,494 | 0,482 | 0,473 | 0,454 | 0,435 | 0,415 | 0,396 | 0,375 | 0,356 |
| Баку        | 0,533 | 0,547 | 0,540 | 0,530 | 0,521 | 0,514 | 0,495 | 0,471 | 0,447 | 0,422 | 0,401 | 0,378 |
| Ашхабад     | 0,577 | —     | 0,572 | 0,564 | 0,553 | 0,542 | 0,517 | 0,489 | 0,464 | 0,441 | 0,421 | 0,399 |

Ноябрь

|             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Архангельск | 0,416 | 0,423 | 0,420 | 0,415 | 0,409 | 0,403 | 0,386 | 0,368 | 0,351 | 0,332 | 0,315 | 0,300 |
| Якутск      | 0,284 | 0,290 | 0,297 | 0,303 | 0,303 | 0,300 | 0,290 | 0,278 | 0,266 | 0,254 | 0,243 | 0,235 |
| Сыктывкар   | 0,401 | 0,405 | 0,403 | 0,403 | 0,399 | 0,394 | 0,382 | 0,365 | 0,348 | 0,331 | 0,313 | 0,297 |
| Ленинград   | 0,442 | 0,441 | 0,438 | 0,435 | 0,430 | 0,424 | 0,410 | 0,392 | 0,373 | 0,353 | 0,334 | 0,316 |
| Киров       | 0,411 | —     | 0,412 | 0,414 | 0,412 | 0,406 | 0,393 | 0,377 | 0,360 | 0,341 | 0,323 | 0,304 |
| Рига        | 0,462 | 0,460 | 0,456 | 0,451 | 0,446 | 0,438 | 0,422 | 0,404 | 0,385 | 0,365 | 0,346 | 0,327 |
| Свердловск  | 0,403 | —     | 0,403 | 0,405 | 0,403 | 0,398 | 0,387 | 0,372 | 0,354 | 0,336 | 0,318 | 0,300 |
| Казань      | 0,420 | 0,422 | 0,421 | 0,422 | 0,418 | 0,414 | 0,401 | 0,384 | 0,364 | 0,346 | 0,328 | 0,308 |
| Москва      | 0,432 | —     | 0,431 | 0,428 | 0,426 | 0,421 | 0,407 | 0,390 | 0,371 | 0,352 | 0,332 | 0,314 |
| Новосибирск | 0,381 | 0,380 | 0,383 | 0,384 | 0,382 | 0,377 | 0,365 | 0,350 | 0,332 | 0,315 | 0,293 | 0,283 |
| Омск        | 0,400 | 0,393 | 0,396 | 0,397 | 0,395 | 0,391 | 0,378 | 0,363 | 0,345 | 0,327 | 0,309 | 0,293 |
| Минск       | 0,451 | —     | 0,448 | 0,446 | 0,442 | 0,436 | 0,420 | 0,402 | 0,382 | 0,362 | 0,344 | 0,325 |
| Куйбышев    | 0,420 | 0,423 | 0,422 | 0,422 | 0,420 | 0,415 | 0,402 | 0,387 | 0,369 | 0,350 | 0,331 | 0,312 |
| Иркутск     | 0,372 | —     | —     | 0,379 | 0,375 | 0,367 | 0,352 | 0,339 | 0,323 | 0,307 | 0,290 | 0,275 |
| Чита        | 0,360 | —     | —     | 0,365 | 0,361 | 0,356 | 0,343 | 0,329 | 0,313 | 0,293 | 0,283 | 0,269 |
| Киев        | 0,458 | —     | 0,456 | 0,452 | 0,448 | 0,444 | 0,428 | 0,409 | 0,389 | 0,369 | 0,348 | 0,329 |
| Актюбинск   | 0,414 | —     | 0,416 | 0,419 | 0,419 | 0,416 | 0,403 | 0,387 | 0,369 | 0,348 | 0,329 | 0,310 |
| Харьков     | 0,451 | 0,455 | 0,451 | 0,448 | 0,444 | 0,439 | 0,424 | 0,406 | 0,387 | 0,367 | 0,347 | 0,327 |
| Львов       | 0,465 | —     | 0,468 | 0,462 | 0,455 | 0,448 | 0,431 | 0,412 | 0,392 | 0,371 | 0,351 | 0,330 |

| Пункт                 | z км  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 0,0   | 0,2   | 0,5   | 1,0   | 1,5   | 2,0   | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 6,0   | 7,0   | 8,0   |
| Волгоград . . . . .   | 0,445 | 0,446 | 0,446 | 0,446 | 0,444 | 0,438 | 0,423 | 0,405 | 0,385 | 0,366 | 0,346 | 0,326 |
| Хабаровск . . . . .   | 0,398 | 0,398 | 0,394 | 0,389 | 0,382 | 0,376 | 0,363 | 0,348 | 0,334 | 0,320 | 0,304 | 0,290 |
| Одесса . . . . .      | 0,490 | 0,491 | 0,486 | 0,482 | 0,475 | 0,467 | 0,450 | 0,431 | 0,411 | 0,388 | 0,366 | 0,344 |
| Алма-Ата . . . . .    | 0,439 | —     | —     | 0,446 | 0,449 | 0,445 | 0,426 | 0,406 | 0,382 | 0,362 | 0,340 | 0,322 |
| Владивосток . . . . . | 0,442 | 0,440 | 0,435 | 0,429 | 0,418 | 0,412 | 0,399 | 0,386 | 0,368 | 0,350 | 0,332 | 0,316 |
| Баку . . . . .        | 0,485 | 0,504 | 0,498 | 0,490 | 0,485 | 0,477 | 0,459 | 0,439 | 0,417 | 0,395 | 0,372 | 0,352 |
| Ашхабад . . . . .     | 0,502 | —     | 0,509 | 0,506 | 0,500 | 0,492 | 0,470 | 0,447 | 0,426 | 0,402 | 0,381 | 0,359 |
| Декабрь               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Архангельск . . . . . | 0,391 | 0,394 | 0,391 | 0,390 | 0,385 | 0,379 | 0,363 | 0,347 | 0,330 | 0,314 | 0,298 | 0,286 |
| Якутск . . . . .      | 0,233 | 0,236 | 0,247 | 0,260 | 0,265 | 0,265 | 0,259 | 0,248 | 0,237 | 0,226 | 0,217 | 0,208 |
| Сыктывкар . . . . .   | 0,381 | 0,380 | 0,380 | 0,381 | 0,379 | 0,375 | 0,363 | 0,347 | 0,328 | 0,312 | 0,296 | 0,283 |
| Ленинград . . . . .   | 0,429 | 0,425 | 0,424 | 0,422 | 0,419 | 0,412 | 0,397 | 0,378 | 0,360 | 0,340 | 0,321 | 0,304 |
| Киров . . . . .       | 0,385 | —     | 0,380 | 0,392 | 0,390 | 0,386 | 0,373 | 0,357 | 0,339 | 0,321 | 0,304 | 0,287 |
| Рига . . . . .        | 0,443 | 0,442 | 0,439 | 0,436 | 0,430 | 0,424 | 0,407 | 0,388 | 0,368 | 0,349 | 0,330 | 0,313 |
| Свердловск . . . . .  | 0,365 | —     | 0,369 | 0,375 | 0,375 | 0,370 | 0,360 | 0,345 | 0,328 | 0,312 | 0,295 | 0,280 |
| Казань . . . . .      | 0,395 | 0,394 | 0,397 | 0,400 | 0,397 | 0,393 | 0,379 | 0,363 | 0,344 | 0,327 | 0,311 | 0,295 |
| Москва . . . . .      | 0,409 | —     | 0,405 | 0,405 | 0,403 | 0,398 | 0,385 | 0,367 | 0,350 | 0,331 | 0,314 | 0,298 |
| Новосибирск . . . . . | 0,348 | 0,351 | 0,354 | 0,358 | 0,357 | 0,354 | 0,343 | 0,329 | 0,313 | 0,296 | 0,282 | 0,268 |
| Омск . . . . .        | 0,348 | 0,355 | 0,361 | 0,366 | 0,365 | 0,349 | 0,349 | 0,335 | 0,319 | 0,306 | 0,288 | 0,271 |
| Минск . . . . .       | 0,429 | —     | 0,426 | 0,426 | 0,424 | 0,419 | 0,403 | 0,386 | 0,367 | 0,347 | 0,328 | 0,311 |
| Кузбывшев . . . . .   | 0,394 | 0,390 | 0,394 | 0,398 | 0,398 | 0,394 | 0,381 | 0,366 | 0,347 | 0,330 | 0,312 | 0,293 |
| Иркутск . . . . .     | 0,325 | —     | —     | 0,340 | 0,338 | 0,332 | 0,320 | 0,307 | 0,295 | 0,280 | 0,266 | 0,254 |
| Чита . . . . .        | 0,312 | —     | —     | 0,319 | 0,319 | 0,317 | 0,307 | 0,297 | 0,284 | 0,270 | 0,258 | 0,246 |
| Киев . . . . .        | 0,438 | —     | 0,433 | 0,433 | 0,430 | 0,424 | 0,409 | 0,391 | 0,371 | 0,352 | 0,332 | 0,314 |
| Актюбинск . . . . .   | 0,382 | —     | 0,383 | 0,392 | 0,392 | 0,389 | 0,376 | 0,362 | 0,345 | 0,327 | 0,309 | 0,291 |
| Харьков . . . . .     | 0,432 | 0,426 | 0,423 | 0,423 | 0,422 | 0,419 | 0,404 | 0,386 | 0,368 | 0,349 | 0,329 | 0,311 |
| Львов . . . . .       | 0,444 | —     | 0,447 | 0,444 | 0,439 | 0,434 | 0,419 | 0,401 | 0,380 | 0,361 | 0,341 | 0,321 |
| Волгоград . . . . .   | 0,424 | 0,416 | 0,419 | 0,423 | 0,421 | 0,417 | 0,403 | 0,388 | 0,369 | 0,349 | 0,329 | 0,309 |
| Хабаровск . . . . .   | 0,338 | 0,336 | 0,336 | 0,334 | 0,333 | 0,330 | 0,320 | 0,308 | 0,294 | 0,281 | 0,268 | 0,259 |
| Одесса . . . . .      | 0,466 | 0,461 | 0,460 | 0,459 | 0,455 | 0,449 | 0,432 | 0,412 | 0,392 | 0,370 | 0,350 | 0,329 |
| Алма-Ата . . . . .    | 0,400 | —     | —     | 0,409 | 0,416 | 0,413 | 0,396 | 0,377 | 0,358 | 0,339 | 0,319 | 0,300 |
| Владивосток . . . . . | 0,389 | 0,385 | 0,383 | 0,376 | 0,371 | 0,366 | 0,356 | 0,343 | 0,328 | 0,312 | 0,297 | 0,286 |
| Баку . . . . .        | 0,453 | 0,475 | 0,469 | 0,462 | 0,457 | 0,449 | 0,432 | 0,411 | 0,390 | 0,370 | 0,349 | 0,330 |
| Ашхабад . . . . .     | 0,472 | —     | 0,473 | 0,472 | 0,469 | 0,461 | 0,439 | 0,419 | 0,399 | 0,379 | 0,360 | 0,338 |

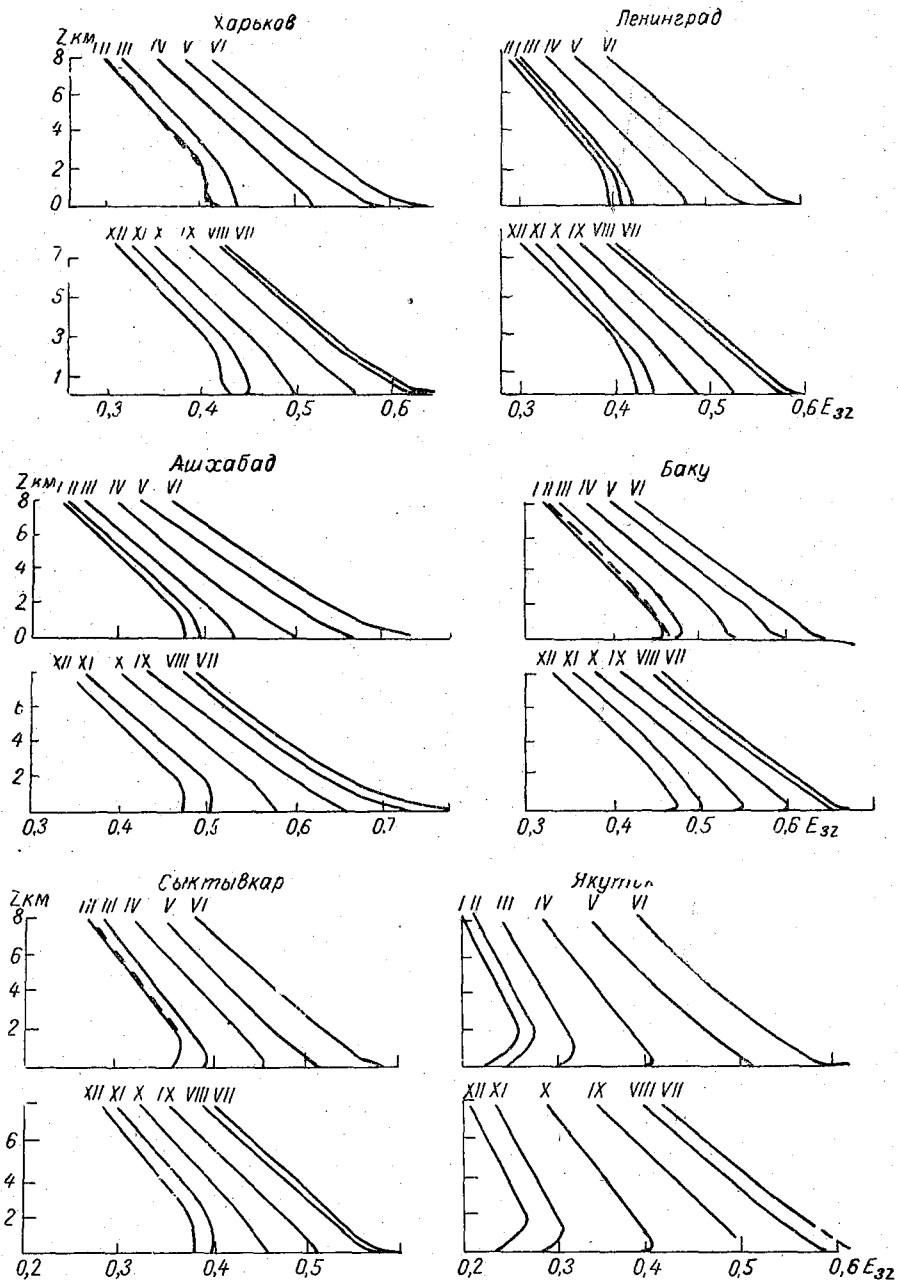


Рис. 3. Вертикальное распределение восходящего длинноволнового потока в отдельные месяцы.

Таблица 5

Изменение отношения  $\frac{\max E_{3z}}{\min E_{3z}}$  с высотой

| Пункт                 | z км |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       | 0,0  | 0,2  | 0,5  | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 3,0  | 4,0  | 5,0  | 6,0  | 7,0  | 8,0  |
| Ашхабад . . . . .     | 1,60 | —    | 1,50 | 1,48 | 1,45 | 1,44 | 1,42 | 1,43 | 1,44 | 1,43 | 1,45 | 1,48 |
| Хабаровск . . . . .   | 1,93 | 1,89 | 1,87 | 1,84 | 1,80 | 1,83 | 1,75 | 1,73 | 1,74 | 1,75 | 1,74 | 1,71 |
| Волгоград . . . . .   | 1,73 | 1,63 | 1,59 | 1,54 | 1,52 | 1,50 | 1,51 | 1,47 | 1,48 | 1,45 | 1,50 | 1,48 |
| Новосибирск . . . . . | 1,89 | 1,79 | 1,75 | 1,68 | 1,63 | 1,60 | 1,57 | 1,57 | 1,58 | 1,57 | 1,57 | 1,56 |
| Сыктывкар . . . . .   | 1,67 | 1,61 | 1,56 | 1,52 | 1,48 | 1,49 | 1,45 | 1,46 | 1,48 | 1,47 | 1,48 | 1,47 |
| Якутск . . . . .      | 2,79 | 2,66 | 2,52 | 2,32 | 2,28 | 2,15 | 2,10 | 2,09 | 2,10 | 2,08 | 2,07 | 2,04 |

приводятся максимальные и минимальные значения  $\gamma$  в кал/см<sup>2</sup> мин. на километр для каждого месяца, выбранные из всей совокупности значений для 26 пунктов. Максимальные значения  $\gamma$  соответствуют южным

| Месяц | max $\gamma$ | min $\gamma$ | Месяц | max $\gamma$ | min $\gamma$ | Месяц | max $\gamma$ | min $\gamma$ | Месяц | max $\gamma$ | min $\gamma$ |
|-------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|
| I     | 0,021        | 0,010        | IV    | 0,024        | 0,015        | VII   | 0,028        | 0,022        | X     | 0,024        | 0,016        |
| II    | 0,021        | 0,010        | V     | 0,028        | 0,019        | VIII  | 0,028        | 0,021        | XI    | 0,022        | 0,011        |
| III   | 0,023        | 0,012        | VI    | 0,029        | 0,021        | IX    | 0,026        | 0,020        | XII   | 0,020        | 0,010        |

пунктам — Ашхабаду и Алма-Ате, минимальные северным — Якутску и Архангельску.

В нижнем трехкилометровом слое изменение восходящего длинноволнового потока с высотой в зависимости от географического положения пункта и времени года может иметь самый различный характер:

- убывание с высотой ( $\gamma > 0$ ),
- увеличение с высотой ( $\gamma < 0$ ),
- независимость от высоты ( $\gamma = 0$ ),
- сочетание всех перечисленных типов.

При этом в каждом пункте удастся проследить определенную закономерность в изменении характера вертикального распределения  $E_{3z}$  в течение года, проявляющуюся в уменьшении градиентов в приземном слое при переходе от летних месяцев к зимним. В ряде пунктов, постепенно меняясь,  $\gamma$  проходит через нуль и принимает отрицательные значения. Кроме того, одновременно с этим отмечается постепенное увеличение толщины слоя, в котором происходит трансформация градиента.

В этом отношении наиболее показательным является изменение вертикального распределения  $E_{3z}$  в течение года в Якутске, где в зимнее время наблюдаются мощные инверсии в распределении температуры. В январе и феврале в этом пункте градиенты  $\gamma < 0$  отмечаются в слое 1,5—2,0 км, в марте и апреле толщина приземного слоя с отрицательным градиентом снижается до 0,5 км. С мая по август во всем слое тропосферы наблюдается убывание  $E_{3z}$  с высотой, при этом нижний трехкилометровый слой отличается от вышележащих слоев большими градиентами  $\gamma$ . В сентябре в нижнем полуклометровом слое  $\gamma = 0$ , а при переходе к октябрю  $\gamma$  меняет свой знак; при этом толщина слоя, в котором  $\gamma < 0$ , при переходе к зимним месяцам постепенно увеличивается с 0,2 до 2,0 км.

В отдельных пунктах изменение градиента  $\gamma$  происходит в большей

или меньшей мере, но описанный выше характер изменения  $\gamma$  в течение года в нижнем двухкилометровом слое сохраняется во всех пунктах.

На основании данных табл. 4 можно также проследить, каким образом отражается на вертикальном распределении восходящего длинноволнового потока изменение широты и долготы места.

С этой целью были построены вертикальные разрезы по направлениям Ленинград — Минск — Киев — Одесса (рис. 4а); Архангельск — Казань — Куйбышев — Волгоград — Баку (рис. 4б); Львов — Киев — Харьков — Волгоград — Актюбинск — Новосибирск — Иркутск — Чита — Хабаровск (рис. 4в). Несмотря на небольшое число пунктов, использованных для построения вертикальных разрезов, удается про-

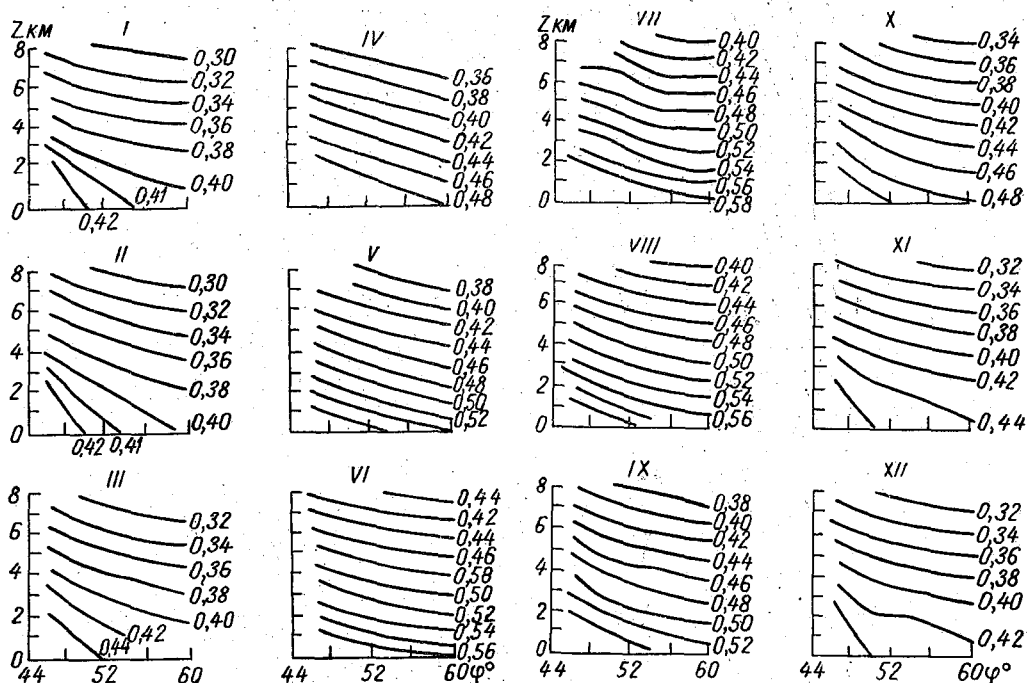


Рис. 4а. Вертикальное распределение восходящего длинноволнового потока по маршруту Ленинград—Минск—Киев—Одесса.

следить общий характер изменения величин  $E_{sz}$  с изменением широты и долготы места.

В направлении Ленинград — Минск — Киев — Одесса в течение всего года и на всех высотах происходит монотонное убывание величины восходящего длинноволнового потока с увеличением широты. В направлении Архангельск — Казань — Куйбышев — Волгоград — Баку в отдельные месяцы наблюдается более сложный ход  $E_{sz}$  с широтой. Так, например, в феврале выше 3 км минимум  $E_{sz}$  отмечается не в Архангельске, самом северном из всех рассматриваемых пунктов, а южнее — в Казани. Это обстоятельство связано с особенностями распределения температуры воздуха: начиная с 2 км и выше в Архангельске наблюдаются более высокие значения  $T_z$ , чем в Казани, на высотах 5—8 км это различие достигает  $10^\circ$ . Однако в большинстве случаев и в этом направлении отмечается монотонное убывание величин  $E_{sz}$  с увеличением широты.

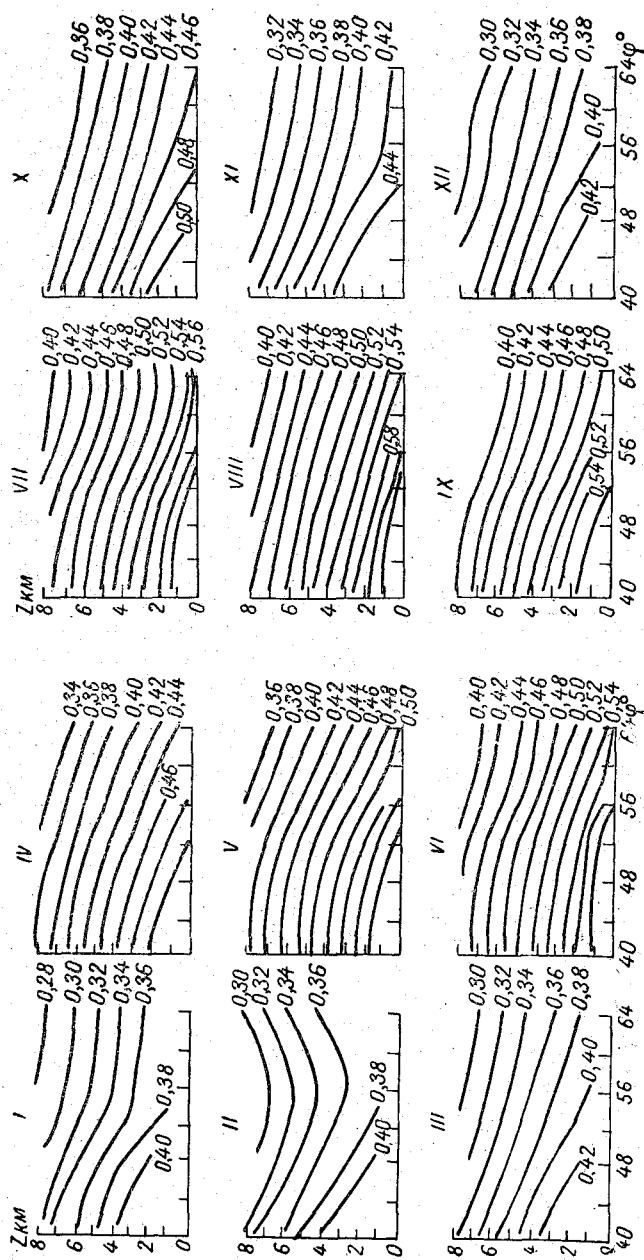


Рис. 46. Вертикальное распределение восходящего длинноволнового потока по маршруту Архангельск—Казань—Куйбышев—Волгоград—Баку.



В основном такой ход восходящего длинноволнового потока вызван изменением температуры почвы.

Заметные изменения в величинах  $E_{3z}$  отмечаются и при постоянной широте при продвижении с запада на восток. В качестве примера на рис. 4в представлен вертикальный разрез, который получен по материалам пунктов, расположенных в широтном поясе от 50 до 54° с. ш., протянувшимся от 24 до 135° в. д. Особенно заметно различие западных и восточных районов Советского Союза проявляется в зимние месяцы. В этот период при переходе от западных районов к восточным происходит постепенное уменьшение величин  $E_{3z}$ , очень глубокий их минимум отмечается в районах Восточной Сибири. В летние месяцы различие

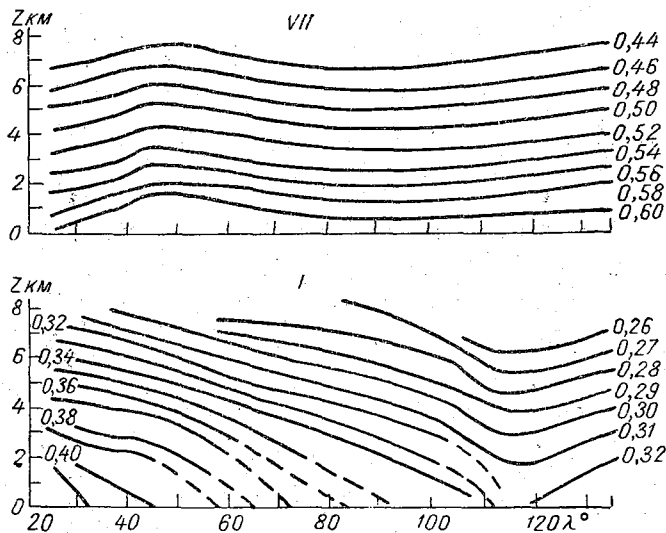


Рис. 4в. Вертикальное распределение восходящего длинноволнового потока по маршруту Львов—Київ—Харьков—Волгоград—Актюбинск—Новосибирск—Иркутск—Чита—Хабаровск.

востока и запада проявляется в меньшей степени, в этот период намечается небольшой максимум в восточных районах ЕТС. В том и другом случае изменения  $E_{3z}$  следуют за изменениями температуры почвы.

В действительности картина географического распределения величин восходящего длинноволнового потока несомненно является более сложной, чем получил автор в результате анализа приведенных выше данных. К сожалению, на данном этапе исследований нет достаточного количества сведений, необходимых для более подробного исследования этого вопроса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барашкова Е. П. К методике расчета длинноволновых потоков в тропосфере при безоблачном небе. Тр. ГГО, вып. 152, 1964.
2. Шехтер Ф. Н. К вычислению лучистых потоков тепла в атмосфере. Тр. ГГО, вып. 22 (84), 1950.
3. Костяной Г. Н. Актинометрический радиозонд. Метеорология и гидрология, № 7, 1963.
4. Логинава З. А. К вопросу о температуре подстилающей поверхности. Автореферат диссертации. Изд. ЛГУ, Л., 1956.
5. Соколов С. И. Точность температурного зондирования атмосферы. Тр. НИУГУГМС, сер. I, вып. 19, 1946.
6. Гаевский В. Л. Температура поверхности больших территорий. Тр. ГГО, вып. 26, 1951.

Е. П. НОВОСЕЛЬЦЕВ

## О СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ОБЛАКОВ ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ЯРУСОВ

Рассматривается вопрос о степени черноты облаков верхнего и среднего ярусов в различных спектральных интервалах и во всей тепловой области спектра. Установлено, что чернота облаков указанных ярусов существенно отличается от единицы в «окне прозрачности» атмосферы 8—12 мк и близка к единице в областях сильного поглощения радиации водяным паром.

Для широкого круга геофизических задач необходимо знать поглощательную (а следовательно, и излучательную) способность облаков различных ярусов как на отдельных участках длинноволновой области спектра, так и во всей тепловой области спектра в целом.

До настоящего времени в большей части работ, посвященных переносу длинноволнового излучения в атмосфере, принималось, что облака всех трех ярусов являются абсолютно черными в любом спектральном интервале теплового излучения. Однако если для достаточно мощной облачности это с известной степенью точности подтверждено рядом теоретических и экспериментальных работ [1, 2], то для облачности среднего и верхнего ярусов такое предположение приходилось принять, поскольку каких-либо других данных не было.

В настоящей работе дается оценка как спектральной, так и интегральной степени черноты облачности среднего и верхнего ярусов.

### Степень черноты рассеивающего и поглощающего слоя

Степень черноты  $\delta$  какого-либо слоя может быть определена из соотношения баланса энергии

$$\delta = 1 - p - a, \quad (1)$$

где  $p$  — коэффициент пропускания радиации данным слоем,  $a$  — альбедо слоя.

Таким образом, для определения степени черноты некоторого слоя требуется определить величину потока радиации, прошедшей этот слой, и величину потока радиации, отраженной слоем.

Для нахождения этих величин необходимо решить уравнение переноса радиации для случая поглощающей и рассеивающей среды.

Как показано в работе [3], исходные дифференциальные уравнения, описывающие изменение величин восходящего и нисходящего потоков с высотой, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}\frac{dF^{(1)}}{dz} &= -m^{(1)} [k + \sigma\Gamma^{(1)}] F^{(1)} + m^{(2)} \sigma\Gamma^{(2)} F^{(2)}; \\ \frac{dF^{(2)}}{dz} &= -m^{(1)} \sigma\Gamma^{(1)} F^{(1)} + m^{(2)} [k + \sigma\Gamma^{(2)}] F^{(2)},\end{aligned}\quad (2)$$

где  $F^{(1)}$  — величина восходящего потока;  $F^{(2)}$  — величина нисходящего потока;  $\sigma$  — объемный коэффициент рассеяния среды;  $k$  — объемный коэффициент поглощения среды;  $z$  — координата высоты;  $m^{(1)}$  и  $m^{(2)}$  представляют собой некоторые средние секансы зенитного расстояния, определяющие направление распространения «центра тяжести» восходящего и нисходящего потоков.

Величины  $\Gamma^{(1)}$  и  $\Gamma^{(2)}$  характеризуют долю радиации, рассеянной назад; будем именовать их коэффициентами обратного рассеяния.

В качестве граничных условий задается величина потока, падающего на верхнюю границу слоя  $F_0 = I_0 \Delta\omega \cos \vartheta_0$ , где  $I_0$  — интенсивность падающей радиации;  $\Delta\omega$  — телесный угол, в котором сосредоточена падающая радиация;  $\vartheta_0$  — угол падения радиации.

Коэффициенты  $m^{(1)}$ ,  $m^{(2)}$ ,  $\Gamma^{(1)}$  и  $\Gamma^{(2)}$  являются функциями высоты  $z$ . Однако если оптическая толщина слоя невелика, то, как показано в ряде работ [4, 5], с вполне удовлетворительной точностью можно считать, что  $m^{(1)} = m^{(2)} = m(H)$  и  $\Gamma^{(1)} = \Gamma^{(2)} = \Gamma(H)$  ( $H$  — координата верхней границы облака). В дальнейшем величины  $m(H)$  и  $\Gamma(H)$  будем обозначать просто как  $m$  и  $\Gamma$ . (При этом понятно, что  $m$  есть не что иное, как секанс угла падения радиации.)

Предположение о том, что  $m^{(1)} = m^{(2)} = m$  и  $\Gamma^{(1)} = \Gamma^{(2)} = \Gamma$  означает, что решение задачи о прохождении радиации через мутную среду сведено к случаю задачи о рассеянии света в одномерной среде. Поэтому полученное решение будет приближенным. Естественно, встает вопрос о погрешностях приближенного метода при различных оптических толщинах среды и различных углах падения радиации.

Для некоторых видов индикатрис, например для индикатрисы вида  $x(\gamma) = 1 + c_1 \cos \gamma$  (где  $c_1$  — коэффициент при первом члене разложения индикатрисы по полиномам Лежандра), имеются точные методы определения потоков радиации, прошедших сквозь рассеивающую среду. Пиотровским [6] для потока радиации  $P_s$ , прошедшей через рассеивающий слой оптической толщины  $\tau$ , получено следующее выражение:

$$P_s = \frac{F_0 H(\mu_0)}{1,4209 + \left(1 - \frac{c_1}{3}\right) \tau}, \quad (3)$$

где  $\mu_0$  — косинус угла падения радиации,  $H(\mu_0)$  — некоторая функция угла падения радиации.

Выражение (3) получено для случая чисто рассеивающей среды. Нас же интересует случай, когда в среде происходит как поглощение, так и рассеяние излучения. Однако можно предполагать, что погрешность приближенного метода с увеличением роли поглощения будет уменьшаться, поскольку в этом случае рассеянием можно пренебречь, и приближенный метод решения уравнения (2) дает совершенно точные величины потоков.

Выражение, полученное по приближенному методу для чисто рассеивающей среды, имеет следующий вид:

$$P = \frac{F_0 \mu_0}{1 + \frac{\Gamma}{\mu_0} \tau}. \quad (4)$$

Поскольку индикатрисы рассеяния в облаках сильно вытянуты, т. е. большая часть радиации рассеивается в направлении, очень близком к направлению распространения падающей радиации, то естественно предположить, что наибольшее приближение к случаю одномерной среды будет при наибольшей вытянутости индикатрисы рассеяния. Поэтому сравнение результатов, полученных по приближенному методу, с точными результатами для не очень сильно вытянутых индикатрис вида  $x(\gamma) = 1 + c_1 \cos \gamma$  позволит нам, по-видимому, судить о верхней границе погрешности.

В выражения (3) и (4) входят различные параметры: в формулу (3) —  $c_1$ , в формулу (4) —  $\Gamma$ .

Для того чтобы иметь возможность сопоставлять результаты, полученные по этим формулам, необходимо установить соответствие между величинами  $c_1$  и  $\Gamma$ .

Что представляет собой коэффициент  $c_1$  в случае одномерной среды, т. е. когда индикатриса рассеяния характеризует лишь рассеяние света вперед и назад?

Как известно,

$$c_1 = \frac{3}{2} \int_0^\pi x(\gamma) \cos \gamma \sin \gamma d\gamma.$$

Представим  $c_1$  в следующем виде:

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{3}{2} \left[ \int_0^{\pi/2} x(\gamma) \cos \gamma \sin \gamma d\gamma + \int_{\pi/2}^\pi x(\gamma) \cos \gamma \sin \gamma d\gamma \right] = \\ &= \frac{3}{2} \left[ \cos \bar{\gamma}_1 \int_0^{\pi/2} x(\gamma) \sin \gamma d\gamma + \cos \bar{\gamma}_2 \int_{\pi/2}^\pi x(\gamma) \sin \gamma d\gamma \right] = \\ &= 3 \left[ \cos \bar{\gamma}_1 \frac{\int_0^{\pi/2} x(\gamma) \sin \gamma d\gamma}{\int_0^\pi x(\gamma) \sin \gamma d\gamma} + \cos \bar{\gamma}_2 \frac{\int_{\pi/2}^\pi x(\gamma) \sin \gamma d\gamma}{\int_0^\pi x(\gamma) \sin \gamma d\gamma} \right]. \end{aligned}$$

По условию нормировки индикатриса

$$\int_0^\pi x(\gamma) \sin \gamma d\gamma = 2.$$

Доля радиации, рассеянной назад,

$$\frac{\int_0^{\pi/2} x(\gamma) \sin \gamma d\gamma}{\int_0^\pi x(\gamma) \sin \gamma d\gamma} = 1 - \Gamma.$$

Доля радиации, рассеянной вперед,

$$\frac{\int_{\pi/2}^{\pi} x(\gamma) \sin \gamma d\gamma}{\int_0^{\pi} x(\gamma) \sin \gamma d\gamma} = \Gamma.$$

Таким образом,

$$c_1 = 3 [\cos \bar{\gamma}_1 (1 - \Gamma) + \cos \bar{\gamma}_2 \Gamma].$$

Поскольку в случае одномерной среды рассеяние происходит только вперед и назад, то  $\cos \bar{\gamma}_1 = 1$ ;  $\cos \bar{\gamma}_2 = -1$ .

Отсюда

$$c_1 = 3 [1 - 2\Gamma]$$

или

$$\Gamma = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{c_1}{3} \right). \quad (5)$$

Теперь приближенную формулу (4) можно переписать в следующем виде:

$$P = \frac{F_0 \mu_0}{1 + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{c_1}{3} \right) \mu_0 \tau}. \quad (6)$$

В табл. 1 представлены результаты расчета величин  $\rho/F_0$ , полученные по формулам (4) и (6) для различных значений коэффициента  $c_1$  при различных оптических толщинах слоев и при различных углах падения радиации.

Из рассмотрения таблицы видно, что при не очень больших углах падения радиации ( $\mu_0 \geq 0,3$ ) относительная погрешность невелика и лежит в пределах нескольких процентов даже при сравнительно большой оптической толщине слоя, равной пяти. Обращает на себя внимание тот факт, что относительная погрешность заметно зависит от величины коэффициента  $c_1$ , причем эта зависимость носит немонотонный характер. При больших оптических толщинах ( $\tau > 5$ ) возрастание величины коэффициента  $c_1$  приводит сначала к уменьшению ошибки, затем при углах падения радиации, близких к нормальному, наблюдается некоторое возрастание относительной погрешности.

При меньших оптических толщинах (например,  $\tau = 1$ ) увеличение коэффициента  $c_1$  приводит к росту ошибки в довольно широком интервале изменения угла падения радиации ( $0,3 < \mu_0 < 1$ ).

То обстоятельство, что точность приближенного метода при не очень больших углах падения радиации оказывается вполне удовлетворительной даже при довольно больших оптических толщинах, дает основание предполагать, что определение степени черноты облаков на основе приближенного метода интегрирования системы уравнений (2) может быть произведено со сравнительно небольшой погрешностью.

Остановимся вкратце на результатах интегрирования системы (2) для случая, когда в среде имеет место как рассеяние, так и поглощение.

Пропускание радиации в мутном слое с фактической толщиной  $\tau$ , по формулам (4) и (6), для индикатрисы вида  $x(\gamma) = 1 \pm c_1 \cos \gamma$

| $\mu \odot$ | $c = 0,9$  |     |              | $c = 1,2$  |     |              | $c = 1,5$  |     |              | $c = 1,8$  |     |              | $c = 2,1$  |     |              | $c = 2,4$  |     |              | $c = 2,7$  |     |              |
|-------------|------------|-----|--------------|------------|-----|--------------|------------|-----|--------------|------------|-----|--------------|------------|-----|--------------|------------|-----|--------------|------------|-----|--------------|
|             | по формуле |     |              | по формуле |     |              | по формуле |     |              | по формуле |     |              | по формуле |     |              | по формуле |     |              | по формуле |     |              |
|             | (4)        | (6) | $\Delta_\mu$ | (4)        | (6) | $\Delta_\mu$ | (4)        | (6) | $\Delta_\mu$ | (4)        | (6) | $\Delta_\mu$ | (4)        | (6) | $\Delta_\mu$ | (4)        | (6) | $\Delta_\mu$ | (4)        | (6) | $\Delta_\mu$ |

|            |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |
|------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| $\tau = 1$ |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |
| 0,10       | 0,340 | 0,222 | 34,8 | 0,356 | 0,250 | 32,6 | 0,375 | 0,286 | 23,7 | 0,396 | 0,333 | 16,0 | 0,418 | 0,400 | 4,3  | 0,445 | 0,500 | 11,0 | 0,474 | 0,667 | 29,0 |
| 0,20       | 0,396 | 0,363 | 9,1  | 0,416 | 0,400 | 4,0  | 0,437 | 0,445 | 1,8  | 0,461 | 0,500 | 7,8  | 0,489 | 0,572 | 14,3 | 0,519 | 0,667 | 22,1 | 0,553 | 0,800 | 31,0 |
| 0,30       | 0,448 | 0,461 | 2,9  | 0,470 | 0,500 | 6,4  | 0,495 | 0,546 | 10,3 | 0,522 | 0,599 | 12,9 | 0,553 | 0,667 | 17,1 | 0,587 | 0,751 | 21,8 | 0,625 | 0,854 | 26,8 |
| 0,40       | 0,498 | 0,532 | 6,8  | 0,522 | 0,571 | 9,4  | 0,550 | 0,617 | 12,2 | 0,580 | 0,667 | 13,0 | 0,614 | 0,724 | 15,2 | 0,652 | 0,800 | 18,5 | 0,695 | 0,891 | 22,0 |
| 0,50       | 0,549 | 0,588 | 7,1  | 0,576 | 0,625 | 8,4  | 0,606 | 0,667 | 9,0  | 0,639 | 0,714 | 10,5 | 0,677 | 0,770 | 12,0 | 0,719 | 0,832 | 13,6 | 0,765 | 0,904 | 15,8 |
| 0,60       | 0,597 | 0,533 | 6,0  | 0,626 | 0,667 | 6,5  | 0,695 | 0,705 | 1,4  | 0,696 | 0,751 | 7,3  | 0,736 | 0,800 | 8,0  | 0,781 | 0,855 | 7,5  | 0,832 | 0,925 | 10,0 |
| 0,70       | 0,648 | 0,666 | 2,5  | 0,680 | 0,700 | 2,9  | 0,717 | 0,735 | 2,4  | 0,754 | 0,775 | 2,9  | 0,797 | 0,826 | 3,5  | 0,847 | 0,877 | 3,4  | 0,903 | 0,934 | 3,3  |
| 0,80       | 0,696 | 0,694 | 0,3  | 0,730 | 0,724 | 0,8  | 0,768 | 0,764 | 0,5  | 0,810 | 0,800 | 1,2  | 0,857 | 0,841 | 1,6  | 0,911 | 0,893 | 2,0  | 0,970 | 0,943 | 2,8  |
| 0,90       | 0,737 | 0,720 | 2,3  | 0,773 | 0,752 | 2,8  | 0,814 | 0,781 | 4,0  | 0,857 | 0,819 | 4,4  | 0,906 | 0,855 | 5,6  | 0,963 | 0,900 | 6,5  | 1,03  | 0,948 | 8,0  |
| 1,00       | 0,792 | 0,741 | 6,4  | 0,831 | 0,769 | 7,4  | 0,875 | 0,800 | 8,0  | 0,922 | 0,833 | 8,8  | 0,976 | 0,870 | 10,9 | 1,04  | 0,909 | 12,6 | 1,101 | 0,952 | 13,5 |

|            |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |     |       |       |      |       |       |      |
|------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-----|-------|-------|------|-------|-------|------|
| $\tau = 2$ |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |     |       |       |      |       |       |      |
| 0,10       | 0,257 | 0,125 | 51,4 | 0,274 | 0,143 | 48,0 | 0,298 | 0,167 | 44,0 | 0,324 | 0,200 | 38,0 | 0,356 | 0,250 | 3,0 | 0,396 | 0,334 | 15,6 | 0,445 | 0,500 | 11,0 |
| 0,20       | 0,298 | 0,222 | 25,5 | 0,321 | 0,250 | 22,0 | 0,347 | 0,286 | 17,6 | 0,378 | 0,333 | 12,0 | 0,416 | 0,400 | 3,8 | 0,461 | 0,500 | 7,8  | 0,519 | 0,667 | 22,1 |
| 0,30       | 0,337 | 0,299 | 11,3 | 0,362 | 0,333 | 8,0  | 0,393 | 0,375 | 4,5  | 0,428 | 0,429 | 0,2  | 0,470 | 0,500 | 6,0 | 0,522 | 0,599 | 12,9 | 0,587 | 0,752 | 22,0 |
| 0,40       | 0,374 | 0,363 | 2,9  | 0,403 | 0,400 | 0,7  | 0,436 | 0,444 | 1,8  | 0,475 | 0,500 | 5,0  | 0,522 | 0,571 | 8,6 | 0,580 | 0,667 | 13,0 | 0,652 | 0,800 | 18,5 |
| 0,50       | 0,412 | 0,416 | 1,0  | 0,444 | 0,454 | 2,2  | 0,481 | 0,500 | 3,8  | 0,523 | 0,556 | 5,9  | 0,576 | 0,625 | 7,8 | 0,639 | 0,714 | 10,5 | 0,719 | 0,833 | 13,5 |
| 0,60       | 0,449 | 0,460 | 2,4  | 0,484 | 0,500 | 3,2  | 0,523 | 0,546 | 4,2  | 0,570 | 0,599 | 4,8  | 0,626 | 0,667 | 6,1 | 0,695 | 0,752 | 7,6  | 0,781 | 0,854 | 8,5  |
| 0,70       | 0,487 | 0,500 | 2,6  | 0,524 | 0,538 | 2,6  | 0,568 | 0,585 | 2,9  | 0,618 | 0,637 | 3,0  | 0,680 | 0,698 | 2,6 | 0,754 | 0,776 | 2,8  | 0,847 | 0,877 | 3,4  |
| 0,80       | 0,523 | 0,532 | 1,7  | 0,563 | 0,571 | 1,4  | 0,610 | 0,616 | 1,0  | 0,664 | 0,667 | 0,4  | 0,731 | 0,724 | 1,0 | 0,810 | 0,800 | 1,2  | 0,911 | 0,893 | 2,0  |
| 0,90       | 0,554 | 0,562 | 1,4  | 0,596 | 0,599 | 0,5  | 0,646 | 0,640 | 0,9  | 0,693 | 0,695 | 0,3  | 0,773 | 0,752 | 2,7 | 0,858 | 0,820 | 4,4  | 0,963 | 0,900 | 6,5  |
| 1,00       | 0,596 | 0,588 | 1,3  | 0,641 | 0,625 | 2,5  | 0,694 | 0,667 | 3,9  | 0,756 | 0,714 | 5,5  | 0,831 | 0,770 | 7,3 | 0,922 | 0,833 | 9,6  | 1,04  | 0,908 | 12,6 |

|            |       |        |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |       |
|------------|-------|--------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| $\tau = 3$ |       |        |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |       |
| 0,10       | 0,205 | 0,0869 | 57,6 | 0,223 | 0,100 | 55,0 | 0,246 | 0,118 | 52,0 | 0,275 | 0,143 | 48,0 | 0,310 | 0,182 | 41,3 | 0,356 | 0,250 | 29,8 | 0,418 | 0,400 | 4,30  |
| 0,20       | 0,238 | 0,160  | 32,8 | 0,260 | 0,182 | 27,9 | 0,287 | 0,210 | 26,8 | 0,320 | 0,250 | 21,9 | 0,361 | 0,307 | 14,9 | 0,415 | 0,400 | 3,61 | 0,487 | 0,571 | 17,25 |
| 0,30       | 0,269 | 0,222  | 17,5 | 0,294 | 0,250 | 17,6 | 0,324 | 0,285 | 12,1 | 0,362 | 0,333 | 8,0  | 0,408 | 0,440 | 1,96 | 0,470 | 0,560 | 6,38 | 0,551 | 0,667 | 21,0  |

|      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |
|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 0,40 | 0,299 | 0,276 | 7,7  | 0,327 | 0,307 | 6,10 | 0,361 | 0,347 | 3,87 | 0,402 | 0,400 | 0,5  | 0,454 | 0,470 | 3,53 | 0,522 | 0,571 | 9,38 | 0,613 | 0,724 | 18,1 |
| 0,50 | 0,330 | 0,323 | 2,12 | 0,361 | 0,357 | 1,10 | 0,398 | 0,400 | 0,5  | 0,443 | 0,454 | 2,49 | 0,501 | 0,526 | 5,00 | 0,575 | 0,625 | 8,70 | 0,675 | 0,770 | 14,1 |
| 0,60 | 0,359 | 0,363 | 1,11 | 0,393 | 0,400 | 1,78 | 0,433 | 0,444 | 2,54 | 0,483 | 0,500 | 3,51 | 0,545 | 0,571 | 4,77 | 0,625 | 0,667 | 6,72 | 0,735 | 0,800 | 8,85 |
| 0,70 | 0,389 | 0,400 | 2,76 | 0,425 | 0,437 | 2,82 | 0,470 | 0,483 | 2,77 | 0,523 | 0,537 | 2,67 | 0,590 | 0,609 | 3,22 | 0,678 | 0,698 | 2,95 | 0,797 | 0,826 | 3,64 |
| 0,80 | 0,418 | 0,433 | 3,58 | 0,457 | 0,472 | 3,28 | 0,505 | 0,515 | 1,98 | 0,563 | 0,572 | 1,60 | 0,635 | 0,641 | 0,94 | 0,730 | 0,724 | 0,82 | 0,857 | 0,840 | 1,98 |
| 0,90 | 0,444 | 0,461 | 3,83 | 0,485 | 0,500 | 3,09 | 0,535 | 0,546 | 2,05 | 0,595 | 0,600 | 0,84 | 0,678 | 0,667 | 1,62 | 0,773 | 0,749 | 3,10 | 0,908 | 0,855 | 5,83 |
| 1,00 | 0,477 | 0,487 | 2,09 | 0,521 | 0,525 | 0,77 | 0,575 | 0,572 | 0,52 | 0,640 | 0,625 | 2,35 | 0,723 | 0,680 | 5,94 | 0,830 | 0,769 | 6,35 | 0,975 | 0,870 | 10,8 |

$\tau = 4$

|      |       |        |      |       |        |      |       |        |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |
|------|-------|--------|------|-------|--------|------|-------|--------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 0,10 | 0,170 | 0,0667 | 6,3  | 0,188 | 0,0769 | 59   | 0,210 | 0,0908 | 57   | 0,238 | 0,111 | 53   | 0,272 | 0,143 | 47   | 0,324 | 0,200 | 38,3 | 0,398 | 0,333 | 16,4 |
| 0,20 | 0,198 | 0,125  | 36,8 | 0,220 | 0,143  | 35,0 | 0,245 | 0,167  | 31,8 | 0,278 | 0,200 | 27   | 0,320 | 0,250 | 21,9 | 0,379 | 0,333 | 12,2 | 0,461 | 0,500 | 8,5  |
| 0,30 | 0,224 | 0,174  | 22,3 | 0,247 | 0,200  | 19,0 | 0,277 | 0,231  | 16,6 | 0,313 | 0,272 | 13,1 | 0,361 | 0,333 | 7,8  | 0,426 | 0,427 | 0,2  | 0,519 | 0,598 | 15,0 |
| 0,40 | 0,250 | 0,222  | 11,2 | 0,276 | 0,250  | 9,4  | 0,309 | 0,287  | 7,1  | 0,349 | 0,333 | 4,6  | 0,403 | 0,400 | 0,8  | 0,475 | 0,500 | 5,3  | 0,578 | 0,667 | 15,3 |
| 0,50 | 0,276 | 0,253  | 4,7  | 0,305 | 0,294  | 3,6  | 0,340 | 0,333  | 2,1  | 0,385 | 0,385 | 0    | 0,444 | 0,455 | 2,5  | 0,524 | 0,556 | 6,1  | 0,638 | 0,714 | 11,9 |
| 0,60 | 0,300 | 0,300  | 0    | 0,333 | 0,333  | 0    | 0,371 | 0,374  | 0,8  | 0,420 | 0,430 | 2,4  | 0,485 | 0,500 | 3,1  | 0,572 | 0,599 | 4,7  | 0,697 | 0,752 | 7,9  |
| 0,70 | 0,324 | 0,333  | 2,8  | 0,360 | 0,368  | 2,2  | 0,402 | 0,411  | 2,2  | 0,456 | 0,467 | 2,4  | 0,525 | 0,537 | 2,3  | 0,620 | 0,637 | 2,1  | 0,755 | 0,774 | 2,5  |
| 0,80 | 0,350 | 0,364  | 4,0  | 0,386 | 0,400  | 3,6  | 0,432 | 0,444  | 2,8  | 0,489 | 0,500 | 2,3  | 0,563 | 0,571 | 1,4  | 0,666 | 0,667 | 0,1  | 0,821 | 0,800 | 2,6  |
| 0,90 | 0,370 | 0,390  | 5,4  | 0,404 | 0,429  | 6,2  | 0,457 | 0,473  | 3,5  | 0,518 | 0,529 | 2,1  | 0,596 | 0,603 | 0,7  | 0,704 | 0,695 | 1,3  | 0,858 | 0,819 | 4,6  |
| 1,00 | 0,397 | 0,417  | 5,0  | 0,440 | 0,454  | 3,2  | 0,492 | 0,500  | 1,6  | 0,556 | 0,555 | 0    | 0,641 | 0,624 | 2,6  | 0,755 | 0,714 | 5,4  | 0,923 | 0,833 | 9,8  |

$\tau = 5$

|      |       |        |      |       |        |      |       |       |      |       |        |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |
|------|-------|--------|------|-------|--------|------|-------|-------|------|-------|--------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 0,10 | 0,146 | 0,0541 | 66   | 0,163 | 0,0925 | 59,5 | 0,183 | 0,074 | 59,5 | 0,210 | 0,0909 | 52,0 | 0,246 | 0,118 | 52,1 | 0,297 | 0,167 | 43,4 | 0,377 | 0,286 | 24,1 |
| 0,20 | 0,170 | 0,1025 | 40,2 | 0,190 | 0,118  | 37,9 | 0,214 | 0,138 | 36,5 | 0,245 | 0,167  | 31,8 | 0,287 | 0,212 | 26,2 | 0,347 | 0,286 | 17,5 | 0,437 | 0,445 | 1,8  |
| 0,30 | 0,192 | 0,146  | 23,9 | 0,214 | 0,167  | 22,0 | 0,242 | 0,193 | 20,3 | 0,277 | 0,230  | 15,5 | 0,325 | 0,286 | 15,0 | 0,391 | 0,375 | 4,1  | 0,494 | 0,546 | 10,7 |
| 0,40 | 0,215 | 0,186  | 13,5 | 0,239 | 0,210  | 12,1 | 0,270 | 0,242 | 10,4 | 0,309 | 0,286  | 7,4  | 0,362 | 0,347 | 4,1  | 0,438 | 0,445 | 1,6  | 0,551 | 0,617 | 12,0 |
| 0,50 | 0,237 | 0,222  | 6,3  | 0,263 | 0,250  | 5,2  | 0,297 | 0,286 | 3,4  | 0,340 | 0,333  | 2,1  | 0,399 | 0,400 | 0,2  | 0,481 | 0,500 | 3,9  | 0,608 | 0,667 | 9,7  |
| 0,60 | 0,258 | 0,255  | 1,2  | 0,287 | 0,286  | 0,3  | 0,324 | 0,324 | 0    | 0,436 | 0,444  | 1,8  | 0,470 | 0,483 | 2,8  | 0,524 | 0,546 | 4,2  | 0,660 | 0,704 | 6,7  |
| 0,70 | 0,279 | 0,286  | 2,5  | 0,311 | 0,319  | 2,6  | 0,351 | 0,360 | 2,6  | 0,402 | 0,411  | 2,2  | 0,470 | 0,483 | 2,8  | 0,568 | 0,581 | 2,3  | 0,715 | 0,735 | 2,7  |
| 0,80 | 0,300 | 0,314  | 4,7  | 0,334 | 0,347  | 3,9  | 0,377 | 0,390 | 3,5  | 0,432 | 0,444  | 2,8  | 0,506 | 0,515 | 1,8  | 0,609 | 0,617 | 1,3  | 0,768 | 0,762 | 0,8  |
| 0,90 | 0,318 | 0,339  | 6,6  | 0,354 | 0,374  | 5,4  | 0,399 | 0,418 | 4,8  | 0,457 | 0,474  | 3,7  | 0,526 | 0,546 | 3,8  | 0,647 | 0,640 | 1,1  | 0,815 | 0,780 | 4,3  |
| 1,00 | 0,341 | 0,364  | 6,7  | 0,380 | 0,400  | 5,4  | 0,429 | 0,444 | 3,5  | 0,576 | 0,571  | 1,6  | 0,641 | 0,624 | 2,6  | 0,694 | 0,667 | 3,9  | 0,875 | 0,800 | 8,6  |

Примечание  $\Delta_r$  — относительная погрешность в %

При интегрировании системы (2) величина потока радиации, прошедшей мутный слой с оптической толщиной  $\tau$ , выражается следующим образом:

$$F^{(2)}(0) = F_0 \frac{4\beta}{(1+\beta)^2 \exp[mat^*] - (1-\beta)^2 \exp[-mat^*]}, \quad (7)$$

где

$$\beta = \sqrt{\frac{1-g}{1+g}}; \quad g = \frac{\sigma\Gamma}{\sigma\Gamma + k};$$

$$\alpha = \sqrt{1-g^2}; \quad t^* = \int_0^H (\sigma\Gamma + k) dz.$$

Следовательно, коэффициент пропускания  $p$  выражается следующей формулой:

$$\frac{F^{(2)}(0)}{F_0} = p = \frac{4\beta}{(1+\beta)^2 \exp[mat^*] - (1-\beta)^2 \exp[-mat^*]}. \quad (8)$$

Выражение для величины альбедо слоя  $a$  имеет следующий вид:

$$a = \frac{(1-\beta^2) \exp[mat^*] - (1-\beta^2) \exp[-mat^*]}{(1+\beta)^2 \exp[mat^*] - (1-\beta)^2 \exp[-mat^*]}. \quad (9)$$

Следовательно, для коэффициента черноты  $\delta$ , определяемого как  $1 - p - a$ , получается выражение

$$\delta = 2\beta \frac{(1-\beta^2) \exp[mat^*] - (1-\beta^2) \exp[-mat^*] - 2}{(1+\beta)^2 \exp[mat^*] - (1-\beta)^2 \exp[-mat^*]}. \quad (10)$$

Таким образом, формула для степени черноты облачного слоя получена. Теперь необходимо оценить величины оптических параметров  $\beta$ ,  $\alpha$  и  $t^*$ , от которых зависит величина  $\delta$  для облачности среднего и верхнего ярусов, с учетом реальной физической обстановки, имеющей место в этих облаках.

Остановимся сначала на случае облаков верхнего яруса.

### Степень черноты облаков верхнего яруса

Оптические характеристики облаков верхнего яруса до сих пор неизвестны, поэтому о точном определении степени черноты этих облаков говорить пока не приходится. Речь может идти лишь о приближенной оценке этой величины.

Как известно [7], облака верхнего яруса состоят из сравнительно крупных частиц. Средняя длина кристалликов имеет порядок 200 мк, ширина и толщина их достигает нескольких десятков микрон. Эти частицы являются крупными по сравнению с длинами волн радиации в тех спектральных интервалах, где сосредоточена основная доля теплового излучения.

Это позволяет сделать следующие выводы.

1. Составляющая оптической толщины облака, которая характеризует ослабление радиации ледяными частицами, не зависит от длины волны радиации в тех спектральных интервалах, где  $\lambda$  остается много меньшей, чем размеры частиц.



2. Вся диффрагированная радиация, которая составляет ровно половину от той части энергии, на которую ослабляется упавшее на частицу излучение, сосредоточена в очень малом телесном угле. Вторая половина энергии, на величину которой ослаблена радиация, упавшая на частицу, распределяется между радиацией, которая прошла сквозь кристалл (т. е. рассеялась вперед), радиацией, которая отразилась от кристалла (т. е. рассеялась назад), и радиацией, поглощенной в кристалле.

Поскольку известно численное соотношение между этими частями радиации, в первом приближении будем считать, что радиация и не проходит сквозь кристалл и не отражается от него. Иными словами, будем считать, что вся вторая половина ослабленной радиации поглощается кристаллом. Это допущение приведет к некоторому завышению объемного коэффициента поглощения и соответственному занижению величины объемного коэффициента рассеяния. Однако можно предполагать, что завышение коэффициента поглощения не будет очень существенным, так как ледяные кристаллики достаточно толсты и для тепловой радиации они будут, по-видимому, практически непрозрачными.

Все же следует подчеркнуть, что это завышение приведет к некоторому увеличению степени черноты облака, т. е. истинная чернота будет несколько меньше, чем та, которую мы получим при сделанных предположениях.

Кроме поглощения радиации ледяными частичками, в облаке будет происходить поглощение радиации водяным паром.

Вследствие сложной структуры спектра поглощения водяного пара (благодаря чему коэффициент поглощения оказывается зависящим от массы водяного пара) поглощение и пропускание радиации водяным паром в некотором спектральном интервале лучше характеризовать не логарифмическим коэффициентом поглощения (так как эти коэффициенты сильно зависят от поглощающей массы), а функцией поглощения (или соответственно функцией пропускания), т. е. для некоторого спектрального интервала объемный коэффициент поглощения  $k$  лучше записать не в виде  $k = k_q + k_n$ , где  $k_q$  — объемный коэффициент поглощения радиации частицами, а  $k_n$  — объемный коэффициент поглощения радиации водяным паром, а в виде

$$k = k_q - \ln [P(\omega)/H],$$

где  $P(\omega)$  — функция пропускания радиации водяным паром,  $\omega$  — количество пара в облаке,  $H$  — геометрическая толщина облака.

При этом параметр  $g$  будет иметь вид:

$$g = \frac{\sigma\Gamma}{\sigma\Gamma + k_q - \ln [P(\omega)/H]}.$$

Как нетрудно убедиться,  $\exp[-mat^*]$  перейдет в выражение

$$P(\omega * m) \exp[-mat_1],$$

а  $\exp[mat^*]$  в

$$P^{-1}(\omega * m) \exp[mat_1],$$

где  $\omega^*$  — количество водяного пара в облаке в вертикальном направлении.

$$t_1 = \int_0^H (\sigma\Gamma + k_q) dz,$$

Учитывая все это, выражение для коэффициента черноты облака  $\delta$  можно записать в следующем виде:

$$\delta = 2\beta \frac{(1 - \beta^2) P^{-1}(\alpha\omega^*m) \exp[mat_1] - (1 - \beta^2) P(\alpha\omega^*m) \exp[-mat_1] - 2}{(1 + \beta)^2 P^{-1}(\alpha\omega^*m) \exp[mat_1] - (1 - \beta^2) P(\alpha\omega^*m) \exp[-mat_1]}, \quad (11)$$

где  $\beta = \sqrt{\frac{1-g}{1+g}}$ ,  $\alpha = \sqrt{1-g^2}$ .

При сделанных нами допущениях относительно коэффициентов поглощения и рассеяния облаков верхнего яруса выражение (11) заметно упростится. Действительно, так как величина  $\Gamma$  нами принята равной нулю,  $g = 0$ . Отсюда  $\beta = 1$ ,  $\alpha = 1$ .

Величина  $t_1 = \int_0^H k_{\text{ч}} dz$ , но  $k_{\text{ч}} = \frac{s_{\text{ч}}}{2}$ , где  $s_{\text{ч}}$  — объемный коэффициент ослабления радиации частицами.

Таким образом,  $t_1 = \int_0^H \frac{s_{\text{ч}}}{2} dz = \frac{\tau_{\text{ч}}}{2}$ , где  $\tau_{\text{ч}}$  — оптическая толщина облака, характеризующая ослабление радиации облачными частицами.

На основе всего сказанного для коэффициента черноты облака верхнего яруса получается следующая простая формула:

$$\delta = 1 - P(m\omega^*) \exp\left[-m \frac{\tau_{\text{ч}}}{2}\right]. \quad (12)$$

Отсюда следует, что для определения степени черноты облака нужно знать величину функции пропускания в соответствующих спектральных интервалах и величину оптической толщины облака верхнего яруса.

Определение величины функции пропускания не представляет труда. Для этого нужно знать лишь количество водяного пара, содержащегося во всей толще облака. Эта величина может быть получена на основе данных о средней геометрической толщине облака (которая, по современным данным, имеет величину порядка 2 км) и данных об упругости водяного пара. Последняя однозначно определяется температурой облака<sup>1</sup>.

Таким образом, задача сводится к определению средней оптической толщины облаков верхнего яруса в различных спектральных интервалах тепловой области спектра.

Как уже отмечалось выше, ввиду того что размеры ледяных частиц облака значительно превышают длины волн радиации в тех спектральных интервалах, где сосредоточена основная доля теплового излучения, оптическая толщина, характеризующая ослабление радиации частицами, оказывается не зависящей от длины волны. Иными словами, оптическая толщина облака  $\tau_{\text{ч}}$  на коротковолновом участке спектра будет та же, что и в большей части теплового спектра. Поэтому  $\tau_{\text{ч}}$  можно определять в любом спектральном интервале, в частности в коротковолновом.

Оптическая толщина на коротковолновом участке спектра может быть определена на основании измерений ослабления прямой солнечной радиации облаками верхнего яруса.

Многолетние данные наблюдений об ослаблении солнечной радиации облаками различных видов верхнего яруса приведены в работе Н. Н. Калитина [8], а также в работах Н. Н. Макаревского [9] и Лапайра [10].

<sup>1</sup> В облаках верхнего яруса наблюдается некоторое пересыщение, и ряд исследователей считает [7], что упругость насыщенного пара в облаках верхнего яруса следует определять не по отношению к льду, а по отношению к воде.

Измерения Калитина и Макаревского относятся к зоне умеренных широт, наблюдения Лапайра были выполнены в Экваториальной Африке. Измерения всех трех авторов осуществлялись при помощи актинометров.

Пусть  $I_0$  — величина солнечной радиации, приходящей к верхней границе атмосферы;  $I_1$  — величина радиации, прошедшей облако и атмосферу;  $I_2$  — величина радиации, прошедшей безоблачную атмосферу;  $\tau_1$  — оптическая толщина облаков верхнего яруса;  $\tau_2$  — оптическая толщина безоблачной атмосферы;  $h_{\odot}$  — высота Солнца над горизонтом.

Тогда

$$I_1 = I_0 \exp [-(\tau_2 + \tau_1)/\sin h_{\odot}], \quad I_2 = I_0 \exp [-\tau_2/\sin h_{\odot}].$$

Отсюда

$$\frac{I_1}{I_2} = \exp [-\tau_1/\sin h_{\odot}].$$

Поэтому

$$\tau_1 = -\sin h_{\odot} \ln \frac{I_1}{I_2}. \quad (13)$$

Это соотношение дало бы истинную оптическую толщину облака, если измерять прямую радиацию приемником, угловые размеры входного отверстия которого были бы бесконечно малы. Угол же зрения актинометра составляет  $10^\circ$ . Следовательно, в этом случае, помимо прямой радиации, прошедшей сквозь облако, измеряется и рассеянная околосолнечная радиация. Покажем, что в этом случае истинная оптическая толщина оказывается в два раза большей, чем определенная по соотношению (13).

Действительно, при измерении актинометром радиации, прошедшей сквозь облако верхнего яруса, учитывается следующее количество энергии:

прямая солнечная радиация

$$S = S_0 e^{-\tau},$$

рассеянная радиация

$$D = 2\pi \int_0^{\vartheta^*} I(\vartheta) \cos \vartheta \sin \vartheta d\vartheta,$$

где  $\vartheta^*$  — половина угла зрения прибора.

Так как  $\vartheta^* = 5$ , то  $\cos \vartheta \leq 0,9962$ . Поэтому  $\cos \vartheta$  будем считать равным 1.

Для определения величины  $D$  необходимо найти интенсивность рассеянной радиации  $I(\vartheta)$ .

Известно, что величина интенсивности рассеянной радиации может быть выражена следующим образом через функцию источника  $B(\tau, \vartheta, \varphi)$ :

$$I(\vartheta, \varphi, \tau) = \int_0^{\tau} \frac{B(\tau, \vartheta, \varphi)}{\cos \vartheta} e^{\frac{-(\tau-\tau')}{\cos \vartheta}} d\tau'.$$

$B(\tau, \vartheta, \varphi)$  представляет собой следующую функцию:

$$B(\tau, \vartheta, \varphi) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi' \int_0^{\pi/2} I(\tau, \vartheta', \varphi') x(\vartheta, \varphi, \vartheta', \varphi') \sin \vartheta' d\vartheta' +$$

$$+ \frac{1}{4\pi} S_0 x(\vartheta_0, \varphi_0, \vartheta, \varphi) e^{-\tau/\cos \vartheta_0}.$$

Обозначим

$$\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi' \int_0^{\pi/2} I(\tau, \vartheta', \varphi') x(\vartheta, \varphi, \vartheta', \varphi') \sin \vartheta' d\vartheta' = B_1(\tau, \vartheta, \varphi);$$

$$\frac{1}{\cos \vartheta} = m.$$

Тогда

$$\begin{aligned} I(\tau, \vartheta, \varphi) &= \int_0^{\tau} B_1(\tau', \vartheta, \varphi) e^{-(\tau-\tau')m} m d\tau' + \int_0^{\tau} \frac{1}{4\pi} S_0 x(r_0, r) e^{-\tau m_0} e^{-(\tau-\tau')m} m d\tau' = \\ &= \int_0^{\tau} B_1(\tau', \vartheta, \varphi) e^{-(\tau-\tau')m} m d\tau' + \frac{S_0 x(r_0, r)}{4\pi} e^{-\tau m} \int_0^{\tau} e^{-\tau'(m_0-m)} d\tau' = \\ &= \int_0^{\tau} B_1(\tau', \vartheta, \varphi) e^{-(\tau-\tau')m} m d\tau' + \frac{S_0 x(r_0, r)}{4\pi} e^{-\tau m} \frac{[1 - e^{-\tau(m_0-m)}] m}{m_0 - m}. \end{aligned}$$

Введем новое обозначение:

$$\int_0^{\tau} B_1(\tau', \vartheta, \varphi) e^{-(\tau-\tau')m} m d\tau' = \psi(\tau, \vartheta, \varphi).$$

Тогда

$$D = 2\pi \int_0^{\vartheta^*} \psi(\tau, \vartheta, \varphi) \sin \vartheta' d\vartheta' + 2\pi \int_0^{\vartheta^*} \frac{S_0 x(r_0, r')}{4\pi} e^{-\tau m} \frac{[1 - e^{-\tau(m_0-m')}] m_{\odot}}{m_{\odot} - m'} \sin \vartheta' d\vartheta'.$$

Поскольку  $m$  отличается от  $m_0$  не более чем на 0,004, то с высокой степенью точности можно записать

$$D = 2\pi \int_0^{\vartheta^*} \psi(\tau, \vartheta', \varphi) \sin \vartheta' d\vartheta' + S_0 e^{-\tau m_{\odot}} \frac{m_{\odot}^{\tau}}{2} \int_0^{\vartheta^*} x(r_0, r) \sin \vartheta d\vartheta.$$

$$D = 2\pi \int_0^{\vartheta^*} \psi(\tau, \vartheta, \varphi) \sin \vartheta' d\vartheta' + 2\pi \int_0^{\vartheta^*} \frac{S_0 x(r_0, r')}{4\pi} e^{-\tau m} \frac{[1 - e^{-\tau(m_0-m')}] m_{\odot}}{m_0 - m_1} \sin \vartheta' d\vartheta'.$$

Так как облака состоят из крупных частиц, то в телесном угле  $0 - \vartheta^*$  сосредоточена вся диффрактированная энергия. В случае чистого рассеяния

$$\int_0^{\vartheta^*} x(r_0, r') \sin \vartheta' d\vartheta' = 1.$$

Отсюда

$$D = 2\pi \int_0^{\vartheta^*} \psi(\tau, \vartheta', \varphi') \sin \vartheta d\vartheta + S_0 e^{-\tau m_{\odot}} \frac{m_{\odot}^{\tau}}{2},$$

Обозначим

$$\frac{2\pi \int_0^{\vartheta^*} \psi(\tau, \vartheta', \varphi') \sin \vartheta d\vartheta}{S_0 \exp \left[ \frac{-\tau m_{\odot}}{2} \right] m_{\odot}} = \varepsilon.$$

Итак, в актинометр попадает следующее количество радиации:

$$\Pi = S_0 e^{-\tau m_{\odot}} \left( 1 + \frac{m_{\odot} \tau}{2} \right) + \varepsilon S_0 e^{-\frac{\tau m_{\odot}}{2}} m_{\odot}.$$

Так как  $\tau$  невелико, то  $1 + \frac{m_{\odot} \tau}{2} \approx e^{\frac{m_{\odot} \tau}{2}}$ .

Отсюда

$$\Pi = S_0 e^{-\frac{\tau m_{\odot}}{2}} (1 + m_{\odot} \varepsilon).$$

В случае малой оптической толщины облака ( $\tau < 1$ ), как показывают численные оценки, величина  $\varepsilon$  весьма мала. Поэтому

$$\Pi = S_0 e^{-\frac{\tau m_{\odot}}{2}} e^{m_{\odot} \varepsilon} = S_0 e^{-\left(\frac{\tau}{2} - \varepsilon\right) m_{\odot}}.$$

Итак, измеренная оптическая толщина  $\tau_{\text{изм}} = \frac{\tau}{2} - \varepsilon$ . Отсюда истинная оптическая толщина

$$\tau = 2(\tau_{\text{изм}} + \varepsilon). \quad (14)$$

Ввиду малости величины  $\varepsilon$  можно считать, что

$$\tau = 2\tau_{\text{изм}}. \quad (15)$$

В табл. 2 приведены данные о величине пропускания облаков верхнего яруса  $I_{\text{обл}}/I_{\text{безобл}}$ , полученные названными авторами при различных высотах Солнца, а также  $\tau_{\text{изм}}$  и  $\tau_{\text{ист}}$ .

Из таблицы видно, что оптическая толщина облаков верхнего яруса весьма мала — заметно меньше 1. Средняя (из наблюдений трех авторов) оптическая толщина облаков  $\text{C}_1$  оказывается равной 0,32, облаков  $\text{C}_s$  — 0,6.

В табл. 3 приводятся данные о черноте облаков верхнего яруса в различных спектральных интервалах в нормальном направлении, а также полусферический коэффициент черноты, который определялся по выра-

жению  $2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \delta(\vartheta) \cos \vartheta \sin \vartheta d\vartheta$  путем численного интегрирования.

Значения функции пропускания радиации водяным паром в различных спектральных интервалах брались из работ [11, 12].

Приведенные в табл. 3 данные относятся к случаю, когда общее содержание водяного пара  $\omega^*$  в облаках верхнего яруса равно  $1,2 \cdot 10^{-2}$  г/см<sup>2</sup>; это значение соответствует геометрической толщине облака, равной 2 км, и температуре облака — 50° С.

Зависимость величины поглощения радиации в облаке от давления учитывалась путем введения так называемой эффективной массы водяного пара  $\omega_{\text{эф}}^*$  [11].

Таблица 2

| Тип облачности | Автор             | $h_{\odot}$<br>(град) | $I_{\text{обл}}/I_{\text{безобл}}$ | $\tau_{\text{2изм}}$ | $\tau_{\text{2ист}}$ | $\tau_{\text{ср}}$ |
|----------------|-------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| Ci             | Калитин . . . . . | 40                    | 0,72                               | 0,211                | 0,422                | 0,324              |
|                |                   | 50                    | 0,82                               | 0,152                | 0,304                |                    |
|                | Макаревский . .   | 10                    | 0,62                               | 0,0831               | 0,166                |                    |
|                |                   | 20                    | 0,88                               | 0,114                | 0,228                |                    |
|                |                   | 30                    | 0,76                               | 0,137                | 0,274                |                    |
|                |                   | 40                    | 0,80                               | 0,143                | 0,286                |                    |
|                |                   | 50                    | 0,84                               | 0,133                | 0,266                |                    |
|                | Лапайр . . . . .  | 65                    | 0,85                               | 0,147                | 0,294                |                    |
|                |                   | 72                    | 0,70                               | 0,339                | 0,678                |                    |
| Cs             | Калитин . . . . . | 40                    | 0,50                               | 0,446                | 0,892                | 0,597              |
|                |                   | 50                    | 0,64                               | 0,342                | 0,684                |                    |
|                | Макаревский . .   | 20                    | 0,53                               | 0,217                | 0,434                |                    |
|                |                   | 30                    | 0,61                               | 0,247                | 0,494                |                    |
|                |                   | 40                    | 0,63                               | 0,297                | 0,594                |                    |
|                |                   | 50                    | 0,73                               | 0,241                | 0,482                |                    |
| Ci и Cs        | Макаревский . .   | 20                    | 0,58                               | 0,186                | 0,372                | 0,472              |
|                |                   | 30                    | 0,63                               | 0,231                | 0,462                |                    |
|                |                   | 40                    | 0,65                               | 0,276                | 0,552                |                    |
|                |                   | 50                    | 0,72                               | 0,252                | 0,504                |                    |

Таблица 3

| $\Delta\lambda$ мк | По нормали |      | В полусферу |      | $\Delta\lambda$ мк | По нормали |      | В полусферу |      |
|--------------------|------------|------|-------------|------|--------------------|------------|------|-------------|------|
|                    | Ci         | Cs   | Ci          | Cs   |                    | Ci         | Cs   | Ci          | Cs   |
| 4—8                | 0,68       | 0,69 | 0,74        | 0,78 | 22—26              | 0,95       | 0,96 | 0,98        | 0,99 |
| 8—12               | 0,16       | 0,26 | 0,27        | 0,40 | 26— $\infty$       | 1          | 1    | 1           | 1    |
| 12—18              | 0,19       | 0,28 | 0,31        | 0,43 | 0— $\infty$        | 0,46       | 0,53 | 0,56        | 0,64 |
| 18—20              | 0,69       | 0,73 | 0,82        | 0,85 | 0— $\infty$        | 0,52       | 0,64 | 0,67        | 0,74 |
| 20—22              | 0,80       | 0,82 | 0,90        | 0,91 |                    |            |      |             |      |

Эффективная масса водяного пара в нашем примере равна  $1,5 \cdot 10^{-4}$  г/см<sup>2</sup> (предполагается, что нижняя граница облака расположена на высоте 5 км, верхняя — на 7 км).

Из рассмотрения табл. 3 видно, что степень черноты облаков верхнего яруса, как в нормальном направлении, так и полусферическая, в достаточно широком спектральном интервале заметно отличается от 1. Особенно существенно это отличие в области атмосферного окна прозрачности 8—12 мк.

Полученные результаты говорят о том, что допущение об абсолютной черноте облаков верхнего яруса при различного рода расчетах величины уходящего излучения, а также при интерпретации данных измерений уходящего излучения может привести к совершенно неверным результатам.

### Степень черноты облаков среднего яруса

Облака среднего яруса состоят в основном из водяных капель, оптические характеристики которых изучены достаточно хорошо. Имеется ряд работ [13, 14, 15], в которых излагаются результаты расчетов спектральных коэффициентов ослабления, рассеяния, поглощения, а также коэффициента обратного рассеяния для водяных капель.

В табл. 4 приведены данные, заимствованные из работ [14, 15], об основных оптических характеристиках капель размером 6,265 и 12,530 мк в различных спектральных интервалах тепловой области спектра. Данные эти и характеризующие поглощение тепловой радиации водяным паром (методика определения последних описана выше) позволяют рассчитывать величины параметров  $\alpha$  и  $\beta$ , входящих в формулу (11), для расчета степени черноты облаков. Кроме величин  $\alpha$  и  $\beta$ , необходимо знать еще величину параметра  $t$ , который связан с оптической толщиной облака. Действительно, в соответствии с формулой (7)

$$t = \int_0^H (\sigma \Gamma + k) dz.$$

Таблица 4

| $\lambda$ мк | $S'_1$ |       | $\sigma'_1$ |       | $k'_1$ |        | $\Gamma'_1$ |        |
|--------------|--------|-------|-------------|-------|--------|--------|-------------|--------|
|              | $r_1$  | $r_2$ | $r_1$       | $r_2$ | $r_1$  | $r_2$  | $r_1$       | $r_2$  |
| 3            | 2,004  | —     | 1,110       | —     | 0,894  | —      | 1,276       | —      |
| 3,4          | 2,4664 | —     | 1,5412      | —     | 0,9252 | —      | 1,348       | —      |
| 4,5          | 2,646  | —     | 2,146       | —     | 0,500  | —      | 1,307       | —      |
| 6            | 2,870  | —     | 1,743       | —     | 1,127  | —      | 0,0467      | —      |
| 7            | 3,299  | —     | 2,595       | —     | 0,704  | —      | 0,0273      | —      |
| 8            | 3,201  | —     | 2,967       | —     | 0,234  | —      | 0,0425      | —      |
| 9            | 2,4921 | 2,962 | 1,8626      | 2,052 | 0,6295 | 0,9098 | 0,0505      | 0,5476 |
| 10           | 1,4998 | 2,368 | 0,92485     | 1,590 | 0,5750 | 0,7773 | 0,0136      | 0,2228 |
| 11           | 1,233  | —     | 0,4653      | —     | 0,7677 | —      | 0,00808     | —      |
| 12           | 1,766  | —     | 0,6321      | —     | 1,134  | —      | 0,0166      | —      |
| 13           | 2,028  | 3,125 | 0,7922      | 1,864 | 1,236  | 1,261  | 0,0245      | 0,0826 |
| 15           | 2,263  | 2,514 | 0,8869      | 1,450 | 1,376  | 1,063  | 0,0342      | 0,1280 |
| 18           | 2,429  | 2,572 | 1,013       | 1,193 | 1,416  | 1,379  | 0,0457      | 0,0403 |
| 52           | 0,9598 | —     | 0,1449      | —     | 0,8149 | —      | 0,06033     | —      |
| 63           | 0,7413 | —     | 0,1041      | —     | 0,6372 | —      | 0,04697     | —      |
| 83           | 0,5810 | —     | 0,06685     | —     | 0,5142 | —      | 0,03094     | —      |
| 100          | 0,2399 | —     | 0,01895     | —     | 0,2210 | —      | 0,008924    | —      |
| 117          | 0,1700 | —     | 0,01039     | —     | 0,1596 | —      | 0,005025    | —      |

$r_1 = 6,265$  мк

$r_2 = 12,530$  мк

Как известно, сумма коэффициентов рассеяния  $\sigma$  и поглощения  $k$ , есть суммарный коэффициент ослабления  $S$ . Отсюда

$$t = \int_0^H [\Gamma(S - k_r) + k_r] dz = \Gamma \int_0^H S dz + (1 - \Gamma) \int_0^H k_r dz = \Gamma \tau_r + (1 - \Gamma) \int_0^H k_r dz.$$

Определение средних, наиболее характерных величин  $\tau_r$  и  $\int_0^H k_r dz$

расчетным путем на основе использования данных о водности облака, о его геометрической мощности  $H$  и о спектре размеров частиц не может быть признано достаточно надежным, поскольку величины  $\omega$  и  $H$  варьируют в очень широких пределах и выбор их наиболее типичных значений является делом далеко не простым.

Однако существует и другой метод определения указанных величин

на различных участках тепловой области спектра. Как известно, оптическая толщина облака  $\tau_r(\lambda)$  выражается следующим образом:

$$\tau_r(\lambda) = \int_0^H n(z) \pi \bar{r}^2 S_1(\bar{r}, \lambda) dz, \quad (16)$$

где  $\bar{r}$  — средний размер капель в облаке;  $S_1(\bar{r}, \lambda) \pi \bar{r}^2 = S_r$  — коэффициент ослабления радиации отдельной каплей;  $S_1(\bar{r}, \lambda)$  — некоторая функция, значения которой для капель размером 6,265 и 12,530 мк приведены в табл. 4;  $n(z)$  — среднее количество капель в единице объема;  $H$  — геометрическая толщина облака.

Соотношение (16) может быть переписано в следующем виде:

$$\tau_r(\lambda) = \int_0^H \frac{S(\bar{r}, \lambda)}{2} 2n(z) \pi \bar{r}^2 dz = \frac{S(\bar{r}, \lambda)}{2} \int_0^H n(z) 2\pi \bar{r}^2 dz.$$

Величина  $\tau_r^0 = \int_0^H n(z) 2\pi \bar{r}^2 dz$  представляет собой оптическую толщину облака в тех спектральных интервалах, для которых выполняется неравенство  $\lambda \ll \bar{r}$ . В частности, это соотношение справедливо для спектрального интервала, в котором сосредоточена коротковолновая солнечная радиация (0,3—3,0 мк).

Таким образом,

$$\tau_r(\lambda) = \frac{S(\bar{r}, \lambda)}{2} \tau_r^0. \quad (17)$$

Аналогичным образом можно установить, что

$$\int_0^H k_r(\lambda) dz = \frac{k_1'(\bar{r}, \lambda)}{2} \tau_r^0, \quad (18)$$

где  $k_1'(\bar{r}, \lambda) = \frac{k_1(\bar{r}, \lambda)}{\pi \bar{r}^2}$  — коэффициент поглощения радиации отдельной каплей радиуса  $\bar{r}$ .

Отсюда

$$\begin{aligned} \Gamma \tau_r(\lambda) + (1 - \Gamma) \int_0^H k_r(\lambda) dz &= \Gamma \frac{S(\bar{r}, \lambda)}{2} \tau_r^0 + (1 - \Gamma) \frac{k_1'(\bar{r}, \lambda)}{2} \tau_r^0 = \\ &= \frac{\tau_r^0}{2} [S(\bar{r}, \lambda) \Gamma - k_1'(\bar{r}, \lambda) \Gamma + k_1'(\bar{r}, \lambda)] = \\ &= \frac{\tau_r^0}{2} [\sigma_1'(\bar{r}, \lambda) \Gamma + k_1'(\bar{r}, \lambda)]. \end{aligned} \quad (19)$$

Величины  $\sigma_1'(\bar{r}, \lambda)$ ;  $\Gamma(\bar{r}, \lambda)$ ;  $k_1'(\bar{r}, \lambda)$  для капель, размер которых можно считать типичным для облаков среднего яруса, рассчитаны с большой степенью точности. Следовательно, остается определить величину  $\tau_r^0$ .

Эта величина может быть определена на основе измерения ослабления прямой солнечной радиации облаками среднего яруса. Данные такого рода получены в работах [8, 9, 10]. Эти данные приведены в табл. 5.

При определении фактической оптической толщины облаков среднего яруса необходимо учитывать соотношение (15). Следует заметить,



Таблица 5

| Тип облачности | Автор             | $h_{\odot}$ | $I_{\text{обл}}/I_{\text{безобл}}$ | $\tau_{\text{изм}}$ | $\tau_{\text{ист}}$ | $\tau_{\text{ср}}$ |
|----------------|-------------------|-------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Ac             | Калитин . . . . . | 40          | 0,14                               | 1,266               | 2,532               | 1,665              |
|                |                   | 50          | 0,10                               | 1,763               | 3,526               |                    |
|                | Макаревский . .   | 10          | 0,10                               | 0,400               | 0,800               |                    |
|                |                   | 20          | 0,13                               | 0,697               | 1,394               |                    |
|                |                   | 30          | 0,15                               | 0,950               | 1,900               |                    |
|                |                   | 40          | 0,25                               | 0,891               | 1,782               |                    |
|                | Лапайр . . . . .  | 69          | 0,86                               | 0,140               | 0,280               |                    |
|                |                   | 60          | 0,53                               | 0,549               | 1,098               |                    |
| As             | Калитин . . . . . | 40          | 0,06                               | 1,804               | 3,608               | 3,650              |
|                |                   | 50          | 0,09                               | 1,846               | 3,692               |                    |
|                |                   |             |                                    |                     |                     |                    |

что поскольку оптическая толщина облаков среднего яруса оказывается существенно больше, чем облаков верхнего яруса, величина  $\epsilon$  из соотношения (14) в этом случае будет также в несколько раз больше, чем в случае облаков верхнего яруса. Однако, как следует из работы [16], если значение  $\tau/\sin h_{\odot}$  не превышает 8—10, то величина  $\epsilon$  остается меньше 1% и поэтому ею также можно пренебречь.

Определенные автором значения истинной оптической толщины облаков среднего яруса помещены в графах 6 и 7 табл. 5.

Теперь есть все необходимые данные для расчета степени черноты облаков среднего яруса.

Таблица 6

| $\lambda$ мк | $\alpha$ | $\beta$ | $\Gamma$ | $\sigma$ | $\lambda$ мк | $\alpha$ | $\beta$ | $\Gamma$ | $\sigma$ |
|--------------|----------|---------|----------|----------|--------------|----------|---------|----------|----------|
| 3            | 0,9906   | 0,8715  | 0,1276   | 1,110    | 11           | 1        | 0,9951  | 0,00808  | 0,4653   |
| 3,4          | 0,9831   | 0,8308  | 0,1348   | 1,5412   | 12           | 0,9999   | 0,9909  | 0,0166   | 0,6321   |
| 4,5          | 0,9332   | 0,6866  | 0,1307   | 2,146    | 13           | 0,9999   | 0,9848  | 0,0245   | 0,7922   |
| 6            | 0,9982   | 0,9424  | 0,0467   | 1,743    | 15           | 0,9998   | 0,9791  | 0,0342   | 0,8869   |
| 7            | 0,9989   | 0,9540  | 0,0273   | 2,595    | 18           | 0,9996   | 0,9729  | 0,0457   | 1,013    |
| 8            | 0,9527   | 0,7305  | 0,0425   | 2,967    | 52           | 1        | 0,9966  | 0,06033  | 0,1449   |
| 9            | 0,9918   | 0,8792  | 0,0505   | 1,8626   | 63           | 1        | 0,9980  | 0,04697  | 0,1041   |
| 10           | 0,9996   | 0,9786  | 0,0136   | 0,92485  |              |          |         |          |          |

В табл. 6 приводятся использованные значения  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\Gamma$  и  $\sigma$  в различных спектральных интервалах. При этом величина  $P(\omega)$  определялась для момента, когда эффективное содержание водяного пара в облаке  $\omega_{\text{эф}}^*$  равнялось 0,23 г/см<sup>2</sup>. Это соответствует случаю, когда нижняя граница облака находилась на высоте 3, верхняя — на 4 км, температура облака равнялась 0° С.

На основе данных табл. 6 были рассчитаны коэффициенты черноты облаков среднего яруса в отдельных спектральных интервалах и по всей тепловой области спектра. Такие расчеты были произведены для направления излучения по нормали и для полусферического излучения. Результаты расчетов приведены в табл. 7.

Из рассмотрения таблицы видно, что излучательная способность облаков среднего яруса на довольно широком участке спектра существенно отличается от излучательной способности черного тела. Осо-

Таблица 7

## Степень черноты облаков среднего яруса

| По нормали      |      |      | В полусферу |      | По нормали      |      |      | В полусферу |      |
|-----------------|------|------|-------------|------|-----------------|------|------|-------------|------|
| $\Delta\lambda$ | Ac   | As   | Ac          | As   | $\Delta\lambda$ | Ac   | As   | Ac          | As   |
| 4—8             | 0,83 | 0,91 | 0,92        | 0,96 | 18— $\infty$    | 1    | 1    | 1           | 1    |
| 8—12            | 0,40 | 0,73 | 0,56        | 0,85 | 0— $\infty$     | 0,74 | 0,90 | 0,83        | 0,94 |
| 12—18           | 0,70 | 0,93 | 0,83        | 0,97 |                 |      |      |             |      |

бенно заметно это различие в области атмосферного окна прозрачности 8—12 мк.

Неучет различия может привести к существенным ошибкам при интерпретации данных измерений уходящего излучения, производимых с целью определения температуры облаков, определения их высоты и т. д.

Как указывалось выше, весьма существенным параметром, определяющим степень черноты облаков среднего яруса, является их оптическая толщина. Некоторой неожиданностью оказалась сравнительно малая величина средней оптической толщины этих облаков, определенной путем измерения прямой радиации, прошедшей сквозь облака и вне их.

Рассчитанная автором ранее [17] оптическая толщина облаков среднего яруса на коротковолновом участке спектра на основе данных о водности и о геометрической толщине облака оказалась значительно большей, чем те, которые приводятся в данной статье. Если считать, что спектр частиц описывается формулой Хргиана—Мазини  $f(r) = Ar^2e^{-cr}$ , то для оптической толщины получается выражение вида

$$\tau_r^0 = 0,9 \frac{q}{r} H, \quad (20)$$

где  $\bar{r}$  — средний (линейный) размер капель.

Согласно работе [7],  $\bar{r} \approx 5 \cdot 10^{-4}$  см.

При значениях  $q = 0,25$  г/м<sup>3</sup> и  $H = 500$  м ( $q$  — водность облака,  $H$  — его геометрическая толщина), которые использовались автором ранее, величина  $\tau_r^0$  оказывается равной приблизительно 22, в то время как настоящие расчеты дают для As величину порядка 3,6, для Ac — порядка 2.

Величина  $\tau_r^0$ , полученная автором ранее [17], по-видимому, является завышенной вследствие завышения величин водности и геометрической толщины. Это, вероятно, объясняется тем, что из имеющихся весьма разноречивых данных различных авторов об этих величинах были использованы не самые достоверные. По-видимому, для облаков As более характерным значением водности будет величина порядка 0,1 г/м<sup>3</sup>, для Ac — порядка 0,08 [19, 20]. Эти данные удовлетворительно согласуются с результатами измерения прозрачности в облаках. Так, согласно работе [21], объемный коэффициент рассеяния в облаках As равен 19,5 км<sup>-1</sup>.

Расчет по формуле (20) при  $q = 0,1$  г/м<sup>3</sup> дает величину, равную 18 км<sup>-1</sup>. Средняя толщина облаков As близка к 0,8 км, Ac — к 0,3 км.

При указанных величинах  $q$  и  $H$  оптические толщины облаков As и Ac получаются равными приблизительно 15 и 4,3 соответственно.

Таким образом, несмотря на некоторое уточнение значений  $H$  и  $q$ , расчетные величины средних оптических толщин облаков  $A_c$  и  $A_s$  оказываются существенно большими, чем определенные на основании измерений ослабления солнечной радиации этими облаками. Дать какие-либо убедительные объяснения столь существенному расхождению в настоящее время затруднительно. Возможные причины этого факта могут быть следующими.

1. Средняя величина оптической толщины  $\tau$  не равна простому произведению средних величин, т. е.  $\tau \neq 0,9 \frac{q}{r} H$ ; эти величины должны входить в соотношение с соответствующими радиационными весами, оценить которые достаточно сложно.

2. В облаках среднего яруса (особенно  $A_c$ ) всегда имеются просветы. Поэтому при измерении прямой солнечной радиации в поле зрения актиометра могут находиться участки с просветами. Это приводит к тому, что оптическая толщина как бы осредняется по части облачности, находящейся в поле зрения прибора, и определяемая оптическая толщина оказывается заниженной по сравнению с участком сплошной облачности. Следует отметить, что во всех задачах, связанных с расчетом и интерпретацией излучения облачности нужна осредненная по площади, а не локальная оптическая толщина.

3. Микроструктура облаков среднего яруса, как отмечает А. Х. Хргиан [7, стр. 238], в настоящее время изучена еще недостаточно. Это обстоятельство также может приводить к ошибке в определении  $\tau$  расчетным методом.

Если расхождение в результатах определения оптической толщины облаков среднего яруса по рассмотренным двум методам объясняется одним из высказанных предположений (или всеми вместе взятыми), то, несомненно, предпочтение следует отдать актиометрическому методу. Однако, поскольку в настоящее время трудно сделать какое-либо категорическое суждение, этот вопрос требует дополнительного исследования.

Теперь коротко остановимся на оценке точности определения оптической толщины облака по измеренной коротковолновой оптической толщине.

Так как средний (эффективный) радиус частицы, определяющий оптическую толщину облака, зависит от длины волны, в соотношении (19) функции  $S_1'(r, \lambda)$  и  $k_1'(r, \lambda)$  следует брать соответствующими не эффективному значению радиуса  $r$ , определяющему ослабление радиации на коротковолновом участке спектра, а какому-то своему значению  $\bar{r}^*$ .

В связи с этим возникает вопрос о том, не изменится ли существенно чернота облаков, если  $\bar{r}^*$  будет заметно отличаться от  $r$ , для которого проведены расчеты.

Для проверки этого предположения автором была определена чернота облаков в ряде спектральных участков для того случая, когда  $\bar{r}^*$  превосходит  $r$  в два раза. При этом значения функции  $S_1'(\bar{r}^*, \lambda)$  для большинства выбранных длин волн оказались близкими к максимальному значению функции ослабления. Следовательно, при выбранном размере  $\bar{r}^*$  отличие в степени черноты облаков от ранее полученного должно быть близко к максимально возможному.

Результаты расчетов степени черноты для нового значения эффективного радиуса  $\bar{r}^*$  представлены в табл. 8.

Таблица 8

Степень черноты облаков ( $\tau_{\text{обл}} = 1,4$ )  
в зависимости от величины облачных  
капель

| $\bar{r}^*/\text{мк}$ | $\lambda \text{ мк}$ |      |      |      |      |
|-----------------------|----------------------|------|------|------|------|
|                       | 9                    | 10   | 13   | 15   | 18   |
| 6,265                 | 0,36                 | 0,34 | 0,30 | 0,62 | 0,86 |
| 12,530                | 0,60                 | 0,50 | 0,26 | 0,52 | 0,64 |

Таблица 9

| $k$   | Значение $a$    |               |                  |
|-------|-----------------|---------------|------------------|
|       | по Фей-гельсону | по Рома-новой | по фор-муле (22) |
| 0,8   | 0,24            | 0,15          | 0,16             |
| 0,945 | 0,49            | 0,35          | 0,38             |
| 0,985 | 0,63            | 0,56          | 0,59             |

Из рассмотрения таблицы видно, что степень черноты облака оказывается зависящей от эффективного размера радиуса; при этом зависимость различна в различных спектральных интервалах, однако она не столь велика, чтобы привести к качественному различию в получаемых значениях  $\delta$ . Это дает основание считать, что ошибка, связанная с тем, что точное значение  $\bar{r}^*$  неизвестно [считаем, что  $\bar{r}^*(\lambda) = \bar{r}(\lambda)$ ], не может привести к существенным погрешностям при определении степени черноты облака.

В заключение коротко остановимся на вопросе определения степени черноты облаков нижнего яруса.

Облака нижнего яруса, как правило, имеют значительно большую водность и геометрическую мощность, поэтому они совершенно непрозрачны для тепловой радиации. Нечернота этих облаков может быть связана только с тем, что их отражательная способность может несколько отличаться от нуля.

Вопросу об определении излучательной способности облаков нижнего яруса посвящен ряд работ [15, 20], однако полученные в них результаты довольно сильно различаются между собой. Так, величина отражательной способности, полученная в работе [15], оказывается, весьма мала и не превышает 7%. В более поздней работе [20] получены сравнительно большие значения альбеда облаков (в особенности в области окна атмосферной прозрачности 8—12 мк). В связи с этим представляет интерес выяснить причины этих расхождений.

В работе [20] величина альбеда определялась из соотношения:

$$a = \frac{0,5p - (1 - k)}{0,5p + (1 - k)}, \quad (21)$$

где  $a$  — величина альбеда в данном спектральном интервале,

$$p = \sqrt{2(1 - k) \left( 2 - k \frac{c_1}{2} \right)}, \quad k = \frac{\tilde{\sigma}_v}{\tilde{\alpha}_v + \tilde{\sigma}_v + \alpha_w},$$

$\tilde{\sigma}_v$  — объемный коэффициент рассеяния облачными частицами,  $\tilde{\alpha}_v$  — объемный коэффициент поглощения радиации облачными частицами,  $\alpha_w$  — объемный коэффициент поглощения радиации водяным паром,  $c_1$  — коэффициент при первом члене разложения индикатрисы в ряд по полиномам Лежандра.

При выводе этого соотношения делалось следующее допущение. Считалось, что разность между долями радиации, рассеянной в нижнюю и верхнюю полусферы,  $\Gamma_1 - \Gamma_2$  равна  $\frac{1}{2}c_1\mu$ , хотя фактически эта

разность равна сумме  $\sum_k c_k P_k(\mu') \int_0^1 P_k(\mu) d\mu$ , где  $\Sigma''$  означает суммирование членов с нечетными номерами,  $c_k$  — коэффициент при соответствующих членах разложения индикатрисы в ряд по полиномам Лежандра,  $\mu$  —  $\cos$  зенитного угла.

Это допущение делается автором на том основании, что вычисления, проведенные с различными индикатрисами рассеяния, показывают, что это соотношение выполняется с ошибкой, не превышающей 25%. Однако нетрудно убедиться, что данное предположение приводит к заметному завышению величины  $a$ . Действительно, величина альбедо сильно поглощающей среды в основном определяется однократным рассеянием, т. е. однозначно связана с величиной  $\Gamma_2$ . Величина этого коэф-

фициента существенно меньше, чем  $\Gamma_1$  и  $\sum_k c_k P_k(\mu') \int_0^1 P_k(\mu) d\mu$ , разности

которых равен этот коэффициент, т. е.  $\Gamma_2$  представляет собой малую разность двух сравнительно больших величин. Вследствие этого ошибка порядка 25%, вызванная заменой суммы  $\Sigma''$  первым членом  $\frac{1}{2} c_1 \mu$ ,

может существенно изменить величину  $\Gamma_2$ , а следовательно, привести к заметным ошибкам в определении величины  $a$ . При этом может получиться физически невозможный результат:  $a$  может оказаться не равной нулю даже при бесконечно вытянутой индикатрисе (т. е. при  $c_1 = 3$ ).

Для выяснения точности метода, развитого в работе [20], автором произведено сравнение результатов по определению величины  $a$ , полученных по формуле, предложенной в этой работе, с практически точными результатами Л. М. Романовой [21]. Сравнение произведено для трех значений параметра  $k = \frac{\sigma}{\sigma + \alpha}$  и для индикатрисы, соответствующей частицам с относительным размером  $\rho$ , равным 10 ( $\rho = \frac{2\pi r}{\lambda}$ , где  $r$  — радиус частицы,  $\lambda$  — длина волны радиации).

Во второй графе табл. 9 приводятся данные, полученные по формуле работы [20], в третьей — результаты Л. М. Романовой.

Из таблицы видно, что величины альбедо  $a$ , рассчитанные по формулам работы [20], оказываются заметно завышенными, причем относительная ошибка возрастает с увеличением роли поглощения в среде (т. е. с уменьшением параметра  $k$ ).

Одновременно для того же случая, к которому относятся данные Романовой, автор определил величину  $a$  по методу, изложенному выше в настоящей работе. Формула для определения величины альбедо бесконечно толстого слоя имеет следующий вид:

$$a = \frac{\sqrt{1+g^2} - \sqrt{1-g^2}}{\sqrt{1+g^2} + \sqrt{1-g^2}}, \quad (22)$$

где  $g = \frac{\sigma \Gamma}{\sigma \Gamma + \alpha}$ .

Для того чтобы иметь возможность сравнивать результаты с данными Е. М. Фейгельсон и Л. М. Романовой, необходимо перейти от параметра  $g$  к параметрам, которые используются в работах [20] и [21], т. е. к параметрам  $c_1$  и  $k$ .

Этот переход осуществляется на основании соотношений:

$$\Gamma = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{c_1}{3} \right), \quad g = \frac{\Gamma k}{1 - k(1 - \Gamma)},$$

т. е.

$$g = \frac{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{c_1}{3}\right) k}{1 - k \left[1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{c_1}{3}\right)\right]} = \frac{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{c_1}{3}\right) k}{1 - \frac{k}{2} \left(1 + \frac{c_1}{3}\right)}$$

В четвертой графе табл. 9 приведены данные, полученные по формуле (22):

Из рассмотрения таблицы видно, что согласование между результатами Л. М. Романовой и результатами, полученными по формуле (22), довольно удовлетворительное. Это позволяет надеяться на то, что расчет излучательной способности реальных облаков нижнего яруса по формуле (22) достаточно хорошо отражает фактическую черноту этих облаков. В табл. 10 приводятся рассчитанные автором величины излучательной способности облаков нижнего яруса в различных спектральных интервалах при различной температуре облаков. Из таблицы видно, что излучательная (полусферическая) чернота облаков нижнего яруса достаточно близка к 1 даже на тех спектральных участках, где поглощение водяного пара мало. Таким образом, эти облака во многих практических расчетах, по-видимому, можно считать черными.

Таблица 10

Излучательная способность облаков нижнего яруса в различных спектральных интервалах

|                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| λ мк . . . . . | 3,0  | 3,4  | 4,5  | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 15   | 18  | 52  |
| δ . . . . .    | 0,93 | 0,91 | 0,82 | 0,97 | 0,98 | 0,84 | 0,94 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,0 | 1,0 |

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гаевский В. Л. Измерение радиационных потоков в облаках. Тр. ГГО, вып. 46, 1955.
2. Шифрин К. С. Перенос тепловой радиации в облаках. Тр. ГГО, вып. 46, 1955.
3. Кузнецов Е. С. Общий метод построения приближения уравнений переноса лучистой энергии. Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., № 4, 1951.
4. Берлянд М. Е. Предсказание и регулирование теплового режима приземного слоя атмосферы. Гидрометеоздат, Л., 1956.
5. Махоткин Л. Г. О способах вычисления рассеянной освещенности при ясном небе. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 5, 1953.
6. Пиотровский С. Диффузия света через рассеивающий слой большой оптической толщины. Бюлл. Польской Академии наук, Отд. третье, 3, вып. 6, 1955.
7. Физика облаков. Под ред. А. Х. Хргиана. Гидрометеоздат, Л., 1961.
8. Калинин Н. Н. Суммарная радиация в Павловске. Тр. ГГО, вып. 19(81), 1949.
9. Макаревский Н. Н. Пропускание прямой радиации облаками верхнего яруса. Журнал геофизики, т. 2, № 1, 1932.
10. L a r a i g e L. Mesure de la radiation solaire en Afrique equatoriale. Annee Polaire internationale 1932—1933. Tome 2. Paris, 1938.
11. Нийлиск Х. О зависимости функции пропускания атмосферы от температуры. Исследование по физике атмосферы. Изд. АН ЭССР, 1963.
12. Кодратьев К. Я. Лучистый теплообмен в атмосфере. Гидрометеоздат, Л., 1961.
13. Ван де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. Перев. с англ. ИЛ, 1961.
14. Шифрин К. С. О вычислении радиационных свойств облаков. Тр. ГГО, вып. 46, 1955.
15. Шифрин К. С. Расчеты радиационных характеристик облаков. Тр. ГГО, вып. 109, 1961.
16. Розенберг Г. В. О границах применимости закона Бугера и об эффектах обращения, аномальной и «селективной» прозрачности атмосферы. ДАН СССР, т. 145, № 6, 1962.
17. Новосельцев Е. П. Анализ зависимости суммарной радиации от основных действующих факторов. Тр. ГГО, вып. 125, 1962.
18. Мейсон Б. Дж. Физика облаков. Перевод с англ. Гидрометеоздат, Л., 1961.
19. Bulrich R. Lichtdurchlässigkeit in Wolken. Zeitschrift für Meteorologie, Nr 11, 1948.
20. Фейгельсон Е. М. Оптические свойства облаков. Космические исследования, т. II, вып. 3, 1964.
21. Романова Л. М. Поле излучения в плоских слоях мутной среды с сильно анизотропным рассеянием. Оптика и спектроскопия т. XIV, вып. 2, 1963.

Л. Н. ГУСЕВА

## К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА

Рассматривается вопрос об определении характера связи между температурой поверхности почвы ( $t_{п.п}^{\circ}$ ) и температурой воздуха  $t_{в}^{\circ}$  при трех состояниях облачности по градациям 0—2, 3—7 и 8—10 баллов для основных сроков наблюдений и обсуждается возможность определения  $t_{п.п}^{\circ}$  по  $t_{в}^{\circ}$  для заданного срока наблюдений.

Для решения ряда задач метеорологии и прикладной геофизики необходимо располагать данными о температуре поверхности почвы. Кроме того, знание температуры поверхности почвы необходимо при интерпретации результатов измерений длинноволновой радиации с метеорологических спутников Земли. В частности, для исследования возможности обнаружения облачности на фоне подстилающей поверхности по данным измерения уходящего инфракрасного излучения в «окне прозрачности» атмосферы 8—12 км необходимо оценить величину потока радиации, приходящей к верхней границе атмосферы от облаков и участков земной поверхности, не закрытых облаками [1]. Но до настоящего времени данные по температуре поверхности почвы ( $t_{п.п}^{\circ}$ ), получаемые согласно Наставлению [2] на всех метеорологических станциях, где ведутся основные метеорологические наблюдения, обработке не подвергались, и поэтому автором была произведена обработка материала таблиц ТМ-1 по  $t_{п.п}^{\circ}$  и  $t_{в}^{\circ}$  для некоторых станций СССР, расположенных в разных географических районах.

Были обработаны материалы наблюдений  $t_{п.п}^{\circ}$  и  $t_{в}^{\circ}$  30 станций за период с 1947 по 1960 г. и получены среднемесячные многолетние величины  $t_{п.п}^{\circ}$  и  $t_{в}^{\circ}$  за четыре основных метеорологических срока наблюдений (1, 7, 13 и 19 часов), а также среднемесячные величины средних максимумов, средних минимумов и среднесуточных.

В табл. 1 приведены результаты этой обработки. Для иллюстрации на рис. 1 и 2 представлены карты-схемы  $t_{п.п}^{\circ}$  для января в 1 и 13 часов, на рис. 3 и 4 — для июля за те же сроки. Анализ этих карт показывает, что летом распределение  $t_{п.п}^{\circ}$  сходно с распределением  $t_{в}^{\circ}$ , т. е. изотермы расположены в широтном направлении и величина меняется от  $10^{\circ}$  на севере до  $60^{\circ}$  на юге. Зимой же (см. рис. 3 и 4) изотермы  $t_{п.п}^{\circ}$  располагаются в меридиональном направлении, и понижение  $t_{п.п}^{\circ}$  идет с СЗ на ЮВ, а самые низкие значения наблюдаются в районе Восточной Сибири.

Средние многолетние значения температуры

| Часы      | t° почвы |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-----------|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|           | I        | II    | III   | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI    | XII   |
| Ри        |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -5,8     | -7,6  | -5,2  | 1,6  | 6,1  | 10,4 | 12,6 | 12,3 | 8,6  | 4,9  | 0,8   | -1,6  |
| 7         | -5,8     | -7,5  | -5,1  | 3,4  | 11,1 | 17,6 | 18,9 | 16,0 | 9,8  | 4,6  | 0,8   | -1,7  |
| 13        | -3,7     | -2,8  | 2,2   | 13,4 | 23,4 | 29,4 | 31,2 | 28,2 | 19,0 | 10,9 | 2,8   | -0,8  |
| 19        | -5,5     | -6,5  | -3,1  | 5,1  | 12,4 | 18,5 | 20,1 | 17,3 | 11,6 | 5,8  | 1,1   | -1,7  |
| Ср. сут.  | -5,2     | -6,1  | -2,8  | 5,9  | 13,2 | 19,0 | 20,7 | 18,4 | 12,4 | 6,6  | 1,4   | -1,4  |
| Ср. макс. | -2,3     | -1,5  | 3,9   | 16,0 | 27,0 | 34,4 | 36,0 | 32,6 | 23,7 | 12,1 | 3,5   | -0,1  |
| Ср. мин.  | -9,6     | -10,8 | -8,2  | 0,2  | 5,6  | 9,0  | 11,3 | 10,8 | 6,7  | 2,6  | -0,9  | -3,8  |
| Ль        |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -4,6     | -6,5  | -2,1  | 2,8  | 8,5  | 12,7 | 14,5 | 13,6 | 9,1  | 5,0  | 1,0   | -1,9  |
| 7         | -4,5     | -6,6  | -2,0  | 4,4  | 12,9 | 18,2 | 19,3 | 16,4 | 10,3 | 4,9  | 0,8   | -2,1  |
| 13        | -2,4     | -1,0  | 5,3   | 14,2 | 23,4 | 29,6 | 31,8 | 28,0 | 22,8 | 15,2 | 4,8   | 0,9   |
| 19        | -5,4     | -5,3  | -0,3  | 6,1  | 13,5 | 19,0 | 20,6 | 17,8 | 11,7 | 6,8  | 1,5   | -1,6  |
| Ср. сут.  | -4,2     | -4,9  | 0,2   | 6,9  | 14,6 | 19,9 | 21,6 | 18,8 | 13,5 | 8,0  | 2,0   | -1,2  |
| Ср. макс. | -0,8     | 0,7   | 6,9   | 17,8 | 28,5 | 34,8 | 36,6 | 32,6 | 26,8 | 17,7 | 6,2   | 2,2   |
| Ср. мин.  | -9,6     | -9,4  | -4,2  | 0,8  | 6,5  | 11,1 | 13,1 | 11,9 | 7,1  | 3,1  | -0,9  | -4,2  |
| Хаба      |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -23,9    | -21,2 | -12,3 | -0,4 | 6,5  | 13,1 | 17,6 | 17,2 | 10,5 | 1,9  | -10,5 | -21,0 |
| 7         | -24,3    | -22,8 | -13,0 | 1,3  | 10,3 | 17,4 | 21,0 | 19,3 | 11,0 | 1,3  | -11,5 | -22,0 |
| 13        | -15,5    | -9,3  | -0,3  | 14,0 | 22,4 | 30,7 | 33,8 | 31,6 | 22,3 | 12,3 | -2,8  | -13,7 |
| 19        | -22,4    | -18,8 | -8,8  | 2,9  | 11,2 | 19,1 | 23,0 | 20,7 | 12,6 | 3,6  | -9,7  | -19,8 |
| Ср. сут.  | -21,4    | -18,0 | -8,5  | 4,4  | 12,6 | 20,0 | 23,9 | 22,1 | 14,0 | 4,8  | -8,5  | -19,1 |
| Ср. макс. | -13,2    | -6,5  | 2,6   | 16,9 | 27,6 | 37,8 | 39,0 | 35,8 | 25,5 | 14,0 | -0,3  | -10,4 |
| Ср. мин.  | -27,7    | -28,0 | -16,2 | -2,8 | 4,0  | 11,4 | 16,2 | 15,7 | 8,5  | -0,3 | -13,2 | -24,0 |
| Актю      |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -15,4    | -17,4 | -13,0 | 0,2  | 7,8  | 13,4 | 15,9 | 14,1 | 8,3  | 1,1  | -7,5  | -12,4 |
| 7         | -15,5    | -17,8 | -13,5 | 2,1  | 15,7 | 22,6 | 24,0 | 19,5 | 10,4 | 0,5  | -8,2  | -12,6 |
| 13        | -10,2    | -10,0 | -3,3  | 14,2 | 33,6 | 40,0 | 43,0 | 42,5 | 30,8 | 14,4 | -1,3  | -7,9  |
| 19        | -14,7    | -16,0 | -10,3 | 4,5  | 16,8 | 24,2 | 26,1 | 22,6 | 13,5 | 3,4  | -6,6  | -11,9 |
| Ср. сут.  | -13,9    | -15,3 | -10,0 | 5,2  | 18,5 | 25,0 | 27,3 | 24,7 | 15,7 | 4,9  | -5,9  | -11,2 |
| Ср. макс. | -8,2     | -7,3  | -1,4  | 17,6 | 37,1 | 45,6 | 47,9 | 46,5 | 35,2 | 17,3 | -2,2  | -4,8  |
| Ср. мин.  | -19,7    | -21,5 | -16,5 | -2,6 | 5,1  | 10,8 | 12,9 | 11,7 | 5,1  | 1,6  | -11,4 | -16,1 |
| Ашха      |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | 0,0      | 0,9   | 5,1   | 11,1 | 16,1 | 20,4 | 23,4 | 21,1 | 15,9 | 9,2  | 2,3   | -0,5  |
| 7         | -0,7     | 0,01  | 4,7   | 13,6 | 22,9 | 29,4 | 30,8 | 26,8 | 18,4 | 9,0  | 1,4   | -1,2  |
| 13        | 10,9     | 15,6  | 21,9  | 35,2 | 47,9 | 57,5 | 61,2 | 59,2 | 50,8 | 36,4 | 19,7  | 11,6  |
| 19        | 1,9      | 3,9   | 9,1   | 16,8 | 24,0 | 30,6 | 34,0 | 30,5 | 22,9 | 14,2 | 5,3   | 1,6   |
| Ср. сут.  | 3,0      | 5,1   | 10,2  | 19,2 | 27,7 | 34,4 | 37,2 | 34,4 | 27,0 | 17,2 | 7,2   | 2,9   |
| Ср. макс. | 13,7     | 19,2  | 24,5  | 39,2 | 52,3 | 60,5 | 64,0 | 62,0 | 53,2 | 38,0 | 21,3  | 13,1  |
| Ср. мин.  | -2,3     | -1,8  | 2,6   | 8,6  | 13,3 | 17,2 | 20,4 | 17,8 | 12,7 | 6,6  | -0,2  | -1,9  |
| Куйбы     |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -13,9    | -15,2 | -10,2 | 0,7  | 8,6  | 13,8 | 15,4 | 14,3 | 8,3  | 1,9  | -5,9  | -9,8  |
| 7         | -14,0    | -15,8 | -10,5 | 3,0  | 16,0 | 23,7 | 23,1 | 19,6 | 10,1 | 1,6  | -6,4  | -10,0 |
| 13        | -10,2    | -8,4  | -1,8  | 15,4 | 33,2 | 42,0 | 41,2 | 37,4 | 24,5 | 10,6 | -1,6  | -7,4  |
| 19        | -13,5    | -14,1 | -8,1  | 4,9  | 16,7 | 24,6 | 24,3 | 20,8 | 11,4 | 3,3  | -5,5  | -9,6  |
| Ср. сут.  | -12,9    | -13,4 | -7,6  | 6,0  | 18,6 | 26,0 | 26,0 | 23,0 | 13,6 | 4,4  | -4,8  | -9,2  |
| Ср. макс. | -8,3     | -6,7  | -0,4  | 18,8 | 38,3 | 46,0 | 44,8 | 40,9 | 28,0 | 12,9 | 0,0   | -5,6  |
| Ср. мин.  | -18,0    | -19,3 | -13,7 | 1,4  | 6,2  | 11,8 | 13,4 | 12,4 | 5,8  | -0,4 | -9,0  | -13,6 |



Таблица 1

поверхности оголенной почвы и температуры воздуха

| t° воздуха |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| I          | II    | III   | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI    | XII   |
| га         |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| -5,1       | -6,4  | -3,7  | 2,7  | 7,4  | 11,5 | 14,4 | 13,3 | 9,7  | 5,9  | 1,3   | -1,1  |
| -5,3       | -6,7  | -4,3  | 3,2  | 9,7  | 14,2 | 16,2 | 14,8 | 10,0 | 5,4  | 1,1   | -1,5  |
| -3,8       | -3,9  | 0,7   | 8,2  | 14,2 | 18,5 | 19,9 | 19,5 | 15,5 | 9,2  | 2,7   | -0,5  |
| -4,6       | -5,1  | -1,2  | 6,0  | 12,0 | 16,6 | 18,6 | 17,5 | 12,5 | 7,2  | 1,8   | -1,1  |
| -4,7       | -5,6  | -2,1  | 5,1  | 10,8 | 15,2 | 17,2 | 16,3 | 12,0 | 6,9  | 1,7   | -1,0  |
| -2,2       | -2,2  | 1,9   | 9,8  | 15,8 | 20,0 | 21,8 | 21,0 | 16,6 | 10,4 | 3,9   | 0,9   |
| -7,8       | -8,6  | -5,8  | 1,1  | 5,5  | 9,8  | 12,0 | 11,6 | 7,8  | 3,8  | -3,5  | -3,3  |
| вов        |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| -4,7       | -6,0  | -1,3  | 3,9  | 9,5  | 13,3 | 14,8 | 13,9 | 9,8  | 6,0  | 1,2   | -1,3  |
| -5,3       | -6,3  | -1,8  | 4,0  | 10,9 | 15,3 | 16,5 | 14,8 | 9,9  | 5,6  | 0,8   | -1,5  |
| -2,9       | -2,7  | 2,7   | 9,0  | 16,0 | 20,1 | 21,8 | 20,4 | 16,4 | 11,8 | 3,6   | 0,6   |
| -4,3       | -4,4  | 0,7   | 7,3  | 14,2 | 18,5 | 20,0 | 18,1 | 12,8 | 8,1  | 1,8   | -0,8  |
| -4,3       | -4,9  | 0,1   | 6,1  | 12,7 | 16,8 | 18,3 | 16,8 | 12,2 | 7,8  | 1,9   | -0,7  |
| -1,4       | -1,3  | 4,2   | 10,9 | 17,9 | 22,0 | 23,6 | 22,2 | 17,7 | 13,0 | 4,6   | 1,8   |
| -7,5       | -8,1  | -3,0  | 2,3  | 7,8  | 11,6 | 13,3 | 12,2 | 7,9  | 4,1  | -0,4  | -3,2  |
| ровск      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| -22,1      | -18,5 | -10,4 | 1,5  | 9,2  | 15,2 | 19,3 | 18,8 | 12,3 | 4,0  | -9,2  | -19,5 |
| -23,6      | -20,6 | -12,4 | 0,9  | 8,9  | 15,3 | 19,2 | 18,6 | 11,5 | 2,6  | -10,6 | -20,8 |
| -19,5      | -15,3 | -6,1  | 6,6  | 15,0 | 20,4 | 24,0 | 23,2 | 16,2 | 8,2  | -5,8  | -16,8 |
| -20,4      | -16,1 | -7,3  | 4,8  | 13,4 | 19,6 | 23,1 | 21,5 | 14,3 | 6,0  | -7,6  | -18,1 |
| -21,4      | -17,6 | -9,0  | 3,4  | 11,6 | 17,6 | 21,4 | 20,5 | 13,6 | 5,2  | -8,3  | -18,8 |
| -18,5      | -13,4 | -4,2  | 8,5  | 17,4 | 22,5 | 26,1 | 25,0 | 17,9 | 10,1 | -4,1  | -15,0 |
| -25,0      | -21,8 | -13,6 | -1,6 | 6,8  | 13,3 | 17,6 | 17,0 | 10,2 | 1,6  | -11,6 | -22,0 |
| бинск      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| -14,7      | -16,3 | -11,9 | 1,7  | 10,2 | 15,7 | 17,9 | 16,5 | 10,5 | 2,6  | -7,1  | -11,7 |
| -14,9      | -16,8 | -12,8 | 1,9  | 12,8 | 19,1 | 20,6 | 17,9 | 10,2 | 1,3  | -7,9  | -12,2 |
| -12,0      | -12,7 | -7,0  | 8,9  | 20,2 | 25,8 | 27,6 | 26,8 | 19,6 | 9,0  | -3,0  | -9,3  |
| -13,7      | -14,7 | -9,0  | 6,5  | 17,6 | 24,0 | 26,2 | 24,0 | 15,8 | 5,3  | -5,9  | -11,2 |
| -13,8      | -15,1 | -10,2 | 4,8  | 15,2 | 21,2 | 23,0 | 21,2 | 14,0 | 4,6  | -6,0  | -11,1 |
| -9,8       | -10,5 | -5,2  | 9,8  | 22,0 | 27,8 | 30,0 | 28,6 | 21,4 | 11,0 | -1,4  | -7,3  |
| -18,0      | -19,6 | -14,8 | 0,0  | 7,6  | 12,9 | 15,3 | 13,6 | 7,4  | 0,1  | -10,1 | -15,1 |
| бад        |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1,6        | 3,1   | 6,9   | 13,6 | 19,4 | 24,0 | 26,7 | 25,2 | 19,8 | 12,8 | 5,0   | 1,5   |
| 0,7        | 2,0   | 5,8   | 13,6 | 20,7 | 25,8 | 27,9 | 26,1 | 19,7 | 12,1 | 3,8   | 0,6   |
| 6,2        | 8,6   | 12,5  | 20,8 | 28,2 | 33,3 | 36,0 | 35,3 | 30,3 | 22,3 | 11,7  | 6,4   |
| 3,6        | 5,8   | 10,4  | 17,8 | 24,9 | 30,3 | 33,2 | 30,8 | 24,5 | 16,7 | 7,6   | 3,4   |
| 3,0        | 4,9   | 8,9   | 16,4 | 23,3 | 28,3 | 31,0 | 29,5 | 23,6 | 16,0 | 7,4   | 3,0   |
| 8,6        | 11,2  | 13,9  | 22,8 | 30,0 | 35,1 | 37,5 | 36,9 | 31,8 | 23,6 | 13,3  | 7,9   |
| -0,7       | 0,7   | 4,3   | 10,8 | 16,0 | 20,4 | 23,3 | 21,3 | 15,9 | 9,6  | 2,5   | -0,6  |
| шев        |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| -13,1      | -13,8 | -8,1  | 3,3  | 11,6 | 16,3 | 17,6 | 16,4 | 10,4 | 3,4  | -5,1  | -9,3  |
| -13,5      | -14,7 | -9,2  | 2,8  | 20,0 | 19,0 | 18,0 | 16,2 | 10,2 | 2,3  | -5,9  | -9,8  |
| -11,6      | -11,3 | -4,8  | 8,6  | 18,4 | 23,6 | 24,0 | 23,0 | 15,9 | 6,6  | -3,2  | -8,4  |
| -12,5      | -12,6 | -6,1  | 7,1  | 16,6 | 22,0 | 22,4 | 20,3 | 13,4 | 5,1  | -4,3  | -9,0  |
| -12,7      | -13,1 | -7,0  | 5,4  | 14,7 | 20,0 | 20,5 | 19,0 | 12,3 | 4,4  | -4,6  | -9,1  |
| -9,2       | -8,7  | -3,3  | 10,2 | 20,4 | 25,6 | 26,0 | 24,9 | 16,4 | 8,3  | -1,6  | -6,2  |
| -15,9      | -16,6 | -10,8 | 1,1  | 9,1  | 14,2 | 14,8 | 14,1 | 8,1  | 1,3  | -7,5  | -12,1 |

| Часы      | t° почвы |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-----------|----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|           | I        | II    | III   | IV    | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X     | XI    | XII   |
| Сверд     |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -14,8    | -18,7 | -13,2 | -1,1  | 4,9  | 10,7 | 12,7 | 11,7 | 6,1  | -0,2  | -8,6  | -14,7 |
| 7         | -14,6    | -18,8 | -13,8 | 0,3   | 9,9  | 17,5 | 17,2 | 14,0 | 6,6  | -0,3  | -8,8  | -14,8 |
| 13        | -11,5    | -11,4 | -2,3  | 10,3  | 22,2 | 30,3 | 28,2 | 25,6 | 16,2 | 5,3   | -5,2  | -12,5 |
| 19        | -14,6    | -17,4 | -10,7 | 2,4   | 11,8 | 19,6 | 19,3 | 16,3 | 8,4  | 0,8   | -8,4  | -14,7 |
| Ср. сут.  | -13,8    | -16,6 | -10,0 | 3,0   | 12,1 | 19,9 | 19,3 | 16,9 | 9,4  | 1,4   | -7,8  | -14,1 |
| Ср. макс. | -9,3     | -9,6  | 0,2   | 13,4  | 27,0 | 35,7 | 33,4 | 29,6 | 19,9 | 7,5   | -3,5  | -9,9  |
| Ср. мин.  | -19,3    | -22,8 | -17,2 | -3,9  | 3,1  | 9,2  | 11,0 | 9,8  | 4,2  | -2,3  | -11,4 | -19,7 |
| Ба        |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -3,1     | -3,3  | -0,7  | 5,0   | 10,8 | 14,9 | 17,7 | 17,1 | 13,2 | 7,9   | 2,8   | -1,6  |
| 7         | -3,9     | -4,0  | -0,6  | 8,5   | 17,2 | 22,8 | 23,6 | 21,2 | 14,3 | 7,3   | 2,0   | -2,5  |
| 13        | 3,8      | 5,2   | 11,2  | 25,2  | 33,5 | 39,8 | 43,8 | 43,1 | 30,3 | 20,1  | 11,1  | 5,4   |
| 19        | -1,8     | -1,2  | 1,9   | 9,1   | 15,8 | 21,2 | 24,0 | 22,3 | 16,2 | 10,4  | 4,4   | -0,4  |
| Ср. сут.  | -1,2     | -0,8  | 3,0   | 12,0  | 19,3 | 24,7 | 27,2 | 25,5 | 18,4 | 11,4  | 5,0   | 0,2   |
| Ср. макс. | 5,9      | 8,1   | 14,1  | 29,1  | 39,7 | 46,0 | 47,0 | 46,9 | 33,9 | 23,4  | 13,8  | 7,2   |
| Ср. мин.  | -5,8     | -5,8  | -3,5  | 2,6   | 8,5  | 12,8 | 15,6 | 14,9 | 10,8 | 5,4   | 0,4   | -4,4  |
| Яку       |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -44,7    | -41,5 | -33,0 | -16,6 | 0,1  | 8,4  | 12,2 | 9,7  | 1,5  | -12,2 | -30,8 | -42,5 |
| 7         | -44,6    | -42,0 | -33,7 | -15,3 | 5,6  | 17,9 | 19,1 | 13,4 | 1,8  | -12,4 | -31,0 | -42,6 |
| 13        | -41,1    | -31,5 | -15,2 | 0,9   | 21,1 | 35,3 | 36,5 | 32,0 | 16,8 | -3,8  | -26,5 | -39,8 |
| 19        | -44,5    | -39,5 | -27,5 | -7,7  | 10,6 | 23,6 | 25,6 | 20,0 | 5,8  | -10,9 | -31,1 | -42,0 |
| Ср. сут.  | -43,7    | -38,6 | -27,4 | -9,6  | 9,3  | 21,3 | 23,3 | 18,7 | 6,5  | -9,8  | -29,8 | -41,7 |
| Ср. макс. | -39,9    | -27,0 | -12,7 | 2,6   | 25,8 | 40,5 | 41,3 | 35,9 | 19,8 | -1,8  | -24,1 | -33,8 |
| Ср. мин.  | -49,0    | -46,0 | -37,3 | -21,2 | -2,1 | 6,4  | 10,3 | 7,3  | -1,4 | -17,0 | -36,9 | -47,1 |
| Харь      |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -6,4     | -8,6  | -3,0  | 3,8   | 9,9  | 14,2 | 16,0 | 15,0 | 9,2  | 3,6   | -1,2  | -3,6  |
| 7         | -6,8     | -8,8  | -3,9  | 6,1   | 16,5 | 22,8 | 23,2 | 20,0 | 11,3 | 3,5   | -1,7  | -3,8  |
| 13        | -3,8     | -3,3  | 2,6   | 19,4  | 31,8 | 38,3 | 40,0 | 38,1 | 26,6 | 13,4  | 2,8   | -1,6  |
| 19        | -6,3     | -7,4  | -2,0  | 7,9   | 16,3 | 21,6 | 23,0 | 20,7 | 12,5 | 5,5   | -0,4  | -3,4  |
| Ср. сут.  | -5,8     | -7,0  | -1,6  | 9,3   | 18,6 | 24,2 | 25,6 | 23,4 | 14,9 | 6,5   | -0,1  | -3,1  |
| Ср. макс. | -3,6     | -1,7  | 5,2   | 25,8  | 37,8 | 44,5 | 43,2 | 43,0 | 30,9 | 16,8  | 4,2   | 0,1   |
| Ср. мин.  | -8,5     | -11,2 | -6,5  | 1,8   | 7,6  | 12,1 | 14,2 | 12,9 | 6,8  | 1,2   | -3,7  | -5,8  |
| Оде       |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -2,1     | -1,9  | -0,2  | 5,6   | 12,3 | 16,2 | 18,4 | 17,7 | 13,1 | 8,1   | 4,3   | 0,9   |
| 7         | -2,5     | -2,6  | -0,2  | 7,9   | 17,3 | 22,5 | 24,6 | 21,8 | 14,3 | 7,8   | 3,9   | 0,7   |
| 13        | 1,6      | 4,5   | 10,7  | 24,8  | 36,4 | 43,4 | 47,0 | 43,7 | 34,6 | 21,6  | 9,5   | 5,2   |
| 19        | -1,7     | -0,9  | 1,5   | 9,5   | 17,5 | 22,8 | 25,6 | 22,9 | 16,0 | 9,5   | 4,7   | 1,6   |
| Ср. сут.  | -1,1     | -0,2  | 2,9   | 12,0  | 20,8 | 26,3 | 28,9 | 26,5 | 19,5 | 11,7  | 5,6   | 2,1   |
| Ср. макс. | 4,2      | 7,1   | 14,1  | 29,0  | 40,7 | 47,5 | 49,5 | 46,6 | 35,8 | 24,0  | 11,1  | 6,7   |
| Ср. мин.  | -4,8     | -4,3  | -2,6  | 3,6   | 10,2 | 14,5 | 16,6 | 15,5 | 11,0 | 5,6   | 2,0   | -1,3  |
| Новоси    |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -21,0    | -21,2 | -14,7 | -2,4  | 4,3  | 10,1 | 13,7 | 11,5 | 5,5  | -0,4  | -12,6 | -18,2 |
| 7         | -21,2    | -22,0 | -15,0 | 0,2   | 12,4 | 21,1 | 22,7 | 16,3 | 7,1  | 0,4   | -12,9 | -18,4 |
| 13        | -15,2    | -12,2 | -2,5  | 11,8  | 27,6 | 36,7 | 39,2 | 32,9 | 23,1 | 8,4   | -7,6  | -14,7 |
| 19        | -20,2    | -20,6 | -11,1 | 1,6   | 12,0 | 20,3 | 23,0 | 17,2 | 9,2  | 1,1   | -12,5 | -18,0 |
| Ср. сут.  | -19,4    | -19,0 | -10,8 | 2,8   | 14,1 | 22,0 | 24,6 | 19,5 | 11,2 | 2,3   | 11,4  | -17,4 |
| Ср. макс. | -12,0    | -9,9  | -0,6  | 14,4  | 32,7 | 41,5 | 44,8 | 37,8 | 17,5 | 10,5  | -5,5  | -12,2 |
| Ср. мин.  | -26,6    | -26,6 | -19,4 | -3,9  | 2,0  | 8,1  | 11,9 | 9,6  | 3,2  | -2,6  | -18,3 | -24,2 |

| t° воздуха |    |     |    |   |    |     |      |    |   |    |     |
|------------|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|
| I          | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |

ЛОВСК

|       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| -14,0 | -16,4 | -10,2 | 1,0  | 7,2  | 12,5 | 13,5 | 12,5 | 6,7  | 1,2  | -7,8  | -14,4 |
| -14,6 | -17,2 | -11,6 | 0,7  | 8,4  | 14,6 | 15,0 | 12,8 | 6,8  | 0,4  | -8,2  | -14,5 |
| -12,2 | -12,8 | -4,7  | 6,9  | 13,9 | 19,8 | 19,8 | 18,7 | 11,7 | 4,2  | -5,7  | -12,7 |
| -13,5 | -14,6 | -7,2  | 4,7  | 12,4 | 18,4 | 18,3 | 16,3 | 9,7  | 3,0  | -7,2  | -13,9 |
| -13,6 | -15,2 | -8,4  | 3,3  | 10,5 | 16,3 | 16,6 | 15,0 | 8,8  | 2,2  | -7,2  | -13,9 |
| -10,0 | -10,8 | -3,0  | 8,7  | 16,6 | 22,2 | 21,9 | 20,5 | 13,4 | 5,6  | -4,1  | -9,3  |
| -17,5 | -19,1 | -13,0 | -1,4 | 4,8  | 10,5 | 11,7 | 10,5 | 6,0  | -8,3 | -10,3 | -17,7 |

ку

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| -2,2 | -2,6 | 0,0  | 6,3  | 11,5 | 15,4 | 18,0 | 17,6 | 13,6 | 8,7  | 3,5 | -0,5 |
| -2,7 | -3,3 | -0,2 | 8,2  | 14,8 | 18,9 | 20,8 | 19,6 | 14,3 | 8,3  | 2,3 | -1,1 |
| 1,8  | 1,6  | 4,6  | 12,5 | 18,6 | 22,9 | 25,8 | 25,9 | 19,9 | 14,0 | 7,9 | 3,8  |
| -1,2 | -1,2 | 1,6  | 8,6  | 14,8 | 19,2 | 21,8 | 20,8 | 15,3 | 10,1 | 4,5 | 0,6  |
| -1,1 | -1,4 | 1,5  | 8,9  | 14,9 | 19,1 | 21,6 | 20,9 | 15,8 | 10,2 | 4,7 | 0,7  |
| 3,8  | 2,9  | 6,5  | 14,5 | 20,3 | 24,6 | 27,2 | 27,0 | 21,2 | 15,5 | 9,4 | 5,6  |
| -4,6 | -5,2 | -2,3 | 4,4  | 9,8  | 13,8 | 16,5 | 16,1 | 11,9 | 6,6  | 1,1 | -3,0 |

ТСК

|       |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| -43,2 | -37,9 | -27,4 | -12,5 | 1,4  | 10,2 | 13,6 | 11,0 | 3,1  | -10,7 | -29,3 | -41,1 |
| -43,2 | -38,8 | -28,9 | -12,0 | 4,1  | 14,6 | 16,7 | 13,1 | 3,3  | -11,4 | -29,8 | -41,4 |
| -40,7 | -32,5 | -18,2 | -3,3  | 9,5  | 20,2 | 21,6 | 20,1 | 10,1 | -6,1  | -26,4 | -39,1 |
| -42,7 | -34,8 | -21,9 | -4,9  | 8,5  | 19,2 | 21,7 | 18,3 | 7,1  | -9,3  | -29,1 | -40,7 |
| -42,5 | -36,0 | -24,1 | -8,2  | 5,9  | 16,1 | 18,4 | 15,6 | 5,9  | -9,4  | -28,6 | -40,5 |
| -39,0 | -30,6 | -15,6 | -1,2  | 11,4 | 22,5 | 14,9 | 22,2 | 11,9 | -4,6  | -24,4 | -36,6 |
| -46,7 | -41,9 | -31,5 | -14,7 | -0,5 | 8,2  | 11,6 | 8,5  | 0,5  | -14,1 | -33,7 | -45,0 |

К ОВ

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -5,9 | -7,4 | -2,7 | 5,8  | 11,6 | 15,5 | 17,2 | 16,4 | 10,9 | 5,4  | -0,3 | -3,2 |
| -6,3 | -8,0 | -3,7 | 5,4  | 12,7 | 17,4 | 18,6 | 16,8 | 10,4 | 4,2  | -1,2 | -3,5 |
| -4,5 | -5,2 | 0,5  | 11,5 | 19,2 | 23,5 | 25,0 | 24,4 | 18,3 | 10,5 | 1,6  | -2,0 |
| -5,4 | -6,0 | -0,5 | 9,8  | 17,2 | 21,6 | 23,0 | 21,6 | 14,8 | 7,7  | 0,6  | -2,7 |
| -5,5 | -6,7 | -1,6 | 8,1  | 15,4 | 19,5 | 21,0 | 19,8 | 13,6 | 7,0  | 0,2  | -2,8 |
| -2,7 | -3,5 | 2,0  | 13,5 | 21,2 | 25,2 | 26,6 | 26,0 | 20,0 | 11,4 | 3,4  | -0,5 |
| -7,9 | -9,2 | -4,2 | 3,7  | 9,5  | 13,4 | 15,0 | 14,1 | 8,7  | 2,9  | -2,5 | -5,0 |

ССА

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| -1,7 | -1,4 | 0,6  | 7,0  | 13,5 | 17,2 | 19,7 | 19,4 | 15,1 | 10,0 | 5,3 | 1,9  |
| -2,3 | -2,2 | 0,1  | 7,1  | 14,2 | 18,4 | 20,8 | 19,9 | 14,9 | 9,2  | 4,6 | 1,6  |
| -0,4 | 0,5  | 3,1  | 10,3 | 17,5 | 21,9 | 25,1 | 24,4 | 19,4 | 13,0 | 6,6 | 3,4  |
| -1,2 | -0,4 | 2,1  | 9,3  | 16,0 | 20,3 | 23,4 | 22,4 | 16,8 | 11,0 | 5,7 | 2,4  |
| -1,4 | -0,8 | 1,5  | 8,4  | 15,3 | 19,4 | 22,2 | 21,4 | 16,6 | 10,8 | 5,5 | 2,3  |
| 2,3  | 2,4  | 4,5  | 12,2 | 19,3 | 23,7 | 26,4 | 25,8 | 20,5 | 14,5 | 8,3 | 5,0  |
| -3,9 | -3,3 | -1,1 | 5,4  | 11,7 | 15,2 | 17,8 | 17,5 | 13,0 | 7,7  | 3,2 | -0,1 |

бирск

|       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| -18,9 | -19,8 | -12,1 | -0,7 | 7,4  | 12,8 | 15,8 | 13,3 | 7,9  | 1,3  | -11,8 | -16,8 |
| -19,6 | -20,6 | -13,6 | -0,7 | 8,7  | 15,0 | 17,5 | 14,0 | 7,2  | 0,3  | -12,6 | -17,2 |
| -16,4 | -15,6 | -6,4  | 5,0  | 15,0 | 20,6 | 23,5 | 20,3 | 14,8 | 5,6  | -9,5  | -15,1 |
| -17,7 | -17,6 | -8,5  | 3,0  | 13,4 | 19,2 | 21,6 | 17,7 | 11,4 | 2,9  | -11,1 | -16,2 |
| -18,2 | -18,4 | -10,2 | 1,6  | 11,2 | 16,9 | 19,6 | 16,3 | 10,3 | 2,5  | -11,2 | -16,3 |
| -12,5 | -13,2 | -4,6  | 6,5  | 17,8 | 22,8 | 25,7 | 22,1 | 16,7 | 7,3  | -6,8  | -11,8 |
| -25,0 | -23,2 | -15,4 | -2,8 | 4,9  | 10,5 | 13,8 | 11,4 | 5,5  | -0,9 | -15,4 | -20,7 |

| Часы      | ° почвы |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-----------|---------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|           | I       | II    | III   | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI    | XII   |
| Архан     |         |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -13,5   | -14,6 | -11,6 | -4,3 | 2,0  | 8,7  | 11,4 | 10,4 | 5,5  | 0,4  | -6,0  | -9,7  |
| 7         | -13,8   | -14,5 | -11,9 | -3,3 | 5,5  | 14,3 | 16,6 | 13,0 | 6,1  | 0,2  | -6,0  | -9,9  |
| 13        | -12,5   | -11,2 | -3,8  | 4,4  | 15,0 | 24,2 | 28,4 | 24,6 | 12,8 | 3,0  | -5,1  | -9,6  |
| 19        | -13,5   | -14,1 | -9,4  | -0,5 | 7,5  | 15,5 | 18,4 | 15,3 | 7,3  | 0,9  | -5,8  | -10,1 |
| Ср. сут.  | -13,3   | -13,6 | -9,2  | -0,9 | 7,5  | 15,6 | 18,7 | 15,8 | 8,0  | 1,1  | -5,7  | -9,8  |
| Ср. макс. | -9,1    | -9,0  | -1,9  | 6,8  | 18,8 | 28,4 | 33,1 | 28,3 | 15,2 | 4,4  | -2,9  | -6,5  |
| Ср. мин.  | -19,5   | -19,7 | -16,4 | -6,9 | 0,0  | 6,4  | 10,0 | 8,6  | 3,0  | -2,1 | -9,5  | -14,6 |
| Ом        |         |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -20,5   | -20,0 | -17,1 | -2,8 | 4,9  | 11,4 | 13,5 | 11,7 | 6,4  | -0,2 | -9,2  | -17,8 |
| 7         | -21,0   | -20,7 | -17,5 | -1,0 | 11,4 | 21,1 | 20,2 | 16,0 | 7,5  | -0,6 | -9,4  | -18,1 |
| 13        | -15,8   | -12,4 | -4,8  | 10,1 | 26,5 | 37,4 | 34,4 | 31,0 | 21,2 | 8,0  | -5,4  | -14,8 |
| 19        | -20,5   | -18,7 | -13,7 | 0,8  | 13,1 | 22,0 | 21,8 | 17,9 | 9,6  | 1,0  | -9,0  | -17,9 |
| Ср. сут.  | -19,5   | -18,1 | -13,3 | 1,8  | 14,0 | 23,0 | 22,5 | 19,1 | 11,2 | 2,0  | -8,2  | -17,2 |
| Ср. макс. | -13,7   | -10,5 | -3,2  | 12,8 | 30,9 | 43,0 | 40,0 | 36,3 | 25,2 | 10,3 | -3,4  | -12,0 |
| Ср. мин.  | -25,4   | -21,3 | -20,9 | -5,2 | 2,8  | 9,2  | 11,6 | 9,8  | 4,0  | -2,6 | -13,3 | -23,1 |
| Ленин     |         |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -7,7    | -10,8 | -9,0  | -0,7 | 5,0  | 11,1 | 13,9 | 12,7 | 8,0  | 3,5  | -1,9  | -3,8  |
| 7         | -7,8    | -11,2 | -9,4  | 0,5  | 10,5 | 17,8 | 19,1 | 15,9 | 8,3  | 3,2  | -2,2  | -3,9  |
| 13        | -6,4    | -6,1  | -0,3  | 10,2 | 22,2 | 30,1 | 31,2 | 27,6 | 16,4 | 7,8  | -0,5  | -3,1  |
| 19        | -7,7    | -10,1 | -6,3  | 2,8  | 11,1 | 17,8 | 20,0 | 17,4 | 10,1 | 4,2  | -1,7  | -3,6  |
| Ср. сут.  | -7,4    | -9,6  | -6,2  | 3,4  | 12,2 | 19,2 | 21,0 | 18,4 | 10,7 | 4,6  | -1,6  | -3,6  |
| Ср. макс. | -4,4    | -4,6  | 1,1   | 13,2 | 26,7 | 35,3 | 35,5 | 31,2 | 20,8 | 9,1  | 0,6   | -1,4  |
| Ср. мин.  | -12,6   | -15,6 | -12,9 | -2,8 | 2,9  | 9,3  | 12,2 | 10,8 | 6,0  | 1,4  | -4,8  | -6,7  |
| Ки        |         |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -5,9    | -7,2  | -3,2  | 3,7  | 9,6  | 14,2 | 15,7 | 14,9 | 10,0 | 4,7  | 0,0   | -2,8  |
| 7         | -6,1    | -7,4  | -3,2  | 6,2  | 15,6 | 21,5 | 22,2 | 18,9 | 11,5 | 4,6  | -0,2  | -3,1  |
| 13        | -2,8    | -1,8  | 3,6   | 18,4 | 29,3 | 35,7 | 38,0 | 35,3 | 26,6 | 15,7 | 3,8   | -0,5  |
| 19        | -5,5    | -6,0  | -1,8  | 7,2  | 14,8 | 20,6 | 22,3 | 19,4 | 12,8 | 6,0  | 0,5   | -2,4  |
| Ср. сут.  | -5,1    | -5,6  | -1,2  | 8,9  | 17,3 | 23,0 | 24,6 | 22,1 | 15,2 | 7,8  | 1,0   | -2,2  |
| Ср. макс. | -1,4    | -0,4  | 5,7   | 22,7 | 35,0 | 41,4 | 43,2 | 39,8 | 29,8 | 17,9 | 5,1   | 0,6   |
| Ср. мин.  | -8,9    | -9,7  | -5,3  | 1,9  | 7,8  | 12,4 | 14,2 | 13,4 | 8,0  | 2,6  | -2,0  | -4,9  |
| Чи        |         |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -30,9   | -28,7 | -17,1 | -4,8 | 1,4  | 9,9  | 13,6 | 11,8 | 3,9  | -4,1 | -18,1 | -26,6 |
| 7         | -32,0   | -30,7 | -18,3 | -1,2 | 9,7  | 18,1 | 18,2 | 14,6 | 4,7  | -5,1 | -19,7 | -26,7 |
| 13        | -18,8   | -10,4 | 1,8   | 18,1 | 30,2 | 37,1 | 34,6 | 32,0 | 23,1 | 10,5 | -6,6  | -17,8 |
| 19        | -28,7   | -24,6 | -11,1 | 1,0  | 12,1 | 21,0 | 21,1 | 18,4 | 8,7  | -1,5 | -16,6 | -25,6 |
| Ср. сут.  | -27,6   | -23,6 | -11,2 | 3,3  | 13,3 | 21,5 | 21,8 | 19,2 | 10,0 | 0,01 | -15,2 | -24,2 |
| Ср. макс. | -18,0   | -9,5  | 4,4   | 21,6 | 35,7 | 44,5 | 36,4 | 37,2 | 26,6 | 11,1 | -4,9  | -15,6 |
| Ср. мин.  | -35,1   | -32,9 | -21,8 | -8,0 | -1,5 | 7,4  | 13,0 | 9,4  | 1,5  | -7,0 | -22,5 | -31,4 |
| Алма-     |         |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -12,4   | -9,5  | -2,4  | 5,2  | 10,7 | 14,7 | 17,5 | 16,2 | 11,5 | 3,9  | -4,7  | -10,6 |
| 7         | -12,8   | -10,2 | -2,8  | 7,2  | 15,6 | 21,6 | 24,2 | 20,6 | 13,0 | 2,8  | -5,5  | -10,6 |
| 13        | -2,1    | 0,4   | 8,8   | 25,8 | 34,4 | 41,8 | 49,0 | 48,5 | 40,5 | 24,4 | 5,9   | -2,1  |
| 19        | -10,8   | -7,6  | 0,3   | 10,1 | 17,0 | 22,8 | 26,2 | 23,4 | 16,5 | 7,2  | -3,5  | -9,8  |
| Ср. сут.  | -9,5    | -6,7  | 1,0   | 12,0 | 19,4 | 25,2 | 29,3 | 27,2 | 20,4 | 9,5  | -2,0  | -8,3  |
| Ср. макс. | -0,1    | 1,2   | 12,1  | 29,4 | 38,7 | 48,2 | 53,8 | 52,0 | 43,7 | 26,8 | 8,1   | 0,0   |
| Ср. мин.  | -16,8   | -12,1 | -5,4  | 2,9  | 8,5  | 12,6 | 15,2 | 13,9 | 8,7  | 0,8  | -8,5  | -14,9 |

| t° воздуха |    |     |    |   |    |     |      |    |   |    |     |
|------------|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|
| I          | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |

гельск

|       |       |       |      |      |      |      |      |      |     |      |       |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| -12,6 | -12,7 | -8,8  | -1,8 | 3,5  | 10,0 | 12,9 | 12,0 | 6,7  | 1,5 | -5,0 | -9,0  |
| -12,5 | -13,0 | -9,6  | -1,8 | 4,8  | 12,1 | 14,9 | 12,8 | 6,4  | 1,2 | -5,2 | -9,0  |
| -11,7 | -10,7 | -4,5  | 3,2  | 8,6  | 16,1 | 19,1 | 17,5 | 9,8  | 3,2 | -4,6 | -8,8  |
| -12,0 | -11,9 | -6,4  | 1,7  | 7,4  | 14,8 | 17,8 | 15,8 | 8,2  | 2,1 | -4,8 | -9,1  |
| -12,2 | -12,1 | -7,3  | 0,3  | 6,1  | 13,3 | 16,2 | 14,6 | 7,8  | 2,0 | -4,8 | -9,0  |
| -8,7  | -8,7  | -2,8  | 4,8  | 10,5 | 18,3 | 21,2 | 19,3 | 11,0 | 4,2 | -3,0 | -6,3  |
| -15,9 | -14,5 | -11,6 | -3,9 | 1,9  | 8,5  | 11,5 | 10,4 | 5,2  | 0,0 | -7,4 | -11,9 |

ск

|       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| -19,5 | -18,4 | -15,1 | -1,5 | 7,2  | 13,2 | 14,7 | 12,7 | 8,1  | 1,2  | -8,7  | -17,0 |
| -19,7 | -19,5 | -16,4 | -1,4 | 9,3  | 16,1 | 16,8 | 14,0 | 7,4  | 0,0  | -9,3  | -17,5 |
| -16,9 | -15,1 | -9,4  | 4,0  | 15,3 | 21,9 | 22,0 | 20,3 | 14,5 | 5,2  | -7,1  | -15,7 |
| -18,9 | -17,1 | -11,6 | 2,4  | 13,8 | 20,4 | 20,3 | 17,5 | 11,4 | 1,9  | -8,3  | -16,9 |
| -18,8 | -17,5 | -13,1 | 0,9  | 11,4 | 17,9 | 18,4 | 16,1 | 10,3 | 2,3  | -8,4  | -16,7 |
| -14,3 | -12,8 | -7,4  | 6,0  | 18,1 | 24,4 | 24,2 | 22,2 | 16,5 | 7,1  | -4,4  | -12,4 |
| -23,1 | -22,2 | -18,4 | -3,5 | 4,9  | 10,8 | 12,5 | 10,6 | 5,5  | -1,5 | -12,3 | -21,2 |

град

|      |       |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| -6,9 | -9,0  | -6,2 | 0,9  | 6,6  | 12,5 | 15,0 | 14,0 | 9,4  | 4,7 | -0,8 | -3,2 |
| -7,0 | -9,6  | -7,4 | 1,0  | 8,1  | 14,4 | 16,5 | 14,8 | 9,0  | 4,1 | -1,4 | -3,3 |
| -6,1 | -7,0  | -2,2 | 6,4  | 12,2 | 18,2 | 20,5 | 19,3 | 13,3 | 6,5 | -0,2 | -2,8 |
| -6,7 | -7,8  | -3,6 | 4,3  | 10,7 | 17,0 | 19,2 | 17,4 | 11,1 | 5,4 | -0,8 | -3,1 |
| -6,7 | -8,4  | -4,8 | 3,3  | 9,4  | 15,5 | 17,8 | 16,4 | 10,7 | 5,2 | -0,8 | -3,1 |
| -4,0 | -5,1  | -0,7 | 8,0  | 14,2 | 20,1 | 22,2 | 20,7 | 14,5 | 7,8 | 1,3  | -0,9 |
| -9,7 | -11,6 | -8,7 | -0,8 | 4,8  | 11,0 | 13,5 | 12,6 | 7,7  | 3,0 | -2,9 | -5,2 |

ев

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -5,1 | -6,0 | -2,1 | 5,8  | 11,8 | 15,8 | 17,5 | 16,7 | 11,8 | 6,4  | 0,7  | -2,1 |
| -5,6 | -6,7 | -3,1 | 5,2  | 12,2 | 16,8 | 18,0 | 16,5 | 10,9 | 5,2  | 0,0  | -2,5 |
| -3,6 | -3,8 | 0,7  | 10,4 | 17,4 | 21,9 | 24,1 | 22,8 | 17,6 | 10,5 | 2,4  | -1,1 |
| -4,5 | -4,6 | -0,2 | 9,1  | 15,7 | 20,3 | 22,1 | 20,5 | 14,7 | 8,1  | 1,3  | -1,7 |
| -4,7 | -5,3 | -1,2 | 7,6  | 14,2 | 18,7 | 20,4 | 19,1 | 13,7 | 7,5  | 1,1  | -1,8 |
| -1,5 | -2,2 | 2,0  | 12,6 | 19,5 | 23,8 | 25,7 | 24,6 | 19,2 | 12,1 | 3,8  | 0,4  |
| -7,3 | -8,0 | -4,0 | 3,8  | 9,8  | 13,7 | 15,4 | 14,5 | 9,6  | 4,2  | -1,2 | -4,9 |

та

|       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| -27,3 | -24,5 | -14,3 | -3,2 | 3,6  | 11,0 | 14,2 | 12,0 | 4,8  | -3,0 | -16,0 | -24,4 |
| -29,4 | -27,3 | -17,3 | -3,3 | 5,4  | 12,5 | 15,1 | 12,0 | 4,0  | -4,7 | -18,0 | -25,9 |
| -21,4 | -15,9 | -5,1  | 5,5  | 14,8 | 21,5 | 23,1 | 20,4 | 13,5 | 4,6  | -9,5  | -19,1 |
| -24,0 | -19,6 | -8,2  | 2,8  | 12,6 | 20,2 | 21,6 | 18,3 | 9,7  | 0,3  | -13,7 | -22,3 |
| -25,5 | -21,8 | -11,2 | 0,5  | 8,9  | 16,3 | 18,5 | 15,7 | 8,0  | -0,7 | -14,3 | -22,9 |
| -19,2 | -13,8 | -2,4  | 7,5  | 16,9 | 24,5 | 25,8 | 22,8 | 15,8 | 6,4  | -7,5  | -16,1 |
| -31,6 | -29,0 | -18,7 | -6,3 | 0,4  | 9,4  | 9,8  | 9,7  | 2,1  | -6,0 | -19,7 | -27,9 |

Ата

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -7,5  | -5,7 | -0,4 | 7,8  | 13,0 | 17,1 | 20,2 | 19,1 | 14,7 | 7,4  | -1,5 | -6,3 |
| -7,8  | -6,5 | -1,1 | 8,0  | 14,3 | 19,0 | 22,0 | 19,9 | 14,8 | 6,3  | -2,3 | -6,5 |
| -3,5  | -1,8 | 3,6  | 13,5 | 18,8 | 23,8 | 27,6 | 27,2 | 22,2 | 13,5 | 2,7  | -2,8 |
| -6,4  | -4,7 | 1,6  | 11,3 | 17,2 | 21,6 | 24,6 | 23,0 | 17,6 | 9,4  | -0,4 | -5,8 |
| -6,3  | -4,7 | 0,9  | 10,1 | 15,8 | 20,4 | 23,6 | 22,2 | 17,4 | 9,2  | -0,4 | -5,3 |
| -0,8  | 0,8  | 6,3  | 15,8 | 20,8 | 27,8 | 29,4 | 28,8 | 24,0 | 15,7 | 5,2  | 0,04 |
| -10,7 | -8,7 | -2,9 | 5,2  | 10,7 | 15,0 | 17,9 | 16,6 | 12,0 | 4,6  | -4,2 | -9,4 |

| Часы      | t° почвы |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-----------|----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|           | I        | II    | III   | IV    | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X     | XI    | XII   |
| Усть-     |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -18,0    | -17,1 | -15,8 | -7,6  | 0,4  | 6,8  | 10,7 | 8,9  | 4,3  | -1,7  | -10,6 | -14,8 |
| 7         | -17,8    | -17,5 | -17,0 | -6,2  | 3,0  | 11,2 | 14,8 | 11,5 | 4,7  | -1,7  | -10,4 | -14,8 |
| 13        | -17,1    | -14,8 | -8,5  | 0,7   | 9,0  | 18,1 | 23,5 | 20,2 | 10,2 | 0,5   | -9,7  | -14,6 |
| 19        | -17,8    | -16,7 | -13,9 | -3,9  | 4,5  | 13,2 | 17,6 | 13,2 | 5,7  | -1,5  | -10,4 | -15,3 |
| Ср. сут.  | -17,7    | -16,5 | -13,8 | -4,2  | 4,2  | 12,3 | 16,6 | 13,5 | 6,2  | -1,1  | -10,3 | -14,9 |
| Ср. макс. | -13,2    | -11,9 | -6,0  | 6,1   | 13,2 | 22,1 | 27,0 | 19,1 | 12,2 | 1,7   | -6,4  | -11,1 |
| Ср. мин.  | -23,6    | -12,5 | -18,9 | -11,1 | -1,2 | 5,4  | 9,3  | 7,3  | 2,2  | -4,4  | -15,6 | -20,2 |
| Ст. Ефи   |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -11,6    | -13,3 | -11,9 | -2,0  | 3,4  | 9,4  | 11,0 | 10,3 | 5,9  | 1,6   | -4,4  | -7,3  |
| 7         | -11,6    | -13,4 | -12,4 | -0,3  | 9,2  | 16,2 | 17,7 | 14,2 | 7,0  | 1,4   | -4,5  | -7,6  |
| 13        | -9,9     | -7,8  | -2,2  | 6,2   | 18,5 | 25,8 | 27,9 | 24,9 | 16,2 | 5,9   | -2,6  | -7,5  |
| 19        | -11,7    | -12,2 | -8,3  | 1,6   | 11,3 | 17,8 | 19,5 | 15,9 | 8,3  | 2,1   | -3,8  | -7,5  |
| Ср. сут.  | -11,2    | -11,7 | -8,7  | 1,4   | 10,6 | 17,4 | 19,1 | 16,4 | 9,4  | 2,7   | -4,0  | -7,3  |
| Ср. макс. | -7,7     | -6,9  | -2,0  | 5,9   | 22,0 | 27,8 | 27,8 | 26,7 | 18,3 | 6,6   | -0,2  | -5,0  |
| Ср. мин.  | -15,8    | -16,8 | -15,1 | -1,7  | 4,8  | 10,8 | 13,6 | 10,4 | 5,0  | 0,4   | -7,0  | -10,8 |
| Волго     |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -8,1     | -10,8 | -6,4  | 4,3   | 11,3 | 16,5 | 19,1 | 17,6 | 10,7 | 5,2   | -2,7  | -5,1  |
| 7         | -8,6     | -10,8 | -6,9  | 5,9   | 17,9 | 25,0 | 25,9 | 21,1 | 11,4 | 4,8   | -3,3  | -5,3  |
| 13        | -4,7     | -4,1  | 2,8   | 22,1  | 35,9 | 42,4 | 46,9 | 42,6 | 31,9 | 17,5  | 3,7   | -2,1  |
| 19        | -8,0     | -9,3  | -3,9  | 9,1   | 19,4 | 26,4 | 28,8 | 24,8 | 15,4 | 7,3   | -1,7  | -4,6  |
| Ср. сут.  | -7,4     | -8,8  | -3,6  | 10,3  | 21,1 | 27,6 | 30,2 | 26,5 | 17,3 | 8,7   | -1,0  | -4,3  |
| Ср. макс. | -3,1     | -2,1  | 5,3   | 25,8  | 40,7 | 48,5 | 51,8 | 46,7 | 35,4 | 20,4  | 5,0   | -1,0  |
| Ср. мин.  | -12,0    | -13,8 | -8,9  | 2,0   | 8,8  | 14,2 | 16,2 | 15,1 | 8,4  | 2,9   | -5,0  | -7,4  |
| Мо        |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -11,1    | -12,4 | -8,1  | 0,8   | 6,5  | 11,8 | 13,6 | 12,7 | 7,9  | 3,1   | -3,5  | -7,0  |
| 7         | -11,0    | -12,6 | -8,4  | 2,7   | 12,0 | 18,4 | 19,6 | 16,1 | 8,9  | 3,1   | -3,8  | -7,1  |
| 13        | -8,4     | -6,7  | -0,4  | 11,9  | 22,8 | 29,2 | 31,0 | 27,2 | 16,9 | 8,0   | -1,2  | -5,6  |
| 19        | -11,0    | -10,8 | -5,7  | 4,4   | 12,6 | 19,1 | 20,5 | 17,3 | 10,1 | 3,7   | -3,3  | -6,9  |
| Ср. сут.  | -10,4    | -10,6 | -5,6  | 4,9   | 13,5 | 19,7 | 21,2 | 18,3 | 11,0 | 4,5   | -3,0  | -6,6  |
| Ср. макс. | -6,0     | -5,3  | 1,3   | 14,6  | 26,6 | 33,8 | 35,9 | 30,8 | 20,6 | 9,7   | -0,1  | -4,3  |
| Ср. мин.  | -15,7    | -16,6 | -11,7 | -1,2  | 4,6  | 10,2 | 12,2 | 11,2 | 5,9  | 0,9   | -6,4  | -10,2 |
| Туруха    |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -25,2    | -30,9 | -23,6 | -13,0 | -3,4 | 6,2  | 12,1 | 8,4  | 3,5  | -5,3  | -20,7 | -23,8 |
| 7         | -25,4    | -31,4 | -24,2 | -11,8 | 0,3  | 11,7 | 17,6 | 10,8 | 3,9  | -5,8  | -20,9 | -23,6 |
| 13        | -24,8    | -26,3 | -14,3 | -2,1  | 6,2  | 19,9 | 28,1 | 20,0 | 10,4 | -3,4  | -19,6 | -23,7 |
| 19        | -25,5    | -30,1 | -21,0 | -7,8  | 2,2  | 14,1 | 20,3 | 13,4 | 5,2  | -5,2  | -20,8 | -24,1 |
| Ср. сут.  | -25,2    | -29,8 | -20,8 | -8,7  | 1,3  | 13,0 | 19,6 | 13,2 | 5,8  | -4,9  | -20,3 | -23,8 |
| Ср. макс. | -18,7    | -21,0 | -10,9 | 0,6   | 8,6  | 25,0 | 31,9 | 24,2 | 13,5 | -1,8  | -15,9 | -17,3 |
| Ср. мин.  | -30,6    | -32,7 | -26,6 | -16,6 | 6,2  | 4,5  | 10,6 | 7,2  | 1,6  | -9,6  | -26,3 | -29,9 |
| Средне-   |          |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
| 1         | -35,5    | -37,8 | -32,5 | -23,9 | -5,9 | 6,6  | 9,2  | 6,1  | -0,8 | -14,4 | -28,1 | -35,7 |
| 7         | -35,7    | -37,6 | -33,0 | -20,7 | -0,9 | 12,6 | 15,4 | 9,5  | 0,4  | -14,7 | -28,1 | -35,4 |
| 13        | -35,1    | -33,2 | -20,7 | -7,1  | 6,8  | 21,9 | 25,7 | 20,3 | 9,7  | -1,0  | -27,1 | -35,5 |
| 19        | -35,5    | -37,3 | -29,1 | -15,2 | 2,2  | 15,4 | 18,5 | 12,4 | 2,0  | -13,6 | -28,3 | -35,5 |
| Ср. сут.  | -35,4    | -36,5 | -28,8 | -16,7 | 0,5  | 14,1 | 17,2 | 12,0 | 2,9  | -13,1 | -28,0 | -35,5 |
| Ср. макс. | -24,7    | -23,2 | -14,5 | -3,7  | 12,8 | 28,7 | 32,4 | 27,7 | 15,9 | -5,5  | -12,3 | -21,5 |
| Ср. мин.  | -43,6    | -43,5 | -38,7 | -26,8 | -7,8 | 4,5  | 6,5  | 2,4  | -5,3 | -21,9 | -36,7 | -42,2 |

| t° воздуха |    |     |    |   |    |     |      |    |   |    |     |
|------------|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|
| I          | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |

# Цильма

|       |       |       |      |     |      |      |      |     |      |       |       |
|-------|-------|-------|------|-----|------|------|------|-----|------|-------|-------|
| -17,0 | -15,9 | -13,4 | -4,6 | 1,6 | 8,0  | 11,8 | 9,4  | 5,0 | -1,5 | -10,2 | -14,4 |
| -17,1 | -16,4 | -14,9 | -5,4 | 2,4 | 9,3  | 12,9 | 9,6  | 4,5 | -1,8 | -10,5 | -14,4 |
| -16,5 | -14,6 | -9,9  | 0,5  | 6,5 | 13,5 | 17,6 | 14,1 | 8,0 | 0,0  | -9,6  | -14,1 |
| -16,9 | -15,0 | -10,7 | -0,4 | 5,6 | 13,1 | 17,3 | 13,1 | 6,5 | -1,0 | -10,1 | -14,5 |
| -16,9 | -15,5 | -12,2 | -2,5 | 4,0 | 11,0 | 14,9 | 11,5 | 6,0 | -1,1 | -10,1 | -14,3 |
| -12,7 | -11,6 | -7,1  | -2,5 | 8,9 | 16,5 | 19,8 | 16,9 | 9,8 | 1,5  | -6,7  | -10,8 |
| -20,7 | -19,3 | -15,7 | -7,3 | 0,3 | 6,4  | 10,1 | 8,0  | 3,1 | -3,4 | -13,8 | -18,1 |

# МОВСКАЯ

|       |       |       |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| -10,8 | -11,7 | -8,8  | 0,2  | 4,6  | 10,0 | 11,4 | 10,6 | 6,5  | 2,0 | -3,8 | -6,9 |
| -11,0 | -12,2 | -10,2 | 0,5  | 7,3  | 13,5 | 14,7 | 12,3 | 6,8  | 1,7 | -4,1 | -7,1 |
| -9,4  | -8,7  | -2,6  | 6,3  | 12,2 | 18,2 | 19,4 | 17,8 | 12,1 | 4,4 | -2,6 | -6,4 |
| -10,4 | -10,1 | -4,6  | 4,8  | 11,2 | 16,9 | 18,3 | 16,0 | 9,5  | 2,9 | -3,6 | -6,9 |
| -10,4 | -10,7 | -5,9  | 3,0  | 8,8  | 14,7 | 15,8 | 14,2 | 8,7  | 2,7 | -3,5 | -6,8 |
| -6,9  | -6,7  | -0,9  | 7,6  | 14,8 | 20,2 | 21,6 | 19,7 | 13,5 | 5,7 | -1,0 | -4,1 |
| -13,5 | -14,6 | -11,7 | -2,1 | 2,8  | 8,3  | 9,6  | 9,5  | 4,6  | 0,2 | -5,9 | -9,6 |

# град

|       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -7,7  | -9,8  | -5,7 | 5,8  | 13,3 | 18,6 | 20,8 | 19,5 | 12,6 | 6,7  | -2,3 | -5,0 |
| -8,2  | -10,3 | -6,8 | 5,4  | 14,3 | 20,3 | 22,0 | 19,6 | 11,6 | 5,6  | -3,1 | -5,4 |
| -6,4  | -7,0  | -1,6 | 12,6 | 21,7 | 27,2 | 29,1 | 27,5 | 20,0 | 11,8 | 0,8  | -3,6 |
| -7,2  | -8,2  | -3,0 | 10,5 | 19,5 | 25,6 | 27,4 | 25,2 | 17,0 | 9,1  | -1,1 | -4,4 |
| -7,4  | -8,8  | -4,3 | 8,6  | 17,2 | 22,9 | 24,8 | 22,9 | 15,3 | 8,3  | -1,4 | -4,6 |
| -4,2  | -5,2  | 0,2  | 14,7 | 23,5 | 29,3 | 31,0 | 29,5 | 21,6 | 13,8 | 2,4  | -1,9 |
| -10,5 | -11,9 | -7,9 | 3,3  | 10,4 | 15,8 | 18,2 | 16,8 | 9,9  | 4,3  | -4,6 | -7,1 |

# СКВА

|       |       |      |     |      |      |      |      |      |     |      |      |
|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| -10,1 | -10,2 | -5,4 | 2,9 | 8,8  | 13,4 | 14,8 | 13,8 | 9,0  | 4,2 | -2,9 | -6,5 |
| -10,3 | -11,0 | -6,6 | 2,9 | 10,2 | 15,6 | 16,7 | 14,5 | 8,8  | 3,6 | -3,4 | -6,7 |
| -8,6  | -7,6  | -1,3 | 8,3 | 15,2 | 20,4 | 21,8 | 19,9 | 13,7 | 6,7 | -1,4 | -5,6 |
| -9,5  | -8,5  | -2,6 | 6,9 | 13,9 | 19,2 | 20,3 | 18,0 | 11,2 | 5,1 | -2,4 | -6,1 |
| -9,6  | -9,3  | -4,0 | 5,2 | 12,0 | 17,2 | 18,4 | 16,6 | 10,7 | 4,9 | -2,5 | -6,2 |
| -6,6  | -5,9  | 0,3  | 9,8 | 17,2 | 22,2 | 21,5 | 21,4 | 15,1 | 7,3 | -0,5 | -4,1 |
| -12,8 | -12,8 | -7,7 | 0,2 | 6,8  | 11,6 | 13,2 | 12,0 | 7,2  | 2,2 | -4,9 | -8,7 |

# НСК

|       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| -24,8 | -28,5 | -21,0 | -10,4 | -2,1 | 7,9  | 13,7 | 9,7  | 4,8  | -6,2 | -20,1 | -23,2 |
| -24,9 | -28,8 | -22,2 | -11,2 | -1,0 | 9,8  | 15,7 | 10,5 | 4,5  | -6,8 | -20,2 | -22,9 |
| -24,5 | -26,0 | -15,6 | -3,8  | 3,8  | 13,3 | 20,5 | 14,6 | 8,0  | -4,6 | -18,9 | -23,0 |
| -24,8 | -27,0 | -16,9 | -4,6  | 3,5  | 12,9 | 19,4 | 13,6 | 6,6  | -5,8 | -19,8 | -23,3 |
| -24,7 | -27,8 | -18,9 | -7,5  | 1,0  | 11,0 | 17,3 | 12,1 | 6,0  | -5,8 | -19,8 | -23,1 |
| -18,3 | -21,0 | -11,7 | -2,5  | 5,1  | 16,2 | 22,1 | 17,2 | 10,1 | -2,3 | -17,0 | -19,4 |
| -28,2 | -29,6 | -24,4 | -13,8 | -3,3 | 6,2  | 13,0 | 8,2  | 3,0  | -8,3 | -24,2 | -28,1 |

# КОЛЫМСК

|       |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| -34,5 | -35,4 | -28,6 | -19,3 | -4,1 | 8,0  | 11,0 | 7,7  | 0,9  | -12,2 | -11,3 | -14,2 |
| -34,5 | -35,9 | -30,2 | -19,3 | -2,3 | 9,7  | 12,8 | 8,4  | 0,8  | -12,8 | -11,4 | -14,2 |
| -34,0 | -32,4 | -21,8 | -10,6 | 2,8  | 13,6 | 17,0 | 12,9 | 6,1  | -9,0  | -10,8 | -14,1 |
| -34,3 | -33,9 | -23,5 | -11,4 | 1,8  | 13,4 | 16,5 | 12,1 | 4,2  | -11,1 | -11,2 | -14,1 |
| -34,4 | -34,5 | -26,0 | -15,2 | -0,4 | 11,1 | 14,4 | 10,5 | 3,0  | -11,3 | -11,2 | -14,1 |
| -32,2 | -31,0 | -20,0 | -8,9  | 4,3  | 16,8 | 19,7 | 15,4 | 26,9 | -8,4  | -9,8  | -12,9 |
| -38,4 | -38,6 | -31,8 | -23,0 | -6,6 | 6,4  | 9,3  | 5,6  | -0,9 | -14,9 | -12,7 | -15,6 |

| Часы      | t° почвы |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-----------|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|           | I        | II    | III   | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI    | XII   |
| Ирку      |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -25,6    | -26,2 | -17,6 | -2,8 | 1,9  | 9,8  | 13,1 | 11,1 | 3,7  | -2,8 | -15,6 | -23,3 |
| 7         | -26,2    | -27,9 | -18,8 | -0,6 | 8,4  | 16,7 | 18,4 | 14,3 | 5,1  | -3,1 | -16,0 | -23,6 |
| 13        | -18,0    | -14,9 | -1,5  | 11,0 | 24,0 | 33,5 | 34,8 | 30,8 | 22,3 | 11,0 | -6,1  | -17,0 |
| 19        | -24,4    | -21,8 | -11,4 | 1,3  | 10,9 | 19,8 | 22,0 | 17,4 | 8,1  | -0,7 | -14,1 | -23,0 |
| Ср. сут.  | -23,6    | -22,7 | -12,3 | 2,2  | 11,3 | 20,0 | 22,1 | 18,4 | 9,8  | 1,1  | -13,0 | -21,7 |
| Ср. макс. | -16,5    | -11,0 | 0,6   | 16,6 | 31,0 | 39,1 | 40,0 | 35,5 | 26,2 | 13,5 | -4,4  | -15,3 |
| Ср. мин.  | -30,8    | -30,8 | -21,6 | -5,2 | -0,3 | 7,8  | 11,3 | 9,3  | 1,7  | -5,2 | -19,4 | -28,6 |
| Тби       |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -1,4     | -0,5  | 2,3   | 7,8  | 13,5 | 17,4 | 20,3 | 19,7 | 15,7 | 9,5  | 4,3   | -0,6  |
| 7         | -2,4     | -1,2  | 2,2   | 10,1 | 19,1 | 23,4 | 25,9 | 23,6 | 16,4 | 9,3  | 3,6   | -1,4  |
| 13        | 9,7      | 13,6  | 19,7  | 29,8 | 41,0 | 46,5 | 52,7 | 50,0 | 39,2 | 28,4 | 15,5  | 9,1   |
| 19        | 0,0      | 1,5   | 5,2   | 12,3 | 19,3 | 24,0 | 30,4 | 25,9 | 19,4 | 12,3 | 5,6   | 0,6   |
| Ср. сут.  | 1,5      | 3,4   | 7,4   | 14,9 | 23,2 | 27,8 | 32,3 | 29,8 | 22,7 | 14,8 | 7,2   | 1,9   |
| Ср. макс. | 11,3     | 16,2  | 23,0  | 33,9 | 45,7 | 50,7 | 50,6 | 52,5 | 41,4 | 30,6 | 17,8  | 10,9  |
| Ср. мин.  | -4,2     | -2,8  | 0,8   | 5,5  | 11,6 | 15,4 | 18,4 | 18,2 | 13,8 | 7,3  | 2,2   | 3,2   |
| Ми        |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -6,8     | -8,8  | -6,7  | 1,6  | 7,8  | 12,3 | 13,9 | 14,2 | 8,6  | 3,8  | -0,7  | -4,0  |
| 7         | -6,8     | -9,0  | -6,7  | 3,2  | 12,5 | 18,4 | 18,7 | 15,9 | 9,5  | 3,5  | -1,0  | -4,1  |
| 13        | -4,3     | -3,7  | 1,4   | 14,0 | 25,5 | 31,2 | 31,7 | 29,3 | 21,5 | 10,6 | 1,7   | -2,4  |
| 19        | -6,9     | -7,8  | -4,4  | 5,5  | 14,4 | 20,3 | 21,1 | 18,3 | 11,6 | 5,1  | -0,7  | -3,7  |
| Ср. сут.  | -6,2     | -7,3  | -4,1  | 6,1  | 15,0 | 20,4 | 21,4 | 19,4 | 12,8 | 5,8  | -0,2  | -3,6  |
| Ср. макс. | -3,0     | -2,4  | 2,9   | 17,1 | 29,7 | 36,6 | 42,7 | 33,5 | 24,6 | 12,4 | 2,6   | -1,2  |
| Ср. мин.  | -10,6    | -12,5 | -9,9  | -0,4 | 5,9  | 10,5 | 12,2 | 11,3 | 6,6  | 1,7  | -2,9  | -6,7  |
| Сыкты     |          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1         | -16,0    | -17,3 | -13,0 | -3,9 | 3,0  | 9,9  | 12,4 | 11,8 | 6,0  | -0,2 | -8,3  | -11,5 |
| 7         | -16,0    | -17,6 | -13,6 | -2,2 | 6,7  | 16,2 | 17,7 | 13,9 | 6,2  | -0,5 | -8,7  | -11,6 |
| 13        | -14,4    | -13,0 | -4,8  | 3,5  | 16,1 | 27,5 | 28,4 | 24,8 | 13,0 | 2,9  | -6,8  | -11,1 |
| 19        | -15,8    | -16,6 | -10,4 | -0,8 | 9,0  | 18,8 | 20,1 | 16,0 | 7,5  | 0,1  | -8,3  | -11,7 |
| Ср. сут.  | -15,5    | -16,1 | -10,4 | -0,8 | 8,7  | 18,1 | 19,6 | 16,6 | 8,2  | 0,6  | -8,0  | -11,5 |
| Ср. макс. | -11,7    | -11,1 | -3,6  | 4,6  | 19,6 | 31,6 | 31,8 | 28,4 | 15,8 | 4,2  | -4,8  | -8,5  |
| Ср. мин.  | -20,9    | -21,8 | -17,4 | -6,5 | 0,9  | 8,4  | 13,2 | 9,0  | 4,0  | -2,7 | -12,5 | -16,0 |

Необходимо заметить, что ряд наблюдений  $t_{п.п}^{\circ}$  сравнительно однородный и короткий (начинается с 1947 г. и заканчивается 1960 г.), затруднительно для климатологической обработки; поэтому обычно для получения величин  $t_{п.п}^{\circ}$  прибегают к их приведению по  $t_{в}^{\circ}$  [4—6], поскольку между  $t_{п.п}^{\circ}$  и прилегающим к ней слоем воздуха имеется теплокорреляция за счет постоянно происходящего радиационного и конвекционного теплообмена. В связи с этим представляет большой интерес разработка способа определения  $t_{п.п}^{\circ}$  косвенным методом: по температуре воздуха.

В климатологии приведение осуществляется методом корреляционных графиков и методом разностей. Из анализа зависимости  $t_{п.п}^{\circ}$  от  $t_{в}^{\circ}$  на основании средних месячных данных [4—6] выяснено, что существует удовлетворительная корреляция между ними и в первом при-



| t° воздуха |    |     |    |   |    |     |      |    |   |    |     |
|------------|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|
| I          | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |

ТСК

|       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| -24,4 | -24,4 | -15,6 | -2,7 | 2,9  | 10,0 | 12,7 | 10,5 | 3,6  | -3,0 | -15,3 | -22,4 |
| -25,1 | -26,6 | -18,1 | -2,0 | 5,7  | 12,7 | 14,8 | 11,6 | 3,7  | -4,0 | -16,4 | -23,1 |
| -19,5 | -16,3 | -5,2  | 5,8  | 14,6 | 20,6 | 22,6 | 20,0 | 13,3 | 6,4  | -8,5  | -18,3 |
| -22,5 | -19,6 | -8,1  | 3,4  | 12,0 | 18,8 | 20,6 | 17,0 | 8,5  | 1,2  | -12,8 | -21,0 |
| -22,8 | -21,8 | -11,8 | 1,1  | 8,8  | 15,5 | 17,7 | 14,8 | 7,3  | 0,1  | -13,2 | -21,2 |
| -16,9 | -13,6 | -2,8  | 7,7  | 16,6 | 23,6 | 24,9 | 22,1 | 15,8 | 8,0  | -6,6  | -15,7 |
| -28,5 | -28,6 | -19,8 | -5,2 | 0,8  | 7,2  | 10,5 | 8,4  | 1,3  | -5,6 | -19,0 | -26,7 |

ЛИСИ

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,6  | 1,6  | 3,9  | 9,2  | 14,6 | 17,9 | 20,9 | 20,9 | 16,7 | 11,1 | 5,9  | 1,4  |
| -0,3 | 0,6  | 3,0  | 8,8  | 15,3 | 18,8 | 21,4 | 21,0 | 16,2 | 10,0 | 5,0  | 0,5  |
| 5,8  | 6,6  | 9,2  | 15,8 | 22,4 | 26,0 | 29,2 | 29,5 | 24,2 | 18,5 | 11,1 | 6,6  |
| 2,8  | 4,0  | 7,0  | 13,4 | 19,4 | 23,2 | 26,6 | 26,0 | 20,2 | 13,9 | 7,6  | 3,2  |
| 2,2  | 3,2  | 5,8  | 11,8 | 17,9 | 21,5 | 24,6 | 24,4 | 19,3 | 13,4 | 7,4  | 2,9  |
| 7,3  | 8,1  | 10,9 | 17,8 | 24,1 | 27,8 | 31,1 | 31,2 | 25,8 | 19,9 | 12,3 | 7,7  |
| -1,3 | -0,2 | 2,4  | 7,2  | 12,7 | 16,0 | 19,0 | 18,9 | 14,8 | 9,1  | 4,1  | -0,5 |

НСК

|      |       |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| -6,1 | -7,6  | -5,0 | 3,4  | 8,8  | 13,0 | 14,3 | 13,5 | 9,5  | 4,7 | -0,4 | -3,7 |
| -6,3 | -8,4  | -5,8 | 2,9  | 10,2 | 14,9 | 15,8 | 14,2 | 9,1  | 3,9 | -0,9 | -3,8 |
| -5,1 | -5,6  | -0,9 | 8,4  | 15,5 | 19,3 | 20,8 | 20,0 | 15,2 | 7,9 | 0,7  | -2,8 |
| -5,9 | -6,4  | -2,4 | 6,8  | 13,8 | 18,6 | 19,4 | 18,0 | 12,5 | 6,2 | 0,0  | -3,3 |
| -5,8 | -7,0  | -4,3 | 5,3  | 12,1 | 16,5 | 17,6 | 16,4 | 11,6 | 5,7 | -0,2 | -3,4 |
| -3,4 | -3,9  | 0,6  | 10,0 | 16,8 | 21,9 | 15,7 | 21,7 | 16,6 | 9,2 | 2,0  | -1,4 |
| -8,7 | -10,2 | -7,3 | 1,2  | 6,9  | 11,2 | 12,6 | 11,7 | 7,6  | 2,9 | -2,2 | -5,6 |

вкар

|       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| -15,0 | -15,8 | -10,9 | -1,5 | 4,4  | 11,3 | 12,4 | 11,3 | 7,2  | 0,1  | -8,2  | -10,9 |
| -15,1 | -16,5 | -12,6 | -1,6 | 5,4  | 13,4 | 13,8 | 12,1 | 6,0  | -0,1 | -8,5  | -11,1 |
| -14,1 | -13,2 | -5,7  | 4,4  | 10,2 | 18,4 | 18,5 | 18,4 | 10,0 | 1,9  | -7,0  | -10,6 |
| -14,5 | -14,3 | -7,2  | 2,8  | 9,5  | 17,9 | 17,6 | 16,7 | 8,1  | 0,6  | -7,9  | -10,9 |
| -14,7 | -15,0 | -9,1  | 1,0  | 7,4  | 15,2 | 15,6 | 14,6 | 7,8  | 0,6  | -7,9  | -10,9 |
| -11,2 | -10,9 | -3,4  | 5,6  | 12,7 | 20,9 | 22,5 | 20,0 | 11,5 | 3,1  | -5,0  | -8,0  |
| -18,5 | -19,0 | -14,5 | -3,7 | 2,4  | 9,5  | 11,7 | 9,4  | 4,6  | -1,7 | -11,1 | -14,1 |

близении связь можно считать линейной. Соотношение между  $t_{п.п}^{\circ}$  и  $t_{в}^{\circ}$  можно представить в виде

$$t_{п.п.}^{\circ} = bt_{в}^{\circ} + a. \quad (1)$$

Определение коэффициентов  $a$  и  $b$  для различных условий погоды, времени суток, сезонов и различных географических районов поможет найти метод определения температуры поверхности почвы по температуре воздуха. Для определения влияния облачности на величину и характер связи  $t_{п.п}^{\circ}$  и  $t_{в}^{\circ}$  были проведены обработки их данных отдельно по каждому сроку наблюдений (1, 7, 13 и 19 часов). Данные были сгруппированы по градам облачности, общепринятым в климатологии. По этим данным строились графики зависимости  $t_{п.п}^{\circ}$  от  $t_{в}^{\circ}$ . В качестве иллюстрации на рис. 5 представлена зависимость

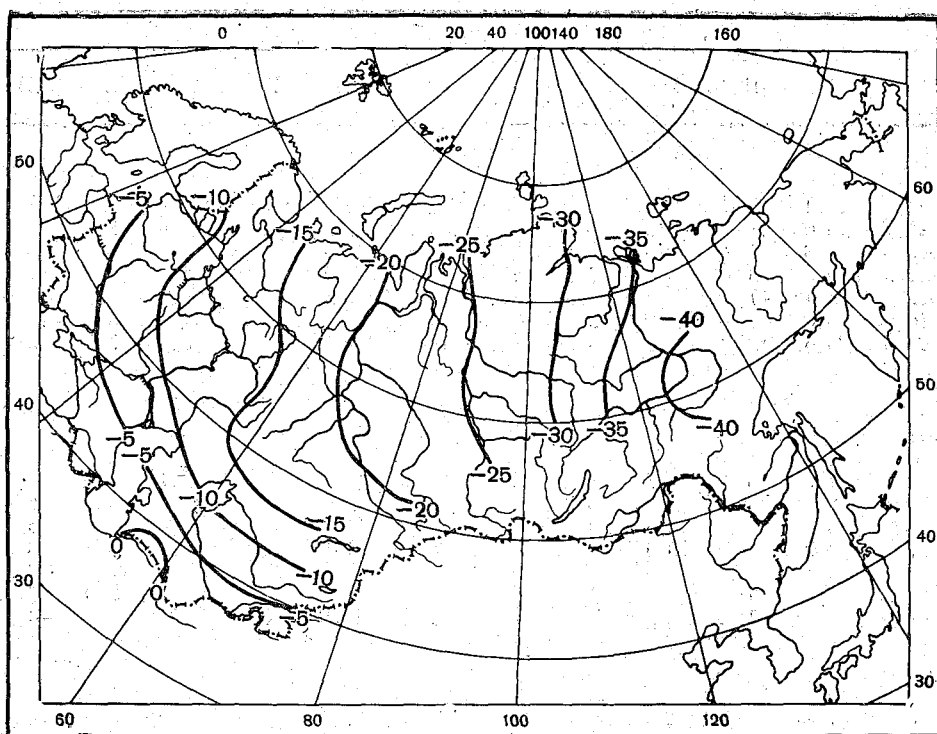


Рис. 1. Карта-схема распределения  $t_{п-п}^{\circ}$  в январе за 1 час.

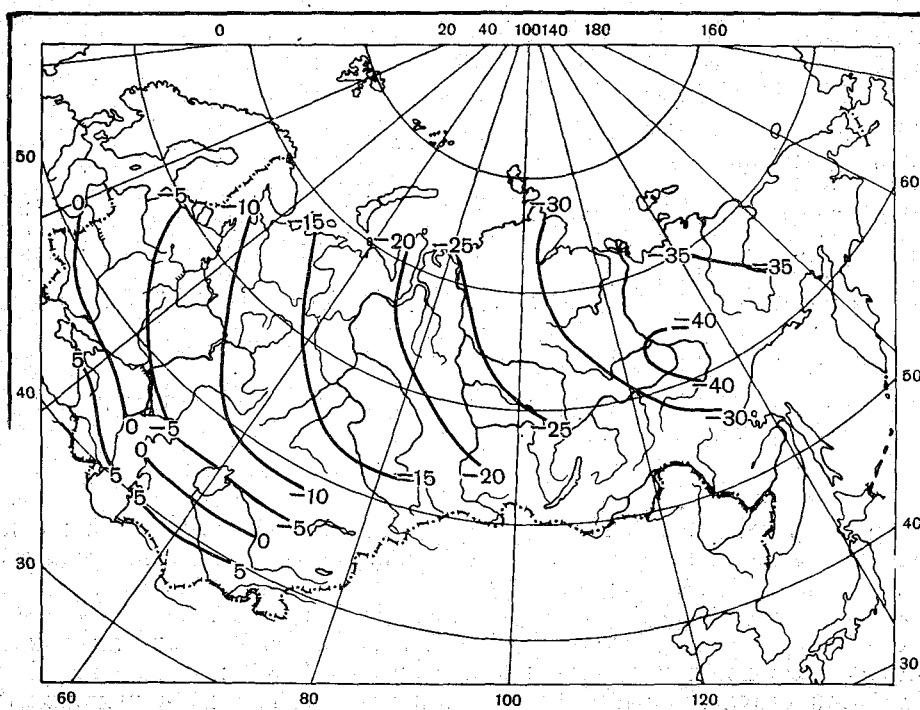


Рис. 2. Карта-схема распределения  $t_{п-п}^{\circ}$  в январе за 13 час.

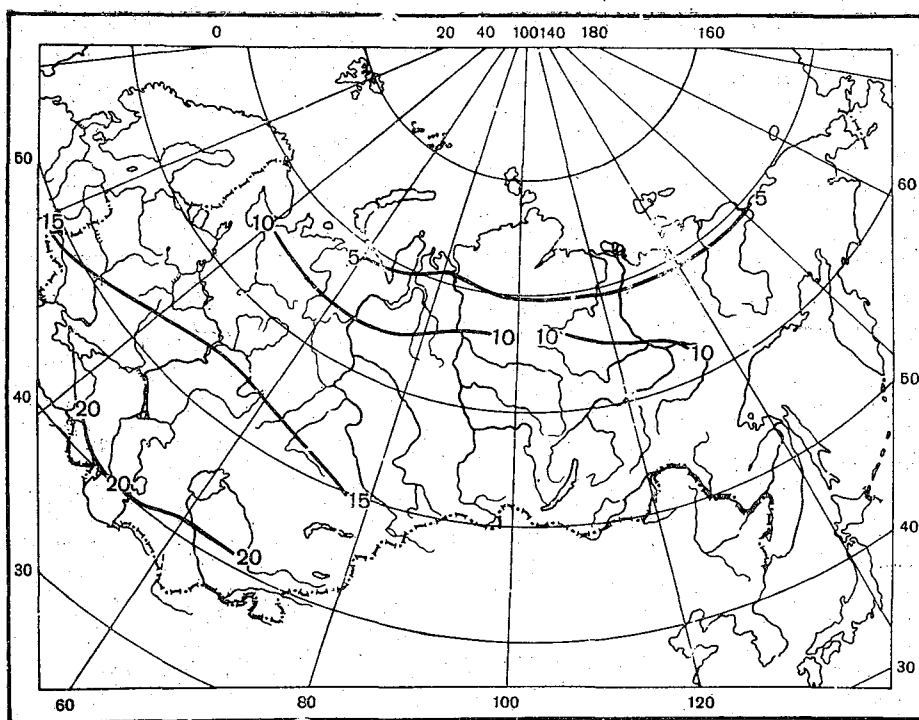


Рис. 3. Карта-схема распределения  $t_{п.п}^{\circ}$  в июле за 1 час.

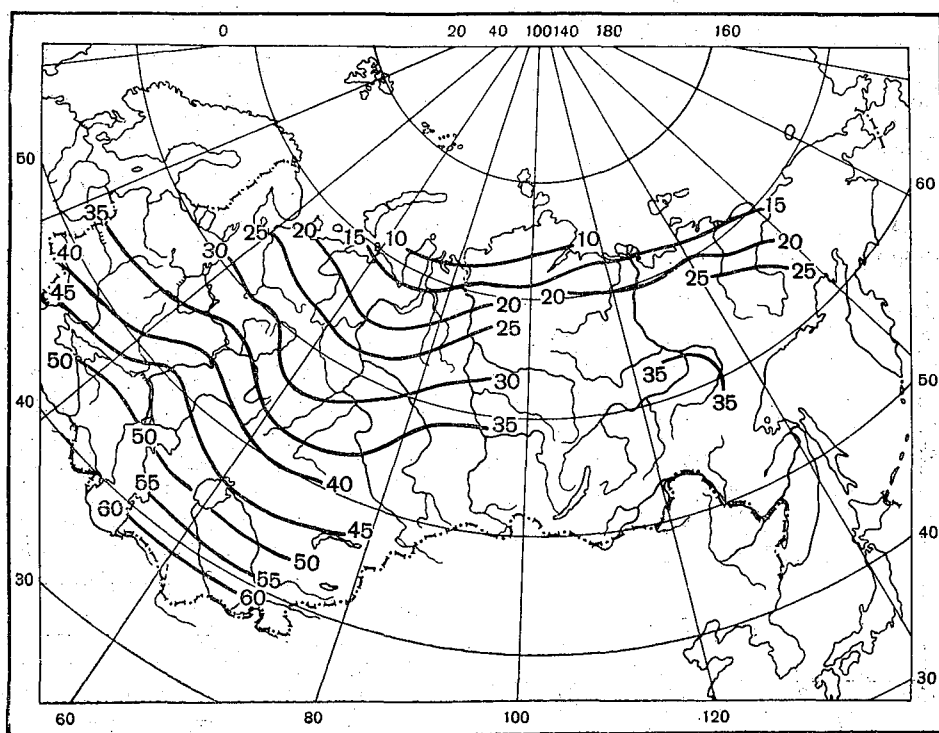


Рис. 4. Карта-схема распределения  $t_{п.п}^{\circ}$  в июле за 13 час.

$t_{п.п}^{\circ}$  от  $t_{в}^{\circ}$  для Владивостока за 1 час. Обработка велась отдельно для каждого месяца и по сезонам. При обработке материалы наблюдений были разделены на 2 группы. В одну группу входили дни со снежным покровом, в другую — без снежного покрова.

Таблица 2

| Значения коэффициентов $a$ и $b$ |           |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Пункт наблюдений                 | Год       | Сезон | $a$  |      |      |      | $b$  |      |      |      |
|                                  |           |       | 1    | 7    | 13   | 19   | 1    | 7    | 13   | 19   |
| Ясно                             |           |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Владивосток                      | 1956      | лето  | -4,0 | -3,0 | 4,8  | -3,8 | 1,00 | 1,20 | 1,40 | 1,10 |
|                                  |           | зима  | -4,0 | -3,0 | 9,0  | -4,4 | 0,92 | 0,95 | 1,20 | 0,89 |
| Владивосток                      | 1957      | лето  | -3,0 | -3,6 | 6,0  | -2,4 | 1,12 | 1,20 | 1,60 | 0,96 |
|                                  |           | зима  | -2,6 | -3,0 | 7,2  | -4,6 | 1,00 | 0,96 | 1,24 | 0,93 |
| Одесса<br>Иркутск<br>Москва      | 1956—1958 | лето  | -1,0 | 1,4  | 6,0  | -3,6 | 0,95 | 1,13 | 1,59 | 1,10 |
|                                  |           | зима  | -4,0 | 0,0  | 1,6  | -3,4 | 0,94 | 1,04 | 0,92 | 0,96 |
| Полуясно                         |           |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Одесса<br>Иркутск<br>Москва      | 1956—1958 | лето  | -1,7 | -0,2 | 3,0  | -2,4 | 1,00 | 1,21 | 1,61 | 1,14 |
|                                  |           | зима  | -2,3 | -3,0 | -0,2 | -2,0 | 0,97 | 0,93 | 0,98 | 1,06 |
| Пасмурно                         |           |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Владивосток                      | 1956      | лето  | -0,8 | -0,8 | -3,0 | -0,4 | 1,00 | 1,10 | 1,68 | 1,10 |
|                                  |           | зима  | -0,2 | -0,4 | 4,0  | -0,8 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Владивосток                      | 1957      | лето  | -0,2 | 0,4  | -0,4 | 0,0  | 1,00 | 1,10 | 1,50 | 1,00 |
|                                  |           | зима  | -1,4 | -1,6 | 3,2  | -0,8 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,10 |
| Одесса<br>Иркутск<br>Москва      | 1956—1958 | лето  | -0,4 | -0,2 | 0,0  | -2,0 | 1,00 | 1,15 | 1,55 | 1,15 |
|                                  |           | зима  | -0,8 | -0,5 | 1,0  | -1,6 | 1,00 | 1,00 | 0,92 | 1,00 |

В табл. 2 даны величины коэффициентов  $a$  и  $b$ , полученные графическим способом. Эти коэффициенты могут быть использованы для расчетов  $t_{п.п}^{\circ}$  по  $t_{в}^{\circ}$ .

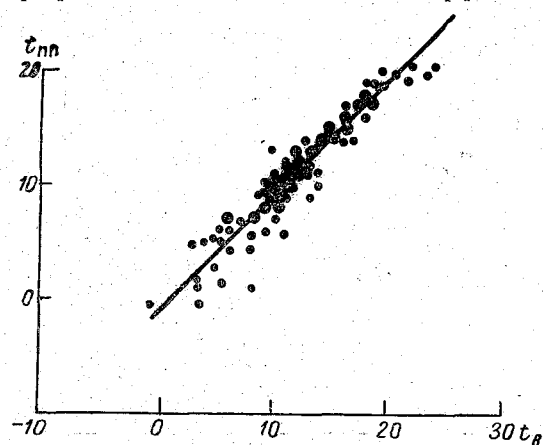


Рис. 5. График зависимости  $t_{п.п}^{\circ}$  от  $t_{в}^{\circ}$  для Владивостока за 1 час. Лето 1956 г., пасмурно.

Из табл. 2 видно, что значения коэффициента  $a$  колеблются от 9 до  $-4,6^{\circ}$  зимой и от 6 до  $-4^{\circ}$  летом. Весной и осенью они близки к 0. Коэффициент  $b$  имеет величину, близкую к 1 зимой, и от 1,0 до 1,6 летом, когда в 13 часов его величина имеет максимальное значение (1,61).

Другим методом, применяемым в практике климатологической обработки, является метод разностей между температурами деятельной поверхности и воз-

духа ( $t_{п.п}^{\circ} - t_{в}^{\circ}$ ). Он применяется и для целей приведения и для критического просмотра материала наблюдений, так как разности, как правило, бывают устойчивы для одной и той же станции и имеют хорошо выраженный суточный ход. Характерным для всех станций является то, что положительные разности наблюдаются в летние месяцы. Эти выводы получены в работах [3—5, 7] на материале значительного числа станций. Автором были определены значения разностей  $t_{п.п}^{\circ} - t_{в}^{\circ}$  для различных градаций облачности.

В табл. 3 представлены средние разности  $t_{п.п}^{\circ} - t_{в}^{\circ}$  за 4—5 лет для восьми станций СССР, расположенных в различных географических районах. Данные этой таблицы показывают, что закономерности, полученные на основании обработки среднемесячных данных [3—5, 7, 8], сохраняются при нашей обработке, т. е. ночью разности  $t_{п.п}^{\circ} - t_{в}^{\circ}$  во все сезоны отрицательны, днем почти в течение всего года положительны и при уменьшении облачности растут главным образом за счет увеличения дневного максимума температуры.

Таким образом, при достаточно полном изучении величин разностей  $t_{п.п}^{\circ} - t_{в}^{\circ}$  на территории СССР можно пользоваться формулой приведения для определения  $t_{п.п}^{\circ}$  в любой момент времени в любом географическом районе, если будет известна  $t_{в}^{\circ}$ . Формула приведения одного метеорологического элемента к другому при постоянстве разностей имеет следующий вид [7]:

$$\overline{B}_N' = \overline{A}_N + (\overline{B}_h - \overline{A}_h), \quad (2)$$

где  $\overline{B}_N'$  — средняя величина  $t_{п.п}^{\circ}$ , приведенная к данному периоду  $N$  лет по  $t_{в}^{\circ}$ ;  $\overline{A}_N$  — средняя многолетняя величина  $t_{в}^{\circ}$  за период  $N$  лет;  $\overline{B}_h$  — средняя величина  $t_{п.п}^{\circ}$  за период  $h$  лет;  $\overline{A}_h$  — средняя величина  $t_{в}^{\circ}$  за период  $h$  лет.

Поскольку в настоящее время на сети станций производятся наблюдения температуры оголенной поверхности почвы, то для того чтобы оценить ошибки, вносимые в расчеты уходящего излучения по этим данным, необходимо провести сравнение данных параллельных наблюдений  $t_{п.п}^{\circ}$  на участке оголенном и с естественным покровом. Такие сравнения сделаны для станций Воейково, Колтуши, Куйбышев, Смоленск и Якутск.

В табл. 4 представлены разности между температурой оголенной почвы и температурой почвы с естественным покровом ( $t_{ог.п}^{\circ} - t_{ест.п}^{\circ}$ ), средние для летних дней с ясной погодой за трех-четырёхлетний период для градаций «ясно». По ст. Колтуши были рассчитаны разности для трех градаций: «ясно», «полужасно» и «пасмурно».

Из этой таблицы видно, что разности между температурой оголенной поверхности почвы и температурой почвы с естественным покровом в ночные часы отрицательны, величина их около  $1-2^{\circ}$ , а днем они положительны и величина их порядка  $4-6^{\circ}$ . Наблюдения  $t_{п.п}^{\circ}$  с естественным покровом проводятся в течение нескольких последних лет на тех метеостанциях, где производятся градиентные наблюдения. Для некоторых станций были получены разности между  $t_{п.п}^{\circ}$  с естественным покровом и температурой воздуха. В табл. 5 представлены величины разностей  $t_{ест.п}^{\circ} - t_{в}^{\circ}$  шести станций для градаций «ясно». Из табл. 5 видно, что суточный и сезонный ход разностей такой же, как для разностей  $t_{ог.п}^{\circ} - t_{в}^{\circ}$ , но абсолютные значения разностей меньше как для отрицательных величин в ночные часы, так и для положительных величин в 13 час.

Средние разности между температурой

| Пункт наблюдений | Облачность | 1 час |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  |            | I     | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
| Мурманск         | ясно       | -1,5  | -2,0 | -2,2 | -2,0 | -2,2 | -2,2 | -2,9 | -2,2 | -1,9 | -1,1 | -1,2 | -1,7 |
| Воейково         | ясно       | —     | —    | —    | —    | -4,2 | -2,1 | -1,9 | -1,5 | -1,8 | -2,0 | —    | —    |
| Москва           | ясно       | -3,4  | -2,9 | -4,1 | -3,2 | -3,7 | -3,5 | -3,0 | -2,5 | -2,8 | -2,0 | -1,9 | -1,4 |
|                  | пасмурно   | -0,9  | -0,8 | -0,8 | -1,7 | -1,7 | -1,0 | -0,9 | -1,0 | -1,9 | -1,3 | -0,8 | -0,1 |
|                  | полужасно  | 0,1   | -3,4 | -2,9 | -3,0 | -2,5 | -4,4 | -0,9 | 1,8  | -2,4 | -1,8 | -0,4 | -1,4 |
|                  | ясно       | —     | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Киев             | ясно       | -1,9  | -2,8 | -1,3 | -3,4 | -2,4 | -1,7 | -1,5 | -1,8 | -2,3 | -2,9 | -1,6 | -1,5 |
|                  | пасмурно   | -0,2  | -0,3 | 0,0  | -1,1 | -0,5 | 0,0  | -0,2 | -0,2 | -0,6 | -1,0 | -0,2 | -0,3 |
| Одесса           | ясно       | -0,9  | -1,4 | -2,2 | -2,6 | -2,3 | -2,1 | -1,8 | -1,8 | -2,2 | -3,6 | -1,8 | -2,1 |
|                  | пасмурно   | -0,2  | -0,2 | -0,8 | -0,6 | -0,7 | -0,8 | -0,9 | -0,9 | -0,8 | -1,0 | -0,6 | 0,2  |
|                  | полужасно  | -1,0  | -1,3 | -2,2 | -2,2 | -1,1 | -1,6 | -1,5 | -1,4 | -1,9 | -2,4 | -0,8 | -2,7 |
|                  | ясно       | —     | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Караганда        | ясно       | -3,5  | -3,1 | -2,0 | -2,1 | -2,5 | -2,2 | -1,4 | -1,7 | -2,5 | -2,2 | -0,9 | -2,3 |
| Иркутск          | ясно       | -1,5  | -2,0 | -2,9 | 0,0  | -0,9 | 0,1  | 0,6  | 0,2  | -0,2 | -0,2 | -0,7 | -1,6 |
|                  | пасмурно   | -0,2  | -1,2 | -1,6 | -0,2 | 0,7  | 0,2  | 0,4  | 0,7  | 0,0  | -0,5 | -0,4 | -0,1 |
|                  | полужасно  | -1,7  | -1,6 | -1,4 | 1,1  | -1,1 | -0,4 | 5,9  | -0,8 | 0,2  | 0,1  | -1,4 | -1,9 |
|                  | ясно       | —     | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Верхоянск        | ясно       | -4,2  | -5,6 | -8,2 | -8,7 | -3,0 | -4,9 | -5,0 | -5,5 | -4,3 | -4,1 | -3,9 | -4,1 |

| Пункт наблюдений | Облачность | 13 час. |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  |            | I       | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
| Мурманск         | ясно       | 2,5     | -0,6 | 1,2  | 3,1  | 8,4  | 10,2 | 10,6 | 7,7  | 1,0  | -0,4 | -2,7 | -1,6 |
| Воейково         | ясно       | —       | —    | —    | —    | 8,1  | 12,1 | 13,8 | 10,0 | —    | 0,0  | —    | —    |
| Москва           | ясно       | 0,0     | -1,3 | 1,3  | 6,4  | 17,3 | 18,0 | 14,4 | 15,9 | 11,1 | 0,2  | -1,4 | -0,1 |
|                  | пасмурно   | 1,4     | 0,0  | 0,9  | 2,4  | 6,8  | 7,4  | 10,5 | 6,1  | 4,0  | -0,1 | 0,1  | 0,0  |
|                  | полужасно  | -1,5    | -3,4 | 2,0  | 9,7  | 13,0 | 16,5 | 15,3 | 12,4 | 8,5  | -0,4 | -2,7 | -1,4 |
|                  | ясно       | —       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Киев             | ясно       | -1,8    | 2,5  | 5,9  | 12,2 | 21,2 | 26,0 | 26,4 | 17,0 | 12,6 | 0,8  | -1,2 | -2,0 |
|                  | пасмурно   | 0,7     | 1,1  | 2,2  | 7,6  | 11,6 | 13,9 | 12,9 | 10,1 | 5,5  | 2,2  | 1,2  | 0,2  |
| Одесса           | ясно       | 4,9     | 8,9  | 14,4 | 20,8 | 24,1 | 24,3 | 24,0 | 21,0 | 18,2 | 14,0 | 7,4  | 2,9  |
|                  | пасмурно   | 0,7     | 3,1  | 4,2  | 10,0 | 15,6 | 15,2 | 15,4 | 12,3 | 8,5  | 5,8  | 2,2  | 1,5  |
|                  | полужасно  | 2,4     | 6,4  | 10,1 | 20,5 | 19,8 | 22,2 | 19,1 | 21,0 | 14,1 | 10,5 | 4,8  | 2,4  |
|                  | ясно       | —       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Караганда        | ясно       | 2,4     | 3,6  | 4,8  | 8,3  | 18,8 | 22,4 | 20,2 | 17,0 | 17,7 | 11,3 | 4,9  | 0,7  |
| Иркутск          | ясно       | 1,7     | 2,8  | 4,0  | 11,7 | 18,3 | 21,7 | 20,9 | 19,1 | 15,4 | 8,4  | 3,2  | 3,2  |
|                  | пасмурно   | 1,0     | 7,1  | 2,2  | 7,6  | 10,3 | 12,7 | 12,3 | 9,9  | 7,4  | 4,4  | 2,6  | 1,6  |
|                  | полужасно  | 1,8     | 2,9  | 2,7  | 10,4 | 15,5 | 18,5 | 18,5 | 16,7 | 14,1 | 2,0  | 3,6  | 6,6  |
|                  | ясно       | —       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Верхоянск        | ясно       | -2,7    | -0,2 | 5,5  | 3,0  | 5,0  | 15,8 | 18,5 | 14,3 | 8,4  | -0,5 | -3,1 | -4,6 |

Таблица 3

оголенной почвы и температурой воздуха

| 7 час.  |      |       |      |      |     |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|-------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| I       | II   | III   | IV   | V    | VI  | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
| -1,5    | -2,0 | -1,1  | 0,8  | 2,6  | 4,2 | 3,9  | 2,4  | -0,6 | -1,2 | -1,3 | -1,7 |
| —       | —    | —     | —    | 1,1  | 2,8 | 1,5  | 0,7  | -1,1 | -2,0 | —    | —    |
| -1,0    | -3,0 | -2,8  | -1,1 | 4,0  | 4,5 | 4,8  | 2,2  | -2,2 | -2,4 | 0,1  | 0,3  |
| -0,7    | -0,9 | -0,8  | -0,5 | 0,4  | 1,9 | 2,5  | 0,9  | 0,0  | -1,0 | -0,4 | -0,3 |
| -2,8    | -2,9 | -3,4  | 0,3  | 2,8  | 4,0 | 4,0  | 0,9  | -0,7 | -3,3 | -1,8 | -1,3 |
| -2,3    | -2,9 | -0,9  | 0,2  | 4,1  | 5,4 | 4,4  | 1,7  | -1,7 | -2,0 | -1,7 | -0,7 |
| -0,1    | -0,4 | 0,3   | 0,5  | 2,4  | 3,1 | 2,9  | 1,4  | -1,8 | -0,8 | 0,1  | -0,3 |
| -1,6    | 0,4  | -0,8  | 1,5  | 3,9  | 6,1 | 4,4  | 2,2  | -0,3 | -2,7 | -1,0 | -2,9 |
| -0,1    | -0,1 | -0,7  | -0,4 | 3,1  | 3,6 | 2,3  | 1,4  | -0,6 | -0,8 | -0,5 | -0,1 |
| -1,6    | -1,4 | -0,7  | 1,8  | 4,1  | 5,0 | 4,9  | 1,9  | -0,1 | -2,0 | -1,2 | -1,6 |
| -3,0    | -3,1 | -1,0  | 0,0  | 5,6  | 5,3 | 4,7  | 3,2  | 0,4  | -0,9 | -0,9 | -2,2 |
| -1,0    | -2,1 | 0,1   | 1,9  | 4,2  | 6,4 | 5,3  | 3,8  | 1,6  | 0,9  | 0,1  | -1,3 |
| -1,0    | -1,2 | 0,5   | 1,3  | 2,2  | 3,9 | 3,3  | 2,2  | 1,1  | -0,1 | 0,2  | -0,6 |
| -0,9    | —    | -1,9  | 0,6  | 4,0  | 5,8 | 5,7  | 3,7  | 0,9  | 0,0  | 0,4  | -0,6 |
| -3,9    | -5,4 | -5,8  | -4,0 | 0,1  | 5,4 | 4,6  | 1,6  | -1,7 | -2,9 | -3,8 | -3,9 |
| 19 час. |      |       |      |      |     |      |      |      |      |      |      |
| I       | II   | III   | IV   | V    | VI  | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
| -1,8    | -3,3 | -3,3  | -2,3 | 0,3  | 1,2 | 0,4  | -0,2 | -3,0 | -1,7 | -1,8 | -1,5 |
| —       | —    | —     | —    | -1,2 | 2,4 | 3,4  | -0,4 | -1,8 | -2,0 | —    | —    |
| -2,9    | -5,1 | -3,8  | -3,7 | -1,5 | 1,3 | -0,2 | -3,2 | -3,1 | -3,5 | -2,6 | -2,4 |
| -0,9    | -1,1 | -1,8  | -2,3 | -0,7 | 0,2 | 0,3  | -0,7 | -1,2 | -1,5 | -0,5 | -0,5 |
| -2,9    | -2,1 | -3,8  | -2,5 | 3,0  | 0,2 | 0,2  | 1,0  | -2,3 | -1,4 | -1,4 | -1,7 |
| -3,4    | -3,5 | -1,3  | -2,4 | -1,1 | 0,1 | 0,0  | -1,0 | -1,7 | -3,2 | -1,9 | -1,6 |
| -0,2    | -0,6 | -0,2  | -0,6 | 0,5  | 1,9 | 1,3  | 0,2  | -1,0 | -1,0 | -0,1 | -0,3 |
| -1,7    | -2,1 | -1,5  | -0,8 | 0,8  | 1,9 | 1,3  | 0,4  | -1,4 | -3,1 | -1,9 | -2,1 |
| -0,9    | 0,0  | -0,7  | 0,0  | 1,1  | 1,8 | 1,4  | 1,0  | -0,5 | -0,6 | -0,6 | -1,2 |
| -1,0    | -0,8 | -2,1  | -1,5 | 0,6  | 1,3 | 1,5  | 0,9  | -1,0 | -1,7 | -2,2 | -2,1 |
| -2,6    | -2,8 | -1,1  | -2,3 | -1,3 | 1,1 | 0,9  | -1,0 | -2,9 | -2,8 | -1,6 | -2,4 |
| -2,6    | -4,1 | -3,8  | -0,8 | -0,8 | 1,8 | 3,0  | 0,3  | -1,8 | -1,7 | -1,7 | -2,0 |
| -1,8    | -2,2 | -2,4  | 0,1  | -0,4 | 1,6 | 2,0  | 1,1  | -0,5 | -0,7 | 0,6  | -1,0 |
| -2,4    | -5,6 | -3,4  | -2,5 | -0,5 | 1,1 | 0,4  | 0,8  | 0,4  | -2,6 | -2,3 | -2,4 |
| -5,4    | -8,3 | -11,8 | -9,4 | -2,4 | 1,3 | 1,4  | -4,0 | -5,3 | -6,6 | -5,1 | -4,5 |

Таблица 4

Средние разности между температурой «оголенной» почвы  
и температурой почвы с естественным покровом

| Пункт наблюдений, время | Облач-<br>ность | Срок | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    |
|-------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Колтуши, 1959—1963 гг.  | ясно            | 1    | 0,3  | 0,4  | -0,4 | -1,5 | 0,1  | 0,3  |
|                         |                 | 13   | 4,8  | 5,7  | 4,8  | 3,6  | 1,0  | -1,8 |
|                         | пасмурно        | 1    | 0,7  | 0,8  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  |
|                         |                 | 13   | 2,0  | 2,4  | 2,8  | 1,3  | 0,7  | -0,1 |
|                         | полужасно       | 1    | 1,2  | 1,1  | -0,2 | 0,0  | 0,3  | 1,0  |
|                         |                 | 13   | 3,2  | 3,9  | 4,0  | 1,6  | 1,3  | —    |
| Куйбышев, 1961—1963 гг. | ясно            | 1    | -0,7 | 0,3  | 0,1  | -0,4 | -0,7 | -0,7 |
|                         |                 | 7    | 3,8  | 4,0  | 2,3  | 2,6  | 1,5  | -1,0 |
|                         |                 | 13   | 6,2  | 7,9  | 5,5  | 7,9  | 7,3  | 6,5  |
|                         |                 | 19   | 0,9  | 2,5  | 2,9  | 1,3  | 0,4  | -0,4 |
| Смоленск, 1960—1963 гг. | ясно            | 1    | 0,7  | -0,8 | -0,2 | -0,2 | -0,3 | -0,6 |
|                         |                 | 7    | -0,9 | -1,9 | 1,1  | 0,4  | -0,3 | 0,4  |
|                         |                 | 13   | 2,5  | -0,1 | 4,4  | 0,8  | 2,9  | 3,0  |
|                         |                 | 19   | 1,4  | 1,9  | 1,1  | 0,7  | 0,2  | 0,3  |
| Воейково, 1957—1962 гг. | ясно            | 1    | -1,1 | -2,2 | -1,7 | -2,0 | -1,0 | -1,0 |
|                         |                 | 7    | 1,2  | 2,3  | 1,3  | -0,3 | -1,0 | -1,7 |
|                         |                 | 13   | 4,4  | 6,1  | 6,2  | —    | —    | 0,5  |
|                         |                 | 19   | -0,9 | 0,8  | 0,9  | 0,0  | 0,0  | -0,7 |
| Якутск, 1957—1960 гг.   | ясно            | 1    | -0,3 | 1,1  | 0,9  | 0,9  | -0,8 | 1,0  |
|                         |                 | 13   | 0,0  | 0,5  | 1,0  | -1,3 | -0,1 | 2,2  |
|                         |                 | 13   | 2,8  | 3,6  | 3,3  | 1,5  | 1,9  | 3,1  |
|                         |                 | 19   | 2,6  | 4,2  | 4,1  | 4,1  | 2,4  | 1,5  |

Таблица 5

Средние разности между температурой почвы с естественным покровом  
и температурой воздуха

| Пункт наблюдений   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1 час              |      |      |      |      |      |      |
| Воейково . . . . . | -2,5 | 0,8  | -0,3 | 0,3  | -2,0 | —    |
| Колтуши . . . . .  | -1,5 | -1,0 | -2,0 | -1,0 | -2,0 | 1,0  |
| Торопец . . . . .  | -1,2 | -0,2 | 0,4  | 0,9  | 1,0  | -0,4 |
| Смоленск . . . . . | -2,4 | -1,6 | -0,9 | -0,8 | -1,2 | -1,0 |
| Куйбышев . . . . . | -2,9 | -2,2 | -2,2 | -2,0 | -2,3 | -2,0 |
| Якутск . . . . .   | -2,1 | -3,2 | -2,4 | -2,2 | -2,6 | -2,5 |
| 7 час.             |      |      |      |      |      |      |
| Воейково . . . . . | —    | 0,7  | 0,3  | 0,9  | —    | —    |
| Колтуши . . . . .  | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Торопец . . . . .  | 2,2  | 2,4  | 1,2  | 1,1  | 1,2  | -0,6 |
| Смоленск . . . . . | 0,0  | -0,4 | 0,8  | -0,6 | -1,2 | -0,1 |
| Куйбышев . . . . . | 1,1  | 2,1  | 1,9  | 0,4  | -1,1 | -0,7 |
| Якутск . . . . .   | 1,4  | 1,7  | 0,9  | -0,1 | -3,3 | -1,7 |
| 13 час.            |      |      |      |      |      |      |
| Воейково . . . . . | 2,3  | 6,7  | 7,3  | 6,0  | -1,3 | —    |
| Колтуши . . . . .  | 14,0 | 14,0 | 19,0 | 11,0 | 4,0  | -1,5 |
| Торопец . . . . .  | 11,4 | 9,8  | 11,0 | 18,5 | 3,7  | 0,1  |
| Смоленск . . . . . | 7,3  | 12,7 | 11,4 | 7,0  | 4,2  | 1,0  |
| Куйбышев . . . . . | 13,8 | 18,0 | 17,0 | 12,9 | 4,4  | 2,3  |
| Якутск . . . . .   | 11,9 | 15,8 | 16,3 | 13,7 | 10,6 | 2,3  |



| Пункт наблюдений   | V    | VI   | VII  | VII  | IX   | X    |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| 19 час.            |      |      |      |      |      |      |
| Воейково . . . . . | -0,7 | 1,4  | 1,3  | -0,3 | —    | —    |
| Колтуши . . . . .  | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Торопец . . . . .  | -0,9 | 0,6  | 0,9  | 0,3  | -0,5 | -2,5 |
| Смоленск . . . . . | -1,9 | -0,6 | -0,3 | -2,3 | -1,5 | -2,4 |
| Куйбышев . . . . . | -0,5 | 1,5  | 2,0  | -1,8 | -2,4 | -2,2 |
| Якутск . . . . .   | 0,4  | 1,2  | 1,1  | -2,1 | -3,8 | -5,0 |

Таким образом, при расчетах уходящего излучения в случае пасмурной погоды и в ночные часы при любой погоде можно достаточно надежно использовать данные температуры оголенной почвы. В случае безоблачной погоды в дневные часы ошибка за счет использования температуры оголенной почвы вместо температуры почвы с естественным покровом может достигать 5°.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев К. Я., Тер-Маркрянц Н. Е. О возможности обнаружения облачности на ночной стороне Земли по данным измерений уходящего теплового излучения в «окне прозрачности» атмосферы. Тр. ГГО, вып. 170, 1965.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3, ч. 1, Гидрометеониздат, Л., 1946.
3. Б у д ы к о М. И. Температура деятельной поверхности и ее биоклиматическое значение. Сб. «Современные проблемы метеорологии приземного слоя воздуха». Гидрометеониздат, Л., 1958.
4. Ш к а д о в а А. К. К вопросу о методике климатологической обработки наблюдений над температурой поверхности почвы. Тр. ГГО, вып. 162, 1964.
5. А р х и п о в а Е. П. Метод косвенного определения температуры поверхности оголенной почвы. Тр. ГГО, вып. 30(92), 1954.
6. Методы климатологической обработки. Гидрометеониздат, Л., 1957.
7. А б р а м о в а Е. И., Т р и ф о н о в а Т. С. К вопросу критического просмотра наблюдений над температурой поверхности почвы. Тр. ГГО, вып. 43, 1954.
8. А й з е н ш т а д т Б. А. Радиационный баланс и температура поверхности почвы в Ташкенте. Тр. ТГО, вып. 13, 1957.

Ю. С. ФРИДМАН, В. Е. ГОЛЬДИН

## ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЛАЧНОСТИ НА ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

Сделана первая попытка решения задачи параметризации фотографий облачных систем, полученных с помощью телевизионных камер, установленных на борту искусственных спутников Земли. Предлагаются некоторые общие приемы математической обработки данных о яркости облачных систем после их фотометрирования.

### Введение

Телевизионные изображения облачности являются в настоящее время наиболее важной метеорологической информацией, получаемой с борта искусственного спутника Земли. Они могут быть непосредственно использованы для метеорологического анализа. Уже сейчас анализ фотографий со спутника позволяет обнаружить характер атмосферной циркуляции, проследить закономерности изменчивости планетарного облачного покрова [1]. Классификация облаков, отмечаемых спутником, предложена Кановером [4] в 1962 г. Она основана на учете типичных мезомасштабных зон и составлена с привлечением радарных и самолетных снимков.

В атласе [5] приведено изображение разнообразной коллекции облачных вихрей и сопровождающих их данных о фронтальных зонах и давлении на поверхности земли, исследованы и классифицированы вихри облаков, наблюдаемые в спутниковой фотографии, на основе сходства облачных образов.

В настоящей работе авторы предлагают математические методы исследования облачных систем, не противопоставляя их синоптическим.

Колоссальный объем информации, который будет получен со спутников, потребует полной автоматизации ее обработки с помощью быстродействующих электронных вычислительных машин. Для параметризации снимков облачности необходимо при помощи автоматического фотометра численно охарактеризовать яркости снимка в дискретных точках. В настоящей статье предполагается, что при фотометрировании кадры облачных снимков разбиваются на элементарные площадки и каждой из них дается численная оценка средней яркости. Так как дещифровочными признаками облачных систем являются яркость и

структура изображения на снимке, необходимо учитывать самые различные факторы, искажающие информацию. Эти искажения обусловлены оптическими системами и регистрирующими устройствами. В частности, на качество изображения существенно влияет разрешающая способность телевизионной аппаратуры. В различных частях кадра ширина раstra различна. Близ подспутниковой точки, где камера направлена прямо вниз, ширина раstra наименьшая. Она тем больше, чем больше угол наклона оси камеры к вертикали и чем больше высота спутника [1] и [2]. Эту особенность телевизионных снимков облачности при математической обработке на ЭЦВМ авторы решили не принимать во внимание: учет этих и некоторых других факторов, искажающих яркость облачных систем, не внесет принципиальных математических трудностей.

Блок-схемы вычисления параметров даны для простоты записи в прямоугольной системе координат, однако при переходе от двумерной прямоугольной сетки линий на плоскости к двумерной сферической сетке, соответствующей географической карте распределения облачности, достаточно в блок-схемах яркость каждой элементарной площадки брать с весом, равным ее площади. В дальнейшем будем для определенности считать, что таблица яркости вводится в ЭЦВМ по столбцам слева направо. Если почему-либо понадобится изменить порядок ввода, то блок-схемы несущественно изменятся.

В этой статье приводятся некоторые численные характеристики облачных систем, безусловно не использующие всю информацию, которую дают телевизионные снимки облачности. В работе предлагается производить на ЭЦВМ математическую обработку фотометрических данных об облачных системах, например, в следующей последовательности:

- 1) вычисление начальных и центральных моментов яркости снимка;
- 2) выявление некоторых характеристических линий рисунка — определение границ облачности на данном снимке, «средних» линий, расположенных между границами, отыскание линий экстремальной яркости;
- 3) отыскание кривизны характеристических линий;
- 4) характеристика и классификация особых точек рисунка облачности;
- 5) характеристика ячеистой структуры облаков.

### Метод моментов

Статистическое среднее значение яркости облаков  $\bar{x}$  является одной из характеристик облачного покрова:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{k=1}^n x_k}{n},$$

где  $x$  — значение яркости снимка на элементарной площадке  $n$ ,  $n$  — число элементарных площадок.

Для характеристики рассеивания, разбросанности значений случайной величины около ее среднего арифметического значения применяется второй центральный момент  $\mu_2$  статистической величины, или дисперсия статистической величины. Дисперсия  $\mu_2$  представляет собой

момент инерции отдельных значений статистической величины относительно центра тяжести:

$$\mu_2 = \sigma^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n}.$$

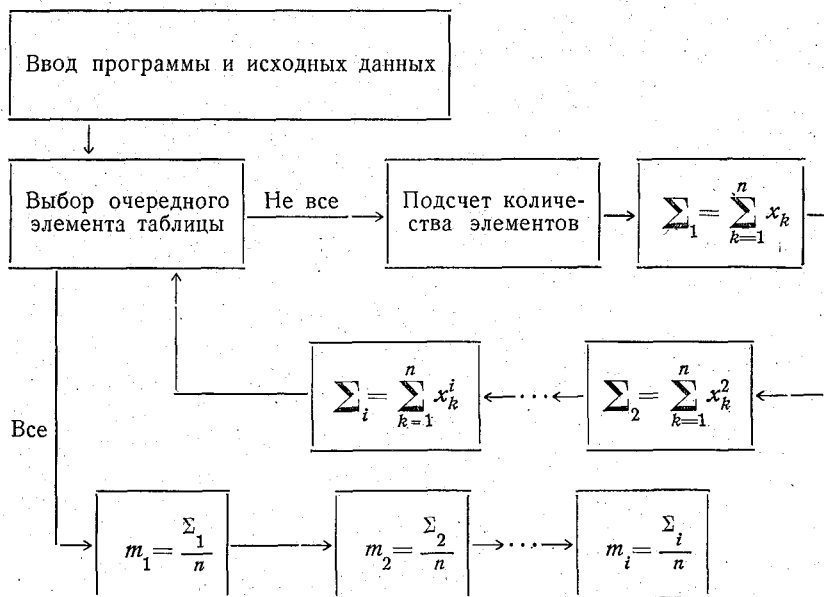
Основное отклонение  $\sigma$  имеет размерность статистической величины. Если распределение симметрично относительно среднего значения, то все моменты нечетного порядка равны 0. В качестве характеристики асимметрии естественно выбрать простейший из нечетных моментов. Но для любой случайной величины первый центральный момент  $\mu_1$  равен 0. Поэтому естественно за численную характеристику степени «скошенности» значений относительно  $\bar{x}$  принять третий центральный момент  $\mu_3$ :

$$\mu_3 = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^3}{n}.$$

Величина  $\mu_3$  имеет размерность куба статистической величины. Мера косости  $\alpha = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$  является безразмерной величиной. Моменты более высоких порядков для характеристики облачного покрова вряд ли стоит применять.

В блок-схеме № 1  $\Sigma_i$  — сумма  $i$ -х степеней всех элементов таблицы значений яркости,  $m_i$  — момент порядка  $i$  яркости данного снимка.

**БЛОК-СХЕМА № 1**  
Вычисление начальных моментов на ЭЦВМ



При помощи начальных моментов определяются центральные моменты по формулам

$$\begin{aligned} \mu_2 &= m_2 - m_1^2; \\ \mu_3 &= m_3 - 3m_2m_1 + 2m_1^3. \end{aligned}$$

Чем мельче деление таблицы на элементы, тем точнее будут выводы. Но начиная с некоторого момента увеличивать число элементарных площадок не имеет смысла; во-первых, в силу ограниченной разрешающей способности средств исследования, например фотоаппаратуры, и, во-вторых, ввиду сравнительно высокой допускаемой ошибки. Рассмотрим эти ограничения лишь с точки зрения возможностей ЭЦВМ.

Известно, что достаточно большой массив информации может восприниматься ЭЦВМ лишь как одномерный; как многомерная таблица может восприниматься только такой массив, который полностью помещается в оперативной памяти ЭЦВМ. Для линейного текста надо знать скорость считывания информации (для «Урала-4», например, это 800 чисел в секунду); для многомерного текста — объем оперативного запоминающего устройства. Для «Урала-4» это примерно 4000 чисел. Перейдем теперь к методам определения на ЭЦВМ характеристических линий.

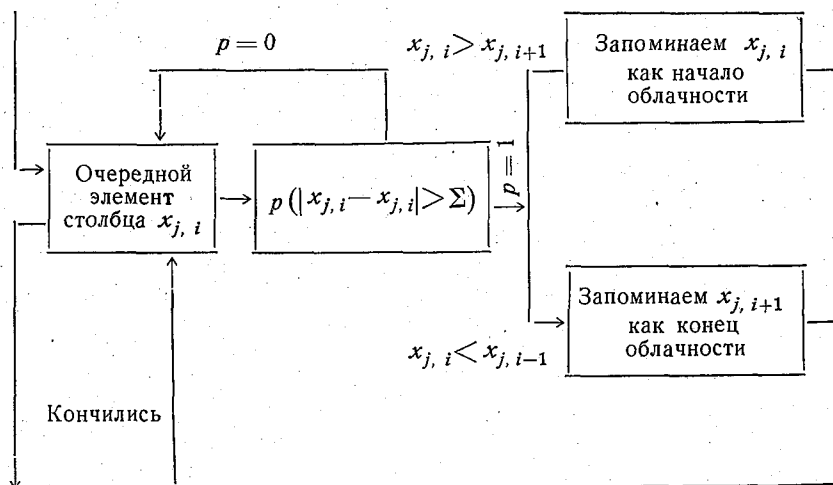
### Определение на ЭЦВМ характеристических линий снимков облачности

Под границами облачности будем понимать линии скачков яркости. Введем некоторую (критериальную) величину  $\epsilon$ , зависящую от контрастности снимков, фотометрической шкалы яркости и других факторов:  $\epsilon$  следует выбрать так, чтобы из неравенства  $|x_{j,i} - x_{j,i+1}| > \epsilon$  следовало, что граница облачности пересекается между строчками  $i$  и  $i+1$  в столбце  $j$ .

Как видно из блок-схемы № 2, некоторые элементарные площадки могут быть двусторонними границами облачности. При написании блок-схемы имелось в виду, что информация записана линейно по столбцам, один за другим. После выполнения этой программы будут получены границы облаков.

#### БЛОК-СХЕМА № 2

##### Выявление на фотоснимках границ облачности



Если на некотором участке граничная линия облачности идет вертикально или почти вертикально (рис. 1), то при линейной записи информации по столбцам некоторая часть границы может быть не выявлена (участок ABC на рис. 1). В этом случае, если разбиение снимка было не слишком мелким и вся таблица поместилась в оперативной памяти,

следует повторить программу, просмотривая таблицу уже по строчкам (в блок-схеме для этого надо поменять местами индексы  $i$  и  $j$ ). Если же таблица в оперативной памяти не помещается, то лучше применить метод, описанный ниже.

На рис. 1 а изображена граница облачности с штриховкой внутри облака. На рис. 1 б эта граница совмещена с прямоугольной сеткой. На рис. 1 в указаны точки разрывов яркости снимка со стрелкой вниз, если наблюдалось начало облачности, и стрелкой вверх, если — конец облачности. Границы проходят через соответствующие граничные точки соседних столбцов, справа для начальных точек облачности и слева для концов облачности (рис. 1 г). Если в соседнем столбце нет вблизи граничных точек (точки  $A$  и  $B$ ), граница будет идти в этом столбце вниз, если наблюдалось начало облачности, или, если — конец облачности, вверх до первой точки, имеющей в соседнем столбце вблизи соответствующую граничную точку (рис. 1 г, от точки  $A$  до точки  $B^1$ ), или до конца облачности в этом столбце (рис. 1 г, от точки  $B$  до точки  $C$ ).

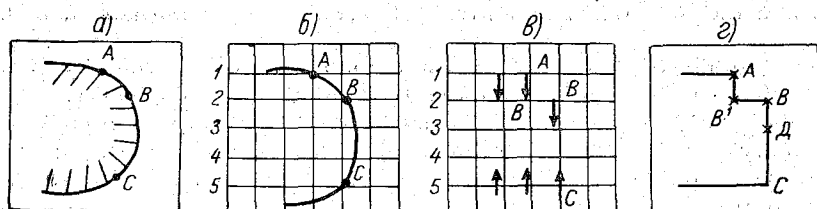


Рис. 1. Выявление границ облачности.

Для выявления и классификации особых точек необходимо рассмотреть экстремальные линии яркости. Их следует выявить на ЭЦВМ следующим образом: в каждом столбце выделим точки локальных экстремумов яркости и по этим точкам составим непрерывные кривые. Если на каком-то участке экстремальная кривая имеет вертикальное или близкое к нему направление, то некоторые точки кривой могут быть при этом не выявлены. Тогда дополнение экстремальных кривых до непрерывных производится так же, как для граничных линий облачности.

Для характеристики основных линий рисунка облачности можно применить не только граничные и экстремальные линии яркости облачности, но и некоторые другие, являющиеся в некотором смысле средними линиями. Например, можно рассматривать геометрическое место середин вертикальных отрезков, соединяющих ближайшие граничные точки контура облака ( $AB$  на рис. 2), или геометрическое место центров окружностей, касающихся двух соседних границ облачности ( $AB$  на рис. 3).

### Определение кривизны характеристических линий

Как известно, кривизной  $K$  линии  $L$  в точке  $M$  называется модуль вектора  $\frac{d\bar{\tau}}{ds}$ , где  $\bar{\tau}$  — орт касательной  $k$  линии  $L$  в точке  $M$ ,  $s$  — длина дуги кривой:

$$K = \left| \frac{d\bar{\tau}}{ds} \right|; \quad K \approx \left| \frac{\Delta\bar{\tau}}{\Delta s} \right|.$$

Для приближенного вычисления кривизны поступаем, например, так: выбираем некоторый достаточно малый шаг  $h$  и аппроксимируем

кривую ломаной с длиной каждого звена  $h$ . Если каждое звено ломаной  $l_{i-1, i}$  вычесть из последующего  $l_{i, i+1}$ , рассматривая их как векторы, то кривизна определится формулой

$$K = \frac{|\bar{l}_{i, i+1} - \bar{l}_{i-1, i}|}{h^2}.$$

Среднее значение  $\bar{K}$  для характеристических линий одного снимка является численной характеристикой, значение и изменение которой связано, возможно, с особенностями погодообразующих процессов. Это можно будет в дальнейшем установить или опровергнуть путем специальных исследований.

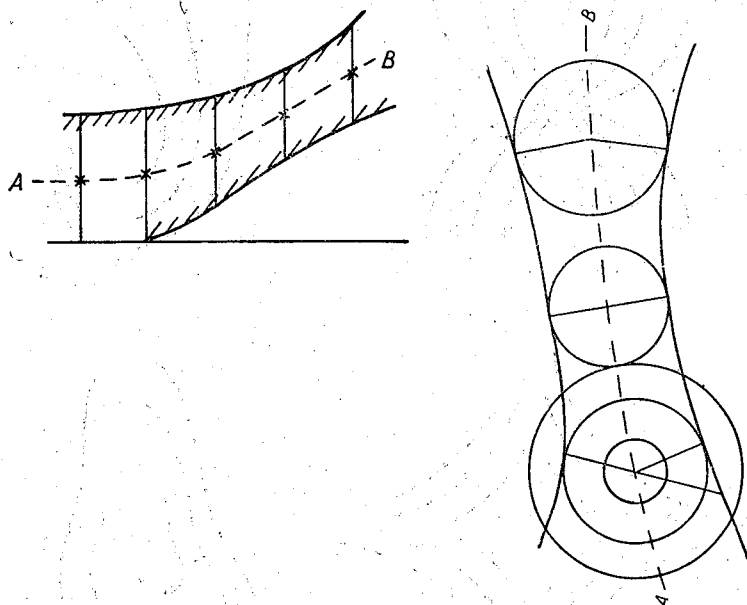


Рис. 2 и 3. Отыскание «средних» линий фотографий облачности.

### Отыскание и классификация особых точек снимков облачности на ЭЦВМ

Если через одну точку проходит несколько экстремальных кривых и все они имеют общую касательную, то будем считать, что в этой особой точке находится «узел». Если ни одна из экстремальных кривых не замкнута, но хотя бы одна пересекает все радиусы, выходящие из одной точки, или если все кривые почти во всех своих точках строго монотонны по полярному углу  $\varphi$  при движении по экстремали из полюса (для полярных координат с полюсом в особой точке), то это будет фокус. Если это условие не выполняется, то особая точка, через которую проходит несколько экстремальных кривых, называется седлом. Если кривая замкнута и не проходит через особые точки, ищем внутри все замкнутые кривые; центр тяжести наименьшей из них будет являться особой точкой, называемой центром. Таково словесное описание блок-схем нахождения и определения типа особых точек (см. рис. 4—7).

### Мера «зернистости»

В качестве параметров, характеризующих степень зернистости, можно предложить:

- 1) среднее количество зерен, приходящихся на единицу площади (надо рассматривать только центральную часть рисунка);
- 2) среднюю площадь одной ячейки (зерна) данного снимка облачности;
- 3) различные численные характеристики распределения ячеек данной облачной системы по размерам.

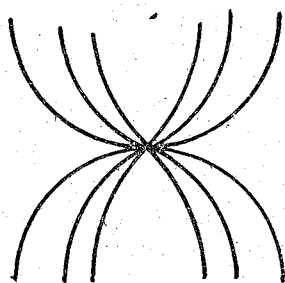


Рис. 4. Узел.



Рис. 5. Фокус.

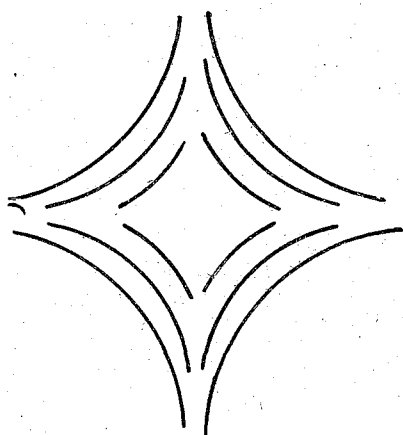


Рис. 6. Седло.

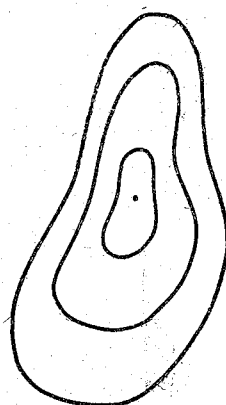


Рис. 7. Центр.

### Классификация снимков облачности

Следующим после параметризации этапом математической обработки снимков облачности является классификация фотоснимков. Известно [1], что фотографии распределения облачности обнаружили полосы облаков, ячеистые системы облаков и позволили также обнаружить сильные штормы ледяных и снежных полей и т. д. Для оперативного использования спутниковых фотографий облаков надо систематизировать их различные образцы. Одним из методов классификации снимков является разбиение их на классы в зависимости от значений рассмотренных параметров.

Значения наших параметров можно рассматривать как компоненты вектор-функции, определенной в пространстве рецепторов (яркость эле-



ментарных площадок), причем если пространство рецепторов имеет размерность порядка сотен или тысяч, то пространство параметров имеет размерность порядка нескольких единиц. Кроме того, есть основания полагать, что в пространстве параметров выполняется гипотеза компактности, ввиду чего в этом пространстве можно применять известные алгоритмы распознавания образов [3]. В пространстве рецепторов ввиду сложности образов спутниковых фотографий гипотеза компактности, очевидно, не выполняется. При распознавании образов в пространстве рецепторов, когда их число не менее  $25 \times 25$ , требуемая память превысит возможность современных ЭЦВМ (для «Урала-4» 81920 двоичных разрядов).

Распознавание образов, основанное на знании параметров снимка, будет, вероятно, настолько простым, что классификацию снимков можно будет произвести с помощью значений решающей функции, т. е. не понадобится громоздких, сложных и не вполне надежных существующих алгоритмов распознавания образов [3]. В качестве распознающей функции можно принять, например,

$$f(p_1, \dots, p_k) = \sum_{i=1}^k c_i (p_i^{(g)} - p_i^{(m)})^2,$$

где  $p_i^{(g)}$  — значение параметра  $i$  для данного образа,  $p_i^{(m)}$  — значение параметра  $i$  для шаблонных снимков. Данный снимок относится к тому классу (шаблону), для которого распознающая функция  $f(p_1, \dots, p_k)$  достигает минимальных значений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев К. Я. Метеорологические спутники. Гидрометеиздат, Л., 1963.
2. Ракеты и искусственные спутники в метеорологии. Сб. переводных статей под ред. М. Малкевича. ИЛ, 1963.
3. Аркадьев А. Г., Браверман Э. М. Обучение машины распознаванию образов. Изд. «Наука», М., 1964.
4. Conover J. H. Interpretation of clouds and mesoscale cloud patterns as seen from satellite altitudes. Proceed. of the first Intern. symposium on rocket and satellite meteorology. Washington, D. C., 1962.
5. Atlas of cloud vortex patterns observed in satellite photographs. By Eldon J. Wiegmon, Rex G., Nadfield and Sidney M. Washington, D. S. April, 1964.

Ю. С. ФРИДМАН, Г. Л. ШУБОВА

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИМАССОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

Рассматриваются медленные внутримассовые изменения атмосферного аэрозоля. Изучается прозрачность атмосферы для прямой солнечной радиации в интервале спектра 0,509—0,644 мк.

### Введение

Исследование стабильности атмосферного аэрозоля имеет важное значение для целого ряда вопросов. Следует различать резкие изменения, связанные со сменой воздушных масс атмосферы, и медленные изменения, происходящие внутри одной воздушной массы при ее трансформациях.

Цель настоящей работы состоит в изучении медленных внутримассовых изменений. В них отражаются процессы трансформаций воздушной массы над данным пунктом, а также случайные процессы изменения концентраций и размеров частиц атмосферного аэрозоля за счет влияния процессов макроконвекции и др.

Поскольку надежные прямые методы измерения атмосферного аэрозоля в настоящее время отсутствуют, авторы решили воспользоваться косвенной характеристикой — прозрачностью. Рассмотрена прозрачность атмосферы для прямой солнечной радиации в интервале спектра 0,509—0,644 мк с центром  $\bar{\lambda} = 0,577$  мк. В этой области прозрачность зависит только от атмосферного аэрозоля, и статистические характеристики прозрачности непосредственно определяют характер изменчивости атмосферного аэрозоля.

В расчетах использованы результаты фильтровых наблюдений над прозрачностью для прямой радиации в Карадаге в начале июля 1948 г. В это время над пунктом наблюдений стояла устойчивая ясная погода. В качестве характеристики прозрачности использовался фактор мутности Линке  $T$ , вычисленный для данной спектральной области. Он определялся с помощью актинометра Михельсона, снабженного фильтрами Шотта OG-1 и RG-2 (подробнее см. работу [1]).

### Автокорреляционная функция прозрачности

Автокорреляционная функция характеризует степень зависимости между сечениями случайной функции, относящейся к различным моментам времени  $t$  и  $t'$ . Для стационарного случайного процесса корре-

ляционная функция зависит только от разности этих моментов времени. Пусть  $\tau = t' - t$ . При вычислении корреляционной функции  $K_T(\tau)$  авторы считали, что фактор мутности  $T$  есть характеристика, обладающая эргодическим свойством, т. е. что одна реализация достаточной продолжительности может служить материалом для получения ее численных характеристик. К сожалению, специфика определения  $T$  (вычисляется только в безоблачные моменты времени) предоставляет в наше распоряжение отдельные «куски» одной реализации случайной функции  $T$ , отделенные между собой интервалом времени, когда наблюдения не проводились. Поэтому лишь с известным приближением можно считать, что данные наблюдения относительно  $T$  обладают эргодическим свойством. Ввиду малого числа показаний  $T$  в пределах одного дня наблюдений не удастся также рассматривать имеющиеся данные как множество реализаций случайной функции, приняв как одну реализацию данные о факторе мутности за один день.

Для исследования внутренней структуры  $T$  были вычислены первые 14 значений автокорреляционной функции для 65 последовательных данных наблюдений с 1 по 9/VII 1948 г.

Кроме того, для сравнения произведен также расчет этой функции для 65 данных наблюдений по одной массе атмосферы  $m=2a$ , охватывающих весь летний период того же 1948 г. (май—сентябрь). Сюда попали значения как внутримассовые, так и при самых различных воздушных массах. Для того, чтобы корреляционная функция была определена с достаточной точностью, число данных должно быть достаточно велико (порядка 100). Мы остановились на 65 последовательных наблюдениях над значением  $T$ , учитывая технические трудности, которые появляются для больших  $n$  при расчете корреляционной функции без использования электронных вычислительных машин.

Нормированная корреляционная функция  $K_x(\tau)$  эргодической стационарной случайной функции по определению есть математическое ожидание случайной функции  $x^0(t)x^0(t+\tau)$ , отнесенное к величине дисперсии  $D_x$ :

$$K_x(\tau) = \frac{M[x^0(t)x^0(t+\tau)]}{D_x},$$

где  $x^0(t)$  — отклонение  $x(t)$  от ее математического ожидания,  $D_x$  — дисперсия статистической величины  $x(t)$ .

Значения автокорреляционной функции  $K_T^I(\tau)$ , вычисленные для данных по Карадагу с 1 по 9/VII 1948 г., приведены во второй строке таблицы.

Значения автокорреляционной функции прозрачности

| $\tau$ . . . . .           | 0 | 1    | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
|----------------------------|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $K_T^I(\tau)$ . . . . .    | 1 | 0,31 | 0,21 | -0,04 | -0,09 | -0,23 | -0,24 | -0,20 | -0,20 | -0,23 | -0,22 | -0,16 | -0,21 | -0,03 | 0,06  |
| $K_T^{II}(\tau)$ . . . . . | 1 | 0,08 | 0,03 | 0,18  | -0,07 | 0,11  | 0,02  | -0,08 | -0,02 | -0,05 | 0,07  | -0,01 | -0,13 | 0,05  | -0,06 |

Общий ход функции  $K_T^I(\tau)$  воспроизводится по отдельным точкам (см. рис. 1).

Полученные данные позволяют сделать определенное заключение о временной устойчивости прозрачности и аэрозоля. Используемые 65 данных наблюдений получены в различные моменты времени в течение 9 последовательных суток. Таким образом, мы можем очень грубо

считать, что средний временной интервал между двумя наблюдениями составляет 3,3 часа. В соответствии с табличными данными это означает, что при внутримассовом наблюдении коэффициент корреляции между значениями прозрачности с интервалом 3—3,5 часа будет около 0,3, с интервалом 7 часов — 0,20, а с интервалом 10—11 часов практически обратится в нуль. На рис. 1 видно, что для ряда значений корреляционная функция принимает отрицательные величины, а затем снова возвращается к положительным. Это указывает на то, что в структуре случайной функции имеется некоторый элемент периодичности. Отрицательные значения  $K_T(\tau)$  при данном  $\tau$  имеют следующий смысл: если в данный момент случайная функция  $\Gamma$  приняла значение выше среднего, то через интервал времени  $\tau$  в среднем следует ожидать отрицательных отклонений  $T$  от среднего и наоборот.

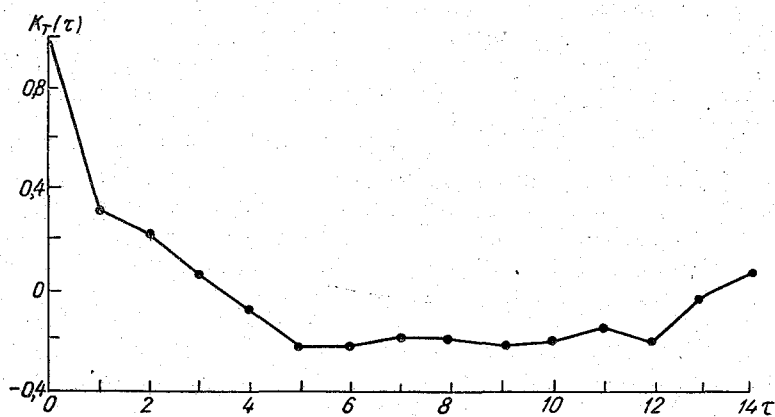


Рис. 1. Автокорреляционные функции прозрачности.

Как было сказано выше, рассчитаны также значения корреляционной функции  $K_T^{II}(\tau)$  данных наблюдений по фактору мутности для значений, различающихся между собой за сутки и более, и соответствующих моменту дополненного времени, когда масса атмосферы равна двум ( $m=2a$ ). Проведенные 65 последовательных наблюдений за время  $T$  охватывают период с мая по сентябрь и отвечают, естественно, различным воздушным массам. Следовало ожидать, что значения корреляционной функции окажутся практически равными 0. Так оно и оказалось.

Последовательные значения  $K_T^{II}(\tau)$  этой корреляционной функции даны в третьей строке таблицы.

### Оценка надежности результатов

В вычислениях, проведенных выше, было использовано всего 65 измерений прозрачности и сделаны некоторые предположительные заключения. В какой-то мере это ограниченное число данных представляет «генеральную» совокупность, но какова же надежность этих заключений?

Проверка того, не являются ли полученные численные характеристики внутренней связи рядов наблюдений случайными, иначе говоря, проверка их значимости, была проведена двумя путями:

- 1) сопоставлением с основными ошибками;

2) проверкой гипотезы об отсутствии корреляции в «генеральной» совокупности.

Для оценки значимости некоторой численной характеристики  $t$  частичной совокупности, или, как говорят, статистики, имеющей нормальное распределение, надо сравнить ее с основной ошибкой этой статистики  $\sigma_t$ .

Если выполняется неравенство  $|t| < 2\sigma_t$ , то с достаточным основанием можно считать, что  $t$  есть величина, случайно отличающаяся от 0, и что в «генеральной» совокупности оцениваемый по этой статистике параметр может равняться 0.

Если  $|t| > 2\sigma_t$ , то с вероятностью 0,95 можно признать  $t$  не случайной, т. е. существенной величиной.

В случае нормального закона распределения статистических величин в общей совокупности многие, но не все статистики с увеличением объема частичных совокупностей тоже имеют нормальное распределение. Если коэффициент корреляции  $r$  в нормальной общей совокупности значений двух статистических величин не равен 0, то распределение коэффициента корреляции даже в случае больших частичных совокупностей значительно отличается от нормального.

Распределение  $r$  имеет тем большую скошенность и, следовательно, тем больше отличается от нормального, чем ближе к единице абсолютная величина  $r$  в общей совокупности.

Чтобы при оценке значимости коэффициента корреляции вывод был более надежным, рекомендуется пользоваться правилом  $3\sigma_r$ . Согласно этому правилу, только при выполнении неравенства  $|r| > 3\sigma_r$  считается, что в «генеральной» совокупности  $r$  отлично от 0. Сравним  $r$  с  $\sigma_r$  для наших данных. Известно, что

$$\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}.$$

При  $r = 0,31$ ,  $n = 64$   $\sigma_r = 0,11$ .

Значение  $r = 0,3$ , близкое к  $3\sigma_r$ , удовлетворяет неравенству

$$2\sigma_r < r < 3\sigma_r.$$

В этом случае остается некоторое сомнение в наличии корреляции между рассматриваемыми случайными величинами.

Поэтому авторы решили проверить гипотезу о некоррелированности соседних значений фактора мутности, пользуясь  $t$ -критерием, описанным, например, в работе [2].

Статистика определения по формуле

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2},$$

имеет распределение  $t$  с плотностью

$$df(t) = \frac{dt}{\sqrt{v} \tilde{B}\left(\frac{1}{2}; \frac{v}{2}\right) \left(1 + \frac{t^2}{v}\right)^{\frac{1}{2}(v+1)}},$$

где  $v$  — число степеней свободы, равное  $n - 2$ .

В табл. 77 из работы [2] приведено значение функции распределения величины  $t$ ; при  $r = 0,31$ ,  $n = 64$   $t \approx 2,5$ . Этому значению  $t$  при  $v = 62$  соответствует вероятность  $p = 0,015$ , что намного меньше обычного уровня

значимости  $p = 0,05$ . Следовательно, сделанное предположение о некоррелированности соседних значений  $T$  не подтвердилось.

При значении  $r = 0,2$  отвергается гипотеза о некоррелированности рядов наблюдений на уровне значимости 10%. Действительно, при  $r = 0,2$  и  $n = 62$   $t \approx 1,6$ ; по табл. 77 [2]  $p \approx 0,10$ .

Выбор определенного уровня значимости является в значительной мере произвольным.

Уровень значимости 5% имеет то преимущество перед остальными, что он, во-первых, достаточно велик для отбрасывания ложных гипотез и, во-вторых, настолько мал, что приводит к отбрасыванию разве лишь небольшого числа верных гипотез.

### Заключение

Знание автокорреляционной функции фактора мутности  $T$  позволит определить временную устойчивость этого фактора, дает возможность найти то время, по истечении которого можно считать его значения не связанными со значением  $T$  в данный момент времени.

Приведенные выше оценки являются лишь первым приближением. В основном интерес представляют собой не полученные авторами численные значения корреляционной функции для  $T$ , а перспектива использования теории случайных процессов, которая до настоящего времени не применялась в теории прозрачности атмосферы. Для получения надежных данных необходимо иметь суточные наблюдения над прозрачностью атмосферы, выполненные через равные промежутки времени, что, разумеется, означает, что наряду с прямой радиацией необходимо вести ночные наблюдения над излучением звезд. С помощью таких однородных данных и при достаточно большом числе их можно получить уверенные данные об интересующем нас явлении.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шифрин К. С., Шубова Г. Л. Статистические характеристики вертикальной прозрачности атмосферы. Изв. АН СССР, № 2, 1964.
2. Митропольский А. К. Статистическое исчисление, т. 3. Изд. МВО РСФСР, Л., 1953.

Г. Л. ШУБОВА

## ГОДОВОЙ ХОД ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ

Приводятся результаты изучения внутригодовой изменчивости прозрачности атмосферы. Полученные материалы используются для определения статистических характеристик  $\tau_0$ .

## Исходный материал

Целью настоящей работы, которая является непосредственно продолжением статей [1] и [2], является изучение внутригодовой изменчивости прозрачности атмосферы. Речь идет о прозрачности в спектральной области 0,644—0,509 мк, выделяемой стеклянными фильтрами Шотта — красным и желтым. Не будем здесь останавливаться на методике измерения и обсуждении источников ошибок; эти вопросы подробно изложены в статьях [1] и [2].

Исследование проведено на материале наблюдений над прозрачностью по четырем пунктам: Владивосток (6354 случая), Алма-Ата (1831 случай), Киев (400 случаев) и Иркутск (315 случаев). Учитывая невысокую точность измерений, решено по последним трем пунктам ограничиться только вычислением сезонных распределений. По Владивостоку приведены осредненные месячные значения. В таблицах 1 и 2 приведены характеристики использованного материала, указано число случаев наблюдений, использованных при обработке.

Таблица 1

Число случаев наблюдений  $\tau_0$ , Владивосток

| Год   | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Общее<br>число<br>случаев |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---------------------------|
| 1938  | 91  | 108 | 120 | 63  | 16  | 48  | 15  | —    | 19  | 90  | 40  | 30  | 640                       |
| 1939  | 94  | 123 | 55  | 71  | 49  | 7   | 27  | 51   | 32  | 46  | 60  | 54  | 669                       |
| 1940  | 47  | 24  | 15  | 17  | 3   | 1   | —   | —    | —   | —   | —   | 35  | 142                       |
| 1941  | 57  | 87  | 60  | 44  | 44  | 39  | 13  | 17   | 95  | 76  | 84  | 79  | 695                       |
| 1942  | 105 | 116 | 97  | 50  | 64  | 29  | 19  | 18   | 76  | 85  | 79  | 67  | 805                       |
| 1943  | 91  | 82  | 112 | 56  | 38  | 14  | 30  | 34   | 31  | 87  | 55  | 78  | 708                       |
| 1944  | 77  | 68  | 56  | 47  | 23  | 31  | 29  | 69   | 38  | 93  | 46  | 71  | 648                       |
| 1945  | 96  | 102 | 78  | 40  | 20  | 26  | 18  | 24   | 48  | 65  | 73  | 56  | 646                       |
| 1946  | 59  | 89  | 54  | 57  | 48  | 70  | 16  | 33   | 74  | 71  | 72  | 86  | 729                       |
| 1947  | 63  | 53  | 76  | 64  | 51  | 38  | 18  | 14   | 71  | 73  | 69  | 82  | 672                       |
| Всего | 780 | 872 | 723 | 509 | 356 | 303 | 185 | 260  | 484 | 686 | 578 | 638 | 6354                      |

Деление месяцев по сезонам во всех трех пунктах табл. 2 принято одинаковым (зима — декабрь, январь, февраль; весна — март, апрель, май; лето — июнь, июль, август и осень — сентябрь, октябрь и ноябрь).

Таблица 2

| Число случаев наблюдений $\tau_0$ по сезонам |      |       |      |       |                           |         |      |       |      |       |                           |
|----------------------------------------------|------|-------|------|-------|---------------------------|---------|------|-------|------|-------|---------------------------|
| Год                                          | Зима | Весна | Лето | Осень | Общее<br>число<br>случаев | Год     | Зима | Весна | Лето | Осень | Общее<br>число<br>случаев |
| Алма-Ата                                     |      |       |      |       |                           | Иркутск |      |       |      |       |                           |
| 1935                                         | 34   | —     | —    | 7     | 41                        | 1942    | —    | 9     | 18   | —     | 27                        |
| 1936                                         | 16   | 9     | 2    | 38    | 65                        | 1947    | 2    | 32    | 48   | 33    | 115                       |
| 1937                                         | 17   | 8     | —    | —     | 25                        | 1948    | 10   | 35    | 15   | 25    | 85                        |
| 1941                                         | 12   | 67    | 123  | 98    | 300                       | 1949    | 7    | 16    | 4    | 26    | 53                        |
| 1942                                         | 31   | 42    | 130  | 102   | 305                       | 1950    | 4    | 31    | —    | —     | 35                        |
| 1943                                         | 19   | 21    | 60   | 86    | 186                       | Всего   | 23   | 123   | 85   | 106   | 315                       |
| 1944                                         | 12   | 77    | 78   | 62    | 229                       |         |      |       |      |       |                           |
| 1945                                         | 7    | 46    | 77   | 66    | 196                       |         |      |       |      |       |                           |
| 1946                                         | 18   | 37    | 57   | 42    | 154                       |         |      |       |      |       |                           |
| 1947                                         | 3    | 27    | 65   | 44    | 139                       |         |      |       |      |       |                           |
| 1948                                         | 8    | 21    | 30   | 31    | 90                        | Киев    |      |       |      |       |                           |
| 1949                                         | 8    | 9     | 12   | 50    | 79                        | 1958    | 1    | 82    | 92   | 68    | 243                       |
| 1950                                         | 14   | 10    | —    | —     | 24                        | 1959    | 19   | 61    | 53   | 24    | 157                       |
| Всего                                        | 199  | 374   | 632  | 626   | 1833                      | Всего   | 20   | 143   | 145  | 92    | 400                       |

### Годовой ход средней прозрачности

Начнем исследование с рассмотрения среднемесячных и сезонных данных. Результаты расчетов средних оптических толщин для изученных нами пунктов приведены в таблицах 3 и 4.

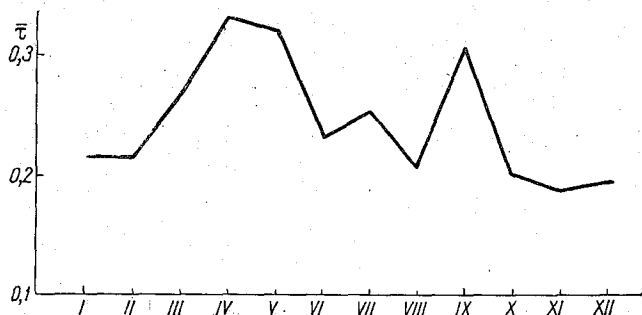


Рис. 1. Годовой ход оптической толщины. Владивосток.

Данные таблиц проиллюстрированы рисунками 1 и 2. На рис. 1 видно, что аэрозольная толщина атмосферы во Владивостоке имеет два четких максимума: в апреле и в сентябре, минимум в ноябре и в период октябрь—февраль. По-видимому, так же обстоит дело и в Иркутске, где, судя по рис. 2, большие значения приходятся на весну и лето, а осенью и зимой прозрачность заметно меньше. Отметим, что в Алма-Ате почти нет годового хода аэрозольной прозрачности, а в Киеве она растет от зимы к весне, лету, осени. Интервал изменения средней прозрачности сравнительно невелик. Во Владивостоке он



Таблица 3

Годовой ход средних значений  $\tau_0$ , Владивосток

| Год            | I     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI    | XII   | Общее<br>число<br>случаев |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
| 1938           | 0,163 | 0,178 | 0,279 | 0,357 | 0,341 | 0,262 | 0,250 | 0,225 | 0,193 | 0,193 | 0,211 | 0,182 | 640                       |
| 1939           | 0,243 | 0,188 | 0,278 | 0,371 | 0,311 | 0,283 | 0,234 | 0,225 | 0,186 | 0,193 | 0,181 | 0,207 | 669                       |
| 1940           | 0,190 | 0,221 | 0,273 | 0,320 | 0,244 | 0,242 | 0,237 | 0,225 | 0,186 | 0,193 | 0,181 | 0,207 | 142                       |
| 1941           | 0,316 | 0,253 | 0,282 | 0,314 | 0,385 | 0,336 | 0,367 | 0,340 | 0,250 | 0,278 | 0,242 | 0,262 | 695                       |
| 1942           | 0,264 | 0,284 | 0,317 | 0,336 | 0,354 | 0,282 | 0,237 | 0,197 | 0,197 | 0,204 | 0,182 | 0,186 | 805                       |
| 1943           | 0,186 | 0,223 | 0,285 | 0,324 | 0,340 | 0,301 | 0,309 | 0,255 | 0,240 | 0,219 | 0,198 | 0,220 | 708                       |
| 1944           | 0,219 | 0,243 | 0,290 | 0,352 | 0,393 | 0,250 | 0,178 | 0,178 | 0,240 | 0,194 | 0,173 | 0,175 | 648                       |
| 1945           | 0,186 | 0,201 | 0,227 | 0,315 | 0,362 | 0,186 | 0,184 | 0,175 | 0,167 | 0,190 | 0,183 | 0,187 | 646                       |
| 1946           | 0,185 | 0,191 | 0,243 | 0,340 | 0,327 | 0,299 | 0,305 | 0,186 | 0,154 | 0,175 | 0,193 | 0,191 | 729                       |
| 1947           | 0,204 | 0,198 | 0,207 | 0,285 | 0,436 | 0,317 | 0,309 | 0,234 | 0,188 | 0,160 | 0,159 | 0,152 | 672                       |
| $\bar{\tau}_0$ | 0,216 | 0,218 | 0,270 | 0,334 | 0,324 | 0,234 | 0,257 | 0,211 | 0,310 | 0,202 | 0,193 | 0,201 | 6354                      |

Таблица 4

Годовой ход средних значений  $\tau_0$  по сезонам

| Год                      | Зима  | Весна | Лето  | Осень | Общее число<br>случаев | Год                      | Зима  | Весна | Лето  | Осень | Общее число<br>случаев |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
| Иркутск                  |       |       |       |       |                        |                          |       |       |       |       |                        |
| 1942                     | —     | 0,229 | 0,280 | 0,277 | 27                     | 1935                     | 0,279 | —     | —     | 0,334 | 41                     |
| 1947                     | 0,199 | 0,326 | 0,327 | 0,184 | 115                    | 1936                     | 0,230 | 0,258 | —     | 0,237 | 63                     |
| 1948                     | 0,239 | 0,360 | 0,384 | 0,204 | 85                     | 1937                     | 0,226 | 0,243 | —     | —     | 25                     |
| 1949                     | 0,269 | 0,300 | 0,539 | —     | 53                     | 1941                     | 0,327 | 0,276 | 0,257 | 0,259 | 300                    |
| 1950                     | 0,268 | 0,329 | —     | —     | 35                     | 1942                     | 0,315 | 0,285 | 0,317 | 0,313 | 305                    |
| $\bar{\tau}_0$ Всего . . | 0,250 | 0,326 | 0,337 | 0,227 | 315                    | 1943                     | 0,335 | 0,292 | 0,310 | 0,281 | 186                    |
| Киев                     |       |       |       |       |                        |                          |       |       |       |       |                        |
| 1958                     | 0,243 | 0,281 | 0,310 | 0,224 | 243                    | 1944                     | 0,235 | 0,307 | 0,273 | 0,241 | 229                    |
| 1959                     | 0,220 | 0,272 | 0,276 | 0,205 | 157                    | 1945                     | 0,295 | 0,225 | 0,229 | 0,268 | 196                    |
| $\bar{\tau}_0$ Всего . . | 0,221 | 0,277 | 0,298 | 0,320 | 400                    | 1946                     | 0,235 | 0,258 | 0,203 | 0,191 | 154                    |
|                          |       |       |       |       |                        | 1947                     | 0,285 | 0,191 | 0,198 | 0,169 | 139                    |
|                          |       |       |       |       |                        | 1948                     | 0,167 | 0,198 | 0,188 | 0,200 | 90                     |
|                          |       |       |       |       |                        | 1949                     | 0,228 | 0,200 | 0,163 | 0,278 | 79                     |
|                          |       |       |       |       |                        | 1950                     | 0,324 | 0,294 | —     | —     | 24                     |
|                          |       |       |       |       |                        | $\bar{\tau}_0$ Всего . . | 0,275 | 0,263 | 0,257 | 0,260 | 1831                   |

составляет 0,193—0,334, соответственно в Иркутске 0,227—0,337, в Киеве 0,221—0,320 и в Алма-Ате 0,257—0,275.

Длины интервалов, отнесенные к среднему значению, составляют для Владивостока, Иркутска, Киева и Алма-Аты соответственно 60, 37, 38 и 7%. Это означает, что приблизительно колебания годового значения вокруг среднего для этих пунктов соответственно будут  $\pm 30$ ,  $\pm 20$ ,  $\pm 20$  и  $\pm 4\%$ . Напомним, что тот же результат был получен автором для Карадага; в работе [1] показано, что полуширина распределения составляет 40%, а соответственно колебание среднего значения лежит в пределах  $\pm 20\%$ .

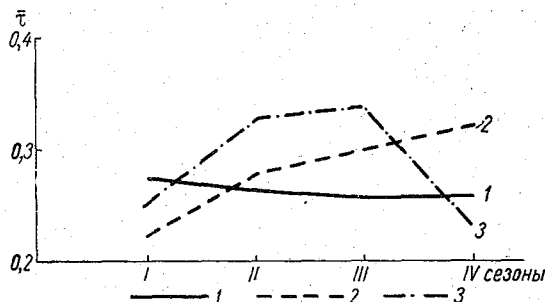


Рис. 2. Годовой ход оптической толщины.  
Алма-Ата (1), Иркутск (2), Киев (3).  
I — зима, II — весна, III — лето, IV — осень.

### Годовая изменчивость статистической структуры прозрачности

Данные таблиц 3 и 4 описывают годовой ход средних значений  $\tau$ , но в них ничего не говорится о характере распределения оптической толщины атмосферы. Для ответа на этот вопрос приводятся таблицы 5 и 6, в которых дано число случаев наблюдений, попадающих в тот или иной интервал значений  $\tau_0$ .

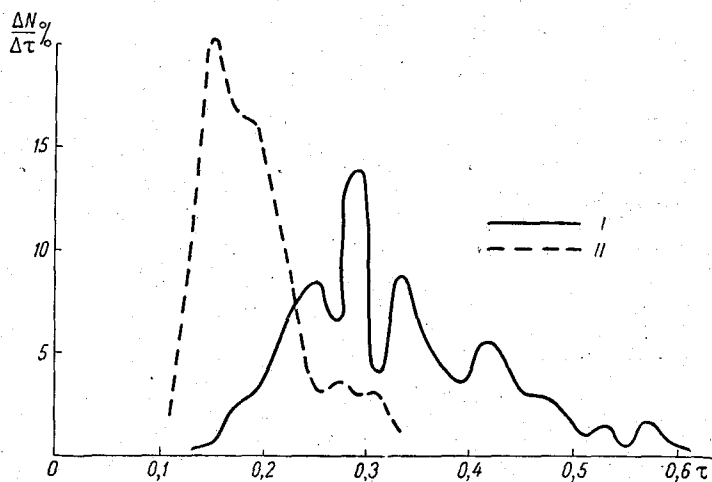


Рис. 3. Кривые распределения оптической толщины для Владивостока. Апрель (I), ноябрь (II).

Для иллюстрации приводится рис. 3, где указаны кривые распределения для Владивостока в апреле и ноябре — месяцы с наибольшим

Таблица 5

Число случаев наблюдений, попадающих в интервал значений  $\tau_0$ , Владивосток

| $\tau_0$  | I     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI    | XII   |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,10-0,12 | 1,54  | 1,29  | 1,23  | —     | —     | 0,67  | —     | 0,80  | 1,69  | 1,31  | 1,87  | 2,35  |
| 0,12-0,14 | 7,44  | 3,64  | 1,23  | 0,39  | —     | 2,35  | 2,16  | 7,97  | 8,23  | 9,16  | 9,69  | 8,78  |
| 0,14-0,16 | 11,68 | 11,05 | 3,41  | 0,59  | 0,29  | 3,69  | 5,96  | 13,94 | 16,24 | 16,71 | 20,24 | 16,14 |
| 0,16-0,18 | 11,68 | 13,51 | 7,09  | 2,35  | 1,45  | 5,03  | 10,81 | 15,54 | 20,67 | 16,71 | 17,18 | 16,46 |
| 0,18-0,20 | 18,87 | 16,92 | 10,78 | 3,14  | 1,45  | 7,72  | 17,30 | 19,92 | 17,51 | 18,46 | 16,33 | 17,24 |
| 0,20-0,22 | 12,19 | 14,69 | 9,28  | 4,90  | 4,64  | 13,09 | 10,81 | 8,76  | 10,13 | 8,87  | 12,58 | 10,81 |
| 0,22-0,24 | 10,01 | 9,40  | 8,18  | 7,06  | 6,96  | 8,05  | 6,49  | 5,18  | 7,38  | 7,85  | 8,00  | 8,46  |
| 0,24-0,26 | 7,19  | 6,70  | 9,00  | 8,63  | 4,93  | 7,05  | 7,03  | 5,18  | 4,85  | 5,09  | 3,23  | 4,39  |
| 0,26-0,28 | 4,88  | 8,00  | 8,46  | 6,47  | 5,22  | 5,70  | 5,41  | 5,18  | 2,53  | 5,09  | 3,57  | 3,13  |
| 0,28-0,30 | 2,57  | 5,05  | 13,78 | 14,12 | 10,14 | 13,42 | 8,65  | 6,77  | 4,64  | 4,36  | 2,90  | 5,17  |
| 0,30-0,32 | 1,54  | 2,35  | 4,36  | 3,92  | 3,77  | 3,36  | 1,08  | 0,40  | 1,05  | 0,58  | 2,90  | 1,72  |
| 0,32-0,34 | 1,03  | 3,17  | 5,05  | 8,82  | 9,85  | 7,05  | 6,49  | 3,98  | 1,90  | 2,18  | 1,19  | 0,94  |
| 0,34-0,36 | 1,41  | 1,29  | 4,50  | 6,67  | 9,85  | 7,72  | 5,96  | 2,39  | 1,90  | 1,87  | —     | 0,63  |
| 0,36-0,38 | 0,13  | 1,53  | 3,00  | 4,70  | 6,09  | 2,35  | 1,08  | 0,80  | 0,21  | 0,44  | 0,17  | 2,04  |
| 0,38-0,40 | 0,47  | 0,24  | 3,00  | 3,53  | 5,80  | 3,36  | 2,16  | 1,19  | 1,05  | 0,29  | —     | 0,31  |
| 0,40-0,42 | 0,38  | 0,12  | 2,60  | 5,50  | 4,35  | 1,01  | 2,16  | —     | —     | 0,58  | 0,17  | 0,31  |
| 0,42-0,44 | 0,38  | 0,24  | 0,82  | 5,10  | 6,38  | 2,01  | —     | 0,80  | 0,42  | —     | —     | 0,47  |
| 0,44-0,46 | 0,38  | 0,24  | 0,95  | 3,14  | 3,48  | 0,67  | —     | —     | —     | —     | —     | 0,31  |
| 0,46-0,48 | 0,38  | —     | 1,23  | 2,94  | 4,93  | 0,67  | 2,16  | —     | —     | —     | —     | 0,16  |
| 0,48-0,50 | —     | —     | 0,41  | 2,35  | 1,74  | 0,67  | 0,72  | —     | —     | —     | —     | —     |
| 0,50-0,52 | 0,13  | 0,24  | 0,41  | 0,98  | 2,32  | 0,67  | —     | 0,80  | 0,21  | 0,14  | —     | —     |
| 0,52-0,54 | —     | —     | 0,54  | 1,57  | 0,87  | 0,34  | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| 0,54-0,56 | —     | —     | —     | 0,39  | 0,74  | —     | 1,62  | 0,40  | —     | —     | —     | —     |
| 0,56-0,58 | —     | —     | 0,27  | 1,76  | 1,74  | —     | 1,08  | —     | —     | —     | —     | —     |
| 0,58-0,60 | 0,13  | 0,12  | 0,27  | 0,78  | 0,58  | 0,67  | —     | —     | 0,21  | —     | —     | —     |
| 0,60-0,62 | 0,13  | —     | 0,14  | 0,39  | 0,58  | —     | —     | —     | —     | 0,14  | —     | 0,16  |

и наименьшим значением  $\tau_0$ ; кривые заметно отличаются друг от друга. В апреле во Владивостоке наблюдается большая мутность, кривая распределения очень широкая, многовершинная: прозрачность в течение апреля значительно изменяется, испытывает большие колебания. Другая ситуация в ноябре. Здесь распределение одновершинное, более узкое; это означает, что прозрачность более устойчива. По-видимому, для ноября во Владивостоке характерна устойчивая воздушная масса, тогда как четырехвершинная кривая в апреле означает смену по крайней мере четырех типов масс.

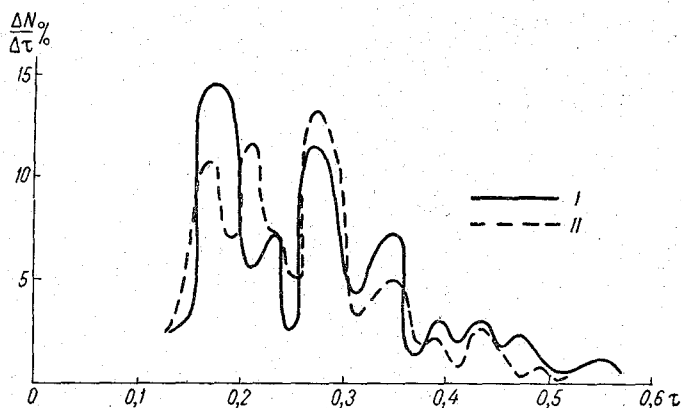


Рис. 4. Кривые распределения оптической толщины для Алма-Аты зимой (I) и весной (II).

Для изучения характера распределения внутрисезонных значений остановимся, например, на Алма-Ате. Данные по статистической структуре этих значений (рис. 4 и 5) показывают, что приведенные пары сезонов похожи друг на друга. Лето и осень в Алма-Ате характеризуются

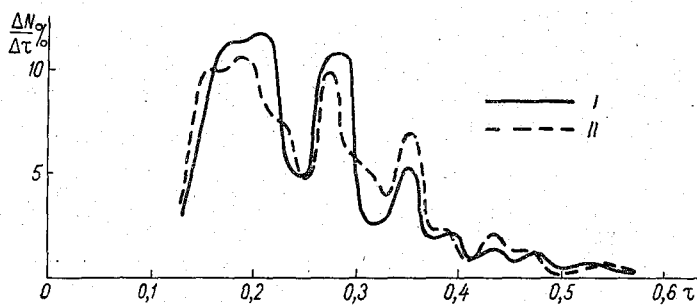


Рис. 5. Кривые распределения оптической толщины для Алма-Аты летом (I) и осенью (II).

относительно длительным сохранением высокой прозрачности и затем отмечаются еще две волны вторжений. Для зимы и весны типичны четыре-пять вторжений.

Изложенные выше соображения носят предварительный характер. Детальный анализ связи статистической структуры  $\tau_0$  с характером воздушных масс требует прямого сопоставления с синоптическими данными. Автор надеется обратиться к этому вопросу в будущем.

Таблица 6а

Число случаев наблюдений, попадающих в интервал значений  $\tau_0$ , Алма-Ата

| $\tau_0$  | Зима  | Весна | Лето  | Осень | $\tau_0$  | Зима | Весна | Лето | Осень |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|------|-------|------|-------|
| 0,10—0,12 | —     | —     | —     | —     | 0,36—0,38 | 1,21 | 1,88  | 1,80 | 2,27  |
| 0,12—0,14 | 2,42  | 2,69  | 3,14  | 3,56  | 0,38—0,40 | 3,03 | 2,15  | 2,24 | 2,27  |
| 0,14—0,16 | 3,03  | 6,45  | 7,33  | 9,87  | 0,40—0,42 | 1,82 | 0,81  | 0,90 | 0,81  |
| 0,16—0,18 | 14,54 | 10,75 | 11,23 | 10,03 | 0,42—0,44 | 3,03 | 2,69  | 1,50 | 2,10  |
| 0,18—0,20 | 13,94 | 6,99  | 11,38 | 10,68 | 0,44—0,46 | 1,82 | 1,88  | 0,90 | 1,29  |
| 0,20—0,22 | 5,45  | 11,56 | 11,83 | 8,58  | 0,46—0,48 | 2,42 | 0,27  | 1,20 | 1,29  |
| 0,22—0,24 | 7,27  | 7,26  | 5,99  | 7,44  | 0,48—0,50 | 1,21 | 0,81  | 0,60 | 0,16  |
| 0,24—0,26 | 2,42  | 5,11  | 4,94  | 4,85  | 0,50—0,52 | 0,61 | 0,27  | 0,60 | 0,32  |
| 0,26—0,28 | 11,51 | 13,17 | 10,48 | 10,03 | 0,52—0,54 | —    | —     | —    | —     |
| 0,28—0,30 | 9,70  | 11,56 | 10,78 | 6,31  | 0,54—0,56 | 1,21 | —     | 0,30 | 0,48  |
| 0,30—0,32 | 4,24  | 3,22  | 2,69  | 5,34  | 0,56—0,58 | 0,61 | 0,54  | 0,30 | 0,32  |
| 0,32—0,34 | 0,61  | 4,30  | 2,99  | 4,04  | 0,58—0,60 | —    | —     | —    | —     |
| 0,34—0,36 | 7,27  | 5,11  | 5,39  | 7,12  |           |      |       |      |       |

Таблица 6б

Число случаев наблюдений, попадающих в интервал значений  $\tau_0$ , Киев

| $\tau_0$  | Зима  | Весна | Лето  | Осень | $\tau_0$  | Зима | Весна | Лето | Осень |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|------|-------|------|-------|
| 0,10—0,12 | —     | —     | —     | —     | 0,36—0,38 | —    | —     | 0,69 | —     |
| 0,12—0,14 | 10,53 | 1,33  | 1,39  | 3,30  | 0,38—0,40 | —    | 4,67  | 3,47 | —     |
| 0,14—0,16 | 15,79 | 4,00  | 4,17  | 10,99 | 0,40—0,42 | —    | 4,00  | 1,39 | —     |
| 0,16—0,18 | 5,26  | 5,33  | 6,25  | 9,89  | 0,42—0,44 | —    | —     | 2,78 | —     |
| 0,18—0,20 | 26,31 | 9,33  | 7,64  | 12,09 | 0,44—0,46 | —    | 0,67  | 0,69 | —     |
| 0,20—0,22 | 5,26  | 12,67 | 9,03  | 21,98 | 0,46—0,48 | —    | 3,33  | 2,08 | —     |
| 0,22—0,24 | —     | 16,00 | 8,33  | 16,48 | 0,48—0,50 | —    | 0,67  | 1,39 | —     |
| 0,24—0,26 | —     | 2,00  | 1,39  | 2,20  | 0,50—0,52 | —    | —     | 1,39 | —     |
| 0,26—0,28 | 21,05 | 13,33 | 18,75 | 15,39 | 0,52—0,54 | —    | —     | 3,47 | —     |
| 0,28—0,30 | —     | —     | 1,39  | 1,10  | 0,54—0,56 | —    | —     | 0,69 | —     |
| 0,30—0,32 | 5,26  | 16,67 | 9,03  | 4,40  | 0,56—0,58 | —    | —     | 0,69 | —     |
| 0,32—0,34 | —     | —     | 1,39  | —     | 0,58—0,60 | —    | —     | 1,39 | —     |
| 0,34—0,36 | 10,53 | 6,00  | 9,72  | 2,20  |           |      |       |      |       |

Таблица 6в

Число случаев наблюдений, попадающих в интервал значений  $\tau_0$ , Иркутск

| $\tau_0$  | Зима  | Весна | Лето | Осень | $\tau_0$  | Зима | Весна | Лето  | Осень |
|-----------|-------|-------|------|-------|-----------|------|-------|-------|-------|
| 0,10—0,12 | —     | 1,79  | —    | 2,41  | 0,36—0,38 | —    | 6,25  | 4,60  | 2,41  |
| 0,12—0,14 | 8,70  | 0,89  | 3,45 | 15,66 | 0,38—0,40 | 4,35 | 7,14  | 2,30  | 3,61  |
| 0,14—0,16 | 13,04 | 4,46  | 5,75 | 8,43  | 0,40—0,42 | 4,35 | 0,89  | 2,30  | —     |
| 0,16—0,18 | 30,44 | 4,46  | 5,75 | 12,05 | 0,42—0,44 | —    | 2,68  | 4,60  | 2,41  |
| 0,18—0,20 | 4,35  | 7,14  | 8,05 | 9,64  | 0,44—0,46 | 4,35 | 2,68  | —     | —     |
| 0,20—0,22 | —     | 6,25  | 6,90 | 6,02  | 0,46—0,48 | —    | 5,36  | 11,49 | 1,20  |
| 0,22—0,24 | 4,35  | 7,14  | 3,45 | 10,84 | 0,48—0,50 | —    | —     | 3,45  | —     |
| 0,24—0,26 | 13,04 | 4,46  | 5,75 | 2,41  | 0,50—0,52 | —    | —     | 2,30  | —     |
| 0,26—0,28 | —     | 0,89  | 2,30 | 3,61  | 0,52—0,54 | —    | 0,89  | 2,30  | —     |
| 0,28—0,30 | 8,70  | 9,82  | 5,75 | 8,43  | 0,54—0,56 | —    | —     | —     | —     |
| 0,30—0,32 | 4,35  | 4,46  | 3,45 | 1,20  | 0,56—0,58 | —    | 1,79  | 2,30  | —     |
| 0,32—0,34 | —     | 10,71 | 4,60 | 4,82  | 0,58—0,60 | —    | 0,89  | —     | —     |
| 0,34—0,36 | —     | 4,46  | 4,60 | 4,82  |           |      |       |       |       |

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шифрин К. С., Шубова Г. Л. Статистическая изменчивость вертикальной прозрачности атмосферы. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 2, 1964.
2. Шифрин К. С., Шубова Г. Л. Изменчивость вертикальной прозрачности. Тр. ГГО, № 170, 1965.

Л. И. ЧАПУРСКИЙ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЯРКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАКОВ, АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В ИНТЕРВАЛЕ ДЛИН ВОЛН 0,3—2,5 мк

Измерены спектральные яркостные контрасты между облаками и снегом. На основании этих данных произведен расчет спектральной отражательной способности облачности. Исследовано изменение яркости дымки над водной поверхностью с высотой, измерена угловая структура поля радиации под сплошной облачностью, а также произведена экспериментальная оценка поляризационных характеристик облаков. Экспериментальные данные сопоставляются с теоретическими расчетами.

### Спектральная отражательная способность облаков

Экспериментальные измерения выполнялись с помощью быстродействующих самолетных регистрирующих спектрометров, работающих в интервале длин волн 0,3—0,9 мк [1] и 0,6—2,5 мк [2]. Основные характеристики использовавшихся приборов, методика измерений и результаты исследования яркостных контрастов между облаками и снегом приведены в работе [3]. На рис. 1 воспроизводятся кривые средних и экстремальных значений спектральных яркостных контрастов между облаками нижнего и среднего ярусов и свежеснегавшим снегом, полученные в результате полетов в феврале—марте 1962 и 1964 гг. Измерения осуществлялись с высоты порядка 2,7 км в околополуденные часы, и оптические оси визирования приборов были направлены вертикально вниз. При построении кривых, изображенных на рис. 1, для интервала 0,3—0,8 мк было использовано 44 спектрограммы сигналов от снега и 38 спектрограмм сигналов от облаков, а для участка 0,6—2,5 мк соответственно 62 и 77 спектрограмм. Расчет величины контраста  $k_\lambda$  на длине волны  $\lambda$  производился по формуле

$$k_\lambda = \frac{\bar{B}_{0\lambda} - \bar{B}_{c\lambda}}{\bar{B}_{0\lambda}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\bar{B}_{0\lambda}$  и  $\bar{B}_{c\lambda}$  — спектральные яркости облака и снега в относительных единицах, осредненные по четырем-восемью спектрограммам, соответствующим различным участкам данной пары исследуемых объектов. При этом для расчета использовались спектрограммы, полученные в одном полете на данной высоте в течение короткого (3—5 минут) промежутка времени при условии освещения исследуемых объектов прямой солнечной радиацией.

Исследования контрастов между облаками и снегом показали.

1. При визировании вертикально вниз с высоты 0,9—3,7 км в спектральном интервале 0,3—1,1 мк снег в среднем ярче облачности нижнего и среднего ярусов, в то время как в интервале 1,4—2,5 мк облака по сравнению со снегом всегда выглядят более яркими.

2. В спектральном интервале 1,4—2,5 мк интенсивность отраженного от облаков сигнала мало меняется в зависимости от их вертикальной мощности. Этот вывод согласуется с работой [9], где показано, что альбедо очень тонких облаков быстро увеличивается с изменением их оптической плотности  $\tau_0$  в пределах от 0 до 20 и при значениях  $\tau_0 > 20$  отражательная способность облаков практически остается постоянной.

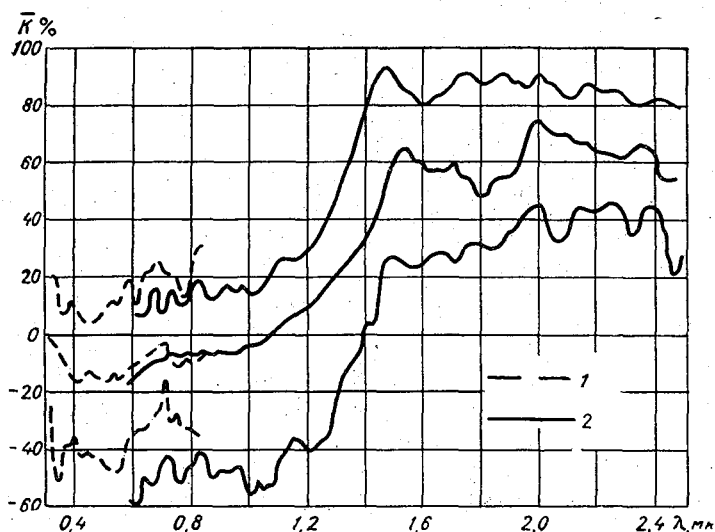


Рис. 1. Средние и экстремальные значения яркостных контрастов между облаками и снегом, воспринимаемые с высоты 2,7 км, по данным полетов 27/II, 2, 16 и 28/III 1962 г. (1); по данным полетов 6, 8/II и 17/III 1964 г. (2).

3. Значения контрастов, максимальные в интервале 0,3—1,4 мк и минимальные в интервале 1,4—2,5 мк, соответствуют облакам, из которых выпадал снег, т. е. облакам, состоящим из кристаллических и капельножидких элементов.

4. На спектральных участках, соответствующих полосам поглощения воды, наблюдается уменьшение контрастов.

5. Во всем спектральном интервале наблюдается некоторое убывание контрастов с высотой, которое сильнее проявляется на коротковолновом участке.

Аналитическое выражение, описывающее величину контраста  $k(\lambda, z)$  между облаком, расположенным на уровне  $z_1$ , и снегом ( $z=0$ ) при визировании с высоты  $z$ , может быть представлено как

$$k(\lambda, z) = \frac{[r_0(\lambda) T_{z_1}^z(\lambda) E(z_1, \lambda) + D_{z_1}^z(\lambda)] - [r_c(\lambda) T_0^z(\lambda) E(0, \lambda) + D_0^z(\lambda)]}{r_0(\lambda) T_{z_1}^z(\lambda) E(z_1, \lambda) + D_{z_1}^z(\lambda)}, \quad (2)$$

где  $r_0(\lambda)$  и  $r_c(\lambda)$  — спектральные коэффициенты яркости облака и снега;  $E(z_1, \lambda)$  и  $E(0, \lambda)$  — спектральная освещенность на уровне верхней гра-

ницы облака и у земли;  $T_{z_1}^z(\lambda)$  и  $T_0^z(\lambda)$  — спектральная прозрачность атмосферы в слоях от уровня  $z_1$  до  $z$  и от 0 до  $z$  соответственно;  $D_{z_1}^z(\lambda)$  и  $D_0^z(\lambda)$  — яркость дымки для этих слоев.

Яркость дымки, прозрачность атмосферы и освещенность могут быть определены, если известны величина прямой солнечной радиации и метеорологическая дальность видимости.

Решая уравнение (2) относительно  $r_0(\lambda)$  и считая, что  $D_0^z(\lambda) = D_{z_1}^z(\lambda) = D_0^{z_1}(\lambda)$ , получим рабочую формулу для расчета отражательной способности облачности:

$$r_0(\lambda) = \frac{r_c(\lambda) T_0^z(\lambda) E(0, \lambda) + D_0^{z_1}(\lambda) + D_{z_1}^z(\lambda) k(z, \lambda)}{[1 - k(z, \lambda)] T_{z_1}^z(\lambda) E(z_1, \lambda)} \quad (3)$$

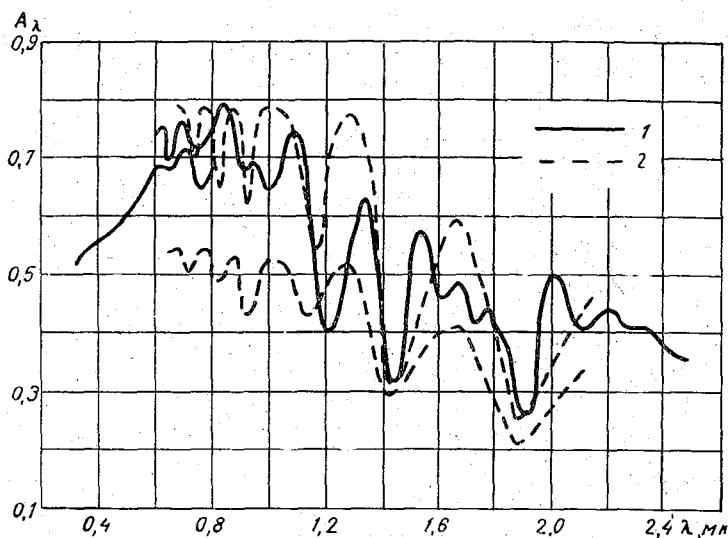


Рис. 2. Отражательная способность облаков, по данным автора (1) и Е. М. Фейгельсон (2).

При расчетах по формуле (3) были использованы данные о спектральной отражательной способности снега работы [4], а также Л. Б. Красильщикова, любезно предоставившего их автору. Расчет прозрачности атмосферы, освещенности и дымки выполнен по методике, описанной в работах [5, 6, 7, 8], с использованием таблиц, приведенных в этих работах. Так как полеты проводились в районе Ленинграда, данные о количестве прямой солнечной радиации у поверхности земли за соответствующие сроки наблюдений взяты по данным метеостанции Воейково. Метеорологическая дальность видимости определялась визуально. Следует отметить, что для расчета потоков с длиной волны  $\lambda > 0,8$  мкм, обусловленных дымкой, использовалась формула, предложенная в работе [6]:

$$D = \frac{\tau_0 D(0,2)}{0,2},$$

где  $\tau_0$  — оптическая толщина атмосферы;  $D(0,2)$  — параметр дымки, определяемый из таблиц работы [5]. Справедливость этого выражения экспериментально не проверялась.

На рис. 2 приводятся результаты расчетов спектральной отражательной способности облаков. Пунктиром нанесены кривые альбедо



облаков, вычисленные в работе [9] для зенитных углов Солнца  $60^\circ$  и  $\tau_0 = 6$  и 30 при условиях соответствующих измерениям автора. Так как регистрация велась только при визировании вертикально вниз, можно считать снег и облака отражающими, по Ламберту, и коэффициенты яркости принять равными альбедо. Как видно на рисунке, имеется удовлетворительное соответствие в общем ходе спектральных кривых. Минимумы отражательной способности облачности, по нашим расчетам, несколько сдвинуты в длинноволновую часть спектра и совпадают с центрами полос поглощения жидкой воды. В работе [10] для соответствующих полос поглощения жидкой воды даются значения 0,76, 0,97, 1,19, 1,45, 1,94 мк. вместо 0,72, 0,93, 1,13, 1,38 и 1,87 мк для водяного пара. Наличие минимумов на кривой в области 1,6, 1,7 и 2,1 мк может быть обусловлено погрешностями расчетов прозрачности атмосферы на этих участках спектра. При проведении последующих измерений эти участки должны быть исследованы более подробно.

Проведенные автором расчеты показали, что определяющую роль в величине сигнала над снегом на спектральном участке 1,4—2,5 мк играет дымка. В табл. 1 приведены характеристики потоков радиации, обусловленных отражением от снега и дымки, воспринимаемых на высоте 3 км при зенитном угле Солнца  $i = 60^\circ$ , оптической толщине атмосферы  $\tau_0 = 0,3$  и метеорологической дальности видимости  $S_0 = 10$  км.

Таблица 1

Потоки радиации, обусловленные отражением  
от дымки и снега, на высоте 3 км

| $\Delta\lambda$ мк | $\pi F$ кал/см <sup>2</sup> мин. |                         |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------|
|                    | снега                            | дымки                   |
| 1,38—1,50          | 0,20 · 10 <sup>-3</sup>          | 0,34 · 10 <sup>-3</sup> |
| 1,50—1,53          | 0,04                             | 0,09                    |
| 1,70—1,92          | 0,35                             | 0,39                    |
| 1,92—2,08          | 0,04                             | 0,18                    |

Как видно из таблицы, вблизи перекрывающихся полос поглощения величина потока радиации от снега в несколько раз меньше величины потока от дымки. Поэтому величины контрастов, а следовательно, и определенная отражательная способность облаков весьма чувствительны к яркости дымки. Погрешность определения коэффициентов яркости облаков при наших расчетах зависит в основном от погрешности вычисления яркости дымки.

Исследования, проведенные в зимний период 1964-1965 г., были посвящены выявлению возможности определения кристаллической и капельножидкой облачности по величине отраженной солнечной радиации на различных участках спектрального интервала от 0,6 до 2,5 мк. Необходимо отметить, что в самолетном инфракрасном спектрометре за один цикл измерений в течение 8 сек. регистрируется три спектра исследуемого излучения и один спектр излучения лампы сравнения, питаемой от стабилизированного выпрямителя. Использование лампы сравнения позволяет учитывать в процессе полета отклонения спектральной чувствительности прибора (рис. 3). Результаты измерений получены в виде графиков распределения яркости по спектру в относительных энергетических единицах. В качестве примера на рис. 4—6

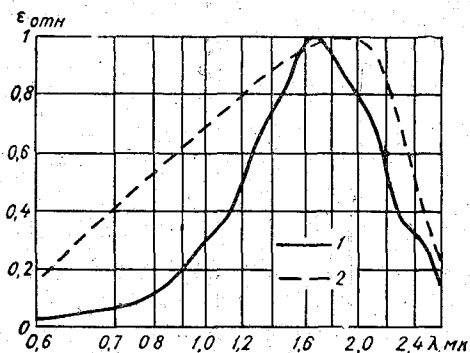


Рис. 3. Кривые относительной спектральной чувствительности самолетного инфракрасного спектрометра (1) и фотосопротивления PbS (2).

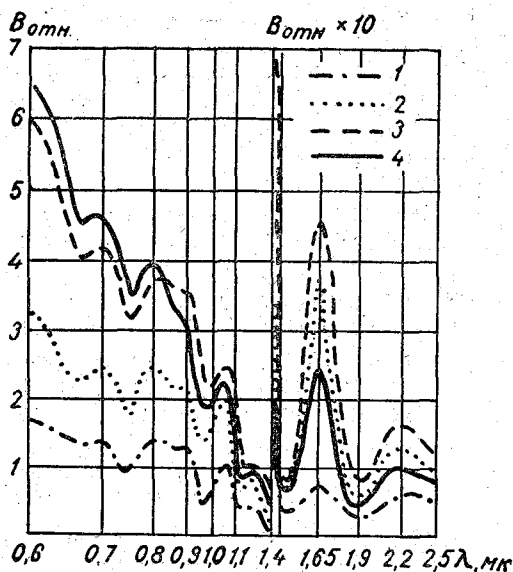


Рис. 4. Спектральные яркости облаков, зарегистрированные на различных высотах в полете 21/XII 1964 г. над морем при высоте Солнца 26°. Границы облачности Sc 400÷600 м, As 4,5÷5,5 км, Cb 6,3÷7,4 км, Ci 9,0÷9,4 км;  $H = 2720$  м, Sc, тень от Ci и As trans. (1);  $H = 2720$  м, Sc, тень от Ci (2);  $H = 6000$  м, As trans. на фоне Sc, тень от Ci (3);  $H = 8000$  м, Cs на фоне As trans. и Sc, тень от Ci (4).

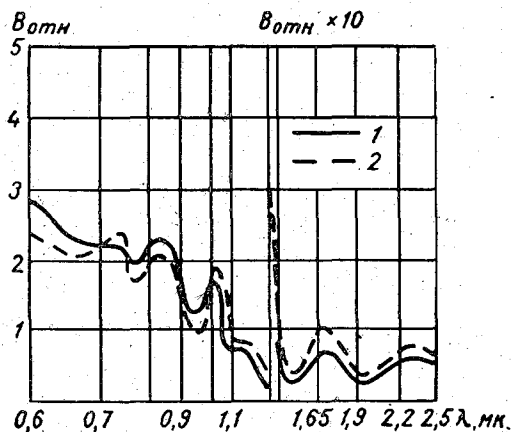


Рис. 5. Спектральные яркости облаков, зарегистрированные на различных высотах в полете 15/II 1965 г. при высоте Солнца 21°. Границы облачности: Ns 0,3÷3,5 км, As орас. 3,9÷5,8 км, Ci 6,3÷7,1 км;  $H = 6000$  м, As орас., тень от Ci (1);  $H = 7500$  м, Cs на фоне As орас. (2).

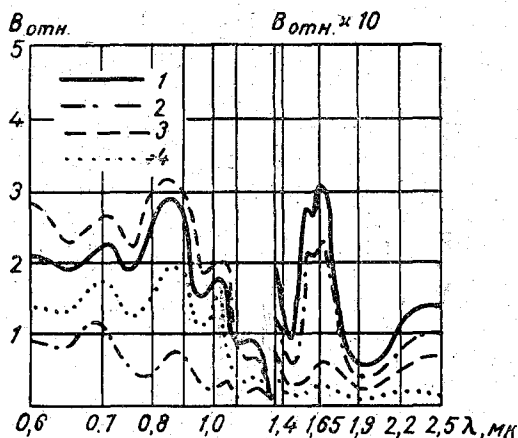


Рис. 6. Спектральные яркости облаков и снега, зарегистрированные на высоте 6000 м в полете 24/III 1965 г. при высоте Солнца 26°: Sc плотные (1); Sc тонкие на фоне молодого льда (2); снег, солнце (3); снег, тень от As (4).

приведены кривые спектральной яркости в надире различных типов облачности и снега, зарегистрированные в полетах на высотах от 2,7 до 8 км. Каждая из кривых построена путем осреднения трех—шести спектрограмм, полученных от одного конкретного объекта. Фаза элементов того или иного облака определялась косвенным методом по таким оптическим явлениям, как гало, венцы, ореолы и т. д. Исследования показали следующее:

1) в спектральном диапазоне от 0,6 до 2,5 мк мощная кристаллическая облачность имеет спектральный ход альбедо, аналогичный ходу альбедо снега;

2) отражательная способность капельножидких облаков на спектральном участке от 1,4 до 2,5 мк более чем в четыре раза превышает отражательную способность мощной кристаллической облачности и снега. Тонкая кристаллическая облачность существенно ослабляет радиацию этого спектрального участка;

3) на участке спектра от 0,6 до 1,1 мк наблюдаемые яркости снега, кристаллической и капельножидкой облачности близки по абсолютной величине;

4) в связи с зависимостью оптической толщины облаков от длины волны падающего на них излучения на спектральном участке 1,4—2,5 мк в отличие от видимого диапазона альбедо тонкой капельножидкой облачности быстро достигает своего максимального значения, а прозрачность этой облачности резко падает с увеличением толщины облака.

### Изменение яркости воздушной дымки с высотой

Теоретическая схема, предложенная в работах [5, 6, 7, 8], которая использовалась в расчетах автора, относится к случаю безоблачной атмосферы. Как показано в работе [11], она хорошо согласуется с экспериментальными данными. При наличии несплошной облачности за счет отражения радиации от облаков яркость дымки над одной и той же поверхностью получается, как это показано ниже, значительно большей, чем в безоблачной атмосфере. Поэтому может оказаться, что приведенные в данной работе сведения о спектральной отражательной способности облаков занижены. В связи с этим необходимо исследовать влияние облачности на величину яркости дымки.

Были проведены исследования относительного изменения яркости воздушной дымки с высотой в интервале длин волн от 0,3 до 0,7 мк над водой при визировании в нормальном направлении. На каждом фиксированном уровне регистрация сигналов осуществлялась при горизонтальном полете на двух взаимно перпендикулярных курсах (для компенсации поляризационных эффектов). Время всего зондирования не превышало 20—30 минут. На рис. 7 и 8 приведены кривые, иллюстрирующие относительное изменение яркости дымки над водой, зарегистрированное в полетах 22 мая и 5 июня 1963 г. при высотах солнца около 45°. Полет 22 мая осуществлялся в сильно прогретом континентальном умеренном воздухе, а 5 июня — в морском арктическом воздухе. В обоих случаях наблюдалась кучевая облачность 3—5 баллов.

На этих же рисунках показан ход температуры и влажности по данным радиозондов. Видно, что при наличии температурных инверсий наблюдается значительное увеличение яркости подынверсионного слоя за счет скопления большого количества аэрозоля. Этот эффект отмечался и в работе [11].

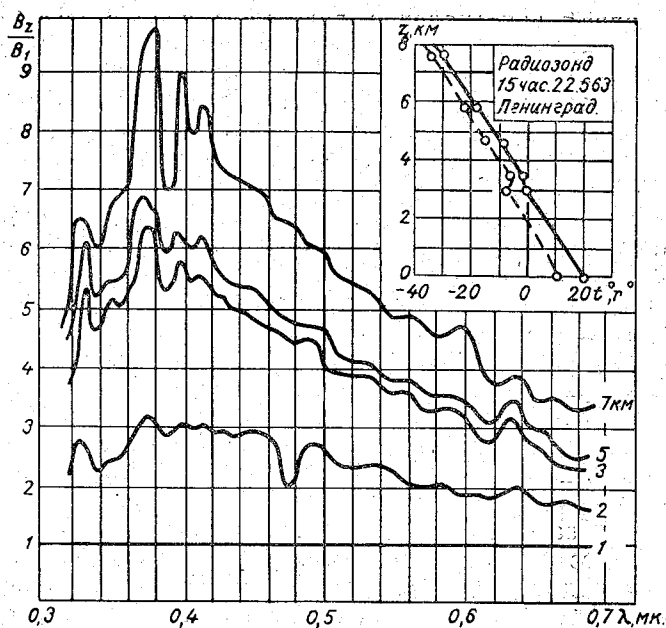


Рис. 7. Увеличение яркости воздушной дымки над водой в зависимости от высоты визирования. Полет 22/V 1963 г.

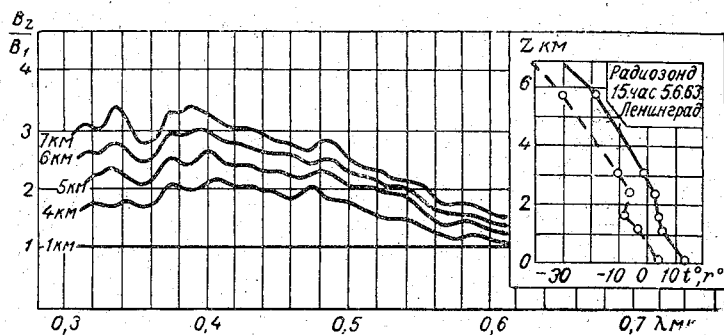


Рис. 8. Увеличение яркости воздушной дымки над водой в зависимости от высоты визирования. Полет 5/VI 1963 г.

В табл. 2 сопоставляются интенсивности потоков радиации с длиной волны 0,40 мк, зарегистрированные над водной поверхностью.

Таблица 2

Интенсивность потоков радиации (в относительных единицах) над водной поверхностью при  $\lambda = 0,40$  мк, по данным измерений

| Дата | Высота, км |      |      |      |      |      |      |
|------|------------|------|------|------|------|------|------|
|      | 1          | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| 22/V | 1,00       | 2,78 | 4,90 | 5,06 | 5,34 | 6,14 | 7,22 |
| 5/VI | 1,78       | 2,45 | 2,60 | 3,34 | 4,09 | 4,66 | 5,40 |

В табл. 3 приводятся те же данные, но полученные на основании расчетов по таблицам [5]. При этом альbedo подстилающей поверхности принималось равным нулю.

Таблица 3

Интенсивность потоков радиации (в относительных единицах) над водной поверхностью при  $\lambda = 0,40$  мк

| Дата | $\tau_0$ | Высота, км |      |      |      |      |
|------|----------|------------|------|------|------|------|
|      |          | 1          | 2    | 3    | 5    | 7    |
| 22/V | 0,435    | 1,00       | 1,75 | 2,06 | 2,34 | 2,47 |
| 5/VI | 0,301    | 1,08       | 1,59 | 1,86 | 2,10 | 2,21 |

Сравнение таблиц 2 и 3 позволяет сделать вывод, что общий ход изменения яркости, даваемый теорией, согласуется с экспериментальным, однако величина изменения яркости дымки при наличии облачности, естественно, больше, чем это дается теорией для безоблачной атмосферы. Согласно таблицам [5], аналогичный ход изменения яркости дымки с высотой может наблюдаться при визировании под углом  $30^\circ$  к горизонту, при низком солнце, большом альbedo, большой дальности видимости, средней оптической толщине (например,  $A=1$ ,  $S_0=50$ ,  $\tau_0=0,3$  и  $i=80$ ).

#### Исследования угловой структуры поля радиации над облаками

С помощью самолетного инфракрасного спектрометра в полете 23 апреля 1964 г. на высоте 3 км были измерены яркости неба и облаков при визировании по направлению солнечных лучей и под углом  $90^\circ$  к нему, под углами к горизонту  $45^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $-20^\circ$  и  $-90^\circ$ . Полет осуществлялся над большим массивом слоистой облачности с очень ровной верхней границей, расположенной на высоте 1300 м. Ее вертикальная мощность составляла 600 м. Входная щель прибора располагалась вертикально (угол зрения  $5^\circ$ ). В табл. 4 приведены значения относительных яркостей неба и облаков по отношению к яркости облаков при визировании вертикально вниз (угол  $-90^\circ$  к горизонту) в двух азимутах.

Данные табл. 4, характеризующие распределение интенсивности радиации, приходящей из нижней полусферы (от облаков), указывают на вытянутость индикатрисы отражения облака в направлении на солнце под малым углом к горизонту, что согласуется с данными об индикатрисах облаков, приведенными в работе [9].

Спектральные относительные величины потоков, характеризующие количество радиации, приходящей из верхней полусферы, показывают, что интенсивность рассеянной радиации с длинами волн, большими 1,8 мк, составляет менее 5% от интенсивности радиации, отраженной от облаков. Это согласуется с работой [7], где показано, что рассеянная радиация с длинами волн, большими 1,8 мк, дает пренебрежимо малый вклад в общий поток рассеянной инфракрасной радиации. Необходимо отметить, что при расчетах отражательной способности облаков в инфракрасной области ( $\lambda > 1,3$  мк) получены потоки, обусловленные рассеянием дымкой, составляющие 15—20% от радиации, отраженной облаками.

Таблица 4

Потоки радиации (в относительных единицах) над облаками 23/IV 1964 г.,  $H = 3000$  м

| Длина волны, ммк | Азимут визирования 180° (по солнцу) |    |    |     | Азимут визирования 90° |    |    |     | Угол к горизонту —90° |
|------------------|-------------------------------------|----|----|-----|------------------------|----|----|-----|-----------------------|
|                  | 45                                  | 20 | 0  | —20 | 45                     | 20 | 0  | —20 |                       |
| 595              | 19                                  | 24 | 28 | 127 | 17                     | 22 | 50 | 93  | 100                   |
| 605              | 17                                  | 22 | 94 | 128 | 17                     | 21 | 45 | 88  | 100                   |
| 650              | 12                                  | 18 | 90 | 125 | 13                     | 17 | 42 | 97  | 100                   |
| 715              | 12                                  | 17 | 95 | 119 | 11                     | 15 | 37 | 93  | 100                   |
| 742              | 11                                  | 15 | 77 | 117 | 10                     | 13 | 31 | 86  | 100                   |
| 810              | 9                                   | 13 | 69 | 116 | 9                      | 12 | 30 | 85  | 100                   |
| 870              | 8                                   | 11 | 66 | 104 | 8                      | 11 | 31 | 85  | 100                   |
| 920              | 7                                   | 11 | 58 | —   | 6                      | 9  | 26 | 61  | 100                   |
| 955              | 8                                   | 11 | 54 | —   | 7                      | 10 | 27 | 74  | 100                   |
| 1040             | 6                                   | 8  | 45 | —   | 6                      | 8  | 23 | 59  | 100                   |
| 1080             | 5                                   | 8  | 50 | —   | 4                      | 6  | 19 | 56  | 100                   |
| 1150             | 7                                   | 9  | 49 | —   | 5                      | 8  | 21 | 77  | 100                   |
| 1240             | 5                                   | 8  | 48 | —   | 4                      | 6  | —  | 70  | 100                   |
| 1380             | 2                                   | 6  | 19 | 59  | 2                      | 5  | 8  | 32  | 100                   |
| 1570             | 7                                   | 9  | 61 | —   | —                      | —  | 17 | 93  | 100                   |
| 1660             | 5                                   | 6  | 54 | —   | —                      | —  | 11 | 77  | 100                   |
| 1780             | —                                   | —  | 19 | 91  | —                      | —  | 8  | 52  | 100                   |
| 1900             | —                                   | —  | 14 | 38  | —                      | —  | 6  | 27  | 100                   |
| 2070             | —                                   | —  | 35 | 72  | —                      | —  | 17 | 67  | 100                   |
| 2240             | —                                   | —  | 41 | 129 | —                      | —  | 11 | 82  | 100                   |
| 2350             | —                                   | —  | 41 | 123 | —                      | —  | —  | 71  | 100                   |
| 2450             | —                                   | —  | 20 | 100 | —                      | —  | —  | 50  | 100                   |
| 2540             | —                                   | —  | —  | 115 | —                      | —  | —  | 52  | 100                   |

## Оценка поляризационных характеристик облаков

В спектральном интервале от 0,3 до 2,5 мк автором были произведены измерения спектральных поляризационных характеристик радиации, отраженной от облаков при визировании в надир. Измерения велись с использованием методики, описанной в работе [12]. Расчеты степени и угла плоскости поляризации света осуществлялись по формулам:

$$P_{\lambda} = \frac{2 \sqrt{B_{1\lambda}(B_{1\lambda} - B_{2\lambda}) + B_{2\lambda}(B_{2\lambda} - B_{3\lambda}) + B_{3\lambda}(B_{3\lambda} - B_{1\lambda})}}{B_{1\lambda} + B_{2\lambda} + B_{3\lambda}}; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_{\lambda} = \sqrt{3} \frac{B_{2\lambda} - B_{3\lambda}}{2B_{1\lambda} - B_{2\lambda} - B_{3\lambda}}, \quad (5)$$

где  $P_{\lambda}$  и  $\alpha_{\lambda}$  — степень и угол поляризации на длине волны  $\lambda$ ;  $B_{1\lambda}$ ,  $B_{2\lambda}$  и  $B_{3\lambda}$  — ординаты, пропорциональные яркости наблюдаемой точки объекта при трех положениях поляроида-анализатора, отстоящих друг от друга на 60°. Угол  $\alpha_{\lambda}$  заключен между плоскостью пропускания поляроида-анализатора при первом его положении и плоскостью колебаний исследуемого света.

Несмотря на значительные погрешности измерений, обусловленные несовершенством поляризационного устройства и трудностями проведения подобных экспериментов на самолете, исследования показали, что степень поляризации сигнала от облака может составлять от 30 до 15%, при этом заметно ее уменьшение с длиной волны. Плоскость поляризации лежит между 45 и 75° относительно направления на солнце.

## Выводы

1. В спектральном интервале от 1,4 до 2,5 мк, в отличие от видимого диапазона, альbedo капельножидкой облачности существенно отличается от альbedo снега и мощных кристаллических облаков. Описанные свойства облачности могут быть использованы для обнаружения и определения облаков с летательных аппаратов, если в дополнение к спектральному диапазону 0,3—1,0 мк, применяемому для получения информации об облачности в дневное время, выбрать спектральный диапазон 1,4—2,5 мк. Этот метод может быть реализован при использовании существующей аппаратуры, чувствительной к радиации с длинами волн от 1 до 6 мк, при этом техническое решение сводится в основном к установке на ней оптических фильтров.

2. Измерения контрастов и расчет отражательной способности облаков показали удовлетворительное согласие с опубликованными ранее расчетами этих характеристик.

3. При наличии несплошной облачности яркость слоя дымки увеличивается с высотой в 2—3 раза быстрее по сравнению с аналогичными данными работ К. С. Шифрина и И. Н. Минина для безоблачной атмосферы.

4. Эксперимент подтвердил теоретические выводы о характере индикатрисы отражения облаков. Интенсивность рассеянной радиации с длиной волны более 1,8 мк составляет менее 5% от радиации, отраженной от облаков.

5. При измерениях яркостных характеристик облаков на ближнем инфракрасном и видимом участке спектра необходимо учитывать поляризационные характеристики приборов, так как во всем этом интервале отраженный от облаков свет поляризован.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кольцов В. В. Быстродействующий спектрометр с разверткой спектра при помощи диска со спиральным вырезом в качестве выходной щели. Оптика и спектроскопия, т. 8. Изд. АН СССР, 1960.
2. Чалурский Л. И. Самолетный инфракрасный спектрометр. Информационный сборник НИО ЛВИКА им. А. Ф. Можайского, № 71. Изд. ЛВИКА, Л., 1964.
3. Чалурский Л. И. Обнаружение облаков на фоне снега. Сб. статей «Применение радиофизических методов в океанографических и ледовых исследованиях» под ред. В. В. Богородского. Изд. ААНИИ, Л., 1965.
4. Пуцейко Е. К. Спектральное и фактурное излучение фонов. Сб. статей «Оптика в военном деле» под ред. акад. С. И. Вавилова и проф. М. В. Севостьяновой, т. I. Изд. АН СССР, М.—Л., 1945.
5. Шифрин К. С., Пятовская Н. П. Таблицы наклонной дальности видимости и яркости дневного неба. Гидрометеиздат, Л., 1959.
6. Шифрин К. С., Пятовская Н. П. Поле коротковолновой радиации над типичными подстилающими поверхностями. Тр. ГГО, вып. 166, 1964.
7. Шифрин К. С., Авасте О. А. Потоки коротковолновой радиации в безоблачной атмосфере. Исследования по физике атмосферы, № 2. Изд. АН ЭССР, Тарту, 1960.
8. Авасте О. А., Молдау Х., Шифрин К. С. Спектральное распределение прямой и рассеянной радиации. Исследования по физике атмосферы, № 3. Изд. АН ЭССР, Тарту, 1960.
9. Фейгельсон Е. М. Спектральное отражение радиации облаками. Тр. ГГО, вып. 166, 1964.
10. Кондратьев К. Я. Лучистая энергия солнца. Гидрометеиздат, Л., 1954.
11. Рабинович Ю. И. Вертикальное распределение аэрозольного ослабления. Тр. ГГО, вып. 118, 1961.
12. Фесенков В. Г. Определение степени и углов поляризации неба, *Астрономический журнал*, т. 12, № 4, 1935.

Л. В. МУРАВЬЕВА, Н. Е. ТЕР-МАРКАРЯНЦ

### О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА ТЕНЕВОЙ СТОРОНЕ ЗЕМЛИ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ

Рассчитаны величины интенсивности уходящей радиации при безоблачном небе и при облаках различных ярусов в «окне прозрачности» 8—12 мк для 24 пунктов Советского Союза.

Вычислены величины контраста между радиационными температурами подстилающей поверхности и облаков. Исследована возможность обнаружения облачности на ночной стороне Земли с метеорологических спутников.

В связи с появлением искусственных спутников Земли оказалось возможным производить исследование метеорологических процессов в планетарном масштабе. Большой интерес, в частности, представляет прослеживание облачности по земному шару, поскольку по пространственному распределению облачности можно судить о характере синоптических процессов, происходящих в атмосфере.

Особый интерес представляет обнаружение облачности в ночное время суток, когда невозможно проследить облачность с помощью обычных телевизионных камер.

Как известно, температура в атмосфере, как правило, убывает с высотой, и облака чаще всего имеют температуру ниже, чем температура земной поверхности, и соответственно меньше излучают.

По различию в степени излучения можно отличить облака от земной поверхности и одну систему облаков от другой.

Выгоднее всего производить измерения уходящей радиации на тех участках спектра, где мало искажающее влияние атмосферы и в то же время достаточно велико излучение Земли и облаков. Поскольку этим условиям удовлетворяет «окно прозрачности» атмосферы 8—12 мк, все дальнейшие расчеты, выполненные авторами, будут относиться к нему.

Известно, что задача об обнаружении облачности содержит ряд значительных трудностей, связанных с тем, что в ряде случаев температурный контраст между облаками и Землей может быть очень мал [1].

Для правильной интерпретации результатов измерений длинноволновой радиации необходимо знать вероятные значения величин радиации, приходящей к верхней границе атмосферы как из безоблачных районов, так и от облаков различных ярусов.

Эти величины могут быть рассчитаны, если известны типичные для данного района в данное время года температура подстилающей поверхности, распределение температуры и влажности воздуха по высоте,



вид облачности, высота и температура облаков, а также излучательная способность подстилающей поверхности и облаков различных ярусов.

В работе произведен расчет величин уходящего теплового излучения (при нормальном визировании) в интервале 8—12 мк при безоблачном небе и при облаках нижнего, среднего и верхнего ярусов для 24 пунктов СССР, а также определены величины контраста между радиационными температурами подстилающей поверхности и облаков.

Расчет интенсивности уходящей радиации производился путем численного интегрирования уравнения переноса

$$I_{\uparrow} = I(0)P(\omega^*, m) + \int I(T) dP, \quad (1)$$

где  $I_{\uparrow}$  — интенсивность уходящей радиации,  $I(0)$  — интенсивность излучения черного тела при температуре подстилающей поверхности,  $P(\omega^*, m)$  — функция пропускания радиации водяным паром и озоном.

Для интервала 8—9 и 10,3—12 мк функция пропускания водяным паром рассчитывалась по экспоненциальному закону

$$P(\omega) = e^{-k(\omega^* - \omega)},$$

где коэффициент поглощения  $k = 0,1 \text{ см}^2/\text{г}$  [5, 7].

Для интервала 9,0—10,3 мк, в котором находится узкая, но сильная полоса поглощения озоном, функция пропускания принималась в виде

$$P(\omega, m) = P(\omega)P(m),$$

где  $P(m)$  — функция пропускания теплового излучения озоном, рассчитанная по данным Ч. Д. Уолшоу [6]; эффективное содержание озона для рассматриваемых пунктов получено из работы [4];  $\omega^*$  — эффективное содержание водяного пара во всей толще атмосферы;  $\omega$  — эффективное содержание водяного пара от поверхности земли до некоторого уровня;  $m$  — общее содержание озона в атмосфере.

Интенсивность излучения абсолютно черного тела  $I[T(z)]$  при температуре  $T$ , равной температуре воздуха на некотором уровне  $z$ , интенсивность радиации  $I_{\uparrow}$ , выходящей через верхнюю границу облака, складывается из собственного излучения облака  $I(T_{\text{обл}})$   $\delta$  при температуре  $T_{\text{обл}}$  и радиации  $I_{\uparrow}(1 - \delta)$ , прошедшей через облако,  $I_{\uparrow}' = I_{\uparrow}(1 - \delta) + \delta I(T_{\text{обл}})$ , где  $\delta$  — коэффициент черноты облаков.

Величины  $I[T(z)]$  определялись на основании среднегодовыных температур, полученных по данным самолетного зондирования для всех месяцев. Величины  $I(0)$  определялись на основании среднегодовыных температур подстилающей поверхности, полученных для 24 пунктов СССР Л. Н. Гусевой [2].

Для определения функции пропускания  $P(\omega, m)$  были использованы среднегодовыные данные о распределении влажности по высоте, взятые также из данных самолетного зондирования в соответствующих пунктах. При расчете предполагалось, что излучательная способность подстилающей поверхности и облаков нижнего яруса  $\delta = 1$ . Для облаков среднего и верхнего ярусов она взята по данным Е. П. Новосельцева [3] и принята равной 0,7 и 0,3 соответственно.

Температура и высота верхней границы облаков для рассмотренных 24 пунктов за все месяцы была получена в результате осреднения данных самолетного зондирования.

В табл. 1 приведены величины интенсивности уходящего излучения при безоблачном небе для 24 пунктов СССР для всех месяцев (в дневное и ночное время суток).

Таблица I

Интенсивность уходящего излучения при безоблачном небе в «окне прозрачности»  
8—12 мк (мвт/см<sup>2</sup> стер) днем (1-я строка) и ночью (2-я строка)

| Город              | I            | II           | III          | IV           | V            | VI           | VII          | VIII         | IX           | X            | XI           | XII          |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Свердловск . . . . | 1,63<br>1,52 | 1,62<br>1,40 | 1,95<br>1,57 | 2,43<br>2,00 | 3,00<br>2,29 | 3,32<br>2,48 | 3,23<br>2,58 | 3,12<br>2,53 | 2,72<br>2,32 | 2,30<br>2,05 | 1,86<br>1,74 | 1,60<br>1,53 |
| Хабаровск . . . .  | 1,50<br>1,24 | 1,70<br>1,32 | 2,02<br>1,60 | 2,62<br>2,02 | 3,00<br>2,34 | 2,35<br>2,59 | 3,42<br>2,78 | 3,34<br>2,77 | 2,99<br>2,48 | 2,57<br>2,16 | 1,96<br>1,68 | 1,56<br>1,33 |
| Москва . . . . .   | 1,72<br>1,64 | 1,78<br>1,59 | 2,01<br>1,74 | 2,50<br>2,07 | 3,01<br>2,33 | 3,27<br>2,52 | 3,35<br>2,62 | 3,17<br>2,57 | 2,75<br>2,39 | 2,38<br>2,20 | 2,00<br>1,92 | 1,84<br>1,80 |
| Ленинград . . . .  | 1,79<br>1,75 | 1,80<br>1,64 | 2,00<br>1,70 | 1,42<br>2,03 | 2,97<br>2,27 | 3,32<br>2,49 | 3,36<br>2,61 | 3,20<br>2,57 | 2,72<br>2,38 | 2,36<br>2,21 | 1,90<br>1,98 | 1,88<br>1,85 |
| Ашхабад . . . . .  | 2,48<br>2,06 | 2,71<br>2,10 | 2,98<br>2,29 | 3,60<br>2,51 | 4,24<br>2,77 | 4,77<br>2,94 | 4,98<br>3,14 | 4,96<br>3,03 | 4,53<br>2,80 | 3,71<br>2,48 | 2,91<br>2,20 | 2,57<br>2,08 |
| Архангельск . . .  | 1,58<br>1,58 | 1,62<br>1,51 | 1,88<br>1,61 | 2,21<br>1,86 | 2,64<br>2,12 | 3,05<br>2,39 | 3,22<br>2,48 | 3,08<br>2,46 | 2,56<br>2,30 | 2,18<br>2,06 | 1,85<br>1,82 | 1,69<br>1,68 |
| Якутск . . . . .   | —<br>—       | 1,03<br>0,83 | 1,49<br>1,00 | 2,07<br>1,46 | 2,94<br>2,04 | 3,57<br>2,39 | 3,60<br>2,56 | 3,41<br>2,44 | 2,87<br>2,14 | 1,91<br>1,62 | 1,17<br>1,07 | —<br>—       |
| Алма-Ата . . . . . | 1,97<br>1,62 | 2,06<br>1,70 | 2,40<br>1,96 | 3,17<br>2,30 | 3,56<br>2,49 | 3,91<br>2,68 | 4,31<br>2,83 | 4,31<br>2,78 | 3,93<br>2,57 | 3,14<br>2,26 | 2,33<br>1,89 | 2,01<br>1,70 |
| Баку . . . . .     | 2,23<br>1,95 | 2,29<br>1,94 | 2,48<br>2,02 | 3,13<br>2,30 | 3,49<br>2,51 | 3,78<br>2,71 | 3,92<br>2,84 | 3,91<br>2,83 | 3,34<br>2,65 | 2,91<br>2,42 | 2,51<br>2,21 | 2,34<br>2,04 |
| Куйбышев . . . .   | 1,67<br>1,55 | 1,72<br>1,50 | 1,97<br>1,70 | 2,67<br>2,08 | 3,50<br>2,40 | 3,71<br>2,63 | 3,83<br>2,70 | 3,68<br>2,66 | 3,10<br>2,41 | 2,48<br>2,15 | 2,00<br>1,85 | 1,78<br>1,70 |
| Волгоград . . . .  | 1,87<br>1,75 | 1,89<br>1,66 | 2,16<br>1,80 | 2,98<br>2,24 | 3,64<br>2,51 | 3,95<br>2,76 | 4,16<br>2,87 | 3,96<br>2,82 | 3,46<br>2,51 | 2,79<br>2,30 | 2,23<br>1,97 | 1,97<br>1,87 |
| Иркутск . . . . .  | 1,42<br>1,19 | 1,57<br>1,17 | 1,98<br>1,44 | 2,48<br>1,94 | 3,08<br>2,14 | 3,47<br>2,45 | 3,49<br>2,61 | 3,33<br>2,51 | 3,00<br>2,23 | 2,50<br>1,96 | 1,83<br>1,51 | 1,46<br>1,26 |
| Киев . . . . .     | 1,93<br>1,82 | 1,96<br>1,77 | 2,19<br>1,91 | 2,80<br>2,18 | 3,30<br>2,43 | 3,57<br>2,63 | 3,70<br>2,72 | 3,57<br>2,68 | 3,19<br>2,46 | 2,70<br>2,28 | 2,22<br>2,06 | 2,03<br>1,95 |
| Минск . . . . .    | 1,87<br>1,79 | 1,89<br>1,72 | 2,09<br>1,79 | 2,62<br>2,14 | 3,14<br>2,38 | 3,41<br>2,57 | 3,44<br>2,64 | 3,33<br>2,66 | 2,97<br>2,42 | 2,49<br>2,24 | 2,14<br>2,03 | 1,96<br>1,90 |
| Новосибирск . . .  | 1,50<br>1,33 | 1,60<br>1,32 | 1,95<br>1,56 | 2,48<br>1,95 | 3,25<br>2,26 | 3,66<br>2,48 | 3,74<br>2,65 | 3,47<br>2,55 | 3,06<br>2,33 | 2,41<br>2,07 | 1,77<br>1,61 | 1,53<br>1,43 |
| Омск . . . . .     | 1,49<br>1,36 | 1,59<br>1,36 | 1,85<br>1,45 | 2,43<br>1,94 | 3,18<br>2,28 | 3,67<br>2,51 | 3,52<br>2,62 | 3,37<br>2,54 | 2,96<br>2,35 | 2,39<br>2,06 | 1,85<br>1,72 | 1,53<br>1,44 |
| Тбилиси . . . . .  | 2,42<br>2,00 | 2,59<br>2,01 | 2,83<br>2,16 | 3,40<br>2,39 | 3,85<br>2,61 | 4,10<br>2,80 | 4,35<br>2,93 | 4,31<br>2,92 | 3,74<br>2,74 | 3,26<br>2,45 | 2,70<br>2,27 | 2,42<br>2,03 |
| Одесса . . . . .   | 2,12<br>1,96 | 2,24<br>1,97 | 2,45<br>2,03 | 3,11<br>2,30 | 3,64<br>2,56 | 3,95<br>2,74 | 4,13<br>2,84 | 3,96<br>2,82 | 3,56<br>2,61 | 2,97<br>2,40 | 2,43<br>2,26 | 2,28<br>2,10 |
| Харьков . . . . .  | 1,90<br>1,80 | 1,91<br>1,73 | 2,15<br>1,89 | 2,85<br>2,23 | 3,44<br>2,45 | 3,71<br>2,64 | 3,77<br>2,73 | 3,70<br>2,70 | 3,21<br>2,45 | 2,60<br>2,23 | 2,18<br>2,01 | 1,99<br>1,92 |
| Чита . . . . .     | 1,41<br>1,05 | 1,66<br>1,11 | 2,12<br>1,45 | 2,82<br>1,87 | 3,40<br>2,13 | 3,65<br>2,50 | 3,47<br>2,64 | 3,37<br>2,54 | 3,04<br>2,25 | 2,48<br>2,01 | 1,82<br>1,44 | 1,44<br>1,17 |
| Рига . . . . .     | 1,90<br>1,82 | 1,92<br>1,75 | 2,13<br>1,83 | 2,56<br>2,11 | 3,03<br>2,31 | 3,27<br>2,45 | 3,37<br>2,57 | 3,23<br>2,56 | 2,84<br>2,41 | 2,48<br>2,28 | 2,17<br>2,09 | 2,01<br>1,99 |
| Львов . . . . .    | 1,95<br>1,87 | 1,98<br>1,80 | 2,26<br>1,95 | 2,60<br>2,18 | 2,99<br>2,38 | 3,27<br>2,56 | 3,36<br>2,65 | 3,20<br>2,63 | 2,99<br>2,43 | 2,67<br>2,29 | 2,28<br>2,11 | 2,08<br>1,98 |
| Актюбинск . . . .  | 1,68<br>1,50 | 1,68<br>1,44 | 1,92<br>1,59 | 2,63<br>2,06 | 3,56<br>2,40 | 3,83<br>2,63 | 3,98<br>2,75 | 3,99<br>2,69 | 3,44<br>2,43 | 2,67<br>2,13 | 2,02<br>1,79 | 1,76<br>1,61 |
| Сыктывкар . . . .  | 1,52<br>1,47 | 1,57<br>1,44 | 1,84<br>1,57 | 2,17<br>1,88 | 2,68<br>2,16 | 3,19<br>2,43 | 3,17<br>2,48 | 3,07<br>2,52 | 2,57<br>2,31 | 2,17<br>2,04 | 1,79<br>1,74 | 1,64<br>1,62 |

В табл. 2 приведены величины интенсивности уходящей радиации при облачности различных ярусов для тех же пунктов в течение года.

Из рассмотрения данных табл. 1 и 2 видно, что в зимние месяцы величины  $I_{yx}$  (в интервале длин волн 8—12 мк) для безоблачного неба на большей части территории Советского Союза имеют порядок 1—1,8 мвт/см<sup>2</sup> стер, на юге страны они достигают 2—2,7 мвт/см<sup>2</sup> стер. В летние месяцы величины  $I_{yx}$  составляют на большей части рассматриваемой территории 3—4, в южных районах 5 мвт/см<sup>2</sup> стер.

При наличии облачности эти величины составляют 1—2 мвт/см<sup>2</sup> стер, летом их значения достигают 2,5 мвт/см<sup>2</sup> стер.

На основании данных табл. 1 и 2 были рассчитаны величины энергетических контрастов между уходящей радиацией безоблачного и облачного неба в различное время года, которые приводятся в табл. 3, из рассмотрения которой видно, что максимум энергетического контраста между величинами  $I_{yx}$  безоблачного и облачного неба в годовом ходе приходится на летние месяцы, что легко объясняется значительным температурным контрастом между подстилающей поверхностью и облачностью в летние месяцы и большими значениями величин интенсивности уходящей радиации безоблачного и облачного неба в это время года.

В табл. 4 представлены величины контраста между радиационными температурами подстилающей поверхности и облаков  $\Delta T$ , определенные по рассчитанным величинам интенсивности уходящего излучения безоблачного и облачного неба для 24 пунктов СССР в течение года (в дневное и ночное время суток).

Как видно из таблицы, величины  $\Delta T$  колеблются в очень широких пределах — от  $-7$  до  $46^\circ$ , в зимнее время величины контраста между радиационными температурами подстилающей поверхности и облаков на большей части территории Советского Союза невелики; для облаков нижнего яруса они составляют  $1-8^\circ$ , в ночное время суток нередко наблюдаются отрицательные значения контрастов. Для облаков среднего яруса величины  $\Delta T$  несколько больше: днем порядка  $7-13^\circ$ , ночью  $\approx 3-10^\circ$ .

В южных районах СССР величины  $\Delta T$  достигают днем  $15-20^\circ$ .

В районах, где зимой часто наблюдаются глубокие инверсии, эти величины становятся отрицательными.

Следует отметить, что в зимнее время над морями величины  $\Delta T$  оказываются большими по сравнению с сушей, что объясняется более высокими значениями температуры воды по сравнению с сушей в зимнее время. Так, например, из расчетов авторов следует, что контраст между радиационными температурами Черного моря и облаков нижнего яруса в феврале ночью составляет  $11,2^\circ$ , в то время как в районе Одессы в то же самое время этот контраст составляет  $6,9^\circ$ .

Аналогичные результаты получились и для Балтийского моря. Так, контраст между радиационными температурами Балтийского моря и облаков нижнего яруса составляет в феврале ночью  $12,8^\circ$ , в то время как в районе Риги в феврале  $\Delta T$  составляет  $4,9^\circ$ .

В летние месяцы (см. табл. 4) величины  $\Delta T$  довольно велики ( $30-45^\circ$ ), особенно в дневные часы, когда земля сильно нагрета солнечными лучами.

Отметим, что в летнее время днем величина  $\Delta T$  над морем меньше, чем над сушей, так как летом вода не нагревается так сильно, как суша. Это может затруднять обнаружение облачности на фоне моря в теплое полугодие днем.

Ночью, как правило, вода теплее суши даже летом, и, следовательно, обнаружить облачность в ночное время летом над морем будет

Таблица 2

Интенсивность уходящего излучения при наличии облачности в «окне прозрачности»  
8—12 мк (мвт/см<sup>2</sup> стер) днем (1-я строка) и ночью (2-я строка)

| Город                 | Ярус    | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|-----------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Свердловск . . . . .  | нижний  | 1,60 | 1,52 | 1,66 | 1,76 | 1,88 | 2,00 | 2,24 | 2,19 | 1,95 | 1,88 | 1,69 | 1,64 |
|                       | средний | 1,61 | 1,59 | 1,61 | 1,78 | 2,00 | 2,19 | 2,35 | 2,22 | 2,00 | 1,86 | 1,73 | 1,60 |
|                       | верхний | 1,20 | 1,37 | 1,20 | 1,46 | 1,55 | 1,71 | 1,77 | 1,78 | 1,69 | 1,57 | 1,29 | 1,22 |
| Хабаровск . . . . .   | нижний  | 1,23 | 1,19 | 1,18 | 1,42 | 1,62 | 1,69 | 1,79 | 1,79 | 1,69 | 1,48 | 1,28 | 1,32 |
|                       | средний | 0,91 | 0,92 | 0,98 | 0,97 | 1,22 | 1,32 | —    | 0,94 | 1,18 | 1,16 | 0,92 | 0,95 |
|                       | верхний | 0,91 | 0,90 | 0,90 | 1,03 | 1,22 | 1,27 | 1,20 | 1,33 | 1,18 | 1,04 | 0,96 | 0,93 |
| Москва . . . . .      | нижний  | 1,41 | 1,41 | 1,40 | 1,63 | 1,93 | 2,34 | 2,43 | 2,46 | 2,36 | 1,90 | 1,63 | —    |
|                       | средний | 1,28 | 1,44 | 1,45 | —    | 1,83 | 2,36 | 2,47 | 2,74 | 2,34 | 1,94 | 1,60 | —    |
|                       | верхний | 1,14 | 1,44 | 0,94 | 1,40 | 1,45 | 1,73 | 2,08 | 2,00 | 1,50 | 1,70 | 1,15 | 1,07 |
| Ленинград . . . . .   | нижний  | 1,10 | 1,19 | 1,13 | 1,48 | 1,55 | 1,72 | 2,11 | 1,94 | 1,78 | 1,48 | 1,36 | 1,33 |
|                       | средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                       | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Ашхабад . . . . .     | нижний  | 1,67 | 1,65 | 1,70 | 1,80 | 1,96 | 2,21 | 2,23 | 2,23 | 2,06 | 1,96 | 1,74 | 1,74 |
|                       | средний | 1,70 | 1,66 | 1,70 | 1,81 | 2,03 | 2,20 | 2,33 | 2,31 | 2,10 | 1,97 | 1,78 | 1,74 |
|                       | верхний | 1,35 | 1,30 | 1,32 | 1,42 | 1,63 | 1,79 | 1,83 | 1,86 | 1,73 | 1,62 | 1,36 | 1,45 |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 1,39 | 1,32 | 1,35 | 1,44 | 1,72 | 1,83 | 1,83 | 1,85 | 1,68 | 1,62 | 1,47 | 1,28 |
|                       | средний | —    | 0,98 | —    | 1,24 | 1,37 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 0,86 |
|                       | верхний | —    | —    | —    | 0,91 | 1,09 | —    | —    | —    | 1,41 | —    | 0,74 | —    |
| Ашхабад . . . . .     | нижний  | 1,66 | 1,69 | 1,69 | 1,64 | 1,84 | 2,00 | 2,12 | 2,10 | 2,08 | 1,93 | 1,77 | 1,72 |
|                       | средний | 1,63 | 1,57 | 1,73 | 1,70 | 1,81 | 2,01 | 2,18 | 2,27 | 2,13 | 1,94 | 1,73 | 1,72 |
|                       | верхний | 1,25 | 1,25 | 1,28 | 1,37 | 1,66 | 1,72 | 1,75 | 1,77 | 1,72 | 1,54 | 1,42 | 1,46 |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 1,27 | 1,24 | 1,44 | 1,36 | 1,58 | 1,67 | 1,76 | 1,76 | 1,69 | 1,49 | 1,44 | 1,40 |
|                       | средний | 0,84 | 0,97 | 0,83 | 0,85 | 1,07 | 1,17 | 1,09 | 1,43 | 1,20 | 1,29 | 1,04 | 0,97 |
|                       | верхний | —    | —    | 0,80 | —    | 2,06 | 1,28 | 1,17 | —    | 1,14 | —    | 0,97 | —    |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 1,93 | 1,91 | 1,99 | 1,97 | 2,47 | 2,35 | 2,55 | 2,46 | 2,18 | 2,18 | 1,93 | 2,01 |
|                       | средний | 1,90 | 1,89 | 2,00 | 2,06 | 2,02 | 2,21 | 2,55 | 2,47 | 2,11 | 2,11 | 1,94 | 1,94 |
|                       | верхний | 1,41 | 1,47 | 1,59 | 1,81 | 1,93 | 2,32 | 2,34 | 2,50 | 1,64 | 1,80 | 1,64 | 1,48 |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 1,54 | 1,53 | 1,46 | 1,66 | 1,87 | 2,16 | 2,23 | 2,39 | —    | 1,68 | 1,55 | 1,62 |
|                       | средний | —    | 1,37 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 1,19 | 1,96 |
|                       | верхний | —    | 1,74 | 1,17 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 2,05 |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 1,56 | 1,55 | 1,61 | 1,65 | 1,78 | 1,95 | 2,15 | 2,18 | 1,98 | 1,83 | 1,73 | 1,69 |
|                       | средний | 1,57 | 1,58 | 1,62 | 1,75 | 1,73 | 2,02 | 2,21 | 2,26 | 2,00 | 1,82 | 1,69 | 1,65 |
|                       | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |

|                     |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Харьков . . . . .   | средний | 1,25 | 1,23 | 1,19 | 1,40 | 1,45 | 1,65 | 1,70 | 1,72 | 1,56 | 1,48 | 1,29 | 1,30 |
|                     | верхний | 1,19 | 1,20 | 1,33 | 1,35 | 1,45 | 1,66 | 1,83 | 1,76 | 1,60 | 1,46 | 1,38 | 1,20 |
|                     | нижний  | —    | 0,95 | —    | 1,12 | 0,92 | 1,22 | 2,01 | —    | 1,42 | —    | 1,22 | —    |
|                     | средний | 1,78 | 1,73 | 1,77 | 1,85 | 1,90 | 2,19 | 2,28 | 2,23 | 2,03 | 2,01 | 1,85 | 1,79 |
| Чита . . . . .      | верхний | 1,43 | 1,31 | 1,41 | 1,62 | 1,58 | 1,85 | 1,84 | 1,84 | 1,78 | 1,68 | 1,82 | 1,81 |
|                     | нижний  | 1,30 | 1,39 | 1,40 | 1,56 | 1,71 | 1,80 | 1,86 | 1,93 | 1,69 | 1,68 | 1,48 | 1,42 |
|                     | средний | —    | 0,84 | —    | —    | —    | 1,35 | —    | —    | —    | —    | 1,43 | 1,47 |
|                     | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | 1,82 | 2,46 | 2,18 | 1,96 | 1,61 | —    | —    |
| Рига . . . . .      | нижний  | —    | —    | 1,50 | 1,40 | 1,50 | 1,82 | 2,30 | 2,02 | 1,78 | 1,63 | 1,48 | —    |
|                     | средний | 1,05 | 1,14 | 1,32 | 1,18 | 1,27 | 1,64 | 1,84 | 1,81 | 1,49 | 1,59 | 0,88 | 1,05 |
|                     | верхний | 1,12 | 0,84 | 0,99 | 0,93 | 0,88 | 1,76 | 1,91 | 1,69 | 1,58 | 1,28 | 1,02 | 1,11 |
|                     | нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 0,90 | —    |
| Львов . . . . .     | средний | 1,71 | 1,64 | 1,71 | 1,83 | 1,89 | 2,12 | 2,13 | 2,13 | 2,11 | 2,07 | 1,88 | 1,78 |
|                     | верхний | 1,20 | 1,57 | 1,48 | 1,82 | 2,01 | 2,65 | 2,20 | 2,38 | 2,15 | 2,05 | 1,82 | 1,80 |
|                     | нижний  | 1,29 | 1,25 | 1,50 | 1,50 | 1,62 | 1,72 | 1,87 | 1,79 | 1,77 | 1,56 | 1,53 | 1,44 |
|                     | средний | 0,60 | 0,86 | 1,05 | 1,15 | 1,16 | 1,20 | 1,78 | 1,82 | 1,80 | 1,67 | 1,31 | 1,39 |
| Актюбинск . . . . . | верхний | 1,63 | 1,61 | 0,99 | —    | 1,15 | —    | —    | —    | 1,25 | —    | 1,71 | 1,50 |
|                     | нижний  | 1,68 | 1,60 | 1,71 | 1,83 | 1,90 | 2,17 | 2,27 | 2,28 | 2,11 | 2,05 | 1,82 | 1,79 |
|                     | средний | 1,41 | 1,46 | 1,46 | 1,85 | 1,96 | 2,25 | 2,18 | 2,20 | 2,17 | 2,02 | 1,78 | 1,82 |
|                     | верхний | 1,39 | 1,38 | 1,43 | 1,46 | 1,64 | 1,75 | 1,79 | 1,85 | 1,75 | 1,69 | 1,46 | 1,52 |
| Сыктывкар . . . . . | нижний  | 0,91 | —    | —    | 1,50 | 1,66 | 1,77 | 1,78 | 1,84 | 1,83 | 1,96 | 1,43 | 1,53 |
|                     | средний | 1,62 | 1,71 | 1,72 | 1,76 | 1,84 | 2,11 | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                     | верхний | 1,68 | 1,60 | 1,63 | 1,92 | 1,96 | 2,07 | 2,03 | 2,00 | 1,96 | 1,85 | 1,76 | 1,68 |
|                     | нижний  | 1,28 | 1,32 | 1,32 | 1,67 | 1,81 | 1,72 | 2,15 | 2,17 | 1,97 | 1,89 | 1,74 | 1,70 |
| Сыктывкар . . . . . | средний | 1,24 | 1,18 | 1,28 | 1,46 | 1,62 | 1,81 | 1,80 | 1,86 | 1,73 | 1,68 | 1,42 | 1,26 |
|                     | верхний | 1,18 | —    | 1,15 | 1,36 | 1,62 | 1,81 | 1,87 | 1,84 | 1,72 | 1,53 | 1,45 | 1,29 |
|                     | нижний  | 1,43 | 1,27 | 1,73 | 1,09 | 1,16 | —    | 1,47 | 1,48 | 1,34 | 1,22 | 1,18 | 1,17 |
|                     | средний | 1,34 | 1,25 | 1,66 | 1,71 | 1,83 | 2,02 | 2,09 | 2,12 | 2,03 | 1,91 | 1,50 | 1,26 |
| Сыктывкар . . . . . | верхний | —    | —    | 1,48 | 1,60 | 1,83 | 1,85 | 2,33 | 2,25 | 2,06 | 1,88 | —    | —    |
|                     | нижний  | —    | —    | 1,42 | 1,53 | 1,53 | 1,86 | 1,73 | 2,00 | 1,82 | 1,57 | —    | —    |



127





|                    |         |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------------|---------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Якутск . . . . .   | средний | 0,23  | 0,27  | 0,48  | 0,57 | 0,84 | 0,98 | 1,06 | 0,95 | 0,70 | 0,49 | 0,39 | 0,27  |
|                    | верхний | 0,27  | 0,22  | 0,19  | 0,35 | 0,47 | 0,51 | 0,46 | 0,49 | 0,49 | 0,42 | 0,30 | 0,34  |
|                    |         | —     | 0,20  | —     | 0,22 | 0,52 | 0,55 | 0,36 | —    | 0,35 | —    | 0,19 | —     |
|                    | нижний  | —     | —     | 0,37  | 0,61 | 1,39 | 1,60 | 1,43 | 1,37 | 1,63 | 0,34 | 0,00 | —     |
|                    | средний | —     | —     | 0,06  | 0,06 | 0,51 | 0,38 | 0,31 | 0,10 | 0,44 | 0,12 | 0,22 | —     |
|                    | верхний | —     | 0,04  | 0,49  | 0,63 | 1,12 | 1,36 | 1,28 | 1,20 | 1,00 | 0,40 | 0,02 | —     |
|                    |         | —     | 0,58  | 0,05  | 0,28 | 0,44 | 0,56 | 0,50 | 0,34 | 0,47 | 0,19 | 0,03 | —     |
|                    |         | —     | —     | 0,22  | 0,33 | —    | 0,75 | —    | —    | —    | 0,33 | 0,13 | —     |
|                    |         | —     | —     | —     | 0,21 | —    | —    | 0,43 | —    | —    | —    | 0,07 | —     |
| Куйбышев . . . . . | нижний  | —0,03 | 0,15  | 0,28  | 0,92 | 1,59 | 1,61 | 1,62 | 1,59 | 1,14 | 0,52 | 0,22 | 0,06  |
|                    | средний | 0,00  | —0,10 | —0,03 | 0,18 | 0,46 | 0,50 | 0,40 | 0,42 | 0,30 | 0,17 | 0,04 | 0,04  |
|                    | верхний | 0,21  | 0,28  | 0,44  | 0,78 | 0,28 | 1,31 | 1,43 | 1,23 | 0,94 | 0,62 | 0,42 | 0,24  |
|                    |         | 0,14  | 0,06  | 0,28  | 0,44 | 0,48 | 0,60 | 0,57 | 0,56 | 0,46 | 0,37 | 0,40 | 0,24  |
|                    |         | 0,07  | —     | —     | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 0,29 | 0,28 | —     |
| Баку . . . . .     | нижний  | 0,31  | 0,41  | 0,56  | 1,06 | 1,28 | —    | 1,17 | 1,26 | 0,91 | 0,65 | 0,44 | 0,31  |
|                    | средний | 0,05  | 0,09  | 0,13  | 0,27 | 0,47 | —    | 0,30 | 6,19 | 0,21 | 0,13 | 0,10 | 0,06  |
|                    | верхний | 0,56  | 0,54  | 0,69  | 1,08 | 1,20 | 1,33 | 1,22 | 1,15 | 0,94 | 0,67 | 0,60 | 0,61  |
|                    |         | 0,32  | 0,38  | 0,36  | 0,43 | 0,48 | 0,58 | 0,47 | 0,43 | 0,44 | 0,40 | 0,37 | 0,32  |
|                    |         | 0,13  | —     | —     | 0,31 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 0,19  |
| Тбилиси . . . . .  | нижний  | 0,61  | 0,84  | 1,08  | 1,42 | 1,93 | 1,90 | 2,07 | 2,08 | 1,53 | 1,16 | 0,89 | 0,62  |
|                    | средний | 0,14  | 0,26  | 0,36  | 0,38 | 0,51 | 0,60 | 0,57 | 0,54 | 0,45 | 0,41 | 0,37 | 0,23  |
|                    | верхний | 0,83  | 0,84  | 0,95  | 1,28 | 1,52 | 1,62 | 1,57 | 1,67 | 1,40 | 1,20 | 0,84 | 0,80  |
|                    |         | 0,46  | 0,45  | 0,48  | 0,60 | 0,66 | 0,68 | 0,67 | 0,77 | 0,69 | 0,64 | 0,51 | 0,52  |
|                    |         | —     | —     | —     | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —     |
| Омск . . . . .     | нижний  | —0,19 | —0,01 | 0,18  | 0,65 | 1,33 | 1,63 | 1,22 | 1,20 | 1,02 | 0,54 | 0,13 | —0,07 |
|                    | средний | —0,15 | —0,16 | —0,28 | 0,15 | 0,34 | 0,44 | 0,26 | 1,20 | 0,33 | 0,27 | 0,11 | —0,16 |
|                    | верхний | 0,05  | 0,06  | 0,03  | 0,21 | 1,08 | 1,35 | 1,14 | 1,10 | 0,89 | 0,56 | 0,37 | 0,17  |
|                    |         | —     | —     | —     | —    | 0,52 | 0,52 | 0,58 | 0,54 | 0,47 | 0,38 | 0,30 | 0,10  |
|                    |         | —     | —     | —     | —    | —    | —    | —    | 0,54 | —    | —    | —    | —     |
| Иркутск . . . . .  | нижний  | 0,04  | 0,30  | 0,49  | 0,90 | 1,31 | 1,29 | 1,10 | 1,02 | 1,01 | 0,84 | 0,37 | 0,12  |
|                    | средний | —0,14 | —0,13 | —0,14 | 0,36 | 0,53 | 0,25 | 0,28 | 0,28 | 0,25 | 0,27 | 0,02 | —0,16 |
|                    | верхний | 0,23  | 0,45  | 0,61  | 0,84 | 1,13 | 1,20 | 1,12 | 1,11 | 1,00 | 0,73 | 0,46 | 0,27  |
|                    |         | 0,05  | 0,08  | 0,11  | 0,59 | 0,42 | 0,49 | 0,51 | 0,54 | 0,47 | 0,41 | 0,20 | 0,12  |
|                    |         | —     | —     | —     | 0,19 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —     |





легче, чем над сушей. Например, в августе  $\Delta T$  между Балтийским морем и облаками нижнего яруса составляет  $8,6^\circ$ , в то время как  $\Delta T$  между сушей (в районе Риги) и облаками нижнего яруса составляет в августе  $3^\circ$ .

Зная величины наиболее вероятных значений контраста между радиационными температурами подстилающей поверхности и облаков, можно судить о возможности обнаружения облачности на ночной стороне Земли.

Из рассмотрения данных табл. 4 ясно видно, что в зимнее время задача о прослеживании облачности по измерению инфракрасной радиации становится довольно затруднительной. Даже в случае отсут-

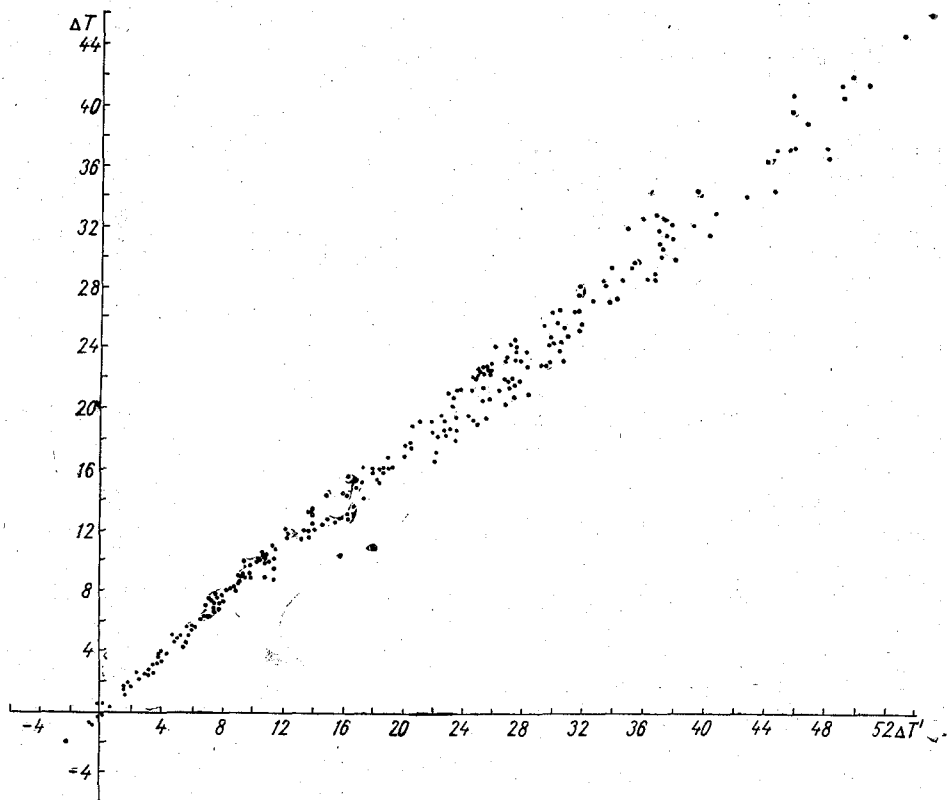


Рис. 1. График корреляции величин  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  для облаков нижнего яруса (день).

ствия инверсий аппаратура, применяемая для измерения инфракрасной радиации, должна обладать большим температурным разрешением, порядка  $2-5^\circ$ .

В летнее время облачность будет различаться значительно легче, и в этом случае допустимо применение аппаратуры с разрешением порядка  $8-10^\circ$ .

На рис. 1 и 2 представлены графики корреляции между величинами  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  для облаков нижнего яруса в дневное и ночное время суток, где  $\Delta T$  — величины контраста между радиационными температурами подстилающей поверхности и облаков (определенные по рассчитанным величинам интенсивности уходящего излучения безоблачного и облачного неба для 24 городов Советского Союза в течение года),  $\Delta T'$  —

величины контраста между истинными температурами подстилающей поверхности и облаков.

На рис. 3 и 4 представлены аналогичные графики корреляции между  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  для облаков среднего и верхнего ярусов в дневное и ночное время суток соответственно.

На всех рисунках видно, что между величинами  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  имеется довольно тесная корреляция.

В случае облаков нижнего яруса величины  $\Delta T$  отличаются от величин  $\Delta T'$  при  $\Delta T \approx 0-20^\circ$  в среднем на  $1,5-2^\circ$ ; при  $\Delta T > 20-25^\circ$ , т. е. в основном в летние месяцы, различие между величинами  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  увеличивается, достигая при  $\Delta T = 30^\circ$  приблизительно  $4-6^\circ$ , а при  $\Delta T = 40^\circ$  до  $8^\circ$ .

В случае облаков среднего яруса различие между величинами  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  значительно больше, чем это наблюдалось в случае облаков ниж-

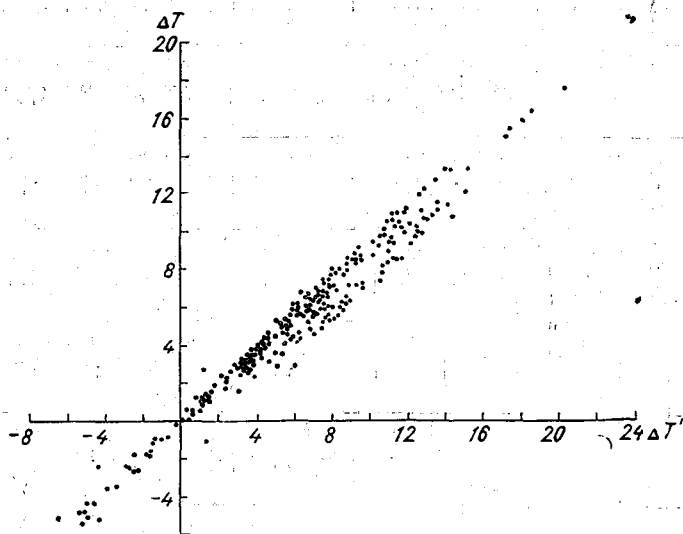


Рис. 2. График корреляции величин  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  для облаков нижнего яруса (ночь).

него яруса. С ростом величин  $\Delta T$  это различие заметно увеличивается; так, если при  $\Delta T = 10^\circ$   $\Delta T - \Delta T'$  составляет  $4^\circ$ , то при  $\Delta T = 40^\circ$   $\Delta T - \Delta T'$  достигает  $18^\circ$ .

В случае облаков верхнего яруса величины  $\Delta T$  еще больше отличаются от величин  $\Delta T'$  (см. рис. 3 и 4). Это объясняется тем, что излучение облаков среднего, а тем более верхнего яруса заметно отличается от излучения абсолютно черного тела [3], что было учтено авторами при расчете величин интенсивности излучения уходящей радиации от облаков среднего и верхнего ярусов. Наличие такой тесной корреляции между величинами  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  позволяет рекомендовать способ приближенного определения величины контраста между радиационными температурами подстилающей поверхности и облаков ( $\Delta T$ ) по известной величине контраста между истинными температурами подстилающей поверхности и облаков ( $\Delta T'$ ).

При этом необходимо отметить, что если в случае облаков нижнего яруса можно достаточно надежно определить величину  $\Delta T$  (с точностью до  $1-2^\circ$ ), зная величину  $\Delta T'$ , то в случае облаков среднего и

Величины контраста между радиационной температурой подстилающей поверхности и облаков в «окне прозрачности» 8—12 мк днем (1-я строка) и ночью (2-я строка)

| Город                 | Ярус    | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|-----------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Свердловск . . . . .  | нижний  | 0,5  | 2,5  | 7,7  | 15,7 | 24,3 | 26,4 | 19,4 | 18,0 | 16,0 | 9,9  | 4,5  | -1,0 |
|                       | средний | -2,4 | -5,2 | -1,0 | 5,4  | 6,8  | 6,1  | 4,3  | 6,3  | 7,3  | 4,8  | 0,3  | -1,8 |
|                       | верхний | 8,5  | 4,5  | 14,0 | 15,9 | 21,4 | 21,9 | 19,9 | 18,6 | 15,2 | 12,1 | 10,7 | 7,7  |
| Хабаровск . . . . .   | нижний  | 6,0  | 4,9  | 8,0  | 10,6 | 11,3 | 12,4 | 11,5 | 11,1 | 10,2 | 10,5 | 8,7  | 4,2  |
|                       | средний | 5,8  | 5,5  | 7,7  | 9,9  | 10,7 | 11,6 | —    | 12,9 | 9,0  | 8,1  | 7,6  | 5,0  |
|                       | верхний | 5,4  | 4,9  | 5,6  | 7,4  | 7,5  | 8,0  | 8,5  | 7,4  | 7,8  | 7,5  | 6,7  | 5,2  |
| Москва . . . . .      | нижний  | 2,3  | 7,8  | 11,3 | 22,7 | 22,9 | 19,2 | 18,5 | 16,5 | 12,6 | 14,7 | 8,7  | —    |
|                       | средний | -1,4 | -3,8 | 4,1  | —    | 12,0 | 4,3  | 5,9  | 1,0  | 2,8  | 5,0  | 2,3  | —    |
|                       | верхний | 7,6  | 4,8  | 21,3 | 18,7 | 23,2 | 21,9 | 17,0 | 17,3 | 22,0 | 13,1 | 15,2 | 10,7 |
| Ленинград . . . . .   | нижний  | 3,3  | 3,0  | 9,8  | 10,3 | 13,3 | 13,1 | 9,1  | 11,5 | 10,8 | 12,0 | 6,0  | 0,0  |
|                       | средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                       | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Ашхабад . . . . .     | нижний  | 1,8  | 4,0  | 8,0  | 15,9 | 22,3 | 20,6 | 21,6 | 18,5 | 14,0 | 9,6  | 6,5  | 2,5  |
|                       | средний | -1,7 | -1,9 | 1,2  | 6,5  | 7,1  | 6,5  | 5,4  | 5,0  | 6,7  | 5,4  | 3,5  | 1,3  |
|                       | верхний | 7,4  | 5,2  | 12,8 | 17,4 | 20,3 | 20,2 | 20,2 | 18,1 | 14,5 | 12,4 | 11,7 | 7,2  |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 4,6  | 6,8  | 7,5  | 11,5 | 10,1 | 10,2 | 11,2 | 10,4 | 11,5 | 9,7  | 8,3  | 9,5  |
|                       | средний | —    | —    | —    | 8,1  | 10,1 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 7,7  |
|                       | верхний | —    | —    | —    | 9,2  | 8,6  | —    | —    | —    | 6,5  | —    | 9,2  | —    |
| Ашхабад . . . . .     | нижний  | 3,8  | 5,5  | 8,1  | 19,0 | 24,6 | 26,4 | 24,3 | 21,8 | 12,9 | 10,0 | 3,2  | 4,2  |
|                       | средний | 3,5  | 1,7  | -0,9 | 8,5  | 11,0 | 10,4 | 8,6  | 5,9  | 12,9 | 6,5  | 6,4  | 3,5  |
|                       | верхний | 10,4 | 10,2 | 13,3 | 17,5 | 19,3 | 21,7 | 21,6 | 19,7 | 14,3 | 13,5 | 9,0  | 7,7  |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 9,3  | 7,7  | 4,8  | 12,3 | 11,5 | 12,5 | 12,4 | 12,2 | 11,1 | 12,5 | 10,1 | 8,3  |
|                       | средний | 7,7  | 6,7  | 9,3  | 10,9 | 11,5 | 12,5 | 13,0 | 10,5 | 8,5  | 7,3  | 7,0  | 7,2  |
|                       | верхний | —    | —    | 7,3  | —    | —    | 7,7  | 8,6  | 8,4  | —    | —    | 7,8  | —    |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 12,3 | 16,8 | 20,9 | 32,1 | 31,0 | 41,4 | 40,5 | 41,8 | 41,4 | 28,6 | 21,2 | 11,9 |
|                       | средний | 4,4  | 5,0  | 6,8  | 9,6  | 15,5 | 15,1 | 10,5 | 11,2 | —    | 8,0  | 6,2  | 3,4  |
|                       | верхний | 17,1 | 18,6 | 20,4 | 23,4 | 28,4 | 27,3 | 28,9 | 26,9 | 34,6 | 24,2 | 19,0 | 17,2 |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 9,4  | 10,0 | 14,3 | 13,1 | 12,7 | 11,0 | 12,4 | 9,0  | —    | 12,6 | 10,9 | 7,9  |
|                       | средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 10,5 | 3,5  |
|                       | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 0,1  |
| Архангельск . . . . . | нижний  | 0,2  | 1,7  | 7,2  | 14,2 | 19,0 | 23,1 | 21,2 | 18,1 | 12,7 | 8,5  | 3,1  | 0,1  |
|                       | средний | 0,1  | -1,8 | -0,2 | 2,7  | 9,6  | 8,5  | 5,6  | 4,2  | 6,6  | 6,0  | 3,5  | 1,0  |
|                       | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |

|         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| средний | 6,4  | 7,5  | 12,9 | 14,5 | 18,2 | 20,1 | 20,9 | 19,4 | 15,7 | 12,2 | 10,5 | 7,3 |
| верхний | 7,8  | 6,7  | 5,0  | 9,7  | 12,0 | 12,0 | 10,1 | 10,9 | 11,6 | 10,9 | 8,3  | 9,7 |
| нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| нижний  | —0,9 | 3,8  | 7,3  | 20,1 | 31,8 | 30,6 | 29,9 | 30,1 | 23,7 | 11,8 | 5,4  | 1,5 |
| средний | 0    | —2,5 | —0,9 | 4,4  | 10,6 | 10,3 | 7,5  | 8,2  | 6,8  | 3,9  | 0,9  | 1,2 |
| верхний | 5,6  | 7,4  | 11,6 | 16,6 | 24,5 | 23,5 | 25,8 | 22,4 | 18,9 | 14,3 | 11,0 | 7,7 |
| нижний  | 3,8  | 1,7  | 7,5  | 11,6 | 11,1 | 12,5 | 11,4 | 11,4 | 10,6 | 9,0  | 10,7 | 6,5 |
| средний | 1,9  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |
| верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |

| Город               | Ярус    | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|---------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Минск . . . . .     | нижний  | 5,1  | 6,9  | 10,9 | 17,6 | 26,5 | 24,7 | 25,4 | 20,4 | 17,4 | 11,3 | 6,9  | 5,6  |
|                     | средний | 2,9  | 2,9  | 2,9  | 8,7  | 8,5  | 9,0  | 10,0 | 5,5  | 6,6  | 5,1  | 5,6  | 3,6  |
|                     | верхний | 11,0 | 8,0  | 14,4 | 16,5 | 21,1 | 20,8 | 11,5 | 19,0 | 18,8 | 13,9 | 10,8 | 9,2  |
| Киев . . . . .      | нижний  | 2,5  | 8,3  | 6,8  | 10,9 | —    | 10,0 | —    | 10,7 | 10,7 | 10,2 | 12,3 | 10,3 |
|                     | средний | —0,5 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                     | верхний | 6,2  | 7,6  | 12,8 | 22,3 | 25,6 | 25,2 | 25,6 | 22,9 | 23,2 | 15,1 | 8,8  | 6,0  |
| Чита . . . . .      | нижний  | 3,2  | 4,7  | 4,2  | 7,9  | 11,2 | 9,9  | 7,0  | 4,3  | 3,5  | 7,4  | 5,7  | 3,6  |
|                     | средний | 9,6  | 10,0 | 15,9 | 20,0 | 22,6 | 23,8 | 22,9 | 22,2 | 20,2 | 15,4 | 11,5 | 10,8 |
|                     | верхний | 8,0  | 9,9  | 11,0 | 10,4 | 12,2 | 13,3 | 10,2 | 11,2 | 11,6 | 12,5 | 9,0  | 10,5 |
| Львов . . . . .     | нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                     | средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                     | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Актубинск . . . . . | нижний  | 8,4  | 9,9  | 13,3 | 16,8 | 23,2 | 21,4 | 20,7 | 17,8 | 18,3 | 12,5 | 10,7 | 7,0  |
|                     | средний | 4,9  | 5,3  | 6,1  | 7,9  | 9,5  | 6,0  | 9,3  | 8,4  | 5,5  | 6,1  | 7,9  | 3,9  |
|                     | верхний | 10,0 | 9,8  | 13,7 | 17,4 | 19,9 | 20,6 | 21,1 | 18,6 | 18,1 | 14,1 | 14,0 | 9,9  |
| Рига . . . . .      | нижний  | 8,8  | 8,2  | 9,5  | 11,8 | 11,7 | 11,6 | 12,6 | 11,4 | 9,4  | 10,0 | 12,3 | 8,1  |
|                     | средний | 8,3  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                     | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Актюбинск . . . . . | нижний  | 1,6  | —0,9 | 4,9  | 19,1 | 34,4 | 32,2 | 36,4 | 37,1 | 29,4 | 17,5 | 6,3  | 2,1  |
|                     | средний | —5,1 | —4,4 | —1,1 | 3,3  | 9,9  | 11,5 | 11,8 | 10,0 | 10,3 | 5,6  | 1,1  | —2,6 |
|                     | верхний | 7,7  | 8,3  | 11,2 | 14,3 | 23,0 | 26,9 | 27,2 | 26,5 | 22,8 | 14,4 | 11,0 | 9,5  |
| Рига . . . . .      | нижний  | 5,3  | 5,8  | 6,1  | 11,0 | 12,8 | 12,0 | 13,2 | 12,0 | 11,4 | 10,5 | 6,5  | 6,0  |
|                     | средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                     | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Рига . . . . .      | нижний  | 2,3  | —    | 4,0  | 7,2  | 8,3  | —    | 7,0  | 6,9  | 7,4  | 6,5  | 5,0  | 2,6  |
|                     | средний | 4,8  | 7,3  | 10,3 | 16,0 | 24,2 | 22,7 | 24,2 | 21,7 | 15,2 | 8,8  | 6,8  | 5,6  |
|                     | верхний | 3,1  | 4,9  | 2,7  | 6,7  | 7,0  | —3,5 | 7,3  | 3,2  | 5,7  | 5,1  | 6,5  | 4,6  |
| Рига . . . . .      | нижний  | 13,0 | 13,5 | 11,6 | 15,1 | 22,3 | 20,5 | 20,1 | 19,8 | 15,6 | 14,6 | 11,2 | 10,5 |
|                     | средний | 10,3 | 9,7  | 6,3  | 10,8 | 11,4 | 11,6 | 11,9 | 10,9 | 9,9  | 10,2 | 14,2 | 11,0 |



|                       |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Алма-Ата . . . . .    | верхний | 10,0 | 8,5  | 8,0  | 8,6  | 11,2 | 12,0 | —    | —    | —    | 9,5  | 8,0  | 2,9  | 3,8  |
|                       | нижний  | 7,4  | 9,0  | 13,1 | 26,4 | 29,6 | 38,9 | 45,9 | 44,6 | 39,6 | 32,6 | 15,6 | 15,6 | 10,0 |
|                       | средний | 1,5  | 3,8  | 7,9  | 12,4 | 15,9 | 17,6 | 21,2 | 16,3 | 13,4 | 12,8 | 6,2  | 6,2  | 3,3  |
|                       | верхний | 13,9 | 16,0 | 18,6 | 23,6 | 25,6 | 27,7 | 31,2 | 31,7 | 27,2 | 24,6 | 18,8 | 18,8 | 15,3 |
| Сыктывкар . . . . .   | верхний | 9,2  | 10,8 | 13,2 | 12,1 | 13,4 | 15,8 | 16,0 | 15,0 | 13,4 | 14,0 | 11,8 | 11,8 | 7,5  |
|                       | нижний  | 5,5  | 6,3  | 9,1  | 11,2 | 8,4  | —    | 7,4  | —    | —    | 12,0 | 8,8  | 8,8  | 7,1  |
|                       | средний | 2,5  | 8,9  | 2,8  | 11,5 | 22,4 | 23,7 | 21,7 | 19,4 | 11,4 | 6,2  | 8,0  | 7,0  | 5,8  |
|                       | верхний | 3,4  | 6,6  | 6,7  | 9,5  | 15,2 | 18,4 | 19,2 | 16,4 | 10,3 | 5,7  | —    | —    | —    |
| Волгоград . . . . .   | верхний | —    | —    | 3,0  | 6,7  | 11,0 | 8,9  | 11,6 | 7,4  | 7,9  | 8,5  | —    | —    | —    |
|                       | нижний  | 4,7  | 2,6  | 11,9 | 22,3 | 29,4 | 33,0 | 37,2 | 29,0 | 28,2 | 15,8 | 8,2  | 8,2  | 5,1  |
|                       | средний | 2,6  | 2,6  | 1,3  | 8,6  | 7,2  | 7,9  | 29,1 | 6,9  | 10,0 | 7,5  | 0,6  | 0,6  | 3,1  |
|                       | верхний | 9,6  | 13,2 | 15,0 | 21,2 | 25,4 | 27,4 | 16,3 | 25,4 | 22,6 | 16,5 | 12,2 | 12,2 | 11,8 |
| Харьков . . . . .     | верхний | 7,5  | 9,9  | 6,7  | 10,7 | 12,6 | 13,9 | —    | 13,0 | 11,3 | 12,1 | 9,0  | 9,0  | 9,1  |
|                       | нижний  | —    | —    | —    | —    | 8,3  | 7,8  | —    | 7,8  | —    | 7,9  | 7,0  | 7,0  | —    |
|                       | средний | 2,8  | 4,4  | 9,1  | 21,6 | 30,9 | 28,3 | 27,2 | 27,3 | 23,7 | 12,3 | 7,9  | 7,9  | 4,9  |
|                       | верхний | 0,6  | 0,5  | 3,6  | 9,2  | 10,2 | 8,6  | 6,4  | 4,5  | 4,8  | 4,2  | 4,6  | 4,6  | 2,6  |
| Новосибирск . . . . . | верхний | 8,7  | 11,3 | 13,2 | 18,2 | 25,3 | 23,8 | 24,4 | 23,6 | 19,6 | 13,9 | 12,3 | 12,3 | 10,3 |
|                       | нижний  | 9,5  | 8,8  | 9,3  | 11,4 | 11,8 | 12,1 | 12,2 | 10,6 | 12,1 | 9,4  | 10,5 | 10,5 | 8,4  |
|                       | средний | —    | —    | —    | —    | —    | 7,6  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                       | верхний | 2,3  | 7,4  | —    | 17,5 | 28,3 | 29,9 | 29,4 | 26,5 | 22,4 | 17,2 | 4,9  | 4,9  | 0,5  |
| Одесса . . . . .      | верхний | 5,3  | —    | 9,1  | 8,6  | 8,1  | 6,0  | 4,6  | 6,5  | 8,7  | 8,1  | 1,1  | 1,1  | —    |
|                       | нижний  | 4,4  | 8,3  | —    | 20,3 | 22,6 | 24,5 | 24,1 | 23,1 | 18,8 | 16,9 | 7,8  | 7,8  | 6,9  |
|                       | средний | 4,3  | 3,4  | 5,7  | 10,3 | 10,2 | 12,1 | 12,8 | 11,5 | 11,1 | 11,8 | 7,0  | 7,0  | 5,2  |
|                       | верхний | —    | 6,7  | —    | 9,6  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 6,8  | 6,8  | 3,2  |
| Одесса . . . . .      | верхний | —    | —    | —    | 8,5  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 5,8  |
|                       | нижний  | 8,6  | 10,8 | 15,9 | 25,5 | 27,1 | 31,6 | 26,6 | 34,1 | 23,8 | 16,0 | 12,0 | 12,0 | 9,6  |
|                       | средний | 6,3  | 6,9  | 6,4  | 5,3  | 11,8 | —    | —    | —    | 1,7  | 4,2  | 10,6 | 10,6 | 7,1  |
|                       | верхний | 12,3 | 13,7 | 16,3 | 22,4 | 24,9 | 26,2 | 28,1 | 26,1 | 21,9 | 18,7 | 13,2 | 13,2 | 13,7 |
|                       | верхний | 13,7 | 12,8 | 11,8 | 12,5 | 10,9 | —    | —    | —    | 17,9 | 15,6 | 12,8 | 12,8 | 9,4  |
|                       | нижний  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 2,7  |
|                       | средний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                       | верхний | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |

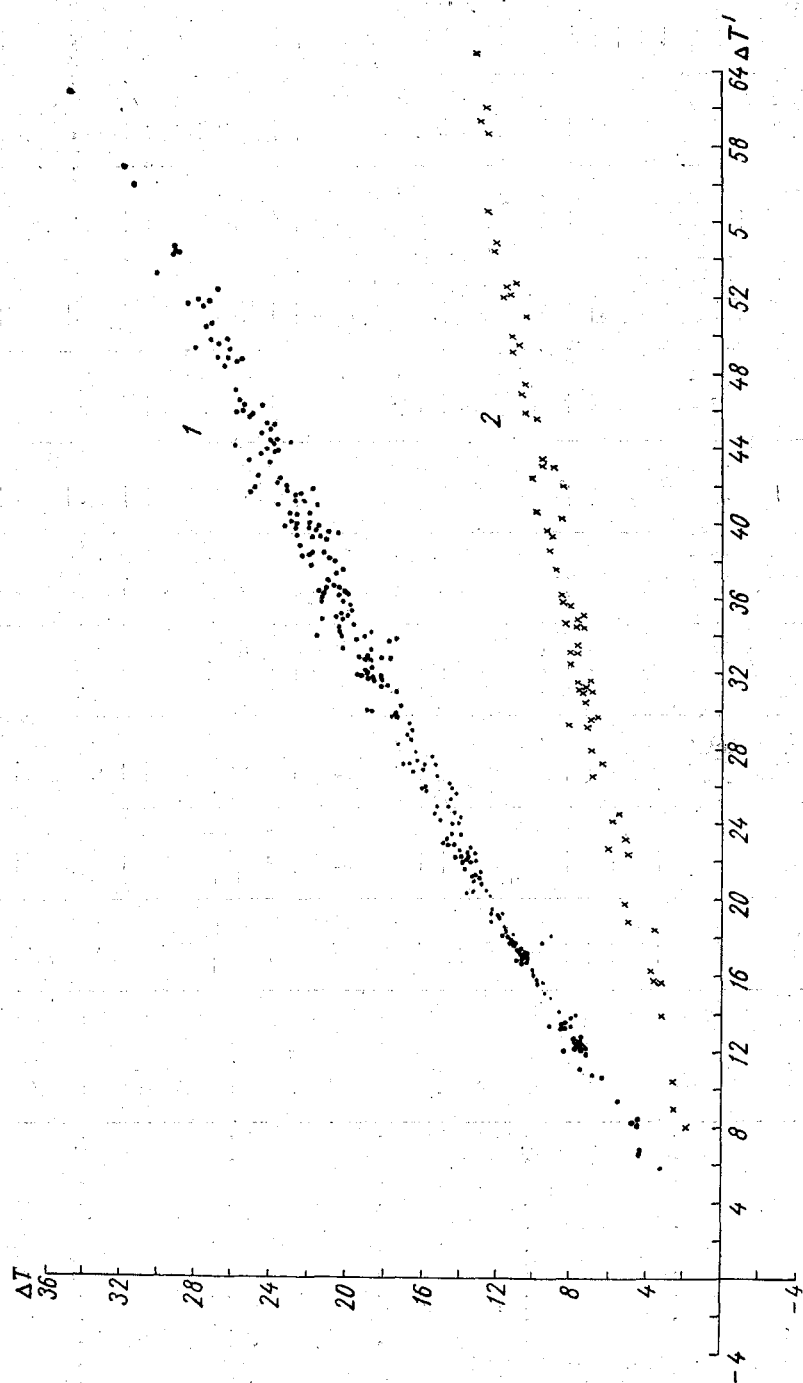


Рис. 3. График корреляции величин  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  для облаков среднего (1) и верхнего (2) ярусов (день).

верхнего ярусов следует иметь в виду, что расчеты выполнены для некоторой модели, где излучательная способность облаков среднего и верхнего ярусов ( $\delta$ ) соответствует среднемуголетним оптическим свойствам этих облаков [3].

В действительности геометрическая толщина облаков среднего и верхнего ярусов является довольно изменчивой величиной, следова-

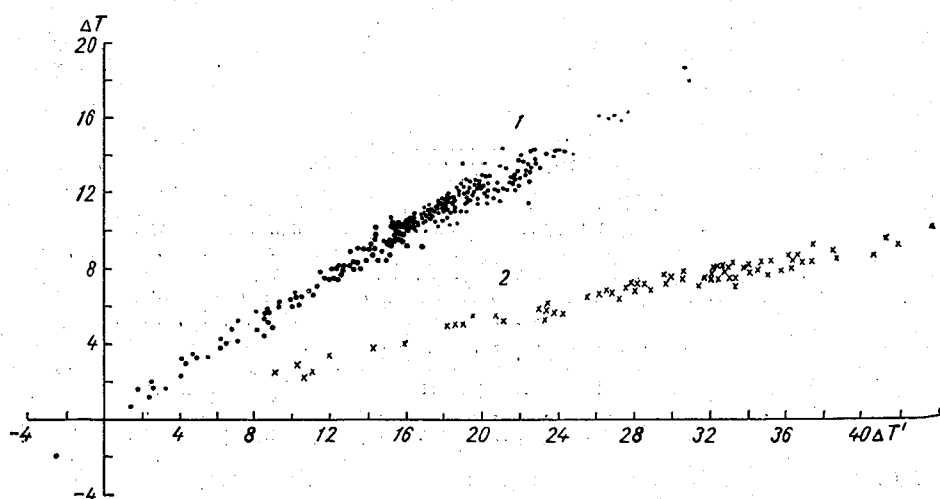


Рис. 4. График корреляции величин  $\Delta T$  и  $\Delta T'$  для облаков среднего (1) и верхнего (2) ярусов (ночь).

тельно, будет меняться в довольно широких пределах и величина  $\delta$ ; поэтому определение величины  $\Delta T$  по известной величине  $\Delta T'$  с помощью рис. 3 и 4 целесообразно лишь при рассмотрении некоторых средних, характерных для данного района величин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев К. Я., Тер-Маркарянц Н. Е. О возможности обнаружения облачности на ночной стороне Земли по данным измерений уходящего теплового излучения в «окне прозрачности» атмосферы. Тр. ГГО, вып. 170, 1965.
2. Гусева Л. Н. К вопросу об определении температуры поверхности почвы по температуре воздуха. См. наст. сборник.
3. Новосельцев Е. П. О степени черноты облаков верхнего и среднего ярусов. См. наст. сборник.
4. Гущин Г. П. Закономерности горизонтального распределения и колебания во времени атмосферного озона. Атмосферный озон. Изд. МГУ, 1961.
5. Кондратьев К. Я. Лучистый теплообмен в атмосфере. Гидрометеиздат, Л., 1956.
6. Walshaw S. D. Integrated absorption by the  $9.6 \mu$  band of ozone. Quart — Journ. Roy. Met. Soc., v. 83, N 357, 1957.
7. Bignell K., Saiedy F. and Sheppard P. A. On the atmospheric infrared continuum Journ. of the Optical Society of America, v. 53, N 4, 1963.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| К. Я. Кондратьев, Е. П. Новосельцев, Н. Е. Тер-Маркарянц. Определение температуры подстилающей поверхности и облаков с метеорологических спутников Земли . . . . .            | 3   |
| В. Л. Гаевский, Ю. И. Рабинович, А. И. Решетников. Некоторые результаты измерений альbedo слоистых облаков в области спектра 8—12 мк . . . . .                                | 24  |
| Е. П. Барашкова. К вертикальному распределению длинноволнового восходящего потока . . . . .                                                                                   | 28  |
| Е. П. Новосельцев. О степени черноты облаков верхнего и среднего ярусов . . . . .                                                                                             | 50  |
| Л. Н. Гусева. К вопросу об определении температуры поверхности почвы по температуре воздуха . . . . .                                                                         | 71  |
| Ю. С. Фридман, В. Е. Гольдин. Параметризация телевизионных изображений облачности на электронных цифровых вычислительных машинах . . . . .                                    | 90  |
| Ю. С. Фридман, Г. Л. Шубова. Исследование внутримассовой изменчивости атмосферного аэрозоля . . . . .                                                                         | 98  |
| Г. Л. Шубова. Годовой ход вертикальной прозрачности атмосферы . . . . .                                                                                                       | 103 |
| Л. И. Чапурский. Экспериментальные исследования спектральных яркостных характеристик облаков, атмосферы и подстилающей поверхности в интервале длин волн 0,3—2,5 мк . . . . . | 110 |
| Л. В. Муравьева, Н. Е. Тер-Маркарянц. О возможности прослеживания облачности на теневой стороне Земли с метеорологических спутников . . . . .                                 | 120 |

Труды ГГО, вып. 196

### Проблемы спутниковой метеорологии

Редактор Ю. П. Бреховских      Техн. редактор М. Я. Флаум  
Корректоры: П. В. Стебливец, А. В. Хюркес

Сдано в набор 5/VII 1966 г. Подписано к печати 29/XI 1966 г.  
Бумага 70 × 108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. л. 4,375. Печ. л. 12,25. Уч.-изд. л. 11,13. Тираж 710 экз.  
М-14476 Индекс МЛ-131.  
Гидрометеорологическое издательство. Ленинград. В-53, 2-я линия, д. № 23.  
Заказ № 1083. Цена 78 коп.

Типография им. Котлякова издательства «Финансы» Комитета по печати  
при Совете Министров СССР. Ленинград, Садовая, 21.