

верхность в нижнем мираже есть изображение участка неба, создающее полную иллюзию блестящей на Солнце водной глади. Стратификация при нижнем мираже крайне неустойчива, нижний слой воздуха непрерывно пронизывается поднимающимися горячими струями воздуха и мираж на глазах изменяется.

Однородная снежная подстилающая поверхность в Антарктиде, температура которой летом выше температуры прилегающего слоя воздуха, также благоприятствует возникновению здесь нижних ми-

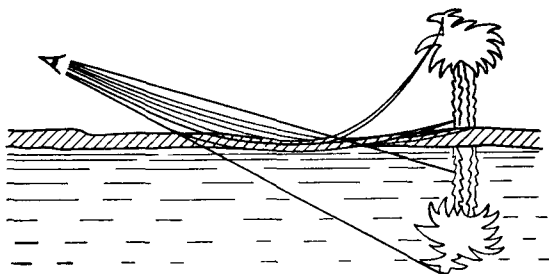


Рис. 22.13. Схема нижнего миража.

ражей. Такие миражи часто наблюдаются на станциях Восток, Комсомольская и др.

Боковые миражи возникают, когда поверхности одинаковой плотности воздуха располагаются в атмосфере не горизонтально, как обычно, а наклонно или даже вертикально. Это может иметь место летом, утром, вскоре после восхода Солнца у скалистого берега, нагретого лучами Солнца, когда поверхность озера или моря еще холодная. Боковые миражи часто наблюдаются, например, на Женевском озере.

В заключение отметим, что под влиянием атмосферных условий изменяются траектории и дальность распространения не только световых, но и звуковых волн, а также радиоволн (в частности, миллиметрового и сантиметрового диапазона, используемого в радиолокационных станциях).

6 Оптические характеристики облаков, туманов и осадков

С облаками, туманами и осадками (в дальнейшем будем называть лишь первое из этих явлений) связано наиболее сильное оптическое помутнение атмосферы: показатели ослабления света в облаках больше показателей молекулярного рассеяния $k_{\text{лм}}$ примерно на три порядка, аэрозольного ослабления $k_{\text{ла}}$ — на один-два порядка (в облаках $k_{\text{л}}$ — порядка нескольких десятков км^{-1} ,

в нижней половине тропосферы $k_{\lambda m} \sim 10^{-3} - 10^{-2} \text{ км}^{-1}$ и $k_{\lambda a} \sim 10^{-1} - 10^{-2} \text{ км}^{-1}$).

Как уже указывалось в п. 2 главы 6, рассеяние света существенно зависит от размеров рассеивающих частиц и, в частности, оно различно для мелких (молекулярные комплексы) и крупных (аэрозоль, капли облаков) частиц. Поскольку размеры капель облака изменяются в широких пределах, то вводится понятие осредненного показателя рассеяния (равно как поглощения и ослабления) света длины волны λ :

$$k_{\lambda} = \pi N \int_0^{\infty} K(\mu) r^2 f(r) dr \quad (6.1)$$

и осредненной по каплям всех размеров функции (индикатрисы) рассеяния

$$\gamma_{\lambda}(\vartheta) = N \int_0^{\infty} \gamma_{\lambda}(\vartheta, r) f(r) dr, \quad (6.2)$$

где ϑ — угол между падающим лучом света и линией, соединяющей рассеивающий объем с наблюдателем; $f(r)$ — плотность распределения капель по радиусам r ; $K(\mu)$ — введенный в п. 2 главы 6 «фактор эффективности или сечения» — безразмерный коэффициент в формуле для показателя рассеяния на одной частице: $k_{\lambda}^{(0)} = K(\mu) \pi r^2$ ($\mu = 2\pi r/\lambda$); N — общее число капель в единичном объеме облачного воздуха.

Средневзвешенная по всему спектру солнечной радиации функция рассеяния вводится соотношением

$$\gamma(\vartheta) = \frac{1}{I} \int_0^{\infty} I_{\lambda} \gamma_{\lambda}(\vartheta) d\lambda, \quad (6.3)$$

где I_{λ} — спектральная плотность радиационного потока I .

В формулы (6.1) — (6.2) входит функция $f(r)$. Приводимые ниже данные получены в предположении, что справедливо гамма-распределение капель по радиусам (см. п. 6 главы 18):

$$f(r) = \frac{1}{\Gamma(\alpha) r_0^{\alpha}} r^{\alpha-1} \exp(-r/r_0), \quad (6.4)$$

где α и r_0 — параметры распределения. Расчеты выполнены для так называемых широкого ($\alpha=3$, $r_0=2,5$ мкм) и узкого ($\alpha=7$, $r_0=0,67$ мкм) распределений.

В результате расчета получены следующие осредненные по размерам капель и длинам волн функции рассеяния (принято широ-

кое распределение капель; суммирование по λ выполнено для длин волн от 0,40 до 3,58 мкм с разбивкой на 15 интервалов):

θ°	0	2	5	10	20	30	40	50
$\gamma(\theta)$	1747	72	6,76	2,29	1,14	0,60	0,31	0,15
θ°	60	70	80	90	100	110	120	130
$10^2\gamma(\theta)$	7,1	3,3	1,6	0,88	0,65	0,67	1,08	1,74
θ°	140	150	160	170	180			
$10^2\gamma(\theta)$	7,53	3,91	3,35	3,75	17,6			

Как уже указывалось в п. 2 главы 6, индикатриса рассеяния света на крупных (по сравнению с λ) частицах сильно вытянута вперед: яркость света, рассеянного вперед, многократно превосходит яркость света, рассеянного назад. Отношение этих двух яркостей (по приведенным данным равное $1747 : 0,176 \approx 10^4$) называется *асимметрией индикатрисы рассеяния*.

Хотя при увеличении θ яркость рассеянного света уменьшается, однако до значений θ около 10 — 12° она все еще настолько значительна, что приводит к образованию венцов. Второй максимум яркости рассеянного света отмечается вблизи $\theta \approx 140^\circ$. Этот максимум порождает явление радуги.

Экспериментальные исследования индикатрис рассеяния при различной степени замутненности атмосферы показали, что все многообразие индикатрис отчетливо распадается на два класса. Для одного из них характерно пологое плавное изменение функции рассеяния $\gamma(\theta)$ в зависимости от θ при сравнительно небольших (порядка 10^1 — 10^2) значениях асимметрии рассеяния и отсутствии вторичных максимумов. Второй класс характеризуется быстрым спадом $\gamma(\theta)$ в интервале углов θ от 0 до 90 — 100° , наличием резко выраженного минимума $\gamma(\theta)$ при θ , равных 100 — 110° и нескольких вторичных максимумов (при θ , близких к 22 — 24 , 46 — 52 , 140 — 150° и др.) и большими значениями асимметрии (порядка 10^3 — 10^4). Первый класс индикатрис наблюдается при слабой замутненности (высокой прозрачности) приземного слоя, второй — в сильных и умеренных дымках, облаках и туманах.

Существует достаточно тесная корреляционная связь между показателем рассеяния (или обратной ему МДВ) и асимметрией индикатрисы рассеяния. На рис. 22.14 представлена такая связь между МДВ и отношением (α) потоков света, рассеянного в переднюю и заднюю полусферы. Как и следовало ожидать, с уменьшением МДВ это отношение увеличивается. В туманах ($S_m < 1$ км) и дымках ($1 < S_m < 10$ км) в переднюю полусферу рассеивается световой энергии в 5—30 раз больше, чем в заднюю. По данным измерений в дымке ($S_m = 5,8$ км), в области углов $\theta \leq 2^\circ$ заключено 18 %, а при $\theta < 20^\circ$ — 56 % всего рассеянного света.

Расчет функций рассеяния по данным наблюдений (в том числе — с космических кораблей) в различных слоях атмосферы по-

казал, что всюду (по крайней мере до 19—25 км, а также в области мезопаузы) велика роль рассеяния на аэрозолях; в разных слоях индикатрисы существенно различны, однако, закономерности изменения $\gamma(\phi)$ с высотой пока не установлены.

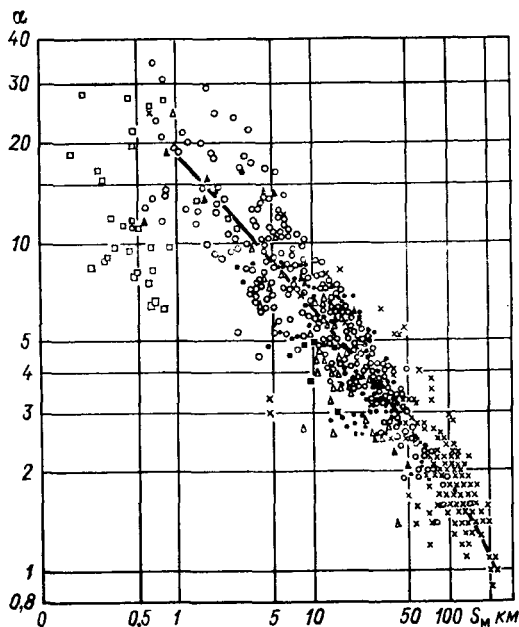


Рис. 22.14. Связь между МДВ и отношением (α) потоков света, рассеянного в переднюю и заднюю полусферы.

Значения объемного показателя рассеяния, осредненного по всем размерам капель, но при фиксированной длине волны ($\lambda = 0,7$ мкм), для разных форм облаков приведены в табл. 22.3.

В первой строке этой таблицы представлены экспериментальные значения k_λ , во второй и третьей — вычисленные по формуле

Таблица 22.3. Осредненные по размерам капель показатели рассеяния (км^{-1}) при $\lambda = 0,7$ мкм для облаков разных форм

k_λ	Облака						
	Cu	Sc	St	Ns	Frnb	As	Ac
k_λ экс	100	48	43	29	37	25	20
k_λ ш	69	26	26	37	37	26	24
k_λ уз	132	50	50	62	62	50	47

(6.1) при широком и узком распределениях капель по радиусам. Видно, что для облаков St и Sc в лучшем согласии с опытными данными находятся результаты расчета в предположении узкого распределения (оно характерно для мелкокапельных облаков), а для облаков Fgnb, As, Ac — широкого распределения. В случае Cu и Ns вычисленные значения k_λ хуже согласуются с опытными (по сравнению с другими формами облаков).

Средние \bar{k} и медианные k_m значения показателя ослабления света (для λ от 0,5 до 0,7 мкм) в облаках различных форм над Европейской частью СССР (ЕЧС), Арктикой и тропической Атлантикой представлены в табл. 22.4.

Таблица 22.4. Средние (\bar{k}) и медианные (k_m) значения показателя ослабления света (км^{-1})

Район	k	Облака				
		Sc	St	Ns	Ac	As
ЕЧС	\bar{k}	48	43	29	20	25
	k_m	40	31	21	17	18
Арктика	\bar{k}	25	42	32	19	4
	k_m	27	36	25	19	2,5
Атлантика	\bar{k}	13	—	—	8	7
	k_m	6	—	—	4	6

Согласно приведенным данным (обобщающим многолетние измерения в облаках), наиболее плотные облака на ЕЧС — слоисто-кучевые и слоистые, в Арктике — слоистые. В тропической Атлантике облака оптически очень неоднородны (рыхлой структуры). Впрочем, в других районах показатель ослабления — также весьма изменчивая во времени и от точки к точке величина.

Даже после значительного осреднения (по времени и пространству) показатели ослабления и масштаб корреляции (\bar{L}) этого показателя не остаются постоянными (под масштабом корреляции понимается такое расстояние, на котором коэффициент корреляции показателя ослабления убывает в e раз). Об этом свидетельствуют следующие данные о средних значениях \bar{k} и \bar{L} , обобщающие наблюдения об облаках за 1969—1973 гг. (числитель) и 1976—1979 гг. (знаменатель):

Облака . . .	St	Sc	Ns	Ac	As	Ns — As	As — Cs	Ci — Cs
\bar{k} км^{-1} . . .	43/41	48/32	29/16	21/14	26/6	—/12	—/3	2,5/3,7
\bar{L} км . . .	1,4/0,9	1,4/1,3	1,6/1,7	0,8/0,9	1,2/1,5	—/1,3	—/2,8	—/2,7

Поскольку представляют интерес не только средние значения \bar{k} , но и распределение его, то приведем еще значения (в км^{-1}) пока-

зателя, ослабления, соответствующие значениям интегральной функции распределения, равным 25, 50 и 75 % (эти значения k носят название квантилей показателя ослабления) по наблюдениям за 1969—1973 гг. (числитель) и 1976—1979 гг. (знаменатель):

Облака	St	Sc	Ns	Ac	As	Ns — As	As — Cs	Ci — Cs
k_{25}	14/9	19/6	9/2,5	9/2,5	11/2,5	-/3	-/2,5	-/2,5
k_{50}	31/37	40/20	21/7	17/7	19/3	-/6	-/2,5	-/3
k_{75}	59/64	65/50	40/25	28/18	33/7	-/13	-/4,3	-/4,3

Таким образом, в облаках St, например, показатель ослабления в 25 % случаев по данным за 1969—1973 гг. не превышает 14 км^{-1} , в 50 % он не больше 31 км^{-1} и в 75 % — не больше 59 км^{-1} .

В конвективных облаках умеренных широт показатель ослабления света связан линейной зависимостью с толщиной облака ($z_B - z_H$):

$$k = 50 (z_B - z_H) + 70, \quad (6.5)$$

где $z_B - z_H$ — в км (при изменении толщины от 0,5 до 4 км), k — в км^{-1} .

Приведенные значения k характеризуют ослабление радиации в среднем по всему облаку. Поскольку, однако, с увеличением высоты изменяются водность облака, число и размер капель, то меняется также и показатель ослабления. Анализ материалов измерений привел к заключению, что в облаках St—Sc и Ac, где максимум водности смещен в верхнюю часть облака, распределение $k(z)$ по высоте (z) в первом приближении описывается выражением

$$k(z)/\bar{k} = 2,8\zeta(1 - \zeta)^{1/4}, \quad (6.6)$$

где $\zeta = (z - z_H)/(z_B - z_H)$ — безразмерная высота точки над основанием облака, z_H и z_B — высоты нижней и верхней границ облака, \bar{k} — среднее (по всему облаку) значение показателя ослабления.

В кристаллических облаках и туманах (по данным немногочисленных измерений) показатель ослабления примерно на порядок меньше, чем в капельных, и практически не зависит (в диапазоне от 0,5 до 12 мкм) от длины волны (нейтральное рассеяние). Так, в умеренных широтах среднее значение k в облаках верхнего яруса (Ci, Cs) составляет $2,5 \text{ км}^{-1}$, а в тумане колеблется от 0,5 до $1,2 \text{ км}^{-1}$.

6.1. Дальность видимости в облаках и туманах. Метеорологическая дальность видимости S_M , как показано в п. 3, однозначно связана с линейным показателем ослабления света (k_λ):

$$S_M = 3,9/k_\lambda. \quad (6.7)$$

Поскольку размеры капель (r) облаков и туманов значительно больше длины волны (λ) света ($\mu \gg 1$), то фактор эффективности

$K(\mu)$, как следует из результатов п. 2 главы 6, практически не зависит от μ и равен 2. Вследствие этого формулу (6.1) для коэффициента ослабления света в облаках с высокой точностью можно записать в виде

$$k_\lambda = 2\pi N \int_0^\infty r^2 f(r) dr = 2\pi N \bar{r}_2^2, \quad (6.8)$$

где \bar{r}_2 — средний квадратический радиус капель.

Исключив из (6.8) по соотношению (7.7) главы 17 число капель N , получаем

$$k_\lambda = \frac{3}{2} \frac{\delta^*}{\rho_k} \frac{\bar{r}_2^2}{\bar{r}_3^3} = \frac{3}{2} \frac{\delta^*}{\rho_k} \frac{1}{r^*}, \quad (6.9)$$

где введен радиус $r^* = \bar{r}_3^3 / \bar{r}_2^2$, называемый *поверхностно-эквивалентным*. Последний связан соотношением

$$r^* = r_0 \exp(5\sigma^2/2)$$

с параметрами r_0 и σ логарифмически нормального распределения и соотношением

$$r^* = (\alpha + 2) r_0$$

с параметрами r_0 и α -гамма-распределения.

С учетом (6.9) формула (6.7) для S_M принимает вид:

$$S_M = 2,6 r^* / \delta^*, \quad (6.10)$$

где S_M — в метрах, δ^* — в г/м^3 , r^* — в микрометрах.

Из формулы (6.10) следует, что S_M уменьшается: а) с ростом водности облака (δ^*), если при этом распределение капель по размерам сохраняется неизменным ($r^* = \text{const}$), б) с уменьшением размеров капель при фиксированной водности.

В реальных условиях, как правило, одновременно изменяются размер капель и водность облака. По этой причине, согласно (6.10), по данным наблюдений за одной величиной (например, водностью) нельзя в общем случае сделать однозначное заключение об изменении МДВ. Экспериментальные данные по определению S_M в облаках и туманах с одновременным измерением водности и спектра капель малочисленны. Ауфм Кампе определил коэффициент ослабления, а вместе с этим по формуле (6.7) МДВ, измеряя яркость света, который создавал прожектор, установленный на крыле самолета. Средние значения S_M по этим данным составили: 100 м в Sc, 140 м в St и 150 м в As.

Более полные данные об ослаблении света и МДВ в облаках и туманах получены В. Г. Морачевским и Г. М. Забродским с помощью самолетного измерителя прозрачности. Согласно табл. 22.5. МДВ в облаках и туманах изменяется в широких пределах. Мак-

Таблица 22.5. Повторяемость (%) метеорологической дальности видимости в облаках и туманах

S_M м	Облака			Тума-ны	S_M м	Облака			Тума-ны
	St	Sc	Ns - As			St	Sc	Ns - As	
<26	0,1	0,5	8,1	1,0	501—600	4,2	4,9	2,0	6,4
27—50	2,0	2,1	5,4	5,4	601—700	2,7	0,2	1,3	1,0
51—100	21,7	18,0	10,1	10,3	701—800	1,5	1,8	2,7	0,5
101—200	36,1	35,6	33,1	32,9	801—900	0,7	1,1	1,4	1,0
201—300	21,4	21,1	20,3	21,7	901—1000	0,1	0,7	0,7	0,5
301—400	5,6	7,1	12,2	11,3	>1000	—	0,9	—	1,0
401—500	4,4	5,3	2,7	6,9					

симум повторяемости S_M в облаках всех форм и в туманах приходится на интервал 100—200 м. На МДВ меньше 200 м в облаках разных форм приходится от 56 до 60 %, меньше 300 м — от 77 до 81 % (общего числа наблюдений). Для осредненных (по всем случаям) условий S_M оказалась связанной с водностью облака соотношениями (δ^* — в $г/м^3$, S_M — в м):

— в случае облаков Sc

$$S_M = 34,1/\delta^{*0,63},$$

— в случае St

$$S_M = 42,7/\delta^{*0,72}.$$

Полагая $\delta^* = 0,2$, $г/м^3$, по последнему соотношению для слоистого облака найдем: $S_M = 125$ м, $k = 29$ $км^{-1}$.

На основе анализа данных измерений (169 серий), во время которых одновременно регистрировались S_M и δ^* , установлено, что

$$S_M = 27,5/\delta^{*0,87}, \quad k = 142\delta^{*0,87}$$

(здесь S_M — в метрах, δ^* — в $г/м^3$, k — в $км^{-1}$). При тех средних значениях показателя рассеяния, которые приведены в табл. 22.2, по формуле (6.7) получаем следующие значения МДВ в облаках различных форм на ЕЧС:

Облака . . .	Sc	St	Ns	As	Ac
S_M м . . .	82	92	135	152	196

Вблизи земной поверхности значительное ухудшение видимости связано в основном с туманом и сильной дымкой, а также с осадками. Так, по данным наблюдений в Пулково (Ленинград) за 1970—1972 гг., $S_M < 1$ км отмечена в тумане летом в 97 % (из общего числа 155) и зимой в 72 % (из общего числа 401); зимой также значительна (22 %) повторяемость $S_M < 1$ км в снегопадах.

В оставшихся 3 % летом и в 6 % зимой $S_M < 1$ км наблюдалась в дожде. Ухудшение S_M до 2 км и меньше летом связано с туманом (42 %), сильной дымкой (34 %) и дождем (24 %); зимой — со снегопадами (44 %), дымкой (27 %), туманом (17 %) и дождем (12 %). Ухудшенные условия видимости зимой создаются значительно чаще, чем летом: $S_M < 2$ км наблюдалась в 341 случае летом и в 1529 случаях зимой.

Дальность видимости в облаках, туманах и осадках испытывает резкие изменения во времени и пространстве. Рисунок 22.15 пока-

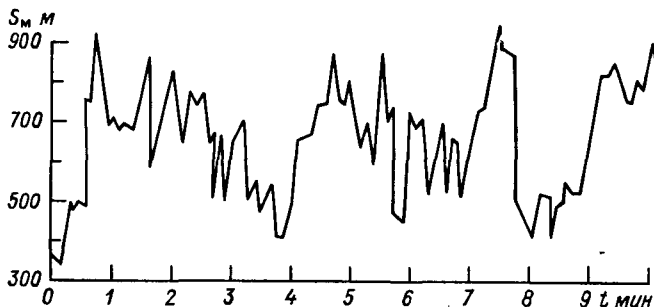


Рис. 22.15. Резкие изменения МДВ в осадках в течение коротких интервалов времени.

зывает, что МДВ может измениться в 2 раза и более в течение нескольких минут.

6.2. Связь между показателями ослабления и МДВ в видимом и инфракрасном участках спектра. Теоретический и прикладной интерес представляют сведения о показателях ослабления и МДВ не только видимой (свет), но и инфракрасной радиации (видение в инфракрасных лучах). Большая серия измерений монохроматических потоков радиации (примерно 500 спектров) выполнена в средней полосе Европейской части СССР весной и осенью 1970—1974 гг. на базе длиной 1200 м. Анализ результатов измерений позволил определить k вблизи 11 длин волн (от 0,55 до 12 мкм). Все данные разбиты на три группы: I — $3 \text{ км} \leq S_M < 25 \text{ км}$, относительная влажность $f < 90 \%$; II — $1 \text{ км} \leq S_M < 10 \text{ км}$, $f > 90 \%$; III — морось.

Средние для каждой группы значения показателя ослабления \bar{k}_λ в узком интервале длин волн (вблизи λ) и средние квадратические отклонения σ_k этого показателя приведены в табл. 22.6. Видно, что при всех λ значения \bar{k}_λ в группе II (включающей наблюдения только в дымках, к тому же при высокой относительной влажности, когда рассеивающие частицы сильно обводнены) в несколько раз больше, чем в группе I (в которую, наряду с умеренной и слабой дымкой, вошли случаи слабого помутнения атмо-

Таблица 22.6. Средние значения \bar{k}_λ и квадратические отклонения σ_λ показателя ослабления (км^{-1})

λ мкм	I		II		III	
	\bar{k}_λ	σ_λ	\bar{k}_λ	σ_λ	\bar{k}_λ	σ_λ
0,55	0,36	0,18	1,10	1,36	0,59	0,64
0,83	0,25	0,16	1,03	1,33	0,57	0,62
1,05	0,19	0,14	0,93	1,28	0,56	0,58
1,18	0,16	0,12	0,81	1,20	0,51	0,54
1,66	0,14	0,12	0,70	1,04	0,46	0,49
2,09	0,12	0,12	0,60	0,90	0,38	0,46
3,97	0,10	0,10	0,51	0,84	0,37	0,44
9,20	0,09	0,10	0,48	0,84	0,38	0,44
10,10	0,09	0,09	0,48	0,84	0,39	0,44
11,10	0,10	0,10	0,49	0,84	0,40	0,45
12,01	0,10	0,10	0,51	0,85	0,44	0,45

сферы с $S_M > 10$ км при сравнительно высокой относительной влажности). Переход из видимой в инфракрасную область спектра сопровождается в группе I (в которой более значительную роль играет молекулярное рассеяние) большим уменьшением \bar{k}_λ (примерно в 4 раза), чем в группе II (здесь преобладающую роль играет аэрозольное рассеяние, слабо зависящее от λ ; k_λ уменьшается примерно в 2 раза). Группа III (морось) занимает промежуточное положение.

Значения σ_λ , сравнимые в группах II и III со средними значениями, свидетельствуют о том, что показатель ослабления подвержен большим колебаниям во времени.

Подсчет коэффициентов корреляции (r_{λ, λ_1}) показал, что между значениями k_λ при $\lambda_1 = 0,55$ мкм (видимая область) и при других λ существует тесная связь, особенно при сильном помутнении атмосферы. В группе I при изменении λ от 0,83 до 12 мкм значение r_{λ, λ_1} монотонно уменьшается от 0,99 до 0,94, в группе III — от 0,98 до 0,84 и в группе II — от 0,94 до 0,74. Таким образом, можно определить k_λ (а вместе с этим и МДВ) в инфракрасной области по уравнению регрессии:

$$k_\lambda = \bar{k}_\lambda + r_{\lambda, \lambda_1} \frac{\sigma_\lambda}{\sigma_{\lambda_1}} (k_{\lambda_1} - \bar{k}_{\lambda_1}),$$

где $\lambda_1 = 0,55$ мкм, k_λ и k_{λ_1} — средние значения показателя в данной группе.

6.3. Яркость облаков. Большой объем данных о яркости облаков различных форм получен в последние десятилетия при наблюдении с самолетов (с высот до 9 км) и с ИСЗ (с высот до 36 000 км). Яркость облаков зависит от их оптической толщины, альbedo подстилающей поверхности, геометрических параметров наблюдения, рассеяния излучения в надоблачной атмосфере и других факторов.

На рис. 22.16 приведены сведения о распределении яркости верхней границы слоистообразных облаков, обобщающие данные

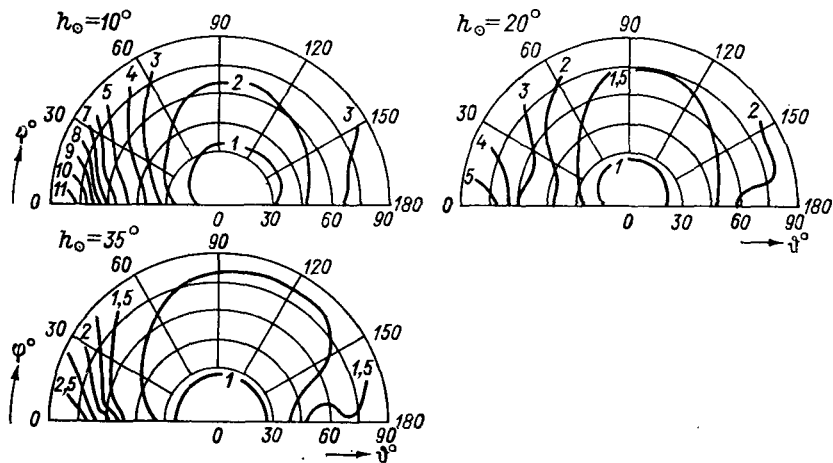


Рис. 22.16. Изолинии яркости (изофоты) верхней границы слоистообразных облаков (по данным измерений на длине волны 0,55 мкм с высот до 9 км).

h_{\odot} — высота Солнца, φ — азимутальный угол точки визирования, отсчитываемый от вертикала Солнца, θ — угол между вертикалью наблюдателя и линией визирования (надирный угол).

измерений на длине волны 0,55 мкм с самолетов. Изолинии (изофоты) на рис. 22.16 представляют собой кривые равных значений отношения яркости облака в произвольной точке к яркости его в надире (точке пересечения вертикали наблюдателя с верхней границей облака, т. е. при $\theta=0$).

При всех высотах Солнца наибольшая яркость облаков наблюдается вблизи вертикала Солнца (т. е. при углах φ , близких к 0 или 180°). Яркость в любой точке облака (при фиксированных φ и θ) тем меньше, чем больше высота Солнца. Особенно велико различие в яркостях облака в вертикале Солнца (φ , равных 0 или 180°) при положении точки визирования вблизи горизонта ($\theta \rightarrow 90^\circ$): при $\varphi=0^\circ$ яркости облака вблизи горизонта при $h_{\odot}=10^\circ$ примерно в 4 раза больше, чем при $h_{\odot}=35^\circ$. Яркость облаков в надире по данным измерений в диапазонах спектра 0,4—0,75 и 1,35—2,55 мкм пропорциональна синусу высоты Солнца при $h_{\odot} > 10^\circ$.