

Ч. ВИЛЛМАНН, В. СЕРГЕЕВИЧ

ОЦЕНКА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ И ПРОЗРАЧНОСТИ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ

Данное исследование яркости серебристых облаков проводится с целью выяснения возможности их наблюдения оптической аппаратурой, находящейся в космосе, так как наземные наблюдения не позволяют определить их истинную спектральную яркость. Разработана методика расчета яркости пространственно-однородного слоя серебристых облаков для определенных условий освещения. В качестве исходных данных использованы результаты американо-шведского ракетного эксперимента по захвату образующих облако частиц. В работе изложены методика, результаты расчетов и дается их краткий анализ.

Введение

Серебристые облака сравнительно часто появляются в средних и высоких широтах северного и южного полушарий Земли в области мезопаузы. До настоящего времени не проводилось экспериментов по измерению их внеатмосферной яркости (принципиальная возможность наблюдений серебристых облаков из космоса была показана Розенбергом [1]), а малочисленные наземные измерения в связи с трудноучитываемыми искажениями их спектра носили предварительный характер [2-6]. Сведения о микроструктуре серебристых облаков, полученные косвенным путем, позволили приблизительно установить лишь диапазоны размеров и концентраций облачных частиц. Опубликованные результаты совместного ракетного эксперимента NASA и Шведской Академии наук по захвату частиц серебристых облаков [3,7] дают возможность произвести оценочный расчет спектральной яркости и прозрачности серебристых облаков при их наблюдении из космоса над земным горизонтом, что позволяет определить требования к аппаратуре для проведения внеатмосферных измерений и тем самым уточнить физическую природу этих облаков.

Методика

При расчете были приняты следующие приближения.

1. Слой облака концентричен земному сфероиду; нижняя граница его находится на расстоянии 80 км, верхняя — 84 км от поверхности Земли, протяженность слоя более 2000 км в любом направлении.
2. В пределах указанных границ слой изотропен по составу и концентрации частиц.
3. Распределение частиц по размерам такое же, как полученное в [8].
4. Все частицы с $r < 0,1 \cdot 10^{-4}$ см — пылевые и имеют коэффициент преломления $m = \infty$ для всех длин волн в области $0,2 \div 1,0$ мк; частицы

с $r \geq 0,1 \cdot 10^{-4}$ см имеют коэффициент преломления $m = 1,33$, постоянный в интервале $0,2 \div 1,0$ мк.

5. Форма частиц — шарообразная.

6. Поглощение лучистой энергии в среде, включая само облако, отсутствует.

7. Оптическая плотность облака достаточно мала, что позволяет пренебрегать многократным рассеянием.

8. Источником лучистой энергии является только Солнце, т. е. рассеянием излучения других источников и собственным тепловым излучением облака пренебрегается.

9. Искривлением линии визирования в атмосфере за счет рефракции также пренебрегается.

10. Значение индикатрисы при угле рассеяния 180° для всех размеров частиц и длин волн постоянно и, подобно релеевским, равно 1,5. Значение индикатрисы при $\varphi = 0^\circ$ для частиц $m = 1,33$ и $m = \infty$ предполагается одинаковым.

Разъяснение принятых приближений дается в «Приложении».

Для вычисления использованы следующие формулы:

1. Длина сечения облачного слоя линией визирования при наблюдении из космоса (двукратное сечение)

$$\Delta L_z = 2[\sqrt{(2R + z_2 + z)(z_2 - z)} - \sqrt{(2R + z_1 + z)(z_1 - z)}], \quad (1)$$

где R — радиус Земли; z_1 — высота нижней границы облака; z_2 — высота верхней границы облака; z — высота линии визирования над земной поверхностью (перигей).

2. Прозрачность серебристого облака для данной высоты линии визирования

$$T_{\lambda, z} = \exp(-2\pi \Delta L_z \sigma'_\lambda), \quad (2)$$

где

$$\sigma'_\lambda = \sum_i [\dot{k}'_\lambda(r'_i) r_i'^2 N'_i(r'_i) + \ddot{k}''_\lambda(r''_i) r_i''^2 N''_i(r''_i)] \quad (3)$$

— спектральный коэффициент ослабления; $k_\lambda = f\left(\frac{2\pi r}{\lambda}\right)$ — спектральная функция; r'_i и r''_i — радиусы частиц с соответствующими коэффициентами преломления; $N'_i(r'_i)$ и $N''_i(r''_i)$ — концентрации частиц соответствующих радиусов.

3. Спектральная яркость серебристого облака при данной высоте линии визирования и угле φ между направлением визирования и направлением на Солнце

$$B_{\lambda, z, \varphi=0^\circ} = \frac{1}{4\pi} \sigma''_{\lambda, \varphi=0^\circ} T_{\lambda, z} \Delta L_z E_\lambda, \quad (4)$$

$$B_{\lambda, z, \varphi=180^\circ} = \frac{1,5}{8\pi} E_\lambda (1 - T_{\lambda, z}^2), \quad (5)$$

где

$$\sigma''_{\lambda, \varphi=0^\circ} = 2\pi \sum_i [I_{\lambda, \varphi=0^\circ}(r'_i) k_\lambda(r'_i) r_i'^2 N'_i(r'_i) + I''_{\lambda, \varphi=0^\circ}(r''_i) k''_\lambda(r''_i) r_i''^2 N''_i(r''_i)]$$

— коэффициент направленного рассеяния,

$$I_{\lambda, \varphi=0^\circ}(r'_i), \quad I''_{\lambda, \varphi=0^\circ}(r''_i)$$

— индикатрисные функции для принятых коэффициентов преломления частиц каждого радиуса (функции отношения r/λ); E_λ — спектральная облученность от Солнца.

В качестве исходных были приняты следующие данные.

1. Распределение частиц по размерам — согласно [8]. В расчетах использовались десять радиусов (в микрометрах) с соответствующими концентрациями ($см^{-3}$): 0,01—100; 0,03—50; 0,04—30; 0,05—15; 0,07—2,5; 0,10—0,5; 0,20—0,11; 0,30—0,05; 0,40—0,35; 0,50—0,025.

2. Функция $K\left(\frac{2\pi r}{\lambda}\right)$ для частиц с $m = \infty$ определялась по Гетцу, для частиц $m = 1,33$ — по Ми [9].

3. Значение индикатрисы $I_{\varphi=0^\circ}(r/\lambda)$ определялось по данным [10].

4. Величина радиуса Земли R была принята равной $6,37 \cdot 10^8$ см.

5. $z_1 = 8,0 \cdot 10^6$ см; $z_2 = 8,4 \cdot 10^6$ см; $z = 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 7,5; 7,8; 8,0 \cdot 10^6$ см.

6. Длины волн λ (мк): 0,20; 0,30; 0,50; 0,70; 1,00.

Вычисления проводились на ЭВМ.

Результаты, анализ и выводы

Результаты расчета приведены в табл. 1—5.

На рис. 1 показано изменение максимальных значений яркости по спектру для двух углов наблюдения, рассчитанное по изложенной выше методике. Две первые кривые (1 и 2) соответствуют высоте сечения 80 км; для расчета кривой 3 вместо распределения числа частиц по радиусам использовались эффективные радиусы по [6] и те же формулы, что и для расчетов кривых 1 и 2, но при следующих условиях:

- высота нижней границы облака 90 км;
- толщина облака 3 км;
- эффективный радиус частиц $0,75 \cdot 10^{-4}$ см;
- концентрация $N_{эф} = 2,5 \cdot 10^{-2}$ $см^{-3}$;
- условия наблюдения — в сторону, противоположную Солнцу для космического наблюдателя.

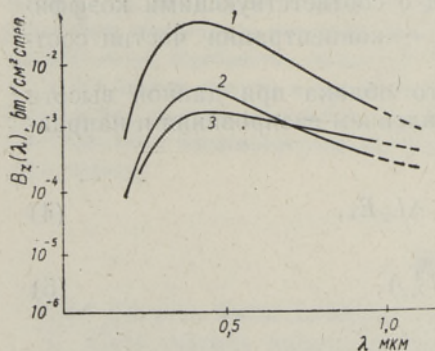


Рис. 1. Спектральное распределение яркости серебристых облаков.

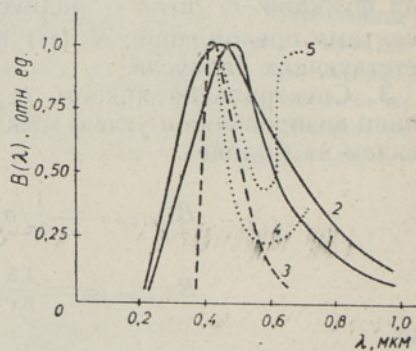


Рис. 2. Нормированное распределение максимальных яркостей серебристых облаков.

Для сравнения наших результатов с данными других работ на рис. 2 показано нормированное распределение максимальных спектральных

яркостей облака, полученных по расчетам, выполненным в данной работе (кривые 1 и 2); кривая 3 получена в экспериментах [3], кривые 4 и 5 — по данным [11].

Сравнение кривых 1—3 на рис. 1 указывает на сходство характера изменения яркости. Однако использование в расчетах для кривой 3 лишь

Таблица 1

Значение ΔL , см					
z , км	10	20	30	40	50
ΔL , см	$5,37 \cdot 10^6$	$5,78 \cdot 10^6$	$6,32 \cdot 10^6$	$7,02 \cdot 10^6$	$8,05 \cdot 10^6$
z , км	60	70	75	78	80
ΔL , см	$9,71 \cdot 10^6$	$1,32 \cdot 10^7$	$1,47 \cdot 10^7$	$2,35 \cdot 10^7$	$4,54 \cdot 10^7$

Таблица 2

Коэффициенты σ , см ⁻¹					
λ , мк	0,20	0,30	0,50	0,70	1,00
σ , см ⁻¹	$1,95 \cdot 10^{-9}$	$1,27 \cdot 10^{-9}$	$4,83 \cdot 10^{-10}$	$2,80 \cdot 10^{-10}$	$1,27 \cdot 10^{-10}$

Таблица 3

Спектральное ослабление в облаке по высоте сечения, %

$$A_{\lambda, z} = 1 - T_{\lambda, z}$$

z , км	λ , мк				
	0,20	0,30	0,50	0,70	1,00
10	6,38	4,20	1,62	0,94	0,43
20	6,85	4,51	1,74	1,02	0,46
30	7,46	4,91	1,90	1,10	0,50
40	8,26	5,45	2,12	1,23	0,56
50	9,40	6,22	2,41	1,40	0,64
60	11,22	7,45	2,90	1,69	0,77
70	14,92	9,97	3,92	2,29	1,05
75	19,18	12,93	5,14	3,01	1,38
78	25,06	17,10	6,89	4,06	1,86
80	42,82	30,39	12,89	7,68	3,57

Таблица 4

Коэффициенты σ''_{λ} , см ⁻¹					
λ , мк	0,20	0,30	0,50	0,70	1,00
σ'' , см ⁻¹	$2,54 \cdot 10^{-8}$	$1,62 \cdot 10^{-8}$	$9,16 \cdot 10^{-9}$	$3,41 \cdot 10^{-9}$	$1,08 \cdot 10^{-9}$

Таблица 5

Значения яркости облака для двух направлений наблюдения
(верхний ряд — в направлении на Солнце) по высоте сечения, $вт/м^2$ стер $мк$

z , км	λ , мк				
	0,20	0,30	0,50	0,70	1,00
10	$0,96 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^{-3}$	$4,80 \cdot 10^{-3}$	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$2,09 \cdot 10^{-4}$
	$1,11 \cdot 10^{-5}$	$2,92 \cdot 10^{-4}$	$3,81 \cdot 10^{-4}$	$1,62 \cdot 10^{-4}$	$3,72 \cdot 10^{-5}$
20	$1,03 \cdot 10^{-4}$	$2,76 \cdot 10^{-3}$	$5,17 \cdot 10^{-3}$	$1,42 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-4}$
	$1,18 \cdot 10^{-5}$	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$4,11 \cdot 10^{-4}$	$1,74 \cdot 10^{-4}$	$4,00 \cdot 10^{-5}$
30	$1,12 \cdot 10^{-4}$	$3,00 \cdot 10^{-3}$	$5,62 \cdot 10^{-3}$	$1,54 \cdot 10^{-3}$	$2,46 \cdot 10^{-4}$
	$1,29 \cdot 10^{-5}$	$3,42 \cdot 10^{-4}$	$4,48 \cdot 10^{-4}$	$1,90 \cdot 10^{-4}$	$4,35 \cdot 10^{-5}$
40	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$3,31 \cdot 10^{-3}$	$6,25 \cdot 10^{-3}$	$1,71 \cdot 10^{-3}$	$2,73 \cdot 10^{-4}$
	$1,42 \cdot 10^{-5}$	$3,89 \cdot 10^{-4}$	$5,00 \cdot 10^{-4}$	$2,21 \cdot 10^{-4}$	$4,87 \cdot 10^{-5}$
50	$1,39 \cdot 10^{-4}$	$3,78 \cdot 10^{-3}$	$7,15 \cdot 10^{-3}$	$1,96 \cdot 10^{-3}$	$3,14 \cdot 10^{-4}$
	$1,61 \cdot 10^{-5}$	$4,40 \cdot 10^{-4}$	$5,68 \cdot 10^{-4}$	$2,41 \cdot 10^{-4}$	$5,57 \cdot 10^{-5}$
60	$1,65 \cdot 10^{-4}$	$4,50 \cdot 10^{-3}$	$8,45 \cdot 10^{-3}$	$2,36 \cdot 10^{-3}$	$3,78 \cdot 10^{-4}$
	$1,91 \cdot 10^{-5}$	$5,24 \cdot 10^{-4}$	$6,81 \cdot 10^{-4}$	$2,90 \cdot 10^{-4}$	$6,76 \cdot 10^{-5}$
70	$2,14 \cdot 10^{-4}$	$5,93 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-2}$	$3,18 \cdot 10^{-3}$	$5,12 \cdot 10^{-4}$
	$2,48 \cdot 10^{-5}$	$6,92 \cdot 10^{-4}$	$9,15 \cdot 10^{-4}$	$3,91 \cdot 10^{-4}$	$9,05 \cdot 10^{-5}$
75	$2,69 \cdot 10^{-4}$	$7,55 \cdot 10^{-3}$	$1,50 \cdot 10^{-2}$	$4,16 \cdot 10^{-3}$	$6,72 \cdot 10^{-4}$
	$3,11 \cdot 10^{-5}$	$8,80 \cdot 10^{-4}$	$1,19 \cdot 10^{-3}$	$5,12 \cdot 10^{-4}$	$1,18 \cdot 10^{-4}$
78	$3,37 \cdot 10^{-4}$	$9,75 \cdot 10^{-3}$	$1,99 \cdot 10^{-2}$	$5,57 \cdot 10^{-3}$	$9,05 \cdot 10^{-4}$
	$3,94 \cdot 10^{-5}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$1,60 \cdot 10^{-4}$
80	$4,98 \cdot 10^{-4}$	$1,58 \cdot 10^{-2}$	$3,60 \cdot 10^{-2}$	$1,03 \cdot 10^{-2}$	$1,72 \cdot 10^{-2}$
	$6,03 \cdot 10^{-5}$	$1,88 \cdot 10^{-3}$	$2,87 \cdot 10^{-3}$	$1,28 \cdot 10^{-3}$	$3,04 \cdot 10^{-4}$

одного эффективного радиуса ($r_{эф} = 0,75 \cdot 10^{-4}$ см) привело к уменьшению расчетной яркости в видимой и ультрафиолетовой частях спектра и к увеличению в инфракрасной (как это видно по углу наклона кривой 3). Распределение по кривым 1 и 2 более близко к реальному распределению.

Из расчета (см. рис. 2) видно, что максимум яркости серебристых облаков смещается по спектру в зависимости от угла между наблюдаемой частью облака и направлением визирования на Солнце и составляет около 0,43 мк при $\varphi = 180^\circ$ и 0,47 мк при $\varphi = 0^\circ$. В последнем случае наблюдается более резкий спад яркости с отклонением длины волны от максимума, однако абсолютные значения яркости (см. табл. 5) остаются более высокими, чем при $\varphi = 180^\circ$. Подобная тенденция резкого падения яркости на крыльях кривой характерна и для спектра 3 (рис. 2). Однако, по нашему мнению, столь резкое падение яркости по направлению к ультрафиолетовой и инфракрасной частям спектра сомнительно. Автор работы [3] называет этот результат своих измерений «предвари-

тельным». Спектры, полученные в 1951 г. [11], качественно совпадают с полученным в расчете распределением до $\lambda = 0,6$ мк. Рост яркости в красной части может быть объяснен либо ошибками измерений, либо наличием налагающегося на рассеянный серебристыми облаками свет флуоресцентного излучения группы ОН, которое, по данным [12] и результатам измерений, выполненных в астрофизической обсерватории в Тыраре, увеличивается при появлении серебристых облаков.

Фотографирование серебристых облаков с синими и красными фильтрами показало, что яркость облака убывает с длиной волны. Этим качественно подтверждаются результаты проведенных нами расчетов.

Отношение спектральных яркостей серебристых облаков при наблюдении под углами $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 180^\circ$ максимально около $\lambda = 0,55$ мк (рис. 3) и убывает в направлении более коротких и более длинных волн. Под действием увеличивающегося влияния малоразмерных частиц в коротковолновой части это отношение, по-видимому, стремится к постоянной величине.

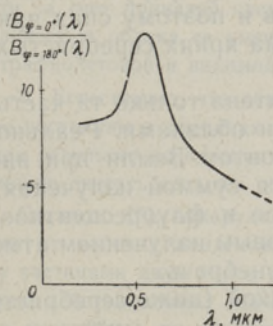


Рис. 3. Отношение спектральных яркостей серебристых облаков при наблюдении под углами $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 180^\circ$ для $z = 80$ км.

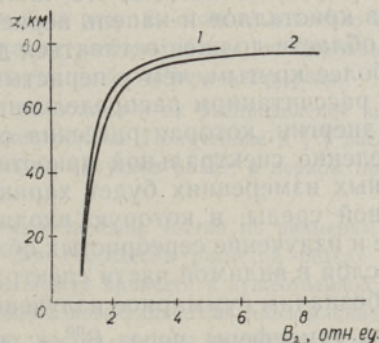


Рис. 4. Зависимость роста яркости от подъема линии визирования.

С подъемом линии визирования над горизонтом яркость облака увеличивается на всех длинах волн. Степень возрастания яркости зависит от длины волны: от 5,2 раза на 0,2 мк (кривая 1) до 7,5 раза на 0,5 мк (кривая 2, рис. 4) для $\varphi = 0^\circ$. Зависимость величины роста яркости с увеличением высоты от длины волны объясняется спектральным распределением прозрачности облачного слоя и ее уменьшением с высотой (см. табл. 3).

На рис. 5 показано спектральное распределение прозрачности для $z = 80$ км, где по расчету получено максимальное ослабление яркости. Как видно, прозрачность серебристых облаков увеличивается к более длинным волнам, т. е. к инфракрасной части спектра.

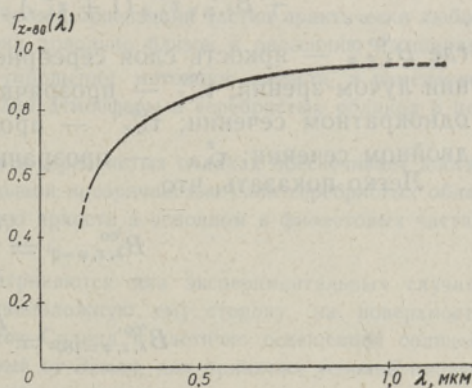


Рис. 5. Спектральное распределение прозрачности серебристых облаков для $z = 80$ км.

Принятое за основу для расчетов распределение частиц является случайным, так как до сих пор не имеется статистических данных по уникальным экспериментам, проведенным NASA. Облако, из которого была получена проба, внешне мало отличалось от «обычных» серебристых облаков и для наземного наблюдателя характеризовалось визуальной яркостью в три балла (по пятибалльной системе). По-видимому, результаты данной работы можно приблизительно отнести к «средним» серебристым облакам. Максимальные визуальные яркости серебристых облаков (пять баллов), наблюдавшиеся в 1967 г. в Тыравере, были примерно в 100 раз выше, чем средние. Это, однако, не значит, что такое же увеличение яркости в видимой части произойдет и в условиях космического наблюдения. Ориентировочный расчет показывает, что предельными значениями яркости серебристых облаков в видимой области спектра могут быть значения, наблюдаемые у плотных перистослоистых облаков. Столь же высокое альbedo предельно ярких серебристых облаков должно наблюдаться и в ультрафиолете. Что касается длинноволновой области спектра, то трудно ожидать, что частицы облака могут укрупниться до размеров кристаллов и капель перистых облаков и поэтому спад яркости в этой области должен оставаться даже у весьма ярких серебристых облаков более крутым, чем у перистых.

В рассчитанном распределении яркости учтена только та часть лучистой энергии, которая рассеяна серебристыми облаками. Реальное распределение спектральной яркости над горизонтом Земли при внеатмосферных измерениях будет характеризоваться суммой излучения атмосферной среды, в которую входят рассеянное и флуоресцентное излучение и излучение серебристых облаков. Тепловым излучением атмосферного слоя в видимой части спектра можно пренебречь.

Обозначим суммарное излучение подоблачной (ниже серебристых облаков) атмосферы через $B_{\lambda, z, \varphi}^{\text{no}}$; надоблачного слоя — $B_{\lambda, z, \varphi}^{\text{a}}$; прозрачность подоблачного слоя атмосферы — $T_{\lambda, z}^{\text{a}}$ (ослаблением в надоблачном слое пренебрегаем). Тогда суммарная яркость $B_{\lambda, z, \varphi}^{\Sigma}$ определяется из выражения

$$B_{\lambda, z, \varphi}^{\Sigma} = B_{\lambda, z, \varphi}^{\text{no}} (1 + \tau_{\lambda, z}^{\text{co}} \tau_{\lambda, z}^{\text{a}}) + B_{\lambda, z, \varphi}^{\text{co}} \tau_{\lambda, z}^{\text{co}} (1 + \tau_{\lambda, z}^{\text{a}}) + B_{\lambda, z, \varphi}^{\text{no}} \tau_{\lambda, z}^{\text{co}}, \quad (6)$$

где $B_{\lambda, z, \varphi}^{\text{co}}$ — яркость слоя серебристых облаков при однократном сечении лучом зрения; $\tau_{\lambda, z}^{\text{co}}$ — прозрачность слоя серебристых облаков при однократном сечении; $\tau_{\lambda, z}^{\text{co}}$ — прозрачность серебристых облаков при двойном сечении; $\tau_{\lambda, z}^{\text{a}}$ — прозрачность атмосферы надоблачного слоя.

Легко показать, что

$$B_{\lambda, z, \varphi=0^{\circ}}^{\text{co}} = \frac{B_{\lambda, z, \varphi=0^{\circ}}^{\text{co}}}{2\sqrt{T_{\lambda, z}^{\text{co}}}}, \quad (7)$$

$$B_{\lambda, z, \varphi=180^{\circ}}^{\text{co}} = \frac{B_{\lambda, z, \varphi=180^{\circ}}^{\text{co}}}{1 + T_{\lambda, z}^{\text{co}}}, \quad (8)$$

$$T_{\lambda, z}^{\text{co}} = \sqrt{T_{\lambda, z}^{\text{co}}}, \quad (9)$$

где

$$B_{\lambda, z, \varphi=0^{\circ}}^{\text{co}}, \quad B_{\lambda, z, \varphi=180^{\circ}}^{\text{co}}, \quad T_{\lambda, z}^{\text{co}} = 1 - A_{\lambda, z}$$

— величины, полученные по расчетам (табл. 3 и 5).

При расчетах по существующим моделям суммарного излучения атмосферы следует учитывать возможности увеличения флуоресцентной составляющей яркости атмосферы, так как интенсивность этого свечения, по-видимому, связана с условиями образования серебристых облаков [12]. Однако количественный учет влияния ОН на спектр серебристых облаков и атмосферы может быть произведен лишь после дополнительных исследований.

Приложение

1. Средняя высота нижней границы серебристых облаков около 80 км, а толщина их слоя от 0,5 до 5 км. Принятые в расчетах данные соответствуют идеализированному облаку-слою, удобному для оценочных расчетов. Поскольку в действительности заполнение этого слоя частицами неоднородное и зависит от его формы, то принятое приближение приводит к некоторому преувеличению облака при расчетах и к преуменьшению его прозрачности. Для хорошо развитого облака яркостью в три балла, когда между отдельными облачными элементами имеется флер, возможно преувеличение яркости за счет принятой схемы примерно в 2—3 раза. В связи с довольно большой прозрачностью облака ее уменьшение в принятых условиях будет значительным лишь в ультрафиолетовой и видимой частях спектра, но не более чем в два раза.

2—3. Естественно, что концентрация частиц облака и их распределение по размерам не постоянны в пределах указанных границ облака. Полученное в [3] распределение, как результат осреднения данных нескольких запусков ракет, в первом приближении можно считать средним по облачному полю.

4. Согласно [8], обнаружено довольно явное деление частиц по размерам в зависимости от наличия конденсата. Принятая для упрощения расчетов резкая граница между частицами двух видов по размерам не может привести к существенной ошибке. Так как действительные значения спектральных коэффициентов преломления частиц облака неизвестны, то принятое для пылевых частиц $m = \infty$ приводит к некоторому завышению спектральной яркости на всех длинах волн, в то время как $m = 1,33$, принятое исходя из водной теории образования серебристых облаков, не может вызвать значительного отклонения результатов оценки в пределах видимой части спектра.

5. Судя по результатам ракетных проб, частицы облака, особенно имеющие оболочку, близки по форме к шару, и поэтому такое приближение не приводит к существенным ошибкам в определении яркости и прозрачности серебристых облаков. Тем более, считается доказанным, что при хаотической ориентации частиц практически любой формы суммарный эффект рассеяния на них довольно близок к рассеянию на шарах.

6. Данное приближение принято для упрощения методики расчета, а изменение, которое нужно внести в расчеты яркости слоя атмосферы и серебристых облаков в целом, оговорено в формуле (7).

7. Учет только однократного рассеяния в серебристых облаках обеспечивает достаточно точную оценку яркости в связи с большой прозрачностью слоя серебристых облаков. Это приближение приводит к занижению яркости в основном в фиолетовых частях спектра, но не более чем в два раза.

8. В условиях расчета, когда рассматриваются два экспериментальных случая: наблюдение в сторону Солнца и в противоположную ему сторону, на поверхность серебристых облаков падает лучистый поток Солнца и частично освещенной солнцем Земли. В связи с тем, что поток, отраженный от Земли, для принятых условий наблюдения мал по сравнению с потоком от Солнца и, кроме того, рассеяние под углами, близкими к 90° , также невелико, можно считать Солнце единственным источником излучения даже для крайней расчетной $\lambda = 1 \text{ мк}$.

9. Путь луча, проходящего в атмосфере над поверхностью Земли, несколько удлиняется за счет рефракции и тем больше, чем короче длина волны. Однако для высот, на которых образуются слои серебристых облаков, рефракцией можно пренебречь.

10. Принятая в расчеги величина коэффициента преломления для малых частиц $m = \infty$ не позволяет занизить яркость серебристых облаков, но не может характеризовать направленность излучения, так как известно, что серебристые облака имеют значительно вытянутую вперед индикатрису. Поэтому было предложено считать спектральную индикатрису для всех частиц одинаковой и такой, как при $m = 1,33$ в направлении падающего лучистого потока. Для рассеяния в обратном направлении значение индикатрисы было принято одинаковым для всех длин волн. С увеличением длины волны индикатриса приближается к релеевской, поэтому учет индикатрисы в области больших длин волн более точен.

Таким образом, вышеизложенные предположения позволяют оценить порядок абсолютных значений спектральной яркости, в данном случае относящихся к облаку яркостью примерно три балла, причем спектральное распределение яркости, по-видимому, более надежно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розенберг Г. В., Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 2, № 1, 39 (1966).
2. Виллманн Ч. И., Некоторые результаты изучения природы серебристых облаков, Диссертация, Тарту, 1963.
3. Fogle B. T., Noctilucent Clouds. Scientific Report, Geophysical Institute of the University of Alaska, May, 1966.
4. Witt G., J. Geophys. Res., 65, 925 (1960).
5. Виллманн Ч. И., О результатах фотометрических наблюдений серебристых облаков, Наблюдения серебристых облаков, М., 1967, с. 84.
6. Васильев О. Б., Результаты абсолютной фотометрии и поляриметрии серебристых облаков, Тр. совещания по серебристым облакам III, Таллин, 1962, с. 14—28.
7. Witt G., Hemenway C. L., Soberman R. K., Collection and analysis of particles from the mesopause. Presented at COSPAR Fourth International space science symposium and sixth plenary meeting, Warsaw, 1963.
8. Hemenway C. L., Soberman R. K., Witt G., Tellus, 16, No. 1, 84 (1964).
9. Гертнер Г., Прозрачность замутненной атмосферы для инфракрасной волны, М., Госэнергоиздат, 1949.
10. Penndorf R., Infrared Phys., 2, 128 (1962).
11. Гришин Н. И., Астрономический циркуляр, № 159, 27 (1955).
12. Shefov N. N., OH Emission and Noctilucent Clouds. Noctilucent Clouds International Symposium (Tallinn, 1966), Moscow, 1967, p. 187.

*Институт физики и астрономии
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
5/IX 1968

CH. VILLMANN, V. SERGEJEVITS

HELKIVATE ÖÖPILVEDE SPEKTRAALSE HELEDUSE JA LÄBIPAISTVUSE HINNANG

Kuna maapealsed vaatlused ei võimalda määrata helkivate ööpilvede tegelikku spektraalset heledust, siis püütakse käesolevas välja selgitada vastavate uurimiste võimalikust optilise aparatuuri abil kosmosest. On välja töötatud ruumiliselt homogeense helkivate ööpilvede kihi ja teatud kindlate valgustustingimuste heleduse arvutamise meetodika. Lähteandmetena kasutati Ameerika-Rootsi ühise raketiekspirimendi tulemusi. Esitatakse meetodika, arvutuse tulemused ja nende lühike analüüs.

CH. VILLMANN, V. SERGEYEVICH

EVALUATION OF THE SPECTRAL BRIGHTNESS AND TRANSPARENCY OF NOCTILUCENT CLOUDS

The determination of the brightness of Noctilucent Clouds has been carried out so as to establish their influence on observation by an optical apparatus from space. Methods for determining the brightness of Noctilucent Clouds layer have been worked out. The homogeneous layers in space and certain illumination conditions are considered. The results of the American-Swedish joint rocket experiment have been used as the initial data. The methods and results of calculation and their brief analysis are presented.