

Л.А. Гаврилова, Л.С. Ивлев

## ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА АЭРОЗОЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ НА РАСЧЕТ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ

В работе исследуется влияние выбора аэрозольных моделей атмосферы на изменчивость угловой зависимости лучистого притока и потоков выходящего излучения. Показано, что разнообразие оптических характеристик аэрозоля не сказывается существенным образом на угловых зависимостях притока и потоков выходящего излучения, тогда как абсолютные значения этих величин зависят от средних значений оптической толщины и альbedo однократного рассеяния.

Необходимость учета рассеяния и поглощения света атмосферными аэрозолями при построении климатологических моделей, а также при решении многих других задач атмосферной оптики ни у кого не вызывает сомнения. Однако практическое осуществление этой задачи сталкивается с большими трудностями из-за того, что аэрозоль — самая изменчивая составляющая атмосферы.

Наличие большого количества моделей оптических характеристик атмосферных аэрозолей, предлагаемых разными авторами, не дает гарантии того, что выбранная модель действительно соответствует состоянию атмосферного аэрозоля в рассматриваемом месте. Кроме того, многие опубликованные данные о моделях не содержат всей информации, необходимой для их использования (чаще всего плохо задана индикатриса рассеяния света аэрозолем и нет достаточно полных микрофизических характеристик аэрозоля, чтобы этот пробел восполнить). Поэтому важно знать, как ошибка в выборе аэрозольной модели и степень подробности ее задания могут сказаться на рассматриваемых характеристиках поля излучения в атмосфере.

Если для успешного решения задач дистанционного зондирования аэрозольного состава атмосферы важна сильная зависимость измеряемых характеристик поля излучения от вертикальной структуры аэрозоля, то при построении климатологических моделей желательно, чтобы радиационный блок зависел только от небольшого числа усредненных аэрозольных параметров.

В данной статье приведены результаты расчетов интегральных характеристик поля излучения (приток лучистой энергии, альbedo атмосферы, освещенность поверхности) для шести моделей атмосферных аэрозолей, подробно описанных в [1], и трех широко известных моделей URB, CONT-1, MAR-1 [2]. В моделях [1] используется пять типов аэрозолей: внутриатмосферного происхождения, морской, почвенный, стратосферный и городской, которые, в свою очередь, состоят из нескольких мод. Предполагается, что аэрозоли разного происхождения не взаимодействуют между собой. Общее содержание аэрозоля получается сложением аэрозолей разного типа с определенным весом, который зависит от географических координат и времени года [3]. Расчеты выполнены в видимой области спектра 0,4–0,8 мкм для следующих моделей аэрозоля: 1) почвенный аэрозоль + стратосферный; 2) почвенный аэрозоль + стратосферный + внутриатмосферный; 3) морской аэрозоль + стратосферный; 4) морской аэрозоль + стратосферный + внутриатмосферный; 5) городской аэрозоль + почвенный + стратосферный; 6) городской аэрозоль + почвенный + стратосферный + внутриатмосферный; 7) URB; 8) CONT-1; 9) MAR-1.

Для указанных моделей вычислены оптические характеристики, которые непосредственно входят в алгоритм расчетов (высотный ход оптической толщины  $\tau(z)$ , индикатрисы рассеяния  $x(\gamma, z)$  и альbedo однократного рассеяния  $\Lambda(z)$ ):

$$\Lambda(z) = \frac{\sigma_a(z) + \sigma_m(z)}{\sigma_a(z) + \sigma_m(z) + \kappa_a(z) + \kappa_m(z)}, \quad (1)$$

$$x(\gamma, z) = \frac{x_a(\gamma, z) \cdot \sigma_a(z) + x_m(\gamma) \cdot \sigma_m(z)}{\sigma_a(z) + \sigma_m(z)}, \quad (2)$$

где  $\sigma_a(z)$ ,  $\sigma_m(z)$  и  $\kappa_a(z)$ ,  $\kappa_m(z)$  — объемные коэффициенты рассеяния и поглощения аэрозолями и молекулами;  $x_a(\gamma, z)$  — индикатриса рассеяния света аэрозолями;  $x_m(\gamma)$  — индикатриса рассеяния света молекулами. Значения  $\sigma_m(z)$ ,  $\kappa_m(z)$  вычислены для профилей температуры, давления и концентрации озона, приведенных в [4].

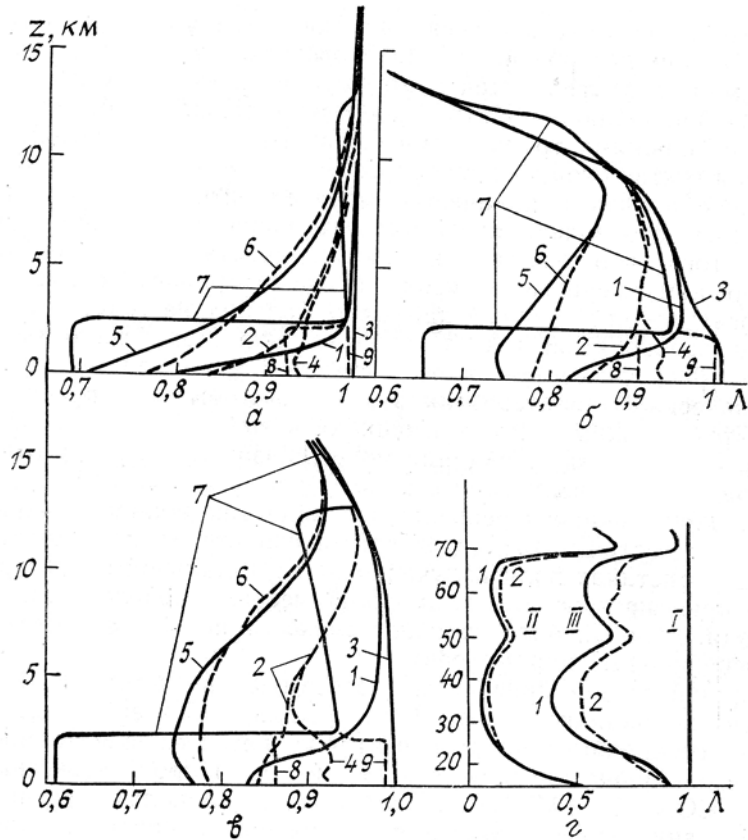


Рис. 1. Альbedo однократного рассеяния  $\Lambda(z)$ , а, б, в соответствуют  $\lambda = 0,4; 0,6; 0,8$  мкм, г — группы кривых I, II, III соответствуют  $\lambda = 0,4; 0,6; 0,8$  мкм: 1 — модели 1–6, 2 — модели 7–9

Профили  $\Lambda(z)$  для перечисленных девяти моделей даны на рис. 1. Средние характеристики моделей (полная оптическая толщина  $\tau$ , оптическая толщина по рассеянию  $\tau_{\text{рас}}$  и поглощению  $\tau_{\text{погл}}$ , среднее альbedo однократного рассеяния  $\bar{\Lambda} = \tau_{\text{рас}}/\tau$ ) приведены в таблице.

Модель	$\lambda=0,4$ мкм				$\lambda=0,6$ мкм				$\lambda=0,8$ мкм			
	$\tau$	$\tau_{\text{рас}}$	$\tau_{\text{погл}}$	$\bar{\Lambda}$	$\tau$	$\tau_{\text{рас}}$	$\tau_{\text{погл}}$	$\bar{\Lambda}$	$\tau$	$\tau_{\text{рас}}$	$\tau_{\text{погл}}$	$\bar{\Lambda}$
1	0,069	0,056	0,013	0,970	0,050	0,043	0,008	0,664	0,043	0,036	0,006	0,875
2	0,300	0,259	0,041	0,938	0,179	0,154	0,025	0,750	0,122	0,104	0,019	0,858
3	0,068	0,068	1,6–5	1,000	0,059	0,059	5,0–5	0,999	0,048	0,048	3,6–5	0,999
4	0,298	0,270	0,028	0,957	0,188	0,170	0,018	0,782	0,128	0,115	0,012	0,905
5	0,195	0,124	0,071	0,872	0,190	0,135	0,055	0,664	0,187	0,138	0,048	0,761
6	0,426	0,326	0,100	0,873	0,319	0,246	0,072	0,723	0,266	0,205	0,061	0,784
7	1,742	1,167	0,575	0,726	1,053	0,689	0,364	0,648	0,712	0,438	0,274	0,625
8	0,366	0,330	0,035	0,951	0,236	0,210	0,025	0,791	0,165	0,142	0,023	0,867
9	0,104	0,100	0,004	0,991	0,084	0,081	0,003	0,743	0,073	0,070	0,003	0,950
Молек. атмосфера	0,360	0,360	0,000	1,000	0,117	0,068	0,048	0,585	0,023	0,021	0,002	0,922

Индикатриса рассеяния  $x_1(\gamma, z)$  представлена разложением в ряд по полиномам Лежандра. Коэффициенты этого разложения  $x_i(z)$  вычислены по алгоритму, предложенному в [5].

Необходимая для вычисления притока и потоков выходящего излучения нулевая гармоника интенсивности получена с использованием метода сложения слоев, описанного в [6]. Чтобы применить этот метод, атмосфера разбивалась на двадцать слоев одинаковой оптической толщины. Каждый из слоев считался однородным, и для него вычислялись средние оптические характеристики:

$$\Lambda_n = \tau_{\text{рас}n}/\tau_n; \quad (3)$$

$$x_n(\gamma) = \frac{x_{an}(\gamma) \cdot \tau_{an\text{ рас}} + x_m(\gamma) \cdot \tau_{m\text{ рас}}}{\tau_{an\text{ рас}} + \tau_{m\text{ рас}}}, \quad (4)$$

где  $\tau_n$  — полная оптическая толщина слоя,  $\tau_{n\text{ рас}}$  — оптическая толщина слоя по рассеянию,  $\tau_{n\text{ рас}} = \tau_{an\text{ рас}} + \tau_{m\text{ рас}}$ ,  $x_{an}(\gamma)$  — средняя для слоя аэрозольная индикатриса рассеяния.

Для каждого из слоев методом удвоения [7] вычислялись коэффициенты яркости.

Расчеты выполнены для трех длин волн  $\lambda = 0,4; 0,6; 0,8$  мкм и девяти перечисленных выше моделей аэрозоля.

На рис. 2, 3, 4 приведены примеры зависимостей притока лучистой энергии во всем слое атмосферы, альbedo атмосферы и освещенности подстилающей поверхности при альbedo поверхности  $A = 0$  от зенитного угла Солнца  $9^\circ$  для  $\lambda = 0,4; 0,6$  мкм.

Как видно из рис. 1, аэрозольные модели сильно отличаются друг от друга в нижнем 15-километровом слое. Это соответствует реальному разнообразию содержания аэрозоля в атмосфере. Однако это разнообразие оптических характеристик аэрозоля не сказывается существенным образом на угловой зависимости лучистого притока и потоков выходящего излучения. Абсолютные значения рассмотренных величин в значительной степени зависят от средних оптических характеристик атмосферы: полной оптической толщины и среднего альbedo однократного рассеяния  $\Lambda = \tau_{\text{рас}}/\tau$ .

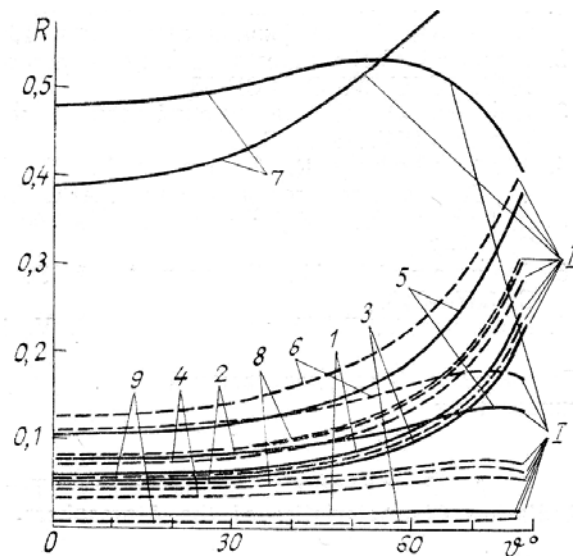


Рис. 2. Приток лучистой энергии в долях потока солнечного излучения  $\pi\text{Scos } 9^\circ$ , падающего на верхнюю границу атмосферы. I, II соответствуют  $\lambda = 0,4; 0,6$  мкм. Кривые 1—9 соответствуют моделям 1—9

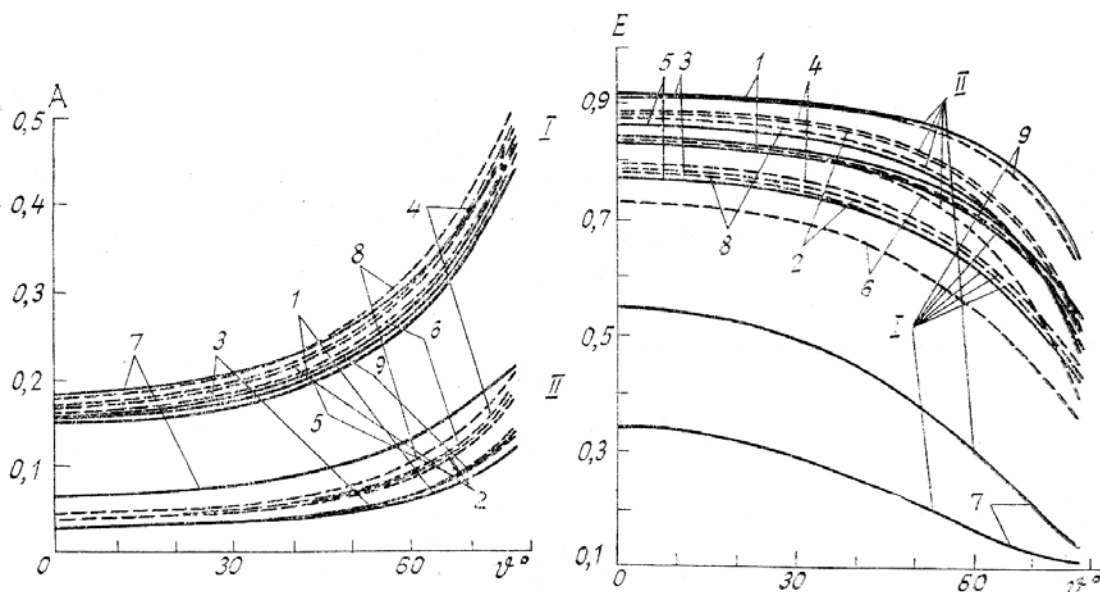


Рис. 3. Альbedo атмосферы в долях  $\pi\text{Scos } 9^\circ$ . (Обозначения см. рис. 2)

Рис. 4. Освещенность поверхности в долях  $\pi\text{Scos } 9^\circ$ . (Обозначения см. рис. 2)

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что использовать для восстановления вертикального распределения аэрозоля угловые зависимости потоков выходящего излучения нецелесообразно. Очевидно, для этой цели необходимы дополнительные более детальные измерения поля излучения.

1. Гаврилова Л.А., Ивлев Л.С. Радиационные модели атмосферных аэрозолей // Проблемы физики атмосферы. 1992. Вып. 20 (в печати).
2. Report of the experts meeting on aerosols and their climatic effects. Williamsburg, 1983. ICSU/WMO WCP-55.
3. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. С. 366.
4. McClatchey R.A., Fenn R.W., Selby J.E et al. Optical Properties of the Atmosphere (revised) Report-AFCRL-71-0279. AFCRL. Bedford. 1971. 88 p.
5. Длугач Ж.М. // Кинематика и физика небесных тел. 1985. Т. 1. № 6. С. 16–23.
6. Длугач Ж.М., Яновцкий Э.Г. // Астрофизика. 1985. Т. 23. Вып. 2. С. 337–348.
7. Hansen J.E. // Astrophys. J. 1969. V. 155. P. 565–573.

Ленинградский государственный университет

Поступила в редакцию  
25 июня 1991 г.

**L.A. Gavrilova, L.S. Ivlev. The Effect of Aerosol Models on Calculated Radiation Characteristics of the Atmosphere.**

The paper deals with the study of the aerosol models effect on calculated variability of the angular behavior of the radiation influx and on the fluxes of outgoing radiation. It is shown that the variety of the aerosol optical characteristics do not essentially influence on the angular behaviors of the radiation influx and the fluxes of outgoing radiation while their absolute values depend on the mean optical thickness and single scattering albedo of the atmosphere.