

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Т.З. Мулдашев, В.Е. Павлов

**О ВЛИЯНИИ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ РАССЕЯНИЯ ПО ЯРКОСТИ НЕБА**

Рассматривается вопрос о влиянии поглощения света на определение аэрозольной оптической толщи по наблюдениям яркости неба. Установлены эмпирические формулы, учитывающие околосолнечный ореол при интегрировании индикатрисы яркости.

Ранее нами рассматривался вопрос об определении аэрозольной оптической толщи рассеяния из измерений абсолютных индикатрис яркости $f(\varphi)$ в безоблачной атмосфере [1]. На основе анализа численных результатов решения уравнения переноса излучения были выведены аппроксимационные соотношения, связывающие τ_a^* секансы зенитных расстояний Солнца $\sec Z_0$ и разности τ_a' :

$$\tau_a^* = \frac{-(\delta + \beta \sec Z_0) + \sqrt{(\delta + \beta \sec Z_0)^2 + 4(\gamma + \varepsilon \sec Z_0) \tau_a'}}{2(\gamma + \varepsilon \sec Z_0)}, \quad (1)$$

где

$$\tau_a' = 2\pi \int_0^{\pi/2} f(\varphi) \sin \varphi d\varphi - 2\pi \int_{\pi/2}^{\pi} f(\varphi) \sin \varphi d\varphi. \quad (2)$$

Числовые значения параметров δ , β , γ и ε , определяющие зависимость τ_a^* (толща аэрозольного рассеяния) от длины волны и мутности атмосферы, приведены в [1]. Кстати, в этой же статье в конечной формуле под корнем ошибочно приведен косинус вместо должного секанса. Был исследован случай чистого рассеяния, и показано, что величины τ_a^* хорошо согласуются с истинными аэрозольными оптическими толщинами τ_a , заложенными в расчеты $f(\varphi)$.

В настоящем сообщении оценивается влияние поглощения света на величину τ_a^* .

Известно [2], что при однократном рассеянии света поглощение в пределах плоскостепенного приближения не сказывается на величине направленного коэффициента рассеяния $f_1(\varphi)$, относящегося к солнечному альмукантарату. Влияние поглощения на $f(\varphi)$ будет отсутствовать и в том случае, если рассеивающая и поглощающая субстанции формируются в виде слоев на разных высотах. Примером тому может служить расположение озонного слоя над основной массой рассеивающего вещества, что заметно упрощает интерпретацию наблюдений яркости неба в ультрафиолетовой области спектра [3]. Изменений $f(\varphi)$ можно ожидать при существенном перемешивании поглощающей и рассеивающей составляющих атмосферы.

Чтобы выяснить такие изменения, были выполнены расчеты яркости неба в альмукантарате Солнца путем решения уравнения переноса. Рассеивающая и поглощающая субстанции считались равномерно перемешанными. Величины оптических параметров, принятые в [1], целиком сохранялись, и к ним добавлялись оптические толщи поглощения τ_n в соответствии со значениями вероятности выживания кванта для частиц аэрозоля $\omega = \tau_a/\tau_a + \tau_n$, равными 0,9 и 0,65. Первое из них характерно для фонового аэрозоля [4], а второе — для городских загрязнений [5]. Уравнение переноса решалось методом сферических гармоник. Формула расчета $f(\varphi)$ в этом случае такова:

$$f(\varphi) = \frac{I(\varphi)}{\pi \exp(-\tau \sec Z_0) \sec Z_0}, \quad (3)$$

где $I(\varphi)$ — интенсивность рассеянного излучения в единицах S (πS — спектральная солнечная постоянная) и

$$\tau = \tau_R + \tau_a + \tau_n \quad (4)$$

суммарная оптическая толща атмосферы (τ_R — рэлеевская составляющая).

Результаты сопоставления оптических толщ рассеяния τ_a^* , определенных по формуле (1.), с истинными значениями τ_a приведены на рис. 1. Видно, что учет поглощения при $\omega = 0,9$ приводит к уменьшению аэрозольной толщи даже в случае существенной замутненности атмосферы не более чем на 5%. На практике это означает, что соотношение (1) вполне приемлемо для определения толщи рассеяния в пунктах, удаленных от промышленных центров. Если ω равна 0,65, то значения τ_a^* меньше τ_a на 3÷17%. Таким образом, определение τ_a по методике [1] в городах и промышленных центрах требует внесения незначительных поправок.

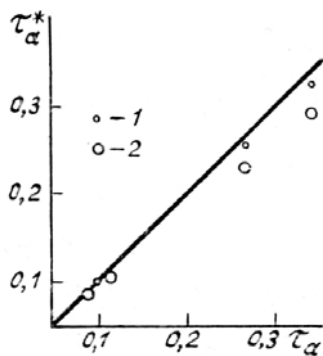


Рис. 1. Сравнение аэрозольных оптических толщ τ_a и τ_a^* при $\omega = 0,9$ (1) и 0,65 (2). Прямая соответствует случаю чистого рассеяния

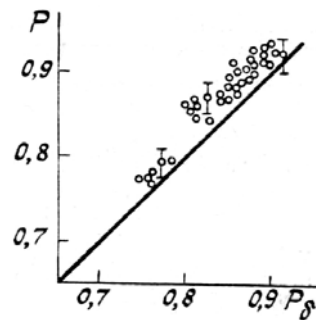


Рис. 2. Сравнение бугеровских коэффициентов прозрачности P с величинами, определенными по яркости неба в предположении отсутствия поглощения P

При практическом использовании формулы (2) необходимы измерения индикатрис яркости на малых угловых расстояниях от Солнца, что сопряжено с известными трудностями. Мы решили упростить процесс интегрирования, подобрав для ореольного участка индикатрисы соответствующие эмпирические соотношения. Первый интеграл был представлен в виде

$$2\pi \int_0^{\pi/2} f(\varphi) \sin \varphi d\varphi = 2\pi \int_0^{10^\circ} f(\varphi) \sin \varphi d\varphi + \int_{10^\circ}^{\pi/2} f(\varphi) \sin \varphi d\varphi \quad (5)$$

и

$$2\pi \int_0^{10^\circ} f(\varphi) \sin \varphi d\varphi = k(\varphi_i) f(\varphi_i). \quad (6)$$

По данным наблюдений $f(\varphi)$ с малыми углами в спектральном диапазоне 0,4÷0,7 мкм [6–7] были вычислены коэффициенты $k(\varphi_i)$ для двух φ_i : $k(5^\circ) = 0,09 \pm 0,01$ и $k(10^\circ) = 0,22 \pm 0,08$. Приведенные среднеквадратические отклонения в основном обусловлены вариациями крупнодисперсной и субмикронной фракций аэрозоля в атмосфере. Модельные расчеты [1] приводят к значениям, близким к экспериментальным: $k(5^\circ) = 0,11$ и $k(10^\circ) = 0,22$. Дополнительная погрешность в определении τ_a^* при доверительной вероятности 0,95 из-за использования замены (6) в (2) составляет 6% ($\varphi_i = 5^\circ$) и 15% ($\varphi_i = 10^\circ$).

В заключение проиллюстрируем применимость предлагаемой методики определения оптической толщи рассеяния света в безоблачной атмосфере. В [2, 6] приведены табличные данные одновременных измерений абсолютных индикатрис яркости $f(\varphi)$ и коэффициентов прозрачности атмосферы P_δ бугеровским методом в видимой области спектра. Последние определены из наблюдений интенсивности прямого солнечного излучения при разных атмосферных массах и характеризуют ослабление радиации за счет эффектов поглощения и рассеяния. С помощью соотношений (1–2) и (6) вычислим по наблюдаемым индикатрисам яркости $f(\varphi)$ значения τ_a^* , практически совпадающие, согласно вышесказанному, с аэрозольными оптическими толщинами рассеяния τ_a . Добавим к ним рэлеевские составляющие τ_R и сопоставим величины $P = \exp(-(\tau_R + \tau_a^*))$ с P_δ . Результаты такого сопоставления приведены на рис. 2. Заметно превышение P над P_δ , составляющее ~2÷4%. Оно обусловлено слабым поглощением света в полосах озона (полосы Шапшюи) и атмосферным аэрозолем.

1. Мулдашев Т.З., Павлов В.Е., Тейфель Я.А. //Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 11. С. 1130.
2. Лившиц Г.Ш. Рассеяние света в атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1965. 177 с.
3. Павлов В.Е., Рябинина Н.Г., Тейфель Я.А. //Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1975, Т. 11. С. 1191.
4. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптически модели атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 256 с.
5. Назаралиев М.А., Павлов В.Е. //Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1979. Т. 15. № 6. С. 619.
6. Иванов А.И., Лившиц Г.Ш., Павлов В.Е. и др. Рассеяние света в атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1968. 116 с.
7. Глушко В.Н., Иванов А.И., Лившиц Г.Ш. и др. Яркость и поляризация безоблачной атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1979. 101 с.

Институт математики и механики АН КазССР,
Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова АН КазССР

Поступило в редакцию
25 апреля 1990 г.

T. Z. Muldashev, V. E. Pavlov. Some Factors Effecting the Determination of the Optical Thickness due to Scattering from Sky Brightness Measurements.

The paper deals with the influence of light absorption on the aerosol optical thickness, determined from sky brightness measurements. Empirical formulas have been derived, which take into account the effect of solar aureole on the brightness phase function integration.