

В.Е. Павлов, А.С. Шестухин

Яркость неба при нефелометрических углах рассеяния в аридных районах земного шара

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

Поступила в редакцию 29.12.2001 г.

Анализируется яркость неба вблизи нефелометрических углов рассеяния 30, 40 и 60° в трех пунктах, расположенных в аридных районах земного шара: Тинга Тингана (Австралия), Солар Вилладж (Аравийский полуостров) и Даландзадгад (Монголия). Выводятся средние значения нефелометрических коэффициентов и оценивается точность вычислений с их помощью яркостной оптической толщи.

Вследствие повсеместно происходящего опустынивания обширных территорий земного шара, вызываемого изменением климата, лесными пожарами и антропогенной деятельностью, становится актуальной проблема построения радиационных моделей атмосферы для аридных зон. Важными характеристиками, входящими в эти модели, являются аэрозольные оптические толщи рассеяния $\tau_{a.p}$ и поглощения $\tau_{a.п}$. Они могут быть определены из наблюдений интенсивности прямой солнечной радиации и яркости дневного неба $B(\varphi)$ в альмукантарате Солнца [1–3]. В этом случае в вычислениях $\tau_{a.p}$ используется интегральная величина (так называемая яркостная оптическая толщина):

$$\tau_n = 2\pi \int_0^\pi \frac{B(\varphi) \sin \varphi}{E_0 e^{-\tau m} m} d\varphi, \quad (1)$$

где E_0 – спектральная солнечная постоянная [4]; $\tau = \tau_m + \tau_{a.p} + \tau_{a.п} + \tau_{oz}$ – суммарная оптическая толщина, включающая кроме вышеупомянутых компонент оптические толщи молекулярного рассеяния τ_m и поглощения света озоном τ_{oz} (в видимой области спектра); m – функция Бемпорад.

Вследствие специфики связи угла рассеяния φ с зенитным углом Солнца Z_0 и азимутом ψ , отсчитываемым от Солнца, как

$$\cos \varphi = \cos^2 Z_0 + \sin^2 Z_0 \cos \psi, \quad (2)$$

максимальный угол φ_{max} , в котором может быть измерена яркость неба $B(\varphi_{max})$, равен $2Z_0$. Это затрудняет вычисления τ_n при $Z_0 \leq 60^\circ$. В этом случае представляется рациональным использование нефелометрического метода в определении τ_n :

$$2\pi \int_0^\pi \frac{B(\varphi) \sin \varphi}{E_0 e^{-\tau m} m} d\varphi = k(\varphi_i) B(\varphi_i), \quad (3)$$

где φ_i – углы, заключенные в интервале $30 \leq \varphi_i \leq 60^\circ$ [5]. Значения $k(\varphi_i)$ для юго-восточного Казахстана,

найденные из наблюдений яркости неба, представлены в работе [6].

В настоящей статье представлены значения $k(\varphi_i)$, вычисленные по данным AERONET для трех пунктов в аридных зонах земного шара: Австралии (Тинга Тингана), Аравийского полуострова (Солар Вилладж) и Монголии (Даландзадгад).

Из представленных в AERONET данных наблюдений яркости отбирались случаи, когда при $m \geq 2$ значения $B(\varphi)$ для фиксированных углов φ слева и справа от Солнца (исключая область ореола $2 \leq \varphi \leq 4^\circ$) отличались не более чем на 10%. Тем самым в определенной мере гарантировалась однородность распределения мутности в горизонтальном направлении. Путем численного интегрирования при надежной графической интерполяции $B(\varphi) \sin \varphi$ в интервале углов $\varphi_{max} \leq \varphi \leq 180^\circ$ ($\varphi_{max} = 2Z_0$) вычислялись величины τ_n , а затем и значения коэффициентов $k(\varphi_i)$ при φ_i , равных 30, 40 и 60° в четырех участках спектра. Всего в расчетах было использовано 973 угловых распределения яркости. Затем определялись средние величины $\bar{k}(\varphi_i)$ и соответствующие среднеквадратические отклонения $\Delta k(\varphi_i)$. Окончательные результаты сведены в таблицу. В ней же приведены значения углов $\bar{\varphi}_0$ и $\Delta(\varphi_0)$, для которых выполняется условие

$$\tau_n = 4\pi \frac{B(\varphi_0)}{E_0 e^{-\tau m} m}. \quad (4)$$

Из таблицы следует, что в каждом спектральном участке значения $\bar{k}(\varphi_i)$ мало меняются при переходе от пункта к пункту наблюдений, что свидетельствует о сходстве форм спектральных индикатрис рассеяния во всех трех местностях. Имеет место хорошее согласие $\bar{k}(\varphi_i)$ с данными наблюдений для юго-востока Казахстана, представленными в [6].

Значения нефелометрических коэффициентов $\bar{k}(\varphi_i)$ и углов φ_0

λ , мкм	$\bar{k}(30^\circ)$	$\Delta k(30^\circ)$	$\bar{k}(40^\circ)$	$\Delta k(40^\circ)$	$\bar{k}(60^\circ)$	$\Delta k(60^\circ)$	$\bar{\varphi}_0$	$\Delta\varphi_0$
<i>Австралия</i>								
0,44	8,7	0,6	10,2	0,4	13,3	0,3	55,5	1,7
0,67	7,3	0,5	9,3	0,6	14,0	1,0	54,5	3,5
0,87	6,8	0,5	9,3	0,6	15,1	1,4	52,2	3,4
1,02	6,4	0,7	9,3	0,6	16,2	1,6	50,4	2,9
<i>Аравийский полуостров</i>								
0,44	8,3	0,3	10,4	0,5	14,5	0,7	50,8	2,8
0,67	7,2	0,6	10,2	0,9	16,3	1,6	48,3	3,5
0,87	6,6	0,7	9,9	1,0	16,9	1,9	48,5	4,0
1,02	6,3	0,7	9,6	1,0	17,0	2,3	49,0	4,3
<i>Монголия</i>								
0,44	8,0	0,7	9,7	0,6	13,4	0,4	55,3	2,3
0,67	7,0	0,8	9,2	0,9	14,4	1,1	53,6	3,5
0,87	6,8	0,9	9,4	1,0	15,6	1,4	50,7	3,6
1,02	6,4	0,7	9,1	0,7	15,8	1,3	51,4	3,0

Об отклонениях величин τ_n , вычисленных путем интегрирования, от

$$\tau_n^* = \frac{\bar{k}(30^\circ)B(30^\circ) + \bar{k}(40^\circ)B(40^\circ) + \bar{k}(60^\circ)B(60^\circ)}{3E_0 e^{-\tau m}} \quad (5)$$

найденных путем использования коэффициентов $\bar{k}(\varphi_i)$ для всех трех углов в каждом конкретном случае, можно судить из гистограммы, представленной на рис. 1.

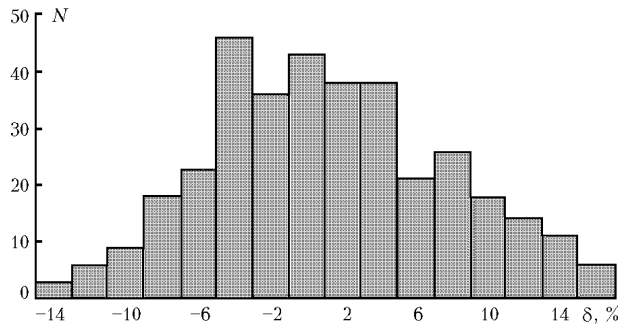


Рис. 1. Гистограмма отклонений τ_n от τ_n^* (Монголия)

Здесь приведены отклонения δ (%) для наблюдений яркости в Монголии во всех спектральных участках. N – число рассмотренных случаев. Аналогичные результаты получаются и для других пунктов (рис. 2, 3).

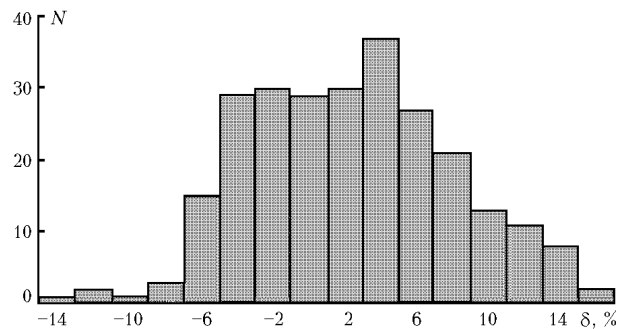


Рис. 2. Гистограмма отклонений τ_n от τ_n^* (Аравийский п-в)

Точность определения τ_n нефелометрическим методом получается равной 6,0 (Тинга Тингана), 7,7 (Даландзадгад) и 8,5% (Солар Вилладж). Для каждой местности использованы собственные значения $\bar{k}(\varphi_i)$.

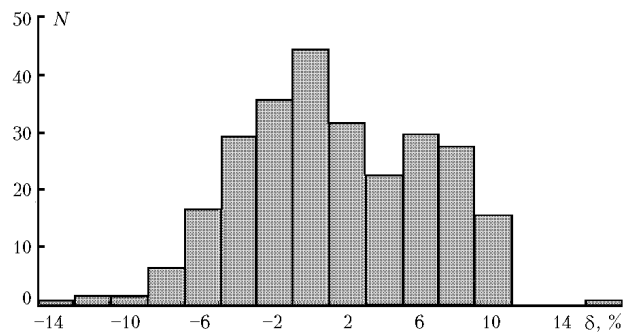


Рис. 3. Гистограмма отклонений τ_n от τ_n^* (Австралия)

Угол рассеяния $\bar{\varphi}_0$, для которого выполняется соотношение (4), уменьшается с ростом длины волны и отличается от значения $\varphi_0 = 57^\circ$, полученного Е.В. Пясковской-Фесенковой [5]. Возможные причины таких отклонений обсуждались нами ранее [6].

Таким образом, применение нефелометрического метода в расчетах величин τ_n , а затем – через уравнение переноса излучения – и $\tau_{a,p}$ позволяет осуществить анализ атмосферных замутнений при атмосферных массах $m < 2$, когда использование соотношения (1) из-за условия (2) оказывается невозможным. Тем самым констатируется возможность охватить анализом случаи наблюдений, соответствующие большей половине светлого времени дня.

1. Лившиц Г.Ш., Павлов В.Е. Прозрачность атмосферы и связь между некоторыми оптическими параметрами // Атмосферная оптика. Алма-Ата: Наука, 1968. С. 59–64.
2. Мулдашев Т.З., Павлов В.Е., Тейфель Я.А. О контроле устойчивости оптических свойств атмосферы // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1991. Т. 27. № 8. С. 831–841.
3. Смеркалов В.А. Прикладная оптика атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 1997. 334 с.

4. Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М.: Наука, 1991. 400 с.
5. Пясковская-Фесенкова Е.В. Исследование рассеяния света в земной атмосфере. М.: Изд. АН СССР, 1957. 218 с.
6. Коровченко В.Н., Ошлаков В.К., Павлов В.Е., Шестухин А.С. Анализ яркости дневного неба в области нефелометрических углов рассеяния // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 8. С. 660–662.

V.E. Pavlov and A.S. Shestukhin. Sky brightness at nephelometric scattering angles in arid regions of the Earth.

The sky brightness in the vicinity of nephelometric scattering angles of 30, 40, and 60° at points situated in arid regions: Tinga Tingana (Australia), Solar Village (Arabia), and Dalanzadgad (Mongolia) is under analysis. Mean nephelometric coefficients are calculated and the accuracy of calculation of the brightness optical thickness is estimated.