

В.Н. Коровченко*, В.К. Ошлаков, В.Е. Павлов**, А.С. Шестухин***

Анализ яркости дневного неба в области нефелометрических углов рассеяния

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

*Казахский государственный педагогический университет им. Абая, г. Алма-Ата

**Институт водных и экологических проблем СО РАН,

***Алтайский государственный технический университет им. Ползунова, г. Барнаул

Поступила в редакцию 23.05.2001 г.

Выполнен анализ данных наблюдений яркости дневного безоблачного неба в солнечном альмукуантарате на юго-востоке Казахстана в области углов рассеяния 30–60°. Установлены спектральные зависимости коэффициентов, входящих в соотношения для определения оптических толщ рассеяния нефелометрическим методом. Полученные результаты могут быть использованы для разделения вертикальных оптических толщ ослабления света на компоненты поглощения и рассеяния при высоких положениях Солнца над горизонтом.

Одной из актуальных задач современной физики атмосферы является разделение аэрозольной оптической толщи τ_a , определяемой методом Бугера из наблюдений спектральных потоков прямой солнечной радиации, на компоненты поглощения $\tau_{a,p}$ и рассеяния $\tau_{a,r}$. Она может быть решена только путем привлечения дополнительной информации о рассеивающих свойствах атмосферы, получаемой из параллельных измерений абсолютных индикатрис яркости $f(\varphi)$ в солнечном альмукуантарате [1–3]. При решении задачи по восстановлению толщи $\tau_{a,r}$ обычно используется интеграл

$$\tau_n = 2\pi \int_0^\pi f(\varphi) \sin\varphi d\varphi, \quad (1)$$

определяемый численным путем. Поскольку угол рассеяния φ связан с зенитным расстоянием Солнца Z_0 и азимутном наблюдаемой точки неба ψ , отсчитываемым от солнечного вертикала как

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

то значение максимального угла φ_{\max} при $\psi = 180^\circ$ равно $2Z_0$. Опыт численного интегрирования экспериментальных функций в разных спектральных участках говорит о том, что подобная процедура может быть более или менее надежно выполнена при наличии значений $f(\varphi)\sin\varphi$ для φ_{\max} не менее 120–130°. Вследствие этого из анализа величины τ_a на поглощательную способность автоматически выпадают ряды наблюдений, полученные при атмосферных массах $m < 2$. В летний сезон для умеренных и особенно южных широт интервал $1 \leq m \leq 2$ охватывает основную часть дневного времени. Именно в этот период в атмосфере наиболее активно происходят фотохимические реакции, формирующие аэрозоль из газовой фазы, отмечается максимум поступления загрязняющих веществ в городскую атмосферу и т.д. Поэтому поиски путей определения толщи $\tau_{a,r}$ из наблюдений $f(\varphi)$ при $Z_0 < 60^\circ$ имеют вполне определенный смысл. В настоящем сообщении исследуется

вопрос о возможности определения величины τ_n нефелометрическим методом с применением соотношений типа

$$\tau_n = k(\varphi_i) f(\varphi_i) \quad (3)$$

для углов рассеяния $30^\circ \leq \varphi_i \leq 60^\circ$ в области спектра $0,34 \leq \lambda \leq 1,01$ мкм. Используются наблюдательные данные по $f(\varphi)$, полученные в разные годы на юго-востоке Казахстана: в Астрофизическом институте АН КазССР и в п. Кирбалтабай Алма-Атинской области в летне-осеннее время.

Впервые на возможность использования соотношения (3) для определения τ_n , а затем, после внесения соответствующих поправок, и коэффициента спектральной прозрачности атмосферы «коротким методом» было указано Е.В. Пясковской-Фесенковой [4]. Ею было установлено, что при высокой прозрачности в видимой области спектра минимальные вариации $k(\varphi_i)$ ото дня ко дню имеют место вблизи угла рассеяния $\varphi_i = 60^\circ$. Коэффициент $k(60^\circ)$ оказался равным 13,1. Здесь следует заметить, что измерения $f(\varphi)$ у Е.В. Пясковской-Фесенковой были ограничены со стороны малых углов значением $\varphi \geq 10^\circ$, т.е. не учитывался околосолнечный ореол. Уже первые измерения индикатрисы яркости $f(\varphi)$ с малыми углами ($\varphi \geq 2^\circ$) показали, что учет ореола в красном участке спектра увеличивает величину τ_n в среднем на 10% [5]. Последующие исследования яркости неба в инфракрасной (ИК) области спектра привели авторов работы [6] к выводу, что в ИК-диапазоне вследствие минимального разброса значений $k(\varphi_i)$ на практике выгоднее использовать угол $\varphi_i = 30^\circ$, а не 60° . При измерениях же коэффициентов рассеяния света в локальном, в частности приземном, слое с применением искусственного источника света за нефелометрический обычно принимается угол $\varphi_i = 45^\circ$. Таким образом, возникла необходимость в более тщательном изучении вопроса о спектральной зависимости коэффициентов $k(\varphi_i)$ в вышеуказанном спектральном диапазоне.

Прежде всего рассмотрим вопрос о том, при каком угле рассеяния света φ_0 реализуется пересечение наблюдаемой функции $f(\varphi)$ с абсолютной сферической индикатрисой яркости $f = \tau_n/4\pi$. Воспользовавшись обширными рядами опубликованных данных [1, 3, 7] и результатами собственных наблюдений $f(\varphi)$ в п. Кирбалтабай, путем графической интерполяции были определены значения φ_0 в 10 спектральных участках от 0,34 до 1,01 мкм. В анализ включено свыше 350 индикатрис яркости $f(\varphi)$, измеренных в диапазоне углов рассеяния $2 \leq \varphi \leq 150-160^\circ$. Результаты приведены на рис. 1.

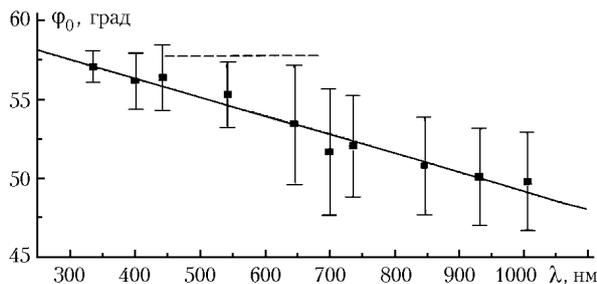


Рис. 1. Зависимость угла φ_0 от длины волны λ

Отчетливо видно, что значение угла φ_0 систематически и практически линейно падает с длиной волны λ . Штриховой линией изображен результат, полученный Е.В. Пясковской-Фесенковой: $\varphi = 57^\circ$ независимо от λ . Расхождение легко объяснимо учетом ореола при вычислениях τ_n и охватом случаев больших замутнений атмосферы в настоящих исследованиях. Только в УФ-участке, где молекулярное и многократное рассеяние доминирует над аэрозольным и вклад ореола в расчеты τ_n незначителен, угол φ_0 равен 57° .

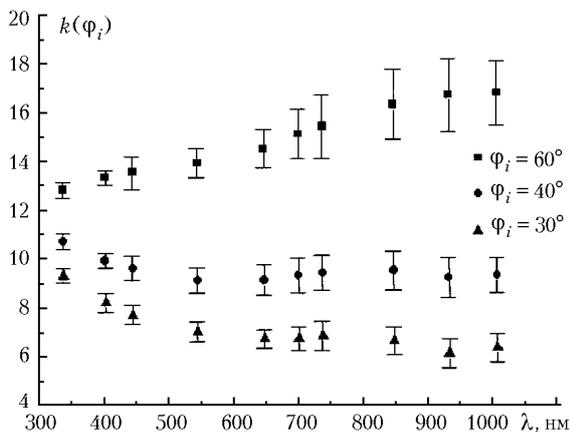


Рис. 2. Спектральная зависимость коэффициентов $k(\varphi_i)$

На рис. 2 изображены спектральные зависимости средних коэффициентов $k(\varphi_i)$ с соответствующими среднеквадратическими отклонениями для углов рассеяния 30, 40 и 60° по данным тех же наблюдений. Разброс $k(\varphi_i)$ растет с длиной волны от 3–4% в УФ- до 9–10% в ИК-диапазоне. Поскольку ошибка измерений $\delta f(\varphi)$ составляет 3–4%, а погрешность определения $\delta \tau_n$ путем численного интегрирования не превышает 1,5% [4], то значения разброса $\delta k(\varphi)$ в основном обусловлены вариациями аэрозольной индикатрисы рассеяния ото дня ко дню, кото-

рые на фоне молекулярной компоненты наиболее заметно проявляют себя в длинноволновом участке спектра. Поэтому для повышения точности определения τ_n представляется целесообразным использование трех (или более) значений коэффициентов $k(\varphi_i)$. На рис. 3 представлена гистограмма отклонений τ_n от

$$\tau_n^* = 1/3 [k(30^\circ)f(30^\circ) + k(40^\circ)f(40^\circ) + k(60^\circ)f(60^\circ)], \quad (4)$$

где величины $k(\varphi_i)$ соответствуют данным графиков на рис. 2. Представлены результаты в видимой и ИК-областях спектра (N – число случаев). Шаг гистограммы принят равным 4% в соответствии с точностью определения $f(\varphi)$. Результат очевиден: среднеквадратические отклонения τ_n^* от τ_n уменьшаются до 5%.

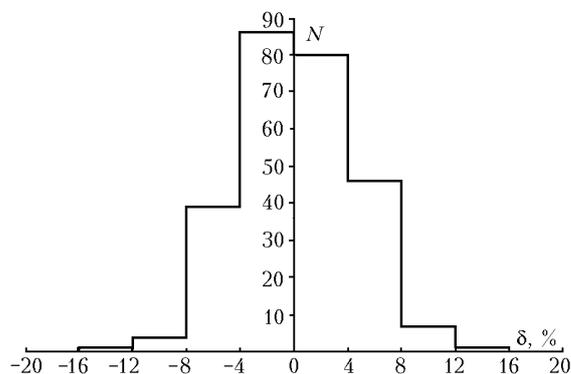


Рис. 3. Гистограмма отклонений τ_n от τ_n^*

Таким образом, вместо вычислений величины τ_n по формуле (3) можно пользоваться нефелометрическим методом и осуществлять ее определение с помощью соотношения (4) с точностью $\delta \tau_n \sim 5\%$. Тем самым обеспечивается возможность разделения оптической толщи ослабления света τ_a на компоненты поглощения $\tau_{a,p}$ и рассеяния $\tau_{a,r}$ при зенитных углах Солнца $30^\circ \leq Z_0 \leq 60^\circ$, для чего необходимо привлечение численных данных решения уравнения переноса излучения. Что же касается вопроса о том, в какой мере значения коэффициентов $k(\varphi_i)$ носят региональный характер, то он требует специального исследования.

1. Иванов А.И., Лившиц Г.Ш., Павлов В.Е., Ташенов Б.Т., Тейфель Я.А. Рассеяние света в атмосфере. Ч. 2. Алма-Ата: Наука, 1968. 116 с.
2. Назаралиев М.А., Павлов В.Е. Об определении поглощательной способности атмосферного аэрозоля по яркости неба в ультрафиолетовой области спектра // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1979. Т. 15. № 6. С. 619–626.
3. Иванов А.И., Каримова Л.М., Коровченко В.Н. Спектральные исследования поглощения солнечной радиации естественным аэрозолем // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1980. Т. 16. № 8. С. 869–871.
4. Пясковская-Фесенкова Е.В. Исследование рассеяния света в земной атмосфере. М.: Изд. АН СССР, 1957. 219 с.
5. Павлов В.Е. Атмосферная индикатриса рассеяния в области малых и больших углов рассеяния // Астрон. ж. 1964. Т. 41. № 1. С. 122–127.
6. Глушко В.Н., Иванов А.И., Лившиц Г.Ш., Федулин И.А. Взаимосвязь абсолютной индикатрисы яркости

дневного неба с оптической толщей атмосферы // Рассеяние и поглощение света в атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1971. С. 18–21.

7. Глушко В.Н., Иванов А.И., Лившиц Г.Ш., Павлов В.Е., Федюлин И.А. Яркость и поляризация безоблачной атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1979. 201 с.

V.N. Korovchenko, V.K. Oshlakov, V.E. Pavlov, A.S. Shestukhin. Analysis of brightness of the day sky within nephelometric scattering angles.

Data of observation of the day cloudless sky brightness in solar almucantar in the south-east of Kazakhstan within 30–60° scattering angles have been analyzed. Spectral dependence of the coefficients entering into relations for determination of the scattering optical thickness by the nephelometric method is found. The obtained results can be used in separation of the vertical thickness of light attenuation into the absorption and scattering components at high positions the sun above the horizon.