

В.П. Галилейский, А.М. Морозов, В.К. Ошлаков

ЦВЕТОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА АТМОСФЕРЫ И АЭРОЗОЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОЛЩА

На основе анализа угловых распределений цветовой температуры и коэффициента псевдочерноты, полученных по результатам натурных измерений и из модельных представлений, делается вывод о целесообразности использования этих параметров в качестве информационных признаков при определении оптического состояния атмосферы, в частности — ее оптической толщи, а также при селекции и отождествлении объектов и явлений, наблюдаемых в атмосфере на фоне рассеянного солнечного излучения.

При решении ряда практических задач оптики атмосферы часто необходимо иметь представление об общем характере распределения по спектру излучаемой или отраженной (рассеянной) энергии, при этом важно, чтобы вид этого распределения мог задаваться одним-двумя легко контролируруемыми параметрами.

В спектре реального теплового источника излучения распределение энергии может быть представлено соотношением [1]:

$$B(\lambda, \varepsilon, T) = \frac{1}{\pi} \varepsilon(\lambda, T) M(\lambda, T), \quad (1)$$

где λ — длина волны излучения; B — яркость реального теплового источника излучения; T — его температура; ε — функция излучательных свойств реального источника излучения по отношению к аналогичным свойствам абсолютно черного тела при их равной температуре; M — светимость абсолютно черного тела (определяется в соответствии с законом Планка).

Для объектов, которые могут быть отнесены к разряду вторичных источников оптического излучения, формально можно использовать соотношение (1), но в этом случае физические параметры ε и T следует заменить на псевдопараметры: цветовую температуру $T_{\text{ц}}$ и коэффициент псевдочерноты $\varepsilon_{\text{п}}$ [1]. В задачах исследования природных ресурсов такой подход уже давно нашел свое применение [2].

В [3] приведены результаты теоретических исследований закономерностей изменения параметров $\varepsilon_{\text{п}}$ и $T_{\text{ц}}$ для земной рэлеевской атмосферы в плоскости солнечного вертикала наблюдателя. Анализ результатов этих исследований позволяет отметить наличие больших градиентов значений $\varepsilon_{\text{п}}$ и $T_{\text{ц}}$ в пригоризонтной зоне, что совпадает с характером углового распределения значений оптической толщи. Целью настоящей работы является исследование зависимости параметров $\varepsilon_{\text{п}}$ и $T_{\text{ц}}$ от уровня аэрозольной оптической толщи и влияния последней на характер углового распределения цветовой температуры и коэффициента псевдочерноты.

На рис. 1 приведены выполненные по результатам фотометрических наблюдений оценки значений цветовой температуры зенита дневного безоблачного неба. В основе этих оценок лежат временные ряды значений яркости зенита атмосферы на длинах волн $\lambda_1 = 0,42$ и $\lambda_2 = 0,69$ мкм. Измерения проведены с помощью звездно-солнечного электрофотометра [4]. Обращает на себя внимание значительное (~ на 8000°K) изменение значений цветовой температуры за ~ 4 часа наблюдений. Резкое падение значений $T_{\text{ц}}$ по времени совпало с начавшейся адвекцией влажного воздуха, которая, по данным синоптиков, происходила выше уровня 1500 м над пунктом наблюдения. Через 2–3 часа после завершения наблюдений началось интенсивное облакообразование.

На рис. 2 приведены (для фиксированного положения Солнца) характерные значения цветовой температуры, полученные по результатам наблюдений спектральной яркости зенита при чистой (последовательность точек 1), замутненной (2) атмосфере и при прохождении облаков (3, 4); здесь N — номера отсчетов фотометра. Полученные результаты свидетельствуют, что цветовая температура зенита при облачности и в условиях ее отсутствия существенно отличаются (примерно в 5 раз). Для случая, когда над наблюдателем реализовалась чистая атмосфера (т. е. при малых значениях оптической толщи) были зарегистрированы максимальные значения цветовой температуры. И наоборот, при максимальных значениях оптической толщи (при наличии в зените облаков) были получены минимальные значения цветовой температуры. Таким образом на рисунке продемонстрирована обратная зависимость между наблюдаемой цветовой температурой зенита и оптической толщиной аэрозоля.

В [5] рассмотрен механизм формирования яркости земной сферической атмосферы для дневного времени при однократном рассеянии. Полученные при этом соотношения позволяют осуществлять оценку значений спектральной яркости в заданном угловом направлении в зависимости от угловых координат Солнца и от высотной зависимости ослабляющих (рассеивающих и поглощающих) свойств

атмосферы. В ИОА СО АН СССР на основе этих соотношений были разработаны алгоритмы и программы вычислений спектральной яркости, цветовой температуры и коэффициента псевдочерноты дневного и сумеречного неба. Ниже обсуждаются результаты исследования, для получения которых и были использованы указанные программы вычислений.

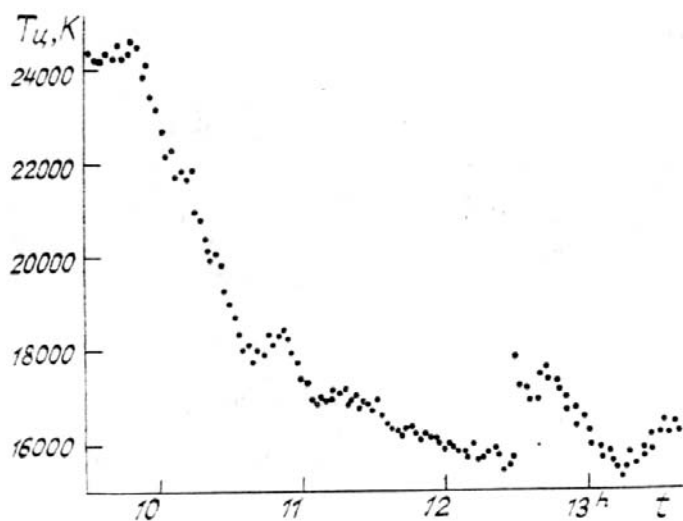


Рис. 1. Пример временной реализации цветовой температуры дневного безоблачного неба. Резкое падение значений T_c по времени совпало с начавшейся адвекцией влажного воздуха

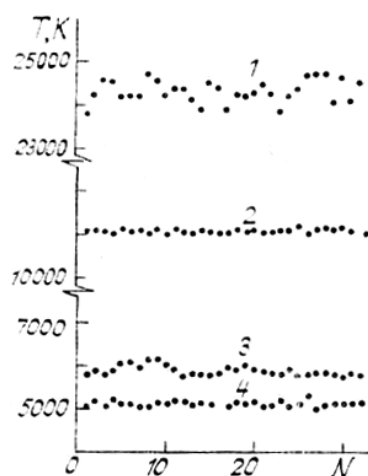


Рис. 2. Значения цветовой температуры атмосферы при различных её состояниях по данным наблюдений в зенит

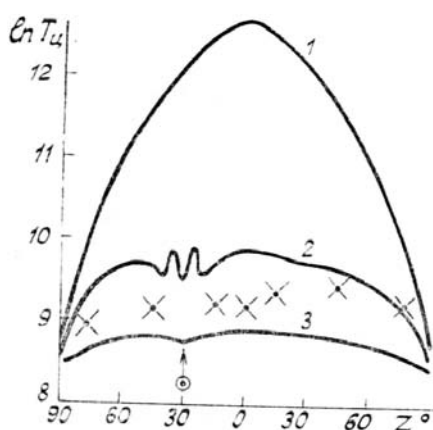


Рис. 3. Угловое распределение цветовой температуры в плоскости солнечного вертикала наблюдателя при зенитном угле Солнца 30° и различных значениях оптической толщи атмосферы на $\lambda_1 = 0,42$ и $\lambda_2 = 0,69$ мкм. 1 — $\tau_a = 0$; 2 — $\tau_a = 0,03$; 3 — $\tau_a = 0,32$; точки с крестиками — значения T_c , рассчитанные по результатам наблюдений [7] при $\tau_a = 0,15$. Точкой в круге отмечено положение Солнца

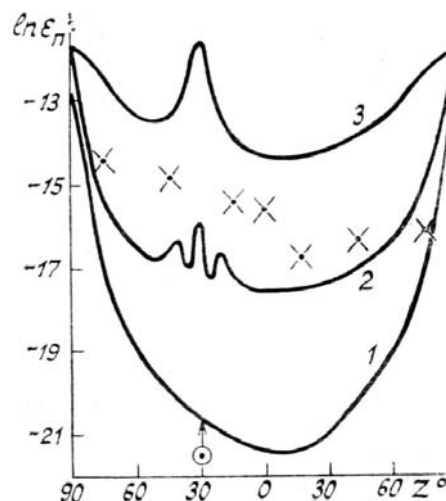


Рис. 4. Угловое распределение ϵ_p в плоскости солнечного вертикала наблюдателя для тех же условий и с теми же обозначениями, что и на рис. 3

На рис. 3 приведены результаты вычислений цветовой температуры по данным значениям спектральной яркости атмосферы для $\lambda_1 = 0,42$ и $\lambda_2 = 0,69$ мкм. При вычислениях была использована модель высотной зависимости коэффициента рассеяния из [6]; индикатриса аэрозольного рассеяния не зависела от λ в пределах указанного диапазона $\lambda_1 - \lambda_2$. Угловое распределение цветовой температуры в плоскости солнечного вертикала наблюдателя приведено для зенитного угла Солнца 30° при различных значениях аэрозольной оптической толщи τ_a : 0 (кривая 1), 0,03 (2) и 0,32 (3). На этом же рисунке отмечены значения T_c , которые были вычислены по результатам фотометрических наблюдений, взятым из [7] при $\tau_a = 0,15$. Рисунок демонстрирует эффект выравнивания угловой зависимости цветовой температуры и уменьшения динамического диапазона ее значений при увеличении значения

аэрозольной оптической толщи. Рэлеевская атмосфера (кривая 1) обладает наибольшим диапазоном значений $T_{\text{ц}}$ при данном положении Солнца на небосводе.

На рис. 4 приведены результаты вычислений коэффициента $\epsilon_{\text{п}}$ для тех же исходных данных и с теми же обозначениями, что и на рис. 3. Здесь увеличение оптической толщи приводит к увеличению значений $\epsilon_{\text{п}}$, а динамический диапазон значений при этом уменьшается, что особенно хорошо видно в сравнении со значениями коэффициента $\epsilon_{\text{п}}$, вычисленными для рэлеевской атмосферы (кривая 1). Рисунок демонстрирует эффект выравнивания угловой зависимости коэффициента $\epsilon_{\text{п}}$ при увеличении значений аэрозольной оптической толщи. Сравнение результатов, приведенных на рис. 3 и 4, показывает, что в области малых значений τ_a (от 0 до 0,03), динамический диапазон значений цветовой температуры в зените выше, чем у параметра $\epsilon_{\text{п}}$. В области значений τ_a от 0,03 до 0,3 отмечается обратная зависимость.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что в плоскости солнечного вертикала наблюдателя, при малых значениях зенитных углов Солнца, угловое распределение цветовой температуры и коэффициента псевдочерноты в видимом диапазоне электромагнитного спектра обладает следующими свойствами:

1. Увеличение аэрозольной оптической толщи атмосферы τ_a от 0 до 0,3 сопровождается уменьшением значений $T_{\text{ц}}$ и увеличением $\epsilon_{\text{п}}$.
2. Увеличение аэрозольной оптической толщи атмосферы приводит к уменьшению динамического диапазона значений $T_{\text{ц}}$ и $\epsilon_{\text{п}}$ и происходит выравнивание их значений в угловом распределении.
3. При слабой мутности атмосферы более чувствительным информационным признаком оптического состояния атмосферы является цветная температура, а при повышенной мутности — $\epsilon_{\text{п}}$.

В заключение следует отметить, что высокая чувствительность $T_{\text{ц}}$ и $\epsilon_{\text{п}}$ к изменению аэрозольной оптической толщи атмосферы и сравнительно простая методика оценки значений этих параметров, обуславливают высокую эффективность использования этих параметров в качестве информационных признаков при определении оптического состояния атмосферы.

1. Гуревич М. М. Фотометрия. Л.: Энергоиздат, 1983. 272 с.
2. Елизаренко А. С., Соломатин В. А., Якушенко Ю. Г. Оптико-электронные системы в исследованиях природных ресурсов. М.: Недра, 1984. 215 с.
3. Галилейский В. П., Морозов А. М. // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3. № 9. С. 1005–1006.
4. Абрамочкин А. И., Ваулин П. П., Галилейский В. П. и др. // Измерения оптико-метеорологических параметров атмосферы с использованием лазерного излучения. Томск: ТФ СО АН СССР, 1981. С. 14–19.
5. Галилейский В. П., Морозов А. М. Яркость атмосферы, наблюдаемая с поверхности планеты. Деп. в ВИНТИ, № 1172-1387, 1987.
6. Креков Г. М., Рахимов Р. Ф. Оптико-локационная модель континентального аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1982. 199 с.
7. Глушко В. Н., Павлов В. Е., Иванов А. И. и др. Яркость и поляризация безоблачной атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1979. 201 с.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступило в редакцию
18 июня 1990 г.

V. P. Galileiskii, A. M. Morozov, V. K. Oshlakov. **Color Temperature of the Atmosphere and the Optical Depth of Aerosol.**

Based on the analysis of angular distribution of the atmospheric color temperature and coefficient of pseudo blackness, obtained experimentally and numerically we have arrived at a conclusion that these parameters could be quite useful as indicators of the optical state of the atmosphere, and in particular of its optical thickness. These parameters are also useful when detecting objects and phenomena observed in the atmosphere on the background scattered solar radiation.