

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ

Р. Раджабли, asadzade@rambler.ru, Национальное Аэрокосмическое Агентство, М.Гахраманова, Государственное агентство по регулированию ядерной и радиологической деятельности, Азербайджан

Правильная оценка солнечной радиации, поступающей в земную атмосферу, важна для подсчета радиационного баланса, калибровки фотометрической аппаратуры, исследования эффективности солнечных батарей. Предложен трехточечный – трехволновый метод вычисления дискретных значений солнечной постоянной. Метод разработан на основе результатов фотометрических измерений в береговой зоне. Дано его математическое обоснование.

Хорошо известно, что для калибровки солнечных фотометров, используемых для исследования атмосферы, необходимо определить значение солнечной постоянной на выбранной длине волны λ . С этой целью обычно используется метод диаграмм Лэнгли* [1]. Вначале на основании закона Бугера – Бера получают линейную зависимость

$$\ln I_1(\lambda) = \ln I_0(\lambda) - m\tau(\lambda), \quad (1)$$

где $I_1(\lambda)$ – интенсивность оптического сигнала на входе фотометра; $I_0(\lambda)$ – значение солнечной постоянной на длине волны λ ; m – оптическая воздушная масса; $\tau(\lambda)$ – оптическая толщина воздушной массы. Затем, экстраполируя зависимость (1) до точки $m=0$, графически находят величину $I_0(\lambda)$.

Хорошо известно, что главный недостаток этого метода заключается во влиянии нестабильности $\tau(\lambda)$ на результат графического решения задачи. А в прибрежных зонах применение этого метода связано с дополнительными трудностями. В этих зонах в атмосфере одновременно присутствуют как крупнодисперсный морской аэрозоль, так и мелкодисперсный техногенный аэрозоль, функциональные зависимости которых от длины волны сильно различаются между собой. К тому же ветровая обстановка на местности влияет на состав долей в аэрозольной смеси в прибрежных зонах.

Использование диаграмм Лэнгли предполагает постоянство аэрозольной обстановки. А это условие невыполнимо в прибрежных зонах. Поэтому мы предлагаем для снижения погрешности измерений параметров солнечной радиации в прибрежных зонах использовать новый трехточечный – трехволновый метод. Суть предлагаемого метода заключается в следующем. В прибрежной зоне выбирают три фиксированные точки на местности, в которых осуществляются фотометрические измерения на трех фиксированных длинах волн. В результате проведенных измерений получаем следующий массив данных

$$\begin{Bmatrix} I(x_1, \lambda_1); I(x_1, \lambda_2); I(x_1, \lambda_3) \\ I(x_2, \lambda_1); I(x_2, \lambda_2); I(x_2, \lambda_3) \\ I(x_3, \lambda_1); I(x_3, \lambda_2); I(x_3, \lambda_3) \end{Bmatrix}. \quad (2)$$

При этом каждый элемент массива (2) определяется следующим выражением закона Бугера – Бера:

$$I(x_i, \lambda_j) = I_0(\lambda_j) \cdot e^{-m\tau(x_i, \lambda_j)}, \quad (3)$$

где $i = \overline{1,3}$; $j = \overline{1,3}$.

Далее вводятся коэффициенты коррекции, разные для выбранных точек в следующем порядке: для точки x_1 : $k(x_1, \lambda_1)$ и $k(x_1, \lambda_3)$; для точки x_2 : $k(x_2, \lambda_1)$ и $k(x_2, \lambda_3)$; для точки x_3 : $k(x_3, \lambda_1)$ и $k(x_3, \lambda_3)$.

Для дальнейших вычислений используется функция промежуточного преобразования, введенная в [2]:

$$z_1 = \frac{I_1^{k(x_1, \lambda_1)}(x_1, \lambda_1) \cdot I_3^{k(x_1, \lambda_3)}(x_1, \lambda_3)}{I_2(x_1, \lambda_2)}, \quad (4)$$

$$z_2 = \frac{I_1^{k(x_2, \lambda_1)}(x_2, \lambda_1) \cdot I_3^{k(x_2, \lambda_3)}(x_2, \lambda_3)}{I_2(x_2, \lambda_2)}, \quad (5)$$

$$z_3 = \frac{I_1^{k(x_3, \lambda_1)}(x_3, \lambda_1) \cdot I_3^{k(x_3, \lambda_3)}(x_3, \lambda_3)}{I_2(x_3, \lambda_2)}. \quad (6)$$

С учетом (3) и (4) имеем

$$z_1 = \frac{I_0^{k(x_1, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(x_1, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} \cdot \exp \left\{ - \left[\begin{array}{l} k(x_1, \lambda_1) \cdot m\tau(x_1, \lambda_1) + k(x_1, \lambda_3) \\ \cdot m\tau(x_1, \lambda_3) - m\tau(x_1, \lambda_2) \end{array} \right] \right\}. \quad (7)$$

*Лэнгли Сэмюэл (1834–1906), американский астрофизик. Преподавал математику в Морской академии, позже директор обсерватории, возглавлял Смитсоновский институт в Вашингтоне. Работы посвящены изучению солнечного спектра, в 1881 г. изобрел болометр. (Прим.ред.)

Для прибрежной зоны суммарный аэрозоль можно представить в виде суммы мелкодисперсного техногенного аэрозоля τ_f и крупнодисперсного морского аэрозоля τ_c : $\tau_i(x_i, \lambda_j) = \tau_f(x_i, \lambda_j) + \tau_c(x_i, \lambda_j)$, (8) где $i=1,3$; $j=1,3$. С учетом (7) и (8) корректирующие коэффициенты $k(x_i, \lambda_1)$ $k(x_i, \lambda_3)$ и вычисляются путем решения следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} k(x_1, \lambda_1) \cdot \tau_f(x_1, \lambda_1) + k(x_1, \lambda_3) \cdot \tau_f(x_1, \lambda_3) &= \tau_f(x_1, \lambda_2), \\ k(x_1, \lambda_1) \cdot \tau_c(x_1, \lambda_1) + k(x_1, \lambda_3) \cdot \tau_c(x_1, \lambda_3) &= \tau_c(x_1, \lambda_2). \end{aligned} \quad (9)$$

С учетом (4), (7) и (9) имеем

$$\begin{aligned} \frac{I_1^{k(x_1, \lambda_1)}(x_1, \lambda_1) \cdot I_3^{k(x_1, \lambda_3)}(x_1, \lambda_3)}{I_2(x_1, \lambda_2)} &= \\ = \frac{I_0^{k(x_1, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(x_1, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} &= a_1. \end{aligned} \quad (10)$$

Повторив преобразования, приведенные выше, для второй и третьей точек получаем следующую систему трансцендентных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_0^{k(x_1, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(x_1, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} &= a_1 \\ \frac{I_0^{k(x_2, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(x_2, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} &= a_2 \\ \frac{I_0^{k(x_3, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(x_3, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} &= a_3 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Решение системы (11) аналитическим или численным методами относительно $I_0(\lambda_1), I_0(\lambda_2)$ и $I_0(\lambda_3)$ позволяет вычислить значения солнечной постоянной на длинах волн λ_1, λ_2 и λ_3 .

Таким образом, показана возможность измерения отдельных дискретных величин постоянной солнечного света путем проведения трехволновых измерений в трех точках, расположенных на береговой зоне. Полученные в настоящей статье результаты могут быть применены для проведения солнечно-радиационных исследований в промышленно-береговых зонах. При этом, естественно, следует иметь в виду, что как морская, так и береговая промышленные зоны могут быть источниками как крупнодисперсных, так и мелкодисперсных аэрозолей. Например, при морской нефтедобыче сжигание больших объемов попутного углеводородного газа в платформах может привести к значительному загрязнению морской атмосферы мелкодисперсной сажей. С другой стороны, сжигание различного вида топлива на береговых промышленных зонах также может стать причиной загрязнения прибрежной атмосферы крупнодисперсным аэрозолем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schmid B., Wehrli C. Comparison of Sun photometer calibration by use of the Langley technique and the standard lamp. – Appl. Opt., 1995, 34.
2. Асадов Х., Сулейманов Ш. Синтез трехволновых скорректированных измерителей малых компонент атмосферы в УФ-диапазоне. – Метрология, 2007, № 9.