

УДК 551.52

ВЫСОТНО-СТРАТИФИЦИРОВАННЫЙ ТРЕХВОЛНОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ В ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СВЕТА

Ф. Г. Агаев,

доктор техн. наук, профессор

Э. А. Ибрагимов,

аспирант

Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана

Рассмотрен высотно-стратифицированный трехточечный трехволновый метод для измерения дискретных значений солнечной постоянной по результатам фотометрических измерений на береговой зоне. Даны необходимые формулы для проведения вычислений.

Ключевые слова — солнечная радиация, трехволновый метод, видимая область солнечного спектра.

Введение

Измерение параметров солнечной радиации важно в таких отраслях, как солнечная энергетика, атмосферное зондирование, климатология и др. Для калибровки солнечных фотометров, являющихся важным средством зондирования атмосферы, важно определение величины солнечной постоянной на рабочей длине волны. Классически данная задача решается методом диаграмм Ленгли, который предполагает проведение следующих операций [1].

1. С использованием закона Бугера—Бера для видимой области света

$$I(h, \lambda) = I_0(\lambda) e^{-m(h) \cdot \tau(h, \lambda)}, \quad (1)$$

где $I(h, \lambda)$ — интенсивность оптического сигнала на длине волны λ на входе фотометра, расположенного на высоте h ; $I_0(\lambda)$ — значение солнечной постоянной; $m(h)$ — оптическая воздушная масса на высоте h ; $\tau(h, \lambda)$ — оптическая толщина атмосферы при заданных λ и h , вычисляют следующее выражение:

$$\ln I(h, \lambda) = \ln I_0(\lambda) - m(h) \tau(h, \lambda). \quad (2)$$

2. Экстраполируя зависимость (2) до точки $m(h) = 0$, графически вычисляют величину $I_0(\lambda)$.

Основной недостаток данного способа заключается во влиянии неустойчивости $\tau(h, \lambda)$ на полу-

ченный результат. Применение этого способа в береговых промышленных зонах связано с дополнительными трудностями, к которым относятся:

— наличие смеси в атмосфере береговых зон как крупнодисперсного морского аэрозоля, так и мелкодисперсного техногенного аэрозоля, степень временной неустойчивости которых различна;

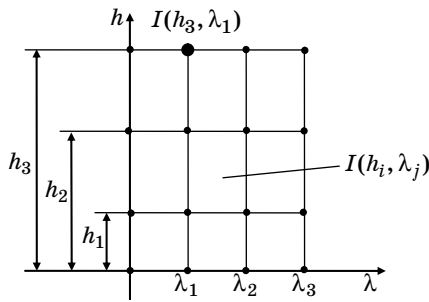
— зависимость долевого состава аэрозольной смеси в береговых зонах от высоты исследуемой местности.

Учитывая трудности в использовании метода диаграмм Ленгли в береговой зоне, авторы настоящей статьи предлагают новый высотно-стратифицированный трехволновый метод измерения солнечной постоянной.

Предлагаемый метод измерения солнечной постоянной

В береговой зоне выбираются три стратифицированные высотные точки на местности, где проводятся фотометрические измерения на трех фиксированных длинах волн λ_1, λ_2 и λ_3 (рисунок). В результате проведенных измерений получаем следующий набор данных:

$$\begin{pmatrix} I(h_1, \lambda_1); I(h_1, \lambda_2); I(h_1, \lambda_3) \\ I(h_2, \lambda_1); I(h_2, \lambda_2); I(h_2, \lambda_3) \\ I(h_3, \lambda_1); I(h_3, \lambda_2); I(h_3, \lambda_3) \end{pmatrix}. \quad (3)$$



■ Схема проведения фотометрических измерений на плоскости $(h_i, \lambda_j), i, j=1,3$

Далее для выбранных высот h_i вводятся коэффициенты коррекции для длин волн λ_1 и λ_3 :

- для высоты h_1 : $k(h_1, \lambda_1)$ и $k(h_1, \lambda_3)$;
- для высоты h_2 : $k(h_2, \lambda_1)$ и $k(h_2, \lambda_3)$;
- для высоты h_3 : $k(h_3, \lambda_1)$ и $k(h_3, \lambda_3)$.

Для проведения вычислений вводятся функции промежуточного преобразования [2]

$$z_1 = \frac{I_1^{k(h_1, \lambda_1)}(h_1, \lambda_1) \cdot I_3^{k(h_1, \lambda_3)}(h_1, \lambda_3)}{I_2(h_1, \lambda_2)}; \quad (4)$$

$$z_2 = \frac{I_1^{k(h_2, \lambda_1)}(h_2, \lambda_1) \cdot I_3^{k(h_2, \lambda_3)}(h_2, \lambda_3)}{I_2(h_2, \lambda_2)}; \quad (5)$$

$$z_3 = \frac{I_1^{k(h_3, \lambda_1)}(h_3, \lambda_1) \cdot I_3^{k(h_3, \lambda_3)}(h_3, \lambda_3)}{I_2(h_3, \lambda_2)}. \quad (6)$$

С учетом (3) и (4) имеем

$$z_1 = \frac{I_0^{k(h_1, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(h_1, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} \cdot \exp\{-[k(h_1, \lambda_1) \cdot m_1 \tau \times (h_1, \lambda_1) + k(h_1, \lambda_3) \cdot m_1 \tau(h_1, \lambda_3) - m_1 \tau(h_1, \lambda_2)]\}. \quad (7)$$

Применительно к береговой зоне атмосферный аэрозоль, как было сказано выше, можно представить в виде суммы мелкодисперсного $\tau_f(h_i, \lambda_j)$ и крупнодисперсного аэрозоля $\tau_c(h_i, \lambda_j)$, т. е.

$$\tau_i(h_i, \lambda_j) = \tau_f(h_i, \lambda_j) + \tau_c(h_i, \lambda_j), \quad i = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,3}. \quad (8)$$

С учетом (7) и (8) корректирующие коэффициенты $k(h_1, \lambda_1)$ и $k(h_1, \lambda_3)$ вычисляются путем решения следующей системы уравнений:

$$k(h_1, \lambda_1) \cdot \tau_f(h_1, \lambda_1) + k(h_1, \lambda_3) \cdot \tau_f(h_1, \lambda_3) = \tau_f(h_1, \lambda_2);$$

$$k(h_1, \lambda_1) \cdot \tau_c(h_1, \lambda_1) + k(h_1, \lambda_3) \cdot \tau_c(h_1, \lambda_3) = \tau_c(h_1, \lambda_2). \quad (9)$$

С учетом (4), (7) и (9) имеем

$$\frac{I_1^{k(h_1, \lambda_1)}(h_1, \lambda_1) \cdot I_3^{k(h_1, \lambda_3)}(h_1, \lambda_3)}{I_2(h_1, \lambda_2)} = \frac{I_0^{k(h_1, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(h_1, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} = a_1. \quad (10)$$

Аналогично вышесказанному для высот h_2 и h_3 получаем следующую систему трансцендентных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_0^{k(h_1, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(h_1, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} &= a_1 \\ \frac{I_0^{k(h_2, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(h_2, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} &= a_2 \\ \frac{I_0^{k(h_3, \lambda_1)}(\lambda_1) \cdot I_0^{k(h_3, \lambda_3)}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2)} &= a_3 \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Решение системы (11) 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 .

Заключение

Следовательно, отдельные дискретные величины солнечной постоянной могут быть измерены путем проведения трехволновых измерений на трех высотно-стратифицированных точках, расположенных на береговой зоне. Полученные в настоящей статье результаты могут быть применены для проведения солнечно-береговых исследований в промышленно-береговых зонах при калибровке солнечных фотометров. При этом, естественно, следует учесть, что на морской береговой промышленной зоне существуют источники как крупнодисперсных, так и мелкодисперсных аэрозолей. Например, сжигание попутного углеводородного газа в нефтедобывающих платформах приводит к значительному загрязнению морской атмосферы мелкодисперсной сажей. В то же время пузырьковый механизм образования морских соляных частиц является причиной загрязнения атмосферы крупнодисперсным гигроскопическим аэрозолем.

В заключение отметим, что правильная оценка солнечной радиации, поступающей на земную атмосферу, является важной для решения таких задач, как климатический подсчет радиационного баланса на поверхности Земли, калибровка солнечной фотометрической аппаратуры, исследование эффективности термопреобразователей солнечной энергии и др.

Литература

1. Langley Analyses. <http://www.agu.org/pubs/toc/g1/g1/g1.191/1999GL900267/node3.html> (дата обращения: 28.05.2010).
2. Асадов Х. Г., Сулейманов Ш. Т. Синтез трехволновых скорректированных измерителей малых компонент атмосферы в УФ-диапазоне // Метрология. 2007. № 9. С. 3–7.