



УДК 551.501

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОМЕТРОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНО-РАДИАЦИОННЫХ МЕТЕОПРОГНОЗОВ

У.Ф. Маммадова¹¹ *Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г.Баку, Азербайджанская Республика*

Рассмотрена возможность использования солнечных фотометров для формирования солнечно-радиационных метеопрогнозов. Отмечается особенность известных статистических моделей определения количества солнечных дней и часов в течение года, заключающаяся в необходимости наличия достаточно точных методов и средств определения внеатмосферной солнечной радиации.

Отмечено, что использование для этой цели метода диаграмм Ленгли приводит к аэрозольной погрешности, т.к. для построения этих диаграмм требуется проведение солнечно-фотометрических измерений в течение нескольких часов.

Для устранения указанного недостатка предлагается метод, где путем введения корректирующих коэффициентов удастся исключить такое влияние и определить внеатмосферную солнечную радиацию на трех длинах волн при трех значениях оптической воздушной массы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТРЕХВОЛНОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ, СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОМЕТРЫ, АЭРОЗОЛЬ, ВНЕАТМОСФЕРНАЯ СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ.

1. ВВЕДЕНИЕ

Солнечная радиация на поверхности Земли играет роль фундаментального источника для продолжения многих физико-химических и биологических процессов происходящих на планете.

Вращение Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите приводит к изменению прямой и диффузной составляющих солнечной оптической энергии, достигающей ее поверхности. Существующие эмпирические модели для вычисления усредненных значений солнечной радиации базируются на следующих факторах: (а) Астрономические факторы (солнечная постоянная, расстояние между солнцем и Землей и др.); (б) Географические факторы (ширина, долгота, возвышенность местности); (с) Геометрические факторы (угол азимута, угол наклона поверхности, угол высоты Солнца и др.); (д) физические факторы (рассеяние молекулами воздуха; содержание в воздухе водяных паров, аэрозоля, малых газов); (е) метеорологические факторы (экстеррестриальная (внеатмосферная) солнечная радиация, длительность Солнечных часов в сутки, температура, влажность, влияние облаков и др.) [1].

Так как солнечные радиационные параметры измеряются в строго фиксированных метеорологических станциях, число которых ограничено, в целях аппроксимации и обобщения измерительных данных применительно к любой другой местности формируются корреляционные эмпирические модели солнечной радиации. Наиболее распространены корреляционные модели

предназначенные для оценки глобальной солнечной радиации через показатель длительности солнечного излучения на небе.

Конкретно существуют следующие модели:

1. Модель Ангстрема – Прескома [1].

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (1)$$

где H – усредненная за месяц величина дневной глобальной радиации;

H_0 – усредненная за месяц величина дневной внеатмосферной радиации;

S – усредненное за месяц количество часов яркого солнечного излучения;

S_0 – усредненная за месяц длительность светлого дня в часах;

a, b – эмпирические коэффициенты Ангстрема.

2. Модель Огельмана [2].

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) + c \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (2)$$

где a, b, c – эмпирические коэффициенты.

3. Модель Самуэля [3].

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) + c \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 + d \left(\frac{S}{S_0} \right)^3 \quad (3)$$

где a, b, c, d – эмпирические коэффициенты.

4. Модель Ньюленда [4].

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) + c \cdot \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (4)$$

5. Модели Бакирси [5].

$$\frac{H}{H_0} = a_1 + b_1 \left(\frac{S}{S_0} \right) + c \cdot \exp \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (5)$$

где a_1, b_1, c, a_2, b_2 – эмпирические коэффициенты.

6. Модель Элагйба и Манселля [6].

$$\frac{H}{H_0} = a \cdot \exp \left(b \cdot \frac{S}{S_0} \right) \quad (6)$$

где коэффициенты a, b также определяется эмпирически.

Существуют также модели, где учитываются температурные показатели местности [7, 8].

2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ИЗМЕРЕНИЯ ВНЕАТМОСФЕРНЫХ СОЛНЕЧНО-РАДИАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Согласно [9], термин “Солнечное излучение” связано с яркостью солнечного диска. Длительность солнечного излучения определяется как сумма длительностей тех промежутков времени, когда прямое солнечное излучение превышает 120 Вт/м². Согласно исследованиям, проведенным в течение 1970 – 1990г.г. наблюдался уменьшение солнечной радиации, а в последующем периоде после

1990г. наблюдается ее рост. Как отмечается в [10] указанное уменьшение объясняется антропогенным загрязнением окружающей среды. В работе [11] показано наличие линейной корреляции между месячное усредненным количеством дневных часов с яркой солнечной радиацией и индексом облачности, вычисленном по данным спутника METEOSAT.

Для измерения внеатмосферной спектральной солнечной радиации обычно используется графоаналитический метод Ленгли [12, 13]. Вкратце этот метод заключается в следующем. Согласно закону Бера – Ламберта прямое солнечное излучение на поверхности земли определяется по формуле

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot R \cdot \exp(-\tau_{\Sigma}(\lambda)m) \quad (7)$$

где $I(\lambda)$ – измеренное значение солнечного излучения на длине волн λ ; $I_0(\lambda)$ – солнечное внеатмосферное излучение; R – расстояние Солнце – Земля нормализованное к одной астрономической единице; $\tau_{\Sigma}(\lambda)$ – суммарная оптическая толщина атмосферы; m – оптическая воздушная масса.

Диаграммы Ленгли, построенные на основе выражения получаемого в результате логарифмирования на длинах волн 310 нм, 320 нм и 350 нм показаны на рис. 1.

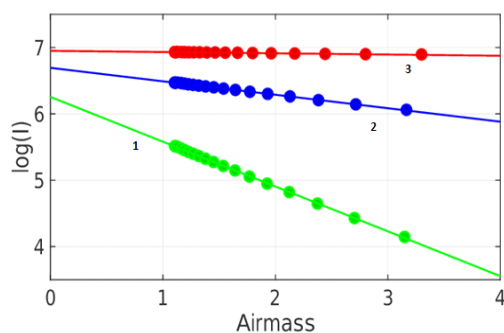


Рис. 1. Диаграммы Ленгли, построенные на длинах волн следующих спектральных зон: (1) зеленая; (2) синяя; (3) красная зоне [12].

Определяемые по известным процедурам построения диаграмм Ленгли значения $I_0(\lambda)$ позволяют, используя модели (1) и (2), прогнозировать значения S при известных величинах H, a, b, c, S_0 .

Вместе с тем, точность таких прогнозов в определенной степени будет зависеть от точности метода Ленгли, которая оказывается сильно зависимой от временной изменчивости оптической плотности атмосферного аэрозоля.

Дело в том, что диаграммы Ленгли строятся на базе результатов измерений при разных, желательно максимально удаленных точек на оси абсцисс, где отмечены значения m . Однако, изменения m происходит во времени, так, например, для изменения m от 1 до 5 потребуется 4-5 часов, в течение которых оптическая плотность аэрозоля может значительно измениться.

Следовательно, можно считать, что разработка новых методов определения $I_0(\lambda)$ на разных длинах волн в течение некоторого интервала изменения m с компенсацией влияния аэрозоля является актуальной задачей.

3. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД СОЛНЕЧНО-ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

До изложения предлагаемого метода солнечного внеатмосферного излучения рассмотрим взаимосвязь между существующими математическими моделями для вычисления оптической плотности атмосферного аэрозоля. Согласно известной модели Ангстрема оптическая плотность аэрозоля τ_a определяется по формуле [13]

$$\tau_a = \beta \cdot \lambda^{-\alpha} \quad (8)$$

где β – аэрозольная мутность атмосферы; α – показатель Ангстрема.

Согласно модели [14], предложенной группой ученых международной сети AERONET, имеет место следующее соотношение

$$\ln \tau_a = a_0 + a_1 \ln \lambda + a_2 (\ln \lambda)^2 \quad (9)$$

Вычислим связь между моделями (8) и (9). Из (9) имеем

$$\tau_a = \exp[a_0 + a_1 \ln \lambda + a_2 (\ln \lambda)^2] \quad (10)$$

Сравнивая (10) и (8) получим

$$\beta = \exp(a_0) \tag{11}$$

$$-\alpha = a_1 + a_2 \ln \lambda \tag{12}$$

Покажем, что, проведя трехволновые измерения по предлагаемому методу, можно исключить влияние атмосферного аэрозоля, и тем самым несколько улучшить точность формируемого прогноза.

Согласно предлагаемому методу, являющемуся разновидностью трехволнового метода, предложенного в [15], следует вычислить следующие алгоритмические процедуры:

7. Выбор трех длин волн $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$; где оптическая толщина атмосферы определяется оптической плотностью аэрозоля.
8. Проведение трехволновых измерений следующего параметра при трех значениях оптической воздушной массы (m_1, m_2 и m_3).

$$\gamma_{m_i} = \frac{[I(\lambda_1)]_{m_i}^{k_{1i}} \cdot [I(\lambda_3)]_{m_i}^{k_{2i}}}{I_0(\lambda_2)_{m_i}} \tag{13}$$

где k_{1i}, k_{2i} – корректирующие коэффициенты; индекс m_i указывает на проведение измерений при оптической воздушной масса m_i ; $i = 1, 3$.

С учетом (7), (13) имеем

$$\gamma_{m_i} = \frac{[I_0(\lambda_1)]_{m_i}^{k_{1i}} \cdot [I_0(\lambda_3)]_{m_i}^{k_{2i}} \exp \left[- \left[(k_{1i} \exp a_0) \cdot \lambda_1^{(a_1+a_2 \ln \lambda_1)} + (k_{2i} \exp a_0) \cdot \lambda_3^{(a_1+a_2 \ln \lambda_3)} \right] \right]}{I_0(\lambda_2)_{m_i} \exp \left[- (\exp a_0) \cdot \lambda_2^{(a_1+a_2 \ln \lambda_2)} \right]} \tag{14}$$

где

$$\chi_i = \frac{I_0(\lambda_1)_{m_i}^{k_{1i}} \cdot I_0(\lambda_3)_{m_i}^{k_{2i}}}{I_0(\lambda_2)_{m_i}}$$

Экспоненциальный множитель в (14) перепишем как

$$\frac{\exp \left[- \left[(\exp a_0) \left[k_{1i} \cdot \lambda_1^{(a_1+a_2 \ln \lambda_1)} + k_{2i} \cdot \lambda_3^{(a_1+a_2 \ln \lambda_3)} \right] \right] \right]}{\exp \left[- (\exp a_0) \cdot \lambda_2^{(a_1+a_2 \ln \lambda_2)} \right]} \tag{15}$$

Очевидно, что при выполнении условия:

$$k_{1i} \cdot \lambda_1^{(a_1+a_2 \ln \lambda_1)} + k_{2i} \cdot \lambda_3^{(a_1+a_2 \ln \lambda_3)} = \lambda_2^{(a_1+a_2 \ln \lambda_2)} \tag{16}$$

Выражение (14) приобретает следующий вид

$$\gamma_{m_i} = \frac{[[I_0(\lambda_1)]_{m_i}^{k_{1i}}]_{m_i}^{k_{1i}} \cdot [I_0(\lambda_3)]_{m_i}^{k_{2i}}}{I_0(\lambda_2)_{m_i}} \tag{17}$$

Таким образом, выбор коэффициентов k_{1i} и k_{2i} по условию (13) позволяет сформировать систему уравнений (17), решение которой позволяет вычислить $I_0(\lambda_i)$, проведя три цикла измерений при различных оптических воздушных массах с полной компенсацией влияния атмосферного аэрозоля.

Относительно точное определение значений $I_0(\lambda_i)$ в свою очередь позволяет формировать среднестатистические прогнозы неизвестные параметры вышерассмотренных моделей (1) и (2).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, известные статистические модели определения количество солнечных дней и часов в течение года предполагает наличие достаточно точных методов и средств определения внеатмосферной солнечной радиации.

Отмечено, что использование для этой цели метода диаграмм Ленгли страдает аэрозольной погрешностью, т.к. для построения этих требуется проведение солнечно – фотометрических измерений в течение нескольких часов.

Для устранения указанного недостатка предлагается метод, где путем введение корректирующих коэффициентов удастся исключить такое влияние и определить внеатмосферную солнечную радиацию на трех длинах волн при трех значениях оптической воздушной массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Prescott J. A.* Evaporation from water surface in relation to solar radiation// Transaction of the Royal Society of Australia. 1940. Vol. 46. Pp. 114-8.
2. *Ogelman H., Ecevit A., Tasdemiroglu E.* A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data// Solar Energy. 1984. Vol. 33. Pp. 619-25.
3. *Samuel TDMA/* Estimation of global radiation from Sri Lanka// Solar Energy. 1991. Vol. 47. Pp. 333-7.
4. *Newland F. J.* A study of solar radiation models for the coastal region of South China// Solar Energy. 1988. Vol. 31. Pp. 227-35.
5. *Bakirci K.* Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey// Energy. 2009. Vol. 34. Pp. 485-501.
6. *Elagib N., Mansell M.* New approaches for estimating global solar radiation across Sudan// Energy Conversion and management. 2000. Vol. 41. Pp. 419-34.
7. *Hargeaves G. H., Samani Z. A.* Estimating potential evapo – transpiration// Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 1982. Vol. 108(IR3). Pp. 223-30.
8. *Annandale J. G., Jovanic N. Z., Benade N., Allen R. G.* Software for missing data error analysis of Penman – Monteith reference evapo – transpiration// Irrigation Science. 2002. Vol. 21. Pp. 57-68.
9. *Jaswall A. K.* Sunshine duration climatology and trends in association with other climatic factors over India for 1970-2006 // MAUSAM. October 2009. Vol. 60. No. 4. Pp. 437-454.
10. *Yildirim U., Yilmaz O. I., Akinoglu B. G.* Trend analysis of 41 years of sunshine duration data for Turkey// Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences. 2013. Vol. 37. Pp. 286-305. DOI:10.3906/muh-1301-11. <http://journals.tubitak.gov.tr/engineering/> .
11. *Aksoy B., Rusen S. E., Akinoglu B. G.* A simple correlation to estimate global solar irradiation on a horizontal surface using METEOSAT satellite images// Tukah J. Env. Sci. 2011. Vol. 35. Pp. 125-137. DOI:10.3906/muh-1006-50.
12. *Grobner J., Kroger I., Egli L., Hulsen G., Riechelmann S., Sperfeld P.* The high – resolution extraterrestrial solar spectrum (QASUMEFTS) determined from ground – based solar irradiance measurements// Atmos. Meas. Tech. 2017. Vol. 10. Pp. 3375-3383. <https://doi.org/10.5194/amt-10-3375-2017>.
13. *Eck T. F., Holben B. N., Reid J. S., Dubovik O., Smirnov A. O., Oneill N. T., Slutsker I., Kinne S.* Wavelength dependence of the optical dept of boi mass burning, urban and desert dust aerosols// J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104(D-24). Pp. 31333-31349.
14. *Soni K., Singh S., Bano T., Tanwar R. S., Nath S.* Wavelength dependence of the aerosol Angstrom Exponent and its implications over Delhi, India // Aerosol Science and Technology. 2011. Vol. 45. Pp. 1488-1498. ISSN 0278-6826. DOI:10.1080/02786826.2011.601774.
15. *Асадов Х.Г., Исаев А.А.* Общая теория трехволновых озонометрических измерений // Измерительная техника. 2005. № 8. С. 66–68.

A POSSIBILITY OF SOLAR PHOTOMETERS APPLICATION FOR THE SOLAR RADIATION METEOROLOGICAL GENERATION FORECAST

Mammadova U. F

A possibility of the solar photometers application for the solar radiation generation forecast for the meteorological purposes is considered. A specific feature of the acknowledged statistical models for the determination of the number of days and hours of sunshine during the year is noted which includes the necessity of the fairly exact methods and techniques for the extra-atmospheric solar radiation estimation. It is pointed out that the Langley plots extrapolation method for this purpose gives an error caused by the atmospheric aerosol variations because good Langley plots construction require solar photometric measurement during several hours. A method is proposed for removing this drawback by correcting coefficients introduction which allow to exclude the aerosol effect and to determine the extra-atmospheric solar radiation by the measurements at three wavelengths for three values of optical air mass.

KEYWORDS: THREE-WAVELENGTH MEASUREMENTS, SOLAR PHOTOMETERS, AEROSOL, EXTRA-ATMOSPHERIC SOLAR RADIATION, STATISTICAL MODELS