

СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ВРЪЗКАТА МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРАТА И СУМАРНАТА СЛЪНЧЕВА ЕНЕРГИЯ В БАЗОВА ОБСЕРВАТОРИЯ ПРИ ИКИТ, СТАРА ЗАГОРА

Димитър Вълев, Веселин Ташев, Ролф Вернер, Венета Гинева

Секция „Атмосферни оптични изследвания“ при ИКИТ – БАН, Стара Загора
e-mail: valev@gbg.bg

Ключови думи: сумарна слънчева енергия, приземна температура на въздуха, корелация)

Резюме: Изследвани са редовете за температурата и сумарната слънчева енергия по данни от Метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus инсталирана в района на Базова обсерватория при ИКИТ, Стара Загора. Данните обхващат периода от инсталирането на станцията през юни 2011г. до септември 2019 г. Посредством линеен регресионен анализ е установена висока корелация с $r = 0.90$ между месечните температури и сумарната месечна слънчева енергия. По такъв начин бе показано статистически, че решаващият фактор за формиране на месечната температура на приземния въздух се явява сумарната месечна слънчева енергия, а всички останали фактори имат второстепенно значение. На следващия етап посредством кроскорелационен анализ е показано, че средните месечни температури изостават с 1 месец след сумарната слънчева енергия. Най-вероятната причина за изоставането се явява топлинната инертност на подложната повърхност и ниската атмосфера. Това създава възможност за подобряване точността на прогнозата за средната месечна температура.

STATISTICAL ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP OF TEMPERATURE AND TOTAL SOLAR ENERGY IN BRANCH OBSERVATORY OF SRTI IN STARA ZAGORA

Dimitar Valev, Veselin Tashev, Rolf Werner, Veneta Guineva

Section of Atmospheric Optical Investigations of SRTI-BAS in Stara Zagora
e-mail: valev@gbg.bg

Keywords: total solar energy, surface air temperature, correlation

Abstract: The series of temperature and total solar energy in the Branch Observatory of SRTI in Stara Zagora has been studied by data of meteorological station Vantage Pro2 Plus. The data cover a period from installation of the station in June 2011 to September 2019. By linear regression it was found a close correlation ($r = 0.90$) of monthly temperature and total solar energy. Thus, it was shown statistically that the crucial parameter for monthly temperature of surface are is total solar energy and the rest parameters have secondary contribution. At the next stage of the studies it was shown by cross-correlation that the monthly temperature lags one month after total solar energy. The most probably reason of this lag is thermal inertia of the surface and low atmosphere. This creates a possibility for improvement of monthly temperature prognosis.

Въведение

Известно е, че температурата на приземния слой и ниската атмосфера се формира под влияние на множество фактори – пряка и разсеяна слънчева радиация, облачност, адвекция на въздушни маси, вид и състояние на подложната повърхност, релеф и др. Слънчевата късовълнова радиация е основен климатообразуващ фактор и главен източник на топлинна енергия за почти всички природни процеси развиващи се върху земната повърхност, в атмосферата и хидросферата. Слънчевата радиация е плътността на енергийния поток излъчван от Слънцето на разстояние една астрономическа единица, т.е. на средното разстояние

Слънце - Земя. Тази енергия се нарича още слънчева константа и представлява средната радиация на горната граница на земната атмосфера. Слънчевата константа има средна стойност 1366 W/m^2 [1] като варира през слънчевия цикъл с $\pm 0.1 \%$ [2]. Една част от падащата слънчевата енергия върху земната атмосфера се отразява директно обратно в космоса, а друга част се абсорбира в атмосферата и подложната повърхност. Общо около 19% от слънчевата енергия не достига земната повърхност, а се поглъща и разсейва от газовете (CO_2 , O_3 , H_2O пара) и аерозолите в безоблачната атмосфера [3].

Пряката слънчева радиация се измерва върху повърхност, перпендикулярна на слънчевите лъчи. Тя зависи от зенитния ъгъл на Слънцето, географската ширина и сезона. Облачността многократно намалява количеството на пряката слънчева радиация достигаща до земната повърхност, а в същото време увеличава разсеяната слънчева радиация. Разсеяна слънчева радиация е тази част от слънчевата радиация, която достига до земната повърхност не пряко, а след разсейване в атмосферата от водните капки на облаците. При безоблачна атмосфера разсеяната слънчева радиация е близо 10 пъти по-слаба от пряката, но при значителна облачност и ниска височина на Слънцето тя става съизмерима с пряката слънчева радиация [4]. Сумата от пряката и разсеяната слънчева радиация дава сумарната слънчева радиация. Радиационният баланс на земната повърхност и приземния слой представлява разликата между погълнатата сумарна слънчева радиация и дълговълновото температурно излъчване на земната повърхност. Радиационният баланс е положителен през по-голямата част от деня и през лятото, а през нощта и през зимата е отрицателен, но годишната му стойност е близка до нула.

Известно е, че между сумарната слънчева радиация и температурата на приземния въздух съществува тясна корелация, която се използва за възстановяване на стойностите на сумарната слънчева радиация в станции без радиационни измервания на базата на данни за температурата [5–8]. Целта на настоящата работа е да изследваме доколко значимо е въздействието на сумарната слънчева енергия достигаща земната повърхност върху средната температура на приземния въздух в сравнение с останалите фактори влияещи върху температурата в района на Базова обсерватория при ИКИТ в Стара Загора.

Данни и методи за обработка на данните

От юни 2011 г. в секция Атмосфери оптични емисии при ИКИТ–БАН, Стара Загора работи в непрекъснат автоматичен режим метеорологичната станция (МС) Vantage Pro2 Plus. Тя е предназначена за наблюдение на метеорологичните параметри – температура, относителна влажност, атмосферно налягане, валежи, скорост и посока на вятъра. С допълнителни сензори се измерва сумарната (пряка + разсеяна) слънчева радиация и ултравиолетовия индекс (UV–индекс). По време на архивирания интервал (15 минути) датчиците измерват многократно метеорологичните параметри и след усредняване на техните показания се архивира средната стойност на всеки параметър за този интервал. По такъв начин за 1 час имаме 4 стойности за всяка от измерваните метеорологични параметри и чрез усредняването им определяме средночасовата стойност на съответния метеорологичен параметър.

В работата са използвани данните за температурата на приземния въздух и сумарната слънчева енергия достигаща до земната повърхност, получени посредством МС Vantage Pro2 Plus през периода юни 2011 г. – септември 2019 г. Определени са средномесечните стойности на температурата и сумарната месечна слънчева енергия достигаща земната повърхност в района на МС в единици kWh/m^2 . По такъв начин са формирани времевите редове на средната месечна температура и на сумарната месечна слънчева енергия за периода юни 2011 г. – септември 2019 г.

За статистически анализ на времевите редове са използвани линейна регресия и кроскорелационен анализ. Нивото на статистическа значимост е определено посредством стандартния t-критерий на Стюдънт.

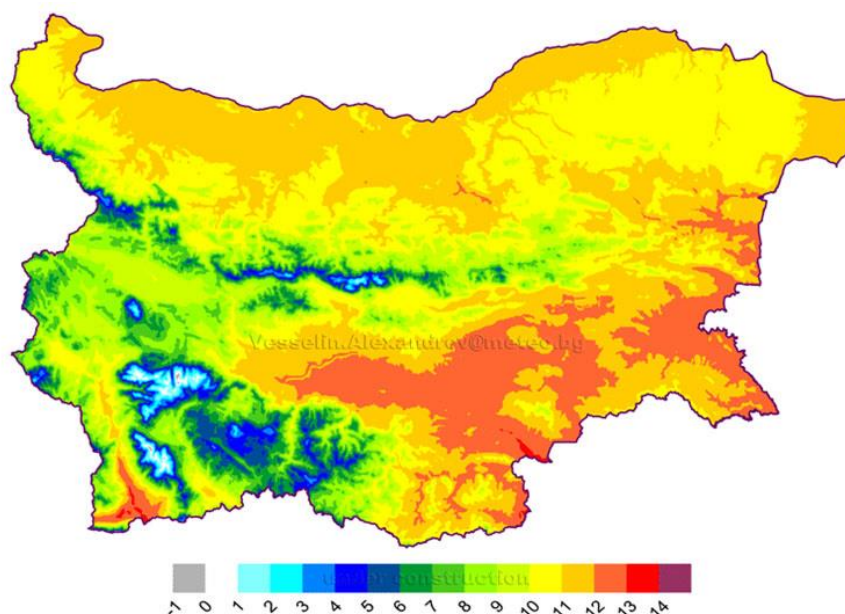
Резултати

Фиг.1 представлява карта на разпределението на годишната сума на слънчевата енергия за територията на България [9]. Разликите в различните райони се обуславят преди всичко от количеството и дебелината на облачността и мъглата в тези региони. Получената от нас средна годишна сума на слънчевата енергия за Стара Загора от 1330 kWh/m^2 е близка до климатичната стойност. На Фиг. 2 е показана карта на разпределението на средната годишна температура на приземния въздух в България [10]. Подобие то на двете карти показва, че до голяма степен разпределението на годишната сума на слънчевата енергия съответствува на

разпределението на годишните температури в България. Отклоненията са най-големи в планините, където средната годишна температура намалява пропорционално на надморската височина.

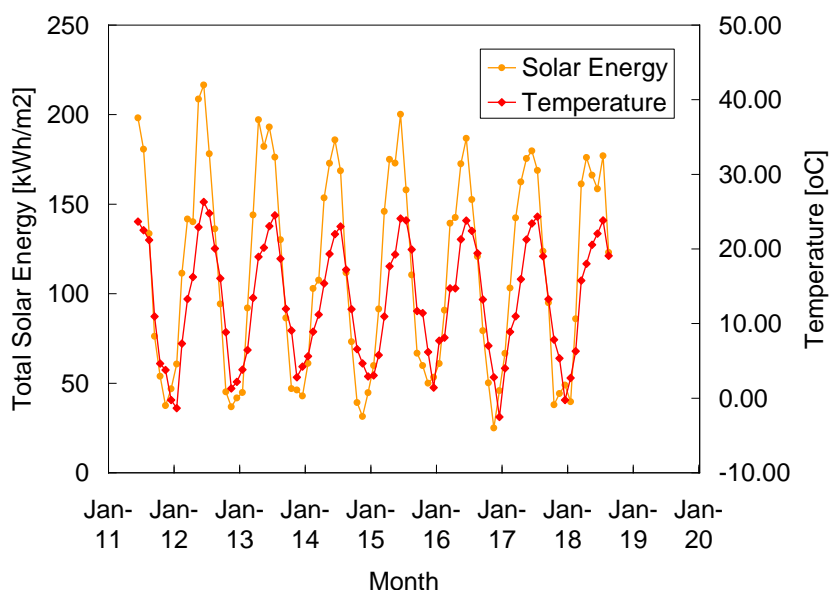


Фиг. 1. Разпределение на годишната сума на сумарната слънчева енергия за територията на България



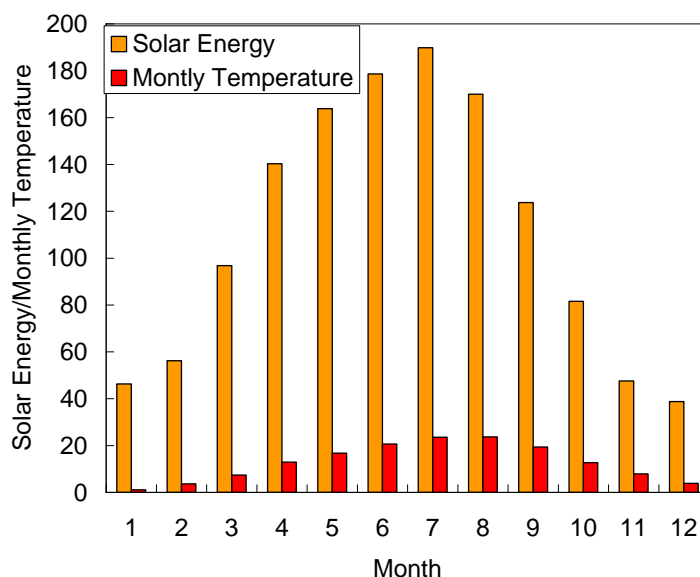
Фиг. 2. Разпределение на средната годишна температура на приземния въздух в България

На Фиг. 3 са показани времевите редове на средната месечна температура и на сумарната месечна слънчева енергия за периода юни 2011 г. – септември 2019 г. Вижда се отлично изразения сезонен ход на тези две величини.



Фиг. 3. Времеви ход на средната месечна температура и сумарната месечна слънчева енергия за периода юни 2011 г. – септември 2019 г.

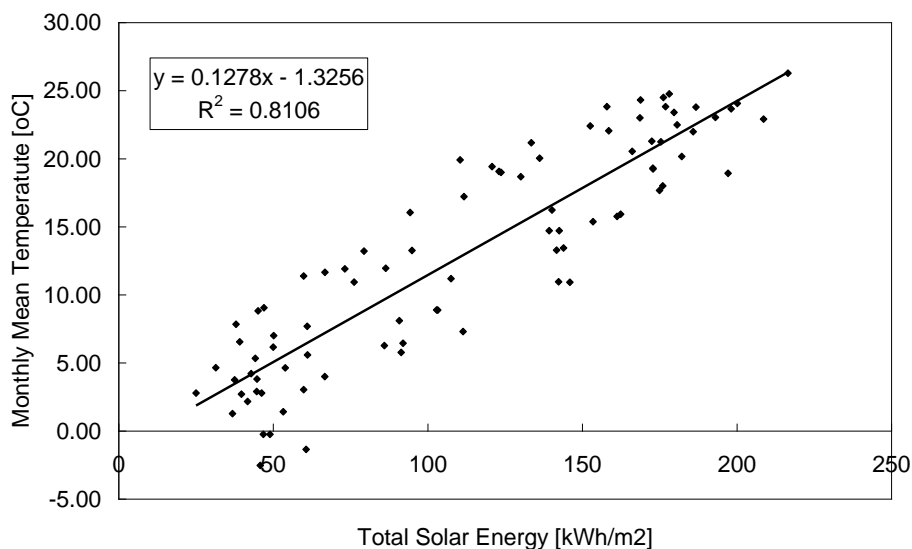
Сезонния ход на средната месечна температура и сумарната месечна слънчева енергия усреднени за целия период на наблюденията е показан на Фиг. 4. Вижда се, че температурата има минимум $T_{\min} = 1.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ през януари и максимум $T_{\max} = 23.64\text{ }^{\circ}\text{C}$ през август, а сумарната месечна слънчева енергия има минимум $E = 39.10\text{ kWh/m}^2$ през декември и максимум $E = 189.80\text{ kWh/m}^2$ през юли.



Фиг. 4. Сезонен ход на средната месечна температура и сумарната месечна слънчева енергия за периода на наблюденията

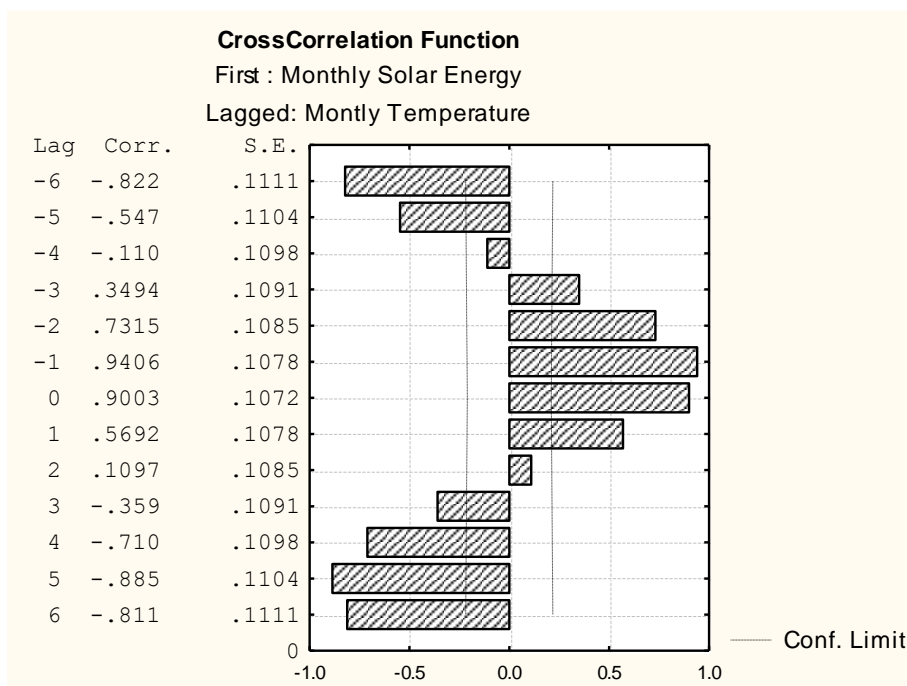
На следващия етап от работата бе проведен линеен регресионен анализ на средната месечна температура и сумарната месечна слънчева енергия. Резултатите от линейния регресионен анализ са показани на Фиг. 5. Оказа се, че зависимостта на средната месечна температура от сумарната месечна слънчева енергия е много тясна и корелационният коефициент достига $r = 0.90$. Нивото на статистическа значимост на корелацията P бе определено посредством t -критерия на Стюдънт и достига $P < 0.000001$. Известно е, че величината R^2 показва каква част от вариациите на предиктора (в случая месечната температура) се дължат на предиктанта (сумарната месечна слънчева енергия). Следователно 81% от вариациите на месечната температура се определят от влиянието на сумарната

месечна слънчева енергия и само 19 % от тези вариации са резултат от всички останали фактори, влияещи върху формирането на температурата на приземния въздух. По такъв начин бе установено статистически, че решаващия фактор за формиране на месечната температура на приземния въздух се явява сумарната месечна слънчева енергия, а всички останали фактори имат второстепенно значение.



Фиг. 5. Зависимост между средната месечна температура и сумарната месечна слънчева енергия

Резултатите от кроскорелационния анализ за средната месечна температура и сумарната месечна слънчева енергия са представени на Фиг. 6. Нивото на доверие (стандартна грешка $\sigma_r = 0.11$) е показано с пунктирна линия. Вижда се, че кроскорелационната функция има максимум при закъсняване на месечна температура спрямо сумарната месечна слънчева енергия с 1 месец. При това корелационният коефициент нараства още и достига стойност $r = 0.94$. Най-вероятната причина за изоставането на средната месечна температура спрямо сумарната месечна слънчева енергия се явява инертността на подложната повърхност и приземния слой. Това създава потенциална възможност за подобряване точността на прогнозата за средната месечна температура 1 месец предварително.



Фиг. 6. Кроскорелационна функция за средната месечна температура и сумарната месечна слънчева енергия

Заклучение

Изследвани са редовете за температурата и сумарната слъчева енергия по данни от MC Vantage Pro2 Plus инсталирана в района на Базова обсерватория при ИКИТ, Стара Загора. Данните обхващат периода от инсталирането на станцията през юни 2011 г. до септември 2019 г. Посредством линеен регресионен анализ е установена тясна корелация с $r = 0.90$ между месечните температури и сумарната месечна слъчева енергия. На следващия етап посредством кроскорелационен анализ е показано, че средните месечни температури изостават с 1 месец след сумарната слъчева енергия. Най-вероятната причина за изоставането се явява инертността на подложната повърхност и ниската атмосфера. Това създава потенциална възможност за подобряване точността на прогнозата за средната месечна температура 1 месец предварително.

Установено е, че 81 % от вариациите на месечната температура се определят от влиянието на сумарната месечна слъчева енергия и само 19% от вариациите са резултат от всички останали фактори, влияещи върху формирането на температурата на приземния въздух. По такъв начин, бе показано статистически, че решаващия фактор за формиране на месечната температура на приземния въздух се явява сумарната месечна слъчева енергия, а всички останали фактори имат второстепенно значение и допълват основния фактор.

Литература:

1. Lean, J. L., Solar irradiance and climate forcing in the near future, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 28, pp. 4119–4122, 2001.
2. Willson, R.C., H.S. Hudson, The Sun's luminosity over a complete solar cycle, *Nature*, Vol. 351, pp. 42–44, 1991.
3. Roedel, W., *Physik unserer Umwelt*, 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, S.48, 1994.
4. Кръстанов, Л., С. Панчев, В. Андреев, *Обща метеорология*, Наука и изкуство, София, 1978.
5. Prieto, J. I., J. C. Martinez-Garcia, D. Garcia, Correlation between global solar irradiation and air temperature in Asturias, Spain, *Solar Energy*, Vol. 83, pp. 1076–1085, 2009.
6. Chandel, S. S., R. K. Aggarwal, A. N. Pandey, New Correlation to Estimate Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces Using Sunshine Hour and Temperature Data for Indian Sites, *J. Sol. Energy Eng.*, Vol. 127, pp. 417–420, 2005.
7. Allen, R. G., Self-Calibrating Method for Estimating Solar Radiation from Air Temperature, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 2, Issue 2 (April 1997).
8. Wu, G., Y. Liu, T. Wang, Methods and strategy for modeling daily global solar radiation with measured meteorological data – A case study in Nanchang station, China, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, pp. 2447–2452, 2007.
9. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/bulgaria>
10. www.meteo.bg