

ПРИЛОЖИМОСТ НА САТЕЛИТНИ ДАННИ ЗА СЛЪНЧЕВА РАДИАЦИЯ КЪМ ОГРАНИЧЕНА ТЕРИТОРИЯ

Ваня Манева, Христомир Брънзов

*Национален Институт по Метеорология и Хидрология, НИМХ-БАН,
“бул. Цариградско шосе 66”, София, e-mail: Vanya.Maneva@meteo.bg*

ABSTRACT

With the penetration of solar energy as a renewable energy source in our practice, the problem of evaluating its characteristics for a restricted area appeared. The actinometrical networks have relatively large spatial step size - in the order of scores or hundreds of kilometers. This imposes the usage of computing methods and models of atmospheric optics for evaluations. Another option is satellite data to be used. They are burdened by errors, bound with the interpretation of the registered reflected signal by the determination of the total solar radiation on the surface of the earth. Thus both the models: models of atmospheric optics and satellite measurements cannot satisfactory solve the problem.

In this development both the approaches are combined. Data from direct solar radiation measurements, satellite measurements data, model evaluations, connected with the geographical position of a chosen place and measured meteorological parameters are used.

A scheme for the evaluation of the total solar radiation for a chosen place has been developed, which is based on corrected data from satellite measurements and the anomaly of the atmosphere pressure.

This scheme has been tested with data, taken from ground meteorological measurements of the total solar radiation and the atmosphere pressure for the period from 1983 to 2005 in the Central meteorological station of National Institute for Meteorology and Hydrology in Sofia and data from NASA from satellite measurements for the same period. The analysis of the significance of the multiple coefficient of correlation of the calculated regression equations showed that the newly developed scheme for evaluation gives good results by the average annual evaluation. By evaluation of average monthly values its applicability is restricted.

УВОД

С навлизането в практиката на Слънчевата енергия като възобновяем енергиен източник в метеорологията стана актуална задачата за оценка на характеристиките ѝ в конкретно място. В България, както и в повечето страни по света, актинометричните мрежи са със сравнително голяма стъпка в пространството – от порядъка на десетки или стотици километри. Това налага използването на различни изчислителни методи и модели на атмосферна оптика за исканите оценки. Друг вариант е използването на спътникови данни. Те от своя страна са натоварени от редица грешки, свързани основно с интерпретацията на регистрирания отразен сигнал при определяне на сумарната слънчева радиация на нивото на земната повърхност. За намаляване на тази грешка се използва значително по площ пространствено усредняване – от порядъка на 10 000 km². Така и двата метода: модели на атмосферната оптика и спътникови измервания не могат задоволително да решат проблема.

В тази работа ще се направи опит за комбинация на двата подхода. Ще бъдат използвани данни от преки измервания, данни от спътникови измервания, моделни оценки, свързани с географското положение на конкретното място и измервани метеорологични параметри, които имат връзка с поглъщането на Слънчевата радиация от атмосферата.

МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Количеството на слънчевата радиация, постъпваща на земната повърхност, зависи от две групи фактори: постоянно действащи и променливи. Към групата на постоянно действащите фактори се отнася астрономическите, надморската височина, разсейването и

поглъщането от постоянните газове съставки на атмосферата. С известно приближение може да се приеме, че и останалите газове съставки и прахът могат да се приемат като постоянни. Към променливите фактори се отнасят поглъщането на водната пара и облаците. В общият случай за постъпващата на хоризонтален земен участък слънчева радиация P може да се запише в следният вид:

$$P = E_{gl} - (S_{\lambda} + D_{g\lambda}) - (D_{wc} + Q) = E_{gl} - Const - Meteo \quad 3.1$$

където S_{λ} - изменението на интензивността на потока слънчева радиация с дължина на вълната λ от разсейването в атмосферен стълб с дебелина (h_1-h_0) , $D_{g\lambda}$ – сумарно поглъщане на слънчева радиация на височина h от газовите примеси, D_{wc} – поглъщане на водните пари, Q – връзката между отношението на постъпващата на земната повърхност сумарна слънчева радиация при облачно небе към тази при безоблачно Q_0 за 2 групи от случаи – ниска облачност N и средна и висока облачност n . В общият случай видът на зависимостта е :

$$Q = Q_0(1 - a_1N^2 - a_2n^2) \quad 3.2$$

където a_1 и a_2 са емпирични константи.

При решаване на задачата за оценка на сумарната слънчева радиация за конкретно място величините E_{gl} и $Const$ могат да се пресметнат теоретично и на база на предварителни емпирични данни. За пресмятането на $Meteo$ данни трябва да бъдат използвани метеорологични данни от измервания или моделни оценки .

В случаите, в които няма преки измервания на компонентите на слънчевата радиация за да се възстанови тази информация се използват данни от измервания направени в най-близката метеорологична станция и спътникови измервания. НАСА поддържа база данни от спътникови измервания за слънчевата радиация. Изкуствените спътници правят измерванията си усреднени за площ и грешката зависи както от характеристиките на радиометъра, който използват така и от методите за обработка на сигнала. Използваните в тази работа спътникови данни са усреднени за площ с размери $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ географски градуси.

Когато е необходимо да бъде направена оценка на характеристиките на слънчевата радиация за точка, в която няма преки измервания на слънчевата радиация най-често се използват различни полуемпирични модели. Входните данни, които се използват са географските координати и надморската височина на мястото и различни реално измерени метеорологични данни от най-близката метеорологична станция. Метеорологичните данни най-често са свързани с облачността или с други параметри, имащи отношение към поглъщането на слънчевата радиация от атмосферата.

В тази работа ще бъде направен опит за комбинация на този метод с данни от спътникови измервания. Първите два члена в уравнението 3.1. ще бъдат заменени с измерената от спътник инсолация на земната повърхност. Поради естеството на спътниковите данни (усреднени за голяма територия) е необходимо преди да се използват да бъдат коригирани. Тази корекция се налага поради факта, че данните са усреднени за съответният сектор, в който са измерени. Корекцията съдържа две компоненти. Първата е за определяне на разликата в инсолацията, свързана с отместването в северна или южна посока на точката от центъра на сектора . Втората е за определяне на разликата в инсолацията, свързана с различната надморска височина на точката и средната за сектора.

В това изследване за точка, в която се определя инсолацията се избира метеорологична станция, в която има реални измервания за слънчевата радиация. Това допълнително ще позволи да се направи сравнение между двата метода за измерване (от наземна станция и от спътникови измервания), с цел проверка на отклонението, което дават спътниковите резултати. Избирана е станция София, тъй като в нея измервания за слънчевата радиация се провеждат от 1954 г. Спътниковите данни са за периода 1983-2005 г. Данните са взети от

страницата на НАСА в интернет. За коректност на сравнението, ще се използват данните от станция София за същия период: 1983-2005г.

Във формула 3.1 за постъпващата на хоризонтален земен участък слънчева радиация P , влияят два основни фактора - постоянни и променливи. Постоянно действащи фактори са астрономическите фактори, разсейването и поглъщането от постоянните газове съставки на атмосферата. Променливите фактори са: поглъщането на слънчевата радиация от водната пара и облаците.

За определяне на първата компонента на корекцията на измерената от спътника инсолация се правят теоретични пресмятания за определяне на ъгъла на наклона на Земята, деклинацията на Слънцето и на разстоянието Земя-Слънце за всеки месец. Следващата стъпка е теоретично да се определи количеството на слънчевата радиация на горната граница на атмосферата $-E_{ext}$ за центъра на сектора, в който измерва спътникът. Определя се разликата в стойностите между двете точки. Стойността на тази разлика е първата корекция на данните измерени от спътника. Тъй като спътниковите измервания и измерванията в станция София са на различна надморска височина, се прилага и втората корекция на данните. С разликата, която се получава за двете височини се прави втора корекция на спътниковите данни. Така получените спътникови данни, вече са приведени към географската ширина и надморската височина на град София.

Втората основна стъпка е отчитането на влиянието на променливите фактори върху изменението на количеството слънчева радиация. Според нас, е удачно, да се използва метеорологичен елемент, който се измерва във всички метеорологични станции и е свързан с количеството на облачността. Такъв фактор е атмосферното налягане. Известно е, че пониското от нормалното за точката атмосферно налягане (циклонално поле) е свързано с наличие на облачност, а по-високото (антициклонално поле) – с ясно време. В станция София се провеждат ежедневни измервания на атмосферното налягане в синоптичните срокове. Използвайки данните за атмосферното налягане за периода 1983-2005 г. и климатичната норма може да се оцени косвено облачността. Формира се редица от данни за разликата между средномесечното атмосферно налягане и климатичната му норма, т.е. аномалията на атмосферното налягане за месеца. Ако тя е положителна, може да се очаква облачност под средната за този месец. Ако аномалията е отрицателна, може да се очаква облачност над средната за съответния месец.

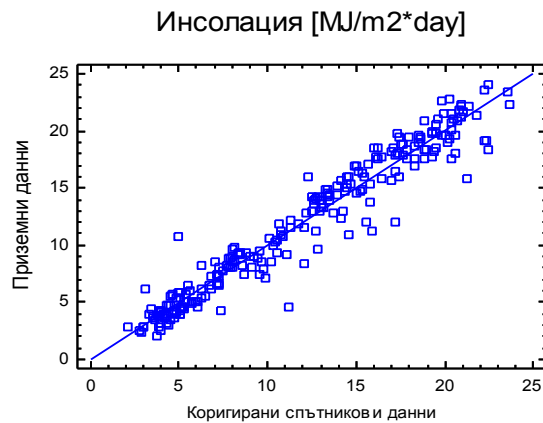
Третата основна стъпка е получаване на регресионни уравнения, даващи връзката между измерената при земята инсолация, определената по коригираните спътникови данни и аномалията в атмосферното налягане.

ОБРАБОТКА НА ДАННИ И РЕЗУЛТАТИ

Формирани са три редици от средномесечни данни. Първата е за измерената в централната метеорологична станция на НИМХ в гр. София (ЦМС) сумарна слънчева радиация за периода 1983-2005 год. Втората е от коригираните (приведени) към географските координати и надморска височина спътникови измервания. Третата е за аномалиите на атмосферното налягане в ЦМС. Поради значителни пропуски в измерванията на слънчевата радиация в ЦМС през 1996 г. тези данни са изключени от изследването.

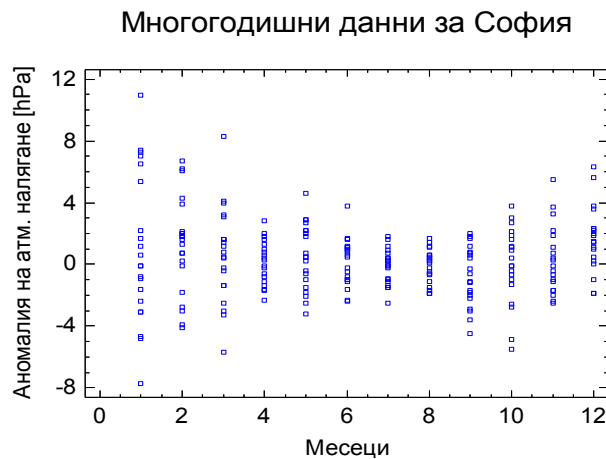
За получаване на регресионните модели се използва стандартен статистически пакет Statgraphics Centurion.v15.2.11.0 – основно модул за множествен регресионен анализ. Предиктор е измерената в ЦМС инсолация, а предиканти – коригираната стойност на инсолацията измерена от спътник и аномалията на атмосферното налягане по данни от ЦМС.

На фигура 3.1 са представени в графичен вид данните за инсолацията измерена при земята с пиранометър и данните за инсолацията измерена от спътник. По оста y са данните за приземни измервания, по оста x са данните за измерванията от спътник.



Фиг.3.1. Данни за измерената с пиранометър и спътник

На фиг. 3.2. е представен многогодишният ход на аномалията на атмосферното налягането в станция София. От графиката се вижда че през летните месеци аномалията е по-малка от колкото през зимните.



Фиг.3.2 Аномалия на атмосферното налягане по месеци

Получени са регресионните уравнения даващи връзката между измерената на земята сумарна слънчева радиация, измерената от спътник (след описаните корекции) и аномалията на атмосферното налягане за ЦМС за различните месеци :

Януари

Регресионното уравнение за месец януари има следният вид:

$$E_m = 0.144129 + 0.695267 * E_s - 0.0212107 * dP \quad 3.3$$

Където E_m са измерените от пиранометър стойности, E_s – данните от сателитните измервания, dP - аномалиите в налягането.

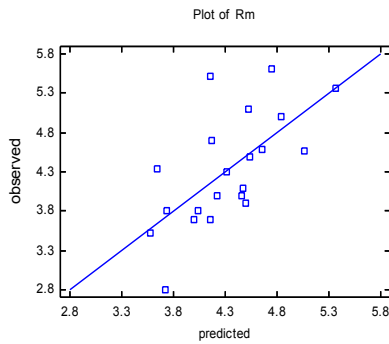
Коефициентът на множествена корелация за полученото регресионно уравнение R е:

$$R = 0.42$$

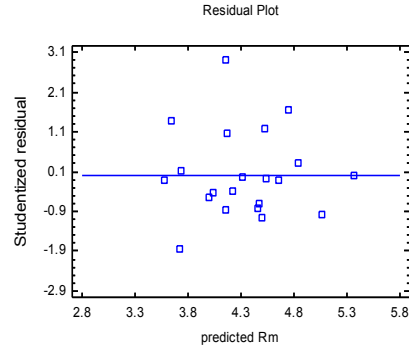
а средната абсолютна грешка на регресионното уравнение (MAE) е:

$$MAE = 0.405 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}.$$

На фиг. 3.3а и 3.3б са представени в графичен вид резултатите от регресионния анализ.



Фиг.3.3.а – Графичен вид на регресията по 3.3.



Фиг.3.3.б Стандартизирани остатъци на регресията по 3.3.

Април

Регресионното уравнение за месец април има следният вид:

$$E_m = 1.52484 + 0.841866 * E_s - 0.118469 * dP \quad 3.4$$

Коефициентът на множествена корелация за полученото регресионно уравнение

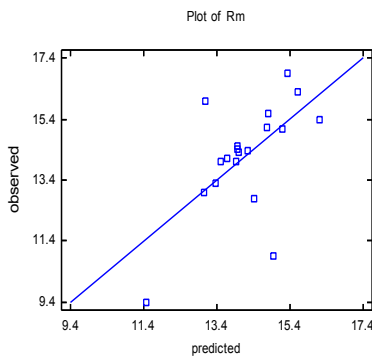
Р е:

$$R = 0.36$$

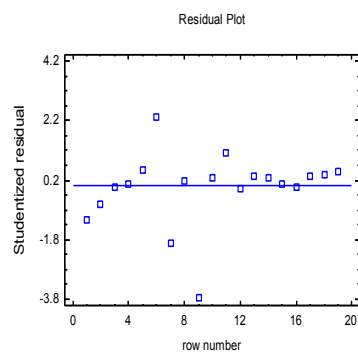
а средната абсолютна грешка на регресионното уравнение (MAE) е:

$$MAE = 0.927 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$$

На фиг. 3.4.а и 3.4.б са представени в графичен вид резултатите от регресионния анализ.



Фиг.3.4.а – Графичен вид на регресията по 3.4



Фиг.3.4.б Стандартизирани остатъци на регресията по 3.4.

Юни

Регресионното уравнение за месец юни има следният вид:

$$E_m = 14.7698 + 0.247848 * E_s + 0.679506 * dP \quad 3.5$$

Коефициентът на множествена корелация за полученото регресионно уравнение

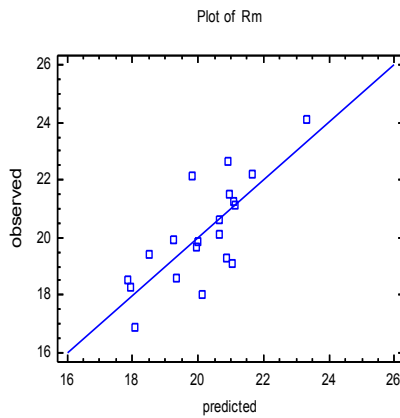
Р е:

$$R = 0.59$$

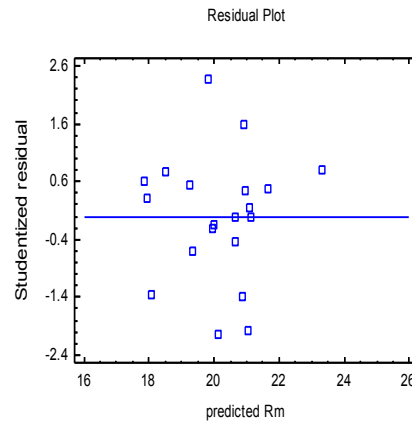
а средната абсолютна грешка на регресионното уравнение (MAE) е:

$$MAE = 0.860 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$$

На фиг. 3.5.а и 3.5.б са представени в графичен вид резултатите от регресионния анализ.



Фиг.3.5.а – Графичен вид на регресията по 3.5.



Фиг.3.5.б Стандартизирани остатъци на регресията по 3.6.

От таблиците на Фишер, при желаното ниво на значимост α и за брой степени на свобода $\nu_1=k+1$ и $\nu_2=n-k-2$ се определя F_{tab} . Ако $F > F_{tab}$ коефициентът на множествена корелация се смята за значим. Ако $F \leq F_{tab}$ коефициентът на множествена корелация се смята за незначим. Резултатите за

$\alpha = 0.05$ са представени в табл. 3.1. За стойностите на пресметнатите коефициенти на множествена корелация на регресионните уравнения се получава, че те могат да се приемат за значими само в два случая: за месец юни и за средногодишните стойности.

Таблица 3.1. От таблиците на Фишер

Месец	R	F	F_{tab}	Значим
1	0.42	1.28	3.16	Не
2	0.53	2.34	3.16	Не
3	0.57	2.89	3.16	Не
4	0.36	0.89	3.16	Не
5	0.48	1.80	3.16	Не
6	0.60	3.38	3.16	Да
7	0.48	1.80	3.16	Не
8	0.40	1.14	3.16	Не
9	0.26	0.44	3.16	Не
10	0.01	0.001	3.16	Не
11	0.16	0.16	3.16	Не
12	0.09	0.05	3.16	Не
Средногодишен	0.94	660.41	2.64	Да

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За да бъде оценена приложимостта на сателитни данни за слънчева радиация към ограничена територия е разработена схема за оценка на сумарната слънчева радиация за конкретно място, основана на коригирани данни от спътникови измервания и аномалията на атмосферното налягане. Корекцията на спътниковите данни е за отклонението на географската ширина на конкретното място от центъра на сектора и за разликата в надморската му височина от средната за сектора, характеризиран със спътниковите данни.

Схемата за оценка е тествана с реални данни от приземни метеорологични измервания на сумарната слънчева радиация и атмосферното налягане за периода 1983-2005 г. в Централната метеорологична станция на НИМХ в гр. София и данни на НАСА от спътникови измервания за същия период, за сектора с размери 1x1 географски градуси, в който се намира гр. София.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брънзов, Хр. –“Метеорология за индустрията - 2011”.-Херон Прес
2. Донев Е. – „Измерителни методи в метеорологията – 1983”- Университетско издание
3. Панчев С. – „Основи на атмосферната физика - 2003”. Академично издателство „проф. Марин Дринов”
4. Сиракова М. – „Атмосфера и климат-2000”. –Херон Прес
5. Allen C.W, C.W (1976) – *Astronomical Quantities* (3rd ed.ed); London , Athole, ISBN 0-485-11150-0
6. Auer, Lawrence H, Standish, C. Myles (2000) *Astronomical Refraction: Computation method for all zenith angles* – *Astronomical Journal*; 119(5):2472-2474
7. Bader M.J, G.S. Forbes, J.R. Grant, R.B.E. Lilley, A.J. Waters, edition 1995: *Images in Weather Forecasting “A practical Guide for Interpreting Satellite and Radar Imagery”*
8. Bennett G. (1982). – *The calculation of astronomical refraction in Marine Navigation.*
9. Blair, B., 2004: *Atmospheric Transmission-Good News and Bad News.* http://fuse.pha.jhu.edu/~wpb/spectroscopy/atm_trans.html
10. Cano D, Monget JM, Guillard H, Albuisson M, Regas N, Wald L (1986) *A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data.* *SolEnergy* 37:31–39
11. CIMO Guide, World Meteorological Organization (WMO) 2008 -Chapter 8 – *Measurement of Solar duration;*
12. Diabate L, Demarco H, Michaud-Regas N, Wald L (1988) *Estimating incident solar radiation at the surface from images of the earth transmitted by geostationary satellites: the heliosat project.* *Int J Sol Energy* 5:261–278
13. Garfinkel, B. (1967), "Astronomical Refraction in a Polytropic Atmosphere", *Astronomical Journal* 72: 235–254