

## Валидация на методи за определяне на компонентите на слънчева радиация по спътникови наблюдения

**В. Манева, Д. Атанасов, Н. Нейкова**

Национален институт по метеорология и хидрология,  
Българска академия на науките  
бул. Цариградско шосе 66, 1784 София

**Abstract.** Измерването на компонентите на слънчевата радиация е по-сложно, отколкото измерването на повечето други метеорологични елементи – приборите са по-скъпи, поддържането и калибрирането им е по-сложно. По тази причина, докато повечето метеорологични елементи се измерват в десетки точки на територията на България, слънчева радиация се измерва в няколко, понастоящем 3 станции. Търсенето на информация за слънчевата радиация<sup>1</sup> както от научни организации, така и от бизнеса, осезаемо нараства поради повишения интерес към възобновяемите енергийни източници. Въпреки някои нисходящи тенденции в създаването на нови фотоволтаични паркове интересът към данни за слънчева радиация не отслабва и това се констатира в НИМХ. Заявките за информация към НИМХ се отнасят за райони, разположени по цялата територия на страната, откъдето произтича необходимостта от разработване на методи за оценка на компонентите на слънчевата радиация в райони, в които последната не се измерва.

В настоящата разработка се проверява възможността за определяне на компоненти на слънчевата радиация по данни от спътникови измервания от база данни на NASA [1]. Оценява се грешката при прилагане на 3 метода за използване на спътниковите данни, като за референтни се използват данни от приземни измервания на слънчевата радиация в станция “София” – ЦМС, НИМХ.

### 1 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

---

<sup>1</sup>Слънчева радиация – Количеството слънчева енергия, достигнала до земната повърхност. Измерва се в  $W/m^2$  или  $J/m^2$ .

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 подходи за определяне на компонентите на слънчевата радиация в райони, в които те не се измерват пряко. Една от възможности за това предоставят спътниковите наблюдения. Последните са натоварени от редица грешки, свързани основно с интерпретацията на регистрирания отразен сигнал при определяне на сумарната слънчева радиация на нивото на земната повърхност. Освен това, спътниковата информация не винаги има задоволителна пространствена разделителна способност. В настоящото изследване се разглежда възможността да се използва един конкретен архив от спътникова информация за слънчевата радиация – база данни на NASA [1]. По тези данни се прави оценка за слънчевата радиация в конкретна точка, като се използват 3 различни начина. Оценката се съпоставя с директни измервания във въпросната точка.

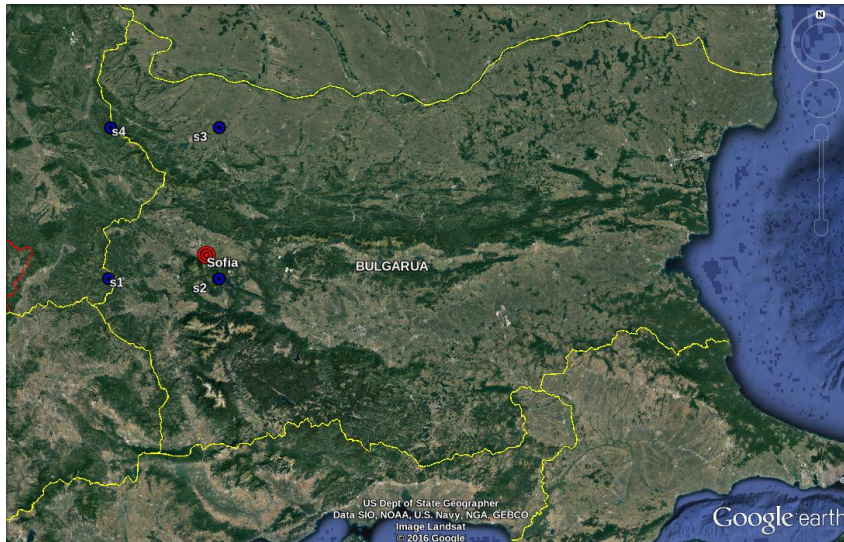
## **2 Данни и методи**

### **2.1 Данни**

В разработката са използвани данни за слънчева радиация за периода 2000–2004 година. Спътниковите данни са с пространствена стъпка  $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$  ( $1^\circ \times 1^\circ$ ) като измерените стойности се отнасят към централната точка на клетката. Използват се четирите централни точки на клетките около станция “София”, в които има спътникови данни (Фиг. 1). Основни референтни данни са ежечасни стойности на компоненти на слънчева радиация в станция “София”. На база на тези данни се изчисляват дневните стойности, като в разработката са използвани усреднени за месец дневните суми на слънчева радиация върху хоризонтална земна повърхност.

Измерванията се извършват с пиранометър. Сензорът е така конструиран, че има обхват от  $180^\circ$  и измерва плътността на потока на слънчевата радиация. Слънчевият спектър се измерва в интервала 300–2800 nm. За да бъдат коректни измерванията на слънчевата радиация, важно значение оказва и ъгълът, под който падат слънчевите лъчи върху сензорът. За това пиранометрите се конструират по такъв начин, че да имат т.нар. “косинус отвор”. Компонентите на пиранометърът се подбират по такъв начин, че да може той да функционира според изискванията СМО и измерванията му да са коректни.

Компонентите му са:



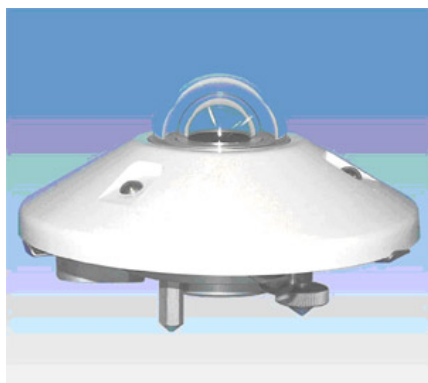
Фиг. 1: На картата са показани местоположението на станция “София” – с червено, а със синьо са обозначени точките, за които се отнасят спътниковите данни, които са използвани в разработката.

- Сензор, който е покрит с черен слой. Той поглъща соларната радиация, като спектърът, който обхваща е 300–500 nm. Косинус отворът е почти идеален;
- Стъклено покритие. Стъкленият капак, който е с формата на полусфера, ограничава спектъра от 300–2800 nm. Чрез него се осигурява сектор на наблюдение 180°. Основната му функция обаче е да защитава сензора от конвекция;
- Черното покритие на сензора поглъща радиацията. Тя се трансформира в топлина. Сензорът генерира напрежение и така осигурява изходен сигнал, който е пропорционален на количеството слънчева радиация, достигнала до земната повърхност. Поради тази причина при пиранометрите се използва плосък приемник, при който ъгълът на “виждане” не е ограничен. За да може уредът да работи в късовълновата област и топлинния баланс да не се изменя, приемникът се поставя под стъклен полусферичен капак, който пропуска в диапазона 0.3–3  $\mu\text{m}$ . Топлинният приемник на пиранометъра се прави от 2 вида пластини. Единият вид пластини поглъщат равномерно в широк спектрален диапазон 0.3–20–30  $\mu\text{m}$ . Вторият вид имат голям коефициент на поглъщане само в дълговълнова-

*В. Манева, Д. Атанасов, Н. Нейкова*

та област ( $3-30 \mu\text{m}$ ) и отразяват късовълновата радиация ( $0.3-3 \mu\text{m}$ ). Това се постига, когато пластинките от първия вид се покрият с черна боя или сажди, а вторият тип пластинки – с бяла боя (магнезий). Към белите и черните полета на приемника са прикрепени краищата на термодвойките. За да няма проблем с прегряване на уреда или конденз под стъкления капак, се поставя така наречената сушилка [2].

Уредите се стандартизират според ISO 9060 (СМО). Според стандарта има 3 класа пиранометри. Най-добрият е “вторичен стандарт”, след него “първи клас” и “втори клас”. На Фиг. 2 е показан пиранометър на Kipp&Zonen.



Фиг. 2: Пиранометър на Kipp&Zonen.

## 2.2 Методи

Използвани са 3 метода за определяне на компонентите на слънчева радиация по данни от спътникови наблюдения:

- Директно заместване;
- Extraterrestrial correction;
- Clear sky correction.

### Директно заместване

При директното заместване данните от сателита директно се приписват за местоположението на станция “София”. Направено е за най-близката – s2, и за най-далечната – s4 точка около станцията (вж. Фиг. 1).

### Extraterrestrial correction

Подходът е следният. Определя се слънчевата радиация на горната граница на атмосферата  $E_{\text{ext}}$  по следната формула:

$$E_{\text{ext}} \frac{24(60)}{\pi} E_* d_r \left[ w_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \sin(w_s) \right]$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (1)$$

$$w_s = \arccos(\tan(\varphi) \tan(\delta)),$$

където  $E_{\text{ext}}$  се измерва в  $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ,  $E_*$  е слънчевата константа  $[\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{min}]$ ,  $d_r$  е най-голямото разстояние Земя – Слънце,  $w_s$  е ъгълът на наклона на Земята при залез  $[\text{rad}]$ ,  $\varphi$  – географската ширина  $[\text{rad}]$ ,  $\delta$  – деклинация на Слънцето  $[\text{rad}]$ ,  $J$  – номерът на съответният ден за годината  $1-365/366$ . [3].

$E_{\text{ext}}$  се определя в точка, за която се отнасят спътниковите измервания, и в точката, в която се намира станция София.

Определя се разликата и отношението:

$$E_{\text{difr}} = E_{\text{ext}}^{\text{st}} - E_{\text{ext}}^{\text{sat}},$$

$$E_{\text{rat}} = \frac{E_{\text{ext}}^{\text{st}}}{E_{\text{ext}}^{\text{sat}}}, \quad (2)$$

където  $E_{\text{ext}}^{\text{st}}$  и  $E_{\text{ext}}^{\text{sat}}$  са съответно слънчевата радиация на горната граница в точката на станцията и в точката, за която се отнасят спътниковите данни.

Радиацията в станция “София”  $E$  е определяна, чрез корекция на спътниковите данни при земята по следните два начина:

$$E = E_{\text{sat}} + E_{\text{difr}} \quad (3a)$$

$$E = E_{\text{sat}} \times E_{\text{rat}}, \quad (3b)$$

където:  $E$  е се измерва в  $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ,  $E_{\text{sat}}$  е слънчевата радиация по спътникови измервания  $[\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}]$  в някоя от точките s1 – s4.

### Clear sky correction

В този подход се използва формулата на Ангстрьом [4]:

$$\frac{E}{E_{\text{ext}}} = a + b \left( \frac{S}{S_0} \right), \quad (4)$$

където  $E$  е слънчевата радиация на земната повърхност,  $E_{\text{ext}}$  е слънчевата радиация на горната граница на атмосферата, определена по

формула [1],  $S$  е продължителността на слънчевото греене [hour],  $S_0$  е максималната възможна продължителност на слънчевото греене [hour],  $a$  и  $b$  са емпирични коефициенти.

При “чисто небе”  $S = S_0$ . Използвайки конкретни стойности за коефициентите  $a$  и  $b$ , в които се отчита надморската височина, се стига до формулата:

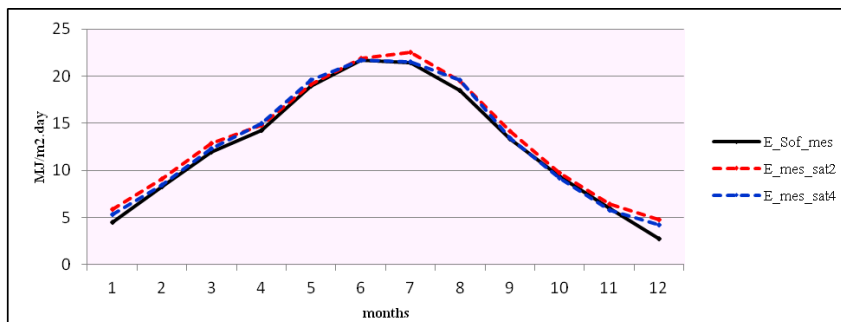
$$E = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5}h)E_{ext}, \quad (5)$$

където  $E$  е слънчевата радиация на земната повърхност при чисто небе [ $M/m^2 \cdot day$ ], а  $h$  е надморската височина на точката [m], за която се правят изчисленията.

След определянето по формула (5) на слънчевата радиация за местоположението на станция София и за точка, за която се отнасят спътниковите данни, се определят корекциите от формула (2). С тях, аналогично на подхода Extraterrestrial correction се коригират спътниковите данни при земята, за да се получи слънчевата радиация в желаната точка, в случая за станция София.

### 3 Резултати

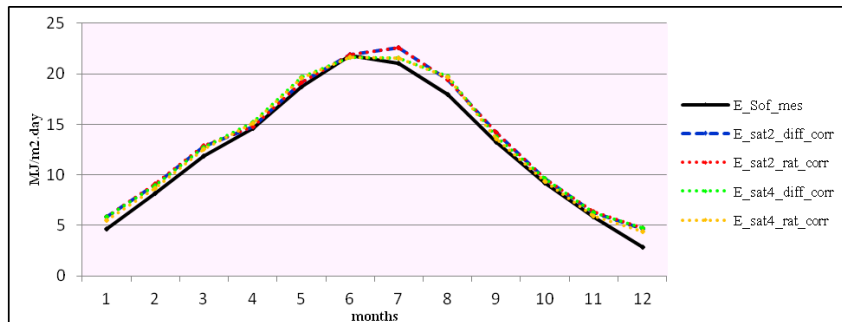
На следващите фигури е представено сравнение между средномесечните дневни суми на сумарната слънчева радиация на хоризонтална повърхност в станция “София”, определени по описаните горе методи и определени от директните измервания в станция “София”. Представените резултати са усреднени за периода 2000–2004 г.



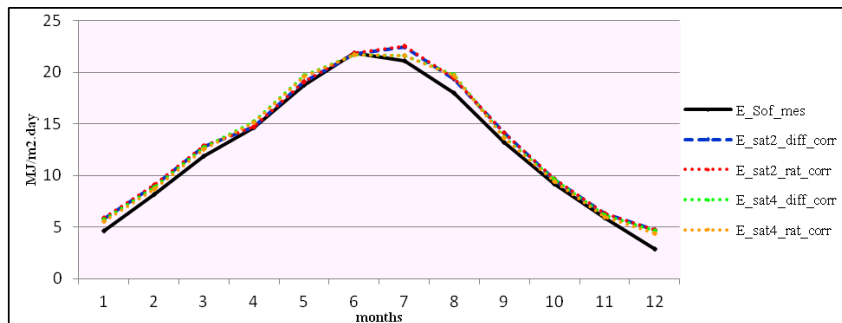
Фиг. 3: Дневни суми на сумарната слънчева радиация на хоризонтална повърхност в станция “София”, определени на база на преки наблюдения ( $E_{Sof\_mes}$ ) и посредством спътникови данни чрез “директно заместване” от точка s2 и от точка s4.

В Таблица 1 са представени грешките, които се получават при трите използвани в разработката метода.

Валидация на методи за определяне на компонентите на ...



Фиг. 4: Дневни суми на сумарната слънчева радиация на хоризонтална повърхност в станция “София”, определени на база на преки наблюдения ( $E_{Sof\_mes}$ ) и посредством спътникови данни, по метода “Extraterrestrial correction” от точка s2 и от точка s4.



Фиг. 5: Дневни суми на сумарната слънчева радиация на хоризонтална повърхност в станция “София”, определени на база на преки наблюдения ( $E_{Sof\_mes}$ ) и посредством спътникови данни, по метода “Clear sky correction” от точка s2 и от точка s4.

Грешката се изчислява по следната формула:

$$Err = \frac{E_{corr} - E_{mes}}{E_{mes}}, \quad (6)$$

където  $E_{corr}$  е стойността на дневната сума, определена чрез спътниковите данни по съответния метод,  $E_{mes}$  е дневната сума, определена по директните наблюдения. В Таблица 1 е представена грешката  $Err$ , осреднена за периода 2000–2004 г.

Табл. 1: Грешка в % от точната стойност, средно за периода 2000–2004 г.

Спътникови точки	Директно заместване	Extraterrestrial correction		Clear sky correction	
Сателитна точка – s2	-6.58	6.13	6.38	5.85	6.12
Сателитна точка – s4	-3.29	5.86	4.42	5.48	4.57

#### **4 Заключение**

За да бъде оценена приложимостта на спътниковите данни за слънчева радиация, са разгледани 3 метода за оценка на сумарната слънчева радиация. За конкретен архив от спътникова информация – база данни на NASA [1], средната за 5-годишен период грешка варира между 3.3% и 6.6%.

В бъдеще е възможно развитие на схема за определяне на компонентите на слънчева радиация, по спътникови данни, като се включат подходящи предиктори, характеризиращи локалните особености при поглъщане на Слънчевата радиация от Земната атмосфера. След достатъчен на брой тестове за места с различни физикогеографски характеристики е възможно развитието ѝ в полумпиричен модел за определяне на сумарната Слънчева радиация за конкретно място по данни от спътникови измервания и метеорологични параметри.

#### **Литература**

- [1] <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/daily.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>
- [2] Е. Донеv, “Измерителни методи в метеорологията – 1983”.
- [3] <http://www.fao.org/nr/water/docs/referencemanualeto.pdf>
- [4] Calibration of Angstrom Equation for Estimating Solar Radiation using Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm (Case study: Mashhad-East of Iran)