

SCHIMBĂRI ALE RADIAȚIEI GLOBALE ÎN CONTEXTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ÎN PARTEA NORD-VESTICĂ A ROMÂNIEI



BLANKA BARTÓK¹, Z. IMECS¹

ABSTRACT. – **Changes in global radiation regarding climate change in northwestern part of Romania.** The aim of the study is to estimate regional changes of global radiation regarding climate change in northwestern part of Romania. In the first step the dependence of global radiation from cloudiness is calculated by linear regression. As the second step a statistical method of downscaling is applied to calculate how cloudiness changes parallel with the increase of hemispherical temperature with 0.5K: the regression of local variables against the hemispherical mean temperature is analyzed by the method of instrumental variables, in the recent monotonously warming period of 1973–1996. Finally the products of the two regression coefficients typically yield a few percent of relative positive changes in global radiation considering 0.5 K hemispherical warming. The effect of different types of clouds on global radiation is also analyzed by parameterization. The results show a decrease in global radiation induced mostly by changes in Cirrus, Nimbostratus having the less influences on incoming solar radiation.

Keywords: global radiation, cloudiness, climate change

1. INTRODUCERE

Radiația globală reprezintă principala sursă energetică a fenomenelor fizice, chimice și biologice care au loc în atmosferă. Ea ajunge la suprafața terestră sub formă de radiație directă și radiație difuză, cuprinzând spectrul electromagnetic între 0.29 μm și 4.00 μm .

Radiația globală este strâns legată de fenomenele climatice, respectiv de schimbările sistemului climatic, în mai multe aspecte. În primul rând prin nebulozitate, care are un rol important în bilanțul radiativ al atmosferei, și este implicată în mod direct și indirect în fenomenul schimbărilor climatice. Nebulozitatea modifică radiația în ambele spectre (cel scurt și cel lung), iar în ansamblu reprezintă un component negativ al bilanțului radiativ al Pământului (Harison et al, 1990). În al doilea rând radiația globală este influențată și de alte componente prezente în atmosferă cum sunt aerosolii, vaporii de apă, gazele cu efect de seră. Astfel radiația globală este un parametru climatic valoros, dar mai puțin studiat până în prezent.

Pentru țările din Europa s-au elaborat câteva studii despre schimbările radiației globale în contextul schimbărilor climatice începând cu anii 1950 (Gilgen

¹ Babeș-Bolyai University, Faculty of Geography



at al 1998, Stanhill and Cohen 2001, Pinker 2005). Aceste lucrări raportează o descreștere generală în radiația solară până în anii 1990, după care se constată o creștere pronunțată. Schimbarea direcției trendului radiației globale se presupune că se datorează descreșterii concentrației aerosolilor din atmosferă. Studiile arată o creștere în radiația globală după anii 1990 și pe alte continente, iar magnitudinea acesteia variază (Liepert 2002, Wild et al 2005), numai în câteva cazuri este detectată o descreștere continuă în ultimii 50 de ani (Lohmann 2006, Grimenes 2006).

Studiul de față are scopul de a determina schimbarea radiației globale la scară locală printr-un model statistic pentru regiunea nord-vestică a României (Fig. 1) în contextul schimbărilor climatice. Datele de la stațiile din afara regiunii studiate sunt analizate cu scopul de a avea valori și pe marginile regiunii. Relația statistică între radiația globală și temperatura emisferei nordice este analizată prin intermediul nebulozității, nebulozitatea fiind considerată ca elementul meteorologic cu rolul cel mai important în modificarea radiației solare în atmosferă (Salby, 1996).

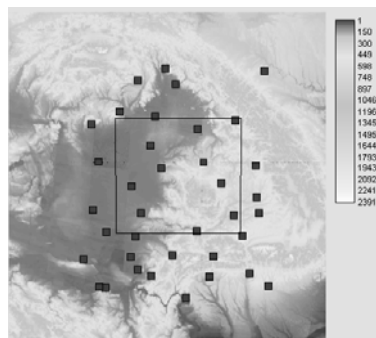


Fig. 1. Regiunea studiată, stațiile meteorologice sunt marcate cu puncte

2. MODELUL STATISTIC

Având variabila W , care se află într-o funcție indirectă cu variabila X prin intermediul variabilei Y : $W\{Y(X)\}$. Dacă $W(Y)$ și $Y(X)$ sunt lineare și variația ΔX a lui X nu este prea mare, atunci ambele funcții se pot descrie prin relații lineare în intervale relativ mici față de starea inițială:

$$W(Y) \approx W_0 + (dW / dY)Y$$

și

$$Y(X) \approx Y_0 + (dY / dX)X$$

În continuare se determină coeficientul de regresie pentru radiația solară (ca variabila W) ca variabilă dependentă și pentru nebulozitate (ca variabila Y) fiind variabila dependentă de temperatura medie a emisferei nordice (variabila X).

Astfel:

$$\Delta W = (dW / dY)(dY / dX)\Delta X$$



unde produsul derivatelor poate fi estimat prin produsul coeficienților de regresie corespunzători.

Relația statistică dintre radiația globală și nebulozitate este calculată cu metoda celor mai mici pătrate, iar pentru determinarea regresiei lineare între parametrii regionali (nebulozitatea) și parametrii globali (temperatura) se adaptează o metodă statistică de downscaling, și anume metoda variabilelor instrumentale.

Se dă variabila dependentă Y , în acest caz nebulozitatea, și una independentă X , temperatura medie emisferică. Pentru a defini coeficientul de regresie b ca dY/dX din ecuația $Y=Y_0 + bX$, se aplica metoda variabilelor instrumentale, metoda statistică aplicată în climatologie de prima dată de Groisman et al. (Vinnicov, 1986). Ideea metodei este de a introduce o variabilă Z , care în cazul nostru va fi șirul anilor (Mika, 2000), care trebuie să se îndeplinească următoarele criterii:

- non-zero corelație cu variabila independentă
- zero corelație cu rezidualele variabilei independente
- lipsa corelației cu rezidualul regresiei în variabila independentă

Parametrul b se calculează după formula:

$$b = \frac{\text{cov}(Y, Z)}{\text{cov}(X, Z)}$$

Variabila instrumentală pentru nebulozitate este șirul anilor 1973–1996, 24 de ani cu o tendință de încălzire (+0,021K/an), iar coeficientul de corelație cu temperatura emisferică este de 0,796 (Tabelul. 2).

Metoda variabilelor instrumentale are o deficiență, și anume, nu este determinat intervalul de confidență pentru coeficienții de regresie, astfel nu se poate stabili intervalul de incertitudine pentru rezultatele obținute.

3. PARAMETRIZAREA EFECTULUI DIFERITELOR TIPURI DE NORI ASUPRA RADIAȚIEI SOLARE

Elaborarea estimării de radiație mai precise bazate pe diferite tipuri de nori, devine mult mai complicată față de cazul nebulozității totale. Dificultățile derivă din faptul că în cazul norilor de tip diferit suprapunerea straturilor și statistica aparițiilor simultane a acestora îngreunează estimările cantitative și calitative, astfel și metodele de prelucrare a datelor de acest tip. Ele pot fi îmbunătățite parțial prin operarea în ansamblu, dar totodată trebuie să luăm în considerare faptul că relația dintre formarea diferitelor tipuri de nori nu este lineară (datorită diferitelor condiții fizico-chimice cum sunt conținutul de apă, structura, variația zilnică și anuală, etc.). Cunoștințele mai aprofundate despre efectele exercitate separat și în ansamblu a diferitelor tipuri de nori asupra radiației presupun observații specifice asupra fenomenelor atmosferice care trebuie să fie omogene, să reprezinte o perioadă mai lungă și să fie simultane. În lipsa acestor observații trebuie să apelăm la metode mai generalizate și astfel mai imprecise.

Metoda folosită în acest studiu se bazează pe două condiții inițiale:



- se ia în considerare numai un singur tip de nor observat, ignorând posibilitatea suprapunerii a mai multor straturi
- coeficientul de transparență a tipului de nor respectiv este determinat pe baza bibliografiei

Dacă relația dintre tipul respectiv și radiația solară este lineară, se scrie formula:

$$G = G_0(1 - g_i n_i),$$

unde: G_0 radiația globală în condiția de cer senin

g_i efectul nebulozității la nivelul i asupra radiației

n_i gradul de acoperire cu nori la nivelul i .

În literatură nu se găsesc constante empirice stabilite pentru regiunea studiată, prin care s-ar putea transforma direct tendința diferitelor tipuri de nori în trend de radiație solară. Totuși există parametri referitori la coeficientul de transparență (T) pentru diferite tipuri de nori. Chiar dacă acești parametri nu indică modificarea radiație prin difuzie duplicată (reflecție de suprafață și de nori), privind o relație lineară dintre nori și radiația globală, adică ignorând pierderile prin reflexie, putem considera $G = G_0$ în timp senin, și $G_0 = T$ în caz de acoperire totală, din care derivă relația:

$$G = G_0(1 - n_i T)$$

prin urmare,

$$g_i \approx T$$

Valorile T pentru diferite tipuri de nori se găsesc în Tab.1 (Kondratiev, Binenco, 1984). Valorile n_i sunt înlocuite cu valorile de schimbări absolute ale nebulozității calculate prin metoda de downscaling.

Tabel.1. Valori empirice pentru coeficientul de transparență (T), albedo(A) și absorbție (a , unde $a = 1-(A+T)$) pentru diferite tipuri de nori pe continentele din zona temperată (Kondratiev, 1984)

	A	a	T	T*
Cu	0,45–0,60	0,05	0,35–0,50	0,42
Ac, As	0,50–0,68	0,03	0,29–0,47	0,38
Cb, Ns	0,55–0,70	0,10	0,20–0,35	0,27
Cs, Ci	0,15–0,30	0,01–0,02	0,68–0,84	0,76

4. SURSE DE DATE, MOD DE LUCRU

Datele de radiație globală sunt derivate din imagini satelitare (METEOSAT, prima generație) prin algoritmul HELIOSAT-1 (Hammer et al., 2003). Datele lunare au o rezoluție de 4.4x4.4 km recalulate pentru teritoriul respectiv, pentru perioada 1995–1996, în unitate de $W_{lună}/m^2$.

Sursa de date a observațiilor de nebulozitate constă din arhiva “Extended Edited Cloud Reports Archive” (EECRA, Hahn și Warren, 1999). Regiunea este reprezentată de 37 stații meteorologice (Fig. 1), datele lunare de nebulozitate totală, Cumulus, Nimbostratus, Cirrus și Altostratus sunt exprimate în procente (100% fiind acoperirea totală) și se referă la perioada 1973–1996. Lipsa de date a fost completată prin regresie lineară cu datele stațiilor cu corelația cea mai strânsă.

Șirul de anomalii de temperatură (perioada de referință 1960–1990) pentru emisfera nordică este elaborat și publicat de Jones et al (1994).

Interpolarea datelor punctuale de nebulozitate s-a efectuat cu software-ul IDRISI KILIMANDJARO prin metoda TIN, respectiv TINSURF. În final hărțile obținute au fost filtrate cu ajutorul modulului IMAGE PROCESSING – ENHANCEMENT al produsului IDRISI utilizând filtrul GAUSSIAN de 5x5 celule de trei ori.

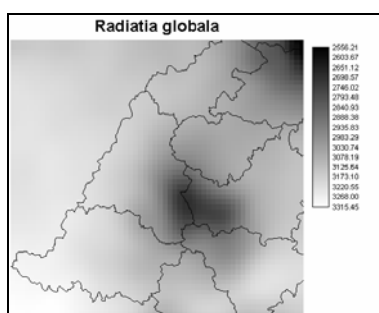


Fig. 2. Radiația globală, media anilor 1995–1996

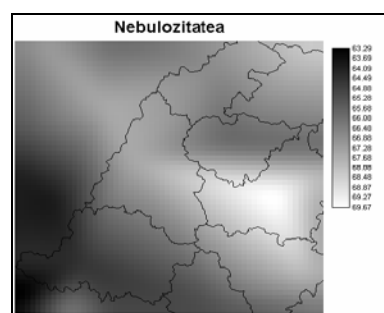


Fig. 3. Nebulozitate totală, media anilor 1995–1996

5. RELAȚIA STATISTICĂ DINTRE RADIAȚIA GLOBALĂ ȘI NEBULOZITATE

Relația statistică dintre radiația globală și nebulozitate este caracterizată prin coeficientul de corelație. Cu ajutorul programului SIG s-a efectuat o suprapunere a hărților de radiație globală obținută pe baza datelor satelitare (Fig. 2), și a hărților de nebulozitate create prin interpolarea valorilor punctuale ale celor 37 de stații meteorologice (Fig. 3). Astfel se calculează corelația și panta lineară dintre cele două variabile (media anilor 1995–1996) luând în considerare fiecare pereche de pixeli cu aceeași poziție geografică. Corelația negativă semnificativă la 95% explică faptul că prin creșterea nebulozității se produce o scădere în fluxul radiației globale, și invers. Coeficientul de regresie lineară caracterizează variația radiației globale în funcție de nebulozitatea totală, care va fi luată în calcul în etapa a treia a modelului statistic.



6. VARIAȚIA NEBULOZITĂȚII ÎN FUNCȚIE DE ÎNCĂLZIREA EMISFERICĂ

În etapa a doua a studiului este calculată variația nebulozității totale în funcție de încălzirea emisferică cu 0,5K prin metoda variabilelor instrumentale. Parametrii folosiți în metoda respectivă sunt prezentați în Tab. 2.

Tabel 2. Statisticile dintre șirurile de ani și temperatura medie în emisfera nordică

	1973–1996
Corelație	0,796
Regresiune (K/year)	0,021
Covarianca	0,993

Variația nebulozității totale în funcție de o încălzire cu 0,5K, este prezentată în Fig. 4 (perioada 1973–1996). Valorile sunt exprimate în procente absolute (100% reprezintă acoperirea totală cu nori). Pe teritoriul investigat apar schimbări cu semne negative și pozitive, iar în medie se constată a descreștere a nebulozității totale cu -3,35%. Se observă o descreștere mai pronunțată în partea vestică și sud-vestică a regiunii cu maximum -8,9%, iar în zona centrală și estică apar valori pozitive, care indică o mică creștere în nebulozitate, cu maximum +1,67% localizată în Munții Apuseni.

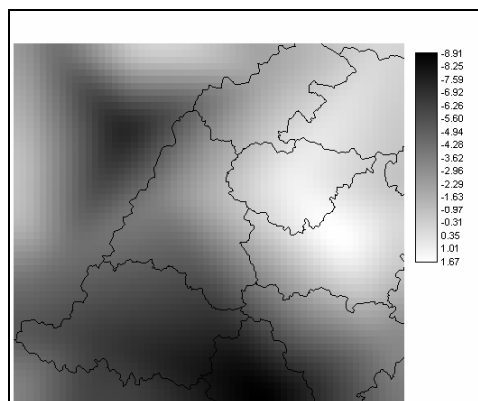


Fig. 4. Variația nebulozității totale în funcție de încălzire cu 0,5K. Valorile sunt exprimate în procente absolute (100% acoperire totală)

În cadrul studiului s-a efectuat analiza separată pentru variația diferitelor tipuri de nori în funcție de încălzire cu 0,5K (Tab. 3).

Variația tipului de nori Altostratus (*As*) de-a lungul anului este caracterizată printr-o tendință de descreștere, mai accentuată în lunile de primăvară, iar diferențe mai mari între stații apar iarna și primăvara. Norii de tip Cirrus (*Ci*) prezintă o tendință generală de descreștere, mai accentuată în cursul iernii cu maximum -20,53%. Variația norilor Cumulus (*Cu*) în condiția de o încălzire de

0,5K arată un comportament aproape neschimbător, cu valori mai ridicate în perioada caldă (primăvara, vara) a anului. Nimbostratus (N_i) arată o tendință negativă mai ales în perioada de primăvară și de vară, ce indică și scăderea cantităților de precipitație odată cu încălzirea globală în regiunea studiată.



Tabel 3. Statisticile referitoare la variațiile diferitelor tipuri de nori

		Iarna	Primăvara	Vara	Toamna
Ci	Medie	-8.47	-4.78	-2.53	-3.37
	St. dev	6.27	6.59	4.87	5.15
As	Medie	-1.76	-2.75	-1.88	-1.99
	St. dev	5.44	4.28	2.26	4.53
Ns	Medie	-1.39	-3.94	-3.58	-2.29
	St. dev	3.65	2.84	2.10	3.26
Cu	Medie	-0.17	0.21	0.64	0.04
	St. dev	0.81	2.60	2.88	1.59

7. VARIAȚIA RADIAȚIEI GLOBALE PE BAZA NEBULOZITĂȚII ÎN CONTEXTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE

Obiectivul studiului de față este de a estima variația radiației globale în funcție de încălzirea emisferică cu 0,5K. În aceasta secțiune coeficienții de regresie determinate pe de o parte dintre radiația globală și nebulozitate iar de pe altă parte dintre nebulozitate și temperatura medie emisferică, pe baza algoritmului metodei statistice descrise mai sus, se înmulțește pentru a obține variația energiei solare în funcție de încălzirea emisferică.

Fig. 5 prezintă schimbarea anuală a radiației globale în procente relative (raportat la valoarea medie 1995–1996). Estimarea pe baza nebulozității totale indică o creștere în energia solară receptată de suprafața terestră, paralel cu încălzirea de 0,5K cu valoarea maximă de 17,01%. Valori negative, adică descreștere în radiația solară, caracterizează regiunile montane în partea estică a regiunii (Munții Vlădeasa).

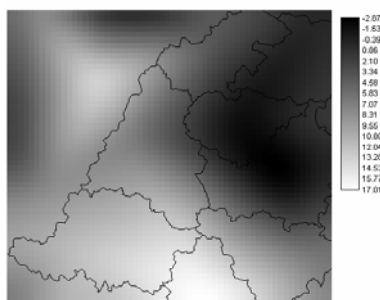


Fig. 5. Variația radiației globale pe baza nebulozității în contextul schimbărilor climatice, valorile sunt exprimate în procente relative (perioada de referință 1995–1996)

8. EFECTELE DIFERITELOR TIPURI DE NORI ASUPRA RADIAȚIEI GLOBALE



Cunoscând efectele norilor asupra radiației solare, adică parametrul g_i , și înlocuind valoarea corespunzătoare de T se poate determina coeficientul $(1-niT)$, care ne dă de fapt numărul înmulțitor, cu ajutorul căruia se poate calcula variația pe care o determină tipul respectiv de nori în regimul radiației globale.

După efectuarea înmulțirii schimburilor procentuale a nebulozității (de fapt coeficienții de regresie) cu valorile T (Tab. 1), se obțin valorile care descriu schimbările cantitative ale radiației globale, adică o estimare referitoare la influența diferitelor tipuri de nori asupra variației radiației globale în paralel cu încălzirea climei.

Variația radiației globale indicată de cele patru tipuri de nori este prezentată în Fig. 6.

Cirrus indică o descreștere accentuată în radiația globală în medie cu -3,06%, o descreștere mai slabă este indicată și de Altostratus. Variația indicată de Cumulus se află în domeniul pozitiv, iar distribuția valorilor este uniformă în ambele domenii în cazul Nimbostratus (Fig. 6).

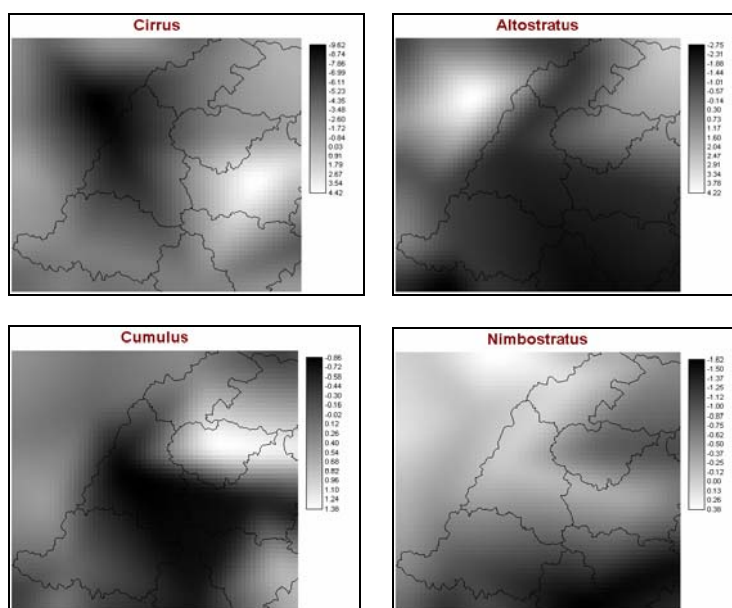


Fig. 6. Variația radiației globale indicate de diferite tipuri de nori în contextul schimbărilor climatice

9. CONCLUZII

Estimarea radiației globale prin metode statistice în condiția încălzirii climatice (+0,5K temperatura medie emisferică) indică o creștere în energia solară



disponibilă pe teritoriul nord-vestic al României. Existența surplusului de energie solară este demonstrată prin tendința de descreștere a nebulozității.

Se constată și o diferențiere spațială longitudinală, cele mai ridicate valori sunt reprezentate pe partea sudică și vestică a regiunii, în câmpii și în dealurile mai joase. În munți se constată o creștere în nebulozitatea totală, astfel o reducere în radiația globală.


În vederea studierii mai detaliate a relației dintre nebulozitate și radiația globală este realizată analiza schimbărilor cantitative a diferitelor tipuri de nori și efectele acestora asupra radiației. O astfel de abordare a estimării dă rezultate mult mai aprofundate despre variația radiației globale și în același timp despre potențialul energiei solare, în primul rând deoarece privirea în ansamblu a nebulozității are riscul de a ignora comportamentul deosebit al diferitelor tipuri de nori, care separat exercită efecte semnificative asupra radiației. Cirrus introduce schimbarea cea mai accentuată asupra radiație, max. -10,3%, iar schimbările mai puțin semnificative în radiația globală sunt produse de Nimbostratus.

10. RECUNOAȘTERE

Autorii aduc mulțumiri Domnului Dr. Mika János, de la Institutul Național de Meteorologie din Budapesta, Ungaria pentru ajutorul acordat în dezvoltarea metodei aplicate, iar pentru Doamna Anja Drews, de la Energy and Semiconductor Research Laboratory, University of Oldenburg, Oldenburg, Germania pentru furnizarea datelor de radiație globală.

REFERENCES

1. Gilgen H., Wild M., Ohmura A., (1998), *Means and trends of shortwave irradiance at the surface estimated from global energy balance archive data*, J. Climate, 11, 2042–2061
2. Grimenes A., Thue-Hansen V., (2006), *The reduction of global radiation in south-eastern Norway during the last 50 years*, Theor. Appl. Climatol. 85, 37–40
3. Hahn C. J., Warren S. G., (1999), *Extended Edited Synoptic Cloud Reports from Ships and Land Stations Over the Globe, 1952–1996*, Internet publication and data <http://cdiac.esd.ornl.gov/epubs/ndp/ndp026c/ndp026c.html>
4. Hammer A., Heinemann D., Hoyer C., Kuhlemann R., Lorenz E., Müller R. W., Beyer H. G., (2003), *Solar Energy Assessment Using Remote Sensing Technologies*, Remote Sensing of Environment, 86, 423–432
5. Harison E.F., P. Minnis, B.R. Barkstrom, V. Ramanathan, R.D. Cess, G.G.Gibson, (1990), *Seasonal variation of cloud radiative forcing derived from the earth Radiation Budget experiment*. J. Geophys. res. 95, 18687–18703
6. Jones P.D., (1994), *Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993*. J. Climate, 7, 1794–1802
7. Kondratiev K. Ya., Bineko, V. I., (1984), *Effect of cloudiness on radiation and climate (In Russian: Vlijanzije oblacsnosytzi na radiaciju I klimat)*, Gidrometeoizdat, Leningrad, 240 o.

- 
8. Liepert B. G., (2002), *Observed Reductions in Surface Solar Radiation in the United States and Worldwide from 1961 to 1990*, Geophys. Res. Lett. 29, no. 10
 9. Lohmann S., Schillings C., Mayer B., Meyer R., (2006), *Long-term variability of solar direct and global radiation derived from ISCCP data and comparison with reanalysis data*, Solar Energy, 80, Issue 11, 1390–1401
 10. Mika J., Bálint G., (2000), *Rainfall scenarios for the Upper-Danube catchment*, In: Proc. XXth Conf. Danubian Countries, Bratislava, Slovakia, 4–8 Sep., 2000. CD pp. 990–995
 11. Pinker R. T., Zhang B., Dutton E. G., (2005), *Do satellites detect trends in surface solar radiation?*, Science, 308, 850–854
 12. Salby L. M., (1996), *Fundamentals of Atmospheric Physics*, Academic Press, International Geophysics Series, vol. 61, San Diego
 13. Stanhill G., Cohen S., (2001), *Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences*, Agric Forest Meteorol. 107, 255–278
 14. Vinnikov K. Ya., (1986), *Sensitivity of climate*, Gidrometeoizdat, 219 p (In Russian)
 15. Wild M., Gilgen H., Roesch A., Ohmura A., Long C. N., Dutton E. G., Forgan B., Kallis A., Russak V., Tsvetkov A., (2005): *From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at Earth' surface*, Science, 308, 847–850