

VPLYV AEROSÓLU NA SLNEČNÉ ULTRAFIALOVÉ ŽIARENIE S BIOLOGICKÝM ÚČINKOM

ATMOSPHERIC AEROSOL EFFECT ON THE BIOLOGICALLY ACTIVE SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION

Anna Pribullová

Geofyzikálny ústav SAV Bratislava

Abstract

The main aim of this paper is comparison of atmospheric aerosol and total ozone change effect on the day-to-day variation of solar erythemal UV radiation. Atmospheric aerosol was characterized with the aerosol optical depth at 320,1 nm (AOD_{320}) determined by Langley plot method from Brewer spectrophotometer 097 spectral measurements of direct radiation. Total ozone is observed with the same Brewer instrument located at Poprad-Gánovce (49,03 N, 20,32 E, 706 m n.m.). 1993 – 2001 data were used. Due to bad condition for the Langley plot in winter months, there are only a few data in winter. Global erythemal UV radiation was modeled using TUV model. Local noon irradiances for 15-th day of every month calculated for average monthly ozone and aerosol were compared with irradiances modeled assuming average value of one factor; the next one was changed in the range of its monthly standard deviation. Impact of the simultaneous change of the total ozone and AOD_{320} (in the range of their monthly standard deviations) on the erythemal UV radiation was determined too. Effect of the aerosol change on the erythemal UV radiation with respect to great day-to-day variability AOD_{320} in the whole year is comparable with total ozone change effect. Variations of the erythemal UV radiation due to aerosol changes are the largest from June to August 9 – 14% (0.2 – 0.3 of the solar ultraviolet index UVI), in accordance with the greatest AOD_{320} variability in this period. Combined effect of the total ozone and aerosol on the erythemal UV radiation is the largest from June to August. Variations of the erythemal UV radiation were in this case 22 – 23% (0,5 UVI). Atmospheric aerosol impact on the redistribution of the global erythemal UV radiation to its direct and diffuse components, and on the global erythemal UV radiation vertical gradient is presented using selected observed situations with different AOD_{320} .

Key words:

solar erythemal ultraviolet radiation, aerosol optical depth, total column ozone, radiation amplification factor

Úvod

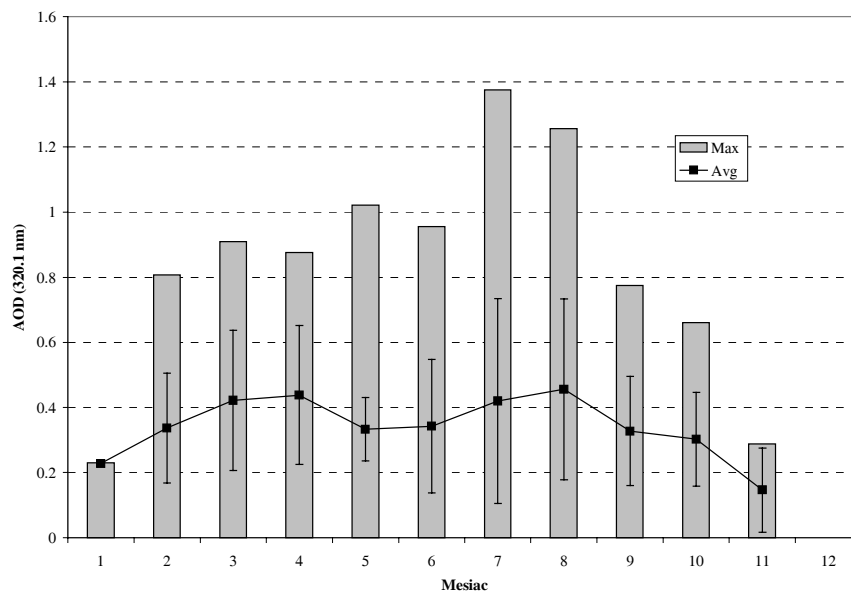
Hustota toku ultrafialového (UV) žiarenia dopadajúceho na zemský povrch závisí od viacerých astronomických a meteorologických faktorov. Množstvo celkového ozónu a aerosólu v atmosfére sú dva faktory, ktoré sú v posledných desaťročiach výrazne ovplyvnené ľudskou činnosťou. Z hľadiska modelovania UV žiarenia je dôležité poznanie celkového množstva a vertikálneho rozdelenia ozónu. Na presné zahrnutie vplyvu aerosólu do radiačných modelov je okrem celkového množstva a vertikálneho rozdelenia aerosólu dôležité poznanie jeho optických vlastností – albeda jednoduchého rozptylu, parametra asymetrie a rozdelenia častíc podľa veľkosti. Liu et al. (1991) uvádza 5 – 18% pokles UV-B žiarenia (280 - 315 nm) v oblastiach Európy a U.S.A. neovplyvnených priemyslom od začiatku priemyselnej revolúcie. Na druhej strane, Zerefos (1997) uvádza 10 – 30% nárast erytemálneho UV žiarenia pri extrémne nízkom obsahu aerosólu v atmosfére.

Cieľom tejto práce je na základe známej optickej hrúbky atmosféry pre zoslabenie žiarenia aerosólom pre 320,1 nm (AOD_{320}), ktorá bola zvolená ako charakteristika aerosólu, a celkového ozónu (O_3) porovnať vplyv týchto faktorov na hustotu toku UV žiarenia spektrálne váženú akčným spektrom pre erytém ľudskej kože (erytemálne UV žiarenie) (McKinlay a Diffey, 1987) v rôznych obdobiach jeho ročného chodu.

Pre vybrané situácie je dokumentovaný vplyv atmosférického aerosólu na podiel priamej a difúznej zložky erytemálneho UV žiarenia a na jeho výškové zmeny.

Materiál a metódy

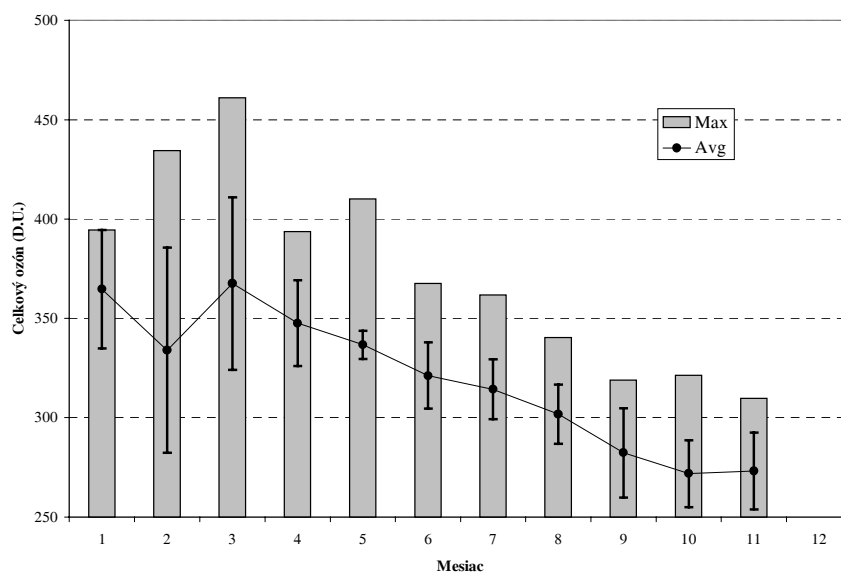
Ako charakteristika aerosólu bola vybraná optická hrúbka atmosféry pre zoslabenie žiarenia aerosólom pre 320,1 nm, určená metódou Langley plotu z meraní monochromatickej hustoty toku priameho UV žiarenia Brewerovým spektrofotometrom 097 v Poprade Gánovciach (49,03 N, 20,32 E, 706 m n. m.) (Pribullová, 2002).



Obr. 1 Mesačné priemery a maximá AOD_{320} spolu so štandardnými odchýlkami od priemeru. Poprad – Gánovce 1993 – 2001.

Metóda Langley plotu vyžaduje stabilné atmosférické extinkčné podmienky, preto sú dáta, kedy bolo možné určiť AOD_{320} počas roka nerovnomerne rozložené, údajov zo zimných mesiacov v období december – február, kedy Slnko dosahuje vysoké zenitové uhly a poveternostné podmienky sú často nepriaznivé, je málo. Vybrané boli také regresné závislosti, kedy bola AOD_{320} určená z aspoň 6 meraní, chyba regresie bola do 15% a koeficient korelácie vyšší ako 0,98.

Celkový ozón bol vypočítaný ako priemerná hodnota v čase Langley plotu.



Obr. 2 Mesačné priemery a maximá celkového ozónu spolu so štandardnými odchýlkami od priemeru. Poprad – Gánovce 1993 – 2001.

Radiačný zosilňovací faktor (RAF) pre daný prvok vyjadruje, o koľko percent sa zmení žiarenie pri 1% zmene daného prvku. V prípade, ak je táto zmena lineárna, možno RAF vyjadriť pre zmenu prvku X nasledovne:

$$RAF_x = \frac{\frac{\Delta UV}{UV}}{\frac{\Delta X}{X}}$$

RAF pre zmenu erytemálneho UV žiarenia spôsobenú celkovým ozónom a AOD_{320} sú v tab. 1. Hodnoty pre vybrané zenitové uhly Slnka 30°, 40°, 50°, 60° a 70° boli vypočítané pomocou radiačného modelu TUV (Madronich, 1993). RAF_{AOD} bol počítaný pre konštantný celkový ozón 300 D.U., RAF_{O_3} pre AOD_{320} , 0,4. Model TUV počítal s DISCRETE ORDINATES radiačnou schémou a pseudosférickým priblížením, albedom povrchu 0,03, Eltermanovým profilom aerosólu, albedom jednoduchého rozptylu 0,95 a parametrom asymetrie 0,66. Pre model boli použité profily teploty, tlaku a ozónu pre tzv. U.S. štandardnú atmosféru, ako extraterestriálne spektrum bolo použité spektrum ATLAS SUSIM.

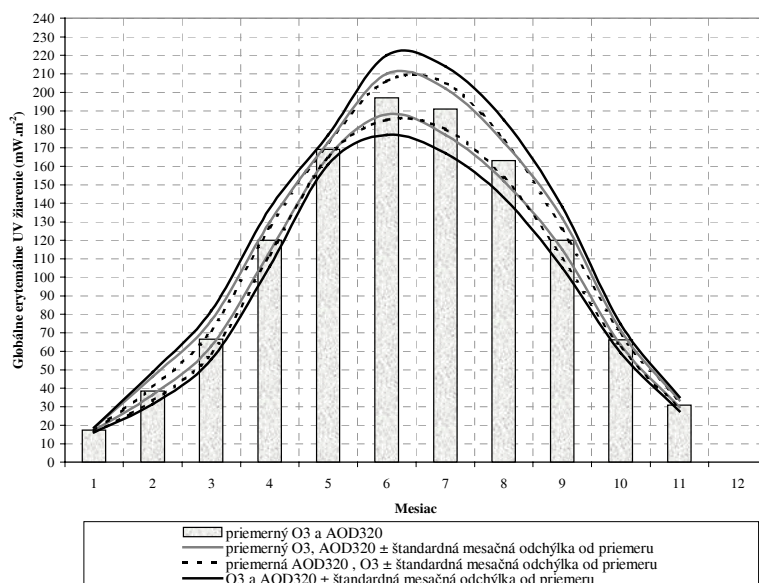
Tab. 1 Radiačný zosilňovací faktor pre zmenu globálneho erytemálneho UV žiarenia spôsobenú zmenou celkového ozónu a aerosólu vypočítaný pomocou TUV modelu, pre modelové parametre uvedené v texte.

	TUV		AOD ₃₂₀
	O ₃	RAF	
ZA (Deg)	AOD ₃₂₀ 0,4		O ₃ 300 D.U.
20	1,20		0,16
30	1,19		0,17
40	1,18		0,18
50	1,14		0,19
60	1,09		0,20
70	1,00		0,20

Tab. 2 Absolútne hodnoty rozdielov medzi hustotou toku erytemálneho UV žiarenia vypočítanou pre priemerný mesačný O₃ a AOD₃₂₀ (I) a pre podmienky II – IV (viď text) v percentách, vypočítané TUV modelom. σ predstavuje štandardnú odchýlku od mesačného priemeru.

MESIAC		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AOD ₃₂₀ ± σ	O ₃ avg	0	2	5	7	4	9	14	11	6	3	1	
AOD ₃₂₀ avg	O ₃ ± σ	2	8	10	10	4	13	11	10	12	5	3	
AOD ₃₂₀ ± σ	O ₃ ± σ	2	10	15	17	8	23	23	22	18	8	4	

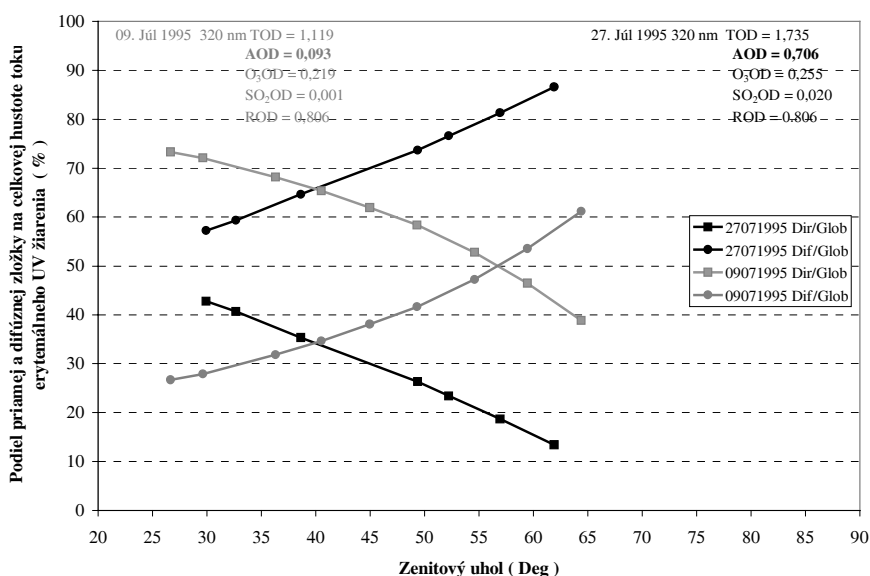
Pre porovnanie vplyvu celkového ozónu a aerosólu na interdiurne zmeny erytemálneho UV žiarenia boli pomocou TUV modelu vypočítané poludňajšie hustoty toku erytemálneho UV žiarenia pre 15. deň v každom mesiaci a (I) priemerný mesačný celkový ozón a AOD₃₂₀, (II) pre priemerný celkový ozón a AOD₃₂₀ v rozsahu ± štandardná mesačná odchýlka od priemeru (obr. 3 sivá čiara), (III) pre priemernú AOD₃₂₀ a celkový ozón v rozsahu ± štandardná mesačná odchýlka od priemeru (obr. 3 čiarkovaná čiara) a pre (IV) obidva parametre v rozsahu ± štandardná mesačná odchýlka od priemeru (obr. 3 hrubá spojité čiara). Percentuálne vyjadrenie rozdielov pre uvedené modelové situácie vzhľadom na hustotu toku erytemálneho UV žiarenia vypočítanú pre priemerné AOD₃₂₀ a celkový ozón je v tab. 2.



Obr.3 Modelované poludňajšie hustoty toku globálneho erytemálneho UV žiarenia pre 15. deň v každom mesiaci: stĺpce – pre priemerný mesačný celkový ozón a AOD₃₂₀, prerušovaná čiara – pre priemernú AOD₃₂₀ a celkový ozón meniaci sa v rozsahu ± štandardná odchýlka od mesačného priemeru, sivá spojité čiara – priemerný O₃ a AOD₃₂₀ meniaci sa v rozsahu ± štandardná odchýlka od mesačného priemeru a čierna čiara – O₃ aj AOD₃₂₀ sa menia v rozsahu ± štandardná odchýlka od mesačného priemeru. O₃ aj AOD₃₂₀ sú z meraní Brewerovho spektrofotometra v Poprade-Gánovciach 1993 – 2001. TUV model.

Atmosférický aerosól je nielen absorbujúca, ale do veľkej miery aj rozptyľujúca zložka atmosféry. Množstvo a optické vlastnosti aerosólu v atmosfére vplyvajú na prerozdelenie hustoty toku globálneho

erytemálneho UV žiarenia medzi priamu a difúznou zložku. Globálne erytemálne UV žiarenie bolo merané Brewerovým spektrofotometrom (spektrálne merané v rozsahu vlnových dĺžok 290 – 325 nm a dopočítané pre 325 – 400 nm), priama zložka bola vypočítaná na základe Beer-Bouguer-Lambertovho zákona, difúzna zložka bola vypočítaná z rozdielu medzi globálnym erytemálnym UV žiarením a jeho priamou zložkou pre všetky dni v období 1993 - 2001, kedy boli k dispozícii AOD_{320} . Najvyššie koncentrácie atmosférického aerosólu sú sústredené asi v 2 km vrstve nad zemským povrchom. Množstvo a optické vlastnosti aerosólu vo vrstve atmosféry medzi stanicami s odlišnou nadmorskou výškou ovplyvňujú rozdiely medzi erytemálnym UV žiarením meraným na týchto stanicach.



Obr. 4 Podiely priamej a difúznej zložky erytemálneho UV žiarenia pre vybrané dva dni s AOD_{320} 0,03 a 0,71.

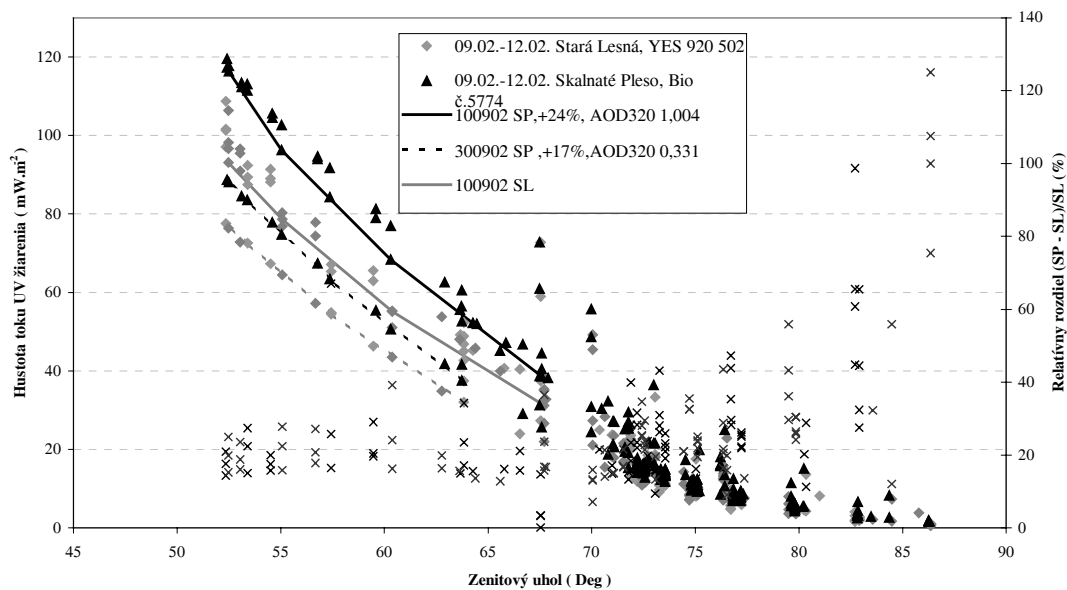
Určovali sa rozdiely medzi globálnym erytemálnym UV žiarením meraným UV biometrom na Skalnatom Plese (49,18N, 20,23E, 1778 m n. m.) a podobným prístrojom YES v Starej Lesnej (49,15N, 20,28E, 810 m n. m.). Oba prístroje sú pravidelne porovnávané s rovnakým štandardom. Na obr. 5 sú merané hodnoty za obdobie september – december 2002 spolu s relatívnymi rozdielmi. Vybrané boli údaje neovplyvnené oblačnosťou. Osobitne sú vyznačené merania s AOD_{320} 0,33 a 1,00. Rozdiely boli vypočítané pre zenitové uhly menšie ako 70°.

Výsledky a diskusia

Priemerné mesačné hodnoty AOD_{320} vypočítané z 1993 – 2001 meraní spolu so štandardnou odchýlkou od priemeru a maximálnou mesačnou hodnotou sú na obr. 1.

Za uvedené obdobie sa AOD_{320} pohybovala od 0,01 do 1,40. V ročnom chode sú viditeľné dve nevýrazné maximá prvé v marci – apríli a druhé v júli – auguste. Ak variabilitu AOD_{320} budeme charakterizovať jej štandardnou odchýlkou od priemeru, potom najvyššia variabilita AOD_{320} je v júni

– auguste, kedy štandardná odchýlka od priemeru dosahuje 60 – 75%. Počas celého roka štandardná odchýlka od priemeru neklesá pod 20% (okrem januára, kedy bola určená z malého počtu dát).



Obr. 5 Erytemálne UV žiarenie merané pri jasnej oblohe v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese v období september – december 2002 spolu s relatívnymi rozdielmi. Osobitne sú vyznačené dni s AOD_{320} 1,00, kedy bolo erytemálne UV na Skalnatom Plese vyššie o 24% a AOD_{320} 0,33, kedy relatívny rozdiel medzi stanicami predstavoval 17%. Relatívne rozdiely sú vyznačené krížikom.

Priemerné mesačné hodnoty celkového ozónu spolu so štandardnou odchýlkou od mesačného priemeru a maximálnou hodnotou sú na obr.2. Aj keď ide o vybraný súbor dát zo všetkých meraní celkového ozónu, z obrázku je viditeľný výrazný ročný chod s maximom v marci a minimom v novembri. Keď tak, ako pre AOD_{320} , budeme štandardnú odchýlku od priemeru považovať za mieru variability celkového ozónu, potom najvyššie štandardné odchýlky od priemeru 12 – 15% sú vo februári – marci. Počas roka sa štandardná odchýlka od priemeru pohybuje od 2% do 15%.

RAF pre celkový ozón a AOD_{320} sa rádovo líšia, RAF_{AOD} je pre všetky zenitové uhly Slnka nižší. Vplyv zmien celkového ozónu je vyšší pre nízke zenitové uhly, vplyv aerosólu je výraznejší pri vysokých zenitových uhloch. Zistený RAF_{O_3} je pre 30° 1,2 pri 60° 1,01, RAF_{AOD} je pri 30° 0,16, pri 60° 0,20. Napriek nižšiemu RAF_{AOD} pre všetky zenitové uhly v porovnaní s RAF_{O_3} , vzhľadom na vysokú variabilitu aerosólu počas celého roka, je počas všetkých mesiacov zmena erytemálneho UV žiarenia spôsobená variáciami celkového ozónu a aerosólu porovnateľná (tab 2). V júli a auguste je zmena erytemálneho UV žiarenia spôsobená variáciami aerosólu (11 – 14%) vyššia ako zmena spôsobená variáciami celkového ozónu. V júni - auguste dosahuje najvyššie hodnoty zmena erytemálneho UV žiarenia spôsobená variáciami oboch parametrov (22 – 23%).

Bola zistená významná záporná korelácia $-0,61$ medzi podielom priameho erytemálneho UV žiarenia a AOD_{320} . Podiely priameho a difúzneho erytemálneho UV žiarenia pre dve hodnoty AOD_{320} sú na obr. 4. Kým pre nízku AOD_{320} 0,09 je pri zenitovom uhle 70° podiel difúznej zložky 60%, pre

AOD_{320} 0,71 je tento podiel až 90%. Pri zenitovom uhle 30° a AOD_{320} 0,09, je podiel difúznej zložky 32%, pre AOD_{320} 0,71 je podiel difúznej zložky vyšší ako podiel priamej a predstavuje až 60%.

Nárast erytemálneho UV žiarenia s rastúcou nadmorskou výškou zistený z rozdielov medzi meraniami UV biometrov v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese závisí pre bezoblačnú oblohu od obsahu atmosférického aerosólu. Kým pre AOD_{320} 1,00 bol priemerný meraný nárast globálneho erytemálneho UV žiarenia 25%/1000 m, pre AOD_{320} 0,33 bol nárast menej výrazný 18%/1000 m.

Významný vplyv variácií atmosférického aerosólu na variácie erytemálneho UV žiarenia bude potrebné zohľadniť v predpovednom modeli UV indexu, do ktorého žiadna charakteristika aerosólu explicitne nevstupuje.

Vplyv aerosólu na erytemálne UV žiarenie bol určovaný zo súboru dát, nerovnomerne rozložených v priebehu roka. Pre zimné mesiace december – február bolo k dispozícii málo dní, kedy bolo možné z Langley plotu určiť AOD_{320} . Údaje o erytemálnom UV žiarení z tohoto obdobia sú však z hľadiska zdravotného rizika vzhľadom na vysoké zenitové uhly Slnka nevýznamné.

Literatúra

- Liu, S.C., McKeen, S.A., Madronich, S., Effect of anthropogenic aerosols on biologically active ultraviolet radiation, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 1991.
- McKinlay, A.F., Diffey, B.L., A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, In: *Human exposure to ultraviolet radiation: Risks and regulations*, Elsevier Science, Amsterdam, 1987.
- Madronich, S., UV radiation in the natural and perturbed atmosphere, In: *Environmental effects of UV radiation*, Lewis Publishers, Boca Raton, 1993.
- Pribullová, A., Spectral UV aerosol optical thickness determined from the Poprad-Gánovce Brewer spectrophotometer observations, *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 32/3, 2002.
- Zerefos, C., Factors influencing the transmission of the solar ultraviolet irradiance through the earth's atmosphere, In: *Solar ultraviolet radiation, Modeling, Measurements and Effects*, NATO ASI Ser. I, vol. 52, edited by C.S.Zerefos and A.F. Bais, pp. 133 – 141, Springer-Verlag, New York, 1997.

Súhrn

V práci je porovnávaný vplyv celkového ozónu a aerosólu na erytemálne UV žiarenie. Oba parametre sú určené z meraní Brewerovho spektrofotometra 097 v Poprade-Gánovciach (49,03 N, 20,32 E, 706 m n.m.). Aerosól je charakterizovaný optickou hrúbkou atmosféry pre 320,1 nm. Z ročného súboru sú vybrané iba tie dni, kedy bolo možné z Langley plotu stanovenie AOD_{320} . Zmena aerosólu aj celkového ozónu je vyjadrená pomocou štandardnej odchýlky od mesačného priemeru. Hoci RAF pre zmenu erytemálneho UV žiarenia spôsobenú zmenami celkového ozónu sú rádovo vyššie ako RAF pre zmenu erytemálneho UV spôsobenú zmenou aerosólu, vzhľadom na vysokú variabilitu aerosólu je počas všetkých mesiacov zmena erytemálneho UV žiarenia spôsobená variáciami celkového ozónu a aerosólu porovnateľná. V júli a auguste je zmena erytemálneho UV žiarenia spôsobená variáciami aerosólu (11 – 14%, čo predstavuje približne 0,3 UVI) a je vyššia ako zmena spôsobená zmenou celkového ozónu. V júni - auguste dosahuje najvyššie hodnoty zmena

erytemálneho UV žiarenia spôsobená variáciami oboch parametrov (22 – 23%, čo predstavuje 0,5 UVI).

Bola zistená významná záporná korelácia medzi podielom priameho erytemálneho UV žiarenia a AOD_{320} je pre 1993 – 2001 údaje $-0,61$. Kým pre nízku AOD_{320} 0,09 je pri zenitovom uhle 70° podiel difúznej zložky 60%, pre AOD_{320} 0,71 je tento podiel až 90%. Pri zenitovom uhle 30° a AOD_{320} 0,09, je podiel difúznej zložky 32%, pre AOD_{320} 0,71 je podiel difúznej zložky vyšší ako podiel priamej a predstavuje až 60%.

Nárast globálneho erytemálneho UV žiarenia meraného UV biometrom na Skalnatom Plese (49,18N, 20,23E 1778 m n. m.) v porovnaní s meraniami podobným prístrojom YES v Starej Lesnej (49,15N, 20,28E, 810 m n. m) bol pre AOD_{320} 1,0 25%/1000 m, pre AOD_{320} 0,33 bol nárast menej výrazný 18%/1000 m.

Kľúčové slová

Slnčné erytemálne UV žiarenie, optická hrúbka aerosólu, celkový ozón, radiačný zosilňovací faktor

Táto práca bola čiastočne podporená VEGA grantom č. 2/2093/23.

Anna Pribullová

Meteorologické observatórium GFÚ SAV

059 60 Tatranská Lomnica

apribull@ta3.sk

