

Slnčné ultrafialové žiarenie významne ovplyvňuje životné prostredie

Slnčné žiarenie ako rozhodujúci zdroj energie formuje klimatický systém Zeme a významne ovplyvňuje životné prostredie. Aj keď jeho ultrafialová (UV) zložka reprezentuje len malú časť celkového slnečného spektra, výrazne vplýva na fyzikálne, chemické a biologické procesy na zemskom povrchu a v atmosfére. Má celý rad žiaducich účinkov, ale ak prekročí prirodzené bezpečné hodnoty súvisiace s ochrannými možnosťami niektorých živých organizmov, môže sa stať škodlivým. V našom príspevku chceme okrem všeobecnej informácie o vlastnostiach a možných škodlivých účinkoch slnečného UV žiarenia poskytnúť aj niektoré údaje namerané na našom území od roku 1994.

Slnčné ultrafialové žiarenie

Slnčné žiarenie je elektromagnetické vlnenie. UV žiarenie predstavuje oblasť slnečného spektra s vlnovými dĺžkami 100 - 400 nanometrov. Hoci predstavuje malú časť z celkovej energie slnečnej radiácie, (prípadá na ňu asi 7 % z celkovej slnečnej energie dopadajúcej na hornú hranicu atmosféry), prejavuje sa výraznými biologickými účinkami. Aj keď spektrálna intenzita UV žiarenia prudko klesá smerom ku kratším vlnovým dĺžkam, biologické účinky žiarenia narastajú. Energia fotónov v tejto oblasti je totiž porovnateľná s energiou molekulárnych väzieb v organických látkach. Spektrálny interval UV žiarenia možno rozdeliť na tri oblasti:

- UV-C (100 - 280 nm) označovaná tiež ako „letálne žiarenie“, ktoré je pri prechode atmosférou úplne absorbované atmosférickými plynmi a nedopadá na zemský povrch;
- UV-B (280 - 315 nm, niektorými autormi uvádzaná rozšírená UV-B oblasť 280 - 320 nm), na ktorú pripadá na hornej hranici atmosféry menej ako 2 % slnečnej energie. Je silne pohlcovaná ozónovou vrstvou a pri dopade na zemský povrch jej podiel klesá na približne 0,1 % celkovej slnečnej radiácie;
- UV-A (315 - 400 nm) predstavuje asi 5 % z celkovej slnečnej radiácie a je len málo absorbovaná ozónom. Preto celková energia UV žiarenia dopadajúceho na zemský povrch je tvorená predovšetkým UV-A zložkou.

Spektrum slnečného žiarenia, a teda aj jeho UV časti, sa prechodom atmosférou Zeme mení kvantitatívne aj kvalitatívne. Časť slnečného žiarenia je zložkami atmosféry absorbovaná a časť je na jednotlivých zložkách atmosféry rozptýlená do všetkých smerov. Cel-

kové slnečné žiarenie dopadajúce na povrch Zeme nazývame globálne žiarenie a tvoria ho dve zložky: priama a difúzna. Ich pomer pri zemskom povrchu je približne jedna ku jednej.

Hodnoty UV žiarenia na zemskom povrchu ovplyvňuje mnoho činiteľov. Najdôležitejšími sú výška slnka nad horizontom, oblačnosť, nadmorská výška, celkové množstvo ozónu, konfigurácia terénu, odrazivosť povrchu a optické vlastnosti vzduchovej hmoty. UV žiarenie ovplyvňuje aj vzdialenosť Slnka od Zeme, slnečná aktivita, lokálne znečistenie a iné faktory.

Výška slnka nad horizontom. Mimo oblasti medzi obrátnikmi je slnko najvyššie na oblohe v čase letného slnovratu na poludnie. V dennom chode má slnko najvyššiu polohu v čase miestneho poludnia. Výška slnka narastá smerom k rovníkovej oblasti. Výška slnka nad horizontom (v tejto súvislosti sa často uvádza aj zenitový uhol slnka, čo je uhol medzi zenitom a spojnicou k Slnku) určuje denný a ročný chod UV žiarenia. Pri veľkých výškach slnka je dráha slnečných lúčov v zemskej atmosfére krátka a zoslabenie žiarenia absorpciou a rozptylom je podstatne menšie, ako keď je slnko nízko nad horizontom.

Oblačnosť. Zoslabenie alebo nárast UV radiácie závisí od druhu oblakov, pokrytia oblohy oblačnosťou a od polohy oblačnosti na oblohe. Oblačnosť redukuje priamu zložku UV žiarenia, no môže prispieť k nárastu difúzneho žiarenia. Pri nezakrytom slnečnom disku a prítomnosti kopovitej oblačnosti bol vplyvom viacnásobného odrazu od povrchu oblakov pozorovaný dokonca nárast UV-B radiácie o viac ako 25 %. Vo všeobecnosti však oblačnosť pokrývajúca slnečný kotúč UV žiarenie znižuje, hrubá vrstva oblačnosti až niekoľkonásobne.

Nadmorská výška. Zmena UV žiarenia s nadmorskou výškou súvisí s vertikálnymi zmenami obsahu aerosólu, so zmenami hustoty čistého vzduchu, oblačnosti a ovplyvňuje ju reliéf a odrazivosť povrchu. Globálne a priame UV žiarenie s nadmorskou výškou rastie, klesá jeho difúzna zložka. Merania ukazujú, že na 1 000 m výšky zosilnie globálne UV žiarenie približne o 6 - 8 %. Vertikálne gradienty UV žiarenia sú menšie v suchej a čistej atmosfére.

Celkové množstvo ozónu. Z plynných zložiek atmosféry sa na absorpcii UV žiarenia významne podieľajú molekulárny dusík a kyslík a napriek svojej malej objemovej koncentrácii v atmosfére aj ozón. Citlivosť UV-B žiarenia na zmenu celkového ozónu sa vyjadruje pomocou radiačného zosilňovacieho faktora. Uvádza sa, že pri poklese ozónu o 1 % dochádza k zvýšeniu globálneho UV-B žiarenia približne o 1,2 %. Pretože množstvo celkové-



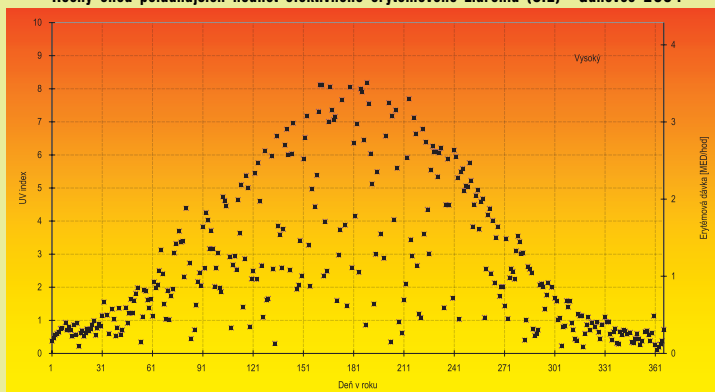
Brewerov ozónový spektrometer v stanici SHMÚ Gánovce

ho atmosférického ozónu sa výrazne mení v priebehu roka a aj zo dňa na deň, môže hustota toku UV-B žiarenia pri zemskom povrchu nadobúdať veľmi rozdielne hodnoty za približne rovnakých ostatných podmienok.

Konfigurácia terénu a odrazivosť povrchu. Zložitý terén s vysokou odrazivosťou môže výrazne zvýšiť UV žiarenie pri zemskom povrchu. V horskej oblasti s vhodne orientovanými svahmi pokrytými čerstvým snehom môžu byť hodnoty vyššie o viac ako 80 %. Svetlý piesok a morská pena môžu žiarenie zvýšiť o 15 až 25 %.

Optické vlastnosti vzduchovej hmoty. UV žiarenie je absorbované jednotlivými plynnými zložkami atmosféry a atmosférickým aerosólom. Zoslabenie UV žiarenia nastáva aj v procese rozptylu na zložkách atmosféry. Keď hovoríme o rozptyle na čistočkách s veľkosťou podstatne menšou ako je vlnová dĺžka dopadajúceho žiarenia (napr. na molekulách plynov), hovoríme o molekulárnom rozptyle. Intenzita rozptýleného žiarenia v tomto prípade závisí nepriamo úmerne od štvrtéj mocniny vlnovej dĺžky (najviac je rozptýľované žiarenie s najkratšími vlnovými dĺžkami) a energia dopadajúca na časticu je rovnomerne rozptýlená do všetkých smerov. Ak sú rozmery rozptyľujúcich častíc (atmosférický aerosól tvoria drobné kvapalné a pevné častice prítomné v atmosfére) väčšie ako vlnová dĺžka dopadajúceho žiarenia, intenzita rozptýleného žiarenia nezávisí tak výrazne od vlnovej dĺžky dopadajúceho žiarenia a rozdelenie energie rozptýleného žiarenia v priestore okolo rozptyľujúcej častice je obvykle značne asymetrické. Zoslabenie UV radiácie závisí nielen od koncentrácie, ale aj od optických vlastností a veľkosti častíc aerosólu.

Ročný chod poludňajších hodnôt efektívneho erytémového žiarenia (CIE) - Gánovce 2004



Meranie slnečného ultrafialového žiarenia

Presné meranie slnečného UV-B žiarenia je náročná úloha. V prvom rade je potrebné oddeliť z celého slnečného spektra oblasť, ktorej energia predstavuje pri zemskom povrchu približne jednu desatinu celkovej energie, a potom túto nízku hodnotu presne odmerať. Nebudeme podrobne rozoberať fyzikálny princíp činnosti jednotlivých prístrojov. Na Slovensku používame 2 druhy prístrojov. Brewerov ozónový spektrofotometer rozkladá slnečné svetlo pomocou optickej mriežky a postupne cez štrbinu prepúšťa jednotlivé vlnové dĺžky, ktorých energia sa meria citlivým fotonásobičom. V širokopásmovom UV Biometri sa viditeľné svetlo a infračervené žiarenie odstraňuje čiernym filtrom a následne sa UV žiarenie zosilní a konvertuje na frekvenciu, z ktorej sa v záznamníku dekoduje hodnota UV žiarenia. Spektrálna citlivosť v UV oblasti je upravená tak, že tento prístroj meria priamo efektívnu energiu UV žiarenia vyvolávajúcu spálenie kože, o čom budeme písať neskôr. Prístroje tohto typu sú v súčasnosti inštalované na staniciach SHMÚ Bratislava, Košice, Gánovce, kde sa nachádza aj Brewerov ozónový spektrofotometer a na stanici Geofyzikálneho ústavu Slovenskej akadémie vied Skalnaté pleso.

Slnečné ultrafialové žiarenie a zdravotné riziká

V posledných desaťročiach je pozorovaný značný vzostup akútnych i chronických kožných a očných chorôb, ktoré súvisia v rozhodujúcej miere so slnečným žiarením. Najznámejší účinok je sčervenanie pokožky po opálení. Dlhodobé kumulované dávky slnečného UV žiarenia vedú k degeneratívnym zmenám v bunkám, čo má za následok predčasné starnutie kože. Objavujú sa solárne keratózy, benígne a malígne formy kožnej rakoviny. Aj mnohé očné choroby ako zápal rohovky a spojoviek, pterygium, sivý zákal často súvisia so zvýšenými dávkami slnečného UV žiarenia. Vysoké dávky slnečného UV žiarenia spôsobujú poruchy imunitného systému, čo má za následok aj zníženie účinnosti vakcín a odolnosť voči iným chorobám. Odborníci zdôrazňujú značný pamäťový efekt ľudskej kože na dávky slnečného žiarenia a vysokú citlivosť detskej pokožky.

Na vytváraní konkrétnych biologických efektov sa nepodieľa žiarenie jednotlivých vlnových dĺžok rovnako. Účinnosť žiarenia sa vyjadruje pomocou spektrálnej citlivosti pre daný biologický efekt, čo je váhová funkcia spektrálnej intenzity UV žiarenia definovaná pre vlnové dĺžky 280 - 400 nm. Integráciou súčinnosti spektrálnej citlivosti a spektrálnej intenzity cez celý UV vlnový interval sa získa efektívne UV ožiarenie pre daný biologický efekt. Celková efektívna dávka sa získa integráciou za zvolené časové obdobie.

Informácia o slnečnom ultrafialovom žiarení pre verejnosť

Hodnoty slnečného UV žiarenia môžeme vyjadriť vo fyzikálnych veličinách. Hustota toku intenzity žiarenia cez jednotkovú plochu sa udáva vo W/m^2 . Dávka za časový interval sa udáva v J/m^2 . Na zefektívnenie a zjednotenie vyjadrenia úrovne škodlivého UV žiarenia pre verejnosť bolo urobených niekoľko zjednodušujúcich krokov.

Z celého radu biologických efektov bol vybraný ten, ktorý spôsobuje zápal kože, prejavujúci sa jej sčervenaním (erytémom). Na výpočet efektívnej dávky na erytém sa používa medzinárodne štandardizovaná erytémová spektrálna citlivosť, označovaná skratkou CIE. Efektívna dávka UV žiarenia, pri ktorej začína pokožka predtým dlhodobo nevystavená slnečnému žiareniu červenieť, sa nazýva minimálna erytémová dávka (MED). Ľudia majú vo všeobecnosti rôznu citlivosť pokožky na slnečné ži-

Typ kože	Zhnedne	Sčervenie	Farba vlasov	Farba očí	1 MED
I	nikdy	vždy	ryšavá	modrá	200 J/m^2
II	občas	väčšinou	blond	modrá/zelená	250 J/m^2
III	vždy	niekedy	hnedá	sivá/hnedá	350 J/m^2
IV	vždy	nikdy	čierna	hnedá	450 J/m^2

renie. Podľa nej môžeme stredoeurópsku populáciu rozdeliť do 4 kožných fototypov. Charakteristika jednotlivých fototypov je v tabuľke. Pre praktické účely bol stanovený vzťah 1 MED = 210 J/m^2 . Znamená to, že jednotka MED vyjadruje v podstate efektívnu hodnotu erytémového žiarenia pre najcitlivejší typ ľudskej kože.

Na vyjadrenie úrovne erytémového žiarenia bola zavedená bezrozmerná veličina UV index. Platí 1 UV index = 25 mW/m^2 . Do hodnoty UV indexu 2 je úroveň slnečného erytémového žiarenia veľmi nízka a žiadna ochrana nie je potrebná. Od hodnoty 3 je už potrebné zvyšovať stupeň ochrany. Na grafe je vidieť, že UV index nadobúda u nás na poludnie hodnoty vyššie ako 3 od polovice marca do polovice októbra. Ak si uvedomíme, že odraz od snehu môže zvýšiť úroveň UV žiarenia až o 80 %, môže byť hodnota 3 prekročená už vo februári. Pre názornosť hodnota UV indexu 3 predstavuje pre fototyp I 1,3 minimálnej erytémovej dávky (MED) za hodinu a hodnota UV indexu 7 až 3 MED za hodinu. Ak je hodnota UV indexu v intervale 3 až 7, je potrebné vyhľadať v poludňajších hodinách tieň a po celý deň sa chrániť vhodným odevom, čiapkou a okuliarmi. Pri aktivitách na slnku treba kožu chrániť aj ochranným krémom s dostatočným UV filtrom.

Ak je hodnota UV indexu vyššia ako 7, vyžaduje sa špeciálna ochrana. Približne 2 hodiny pred a 2 hodiny po miestnom poludní (vzhľadom na pásmový čas to nebýva presne keď hodiny ukazujú 12 hodín) je potrebné sa vyhýbať pobytu vo vonkajšom prostredí. Odev, čiapka, okuliare a ochranný krém sú nevyhnutnosťou. Ako ukazuje graf, hodnotu 7 môže UV index u nás prekročiť od konca mája do začiatku augusta. Smerom k rovníku sa obdobie extrémnych hodnôt UV indexu rozširuje, čo treba mať na zreteli pri rekreačných pobytoch v južnejšie položených krajinách.

Slovenský hydrometeorologický ústav poskytuje prostredníctvom médií informáciu o stave ozónovej vrstvy nad územím Slovenska a intenzite ultrafialového slnečného žiarenia od roku 1994. Od roku 2000 je na internetovej stránke SHMÚ uverejňovaná predpoveď celkového atmosférického ozónu a slnečného UV indexu na nasledujúci deň.

Monitoring

Nakoniec niekoľko údajov z 12 rokov monitoringu celkového atmosférického ozónu a slnečného UV žiarenia na Slovensku. Pretože slnečné UV žiarenie dopadajúce na zemský povrch úzko súvisí s celkovým množstvom atmosférického ozónu, porovnáme pre obe charakteristiky niekoľko čísiel z roku 2004 s výsledkami dvanásťročného monitoringu na území Slovenska.

Priemerná ročná hodnota celkového atmosférického ozónu v roku 2004 bola 324 Dobsonových jednotiek, čo je 4,1 % pod dlhodobým priemerom vypočítaným z meraní v Hradci Králové v rokoch 1962 - 1990, ktorý sa používa aj pre našu oblasť ako dlho-

dobý normál. V rámci tohto obdobia hodnotíme rok 2004 ako priemerný, rovnaká alebo nižšia hodnota bola od roku 1994 zaznamenaná 6-krát. Najnižší ročný priemer 317 Dobsonových jednotiek, čo je 6,4 % pod dlhodobým priemerom, bol nameraný v roku 1995. Najvyšší ročný priemer 335 Dobsonových jednotiek, čo je 0,8 % pod dlhodobým priemerom, bol nameraný v roku 1998.

Najvyššia hodnota UV indexu 8,2, čo odpovedá 3,51 MED/hod, bola vlni zaznamenaná 7. júla. Hodnota 8 bola v roku 2004 prekročená 4-krát, čo môžeme považovať za priemer. Doteraz najvyššia hodnota UV indexu 9,1, čo odpovedá 3,89 MED/hod, bola v Gánovciach nameraná na poludnie 22. júna 1997. V tento deň vzhľadom na polohu Slnka prenikali slnečné lúče atmosférou prakticky po najkratšej možnej dráhe a ozónová vrstva bola zoslabená o 9 %.

Závislosť intenzity slnečného žiarenia pri zemskom povrchu od stavu ozónovej vrstvy môžeme demonštrovať na extrémoch z rokov 1995 a 1996. Obidva boli zaznamenané 9. júla, to znamená pri rovnakej polohe slnka. V roku 1995 bol pri 15 % deficite celkového ozónu UV index rovný 8,0. V roku 1996 pri 3 % deficite celkového ozónu dosiahol UV index len hodnotu 7,6. Pre zaujímavosť uvádzame, že za celodenného slnečného počasia v období okolo letného slnovratu presahujú denné dávky erytémového žiarenia hodnoty 20 MED.

Výsledky monitoringu slnečného UV žiarenia na Slovensku ukazujú, že aj v našej zemepisnej oblasti má slnko dostatok energie na spôsobenie nežiaducich biologických efektov.

RNDr. Miroslav Chmelík, SHMÚ

RNDr. Anna Pribullová, SAV

Foto: SHMÚ a Jozef Janovec

