

Dlhoperiodické lunisolárne oscilácie vo vzťahu k evolúcii klímy

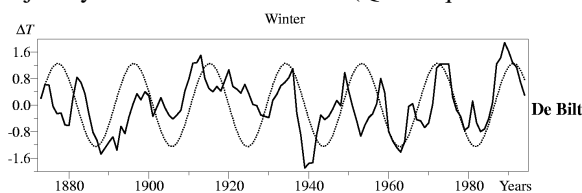
A. Prigancová, M. Hvoždara, Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava

Abstrakt

Mechanizmus väzieb Slnko-klíma je mimoriadne komplikovaný, pretože sa realizuje cez zložitý reťazec procesov v systéme Slnko-magnetosféra-atmosféra-hydrosféra. Celkový radiačný tok Slnka vykazuje len nepatrné zmeny, v priebehu 11-ročného slnečného cyklu, ale hlavne v dôsledku cyklických zmien krátkovlnnej UV radiácie sa spôsobujú závažné stratosférické fluktuácie teploty a tlaku, ktoré sa dostávajú aj k zemskému povrchu a sú výraznejšie pre podmienky slnečného maxima v porovnaní so slnečným minimom. Bolo preukázané, že poruchy stratosférickej cirkulácie sa premietajú do odlišného priebehu klimatických zmien na zemskom povrchu prostredníctvom charakteristických arktických oscilácií, pre ktoré je preukázateľná korelácia s dlhoperiodickými lunisolárnymi slapovými osciláciami prejavujúcimi sa vo variabilite arktickej (aj subarktickej) klímy s periódami 9 a 18.6 roka. V predkladanom príspevku sa analyzujú niektoré súvislosti z teórie dynamiky slapov vo vrchnej atmosfére, ako aj zaujímavé efekty synergetického pôsobenia vlnových procesov s periódami ~11 rokov (slnečný cyklus) a 18.6 rokov (slapová aktivita), čo vyúsťuje aj do modulácie s periódou ~50 rokov. Zistený modulačný efekt je zvlášť zaujímavý v súvislosti s výskytom studených a dlhých zím v severnej pologuli približne každých 50 rokov.

1. ÚVOD

Štúdium väzieb medzi evolúciou klímy a slnečnou aktivitou (napr. jej známe 11-ročné variácie, ako aj väčšie periódy) sa za ostatných 50 rokov zintenzívňuje a zostáva stredobodom vedeckého záujmu. Veľa výsledkov z tejto problematiky nájdeme napr. v monografii [Herman & Goldberg, 1978]. Je zjavné, že mechanizmus väzieb Slnko-klíma je mimoriadne komplikovaný, pretože sa realizuje cez zložitý reťazec procesov v systéme Slnko-magnetosféra-atmosféra-hydrosféra. Viaceré analýzy ukazujú, že dlhodobé trendy klímy nadväzujú na dlhodobé trendy zmien slnečnej aktivity (napr. Prigancová, 2000). Na obr. 1 je preukázateľný modulačný efekt anomálií teploty ΔT (meteorologická stanica De Bilt) s periódou 22 rokov (slnečný magnetický cyklus). Prítomnosť modulačného efektu 11-ročného cyklu slnečnej aktivity, ako ukazujú viaceré analýzy, nie je univerzálna. Avšak tento efekt sa neprejavuje persistentne. Pri zohľadnení kvazi-dvojročných oscilácií (QBO - quasi-biennial



Obr. 1. Priebeh zmien anomálií teploty ΔT (fluktuácie T vzhľadom na dlhodobý priemer v zimnom období pre meteorologickú stanicu De Bilt) a jeho aproximácia harmonickou funkciou s periódou 22 rokov (bodkovaná čiara), zodpovedajúcou dĺžke slnečného magnetického cyklu.

oscillations) sú korelačné vzťahy presvedčivejšie (Labitzke & Loon, 1988; Bochníček et al., 1996). V ostatnom čase variabilita celkovej irradiancie Slnka sa pokladá za možný kanál slnečného vplyvu na klímu našej planéty. Aj keď celkový radiačný tok Slnka vykazuje len nepatrné zmeny v priebehu 11-ročného slnečného cyklu. Tieto zmeny sú výrazné najmä vo variáciách krátkovlnnej UV radiácie a spôsobujú závažné stratosférické fluktuácie teploty a tlaku, ktoré sa dostávajú častejšie až k zemskému povrchu a sú výraznejšie v rokoch slnečného maxima v porovnaní so slnečným minimom [Hameed and Lee, 2005].

V ostatnom čase bolo preukázané, že poruchy stratosférickej cirkulácie sa premietajú do odlišného priebehu klimatických zmien na zemskom povrchu prostredníctvom charakteristických arktických oscilácií, ako aj cez vplyvy slapových oscilácií. V danom príspevku sa diskutuje modulačný efekt týchto oscilácií.

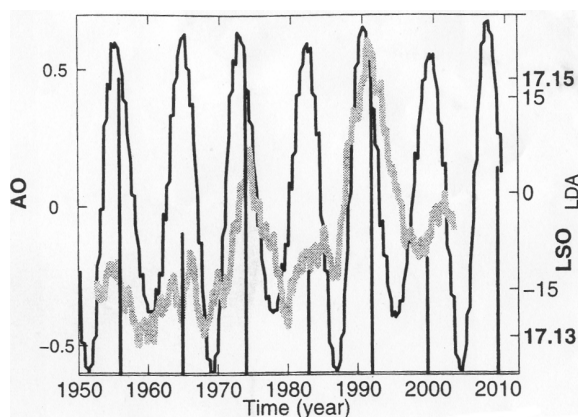
2. ARKTICKÉ OSCILÁCIE

Klimatické zmeny v severnej hemisfére sa vyznačujú takou významnou charakteristikou ako arktické oscilácie (AO). Index AO je buď kladný alebo záporný. V prvom prípade je atmosférický tlak nad Arktídou nižší od normálu, čo zapríčiňuje zosilnenie západných vetrov a zadržiavania studeného arktického vzduchu v polárnej oblasti. Ako výsledok, nastanú teplejšie zimy v Severnej Amerike a západné vetry prinášajú teplo do Európy. V druhom prípade sú západné vetry slabšie,

studený arktický vzduch sa presúva na juh, čo vedie k ochladeniu v stredných šírkach. Inými slovami, AO index je vhodný nástroj pre predpoveď klimatických zmien [Ramos da Silva & Avissar, 2005], ale jeho mechanizmus nie je úplne identifikovaný. Uvedení autori poukázali aj na opodstatnenosť účinku dlhoperiodických lunisolárnych slapových vln s periódami 9 a 18.6 rokov. Prejavuje sa najmä vysokými hodnotami oceánskych prílivov v polárnych i subpolárnych oblastiach cez dlhoperiodické slapové vlny, ktoré hlboko premiešavajú vody v subarktickej oblasti Atlantického oceánu, kde prebiehajú procesy “kuchyne počasia” ovplyvňujúce západnú a strednú Európu.

3. LUNISOLÁRNE SLAPOVÉ OSCILÁCIE

Pre viaceré klimatologické charakteristiky (napr. počet tropických cyklónov, teplota oceánov atď.) je známa perióda 18.6 rokov, ktorá je charakteristická pre slapovú aktivitu. Dlhoperiodické lunisolárne slapové oscilácie (LSO) sa prejavujú vo variabilite arktickej (aj subarktickej) klímy s periódami 9 a 18.6 roka, ktoré sú preukázateľné v horeuvedených AO, (šedá krivka na obr. 2). Vzhľadom na to, že Mesiac je podstatne bližšie k Zemi ako Slnko, jeho slapový účinok je dvakrát väčší



Obr. 2. Zmeny AO (šedá krivka), uhlu deklinácie (LDA – lunar declination angle) v perigéliu (čierna krivka) a tiež výskyt maxim a minim LSO (vertikálne čiary) v období od druhej polovice minulého storočia (podľa [Ramos da Silva and Avissar, 2005]).

než Slnka. Slapový účinok Mesiaca závisí tiež od jeho polohy voči rovine ekliptiky. V súlade so zákonmi pohybu Mesiaca sú v slapových osciláciách prítomné periódy znázornené na obr. 2. Treba zdôrazniť, že amplitúdy týchto slapových vln sú najväčšie v zemepisných šírkach nad 60. rovnobežkou. Oscilácie s periódou 18.6 rokov sa prejavujú aj v dynamike oceánskych slapov [Royer, 1993]. Tieto väzby naznačujú možný mechanizmus vplyvov na AO index, t. j. aj na klímu.

Matematicky je ľahko preukázateľný modulačný efekt s periódou ~50 rokov, ak uvažujeme synergetické pôsobenie vlnových procesov s periódou 11-ročného

cyklu a s LSO periódou 18.6 rokov, prezentovaných harmonickými funkciami s periódami T_1 a T_2 . Uvažujme funkcie času $f_1(t)$, $f_2(t)$:

$$f_1(t) = A_1 \sin(u_1 t),$$

$$f_2(t) = A_2 \sin(u_2 t),$$

kde príslušné uhlové frekvencie sú $u_1 = 2\pi/T_1$, $u_2 = 2\pi/T_2$. Matematicky sa dá ukázať, že v sumárnom signále $f_1 + f_2$ sa objavuje aj dlhoperiodická zložka

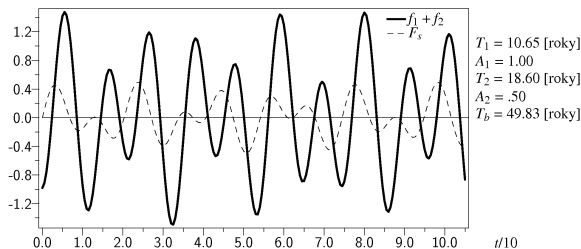
$$F_s = (A_1 - A_2) \sin(u_0 t) \cos(u_b t),$$

kde $u_0 = 2\pi/T_0$, $u_b = 2\pi/T_b$, pričom

$$T_0 = 2 T_1 T_2 / (T_1 + T_2),$$

$$T_b = 2 T_1 T_2 / (T_2 - T_1).$$

Urobili sme niekoľko modelových výpočtov pre signály s amplitúdami $A_1 = 1$, $A_2 = 0,5$ a periódami $T_1 =$



Obr. 3. Modelový popis vzniku pulzov s periódou ~50 rokov pri synergetickom pôsobení vlnových procesov slnečného cyklu s periódou ~11 rokov a lunisolárnych oscilácií s periódou 18.6 rokov.

10.65 roka (priemerná perióda cyklu slnečnej aktivity), $T_2 = 18.6$ roka (LSO perióda). Zistili sme, že výsledný signál $f_1 + f_2$ má dominantnú periódu T_1 , ale vykazuje aj dlhoperiodickú moduláciu s periódou $T_b = 49.83$ roka (cca 50 ročná). Na obr. 3 je vynesovaný signál $f_1 + f_2$ (hrubá čiara) pre roky 1900-2005, pričom t [roky] sa počíta od roku 1900 ako nulového roku. Prerušovanou čiarou je vynesovaný dlhoperiodický signál F_s . Na obr. 3 vidíme, že najvýraznejšie minimá teoretickej krivky F_s sú od seba vzdialené cca 50 rokov, t. j. 1955 a 2005. Tieto roky sú poznamenané klimatologicky extrémnymi zimami, napr. v rokoch 1955, 2005. Vidíme teda, že z hľadiska evolúcie klímy je zvlášť zaujímavá zistená schopnosť modelového signálu poskytnúť odhad v súvislosti s výskytom studených a dlhých zím v Európe približne každých 50 rokov. Zohľadnenie lunisolárnych oscilácií, zistených na základe teórie zemských slapov, zrejme môže napomôcť k pochopeniu dlhodobých trendov v evolúcii klímy a k skvalitneniu predpovede klimatických zmien.

4. ZÁVER

V predkladanom príspevku sa analyzujú niektoré súvislosti teórie dynamiky slapov s cirkulačnými procesmi vo vrchnej atmosfére, ako aj zaujímavé efekty synergetického pôsobenia vlnových procesov

s periódami ~11 rokov (slnečný cyklus) a 18.6 rokov (LSO), tieto vyúsťujú napr. aj do modulačného efektu s periódou ~50 rokov. Zistené súvislosti a zhoda z experimentálnymi údajmi potvrdzujú, že je opodstatnené považovať aj dlhoperiodické slapové pôsobenie Mesiaca a Slnka ako ďalší možný fyzikálny mechanizmus vplyvu na klímu, najmä cez oceánske prílivy v subarktickej oblasti.

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektov VEGA 2/5121 a 2/4042.

LITERATÚRA

- Bochníček et al., 1996: Relation between Northern Hemisphere Winter Temperatures and Geomagnetic or Solar Activity at Different QBO Phases. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 58, 883-897.
- Hameed, S. and J. N. Lee, 2005: A mechanism for sun-climate connection. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L23817, doi: 10.1029/2005 GLO24393.
- Herman, J. R. and Goldberg, R. A., 1978: *Sun, Weather, and Climate*. NASA, Washington DC.
- Labitzke K. and van Loon H., 1988: Associations between the 11-Year Solar Cycle, the QBO and the Atmosphere. Part I: the Troposphere and Stratosphere in the Northern Hemisphere in Winter. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 50, 197-206.
- Prigancová A., 2000: Dynamika klimatických zmien z hľadiska dlhodobých trendov. Človek ve svém pozemském a kosmickém prostředí. Hvězdárna Úpice, 78-86.
- Ramos da Silva, R. and R. Avissar, 2005: The impacts of the Luni-Solar oscillation on the Arctic oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L22703, doi: 10.1029/2005 GLO23418.
- Royer, T. C., 1993: High-latitude oceanic variability associated with the 18.6 year nodal tide. *J. Geophys. Res.*, 98 (C3), 4639-4644.
- Thomson, D. W. Y. and Y. M. Wallace, 1998: The arctic oscillation signature in the winter time geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, 25 (9), 1297-1300.