

Výrazné javy kozmického počasia v januári 2005

I. Dorotovič, M. Lorenc, SÚH Hurbanovo, dorotovic@suh.sk, lorenc@suh.sk
K. Kudela, M. Rybanský, Ústav experimentálnej fyziky SAV, Košice,
kkudela@upjs.sk, milanr@centrum.sk

Abstrakt

V práci boli skúmané podmienky v okolitom kozmickom priestore (kozmičné počasia - KP) počas dvoch Forbushových poklesov (Forbush Decrease – FD) kozmického žiarenia 17.-18. januára a 21.-22. januára 2005. Základom pre štúdium sú údaje z pozemských pozorovaní, údaje s jednonútovým rozlíšením z neutrónového monitora Lomnický štít a z geomagnetického observatória Hurbanovo. Pre pochopenie celkového priebehu eventu sme použili aj údaje o magnetickom poli a slnečnom vetre z družíc GOES 10 a 12, SOHO-Celias, ACE a WIND. Prezentované sú časové vektorové diagramy zmien všetkých parametrov na všetkých miestach, z ktorých sme použili dáta. Amplitúdy zmeny $|B|$ presahujú 100 nT a zmeny pri príchode čela CME prebiehajú v tej istej minúte na pozemnej stanici aj na družiciach GOES. Z hodnôt v_p a n_p sme pri použití istých predpokladov určili hmotnosť CME zo 17. a z 21. januára na 10^{12} kg. Trvanie prvého FD zo 17. januára 2005 bolo 8 dní, kým trvanie druhého FD z 21. januára bolo iba 24 hodín. Rekonštrukcia vývoja javov KP v januári 2005 naznačuje predpoklad, že možnou príčinou FD je absorpcia primárneho kozmického žiarenia v hmote CME prechádzajúcej okolozemským kozmickým priestorom, prípadne v hmote, zachytenej v radiačných pásoch.

1. ÚVOD

Hlavnou myšlienkou príspevku je využitie pozorovaní variácií kozmického žiarenia (KŽ) a geomagnetického poľa (GMP) na určenie podmienok v okolitom kozmickom priestore (Space Weather, kozmičné počasia - KP). Využívame pritom súčasne znalosti o príčinách týchto variácií, ktoré sme získali počas takmer storočného štúdia KŽ.

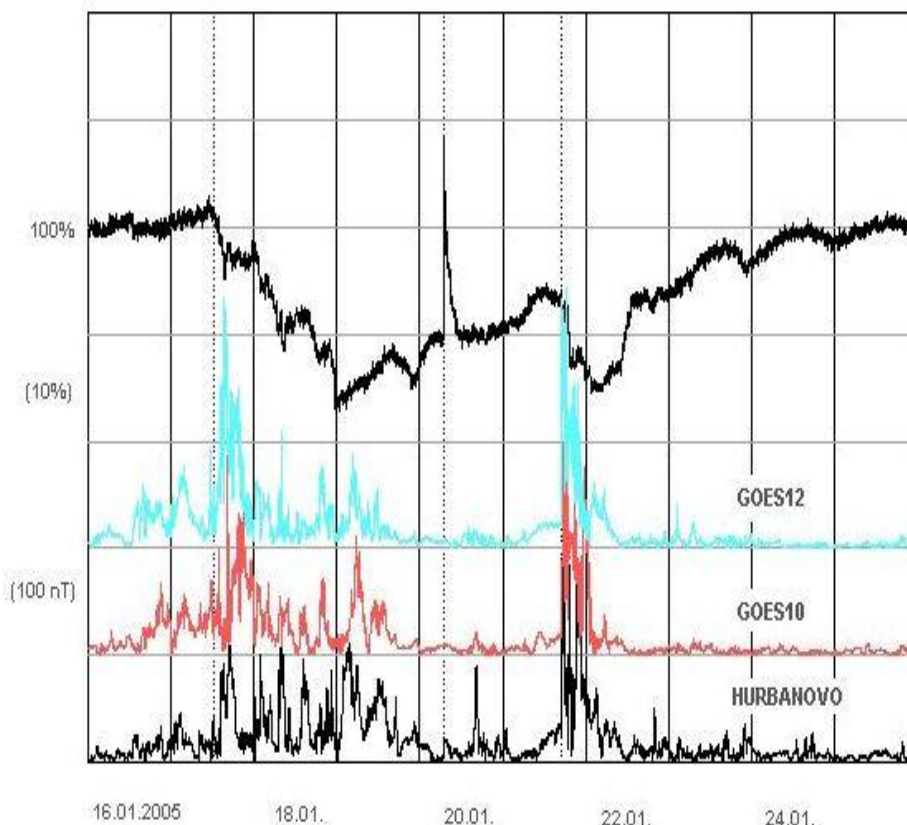
Prvý náznak súvislosti medzi poklesom KŽ pozorovaným z dvoch staníc a horizontálnou zložkou GMP publikoval Forbush (1937). Najčastejšie je Forbushov pokles (Forbush decrease – FD) pozorovaný ako prechodný pokles s pomerne rýchlym (rádovo hodiny) znížením úrovne KŽ a následným pomalším návratom na pôvodnú úroveň počas niekoľkých dní. Pokles nasleduje zvyčajne po slnečnej erupcii a prechode CME medziplanetárnym priestorom. FD je všeobecne interpretovaný ako výsledok difúznej konvekcie KŽ v porušenom medziplanetárnom magnetickom poli (MMP) s magnetohydrodynamickou (MHD) rázovou vlnou spôsobenou slnečnou erupciou (Nagashima a kol., 1990). Niekoľko prác opisuje teórie FD (napr. Gold 1960; Parker 1963; Nishida 1983, Chih a Lee, 1986 a ďalší). Variácie intenzity KŽ môžu byť vytvorené medziplanetárnymi rázovými vlnami, vysokorýchlostnými prúdmi slnečného vetra, prítomnosťou magnetických oblakov a inými javmi. Niekoľko prác sa zaoberá príčinami FD a variácií KŽ (z

mnohých spomeňme napr. Lockwood, 1971; Dorman a Shogenov, 1986; Zhang a Burlaga, 1988; Iucci a kol., 1986, 1989; Badruddin a kol., 1991; Lockwood a kol., 1991; Leroux and Potgieter, 1991; Cane and Richardson, 1995; Ifedili 1998; Wibberenz a kol., 1998).

Keď sú prítomné tak výtrysky ako aj rázové efekty, výsledný jav v KŽ je nazvaný ako „klasický dvojstupňový“ FD (Cane, 2000). Neexistuje však jednoznačná súvislosť medzi FD a geomagnetickými búrkami (Kudela a Brenkus, 2004). Vzťahy medzi geomagnetickými búrkami a prechodnými moduláciami intenzity KŽ (Forbushove poklesy), najmä tie, ktoré sú spôsobené medziplanetárnymi poruchami súvisiacimi s rázovými javmi, skômal detailne Badruddin (2006). Vzťahy veľkých poklesov KŽ a geomagnetických búrok počas dlhého obdobia skúmal napr. Yadav a Kumar (2007). Väčšina týchto geomagnetických búrok súvisela s CME.

V príspevku opisujeme priebeh javu KP z januára 2005, kde pozorujeme rôzne druhy variácií a pomocou údajov z niekoľkých kozmických prístrojov môžeme sledovať postupnosť zmien a ich súvislosti.

Vychádzame pritom z priebehu 1 minútových dát z neutrónového monitoru (NM) na Lomnickom štíte. S týmto priebehom potom porovnávame údaje o GMP z Hurbanova a z družíc GOES, z ktorých sledujeme aj časticové žiarenia rôznych energií. Tieto údaje boli porovnané s vybraným priebehom dát na kozmických



Obr. 1: Priebeh 1 min. dát z NM, Lomnický štít – horná čiara; priebeh veľkosti redukovaného vektora GMP na observatóriu v Hurbanove - čierna, na GOES10- červená a na GOES12- azúrová.

observatóriách ACE, SOHO/Celias a WIND. Nakoniec sa pokúšame nájsť v erupciách na Slnku zdroj príslušných variácií.

2. JAV 17. – 22. JANUÁRA 2005

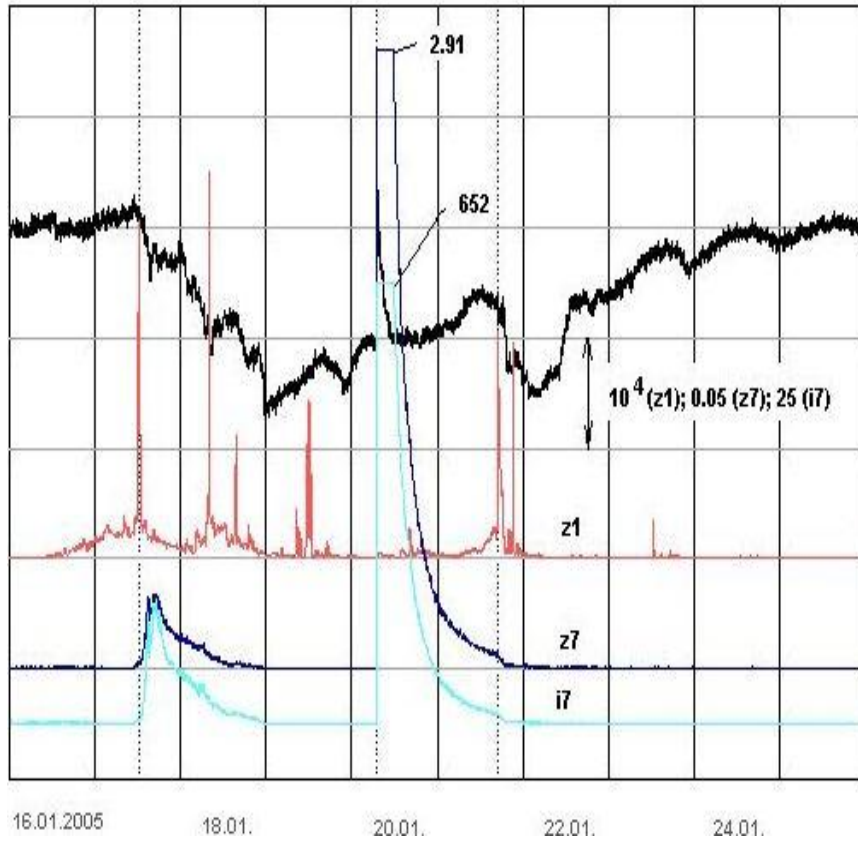
2.1. Pozorovania a zobrazenie dát

Na obr. 1, horná čiara znázorňuje priebeh 1 min. dát z NM, Lomnický štít. Vidíme tam tri rôzne druhy variácií. Prvou je postupný pokles (FD1) o takmer 20%, ktorý začína 17. jan. o 12h 19m UT a končí 18. jan. pred polnocou, druhou je GLE 20. jan. o 06h 48m UT, treťou variáciou je pokles (FD2) o cca 10% 21. jan. o 17h 05m UT. GLE z 20. jan. je opísaný v abstrakte citovanej práci. U prvej a tretej variácie je rozdielna doba návratu na pôvodnú úroveň. Z priebehu vidíme, že FD2 z 21. jan. sa na pôvodnú úroveň vráti skoro za 24 hodín, u FD1 zo 17. jan. by to trvalo 8 dní. Ďalšie čiary na obr. 1 znázorňujú priebeh veľkosti redukovaného vektora GMP na observatóriu v Hurbanove ($\varphi = 47^\circ 52,5'$; $\lambda = 18^\circ 11,5' E$), na GOES10 a na GOES12. Redukcia magnetickej indukcie (B) znamená, že od celkovej indukcie sú odčítané stále a periodicky sa meniace zložky. Na obr. 2 je okrem priebehu NM priebeh merania hustoty protónov rôznych energií na GOES11. Družice GOES sa nachádzajú na geostacionárnych dráhach, nad rovníkom, teda väčšinu času vo vnútri magnetosféry; GOES10 – $134,7^\circ W$, GOES11 – $107,4^\circ W$, GOES12 – $75,2^\circ W$.

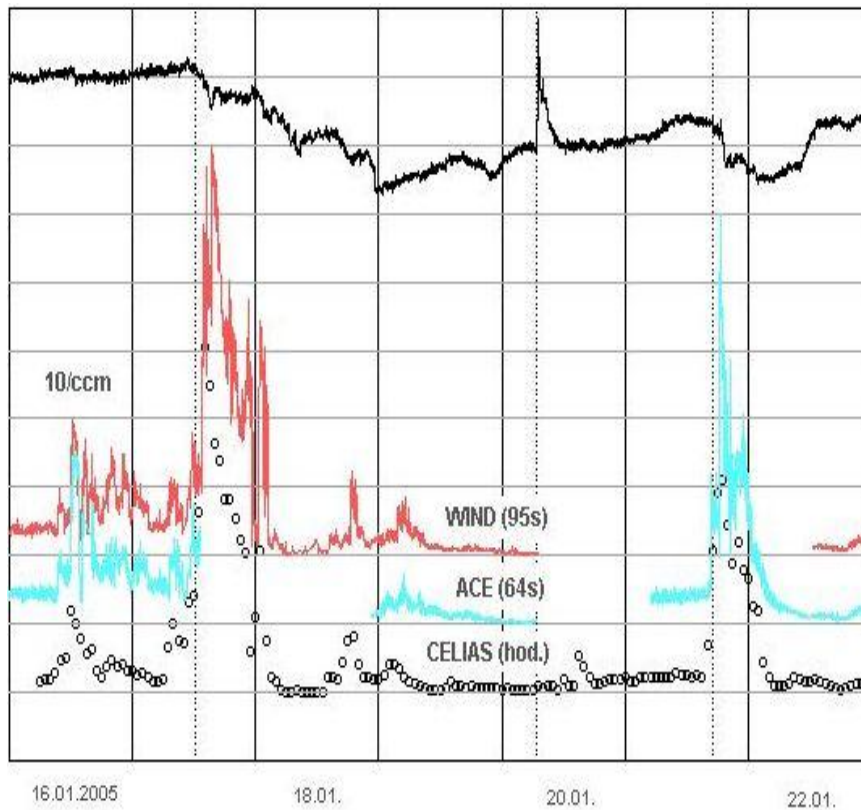
Na obr. 3 je okrem priebehu dát z NM znázornený priebeh hustoty protónov v uvažovanom období na družiciach ACE, WIND a SOHO/CELIAS, ktoré sa nachádzajú v okolí Lagrangeovho bodu L_2 . Polohy družíc sú schématicky znázornené na obr. 4. Počas GLE bolo meranie na družiciach ACE a WIND prerušené (mimo rozsahu), prístroj CELIAS je pravdepodobne na častice tak vysokých energií, ako sa vyskytli pri GLE necitlivý, alebo častice merací prístroj nezasiahli, lebo SOHO bolo cca pol milióna km bokom od spojnice Slnko - Zem). Na obr. 5 je podobne ako na obr. 3 znázornený priebeh magnetického poľa v okolí týchto družíc. Dáta pochádzajú z družice ACE, lebo tam máme najlepšie časové rozlíšenie (64s) a priebeh je na družici WIND prakticky identický. RTN (Radial-Tangential-Normal) systém je súradnicový systém s počiatkom v strede družice a orientovaný voči spojnici Slnko – družica. Os R (radiálna) smeruje radiálne od Slnka smerom k družici. Os T (tangenciálna) je rovnobežná s rovinou slnečného rovníka a je kladná v smere obehu planét okolo Slnka. Os N (normálna) dopĺňa pravotočivú súradnicovú sústavu.

2.2. Rekonštrukcia priebehu

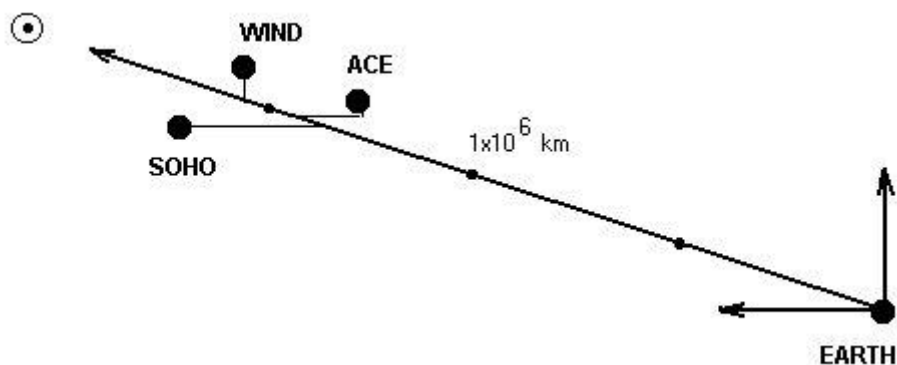
Ako vyplýva z obr. 6, v uvažovanom období sa vyskytli 4 erupcie triedy X. Budeme opisovať priebeh meraní s ohľadom na FD1 a FD2, lebo GLE je podrobne opísané práci citovanej v abstrakte. S najväčšou pravde-



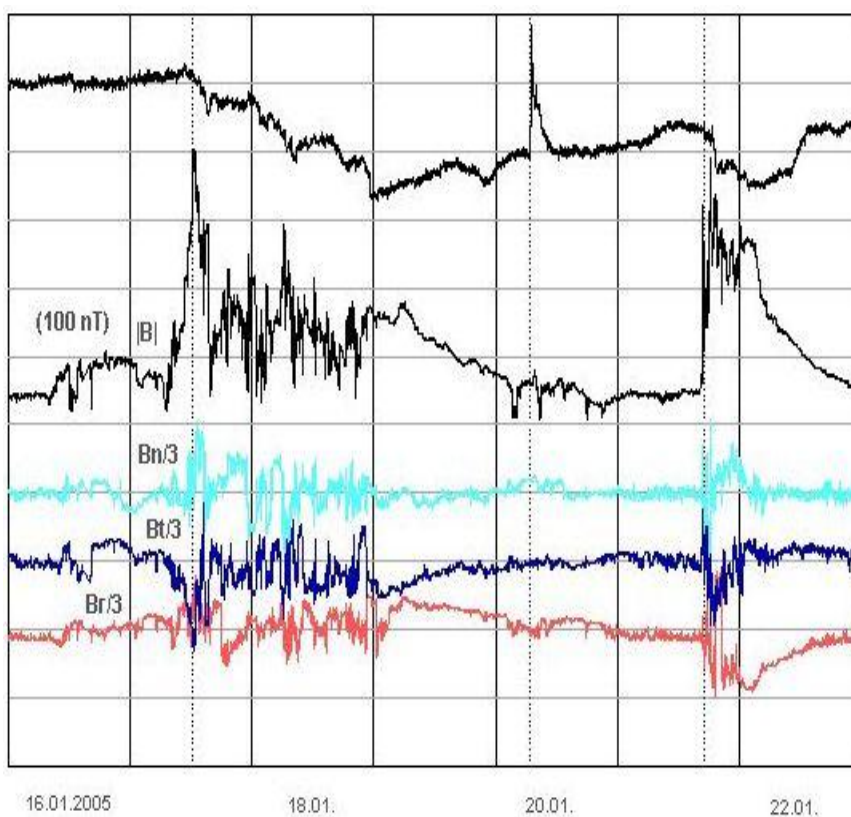
Obr. 2: Priebeh 1 min. dát z NM, Lomnický štít – horná čiara; priebeh merania hustoty protónov rôznych energií na GOES11; z1: 0,8-4,0 MeV ; z7: 165-500 MeV; i7: >100 MeV. Merania, ktoré presahujú rozsah obrázku sú označené číslom.



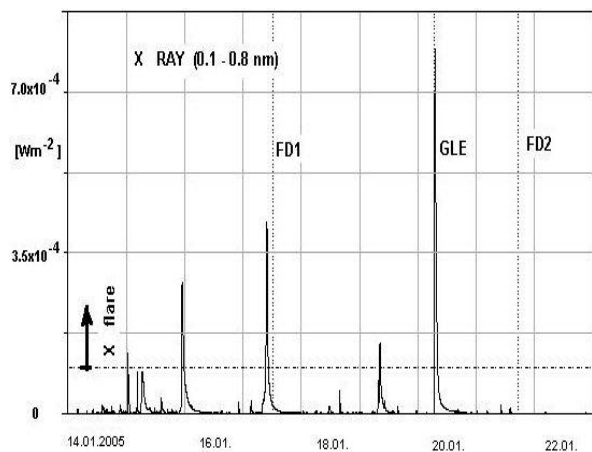
Obr. 3: Priebeh 1 min. dát z NM, Lomnický štít – horná čiara; priebeh hustoty protónov v uvažovanom období na družiciach ACE s rozlíšením 64s, WIND s rozlíšením 94s a SOHO/CELIAS, hodinové priemery.



Obr. 4: Polohy družíc ACE, SOHO a WIND v čase eventu v jan. 2005.



Obr. 5: Priebeh 1 min. dát z NM, Lomnický štít – horná čiara; priebeh magnetickej indukcie na družici ACE; celkový vektor $|B|$, a zložky B_n , B_t , B_r .



Obr. 6: Priebeh röntgenového žiarenia Slnka z družice GOES10.

podobnosťou bola príčinou FD1 X-erupcia z 15. jan. so začiatkom o 21h 57m UT a maximom o 22h 08m. CME z tejto erupcie dorazilo k družici WIND 17. jan. o 11h 10m. Meranie na ACE bolo prerušené. Rýchlosť slnečného vetra bola zo začiatku okolo 800 km/s, neskôr, ku koncu prechodu CME 18. jan. o 02h 30m, okolo 550 km/s. Vzrast z1 (GOES11, obr. 2) začal o 11h 49m a FD1 o 12h 19m. Sprievodná magnetická búrka nastala o niečo neskôr, bez výrazného skoku.

Pri FD2 bola pravdepodobne príčinou tá istá erupcia (06h 37m), ktorá spôsobila GLE, 20. jan. o 06h 48m.

Častice z tejto erupcie vyradili z činnosti meranie na družiciach ACE aj WIND. Príchod častíc, ktoré spôsobili FD2 (začiatok 17h 05m) registrovali prístroje ACE o 16h 46m, na GOES11 o 17h 10m a vzrast magnetického poľa na GOES11 o 17h 11m. Z rozdielu časov vychádza rýchlosť sln. vetra: 970 km/s a nameraná na ACE bola od 850 do 950 km/s.

V oboch prípadoch je po prechode CME znížená hustota sln. vetra. Pred – cca $5/\text{cm}^3$; po – cca $1/\text{cm}^3$.

3. MOŽNÉ INTERPRETÁCIE, VÝSLEDKY

3.1. Hmotnosti CME

Z predpokladu, že CME má tvar gule a podľa rýchlosti, času prechodu a hustoty CME môžeme určiť dolnú hranicu hmotnosti CME. V prípade FD1 vychádza $m = 1,33 \times 10^{12}$ kg, pri FD2, $m = 1,22 \times 10^{12}$ kg.

3.2. Hmota CME – príčina FD

Naša rekonštrukcia naznačuje alternatívne vysvetlenie, teda, že absorpcia primárneho kozmického žiarenia v hmote sa dá opísať ako možná príčina FD. Navrhované vysvetlenie je však nutné overiť na ďalších javoch resp. iných neutrónových monitoroch. Takáto práca je už nami vykonávaná. Pod pojmom absorpcia treba v tomto prípade chápať všetky procesy, ktoré znižujú intenzitu primárneho kozmického žiarenia na hranici zemskej atmosféry. Túto absorpciu môžeme rozdeliť na dve zložky :

- 1) absorpciu v hmote CME počas jeho prechodu, cez oblasť Zeme,
- 2) absorpciu v hmote zachytenej z CME v radiačných pásoch. Pričom môžeme uvažovať (?), že doba rozptylu hmoty z radiačných pásov je tým dlhšia, čím je väčšie zastúpenie protónov s vyššou energiou. Tým by sa dal vysvetliť rozdiel v dĺžke návratu FD1 a FD2, lebo pri FD2 sa neregistrovali protóny s vyššou energiou. Túto hypotézu podporuje aj modulácia kozmického žiarenia v heliosfére počas cyklu slnečnej aktivity. Podľa Waldmeiera (1957) a rozšírenia prieskumu Rušinom a Rybanským (1985) sa počas cyklu hmota koróny (heliosféry) mení v pomere 1:2–3. Hypotézu je však nutné overiť na rozsiahlejšom pozorovacom materiáli.

Pod'akovanie

Práca vznikla v rámci projektu APVV-51-053805 s podporou Agentúry na podporu vedy a výskumu a grantovej agentúry VEGA, grantový projekt 7063. Autori sú vďační N. Nessovi za poskytnutie údajov ACE, R. Leppingovi za údaje z družice WIND, T. Onsagerovi za poskytnutie údajov z družice GOES a P. Bochslerovi za údaje z prístroja SOHO-CELIAS.

LITERATÚRA

- Badruddin: 2006, *J. Astrophys. Astron.*, **27**, 209.
Badruddin, Venkatesan, D., Ananth, A.G.: 1991, *Sol. Phys.*, **134**, 395.
Cane, H.V.: 2000, *Space Sci. Rev.*, **93**, 55.
Cane, H. V., a Richardson, I. G.: 1995, *J. Geophys. Res.*, **100**, 1755.
Chih, P.P. a Lee, M.A.: 1986, *J. Geophys. Res.*, **91**, 2903.
Dorman, L.I., Shogenov, V.K.: 1986, *Geomagn. Aeron.*, **26**, 496.
Forbush, S.E.: 1937, *Phys. Rev.*, **51**, 1108.
Gold, T.: 1960., *Astrophys. J. Suppl.*, **4**, 406.
Ifedili, S.O.: 1998, *Planet. Space Sci.*, **4**, 435.
Iucci, N., Parisi, M., Signorini, M., Storini, M., Villorosi, G.: 1989, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **81**, 367.
Iucci, N., Pintér, Š., Parisi, M., Storini, M., Villorosi, G.: 1986, *Nuovo Cimento*, **9**, 39.
Jämsén, T., Usoskin, I.G., Räihä, T., Sarkamo, J., Kovaltsov, G.A.: 2007, *Adv. Space Res.*, **40**, 342.
Kudela, K. a Brenkus, R.: 2004, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **66**, 13.
Kuznetsov, S.N., Kurt, V.G., Yushkov, B.Zu., Myagkova, I.N., Kudela, K., Kaššovicová, J. and Slivka, M.: 2006, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, **36**, 85.
Leroux, J.A., Potgieter, M.S.: 1991, *Astron. Astrophys.*, **243**, 531.
Lockwood, J.A.: 1971, *Space Sci. Rev.*, **12**, 688.
Lockwood, J.A., Webber, W.R., and Debrunner, H.: 1991, *J. Geophys. Res.*, **96**, 11587.
Nagashima, K., Sakakibara, S., Fujimoto, K., Tatsuoka, R. a Morishita, I.: 1990, *Nuovo Cimento*, **3**, 551.
Nishida, A.: 1983, *J. Geophys. Res.*, **88**, 785.
Parker, E.N.: 1963, *Interplanetary Dynamical Processes*, Interscience, John Wiley and Sons, New York.
Rušin, V. a Rybanský, M.: 1985, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, **36**, 77.
Tverskoj, B.A.: 2004, *Osnovi teoreticheskoj kosmofiziki*, Moskva.
Waldmeier, M.: 1957, *Die Sonnenkorona*, Vol.1, Birkhäuser, Basel.
Wibberenz, G., Le Roux, J.A., Potgieter, M.S., Bieber J.W.: 1998, *Space Sci. Rev.*, **83**, 309.
Yadav, M.P., and Kumar, S.: 2007, *Indian J. Phys.*, **81**, 425.
Zhang, G., and Burlaga, L. F.: 1988, *J. Geophys. Res.*, **93**, 2511.