

## Prúdy v aurorálnej oblasti a ich dynamika

A. Prigancová<sup>1</sup>, Y. I. Feldstein<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 28  
Bratislava <sup>2</sup>IZMIRAN, Troitsk, Moscow Region, Russia

### Úvod

Zložitý komplex geofyzikálnych procesov interakcie magnetizovanej slnečnej plazmy s magnetosférou kontroluje dynamiku systému magnetosféricko-ionosférických prúdov. Pochopiť túto dynamiku je cesta pre predpoveď porušení geomagnetického poľa tak v globálnom, ako aj v lokálnom merítku.

Príkladom lokálnej porušenosti je predovšetkým porušenosť v aurorálnej oblasti súvisiaca s tu prítomnými prúdmi známymi pod názvom elektrožety. Tečú pozdĺž aurorálneho oválu vo východnom (východný elektrožet vo večernom sektore) a západnom (západný elektrožet v rannom sektore) smeroch.

V predkladanom príspevku sa diskutujú niektoré nové výsledky o dynamike elektrožetov s využitím pozemských a družicových meraní.

### Ekvivalentné ionosférické prúdy

Kvantifikovanie prúdov v ionosférických výškach sa metodicky dosahuje uvažovaním ekvivalentných prúdov na základe údajov o variáciách geomagnetického poľa meraných vo viacerých bodoch usporiadaných do reťazcov. Vo vysokých výškach existujú reťazce viacbodových meraní v Grónsku (Greenland West Coast chain, skrátene GWC), Škandinávii (IMAGE chain) a v Kanade (CANOPUS chain). Zložky hustoty prúdu v horizontálnej rovine ( $j_x$  a  $j_y$ ) súvisia s  $\Delta Y$  a  $\Delta X$  variáciami nasledovne:

$$\begin{aligned} j_x \text{ (A/m)} &= (k/2\pi) \cdot 10^{-2} \Delta Y \text{ (nT)} \\ j_y \text{ (A/m)} &= (k/2\pi) \cdot 10^{-2} \Delta X \text{ (nT)} \end{aligned}, \quad \text{kde } k \in (2/3 \div 3/4).$$

Tieto vzťahy umožnili výpočet ekvivalentných ionosférických prúdov viacerým autorom (napr. Kamide and Akasofu, 1974; Baumjohann et al., 1980; Kamide et al., 1981, 1982). Zistili sa viaceré vlastnosti východného EE (eastward electrojet) a západného WE (westward electrojet) elektrožetov, špecifikovalo sa ich priestorové rozloženie a skúmala sa ich nadväznosť na pozdĺžne prúdy FAC (field-aligned currents). Pre štúdium dynamiky intenzity elektrožetov navrhol Kotikov (1991) inverznú výpočtovú schému s použitím modelu viacerých (50) lineárnych prúdov odlišnej intenzity vo výške 100 km. Kritériom pre výber prúdovej konfigurácie bola rekonštrukcia pozorovaných variácií zložiek geomagnetického poľa. Postupne tento prístup bol zdokonalený (Popov and Feldstein, 1996; Popov et al., 2001) a využitý pre štúdium dynamiky intenzity elektrožetov a ich lokalizácie. Pre

aproximáciu elektrožetov sa uvažovali prúdové pásiky vybranej šírky (v počte až do 100) orientované kolmo na reťazec meracích staníc na rôznych geomagnetických šírkach. Jedným z predpokladov výpočtu je, že intenzita prúdu (buď v západnom, resp. východnom smere) je v jednotlivých pásiakoch nemenná, ale nie je rovnaká pre rôzne pásiky. Algoritmus výpočtu tiež počíta s indukčnými telurickými prúdmi a vychádza z predpokladu, že vodivosť zeme je konštantná v smere kolmom na reťazec staníc.

Analýza údajov pozemských meraní v časovom intervale 24.-25.9.1998, kedy sa vyskytli magnetosférické subbúrky a magnetická búrka, poukazuje na značnú variabilitu v rozložení EE a WE.

### Dynamika EE a WE v intervale 24. -25. 9.1998

Pre rekonštrukciu rozloženia EE a WE sa využili údaje z reťazcov staníc s vybranou korigovanou geomagnetickou dĺžkou CGLo (corrected geomagnetic longitude). Meranie magnetických zložiek pomocou magnetometrov pre daný reťazec sa zabezpečovalo v rozpätí korigovaných geomagnetických širok CGLa (corrected geomagnetic latitude):

GWC (40° CGLo, 66.3° – 85.4° CGLa)

IMAGE (110° CGLo, 56.8° – 76.1° CGLa)

CANOPUS (330° CGLo, 60.7° – 79.1° CGLa).

Tieto pozemské merania umožňujú skúmať dynamiku EE a WE, a tiež tzv. polárneho elektrožetu (PE). Bol zistený v oblasti kaspu a predstavuje prúdenie buď vo východnom, alebo západnom smere, čo súvisí s orientáciou zložky By medziplanetárneho magnetického poľa. Pri  $By > 0$  sa PE prejavuje východným prúdením, ktoré sa mení na západné pri  $By < 0$ . Počas hlavnej fázy intenzívnej búrky sa kasp posúva na šírky 65°- 67° CGLa. Spolu s ním sa južnejšie posúva aj PE.

Na základe analýzy magnetických variácií H a Z zložiek nameraných uvedenými reťazcami magnetometrov pre podmienky dňa 24.9.1998 s preukázateľnou subbúrkovou aktivitou sa zistili nasledovné vlastnosti elektrožetov:

- WE je najintenzívnejší okolo polnoci, kedy je lokalizovaný na šírkach 65°-70°CGLa; v rannom a večernom sektore sa WE posúva k ~ 77° CGLa
- EE naberá na intenzite vo večerných hodinách lokálneho času (MLT), jeho lokalizácia sa mení v rozmedzí od širok magnetosférického hrotu, t.j. kaspu (~77°) popoludní (MLT) do aurorálnych širok (~65°-70°) k nočným hodinám
- vo večernom sektore sa elektrožety prekrývajú (prítom EE je viac prirovnákový ako WE) a intenzita EE je vyššia ako WE (pokiaľ subbúrka nie je intenzívnejšia)
- ak  $AE > 1000$  nT (intenzívna subbúrka) je lineárna intenzita EE a WE rovná ~0,6 kA /km a 1.0 kA /km, prítom integrálne hodnoty (výpočet pre všetky šírky) prúdov sú ~500 kA a ~1.5 MA.

Počas magnetickej búrky (Prigancová, Feldstein, 2002), najmä v priebehu jej hlavnej fázy sú elektrožety lokalizované v šírkach nedostupných pre registráciu ich magnetických efektov pomocou magnetometrov GWC, preto sa využili údaje z IMAGE a CANOPUS (a tiež čiastočne zo stanice Moskva s podobnou CGlo ako IMAGE a  $\sim 51^\circ$  CGLa). Pre hlavnú fázu intenzívnej búrky dňa 25.9.1998 sa popri známych vlastnostiach zistili nové charakteristiky elektrožetov. S prihliadnutím na ich už známe vlastnosti sa dajú zhrnúť nasledovne:

- EE a WE sa posúvajú k nižším šírkam (smerom k rovníku) vo večernom sektore, pritom v neskorých večerných hodinách (aj okolo polnoci) je EE v subaurorálnych šírkach, a preto jeho magnetický efekt sa neprejavuje v hodnotách AU indexu
- v dennom sektore je WE neprítomný
- WE okolo polnoci a v skorých ranných hodinách je široký až  $15^\circ$ , prúdová lineárna hustota dosahuje  $\sim 1.6$  kA /km s integrálnou hodnotou  $\sim 2-3$  MA; neskôr sa WE postupne zužuje a presúva sa k vyšším šírkam.
- pri kulminácii hlavnej fázy búrky a krátko po nej sa južná (prirovníková) hranica kaspu (a následne aj PE) posúva k šírkam  $65^\circ < \Phi < 67^\circ$
- EE, ktorý je široký až  $\sim 8^\circ$ , nachádza sa okolo poludnia na šírke kaspu ( $\sim 65^\circ$  CGLa); prúdová lineárna hustota dosahuje  $\sim 0.8$  kA /km s integrálnou hodnotou prúdu  $\sim 0.7$  MA.

Využitie družicových meraní (napr. DMSP) ukazuje, že EE a WE sa nachádzajú v oblasti precipitácie častíc z magnetosféry. Pritom EE je čiastočne v oblasti difúznej (prirovníková časť) a čiastočne v oblasti slabej diskkrétnej (pripólová časť) precipitácie, kdežto WE je úplne v oblasti intenzívnej diskkrétnej precipitácie.

### Upresnenie časovo-priestorového rozloženia elektrožetov

Naše predstavy o rozložení elektrožetov na začiatku druhej polovice minulého storočia sú zhrnuté na Obr. 1. Je vidieť, že sa pôvodné elektrožety chápali ako dvojslučkový prúdový systém (Obr. 1a), neskôr ako jednoslučkový prúdový systém s WE pozdĺž aurorálneho oválu a uzatvárajúcimi prúdmi cez polárnu čiapku a stredné šírky (Obr. 1b). V dvojslučkovom prúdovom systéme sa tiež uvažoval WE pozdĺž oválu a EE na šírke  $\sim 65^\circ$  vo večernom sektore (Obr. 1c). V súlade s najnovšími výsledkami časovo-priestorové rozloženie elektrožetov je správnejšie špecifikovať z hľadiska úrovne porušenia magnetosféry. Na obr. 2 môžeme sledovať dynamiku charakteristík elektrožetov počas magnetosférickej subbúrky a v priebehu magnetickej búrky s výraznou depresiou poľa počas jej hlavnej fázy. Pri subbúrke (obr. 2, vľavo) aktivite je WE prítomný len vo večernom, nočnom a rannom sektore (na rozdiel od obr. 1b, c). V dennom sektore na šírkach odpovedajúcich ionosférickému priemetu kaspu sa nachádza PE. Je to západné prúdenie pri  $By < 0$  a vtedy sa ľahko identifikuje ako WE. Elektrožety sú asymetrické vzhľadom na os poludnie-polnoc. V sektore poludnia sú prúdy bližšie k pólu ( $\sim 8^\circ$ ) v porovnaní s polnočným sektorom. Šírky pre EE sa zvyšujú od nočných k večerným hodinám. Za búrkových podmienok (obr. 2, vpravo) sa

elektrožety posúvajú k nižším šírkam (až do  $57^\circ$  pre WE). Asymetria v rozložení elektrožetov pretrváva.

Regulárne variácie elektrožetov nadväzujú na veľkoškálovú magnetosférickú konvekciu. Ich irregulárne variácie sa viažu, ako ukazuje analýza družicových meraní, najmä procesov precipitácie častíc (napr. databáza z DMSP družice), na odlišné magnetosférické zdroje. Na odlišnosť zdrojov porušenej zložky EE a WE poukazujú vlastnosti v rozložení elektrožetov Účinok zo strany tzv. current wedge vedie k nárastu WE počas porušených podmienok. K nárastu EE počas porušených podmienok prispieva čiastočný prstencový prúd uzatvárajúci sa cez ionosféru.

### Záver

Detailná analýza elektrožetov pre interval 24.-25.9.1998, kedy sa vyskytli magnetosférické subbúrky a intenzívna magnetická búrka ukázala výraznú dynamiku intenzity a časovo-priestorového rozloženia východného a západného elektrožetov. Zistené vlastnosti elektrožetov poukazujú na to, že magnetosférické zdroje ich irregulárnych variácií sú odlišné.

*Pod'akovanie:*

Príspevok bol pripravený hlavne v rámci grantu VEGA 2/5121.

### Literatúra

- Akasofu, S.-I., Chapman, S., and Meng, C.-I.: The polar electrojet, J. Atmos. Terr. Phys., 27, 1275–1305, 1965.
- Baumjohann, W., Untiedt, J., and Greenwald, R.A.: Joint two-dimensional observations of ground magnetic and ionospheric electric fields associated with auroral zone currents. 1. Three-dimensional current flows associated with a substorm-intensified eastward electrojet, J. Geophys. Res., 83, 1963–1978, 1980.
- Feldstein, Y.I., and Zaitzev, A.N.: The current system of SD-variations in high latitudes for the winter season during the IGY, Geomag. and Aeronomie, 5, N6, 1123–1128, 1965.
- Fukushima, N.: Polar magnetic storms and geomagnetic bays, J. Fac. Sci., Tokyo Univ., 8, part 5, 293–412, 1953.
- Kamide, Y., and Akasofu, S.-I.: Latitudinal cross section of the auroral electrojet and its relation to the interplanetary magnetic field polarity, J. Geophys. Res., 79, 3755–3771, 1974.
- Kamide, Y., Richmond, A.D., and Matsushita, S.: Estimation of the ionospheric electric field, ionospheric currents and field aligned currents from ground magnetic records, J. Geophys. Res., 86, 801–813, 1981.
- Kamide, Y., Ahn, B.-H., Akasofu, S.-I., Baumjohann, W., Friis-Christensen, E., Kroehl, H.W., Maurer, H., Richmond, A.D., Rostoker, G., Spiro, R.W.,

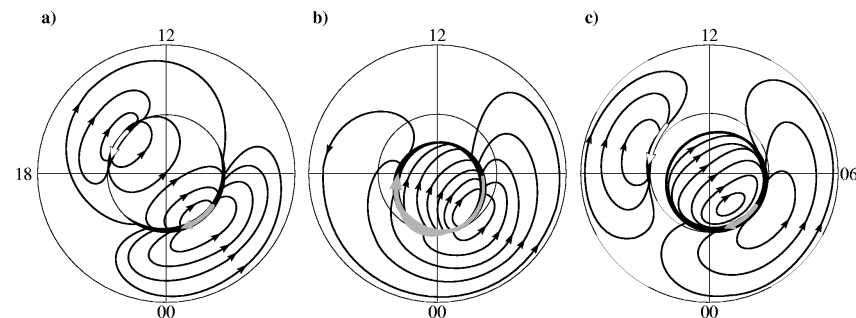
Walker, J.R., and Zaitzev, A.N.: Global distribution of ionospheric and field-aligned currents during substorms as determined from six meridian chains of magnetometers: initial results, *J. Geophys. Res.*, 87, 8228–8240, 1982.

Kotikov, A.L., Bolotynskaya, B.D., Gizler, V.A., Troshichev, O.A., Pashin, A.B., and Tagirov, V.R.: Structure of auroral zone phenomena from the data of meridional chains of stations: magnetic disturbances in the night-time auroral zone and auroras, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 53, 265–277, 1991.

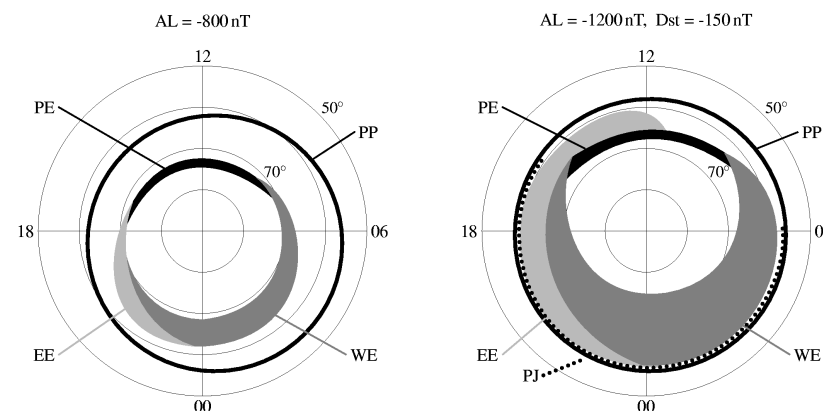
Popov, V.A., and Feldstein, Y.I.: About a new interpretation of “Harang discontinuity”, *Geomagn.Aeron.*, 36(1), 43–51, 1996.

Popov, V.A., Papitashvili, V.O., and Watermann, J.F.: Modeling of equivalent ionospheric currents from meridian magnetometer chain data, *Earth Planets Space*, 53, 129–137, 2001.

Prigancová, A., Feldstein, Y.I.: Zákonitosti generovania magnetickej búrky. Zb. z 16. Celoštátneho slnečného seminára, ed. I. Dorotovič, SÚH, 196–200, 2002.



**Obr. 1.** Ekvivalentné ionosférické prúdy: a) dvojslučkový systém (Fukushima,1953); b) jednoslučkový systém s WE pozdĺž aurorálneho oválu a uzatvárajúcimi prúdmi cez polárnu čiapku a stredné šírky (Feldstein, 1963; Akasofu et. al., 1965); c) dvojslučkový systém s WE na šírkach aurorálneho oválu a EE vo večernom sektore na šírke  $\sim 65^\circ$  (Feldstein and Zaitsev, 1965).



**Obr. 2.** Časovo-priestorové rozloženie aurorálnych elektrojetov za podmienok subbúrkovej a búrkovej aktivity v dňoch 24.-25. 9.1998.