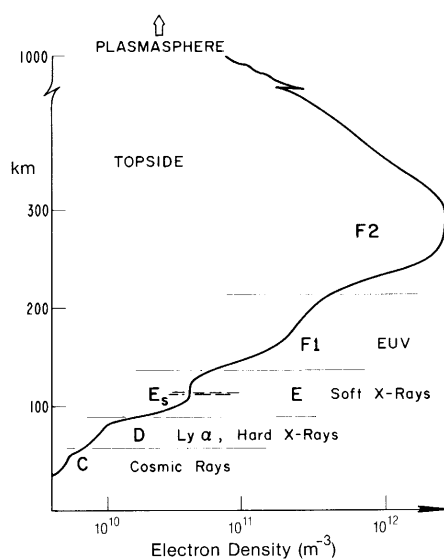


Chování sporadické vrstvy E ve středních šířkách

Petra Koucká Knížová, Zbyšek Mošna

Ústav fyziky atmosféry AVČR, Boční II/1401, Praha 4, Spořilov
pkn@ufa.cas.cz

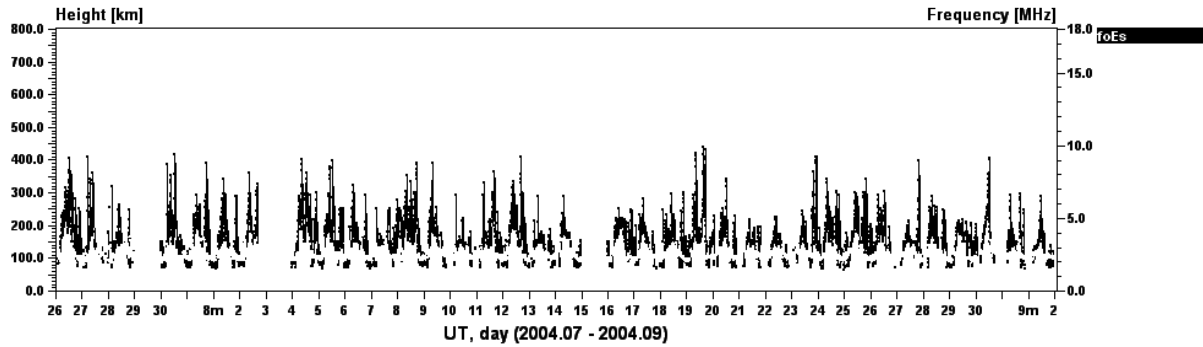
Zemská atmosféra je směsí neutrálního a ionizovaného plynu. Ve výškách mezoféry a termosféry je koncentrace iontů natolik významná, že ovlivňuje chování elektromagnetických vln šířících se touto oblastí. Tato oblast atmosféry je označována jako ionosféra. Ionosféra je velice variabilní a její stav se mění na všech časových škálách od minut po sekulární období. Dolní hranice ionosféry se nalézá v mezoféře během dne (asi 70 km) a v termosféře během noci (asi 130 km), kdy nedochází k fotoionizaci neutrálních částic. Za normálních podmínek je možné podle výškového průběhu elektronové koncentrace rozčlenit ionosféru do několika vrstev označovaných jako C, D, E, F1 a F2. Maximum elektronové koncentrace se běžně nalézá v nejvyšší vrstvě F2 (viz obr. 1).



Obr. 1. Denní výškový průběh elektronové koncentrace v zemské ionosféře. U jednotlivých vrstev je označena hlavní fotoionizační část slunečního spektra. Převzato z knihy *Ionospheric Radio* (Davies, 1990).

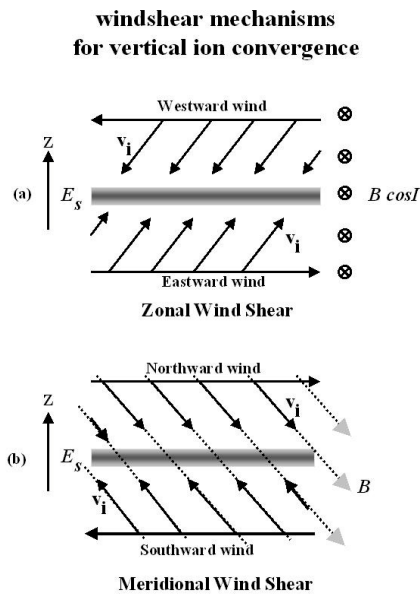
Sporadická vrstva E (označovaná jako E_s vrstva) představuje velmi zajímavou strukturu, oblast zvýšené koncentrace iontů, v E vrstvě ionosféry. Název sporadická vrstva je používán od prvních pozorování na počátku třicátých let. V roce 1924 potvrdili experimentálně Breit, Tuve, Appleton a Barnett přítomnost ionosféry. V témže roce představili Breit a Tuve i první ionosondy. V té době ještě neprobíhalo žádné systematické monitorování stavu ionosféry, ale pouze jednotlivá časově omezená pozorování.

Sporadická vrstva není tak „sporadická“, jak by napovídala její název. Jedná se naopak o poměrně pravidelnou a častou ionosférickou formaci vytvářející se prakticky ve všech magnetických šířkách od aurorální oblasti až téměř k magnetickému rovníku. Obrázek 2 ukazuje záznam měření E_s v letních měsících roku 2004 na observatoři Průhonice. Je zřejmé, že vrstva je přítomna prakticky po celou dobu pozorování. Sporadická vrstva E se vyskytuje především v létě, proto většina speciálních měřících kampaní probíhá v letních měsících. Nicméně, i během zimních měsíců dochází k časté formaci této vrstvy.



Obr. 2. Sporadická E vrstva během kampaně v létě 2004.

Sporadická vrstva E představuje tenkou vrstvu, ve které je vysoká koncentrace kovových iontů v oblasti vrstvy E. K vytvoření vrstvy dochází především ve výšce 95 - 120 km. Princip formování Es vrstvy poměrně uspokojivě popisuje teorie stříhu větru formulovaná na začátku šedesátých let Whitehead (1961), and Axford (1963). Teorie předpokládá, že v oblasti E vrstvy ionosféry, která je ovlivňována pohyby neutrálního plynu dochází ke konvergenci metalických iontů do velmi tenké vrstvy vlivem vhodných podmínek v neutrálním větru (obr. 3).

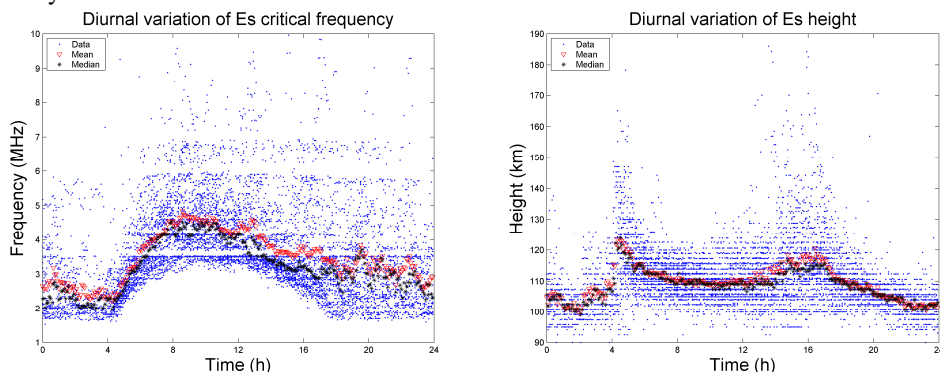


Obr. 3. Vhodná situace pro formaci Es vrstvy. Orientace stříhu neutrálního zonálního větru (horní panel) a meridionálního větru (dolní panel) vůči směru zemského magnetického pole.

Ukazuje se, že pro konvergenci metalických iontů je nejvhodnější pohyb větru k západu v horní vrstvě a směrem k východu v dolní vrstvě v případě zonálního stříhu větru nebo pohyb větru směrem k severu v horní vrstvě a směrem k jihu v dolní vrstvě v případě meridionálního větru. Vertikální pohyb iontů do tenké vrstvy je způsoben pohybem nabitých částic (vlivem strážek s neutrálními částicemi) v magnetickém poli. Na nabitou částici pak působí Lorentzova síla a stáčí její směr pohybu.

Chování sporadické vrstvy E je dále ovlivňováno i dalšími jevy probíhajícími jak v neutrální tak i ionizované atmosféře a to ve všech oblastech od povrchu Země. Stříh větru v neutrální atmosféře je způsoben především pohybem/šířením atmosférických vln od gravitačních až po planetární vlny. Velká řada procesů v troposféře, stratosféře, mesosféře a pravidelný ohřev a ochlazování neutrální atmosféry má za následek buzení atmosférických vln, které se dále šíří z místa svého vzniku. Vliv gravitačních, přílivových a planetárních vln na ionosféru shrnuje práce Kazimirovski (2003).

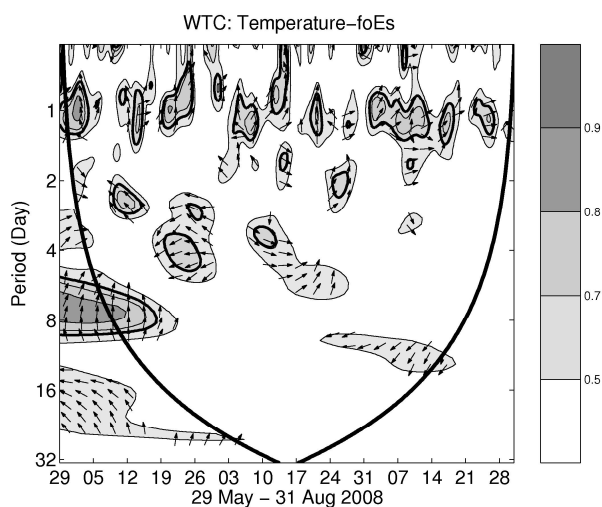
Nejzřetelnější jsou v chování Es vrstvy viditelné přílivové vlny, které způsobují střih větru. Sluneční (termální) přílivové vlny jsou buzeny periodickým ohřevem neutrální atmosféry vlivem zemské rotace (Forbes, 1994). Obrázek 4 ukazuje denní chod kritické frekvence a odpovídající výšky vrstvy Es. Z obrázku jsou zřejmé přílivové periody 24 hodin a 12 hodin.



Obr. 4. Denní průběh kritické frekvence foEs (vlevo) a výšky vrstvy hEs (vpravo).

Přílivové oscilace v kritické frekvenci foEs jsou významným způsobem modulovány s periodou odpovídající planetárním vlnám, tedy v pásmu period 2-30 dní (perioda vlastních kmitů atmosféry odpovídá 2, 5, 10 a 16 dnům). Planetární vlny troposférického původu pronikají až do výšky okolo 100 km a mohou tedy významným způsobem modifikovat chování Es vrstvy. Vlivem planetárních vln na formaci Es vrstvy a její chování se zabývá řada prací (např. Mošna and Koucká Knížová, 2012; Pancheva et al., 2003; Haldoupis et al., 2004 ; Tsunoda et al., 1998; Voiculescu and Haldoupis, 1999 a další).

Přestože byl prokázán jasný výsledný efekt planetárních vln v chování Es vrstvy fyzikální procesy ke kterým dochází zatím nebyly uspokojivě vysvětleny. Ukazuje se, že k ovlivnění Es vrstvy planetárními vlnami z dolních vrstev atmosféry dochází především na periodách blízkých vlastním kmitům atmosféry a to během časově omezené doby (obr.5).



Obr. Ve spektrech kritické frekvence foEs a stratosférické teploty na hladině 10 hPa lze nalézt koherentní vlnové struktury, které odpovídají periodám vlastních kmitů atmosféry (analýza provedená metodou Cross-wavelet transform, Torrence and Compo, 2001)

Přes velmi dlouhý výzkum chování sporadické E vrstvy zůstává mnoho z jejích základních rysů chování stále bez jasného vysvětlení. Tím pádem také prakticky selhávají pokusy o předpověď formování vrstvy.

Reference:

Davies, K., 1990. *Ionospheric Radio*. Peter Peregrinus Ltd, London, UK.

Forbes, M.J., 1994. Tidal and Planetary Waves. In: Johnson, R.M., Killeen, T.L. (Eds.), *The Upper Mesosphere and Lower Thermosphere: A Review of Experiment and Theory*, Geophysical Monograph, vol. 87, AGU, Washington, DC, 67–87.

Haldoupis, C., Pancheva, D., Michell, N.J., 2004. A study of tidal and planetary wave periodicities present in midlatitude sporadic E layers. *Journal of Geophysical Research* 109 Art. No. A02302.

Kazimirovsky, E.S., Herraiz, M., de la Morena, B.A., 2003. Effects on the ionosphere due to phenomena occurring below it. *Surveys in Geophysics* 24, 139–184.

Mošna, Z. and Koucká Knížová, P., 2012. Analysis of wave-like oscillations in parameters of sporadic E layer and neutral atmosphere. *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, 90-91, SI, 172-178, DOI: 10.1016/j.jastp.2012.04.007

Pancheva, D., Haldoupis, C., Meek, C.E., Manson, A.H., Mitchell, N.J., 2003. Evidence of a role for modulated atmospheric tides in the dependence of sporadic E layers on planetary waves. *Journal of Geophysical Research* 108 Art. No. 1176.

Torrence C. and Compo G.P., 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **79**, 61–78.

Tsunoda, R.T., Yamamoto, M., Igarashi, K., Hocke, K., Fukao, S., 1998. Quasi-periodic radar echoes from midlatitude sporadic E and role of the 5-day planetary wave. *Geophysical Research Letters* 25, 951–954.

Voiculescu, M., Haldoupis, C., 1999. Evidence for planetary wave effects on midlatitude backscatter and sporadic E layer occurrence. *Geophysical Research Letters* 26, 1105–1108.