

Srovnání vlivů sluneční a geomagnetické aktivity na módy proměnlivosti atmosférické cirkulace

Radan Huth¹, Lucie Pokorná¹, Josef Bochníček², Pavel Hejda²

¹ Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i., Boční II, 141 31 Praha 4,
email: huth@ufa.cas.cz, pokorna@ufa.cas.cz

² Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Boční II, 141 31 Praha 4, email: jboch@ig.cas.cz,
ph@ig.cas.cz

Shrnutí

Naše předchozí výsledky ukazují, že tvar, prostorové rozložení a intenzita módů nízkofrekvenční proměnlivosti atmosférické cirkulace (rovněž nazývaných „dálkové vazby“ z anglického „teleconnections“) na severní polokouli v zimě jsou významně ovlivněny fází 11-letého slunečního cyklu. Zde rozšiřujeme analýzu na geomagnetickou aktivitu a srovnáváme výsledky se sluneční aktivitou. Zimní měsíce jsou rozděleny do tří tříd, nízké, střední a vysoké, podle úrovně geomagnetické a sluneční aktivity. Navíc zjišťujeme, zda jsou sluneční vlivy zprostředkovány přes geomagnetickou aktivitu, a to tak, že měsíční průměry jsou počítány jen pro dny s geomagnetickým indexem $A_p \leq 15$. Módy proměnlivosti jsou určeny rotovanou analýzou hlavních složek odděleně v každé třídě geomagnetické a sluneční aktivity. Detekovány jsou všechny módy, které se vyskytují ve středních a vysokých zeměpisných šířkách severní polokoule, mj. severoatlantická oscilace, pacificko-severoamerický mód, západopacifická oscilace a severoasijský mód. Vlivy geomagnetické aktivity jsou zčásti odlišné od sluneční aktivity a slabší. Většina slunečních vlivů se zdá být přímo působících, nikoliv zprostředkovaných přes geomagnetickou aktivitu.

Abstract

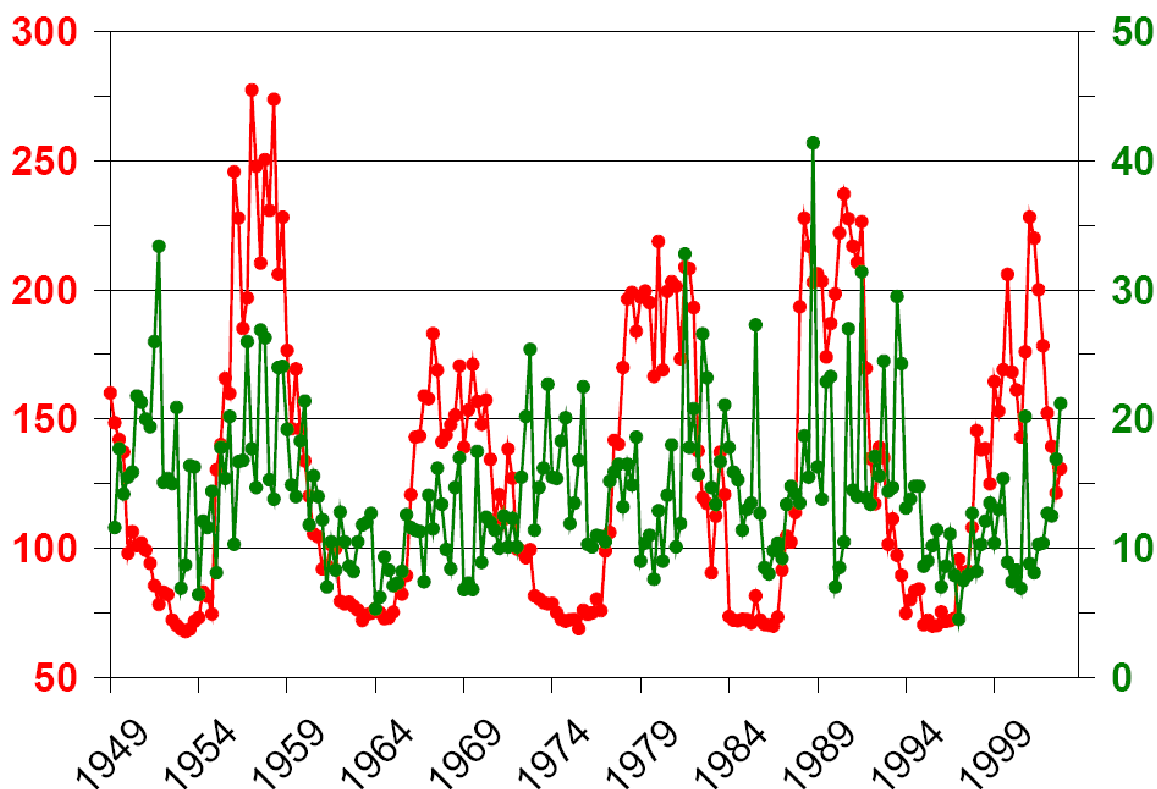
Our recent results indicate that the shapes, spatial extent, and intensity of modes of low-frequency variability of atmospheric circulation (also called ‘teleconnections’) in the Northern Hemisphere in winter are significantly affected by the phase of the 11-yr solar cycle. Here we extend the analysis to the geomagnetic activity, and compare the results with the solar activity. The winter months are stratified by the geomagnetic and solar activity into three classes, low, moderate, and high. Whether solar effects are mediated through the geomagnetic activity is in addition investigated by averaging only over the days with geomagnetic activity $A_p \leq 15$. The teleconnections are determined by rotated principal component analysis separately in each class of geomagnetic and solar activity. Detected are all the modes known to exist in the Northern Hemisphere mid and high latitudes, including among others the North Atlantic Oscillation, Pacific / North American pattern, West Pacific Oscillation, and North Asian pattern. The effects of geomagnetic activity are partly different from and weaker than those of solar activity. Most solar effects seem to be direct, not mediated via geomagnetic activity.

1. Úvod

V uplynulých letech jsme prokázali vliv sluneční aktivity na módy proměnlivosti atmosférické cirkulace ve střední troposféře, konkrétně v hladině 500 hPa (Huth a kol. 2005; 2006). Předchozí práce ukazují, že některé jiné aspekty troposférické cirkulace i další proměnné, jako např. teplota, jsou ovlivňovány geomagnetickou aktivitou (např. Bochníček a kol. 2001; Bochníček a Hejda 2002, 2005, 2006; Thejll a kol. 2003; Valev 2006). Proto v tomto příspěvku předkládáme analýzu vlivu geomagnetické aktivity na módy proměnlivosti, jež lze pokládat za „základní stavební kameny“ atmosférické cirkulace.

Možná odlišnost vlivů sluneční a geomagnetické aktivity vyplývá mj. z časového průběhu jejich indexů: zatímco v dlouhých časových měřítkách (přesahujících jeden rok) jsou sluneční a geomagnetická aktivita významně korelovány, v kratších časových měřítcích je tomu jinak. To ilustruje obr. 1, jenž ukazuje časový průběh měsíčních průměrů slunečního radiového toku o vlnové délce 10.7 cm (F10.7) a geomagnetického A_p indexu.

Tento příspěvek se pomocí statistické analýzy snaží odpovědět na následující otázky: Lze detekovat rovněž vlivy geomagnetické aktivity na módy proměnlivosti? Jsou sluneční a geomagnetické vlivy podobné? Jsou sluneční vlivy zprostředkovány přes jejich působení na geomagnetickou aktivitu? Nebo jsou sluneční a geomagnetické vlivy navzájem nezávislé?



Obr. 1. Měsíční průměry sluneční aktivity (F10.7, červeně, stupnice vlevo) a geomagnetické aktivity (index Ap, zeleně, stupnice vpravo) pro měsíce prosinec až březen.

2. Data a metodika

Analýza zahrnuje měsíční průměry v prodloužené zimě (prosinec až březen) v letech 1950 až 2003. Sluneční aktivitu charakterizujeme slunečním radiovým tokem F10.7; geomagnetickou aktivitu indexem Ap.

Atmosférická cirkulace je popsána výškami hladiny 500 hPa; příslušná data byla vzata z reanalýz produkovaných Národním centrem pro environmentální předpověď (NCEP / NCAR) ve Spojených státech (Kalnay a kol. 1996). Do analýzy vstupují data v pravidelné síti 5° x 5° severně od 20° s.š. včetně. Módy proměnlivosti jsou definovány pomocí analýzy hlavních složek. Data do ní vstupují ve formě odchylek od dlouhodobého průměru a jsou vážena odmocninou z kosinu zeměpisné šířky (aby se odstranil vliv zmenšování vzdálenosti mezi uzlovými body směrem k pólům). Jako míra podobnosti je použita kovarianční matice. Ve všech analýzách (viz níže) je uchováno prvních devět hlavních složek, které vysvětlují většinu proměnlivosti přítomné v datech. Těchto devět vedoucích hlavních složek je kolmo rotováno s využitím kritéria VARIMAX (viz např. Richman 1986). Získané módy proměnlivosti lze považovat za hlavní stavební kameny atmosférické cirkulace v tom smyslu, že pole výšek hladiny 500 hPa lze pro každý měsíc s dobrou přesností aproximovat lineární kombinací těchto devíti módů. Všechny devět detekovaných módů ve většině analýz odpovídá módům popsaným Barnstonem a Livezeyem (1987), proto se v naší studii přidržujeme jimi zavedeného názvosloví.

Data rozdělujeme na třetiny (do tří stejně početných tříd) podle velikosti sluneční nebo geomagnetické aktivity. V každé skupině dat počítáme analýzu hlavních složek zvlášť. Dostáváme tak sadu tří analýz pro sluneční aktivitu a tří analýz pro geomagnetickou aktivitu. Abychom mohli posoudit, nakolik je geomagnetická aktivita prostředníkem pro vlivy sluneční aktivity, analyzovali jsme navíc vliv sluneční aktivity jen pro dny s nízkou geomagnetickou aktivitou. K tomu účelu jsme spočítali průměrné měsíční hodnoty výšek hladiny 500 hPa jen ze dní, kdy index geomagnetické aktivity byl 15 a menší (tj. geomagnetické pole bylo klidné nebo neustálené). Další postup analýzy byla stejný jako pro vliv samotné sluneční aktivity, tj. analýza hlavních složek byla spočtena v každé třídě určené velikostí sluneční aktivity.

Výsledky jsou prezentovány ve formě map (obr. 2 až 11), jež představují normalizované zátěže (loadings) jednotlivých hlavních složek, a tedy korelace mezi polem výšek hladiny 500 hPa a intenzitou (skóre) jednotlivých módů. Pro každý mód proměnlivosti je ukázáno devět map, jedna pro každou analýzu. Řádky odshora odpovídají sluneční aktivitě, sluneční aktivitě v geomagneticky klidných dnech a geomagnetické aktivitě; sloupce odleva odpovídají nízké, střední a vysoké úrovni příslušné aktivity. Číslo v levém horním rohu představuje pořadí daného módu v dané analýze; čím nižší pořadí, tím významnější (intenzivnější) daný mód je. Módy jsou prezentovány v geografickém pořadí, tj. od Evropy přes Asii po Severní Ameriku: severoatlantická oscilace (NAO, obr. 2), východoatlantický mód (EA, obr.3), první a druhý eurasijský mód (EU1, EU2, obr. 4 a 5), severoasijský mód (NAs, obr. 6), pacificko-severoamerický mód (PNA, obr. 7), tropicko-severopolokoulový

mód (TNH, obr.8), západopacifická oscilace (WPO, obr.9) a východopacifický mód (EP, obr.10). Na závěr (obr. 11) jsou zobrazen módy, které nenalézají svůj protějšek ve studii Barnstona a Livezey (1987).

3. Shrnutí vlivů sluneční aktivity

Nejdříve shrneme vlivy sluneční aktivity na módy nízkofrekvenční proměnlivosti, publikované již dříve (Huth a kol. 2005, 2006) – viz první řádky v obr. 2 až 11.

Sluneční aktivita ovlivňuje intenzitu, rozsah i polohu všech módů. Za vysoké sluneční aktivity jsou zonální módy intenzivnější (vysvětlují větší část rozptylu), zatímco meridionálně orientované módy jsou slabší a jsou orientovány více zonálně. Pro všechny módy platí, že za vysoké sluneční aktivity zabírají jejich akční centra větší plochu a u většiny módů pozorujeme posun akčních center směrem k jihu. Východopacifický (EP) mód se neobjevuje za nízké sluneční aktivity, zatímco Tropiccko-severopolokoulový (TNH) mód chybí za vysoké sluneční aktivity. Za vysoké aktivity dále dochází k rozštěpení Severoatlantické oscilace (NAO).

4. Vliv geomagnetické aktivity

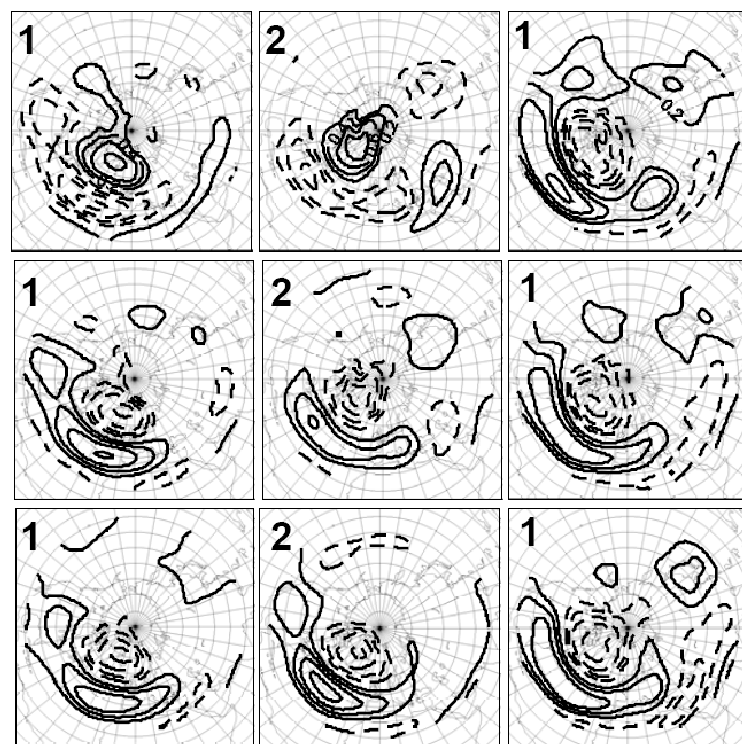
Módy proměnlivosti nalezené za nízké, střední a vysoké geomagnetické aktivity jsou zobrazeny ve spodní řádce map na obr. 2 až 11. Za vysoké geomagnetické aktivity pozorujeme vlnovité rozšíření zonálně orientovaných módů NAO, EA a WPO; u některých meridionálních módů (EU1, EP) pozorujeme jejich zonalizaci. Mód EP se za střední geomagnetické aktivity nevyskytuje; místo něj se objevuje mód se silně vyjádřeným vlnovým číslem 4, velmi podobný módu, který se objevuje v analýzách pro nízkou sluneční aktivitu (obr. 11). Obecně pak lze říci, že citlivost módů na změny geomagnetické aktivity je ve srovnání se sluneční aktivitou menší a že geomagnetické vlivy (tj. rozdíly mezi mapami odpovídajícími různým úrovním geomagnetické aktivity) jsou patrné více v euro-atlantické než pacificko-severoamerické oblasti.

V některých případech lze najít podobnost mezi odpovědí módů na nízkou sluneční aktivitu a na střední geomagnetickou aktivitu. Příkladem může být chybějící mód EP, výběžek arktického centra NAs nad Aljašku nebo tvar a poloha floridského a západoamerického centra módu PNA.

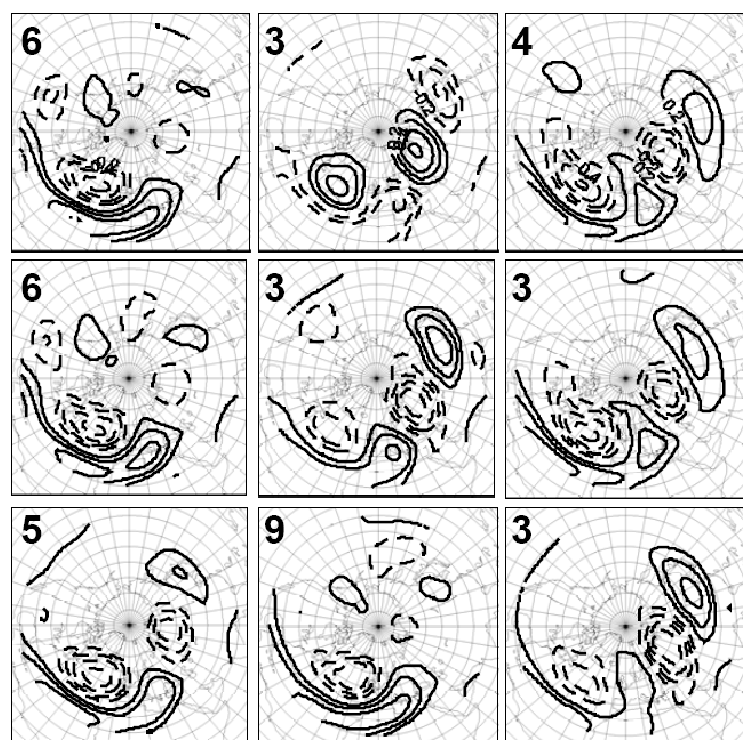
5. Vliv sluneční aktivity za nízké geomagnetické aktivity

Vyloučíme-li z analýzy vlivu sluneční aktivity dny se střední a vyšší geomagnetickou aktivitou, kdy index A_p přesahuje 15 (2. řádek v obr. 2 až 11), dostaneme výsledky velmi podobné vlivu sluneční aktivity počítanému bez ohledu na geomagnetickou aktivitu (1. řádek v obr. 2 až 11). Nicméně některé menší rozdíly lze najít; jejich většina se přitom objevuje v euro-atlantické oblasti. V analýze omezené na dny s nízkou geomagnetickou aktivitou vidíme např. za slunečního maxima méně vyjádřenou zonalizaci módu EU1 a rozdílné přerozdělení akčních center mezi módy EU2 a NAs, což však mohou být projevy nestability řešení v důsledku omezeného rozsahu datových souborů. Dále za slunečního maxima nedochází k rozštěpení NAO.

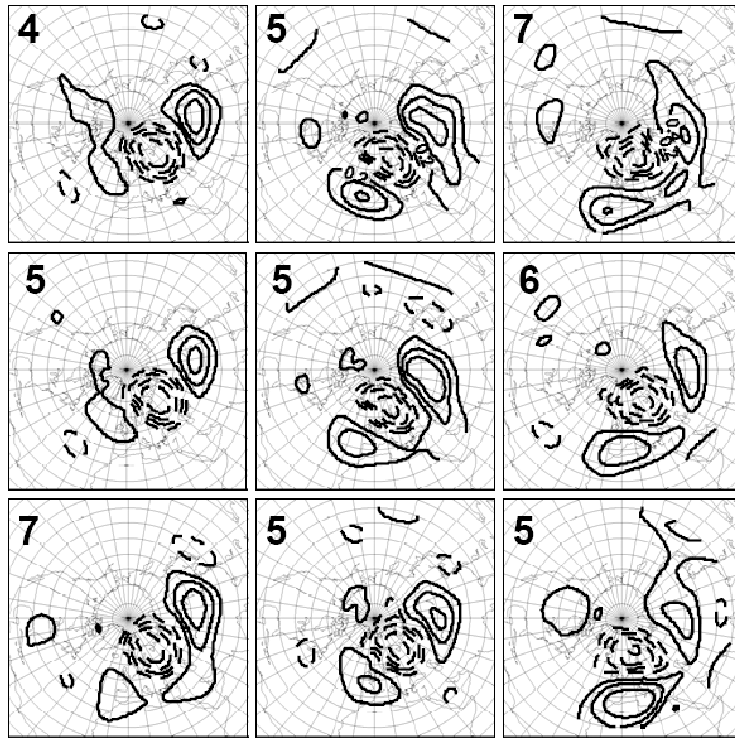
To svědčí o tom, že s možnou výjimkou štěpení NAO je většina vlivu sluneční aktivity přímá, nikoliv zprostředkovaná přes vysokou geomagnetickou aktivitu.



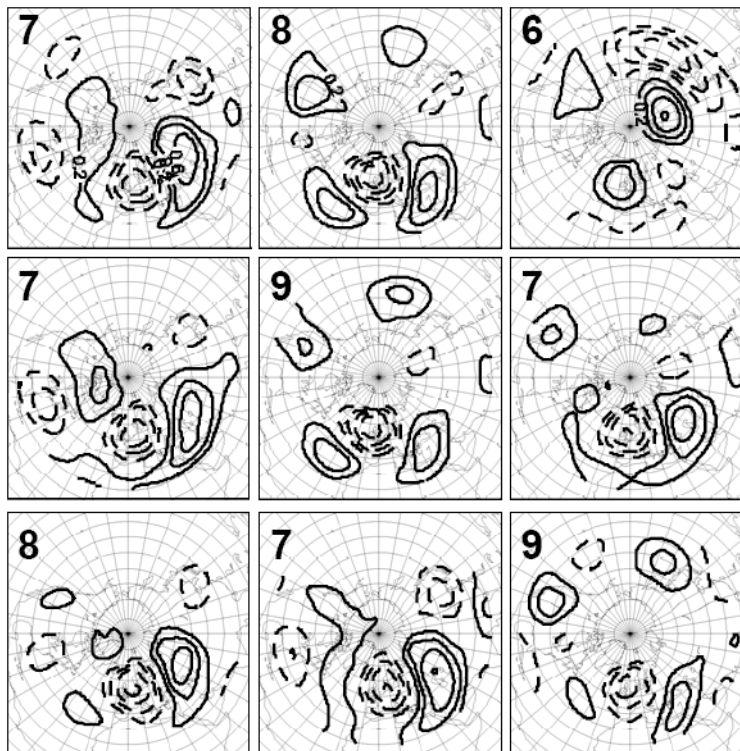
Obr. 2. Normalizované zátěže pro severoatlantickou oscilaci (NAO). Řádky odzhora dolů: vliv sluneční aktivity, sluneční aktivity s vyloučením geomagneticky aktivních dnů, geomagnetické aktivity. Sloupce zleva doprava: nízká, střední, vysoká aktivita. Vzdálenost izočar je 0.2, záporné izočáry jsou vyznačeny čárkovaně, nulová izočára je vynechána. Čísla v levém horním rohu označují pořadí důležitosti NAO v dané analýze.



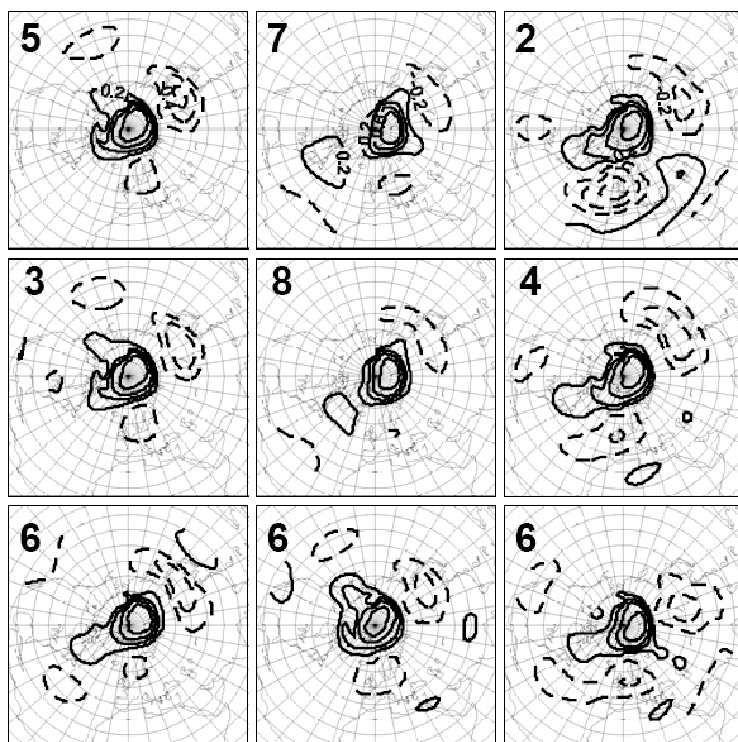
Obr. 3. Jako obr. 2, ale pro východoatlantický mód (EA).



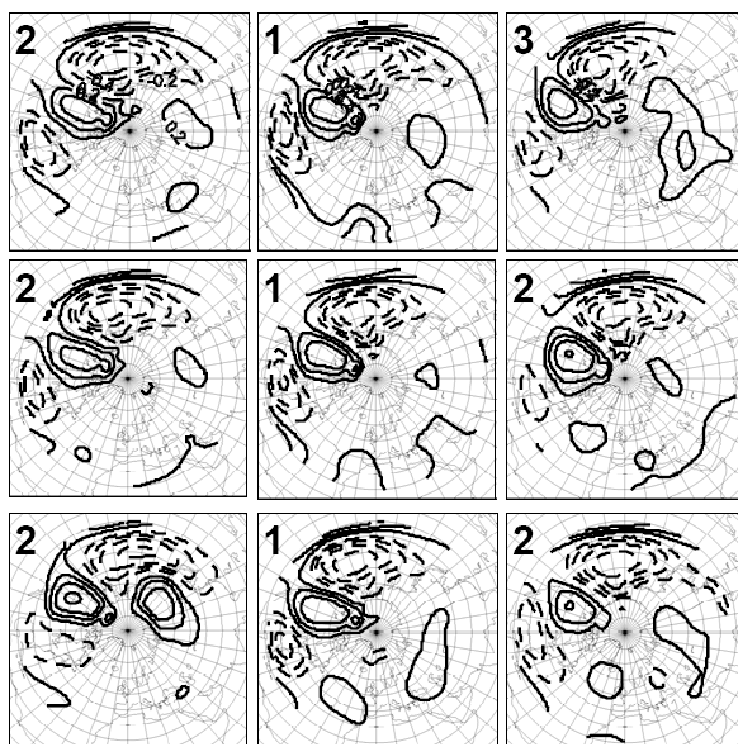
Obr. 4. Jako obr. 2, ale pro první euroasijský mód



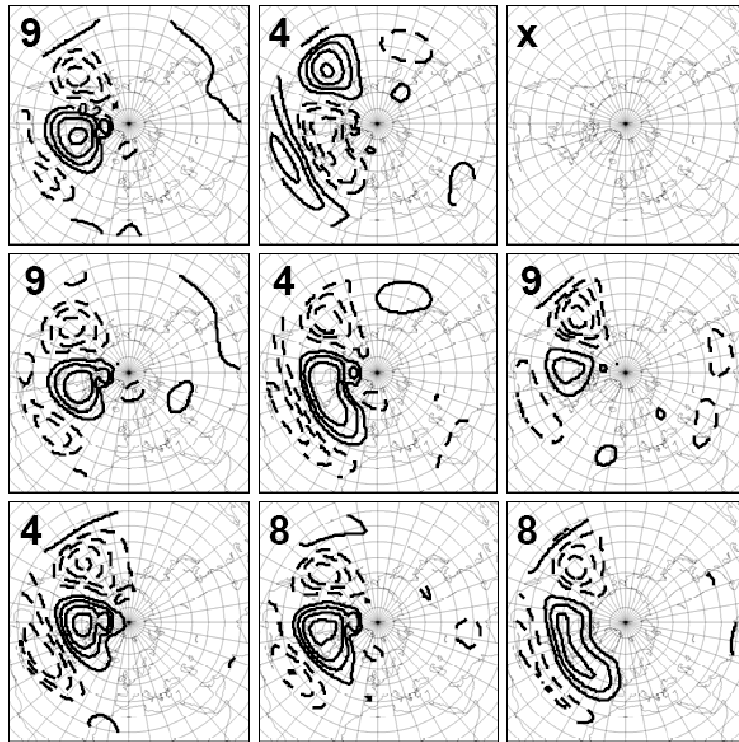
Obr. 5. Jako obr. 2, ale pro druhý eurasijský mód (EU2).



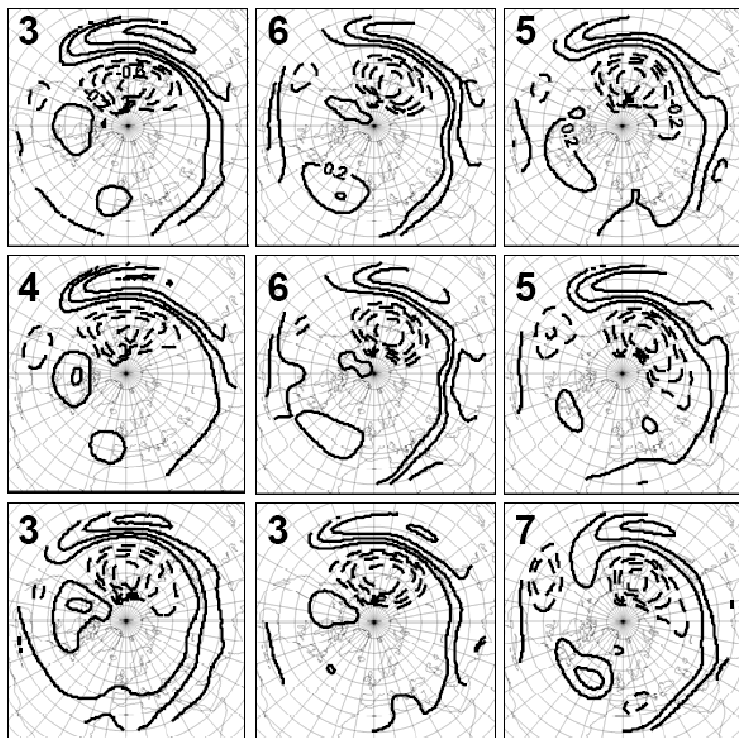
Obr. 6. Jako obr. 2, ale pro severoasijský mód (NAs).



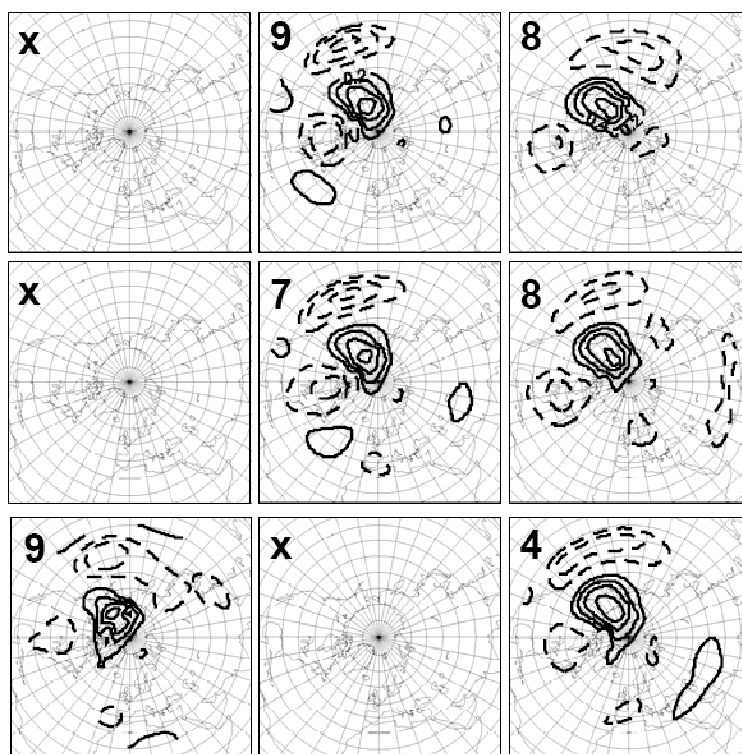
Obr. 7. Jako obr. 2, ale pro pacificko-severoamerický mód (PNA).



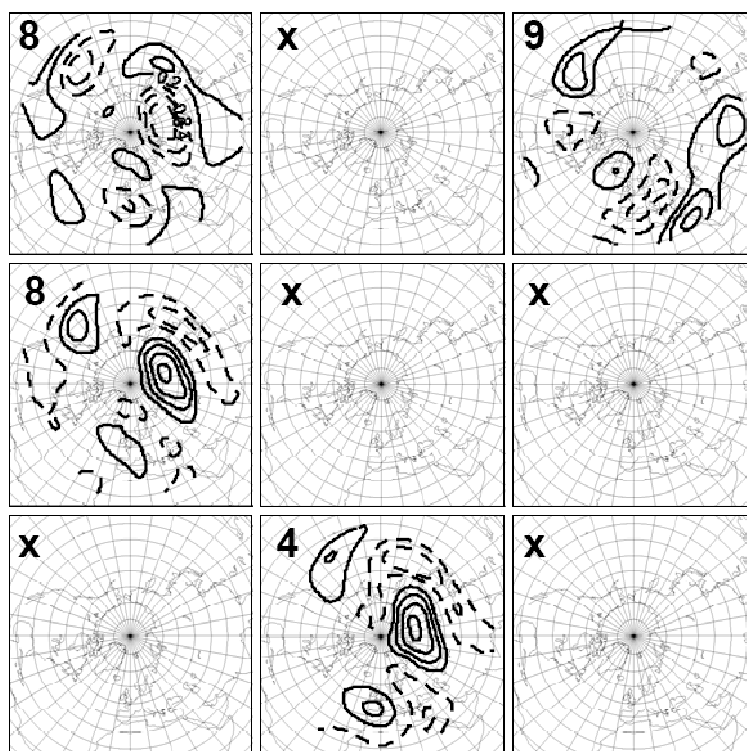
Obr. 8. Jako obr. 2, ale pro tropiko-severopolokoulový mód (TNH).



Obr. 9. Jako obr. 2, ale pro západopacifickou oscilaci (WPO).



Obr. 10. Jako obr. 2, ale pro východopacifický mód (EP).



Obr. 11. Jako obr. 2, ale pro módy nevyskytující se v práci Barnston a Livezey (1987): mód s převažujícím vlnovým číslem 4 (nízká a střední sluneční i geomagnetická aktivita) a východní odtržená část NAO (vysoká sluneční aktivita)

6. Závěry

Odpovědi na otázky položené v úvodu jsou následující:

Vlivy geomagnetické aktivity se v mnohém liší od vlivů sluneční aktivity a jsou většinou slaběji vyjádřeny. Odlišnost vlivů je v souladu s předchozími studiemi, které zkoumaly vliv obou druhů aktivity pomocí kompozitní nebo korelační analýzy (Bochníček a kol. 2001; Bochníček a Hejda 2002, 2005, 2006; Valev 2006). Většina vlivů sluneční aktivity se zdá být přímá, nikoliv zprostředkovaná přes geomagnetickou aktivitu. Výjimkou může být štěpení NAO, k němuž nedochází při vysoké sluneční aktivity za geomagneticky neaktivních dnů – to může znamenat, že ve štěpení NAO hraje geomagnetická aktivita sama o sobě významnější roli.

Poděkování

Tato práce byla podpořena Grantovou agenturou Akademie věd ČR, projekt A3042401.

Literatura

- Barnston, A.G., Livezey, R.E., 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1083-1126.
- Bochníček, J., Hejda, P., Pýcha, J., 2001: Comparison of solar and geomagnetic activity effects on the Northern Hemisphere weather changes. *Studia geophys. geod.*, **45**, 133-154.
- Bochníček, J., Hejda, P., 2002: Association between extraterrestrial phenomena and weather changes in the Northern Hemisphere in winter. *Surv. Geophys.*, **23**, 303-333.
- Bochníček, J., Hejda, P., 2005: The winter NAO pattern changes in association with solar and geomagnetic activity. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, **67**, 17-32.
- Bochníček, J., Hejda, P., 2006: Connections between the distribution of prevailing winds in the winter Northern Hemisphere, solar/geomagnetic activity and the QBO phase. *Studia geophys. geod.*, **50**, 299-318.
- Huth, R., Pokorná, L., Bochníček, J., Hejda, P., 2005: Vliv sluneční aktivity na módy proměnlivosti atmosférické cirkulace. In: *Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí*, Hvězdárna v Úpici, Úpice, 98-105.
- Huth, R., Pokorná, L., Bochníček, J., Hejda, P., 2006: Solar cycle effects on modes of low-frequency circulation variability. *J. Geophys. Res.*, **111**, D22107, doi: 10.1029/2005JD006813.
- Kalnay, E., a kol., 1996: The NCEP / NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **77**, 437-471.
- Richman, M.B., 1986: Rotation of principal components. *J. Climatol.*, **6**, 293-335.
- Thejll, P., Christiansen, B., Gleisner, H., 2003: On correlations between the North Atlantic Oscillation, geopotential heights, and geomagnetic activity. *Geophys. Res. Lett.*, **20**, 1347, doi: 10.1029/2002GL016598.
- Valev, D., 2006: Statistical relationships between the surface air temperature anomalies and the solar and geomagnetic activity indices. *Phys. Chem. Earth*, **31**, 109-112.