

Vliv sluneční a geomagnetické aktivity na chování troposféry v zimě 1981/1982

Josef Bochníček¹, Pavel Hejda¹, Radan Huth²
Geofyzikální ústav AV ČR, Boční II 1401, 141 31 Praha 4
Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Boční II 1401, 141 31 Praha 4

Byl analyzován vztah mezi změnami sluneční/geomagnetické aktivity a změnami atmosférického tlaku, teploty a větrných polí na severní polokouli v průběhu zimy (prosinec-březen) roku 1981/1982. Atmosférický tlak a teplota byly vyšetřovány v intervalu hladin 850 mb - 100 mb, větrná pole na hladinách 500 mb, 100 mb a 50 mb. Ukázalo se, že silný vzestup geomagnetické aktivity, trvající od počátku února do počátku března, koincidoval se zesílením stratosférického polárního nočního víru (Polar-Night Jet), zesílením zonálního proudění v troposféře a výraznou změnou rozložení troposférických tlakových a teplotních polí.

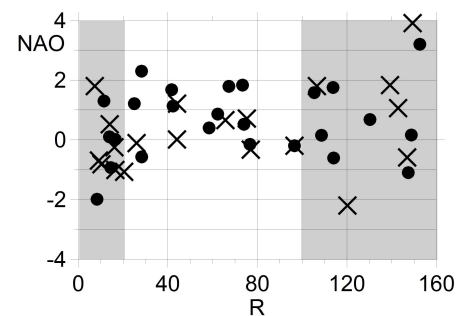
Solar and geomagnetic activity effects on the troposphere behaviour in winter 1981/1982

The association between the changes in solar/geomagnetic activity and changes in the lower atmosphere pressure, temperature and wind fields was analyzed for the Northern Hemisphere winter (December-March) of 1981/1982. Atmosphere pressure and temperature fields were investigated in the range from 850 mb to 100 mb, wind fields in 500 mb, 100 mb and 50 mb. It turned out that the strong increase in geomagnetic activity, persisting from the beginning of February to the beginning of March, coincided with the strengthening of Polar-Night Jet (PNJ), the strengthening of tropospheric zonal flow and with the distinct changes in distribution of tropospheric pressure and temperature fields.

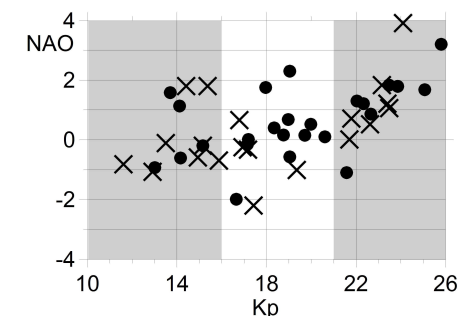
ÚVOD

Na souvislost mezi uspořádáním meteorologických polí zimní troposféry během určité fáze kvazibienální oscilace (QBO) a hodnotou sluneční, respektive geomagnetické, aktivity ukázala řada prací. Za všechny jmenujme například Labitzke, van Loon (1988), van Loon, Labitzke (1988), Barnston, Livezey (1989, 1991), Balachandran, Rind (1995), Rind, Balachandran (1995) a Balachandran a kol.(1999). Zřetelnou se však tato souvislost stává pouze tehdy, je-li hodnota sluneční, respektive geomagnetické, aktivity buď velmi vysoká, nebo velmi nízká. Omezení tohoto vztahu na max/min hodnoty názorně dokumentují grafy na obr. 1-2, popisující závislost mezi hodnotou sluneční, respektive geomagnetické, aktivity a hodnotou indexu NAO (North Atlantic Oscillation), představujícího důležitou charakteristiku atmosférické cirkulace v oblasti Atlantiku. Je-li hodnota tohoto indexu kladná, dochází nad Atlantikem k intenzivnímu zonálnímu proudění.

Intenzivní zonální proudění je příčinou vlhkých a relativně teplých zimních období v západní a střední Evropě. Je-li hodnota indexu NAO záporná, zonální proudění se nad severovýchodním Atlantikem výrazně zeslabí. Tyto změny proudění vedou k relativně suchým a chladným zimám v západní a střední Evropě. Z obr. 1 a obr.2 vyplývá, že při vysoké sluneční ($R > 100$) a geomagnetické aktivitě ($\Sigma Kp > 21$), kde R a ΣKp jsou průměrné denní hodnoty (v sledovaném časovém intervalu) Wolfova čísla a denního součtu Kp indexů, vykazuje NAO index tendenci nabývat kladných hodnot. V případě geomagnetické aktivity se pak tato tendence stává velmi výraznou.

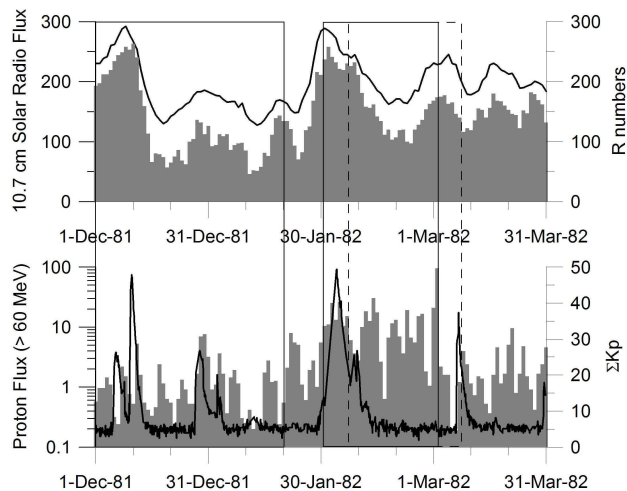


Obr. 1. NAO versus sluneční aktivity v průběhu let 1963-2006. ☉ - fáze QBO-west, ☼ - fáze QBO-east.



Obr. 2. NAO versus geomagnetická aktivity v průběhu let 1963-2006. ☉ - fáze QBO-west, ☼ - fáze QBO-east.

Při nízké sluneční ($R < 20$), nebo nízké geomagnetické aktivitě ($\Sigma Kp < 16$) vykazuje NAO index tendenci nabývat hodnot jen jedné polarity pouze v případě aktivity geomagnetické. Tato tendence nicméně není výrazná. NAO index nabývá za těchto podmínek převážně záporných hodnot. Hranice pro vysoké a nízké aktivity byly zvoleny tak, aby počet případů vysoké/nízké sluneční aktivity byl přibližně roven počtu případů vysoké/nízké geomagnetické aktivity.



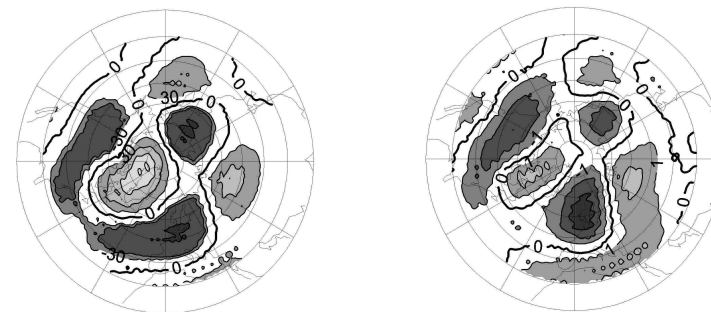
Obr. 3. Průběh sluneční aktivity, geomagnetické aktivity a intenzity toku slunečních protonů vysokých energií v průběhu zimy 1981/1982. Sluneční aktivity je reprezentována Wolfovým číslem R a tokem F10.7. Geomagnetická aktivita je reprezentována denní sumou indexů Kp.

ZIMA 1981/1982

Zimní období 1981/1982 se vyznačovalo výraznými nerovnoměrnostmi v průběhu geomagnetické aktivity. Zatímco v prosinci a v prvních dvou lednových dekadách byla geomagnetická aktivita nízká (průměrná ΣKp byla rovna 16.3; respektive 12.7) v únoru a počátkem března byla naopak velmi vysoká (průměrná ΣKp byla 31.6). Aktivita sluneční byla naproti tomu vysoká během celé zimy. Průměrná hodnota R čísla v prosinci byla 150.1, v lednu 111.2, v únoru 163.3 a v březnu 153.8.

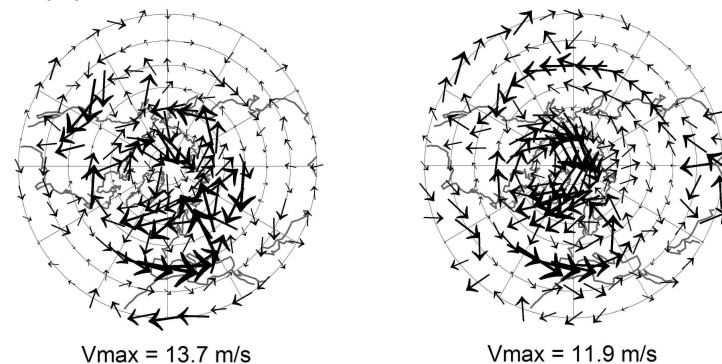
Chování obou aktivit během tohoto zimního období je spolu s tokem slunečních protonů vysokých energií ($E > 60$ MeV) je ukázáno na obr. 3. Sluneční aktivity je reprezentována Wolfovým číslem R a tokem F10.7, geomagnetická aktivita denní sumou indexů Kp. Z obrázku je zřejmé, že užší korelaci mezi průběhem sluneční a geomagnetické aktivity lze nalézt pouze mezi 6.-9. dekadou vyšetřovaného zimního intervalu. Silné protonové erupce, ke kterým došlo v 1., 3., 7. a 10 dekadě, vyvolaly zvýšení geomagnetické aktivity jen v 7. dekadě. Kvazibienální oscilace (QBO) měla v průběhu celé zimy fázi east.

Odchyly geopotenciální hladiny 500 mb Odchyly teploty na hladině 500 mb



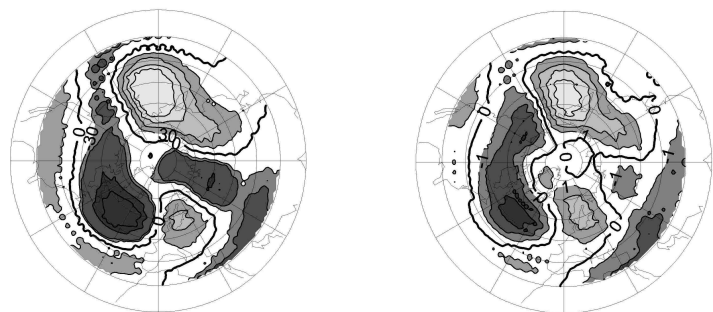
Odchyly větru na hladině 500 mb

Odchyly větru na hladině 100 mb

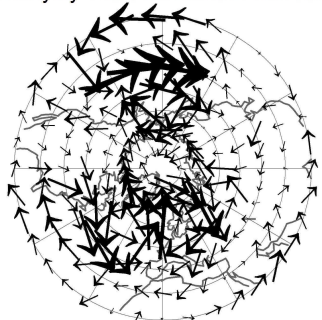


Obr. 4. Rozložení tlakových, teplotních a větrných polí v intervalu (1.12.1981 - 20.1.1982), vyznačujícím se nízkou geomagnetickou aktivitou. Rozložení jsou podobná kompozitním mapám pro nízkou geomagnetickou aktivitu a fázi QBO-east v Bochníček a kol. (1999) a Bochníček, Hejda (2002).

Odchyly geopotenciální hladiny 500 mb Odchyly teploty na hladině 500 mb

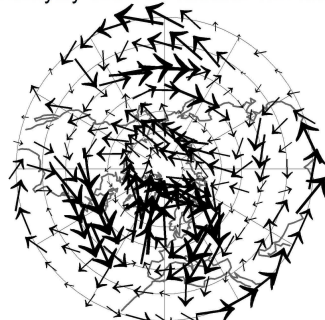


Odchyly větru na hladině 500 mb



$V_{max} = 17.5 \text{ m/s}$

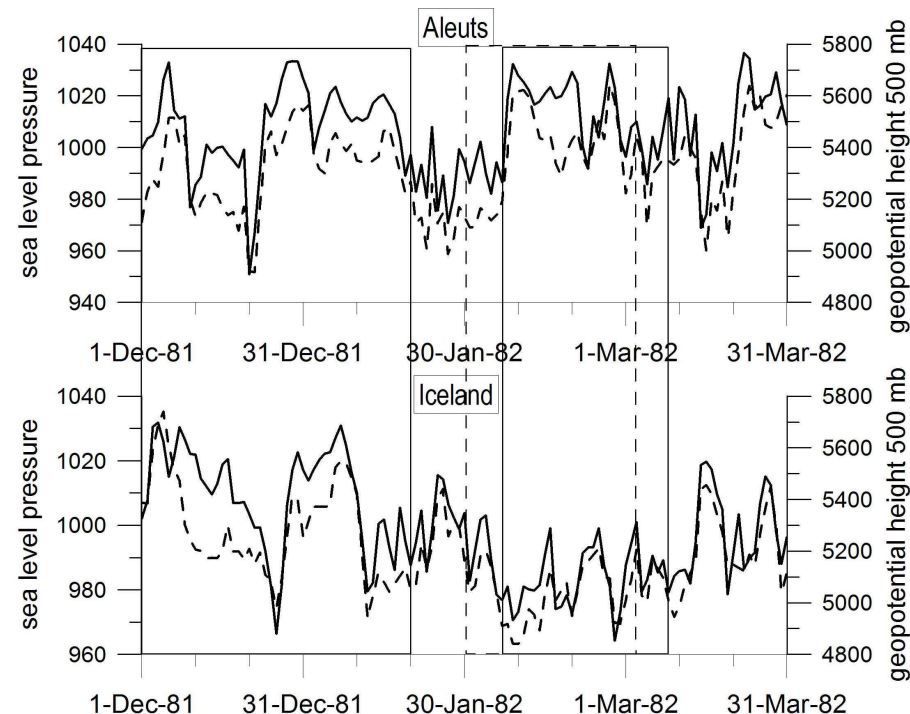
Odchyly větru na hladině 100 mb



$V_{max} = 13.1 \text{ m/s}$

Obr. 5. Rozložení tlakových, teplotních a větrných polí v intervalu (6.2. - 8.3.1982), vyznačujícím se vysokou geomagnetickou aktivitou. Rozložení jsou podobná kompozitním mapám pro vysokou geomagnetickou aktivitu a fázi QBO-east v Bochníček a kol. (1999) a Bochníček, Hejda (2002).

Změny tlaku, teploty a intenzity převažujících větrů naznačily, že mezi rozložením meteorologických polí a průběhem geomagnetické aktivity existuje úzká souvislost. Ukázalo se totiž, že rozložení odchylek od dlouhodobých středních hodnot tlaku, teploty a převládajících větrů se v období nízké geomagnetické aktivity (1.12.1981 - 20.1.1982) (viz obr. 4) zásadním způsobem odlišuje od rozložení v období vysoké geomagnetické aktivity (6.2. - 8.3.1982) (viz obr. 5). Rozložení odchylek teplot a tlaků v období nízké/vysoké geomagnetické aktivity byla podobná rozložením v kompozitních mapách K_{pmin} , QBO-east/ K_{pmax} , QBO-east (Bochníček a kol., 1999; Bochníček, Hejda, 2002, 2005). Průběh denních hodnot tlaku Islandské a Aleutské níže (obr. 6) ukázal, že po únorovém ostrém vzestupu geomagnetické aktivity došlo se zpožděním ~ 6 dnů k vyplnění Aleutské a výraznému prohloubení Islandské tlakové níže.



Obr. 6. Průběh denních hodnot tlaku Aleutské a Islandské tlakové níže na úrovni moře (plná čára) a na hladině 500 mb (čárkovaná čára).

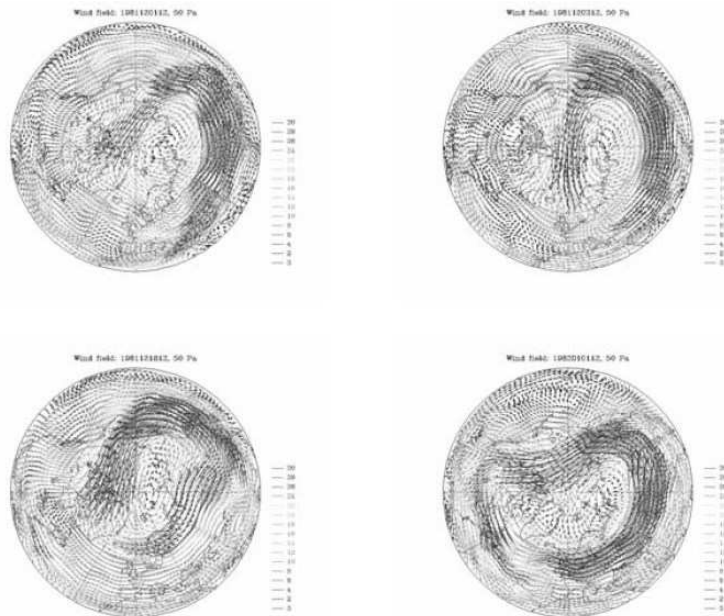
V souvislosti se změnou geomagnetické aktivity vykazovalo změnu chování i proudění v noční polární dolní stratosféře (50 mb), tzv. Polar Night Jet. Zatímco v době nízké geomagnetické aktivity (1.12.1981 - 20.1.1982) byl PNJ slabý, narušený (obr. 7), v době vysoké geomagnetické aktivity (6.2.1982 - 8.3.1982) byl PNJ naopak silný, výrazný (obr. 8).

Změny intenzity PNJ korespondovaly se změnami NAO indexu. Jeho průměrná hodnota v prosinci byla -2.20, v lednu -0.72, v únoru 2.25 a v březnu 1.66.

DISKUSE

Sluneční aktivita patří k nejčastěji uváděným extraterestrickým faktorům, schopným ovlivnit rozložení meteorologických polí v dolní atmosféře. Geomagnetická aktivita bývá naproti tomu opomíjena. Důvodem tohoto opomíjení je, vedle rozšířené představy, že aktivita geomagnetická je pouhým derivátem aktivity sluneční, také fakt, že po dlouhou dobu neexistoval model, který by souvislost mezi geomagnetickou aktivitou a změnami v dolní atmosféře popisoval. Model takovýchto vlastností byl představen až počátkem tohoto desetiletí Arnoldem a Robinsonem (2000, 2001). Ti ukázali, že ohřev, který zvýšená geomagnetická aktivita v polární dolní termosféře vyvolává, vede k poklesu teplot

v severní dolní stratosféře. Experimentální potvrzení tohoto modelem předpověděného vztahu lze, vzhledem k úzké souvislosti mezi teplotou v dolní severní stratosféře a intenzitou stratosférického vortexu -PNJ (Baldwin a Dunkerton, (1999, 2001), nalézt na obr.7-8 , ukazujících intenzitu PNJ při nízké a při vysoké geomagnetické aktivitě. Uvědomíme-li si, že PNJ velmi dobře koreluje s NAO indexem (Kodera a Yamazaki, 1994; Kodera a kol., 1999; Baldwin a Dunkerton, 1999, 2001), můžeme údaje o hodnotách NAO indexu v jednotlivých měsících zimy 1981/1982 a experimentální výsledky ukázané na obr. 4-5 považovat za soubor indicií nasvědčující fyzikální plausibilitě kauzálního řetězce: vysoká geomagnetická aktivita - ohřev dolní termosféry - ochlazení dolní stratosféry - zesílení PNJ - NAO+.



Obr. 7. Větrné pole v dolní stratosféře. Nízká geomagnetická aktivita (1.12.1981 - 20.1.1982). Záznamy větrného pole v 50 mb demonstrují narušený Polar Night Jet.

ZÁVĚR

V intervalech (1.12.1981 - 20.1.1982) a (6.2. - 8.3.1982) byla úroveň sluneční aktivity srovnatelná, nicméně rozložení troposférických tlakových, teplotních a větrných polí se v těchto dvou intervalech výrazně od sebe lišilo.

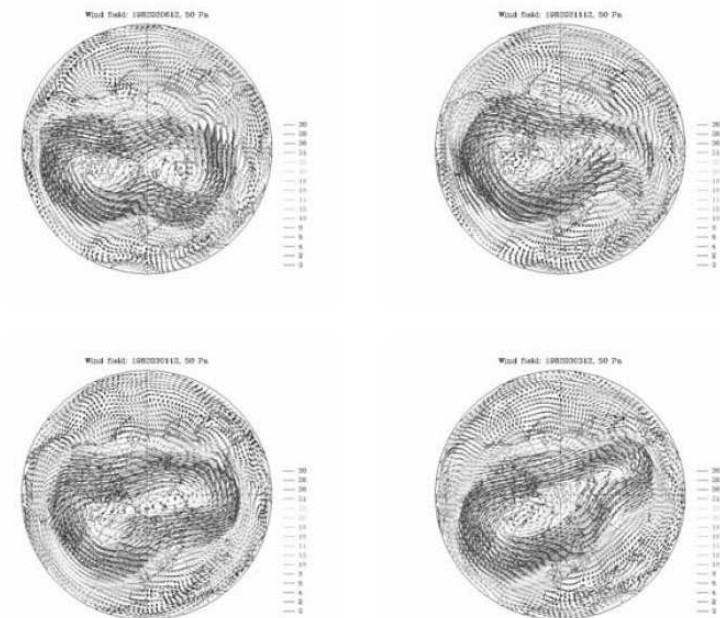
Tato změna v rozložení troposférických polí korespondovala, a to s několikadenním zpožděním, se změnou geomagnetické aktivity.

S růstem geomagnetické aktivity se Aleutská tlaková níže vyplňovala, zatímco Islandská tlaková níže prohlubovala. Amplituda cyklických fluktuací Islandské níže se s rostoucí geomagnetickou aktivitou zmenšovala.

Rozložení tlakových a teplotních polí odpovídalo během nízké geomagnetické aktivity severoatlantické oscilaci záporné, během vysoké aktivity severoatlantické oscilaci kladné.

Zesilování a zeslabování větru vanoucího v polární dolní stratosféře (Polar Night Jet - 50 mb) korespondovalo se zesilováním a zeslabováním geomagnetické aktivity.

Tyto experimentální výsledky nasvědčují fyzikální plausibilitě kauzálního řetězce: vysoká geomagnetická aktivita - ohřev dolní termosféry - ochlazení dolní stratosféry - zesílení PNJ - NAO+.



Obr. 8. Větrné pole v dolní stratosféře. Vysoká geomagnetická aktivita (6.2. - 8.3.1982). Záznamy větrného pole v 50 mb demonstrují silný Polar Night Jet.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem A3042102 Grantové agentury Akademie věd České republiky

LITERATURA

Arnold, N.F., and Robinson T.F., 2000. Amplification of the influence of solar flux variations on the winter stratosphere by planetary waves. *Space Sci. Rev.*, 94, 279-286.

Arnold, N.F., and Robinson T.F., 2001. Solar magnetic flux influences on the dynamics of the winter middle atmosphere. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2381-2384.

Balachandran, N., and Rind, D., 1995. Modeling the effects of UV variability and the QBO on the troposphere-stratosphere system. Part I: The middle atmosphere. *J. Clim.* 8, 2058-2079.

Balachandran, N., Rind, D., Loneragan, P., and Shindell, D.T., 1999. Effects of solar cycle variability on the lower stratosphere and the troposphere. *J. Geophys. Res.*, 104, 27321-27339.

Baldwin, M.P., and Dunkerton, T.J., 1999. Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere. *J. Geophys. Res.*, 104, 30937-30946.

Baldwin, M.P., and Dunkerton, T.J., 2001. Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes. *Science*, 294, 581-584.

Barnston, A.G., and Livezey, R.E., 1989. A closer look at the effect of the 11-year solar-cycle and the quasi-biennial oscillation on Northern Hemisphere 700 mb height and extratropical North-American surface-temperature. *J. Clim.*, 2, 1295-1313.

Barnston, A.G., and Livezey, R.E., 1991. Statistical prediction of January February and mean Northern-Hemisphere lower tropospheric climate from the 11-year solar-cycle and the Southern Oscillation for west and east QBO phases. *J. Clim.*, 4, 249-262.

Bochníček, J., Hejda, P., Bucha, V., and Pýcha, J., 1999. Possible geomagnetic activity effects on weather. *Ann. Geophys.*, 17, 925-932.

Bochníček, J., and Hejda, P., 2002. Association between extraterrestrial phenomena and weather changes in the Northern Hemisphere in winter. *Survey Geophys.*, 23, 303-333.

Kodera, K., and Yamazaki, K., 1994. A possible influence of recent polar stratospheric coolings on the troposphere in the Northern Hemisphere winter. *Geophys. Res. Lett.*, 21, 809-812.

Kodera, K., Koide, H., and Yoshimura, H., 1999. Northern Hemisphere winter circulation associated with North Atlantic Oscillation and stratospheric polar-night jet. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 443-446.

Labitzke, K., and van Loon, H., 1988. Association between the 11-year solar-cycle, the QBO and the atmosphere. I: The troposphere and stratosphere in the Northern Hemisphere in winter. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 50, 197-206.

Rind, D., and Balachandran, N., 1995. Modeling the effects of UV variability and the QBO on the troposphere-stratosphere system. Part II: The troposphere. *J. Clim.*, 8, 2080-2095.

Van Loon, H., and Labitzke, K., 1988. Association between the 11-year solar cycle, the QBO and the atmosphere. Part II: Surface and 700 mb in the Northern Hemisphere in winter. *J. Clim.*, 1, 905-920.