

## Sluneční/geomagnetická aktivita, teplota polární zimní dolní stratosféry, fáze QBO a cirkumpolární vír

Josef Bochníček<sup>1</sup>, Pavel Hejda<sup>1</sup>, Radan Huth<sup>2</sup> a Hana Davidková<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Boční II 1401, 141 31 Praha 4

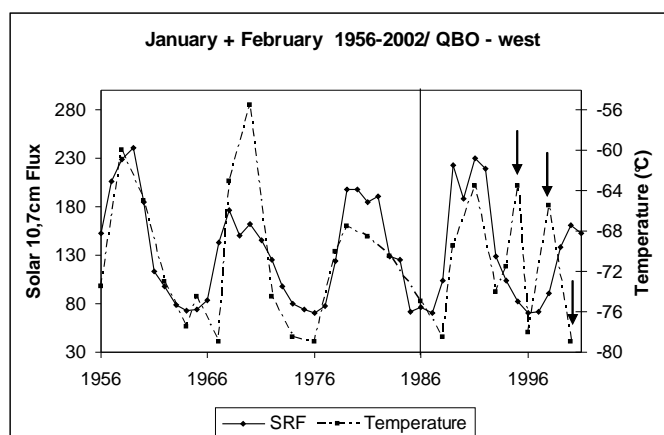
<sup>2</sup>Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i., Boční II, 141 31 Praha 4

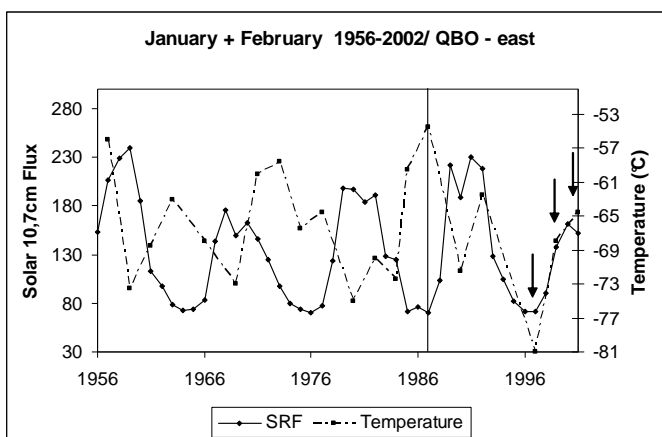
Labitzke (1987) has found a strong correlation between lower stratosphere temperature and solar cycle for data divided according to the QBO phase. This correlation explained why low solar activity combined with QBO-east phase or high solar activity and QBO-west phase was often followed by stratospheric warming and disturbed polar vortex. On the other hand, Arnold and Robinson (2001) have shown that high geomagnetic activity gives rise to cooling of lower stratosphere and leads to the strengthening of polar vortex.

With a view to shed more light on this issue we have analyzed the contribution of solar and geomagnetic activities to the changes of lower stratosphere temperature and polar vortex in winter periods 1952 – 2002. According to many recent papers (e.g. Kodera, 1999; Baldwin, Dunkerton 2001), the intensity of polar vortex affects the distribution of atmospheric fields in the winter lower troposphere of the Northern Hemisphere. This dependence is demonstrated by the changes in the NAO index.

### ÚVOD

Teplota polární dolní stratosféry je faktor, který v zimních obdobích ovlivňuje charakter počasí nad rozsáhlými oblastmi Atlantiku a evropského kontinentu (van Loon, Labitzke, 1988; Kodera et al., 1999; Hartmann et al., 2000; Shindell et al., 2001; Baldwin, Dunkerton, 2001). Dlouho se mělo zato, že hodnota této teploty závisí pouze na sluneční aktivitě a fázi QBO. Na základě práce Labitzke (1987) se předpokládalo, že při fázi QBO-west teplota s rostoucí sluneční aktivitou roste a při fázi QBO-east klesá. Takováto závislost vysvětlovala, proč intenzita cirkumpolárního víru (zonálního proudění v polární dolní stratosféře), která je jak známo nepřímo úměrná teplotě v této oblasti, bývá nejmenší v dobách slunečního maxima a fáze QBO-west, nebo v dobách slunečního minima a fáze QBO-east. Vzhledem k tomu, že cirkumpolární vír s nízkou intenzitou bývá planetárními vlnami snáze narušován, kryjí se doby víru takovéto intenzity s dobami nečastějšího výskytu stratosférických ohřevů (Hartmann et al., 2000, Labitzke, van Loon 1992,1993). Na skutečnost, že teplota zimní polární stratosféry nemusí být funkcí pouze sluneční aktivity a fáze QBO upozornili před několika lety Arnold a Robinson (2001). Prostřednictvím počítačových simulací teplotní nerovnováhy v atmosférickém modelu popisujícím teplotní rozdělení v intervalu od tropopauzy do dolní termosféry ukázali, že ohřev polární zimní dolní termosféry, způsobený disipací elektrických proudů tekoucích v aurorálním oválu v době vysoké geomagnetické aktivity, vyvolá v polární dolní stratosféře výrazný teplotní pokles. Vedeni snahou vnést do této problematiky více světla, rozhodli jsme se vztahy mezi jednotlivými aktivitami, teplotou zimní polární dolní stratosféry a větrnými poli experimentálně ověřit. Pro tento účel jsme použili měsíční teplotní data z polární oblasti zimní severní polokoule naměřená na hladině 30 hPa a pokrývající zimní období let 1955-2002 (Labitzke et al., 2002) a datový soubor ds195.0 NCAR, USA, popisující teplotní, tlaková a větrná pole.

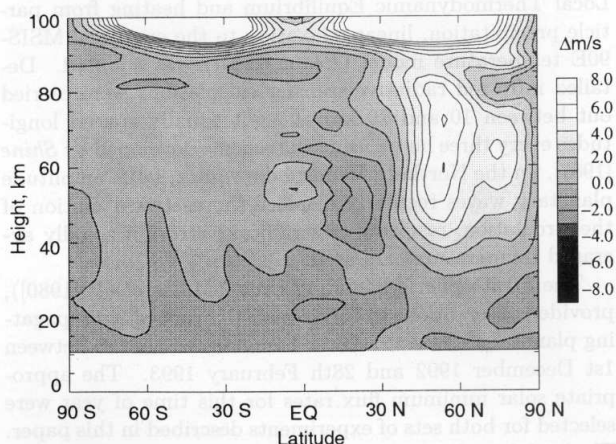




Obr. 1. Vztah mezi teplotou zimní polární dolní stratosféry a slunečním cyklem po rozdělení teplotních dat podle fáze QBO. Sluneční rádiový tok F10,7 (srf) plná čára, teplota čerchovaná čára. Průběh obou veličin popsány v práci Labitzke, van Loon (1992) je od průběhu zkonstruovaného na základě dat převzatých od Labitzke et al. (2002) a NOAA-Boulder oddělen svíslou čarou. Vertikální šipky označují zimní období, v nichž v teplotních křivkách dochází k výrazným odchylkám od očekávaných průběhů.

### VZTAH MEZI SLUNEČNÍ AKTIVITOU, FÁZÍ QBO A TEPLOTOU ZIMNÍ POLÁRNÍ DOLNÍ STRATOSFÉRY

Analýze vztahu mezi sluneční aktivitou, fází QBO a teplotou zimní polární dolní stratosféry se věnovala Labitzke (1987), která objevila silnou korelaci mezi výše zmíněnou teplotou a slunečním cyklem poté, co rozdělila soubor teplotních dat do skupin podle fáze QBO. Podrobněji se této problematice věnovaly práce Labitzke, van Loon (1988, 1993). Výstupem poslední z nich byly grafy potvrzující, že i po prodloužení zkoumaného intervalu do zimního období (leden-únor) roku 1992 zůstává platnost původního Labitzke (1987) vztahu zachována. Cílem této práce, opírající se o datový soubor Labitzke et al. (2002) a údaje o slunečním toku F10.7 převzaté od NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, bylo nejen tento vztah znovu ověřit, ale i zjistit, zda zůstal persistentní i v letech po roce 1992. Výsledky jsou uvedeny na obr. 1. Z obrázku je zřejmé, že zatímco do poloviny 90. let vykazují oba grafy silnou korelaci, kladnou při QBO-west a zápornou při QBO-east, tak od poloviny 90. let je persistence těchto korelací výrazně narušena. Odchytky od očekávaného průběhu nevykazují pouze zimní období 1996 a 1999. V posledních osmi letech lze tedy hovořit o přerušení platnosti vztahu Labitzke (1987), jakož i Labitzke, van Loon (1993). Fyzikální důvody tohoto přerušení nejsou zatím známy.

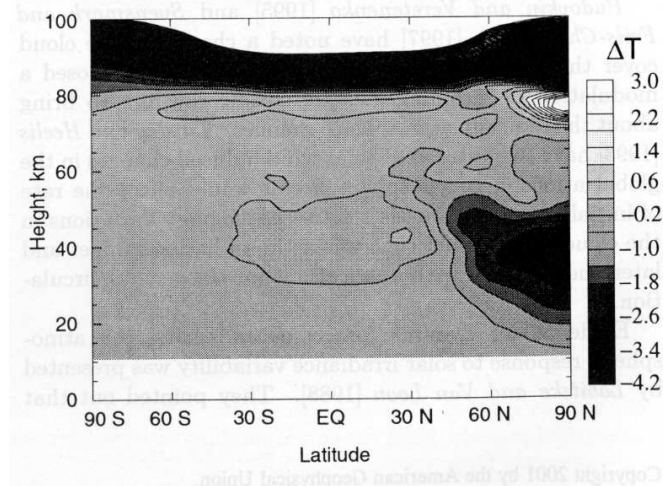


Obr. 2. Odchytky od dlouhodobého průměru délkově ustředěných zonálních větrů při vysoké geomagnetické aktivitě. ( $A_p \approx 60$ ).

### VZTAH MEZI GEOMAGNETICKOU AKTIVITOU A TEPLOTOU ZIMNÍ DOLNÍ STRATOSFÉRY

Souvislost mezi geomagnetickou aktivitou a teplotními poměry v zimní polární stratosféře byla dlouho opomíjena. Důvodem byla skutečnost, že nebyl znám fyzikální mechanismus, který by takovouto souvislost vysvětloval. Situaci změnila až práce Arnolda a Robinsona (2001). Její autoři prostřednictvím počítačových simulací (na modelu, popisujícím atmosféru ve výškovém rozmezí 10-130 km) ukázali, že ohřev zimní dolní termosféry vyvolaný vysokou geomagnetickou aktivitou vede v zimní polární dolní stratosféře k poklesu teplot. Řetězec příčin objasňující tyto teplotní změny popsali takto: Silné ionosférické elektrické proudy tekoucí

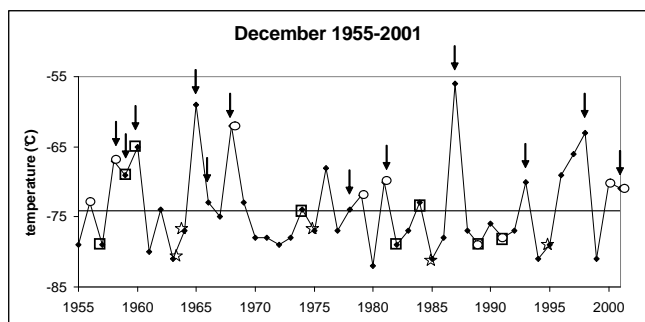
v polární dolní termosféře v důsledku vysoké geomagnetické aktivity jsou v této oblasti zdrojem ohřevu a urychlení zonálního proudění neutrální atmosféry (Richmond, Thayer; 2000). Urychlené zonální proudění (viz obr. 2) snižuje schopnost planetárních vln tímto prouděním pronikat. Potlačení šíření planetárních vln vede k redukci promíchávání vzdušných mas středních a vysokých šířek. Důsledkem této redukce je prochlazování oblasti neozářované Sluncem, kterou je v zimních obdobích polární dolní stratosféra (viz obr. 3). Její prochlazení zesiluje šířkový teplotní gradient, takže se zonální proudění dále zintenzivňuje.

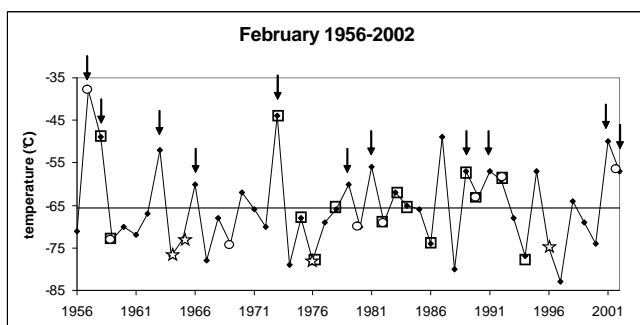
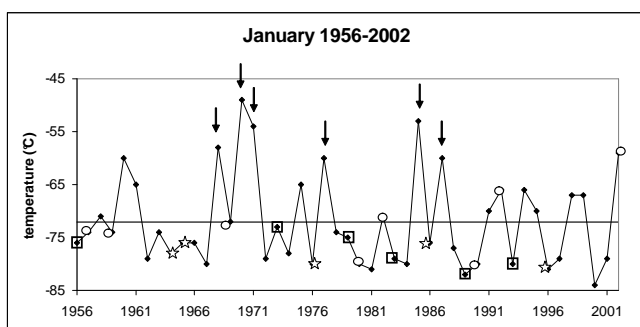


Obr. 3) Odchyly od dlouhodobého průměru délkově ustředněných teplot při vysoké ( $A_p \approx 60$ ) geomagnetické aktivitě.

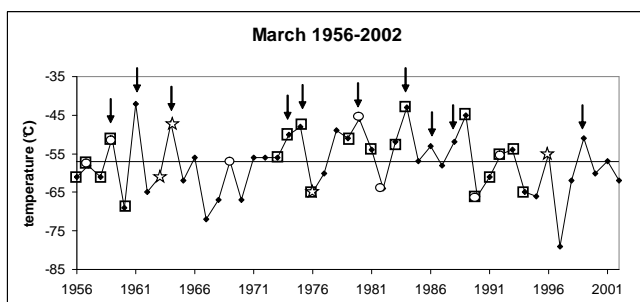
Pro experimentální ověření výše popsaného mechanismu, jakož i pro porovnání jeho vlivu na teplotu zimní polární dolní stratosféry s vlivem sluneční aktivity, byla zvolena měsíční teplotní data z polární oblasti zimní severní polokoule naměřená na hladině 30 hPa (Labitzke et al., 2002), pokrývající zimní období let 1955-2002 a data převzatá z NOAA, Boulder, týkající se Wolfova čísla R a geomagnetických indexů Kp. Hodnoty měsíčních teplot v jednotlivých letech zkoumaného časového intervalu jsou ukázány v obr. 4. Měsíce, v nichž průměrný denní součet Kp indexů byl větší, nebo roven číslu 21 jsou označeny čtverečkem, měsíce v nichž při fázi QBO-east bylo Wolfovo číslo R větší, nebo rovno číslu 100 jsou označeny kolečkem a měsíce v nichž při fázi QBO-west bylo Wolfovo číslo R menší, nebo rovno číslu 20 jsou označeny hvězdičkou. Měsíce v nichž došlo ke stratosférickým ohřevům jsou označeny vertikální šipkou. Z obrázku je zřejmé, že v měsících neovlivněných stratosférickými ohřevy dosahovala teplota v zimní polární dolní stratosféře podprůměrných hodnot zpravidla tehdy, byla-li v těchto měsících vysoká geomagnetická aktivita, nebo situace  $R \leq 20$ , QBO-west, či situace  $R \geq 100$ , QBO-east. Vztah předpověděný Arnoldem a Robinsonem experimentální data potvrdila, a to s různou silou v jednotlivých měsících. V prosinci s výjimkou roku 1960, v lednu bez výjimky, v únoru s výjimkou let 1983, 1990 a 1992 a v březnu s výjimkou let 1983 a 1993.

Porovnání teplot při vysoké geomagnetické aktivitě ( $\Sigma K_p \geq 21$ ) s teplotami v situacích  $R \leq 20$ , QBO-west, nebo  $R \geq 100$ , QBO-east ukazuje, že situace  $R \leq 20$ , QBO-west je spojena s podprůměrnými teplotami častěji, než situace  $\Sigma K_p \geq 21$  a výrazně častěji, než situace  $R \geq 100$ , QBO-east. Nízká sluneční aktivita v době trvání fáze QBO-west je tedy s podnormální teplotou zimní polární dolní troposféry spojena nejtěsněji.





Obr. 4. Hodnoty měsíčních teplot zimní polární dolní stratosféry naměřené na hladině 30 hPa v průběhu let 1955-2002. Měsíce, v nichž průměrný denní součet Kp indexů byl větší nebo roven číslu 21, jsou označeny čtverečkem, měsíce, v nichž při fázi QBO-east bylo Wolfovo číslo R větší nebo rovno číslu 100, jsou označeny kolečkem a měsíce, v nichž při fázi QBO-west bylo Wolfovo číslo R menší nebo rovno číslu 20, jsou označeny hvězdičkou. Měsíce, v nichž došlo ke stratosférickým ohřevům, jsou vyznačeny vertikální šipkou. Vodorovná čára označuje průměrnou hodnotu teploty v daném měsíci.



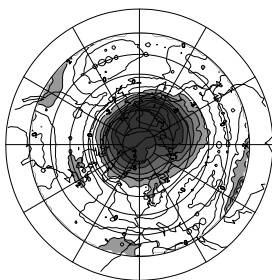
Obr. 4. – pokračování

## CIRKUMPOLÁRNÍ VÍR A TROPOSFÉRICKÁ CIRKULACE

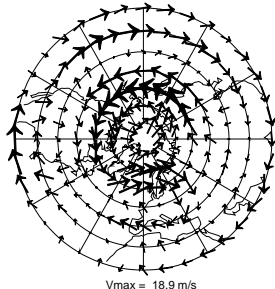
Vztahem mezi intenzitou cirkumpolárního víru a charakterem troposférické cirkulace se zabývala řada prací. Za všechny jmenujme alespoň práce Kodera et al, (1999) a Baldwin, Dunkerton (2001). Ukázalo se, že intenzivní cirkumpolární vír (zonální proudění v polární dolní stratosféře soustředěného kolem 60° severní šířky) bývá v zimních měsících často spojen s kladnou fází severoatlantické oscilace (NAO+) a slabý cirkumpolární vír se zápornou fází severoatlantické oscilace (NAO-). Příklad takového vztahu je na obr. 5. Leden roku 1977, který se vyznačoval slabou sluneční a geomagnetickou aktivitou při fázi QBO-east, vykázal ve shodě s Labitzke (1987) a Labitzke, van Loon (1993) relativně teplou polární dolní stratosféru. Vzhledem k tomu, že intenzita stratosférického cirkumpolárního víru je nepřímě úměrná teplotě v této oblasti, logickým důsledkem takové situace byl slabý cirkumpolární vír. Ten byl spojen se silnou zápornou fází indexu severoatlantické oscilace (NAO = -2,36). Naproti tomu leden roku 1989, který se vyznačoval silnou sluneční a geomagnetickou aktivitou při fázi QBO-west, vykázal vlivem vysoké geomagnetické aktivity (ta pravděpodobně převážila vliv situace R = 161,3; QBO-west) relativně studenou polární dolní stratosféru, a tedy silný cirkumpolární vír. Ten byl naopak spojen se silnou kladnou fází indexu severoatlantické oscilace (NAO = + 3,53). Výše popsané relace lze formulovat také tak, že relativně teplá polární dolní stratosféra bývá spojena se zápornou fází NAO, zatímco relativně studená polární dolní stratosféra bývá spojena s kladnou fází NAO. Takováto formulace vysvětluje průběh indexu NAO v zimním období let 1996-1997, ukázaný na obr. 6. Zde abnormálně studená polární dolní

stratosféra (při nízkých hodnotách geomagnetické a sluneční aktivity v období trvání fáze QBO-west) v únoru a březnu roku 1997 byla spojena s výrazně kladnými hodnotami (kladnou fází) indexu NAO.

Temperature Deviations at 100 mb  
1 Jan 1989 - 31 Jan 1989



Wind Deviations at 100 mb  
1 Jan 1989 - 31 Jan 1989



**NAO=3,53**

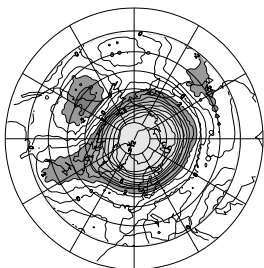
$\Sigma Kp = 23.7$

R = 161.3

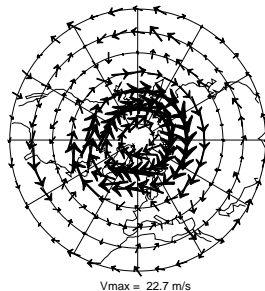
QBO-west

**Silný vortex**

Temperature Deviations at 100 mb  
1 Jan 1977 - 31 Jan 1977



Wind Deviations at 100 mb  
1 Jan 1977 - 31 Jan 1977



**NAO = -2.36**

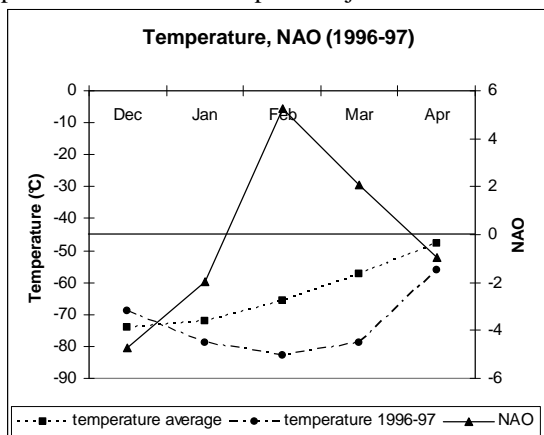
$\Sigma Kp = 16.3$

R = 16.4

QBO-east

**Slabý vortex**

Obr. 5) Intenzita cirkumpolárního víru a rozložení teplotních a větrných polí na hladině 100 hPa. Podle Labitzke, Naujokat (2000) lze očekávat, že průběhy teplotních a větrných polí na hladině 100 hPa budou obdobné průběhům na hladině reprezentující dolní stratosféru, tedy na hladině 30 hPa.



Obr. 6. Průběh indexu NAO v porovnání s teplotními extrémy v polární dolní stratosféře v zimním období 1996-1997.

## ZÁVĚR

- a) Persistence vztahu mezi teplotou polární dolní stratosféry, slunečním cyklem a fází QBO (Labitzke 1987, Labitzke, van Loon, 1988, 1993) byla v průběhu 90. let narušena.
- b) Modelové simulace Arnolda a Robinsona (2001) dávající do souvislosti vysokou geomagnetickou aktivitu s podnormální hodnotou teploty v zimní polární dolní stratosféře potvrzují experimentální hodnoty teplot v měsících prosinec a leden.
- c) Abnormálně nízké teploty polární dolní stratosféry vedou k zesílení cirkumpolárního víru, které bývá spojeno s kladnou hodnotou indexu severoatlantické oscilace (NAO).

Tato práce byla podpořena grantem IAA3042401 grantové agentury Akademie věd ČR.

## Literatura:

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

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

Hartmann, D.L., Wallace, J.M., Limpasuvan, V., Thompson, D.W.J., and Holton, J., 2000. Can ozone depletion and global warming interact to produce climate change? *Proc. Nat. Acad. Sci.*, Vol. 97, 1412-1417.

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

Labitzke, K., 1987. Sunspots, the QBO, and the stratospheric temperature in the north polar-region. *Geophys. Res. Letters*, Vol. 14, 535-537.

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

Labitzke, K., and van Loon, H., 1992. On the association between the QBO and the extratropical stratosphere. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 54, 1453-1463.

Labitzke, K., and van Loon, H., 1993. Some influences responsible for the interannual variations in the stratosphere of the Northern Hemisphere. In: *The role of the stratosphere in global change*. Edited by M.-L. Chanin, Springer Berlin, Heidelberg, NATO ASI Series, Vol. 18, 267-283.

Labitzke, K., Naujokat, B. The lower Arctic stratosphere in winter since 1952. *SPARC Newslett* 15: 11-14.

Labitzke, K., and Collaborators, 2002. The Berlin stratospheric data series. CD-Rom. Meteorological Institute, Free University Berlin, Berlin, Germany.

Richmond, A.D., and Thayer, J.P., 2000. Ionospheric electrodynamics: A tutorial. In: *Magnetospheric Current Systems*. Edited by S.-I. Ohtani, R. Fujii, M. Hesse, and R.L. Lysak. *Geophys. Monograph* 118, AGU Washington, DC, 131-146.

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. Climate*, Vol. 1, 905-920.

Shindell, D.T., Schmidt, G.A., Miller, R.L., and Rind, D., 2001. Northern Hemisphere winter climate response to greenhouse gas, ozone, solar, and volcanic forcing. *J. Geophys. Res.*, Vol. 106, 7193-7210.