

Vliv geomagnetické aktivity na průběh stratosférického ohřevu

Hana Davidková¹, Josef Bochníček¹, Pavel Hejda¹ a Radan Huth²

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

²Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i., Boční II/ 1401, 141 31 Praha 4

Abstract

The temperature of the winter polar lower stratosphere is affected except the solar activity and atmospheric circulation by the geomagnetic activity as well. Plausible physical mechanism for its effect was described by Arnold and Robinson [2001]. According to this paper, warming in the lower thermosphere caused by geomagnetic activity produces the reduction of blending mid and high latitude air masses. In consequence of this reduction the temperature of solar insulated region (polar lower stratosphere) decreases. The aim of this work is to verify functionality of such mechanism. For this purpose the temperature and pressure field behavior in the stratosphere (at 20 hPa) and in the troposphere (vertical sections of pressure) was investigated in the winter months (January, February) in which stratospheric warmings occurred. There were 12 of such cases in our selected period 1979-2006. The analysis showed that the period of stratospheric warming took about 14 days in the cases of low geomagnetic activity. If in the course of stratospheric warming geomagnetic activity increases, the warming period is evidently reduced. The length of such shortening depends on intensity of geomagnetic activity, its persistence and timing. No warming event appeared during high geomagnetic activity (daily $\sum Kp \geq 25$) in investigated period.

Úvod

Teplota zimní polární dolní stratosféry je vedle sluneční aktivity, fáze QBO a atmosférické cirkulace ovlivňována také aktivitou geomagnetickou. Ta však, na rozdíl od předchozích činitelů, teplotu této části zimní stratosféry vždy jen snižuje. Fyzikální mechanismus vysvětlující toto snížení teploty byl popsán Arnoldem a Robinsonem [2001] a v tomto příspěvku je ověřován i experimentálně. Podle výše zmíněné práce ohřev polární dolní termosféry způsobený zvýšenou geomagnetickou aktivitou, omezuje promíchávání vzdušných mas středních a vyšších šířek, což v oblasti, která v zimě není ozářena Sluncem (polární dolní stratosféra), vede k rychlému poklesu teplot. Naše výsledky tuto závislost potvrzují. Bylo analyzováno celkem 12 zimních měsíců (leden, únor) v letech 1979-2006, v nichž proběhl stratosférický ohřev, klasifikovaný jako Major Mid-Winter Warming. Byla sledována stratosférická tlaková a teplotní pole a troposférická tlaková pole v oblasti severní hemisféry spolu s denním průběhem geomagnetické aktivity (index Ap). Mimo teplotu v zimní polární dolní stratosféře ovlivňuje zvýšená geomagnetická aktivita v této oblasti i rozložení teplotních útvarů. Při stratosférickém ohřevu dochází k náhlému oteplení, zasahující především polární oblast. Ukázalo se, že zvýšená geomagnetická aktivita může průběh ohřevu ovlivnit, a to především tehdy, je-li její působení dlouhodobější (po nejméně 5 dnů, denní $\sum Kp \geq 25$). Délka stratosférického ohřevu (doba výskytu teplého vzduchu nad severním pólem) je v případě nízké geomagnetické aktivity až několik týdnů. Pokud geomagnetická aktivita je v době ohřevu zvýšená, délka ohřevu se ve většině případů podstatně zkrátí, a to podle načasování působení geomagnetické změny, její intenzity a délky trvání. Například v období, v němž geomagnetická aktivita byla vysoká (denní $\sum Kp \geq 25$), stratosférický ohřev nebyl zaznamenán.

Definice Major Mid-Winter Warming a popis analyzovaných stratosférických ohřevů

Severní polární dolní stratosféra se v zimním období vyznačuje největší variabilitou, a to díky častému výskytu ohřevů. Stratosférický ohřev je proces, při kterém dochází k vertikálnímu propojení spodní, střední a horní atmosféry. Typické je šíření cirkulačních změn z horních do dolních vrstev atmosféry, a zejména pak obrácení zonálního proudění v oblasti 60°N. Anomálie v zonálním proudění jsou vyvolané lokální interakcí mezi vzhůru se šířícími planetárními vlnami a ustředěným zonálním prouděním [Hoffmann et al., 2007]. Za počátek stratosférického ohřevu, klasifikovaného jako „Major Mid-Winter Warming“, je označována situace, v níž vítr na hladině 10 hPa, v arktické oblasti obvykle západní, změní svůj směr na opačný a stává se větrem východním. Střed stratosférického polárního vortexu se přitom posune k jihu (60°- 65°N). Vortex je tak buď zcela přemístěn, nebo rozdělen na dva [Labitzke, 2002]. Výčet analyzovaných případů výskytu a počátku Major Mid-Winter Warmings společně s údaji o sluneční/geomagnetické aktivitě a fázi QBO je uveden v tabulce 1. Sloupec s označením „Vymizení polárního vortexu“ charakterizuje situaci ve stratosféře na 20 hPa po proběhnutí ohřevu. Jeho vymizení znamená, že již následující měsíc nedojde k jeho znovuoobnovení. Šedá barva označuje ohřevy, které byly ovlivněny vysokou geomagnetickou aktivitou.

Analýza stratosférických ohřevů							
	Rok	Měsíc	Den	F10.7	QBO	ΣKp	Vymizení polárního vortexu
1	1979	Únor	22.	199.1	W	20.3	ANO
2	1981	Únor	12.	203.2	W	22.0	NE
3	1985	Leden	1.	72.1	E	20.9	NE
4	1987	Leden	23.	70.2	E	14.4	ANO
5	1989	Únor	21.	203.0	W	32.0	ANO
6	1991	Únor	4.	237.2	W	17.3	velmi zeslaben
7	1999	Únor	28.	138.4	E	15.9	ANO
8	2001	Únor	7.	143.1	E	12.1	ANO
9	2002	Únor	19.	200.1	E	16.7	velmi zeslaben
10	2003	Leden	19.	121.4	W	23.4	NE
11	2004	Leden	5.	110.4	E	26.6	velmi zeslaben
12	2006	Leden	22.	68.3	E	11.1	ANO

Tabulka 1

Přehled analyzovaných případů Major Mid-Winter Warmings, výskyt a počátek ohřevu podle *Labitzke* [2002] a *Charlton and Polvani* [2007] doplněn o měsíční hodnoty F 10.7, fáze QBO-west/east a měsíční ΣKp .

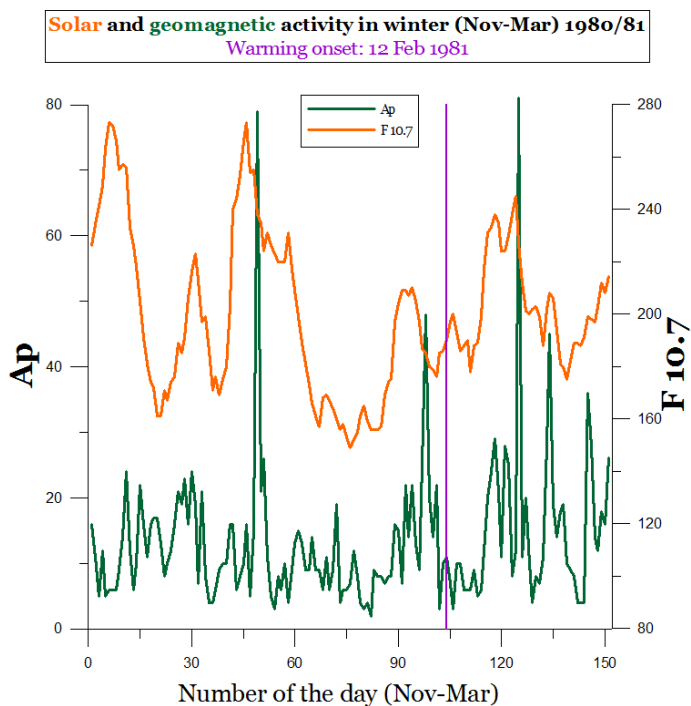
Vliv sluneční aktivity a planetárních vln na vznik stratosférického ohřevu

Stratosférický ohřev je ovlivňován mnoha faktory. Kromě vlivu sluneční aktivity a fáze QBO, který byl již prokázán mnoha autory [*Labitzke and Van Loon*, 1988; *Labitzke*, 2005; *Bochnicek et al.*, 1996], zde hrají nezastupitelnou roli interní atmosférické procesy. Ohřevy se vyskytují především v období slunečního minima a fáze QBO-west, kdy výrazně narůstá jak četnost planetárních vln [*Arnold and Robinson*, 1998], tak také četnost narušení polárního vortexu, která je zvyšována právě působením těchto vln [*Kodera and Chiba*, 1995]. I když planetární vlny vznikají v troposféře, a také tuto oblast atmosféry nejvíce ovlivňují, nelze stav ve kterém se nachází stratosféra opominout, neboť podle práce *Scott and Polvani* [2004] vykazuje stratosféra nezanedbatelný zpětný vliv na troposférickou cirkulaci. Ve slunečním minimu pak dochází k výskytu ohřevů v období fáze QBO-east. Ta ustavuje Aleutskou výši, díky níž se počátek ohřevu urychlí [*Gray et al.*, 2004].

Bochnicek and Hejda [2006] ukázali na souvislost mezi geomagnetickou aktivitou a intenzitou stratosférického polárního vortexu. Podle této práce se při vysoké geomagnetické aktivitě stratosférický polární vortex stává stabilnějším, silnějším a usměrněnějším. *Kodera and Chiba* [1995] uvádějí, že stratosféra má potenciální vliv na změny v meridionálním šíření planetárních vln v troposféře. Je tomu tak proto, že pokles rychlosti stratosférického polárního vortexu podporuje šíření těchto vln směrem k pólu a tím i vznik ohřevu.

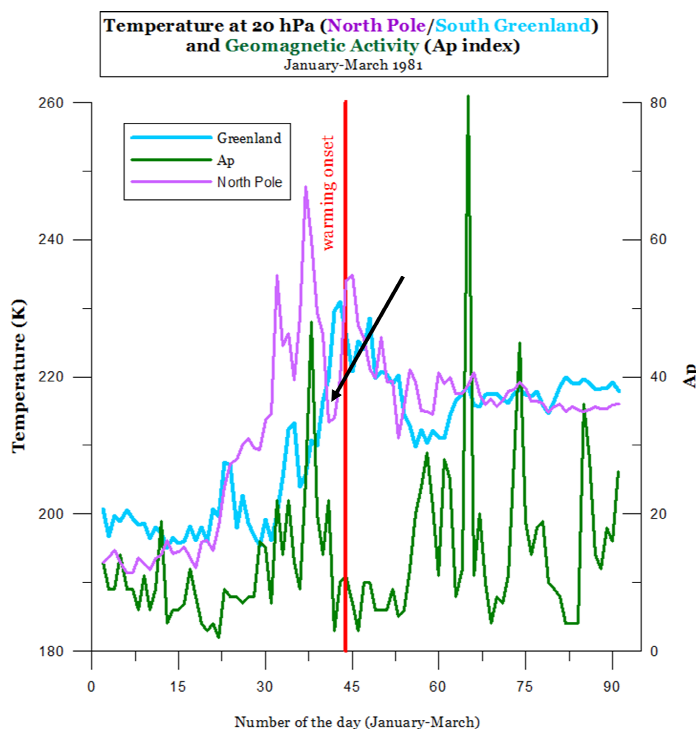
Popis situace v zimě 1980/81

Pro demonstraci vlivu geomagnetické aktivity na průběh stratosférického ohřevu byla vybrána zima 1980/81, vyznačující se vysokou sluneční aktivitou spojenou s fází QBO-west a velmi nízkými teplotami ve stratosféře (na hladině 30 hPa) v prosinci a lednu [*Labitzke*, 2002]. Průběh sluneční a geomagnetické aktivity v zimě 1980/81 je znázorněn na Obr. 1. Vysoká sluneční aktivita v tomto období je doprovázena naopak nízkou aktivitou geomagnetickou, jejíž zvýšení lze pozorovat v druhé polovině prosince a na počátku února, tedy v době těsně před vypuknutím ohřevu.



Obr. 1: Sluneční (oranžová křivka) a geomagnetická (zelená křivka) aktivita v zimě 1980/81, fialovou vertikálou označen počátek ohřevu.

Vývoj teplotních změn ve stratosféře v zimě 1981, zaznamenaných ve dvou bodech, a sice na území severního pólu a na jižním okraji Grónska je uveden spolu s geomagnetickou aktivitou na obr. 2. Na teplotní křivce oblasti Severního pólu je patrný významný pokles v první polovině února, několik dnů po zvýšení geomagnetické aktivity (označen černou šipkou). Tento pokles nastal v období nárůstu teploty vlivem počínajícího stratosférického ohřevu v polární oblasti. Následující vývoj teplot v druhé polovině února a v březnu vykazoval již běžné chování po proběhnutí ohřevu.

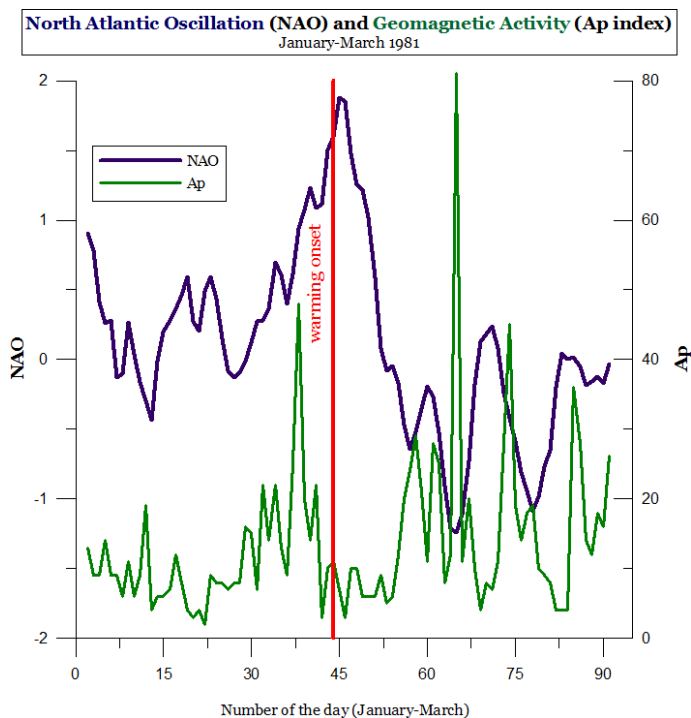


Obr. 2: Teplota na 20 hPa v oblasti Severního Pólu (fialová křivka) a jižního Grónska (modrá křivka); průběh geomagnetické aktivity (zelená křivka) v zimních měsících roku 1981. Červenou vertikálou označen počátek ohřevu.

Vliv geomagnetické aktivity na tlakové útvary v severní hemisféře

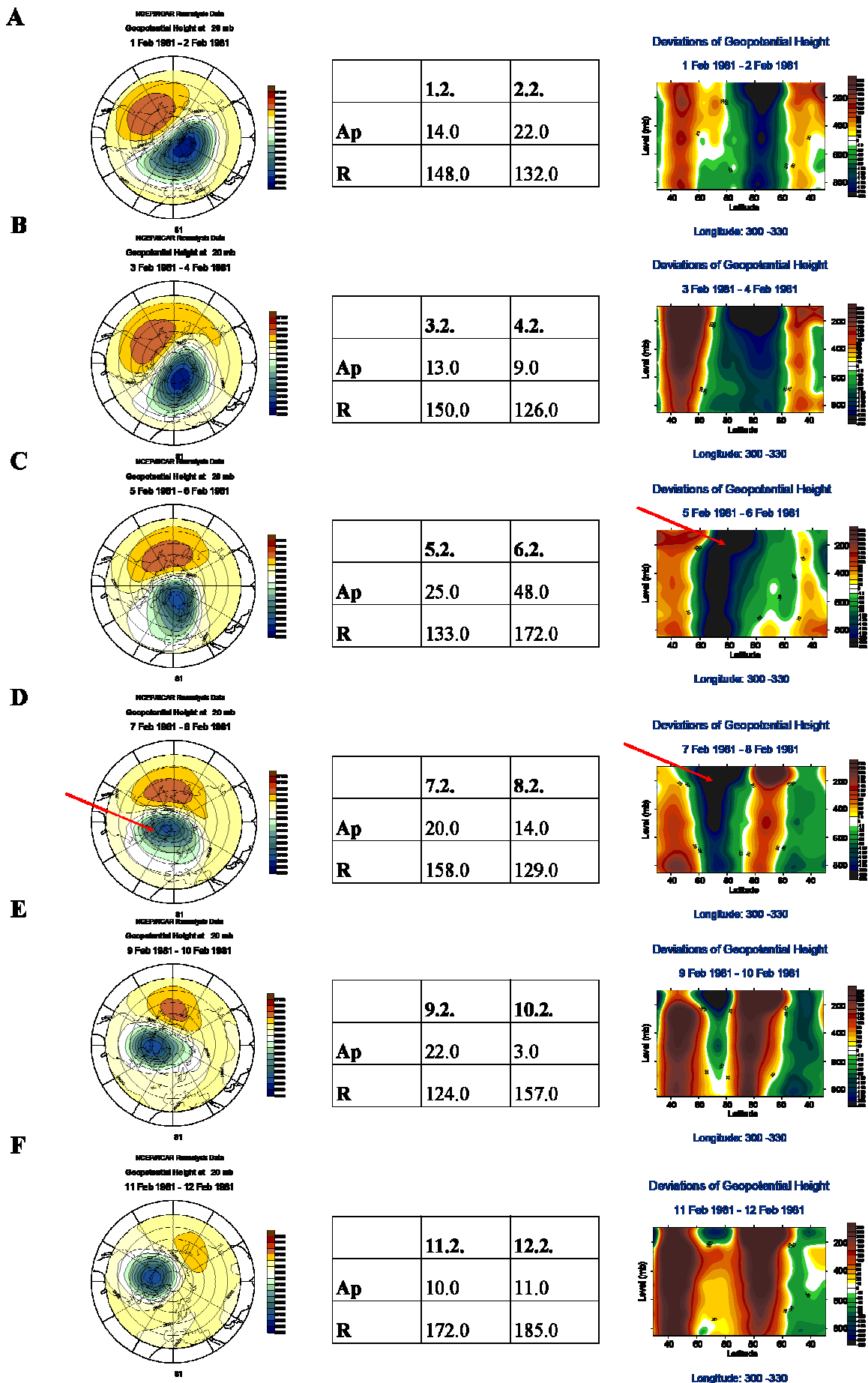
Islandská tlaková níže je součástí Severoatlantické oscilace (NAO), jejíž kladná fáze se při prohloubení této níže zintenzivňuje. Již v předchozích studiích byl zjištěn významný podíl vlivu geomagnetické aktivity na Severoatlantickou oscilaci, kdy při zvýšené geomagnetické aktivitě docházelo ke zintenzivnění tlakových útvarů v oblasti severního Atlantiku a ke kladné fázi NAO [Bochnicek and Hejda, 2002, 2005].

V případě stratosférického ohřevu zvýšená geomagnetická aktivita také výrazně modifikuje rozložení a intenzitu tlakových oblastí na území severní hemisféry. Denní index Severoatlantické oscilace v zimních měsících roku 1981 je uveden na obr. 3. V lednu se tento index pohybuje převážně v kladných hodnotách, po zvýšení geomagnetické aktivity v první polovině února však vystupá až k vysoce kladným hodnotám, a to v důsledku prohloubení troposférické Islandské tlakové níže. Kladné hodnoty NAO jsou následně potlačeny nastanuvším ohřevem.



Obr. 3: Severoatlantická oscilace (tmavě modrá křivka) a geomagnetická aktivita (zelená křivka) v zimních měsících roku 1981. Červenou vertikálou označen počátek ohřevu.

Prohloubení tlakové níže v oblasti Atlantiku v důsledku působení vysoké geomagnetické aktivity je možné pozorovat na detailním záznamu období od 1. do 12. února, tedy období 11 dnů před vypuknutím ohřevu, na obr. 4. Ve stratosféře na 20 hPa (levý sloupec) byla na počátku sledovaného období (konec ledna) vytvořena tlaková níže se středem nad Karským a Barentsovým mořem. Střed protilehlé tlakové výše se rozkládal nad Aljaškou. V levém sloupci na vertikálním výřezu můžeme pozorovat prostoupení tlakové níže až do spodních vrstev troposféry (část A). Po pěti dnech se sledovaná tlaková níže přesunula nad oblast severního Atlantiku, se středem nad severní částí Grónska (část D). V dalších dnech, po poklesu geomagnetické aktivity, nastalo zintenzivnění Aleutské tlakové výše, která poté prostupovala až do spodních vrstev troposféry (část D, E), rozšířila se nad území pólu a nastal ohřev (část F). Je patrné, že oblast tlakové níže byla nejintenzivnější v období působení vysoké geomagnetické aktivity. V této době prostupovala od spodních vrstev troposféry až do stratosféry.



Obr. 4: Podrobný rozbor situace ve stratosféře (geopotenciální výška na 20 hPa) a troposféře (anomálie geopotenciální výšky, vertikální řezy oblasti 300-330) 11 dní před počátkem Major Mid-Winter Warming 12.2.1981. Dvoudennímu součtovému grafu geopotenciální výšky vždy odpovídá vertikální výřez (části A-F).

Červené šipky označují oblasti prohloubení respektive vzniku tlakové níže vlivem vysoké geomagnetické aktivity.

Závěr:

1. Geomagnetická aktivita snižuje teplotu zimní polární dolní stratosféry [Arnold and Robinson, 2001]. Podle naší analýzy se tento jev projeví v dolní stratosféře s několika denním zpožděním.
2. Chování stratosférického ohřevu (Major Mid-Winter Warming) je modulováno geomagnetickou aktivitou, která má vliv na rozložení oblastí studeného a teplého vzduchu v oblasti pólu.
3. Několika denní zvýšení geomagnetické aktivity může zabránit již zformovanému teplému vzduchu v jeho rozšíření nad pól.

Poděkování:

Tato práce byla podpořena grantem IAA300420805 Grantové agentury Akademie věd České republiky.

Literatura:

Arnold, N. F., and T. R. Robinson (1998), Solar cycle changes to planetary wave propagation and their influence on the middle atmosphere circulation, *Annales Geophysicae-Atmospheres Hydrospheres and Space Sciences*, 16(1), 69-76.

Arnold, N. F., and T. R. Robinson (2001), Solar magnetic flux influences on the dynamics of the winter middle atmosphere, *Geophysical Research Letters*, 28(12), 2381-2384.

Bochnicek, J., et al. (1996), Relation between Northern Hemisphere winter temperatures and geomagnetic or solar activity at different QBO phases, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 58(7), 883-897.

Bochnicek, J., and P. Hejda (2002), Association between extraterrestrial phenomena and weather changes in the Northern Hemisphere in winter, *Surveys in Geophysics*, 23(4), 303-333.

Bochnicek, J., and P. Hejda (2005), The winter NAO pattern changes in association with solar and geomagnetic activity, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67(1-2), 17-32.

Bochnicek, J., and P. Hejda (2006), Connections between the distribution of prevailing winds in the winter Northern Hemisphere, solar/geomagnetic activity and the QBO phase, *Studia Geophysica Et Geodaetica*, 50(2), 299-318.

Gray, L. J., et al. (2004), Solar and QBO influences on the timing of stratospheric sudden warmings, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 61(23), 2777-2796.

Hoffmann, P., et al. (2007), Latitudinal and longitudinal variability of mesospheric winds and temperatures during stratospheric warming events, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 69(17-18), 2355-2366.

Charlton, A. J., and L. M. Polvani (2007), A new look at stratospheric sudden warmings. Part I: Climatology and modeling benchmarks, *Journal of Climate*, 20(3), 449-469.

Kodera, K., and M. Chiba (1995), TROPOSPHERIC CIRCULATION CHANGES ASSOCIATED WITH STRATOSPHERIC SUDDEN WARMINGS - A CASE-STUDY, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 100(D6), 11055-11068.

Labitzke, K., and H. Vanloon (1988), ASSOCIATIONS BETWEEN THE 11-YEAR SOLAR-CYCLE, THE QBO AND THE ATMOSPHERE .1. THE TROPOSPHERE AND STRATOSPHERE IN THE NORTHERN HEMISPHERE IN WINTER, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 50(3), 197-206.

Labitzke, K. (2005), On the solar cycle-QBO relationship: a summary, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67(1-2), 45-54.

Labitzke, K. a. c. (2002), The Berlin stratospheric data series, edited.

Scott, R. K., and L. M. Polvani (2004), Stratospheric control of upward wave flux near the tropopause, *Geophysical Research Letters*, 31(2).