ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ СТРАТОСФЕРНОГО ПОЛЯРНОГО ВИХРЯ

Веретененко С.В.¹, Огурцов М.Г.^{1,2}

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

INFLUENCE OF SOLAR-GEOPHYSICAL FACTORS ON THE STATE OF THE STRATOSPHERIC POLAR VORTEX

Veretenenko S.V.¹, Ogurtsov M.G.^{1,2}

¹Ioffe Institute RAS, St. Petersburg, Russia

²Central (Pulkovo) astronomical observatory RAS, St. Petersburg, Russia

The stratospheric polar vortex is an important link between the circulation of the lower atmosphere at extratropical latitudes and solar activity. The vortex evolution influences to a great extent the character of solar-atmospheric relations. In this work we study changes of the vortex intensity associated with different phenomena of solar activity on the base of the NCEP/NCAR reanalysis data. A pronounced intensification of western wind velocity was found in the polar stratosphere during powerful solar proton events (SPEs) in January, 2005 and October-November, 2003. It was shown that auroral activity and SPE-induced ionization increases may be possible factors of the vortex intensification. At the multidecadal time scale, the vortex was found to be strengthened during the period of increase in occurrence of magnetic storms with gradual commencements (~1980–2000), whereas during the period of decrease in occurrence of these storms (~1950–1980) the vortex was weaker. The obtained results confirm that the intensity of the stratospheric polar vortex may be influenced by solar activity phenomena both at the day-to-day and multidecadal time scales.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-91-94

Стратосферный полярный вихрь является одним из наиболее важных связующих звеньев между циркуляцией нижней атмосферы во внетропических широтах и солнечной активностью, что обусловлено благоприятным широтным и высотным расположением области его формирования. Эволюция вихря оказывает существенное влияние на характер солнечно-атмосферных связей [1]. В настоящей работе исследуются изменения интенсивности вихря (скорости западного ветра в стратосфере высоких широт) в зависимости от различных явлений, обусловленных солнечной активностью, на основе данных реанализа NCEP/NCAR [2].

Поскольку в области формирования полярного вихря наблюдаются низкие пороги геомагнитного обреза и, соответственно, высокие скорости стратосферной ионизации за счет космических лучей [3], в качестве возможного фактора интенсивности вихря были рассмотрены мощные солнечные протонные события (СПС) в январе 2005 г. Во время СПС 15.01, 16.01 и 17.01 наблюдались возрастания потоков частиц с энергиями 165–500 МэВ, достигающих высот 30 км и ниже (рис. 1а). Наиболее мощ-

ное событие 20.01 с энергиями частиц выше 500 МэВ сопровождалось возрастанием скорости счета нейтронных мониторов, т.е. относилось к разряду GLE (Ground Level Enhancement). Исследуемые СПС связаны с усилением вспышечной активности в период 13–23.01 (рис. 1б).

На рис. 1в показан временной ход максимальных значений скорости западного ветра $U_{\max}$ на разных уровнях стратосферы в зимние месяцы 2004/2005 гг. Видно, что в возмущенный период 13–23.01 имело место значительное увеличение скорости ветра: в нижней стратосфере (изобарические уровни 100–50 гПа (~15–20 км)) – на ~ 15 м·с⁻¹, в верхней стратосфере (уровни 30–10 гПа (~25–35 км)) – на 20–30 м·с⁻¹.

Рис. 1. а) Потоки частиц с различными энергиями в ходе СПС в январе 2005 г. по данным спутника GOES-11; б) Число рентгеновских вспышек; в) Временной ход максимальных значений скорости западного ветра $U_{\max}$ разных уровней стратосферы в зимние месяцы 2004/2005 гг. Серым фоном показан возмущенный период 13–23.01.2005.

Помимо возрастания $U_{\max}$, в возмущенный период 13–23 января 2005 г. на всех уровнях стратосферы имело место заметное увеличение площади областей, где скорость ветра была повышена. Также обнаружено смещение указанных областей на восток, от арктического побережья Северной Америки к Северной Атлантике. Изменения площади областей, охваченных ветрами с повышенной скоростью, показаны на рис. 2. Полученные результаты свидетельствуют о значительном усилении стратосферного полярного вихря в ходе серии СПС 15–20 января 2005 года. Аналогичный эффект (возрастание $U_{\max}$) обнаружен также для серии СПС 26 октября – 4 ноября 2003 г. Усиление вихря для этих событий выражено несколько слабее, чем для СПС 2005 г., что обусловлено, по-видимому, недостаточной сформированностью вихря в осенний период.

Рис. 2. Площади областей с повышенными значениями скорости ветра (отклонения от линейных трендов) в верхней (а) и нижней (б) стратосфере в ходе СПС в январе 2005 г.

Рассмотрим возможные причины выявленной интенсификации полярного вихря. На рис. 3а сопоставлен временной ход максимальных значений скорости западного ветра в верхней стратосфере (уровень 10 гПа) и сглаженных по 5-ти дням значений АЕ-индекса, характеризующего уровень авроральной активности, в зимние месяцы 2004/2005 гг. Видно, что временные изменения исследуемых величин обнаруживают достаточно хорошее сходство. Коэффициент корреляции $R(U_{\text{max}}, \text{AE})$ составляет ~ 0.5 для несглаженных значений и ~ 0.7 для сглаженных по 5 дням. Данные, представленные на рис. 3б, показывают, что скорость ветра в стратосфере увеличивается также с увеличением скорости ионизации, вызванным исследуемыми СПС. Таким образом, можно сделать вывод, что интенсификация вихря обусловлена увеличением скорости ионизации в стратосфере в связи с усилением авроральной активности и СПС.

Рис. 3. а) Временной ход максимальных значений скорости западного ветра U_{max} на уровне 10 гПа и сглаженных по 5 дням значений АЕ-индекса в зимние месяцы 2004/2005 гг.; б) Зависимость U_{max} от среднесуточных значений скорости ионизации в верхней стратосфере (35 км) в области геомагнитных широт $60-90^\circ$ [4] в январе 2005 г.

Ранее было показано [5], что интенсивность полярного вихря обнаруживает вариации с периодом ~60 лет. В ~1980–2000 гг. вихрь был усилен (скорость западного ветра в широтном поясе 60–80°N была повышена, а температура в области вихря понижена) и ослаблен в период ~1950–1980 гг. (рис. 4а,б). Аналогичную вариацию (~60 лет) обнаруживает годовая повторяемость магнитных бурь с постепенным (GC) началом (рис. 4в,г). Видно, что усиление вихря имело место в период увеличения повторяемости больших и умеренных GC бурь, а ослабление – в период уменьшения их повторяемости. Таким образом, ~60-летние колебания силы вихря могут быть связаны с долговременными изменениями высокоскоростных потоков солнечного ветра и их солнечных источников.

Рис. 4. Слева: Вариации (отклонения от тренда) скорости зонального западного ветра на уровне 50 гПа в стратосфере высоких широт 60–80°N (а) и стратосферной температуры в области 60–90°N (б) в зимние месяцы (декабрь–февраль) по данным [2]. Справа: годовая частота повторяемости больших (в) и умеренных (г) магнитных бурь с постепенным началом по данным ИЗМИРАН [6]. Толстыми линиями показаны скользящие средние по 15-ти годам, точечными – полиномиальное сглаживание.

Результаты исследования показывают, что интенсивность полярного вихря может испытывать влияние солнечной активности как в масштабе нескольких суток, так и на мультидекадной временной шкале.

Литература

1. Veretenenko S., Ogurtsov M. // Adv. Space Res. 2014, **54**(12), 2467-2477.
2. Kalnay E. et al. // Bull.Amer.Meteorol.Soc., 1996, **77**, 437-472.
3. Bazilevskaya G.A. et al. // Space Sci. Rev., 2008, **137**, 149-173.
4. SOLARIS-HEPPA, <https://solarisheppageomar.de/solarprotonfluxes>
5. Veretenenko S., Ogurtsov M. // Adv. Space Res. 2019, **64**(1), 104-116.
6. <http://www.izmiran.ru/magnetism/magobs/MagneticStormCatalog.html>