

УДК 537.67: 57.045

ОТКЛИК ПАРАМЕТРОВ НИЖНЕЙ-СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ НА ИОНОСФЕРНЫЕ БУРИ В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ

А. М. Жмодиков¹⁾, Т.В. Шлендер²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,
220005, г. Минск, Беларусь, anton.jmodikov482@gmail.com

²⁾Национальный научно-исследовательский центр мониторинга
озоносферы БГУ, ул. Курчатова 7, г. Минск, Беларусь

Объектами исследования в работе являются параметры нижней-средней атмосферы, ионосферные возмущения и нижняя-средняя атмосфера, предметом — отклик нижней-средней атмосферы во время ионосферных возмущений. Цель работы — исследование связи ионосферных возмущений и параметров нижней и средней атмосферы в Южном полушарии. Для исследования проводился анализ осредненных карт пространственного распределения параметров нижней и средней атмосферы, а также анализ графиков динамики средних значений рассматриваемых параметров средней атмосферы по долготам южного полушария.

В работе продемонстрировано наличие реакции общего содержания озона, давления на уровне моря и завихренности атмосферы на ионосферные возмущения. На примере отдельных ионосферных бурь выявлен отклик скорости восточного ветра и температуры атмосферы на уровне 0,3 гПа, в то время как для геопотенциальной высоты явного отклика не найдено.

Ключевые слова: солнечно–земные связи; магнитосфера Земли; ионосферные бури; стратосферный озон; отклик нижней-средней атмосферы.

RESPONSE OF LOWER-MIDDLE ATMOSPHERE PARAMETERS TO IONOSPHERIC STORMS IN THE SOUTHERN HEMISPHERE

A. M. Zhmodikov¹⁾, T. V. Schlender²⁾

¹⁾Belorussian State University, Leningradskaya str., 16, 220005 Minsk, Belarus,
anton.jmodikov482@gmail.com

²⁾National Ozone Monitoring Research
Center BSU, Minsk, Republic of Belarus

The objects of study in the work are the parameters of the lower-middle atmosphere, ionospheric disturbances and the lower-middle atmosphere, the subject is the response of the lower-middle atmosphere during ionospheric disturbances. The purpose of the work is to study the connection between ionospheric disturbances and parameters of the lower and middle atmosphere in the Southern Hemisphere. For the study, an analysis of averaged maps of the spatial distribution of parameters of the lower and middle atmosphere was carried out, as well as an analysis of graphs of the dynamics of the average values of the considered parameters of the middle atmosphere by longitude of the southern hemisphere.

The work demonstrated the presence of a response of total ozone content, sea level pressure and atmospheric vorticity to ionospheric disturbances. Using the example of individual ionospheric storms, a response was revealed between east wind speed and atmospheric temperature at a level of 0,3 hPa, while no obvious response was found for geopotential height.

Keywords: solar-terrestrial communications; the Earth's magnetosphere; ionospheric storms; stratospheric ozone; response of the lower-middle atmosphere.

Общая реакция содержания озона вызывается связанными с ионосферными бурями изменениями в характере циркуляции, с которыми она согласуется по крайней мере качественно [5]. Геомагнитная активность затрагивает обе границы средней атмосферы: высоту и температуру тропопавзы, а также отклонения высоты турбопавзы от ее среднесуточного хода. Так, по обобщенным Лаштовичкой результатам экспериментов «Солнце-Атмосфера 1969, 1971, 1976 гг.» следует, что ионосферные бури приводят к: нагреву нижней термосферы и верхней мезосферы; охлаждению средней мезосферы (≈ 70 км); умеренному прогреву нижней мезосферы (≈ 60 км); для верхней стратосферы наблюдался положительный, а скорее предельный, корреляционный эффект на температуру [3, 4].

Для проверки утверждения о зависимости параметров нижней-средней атмосферы от ионосферных возмущений, был применен метод пространственного наложения эпох. В качестве параметров нижней-средней атмосферы были взяты общее содержание озона, давление на уровне моря и потенциальная завихренность на уровне 300 гПа.

Для работы построены осредненные карты параметров нижней и средней атмосферы для Южного полушария по периодам 37 ионосферных возмущений 1998-2016 гг. Данные для осреднения взяты из открытого репозитория NASA Giovanni [2]. Карты построены с помощью скрипта на языке программирования Python и геоинформационной системы QGIS. Для теплого (декабрь-май) и холодного (июнь-ноябрь) периодов карты построены отдельно. Ионосферные бури для осредненных карт и графиков отобраны из открытого архива ИЗМИРАН [1]. Взяты промежутки времени самих бурь и промежутки за 5 дней до и 5 после бурь.

На карте общего содержания озона за теплый период (рис. 1) видно, что содержание озона над Южным полюсом возросло на 10-15 е. Д. во время бури и после бури сохранялось повышенным относительно значений до бури. Содержание озона в $50-60^\circ$ ю. ш. уменьшилось на 8-10 е. Д., что заметно на примере скопления озона над южной частью Тихого океана и южнее Австралии и Новой Зеландии. На карте за холодный период (рис. 1) видно, что область повышенного содержания озона в $50-60^\circ$ ю. ш. так же уменьшилась за период бури и осталось такой же после нее — наиболее ярко это видно южнее Австралии, при этом содержание озона в этой области не изменилось.

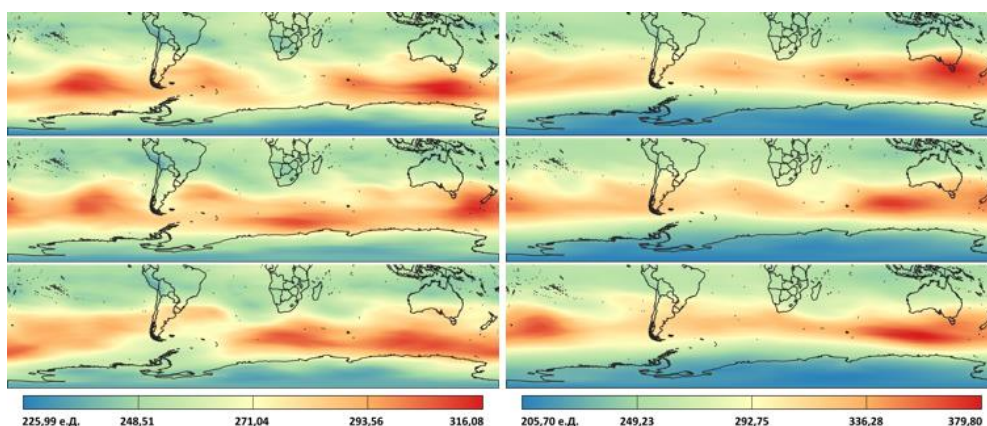


Рис. 1. Осредненное общее содержание озона в единицах Добсона в Южном полушарии за 5 дней, во время бури и 5 дней после бури в теплый декабрь–май (слева) и холодный июнь–ноябрь периоды (справа) [сост. авт. по 1, 2]

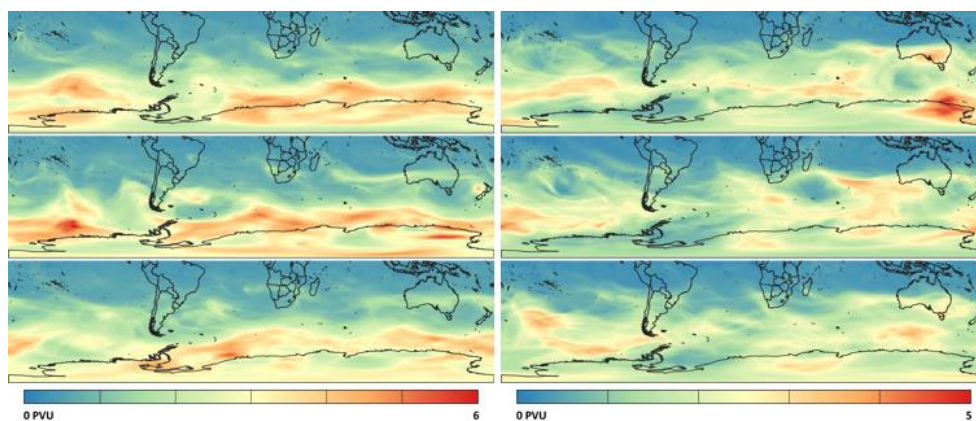


Рис. 2. Осредненная потенциальная завихренность в PVU на уровне 300 гПа в Южном полушарии за 5 дней, во время бури и 5 дней после бури в теплый декабрь–май (слева) и холодный июнь–ноябрь периоды (справа) [сост. авт. по 1, 2]

На карте потенциальной завихренности на уровне 300 гПа Южном полушарии в теплый период (рис. 2) видно усиление завихрений в районе 50° – 80° ю. ш., заметнее всего у побережья Антарктиды на юге Тихого океана (усиление с 2 до 6 PVU), после бури наблюдается общее ослабление потенциальной завихренности на 2 PVU. Для карты за холодный период (рис. 2) изменения потенциальной завихренности выражены хуже и имеют обратную тенденцию — ослабление завихренности во время бури, что наиболее заметно по области на побережье Антарктиды южнее Австралии — ослабление завихренности на 1 PVU. После бури продолжается медленное ослабление завихренности.

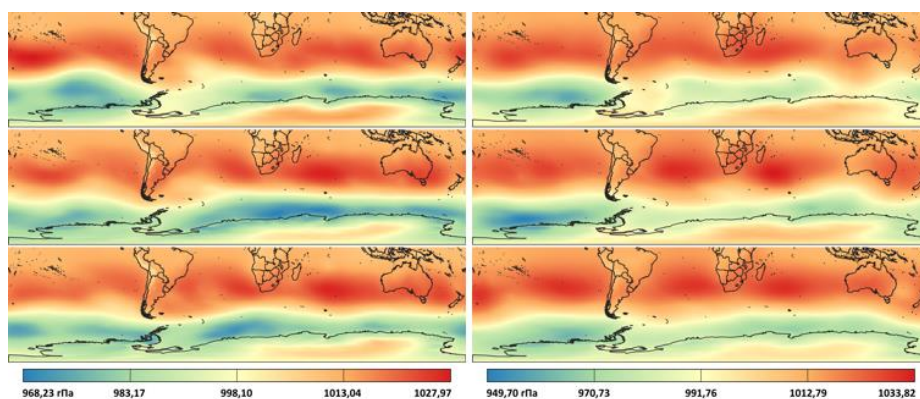


Рис. 3. Осредненное давление на уровне моря в гПа в Южном полушарии за 5 дней, во время бури и 5 дней после бури в теплый декабрь-май (слева) и холодный июнь-ноябрь периоды (справа) [сост. авт. по 1, 2]

На картах давления на уровне моря за теплый и холодный периоды (рис. 3) заметно, что давление над Антарктидой во время бури снизилось на 5-7 гПа и осталось пониженным в 5-дневный период после бури. Особо сильно снизилось давление у побережья Антарктиды — для теплого периода область максимального снижения давления расположена между Африкой и Антарктидой, для холодного периода она располагается на юге Тихого океана — здесь падение достигло 10-15 гПа. В период после бури давление повысилось приблизительно на 5 гПа. Также небольшое падение давления во время и после бури на 3-5 гПа наблюдается в 50-60° ю. ш.

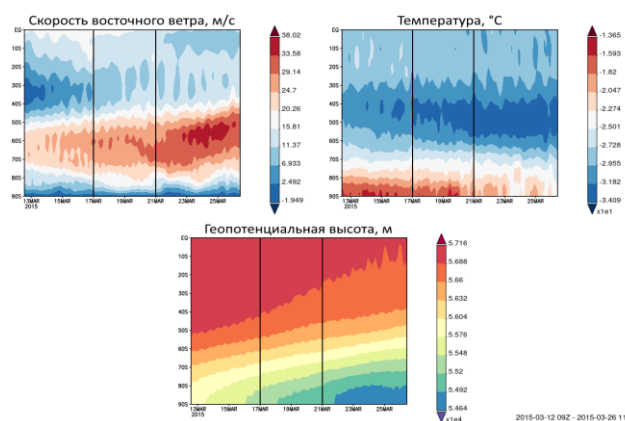


Рис. 4. Значения скорости восточного ветра (м/с), температуры воздуха (°C) и геопотенциальной высоты (м) для геопотенциального уровня 0,3 гПа за 5 дней до и 5 дней после ионосферной бури теплого периода 17-21 марта 2015 г. [сост. авт. по 1, 2]

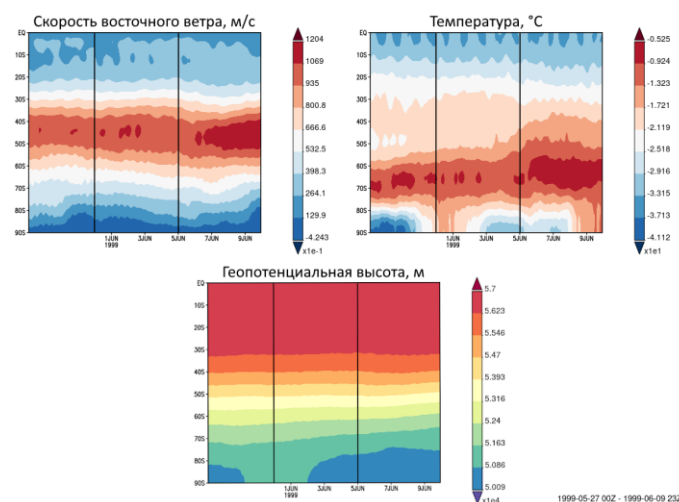


Рис. 5. Значения скорости восточного ветра (м/с), температуры воздуха (°C) и геопотенциальной высоты (м) для геопотенциального уровня 0,3 гПа за 5 дней до и 5 дней после ионосферной бури холодного периода 31 мая - 5 июня 1999 г.
[сост. авт. по 1, 2]

На графиках для бури теплого периода 17-21 марта 2015 г. (рис. 4) видно, что для геопотенциального уровня 0,3 гПа скорость восточного ветра после бури повышается на 5-10 м/с для 10-80° ю. ш. (максимальная скорость в 45-80° ю. ш.); падение во время и после бури температуры воздуха доходит до 3,8 °C для 35-90° ю. ш. (температурный минимум в 35-65° ю. ш.); падение геопотенциальной высоты на всех широтах наблюдается еще до бури и составляет около 300 м. При анализе другой мощной ионосферной бури теплого периода 20 декабря 2006 года наблюдалось усиление скорости во время и после бури примерно на 10 м/с в 5°-35° ю. ш. (максимум скоростей в 10-30° ю. ш.); падение температуры на 3,2 °C для 0-30° ю. ш.; падение геопотенциальной высоты для 0-20° ю. ш. на 440 м наблюдается еще за 3 дня до начала бури, но для 75-85° ю. ш. наблюдается рост геопотенциальной высоты на 440 м.

По графикам для бури холодного периода 31 мая - 5 июня 1999 г. (рис. 5) наблюдается увеличение скорости восточного ветра после бури на 13,5 м/с для 40-55° ю. ш.; после бури, для 35-90° ю. ш. наблюдается рост температуры на 4 °C, а также падение температуры на 2-3 день после бури для 80-90° ю. ш. на 11,6 °C; падение геопотенциальной высоты, усиливающееся на третий день ионосферной бури наблюдаются в 65-90° ю. ш. и составляет около 770 м. При анализе другой бури холодного периода 10 июля 2000 года наблюдался рост скорости ветра после бури на 13-27,3 м/с для 55-80° ю. ш.; рост температуры после бури на 4-8 °C для 55-70° ю. ш.; геопотенциальная высота заметно не меняется. Для ионосферной бури 3 ноября 2004 года наблюдался рост скорости восточного ветра со второго

дня бури на 3,9-7,8 м/с с дальнейшим ростом скорости еще на 11,8 м/с после бури для 10-80° ю. ш., причем для этой полосы в 40-50° ю. ш. скорость ниже почти на 12 м/с; для 75-90° ю. ш. видно падение температуры на 2,9-8,8 °С, но для других широт изменений температуры не просматривается; геопотенциальная высота с середины бури и после нее растет для 25-90° ю. ш. на 240-1450 м, причем сильнее всего для 80-90° ю. ш.

Таким образом, после ионосферных бурь в теплый период общее содержание озона возрастает на полюсах и убывает на 50-60° ю. ш., для холодного же периода изменение содержания озона проявляется не так четко и заметно только на 50-60° ю. ш. Потенциальная завихренность на уровне 300 гПа заметнее всего меняется в умеренных широтах и у побережья Антарктиды — усиливается после ионосферных бурь теплого периода и ослабевает после бурь холодного периода. Давление на уровне моря после бурь в оба периода падает над Антарктидой и особенно у ее побережья, менее заметное падение давления просматривается на умеренных широтах. Скорость восточного ветра для уровня 0,3 гПа возрастает после бурь для обоих периодов — на 5-10 м/с для теплого и 13-27,5 м/с для холодного; температура атмосферы для уровня 0,3 гПа в теплый период падает на 3-4 °С, в то время как в холодный период возрастает на 4-8 °С; геопотенциальная высота для уровня 0,3 гПа для ионосферных бурь теплого периода растет на 300-440 м, но рост высоты начинался еще до бурь и с началом бурь не наблюдается ускорения роста, для бурь холодного периода не просматривается общей тенденции в изменении геопотенциальной высоты вместе с ионосферными бурями.

Библиографические ссылки

1. Ионосферная погода: Планетарные бури полного электрического содержания // ИЗМИРАН [Электронный ресурс]. 2007-2023. Режим доступа: <https://www.izmiran.ru/services/iweather/storm/>. Дата доступа: 20.01.2024.
2. Giovanni: The Bridge Between Data and Science // NASA EarthData [Электронный ресурс]. 2017-2023. Режим доступа: <https://www.giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Дата доступа: 20.01.2024.
3. *Laštovička J.* A review of solar wind and high energy particle influence on the middle atmosphere. / *J. Laštovička* // *Ann. Geophys.* 1988. Vol. 6. P. 401-408.
4. *Laštovička J.* Solar wind and high energy particle effects in the middle atmosphere. / *J. Laštovička* // *Handbook for MAP* 1989. Vol. 29. P. 119-128.
5. *Laštovička J. and Križan P.,* (2005). Geomagnetic storms, Forbush decreases of cosmic rays and total ozone at northern higher middle latitudes. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 67, 119–124.