

## ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ИОНОСФЕРНЫХ БУРЬ

*А. М. Жмодиков<sup>1)</sup>, А. Ю. Кошин<sup>1)</sup>, Т.В. Шлендер<sup>2)</sup>, В.В. Жучкевич<sup>2)</sup>*

*<sup>1)</sup>Факультет географии и геоинформатики БГУ,*

*<sup>2)</sup>Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: anton.jmodikov482@gmail.com*

Объектами исследования в исследовании являются общее содержание озона, геомагнитные и ионосферные возмущения, предметом – изменение общего содержания озона во время геомагнитных и ионосферных возмущений. Целью работы – исследование связи ионосферных и геомагнитных возмущений и общего содержания озона. В исследовании определялись периоды и зоны максимумов озона, полей ионосферы для Южного полушария, строились вертикальные профили озона во время наблюдения озоновых максимумов, анализировались поля ионосферы и барические поля на высотах 30–10 мбар для выбранных случаев озоновых максимумов.

В работе продемонстрировано, что содержание стратосферного озона начинает снижаться за 4-5 дней до наступления дня с пиковым значением Wp-индекса (днём геомагнитной и, соответственно, ионосферной бури) и снижение продолжается с его наступлением. При помощи карт ионосферного индекса W, карт распределения и вертикальных профилей озона было показано, что есть основания предполагать наличие связи между значениями W-индекса и содержанием озона.

*Ключевые слова:* солнечно–земные связи; ионосфера Земли; ионосферные бури; стратосферный озон; динамика стратосферного озона.

## CHANGES IN PARAMETERS OF THE MIDDLE ATMOSPHERE DURING IONOSPHERIC STORMS

*A.M. Zhmodikov<sup>1)</sup>, A.Y. Koshin<sup>1)</sup>, T.V. Schlender<sup>2)</sup>, V.V. Zhuchkevich<sup>2)</sup>*

*<sup>1)</sup>Faculty of Geography and Geoinformatics BSU,*

*<sup>2)</sup> National Ozone Monitoring Research Center BSU,*

*Minsk, Republic of Belarus, e-mail: anton.jmodikov482@gmail.com*

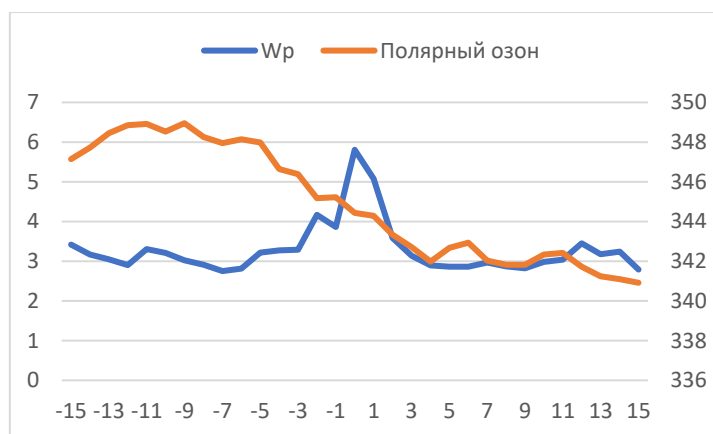
The objects of study in the study are the total ozone content, geomagnetic and ionospheric disturbances, the subject is the change in the total ozone content during geomagnetic and ionospheric disturbances. The purpose of the work is to study the relationship between ionospheric and geomagnetic disturbances and total ozone content. The study determined the periods and zones of ozone maxima and ionospheric fields for the Southern Hemisphere, constructed vertical ozone profiles during the observation of ozone maxima, analyzed ionospheric fields and pressure fields at altitudes of 30–10 mbar for selected cases of ozone maxima.

The work demonstrated that the content of stratospheric ozone begins to decrease 4–5 days before the onset of the day with the peak value of the Wp index (the day of the geomagnetic and, accordingly, ionospheric storm) and the decrease continues with its onset. Using maps of the ionospheric W index, distribution maps and vertical profiles of ozone, it was shown that there is reason to assume a relationship between W index values and ozone content.

*Keywords:* solar–terrestrial communications; the Earth's ionosphere; ionospheric storms; stratospheric ozone; stratospheric ozone dynamics.

Для проверки предположения о том, что содержание стратосферного озона снижается под влиянием ионосферных бурь, был применён метод наложения эпох. Данный метод был разработан А.Л. Чижевским в 1920-ые годы для исследований солнечно-земных связей. Суть данного метода заключается в том, что строятся две осреднённые по заданным периодам времени кривые, одна характеризует солнечную активность (кривая значений одного из индексов геомагнитной активности или кривая Вольфа), а вторая – исследуемое явление [0, с. 70].

Для данной работы построен график хода осреднённых значений индекса Wp (планетарный индекс ионосферной бури) во время 10 мощных геомагнитных бурь за период 1998–2015 гг. и стратосферного озона в Южном полюсе (63° – 90°). Данные по Wp-индексу взяты из открытого архива ИЗМИРАН [0], данные по озону взяты из открытого архива NASA по наблюдению за озоном [0]. Взяты промежутки времени за 15 и после 15 дней от ионосферных бурь.



*Рис. 1.* Осреднённые значения индекса Wp и полярного стратосферного озона в периоды геомагнитных бурь (Левая ось – значения индекса Wp, правая – значения содержания полярного стратосферного озона в единицах Добсона) [сост. авт. по 0, 0]

На рис. 1 видно, что содержание общего содержания озона (ОСО) начинает снижаться за 4–5 дней до наступления дня с пиковым значением Wp-индекса (днём геомагнитной и, соответственно, ионосферной бури) и

продолжается с его наступлением. За весь охватываемый графиком период времени падение составило  $\sim 5$  е.Д.

Таким образом, есть основания полагать, что существует зависимость между значением содержания полярного стратосферного озона и значением планетарного индекса ионосферной бури  $W_p$ , что означает зависимость от ионосферных бурь. Увеличение геомагнитной активности приводит к снижению содержания стратосферного озона в полярных шапках. Причиной разрушения озона во время вспышек является образование частиц активного водорода и, в особенности, азота, вызываемое дополнительной ионизацией в высокоширотной области D.

В данной работе рассматривается Южное полушарие Земли, которое отличается от Северного, меньшим количеством наблюдаемых озоновых максимумов.

Для проверки предположения о связи состояния ионосферы и состояния озоносферы, были отобраны 10 случаев наблюдавшихся озоновых максимумов на Южном полушарии и были построены соответствующие по времени карты  $W$ -индекса. В качестве вспомогательных использовались карты геопотенциальных высот для 30, 20 и 10 мбар.

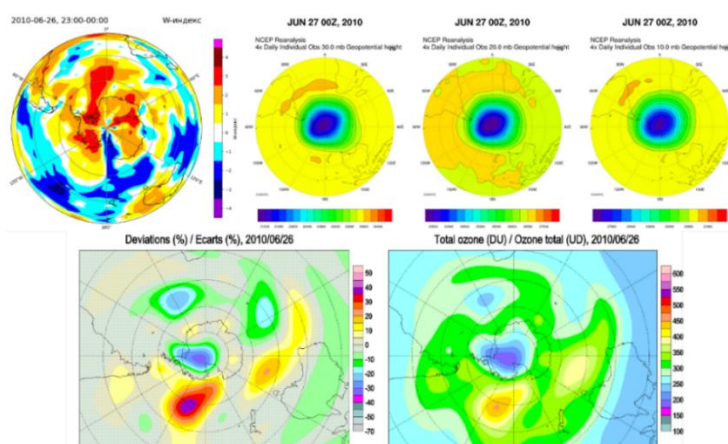


Рис. 2. Карта распределения ионосферного  $W$ -индекса [составлен автором с помощью скрипта на Python в JupiterLab по данным [0]; карты геопотенциальных уровней 30, 20 и 10 мбар [7]; карта отклонения содержания озона от среднего и абсолютное содержание озона для Южного полушария 26 июня 2010 г. [0]

Как видно из приведённых карт (рис. 2), озоновые максимумы косвенно связаны с соответствующими им по координатам областями ионосферы с положительным значением  $W$ -индекса, т.е. областями с большей электронной плотностью. Отрицательные отклонения ОСО у областей с максимальными значениями  $W$ -индекса могут быть вызваны увеличением содержания диоксид азота после дополнительной ионизации [0].

Также были построены профили вертикального распределения озона для случаев 18 апреля 2015 г. и 4 сентября 2016 г. на основе данных NASA Goddard Space Flight Center [0] по антарктической станции Хуан Карлос I.

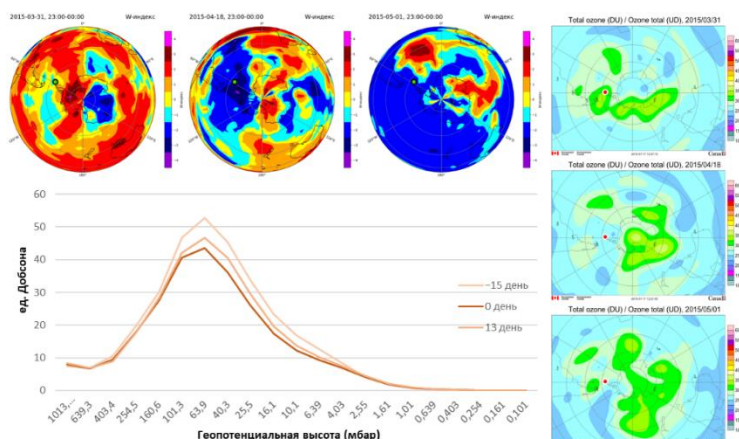


Рис. 3. Карты распределения ионосферного W-индекса для Южного полушария над антарктической станцией Хуан Карлос I 18 апреля 2015 г., за 15 дней и спустя 13 дней от срока [составлено автором с помощью скрипта на Python в JupiterLab по данным [0], профили вертикального содержания озона [составлен автором по данным [0] и карты абсолютного содержания озона [0]

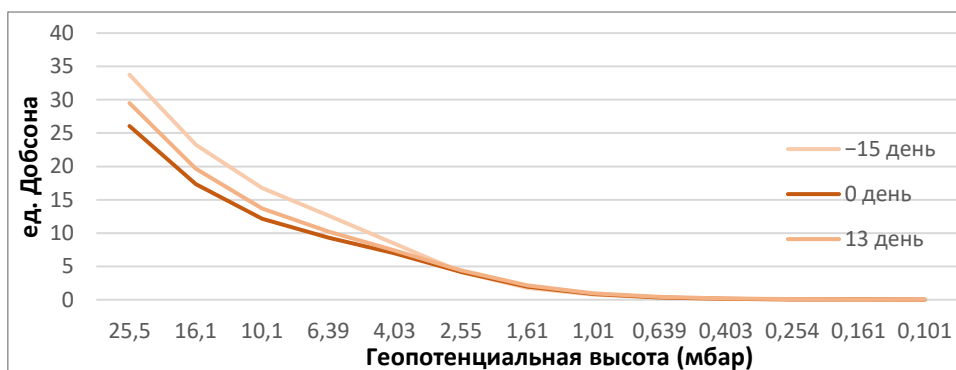


Рис. 4. Профиль вертикального содержания озона над антарктической станцией Хуан Карлос I 18 апреля 2015 г. для геопотенциальных высот от 25,5 до 0,1 мбар [составлен автором по данным 0]

Как видно из приведённых карт и вертикальных профилей озона, в случае 18 апреля 2015 г. (рис. 3, 4), спад содержания озона на высоте 100-150 гПа соответствует спаду значения W-индекса над озоновой станцией Хуан Карлос I и, соответственно, самое высокое содержание озона соответствует максимальному значению ионосферного индекса.

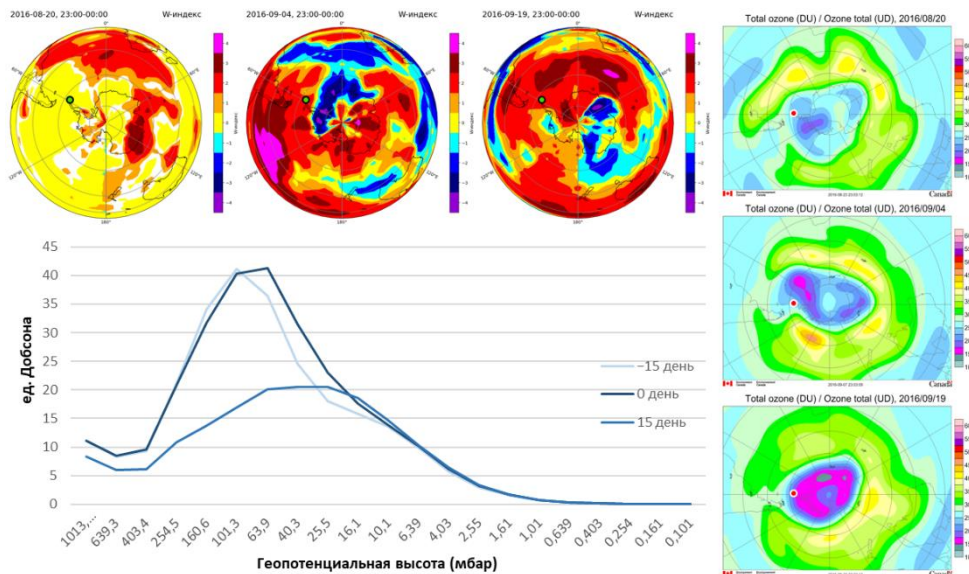


Рис. 5. Карты распределения ионосферного W-индекса для Южного полушария над антарктической станцией Хуан Карлос I 4 сентября 2016 г., за 15 дней и спустя 15 дней от срока [составлено автором с помощью скрипта на Python в JupiterLab по данным 0], профили вертикального содержания озона [составлен автором по данным 0] и карты абсолютного содержания озона [0]

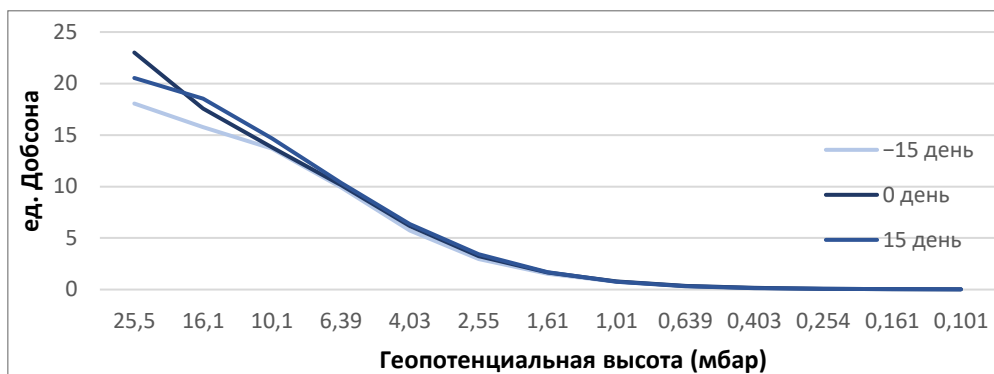


Рис. 6. Профиль вертикального содержания озона над антарктической станцией Хуан Карлос I 4 сентября 2016 г. для геопотенциальных высот от 25,5 до 0,1 мбар [составлен автором по данным 0]

В случае 4 сентября 2016 г. (рис. 5, 6) такая зависимость видна для геопотенциальных высот 30–0,1 мбар, которые наиболее чувствительны к изменениям концентрации электронов в ионосфере. Видно, что на рис. 6 в «0» день значения концентрации озона выше, чем в «-15» день на протяжении всей высоты начиная с 10 гПа до 50 Гпа. А максимум концентрации озона в «+15» день смещается со 100 гПа на 30 гПа, что может объясняться развитием озоновой отрицательной аномалии, полярного стратосферного вихря на высотах ниже 30 гПа.

Таким образом, можно наблюдать определенную связь между ОСО в Южном полушарии и индексом  $W_p$ . А именно, в верхней стратосфере молекулы озона больше реагируют на увеличение индекса  $W_p$  (или рост

ионизации атмосферы, слоя D). В зимний сезон отрицательная озоновая аномалия и полярный вихрь могут смещать пик концентрации озона в более высокие слои стратосферы.

### **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: 02.08.2023.
2. Ратовский К.Г., Эффекты последствий геомагнитных бурь: статистический анализ и теоретическое объяснение / К.Г. Ратовский [и др.] / Солнечно–земная физика. – 2018. – Т. 4. № 4. – С. 32–42.
3. Чижевский А.Л. Физические факторы исторического процесса / А.Л. Чижевский. – Калуга: 1-я Гостиполитография, 1924.
4. Environment and Climate Change Canada – Режим доступа: <https://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/clf2/selectMap> – Дата доступа: 22.07.2023.
5. NASA Goddard Space Flight Center. – Режим доступа: [https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Suomi\\_NPP/L2OVP/NPBUV\\_DAILYO3\\_INT/du/](https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Suomi_NPP/L2OVP/NPBUV_DAILYO3_INT/du/) – Дата доступа: 02.08.2023.
6. NASA Ozone Watch – Режим доступа: <http://www.ozonewatch.gsfc.nasa.gov/SN.html> – Дата доступа: 02.08.2023.
7. Physical Sciences Laboratory NCEP-NCAR Reanalysis – Режим доступа: <https://www.psl.noaa.gov/mddb2/makePlot.html?variableID=156781> – Дата доступа: 22.07.2023.