ЭФФЕКТЫ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ВДОЛЬ МОСКОВСКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО И ГЕОМАГНИТНОГО МЕРИДИАНОВ

Гуляева Т.Л., Пустовалова Л.В.

ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия

EFFECTS OF THE IONOSPHERE DISTURBANCES ALONG MOSCOW GEOGRAPHIC AND GEOMAGNETIC MERIDIANS

Gulyaeva T.L., Pustovalova L.V.

IZMIRAN, Moscow, Troitsk, Russia

The ionospheric disturbances are estimated along the geographic meridian of 35°E and magnetic meridian of 120°E which intersect at latitude of 55°N near Moscow. The total electron content TEC-based $W(TEC)$ index is analyzed at two meridians using W -index data provided at IZMIRAN website "The ionospheric weather" (<https://www.izmiran.ru/ionosphere/weather/>). W -index varies from -4 to +4 in step of 1 as a measure of deviation of the instant TEC or the peak electron density $NmF2$ (the critical frequency $foF2$) from the quiet median. Variations of $W(TEC)$ with latitude are investigated at 17 observatories along two meridians under quiet and disturbed conditions. The storm effects ($W = \pm 3$ and ± 4) are dominant along the magnetic meridian at the polar ionosphere and the equatorial anomaly of ionization. The chaotic hour-to-hour variations of W -index are observed at the both meridians under quiet conditions but these could show enhancements sometimes with $W(foF2)$ observations accompanied by predictions 24h in advance at IZMIRAN web site.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-105-108

Количественные характеристики космической погоды оцениваются в виде локальных, региональных и глобальных индексов, таких как экваториальный Dst индекс интенсивности кольцевого тока магнитосферы, планетарный геомагнитный Kp индекс, AU, AL, и AE индексы интенсивности авроральных ионосферных токов, показатели ионосферной активности WU, WL, и WE индексы [1–2]. Локальные изменения ионосферной погоды градуируются W-индексом по четырем уровням ($W = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4$) для положительных и отрицательных логарифмических отклонений $foF2$ ($NmF2$) или полного электронного содержания ТЕС от спокойного медианного значения. Вариации структуры и динамики ионосферы и магнитосферы неоднократно исследовались вдоль геомагнитных и географических меридианов [3–5].

В данной работе представлены оценки ионосферных возмущений вдоль географического меридиана 35°E (Г35) и геомагнитного меридиана 120°E (М120), пересекающихся на широте 55°N в Московской области (рис. 1а). В отличие от известных меридиональных проектов [4–5], мери-

диан M120 заметно отклоняется от Г35 в полярных областях. Отметим расстояние $d = 4565$ км от Москвы (MOBN) до Северного магнитного полюса и разницу на 6 ч по местному времени между ними, и $d = 4502$ км между сопряженной точкой (CZTG) и Южным магнитным полюсом и разнице на 2 ч между ними. Вследствие этих различий наблюдаем превышение TEC и $W(\text{TEC})$ в CZTG (на широте $\varphi = 46.3^\circ\text{S}$) по сравнению с MOBN ($\varphi = 55.1^\circ\text{N}$) во время бури 11–12 апреля 2001 г. ($\text{Dst}_{\min} = -271$ нТл, рис. 1b).

Рис. 1. (a) 17 пунктов наблюдений TEC вдоль меридианов Г35 (сплошная линия) и M120 (пунктир); (b) вариации TEC (слева) и W-индекса (справа) на 4-х станциях Северного полушария (вверху) и 4-х станциях Южного полушария (внизу) во время бури 11–12.04.2001 г.

Доминирование глобальных $\text{WLg}/\text{WUg}/\text{WEg}$ ионосферных индексов [1] по сравнению с региональными $\text{WU35}/\text{WL35}/\text{WE35}$ индексами вдоль меридиана Г35 показано на рис. 2b для бури 14–17 декабря 2006 г. Изменения параметров OMNI Межпланетного магнитного поля и солнечного ветра приведены на рис. 2a, и геомагнитных индексов Kp , aa , и Dst на рис. 2b.

Рис. 2. (a) Параметры ММП B , B_z , T_p , N_p , V_{sw} 14–17 декабря 2006 г.; (b) глобальные $\text{WU}/\text{WL}/\text{WE}$ и меридиональные $\text{WU35}/\text{WL35}/\text{WE35}$ ионосферные индексы вдоль меридиана Г35 и геомагнитные Kp , aa , и Dst индексы.

Сравнение 15-мин меридиональных $\text{WU}/\text{WL}/\text{WE}$ индексов на основе карт TEC [6] и Dst индекса во время бури 14–15 декабря 2006 г. (рис. 3a) с изменениями этих параметров в спокойных условиях 19–20 августа 2019 г. (рис. 3b) показывает наличие ионосферной возмущенности даже при спокойной геомагнитной активности.

Рис. 3. Меридиональные WU/WL/WE ионосферные индексы вдоль Г35 и экваториальный Dst индекс: (a) во время бури 14–15 декабря 2006 г.; (b) в спокойных условиях 19–20 августа 2019 г.

Сравнение вариаций W(TEC)-индекса со временем вдоль меридианов Г35 и М120 показано для бури 12–14 декабря 2006 г. (рис. 4а,б) и в спокойных условиях 19–21 августа 2019 г. (рис. 4с,д). Отметим симметрию положительных и отрицательных возмущений W(TEC) вдоль геомагнитного меридиана (рис. 4б), отличную от представления вдоль Г35 (рис. 4а) и хаотические изменения более слабых ионосферных возмущений в спокойных условиях (рис. 4с,д). Умеренные возмущения постоянно присутствуют в ионосфере [1], что объясняется заметным вкладом процессов в нижней атмосфере по сравнению с солнечной и геомагнитной активностью [7].

Рис. 4. Сравнение ионосферного W(TEC) индекса вдоль меридиана Г35 (слева) и М120 (справа): (a, b) буря 12–14.12.2006 г.; (c, d) спокойные дни 19–21.08.2019 г.

Результаты проведенного исследования выявили следующие закономерности:

- Эффекты возмущений в ионосфере во время бури наиболее четко проявляются вдоль геомагнитного меридиана по сравнению с их представлением в географических координатах.
- Более слабые хаотические ионосферные неоднородности наблюдаются вдоль географического и геомагнитного меридианов при спокойных условиях.
- Доминирование интенсивности глобального отклика ионосферы на бурю в космическом пространстве по сравнению с меридиональными эффектами.
- Результаты показывают надежность использования как глобальных, так и региональных (меридиональных) обобщенных ионосферных индексов WU/WL/WE [1–2] для оценки ионосферной активности во время бурь и в спокойных условиях.
- Доступность исходных глобальных карт GIM-TEC со скважностью 15 мин в режиме, близком к реальному времени [6], позволяет улучшить исследование и прогноз пространственно-временных изменений соответствующих карт W(TEC) индекса, выполняемых автоматически на сайте ИЗМИРАН с заблаговременностью в 24 ч (<https://www.izmiran.ru/ionosphere/weather/>).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-52-25001_Кипр_a и RPF (Кипр) Bilateral/Russia(RFBR)1118/0004 (RENAM).

Литература

1. Gulyaeva T.L. et al. Persistent perturbations of ionosphere at diminution of solar and geomagnetic activity during 21-24 solar cycles // J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 221, 105706, 2021.
2. Гуляева Т.Л., Хараламбус Х. Трехчасовые индексы ионосферной активности // Геомагн. Аэронавиг., 61(6), 2021.
3. Dmitriev A.V. et al. Longitudinal variations of positive dayside ionospheric storms related to recurrent geomagnetic storms // J. Geophys. Res., 118(10), 6806-6822, 2013.
4. Wang C. New Chains of Space Weather Monitoring Stations in China // Space Weather, 8, S08001, 2010.
5. Зайцев А.Н. и др. Состояние и перспективы развития проекта «Геомагнитный меридиан 145» / Сб. «Проблемы геокосмоса». СПб, 342-355, 2021.
6. Li Z. et al. IGS real-time service for global ionospheric total electron content modeling // J. Geodesy, 94, 32, 2020.
7. Meng X., Verkhoglyadova O.P. Quantifying contributions of external drivers to the global ionospheric state // Space Weather, 19, e2021SW002752, 2021.