

**ПОКАЗАТЕЛИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ
ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ GPS**

Т.Л. Гуляева

**INDEXES OF THE IONOSPHERE VARIABILITY DURING GEOMAGNETIC STORMS
AS DEDUCED FROM GPS OBSERVATIONS**

T.L. Gulyaeva

Индексы положительной и отрицательной возмущенности полного содержания электронов N_T в ионосфере и плазматмосфере градуированы по степени логарифмических отклонений от спокойной медианы за предыдущие 27 дней. Используются данные мировых карт GPS-IONEX вдоль меридиана 30° E на широтах от 10° до 60° N за 1999–2006 гг. Шкала индексов N_T определяет спокойные условия, умеренные возмущения, умеренные бури и сильные бури в ионосфере. Сравнение индексов N_T с 69 интенсивными магнитными бурями при $D_{st} < -100$ нТл показало, что около 20 % магнитных бурь не сопровождается бурями в ионосфере. Магнитосферная буря в 10 % случаев вызывает увеличение N_T без последующего спада, около 30 % составляют случаи отрицательной фазы бури N_T без положительной фазы и менее 50 % – бури с известной схемой общего типа положительной и отрицательной фаз N_T .

Indexes of the positive and negative disturbance of the total electron content N_T in the ionosphere and plasmasphere are calibrated in the degree of logarithmic deflection from the quiet median for the previous 27 days. Data are used from world maps GPS-IONEX along the meridian of 30° E in the latitudes from 10° to 60° N for 1999–2006. The index scale N_T determines quiet conditions, moderate disturbances, moderate and strong storms in the ionosphere. The comparison between N_T indexes and 69 intensive magnetic storms at $D_{st} < -100$ nT revealed that about 20 % of magnetic storms are not accompanied by ionospheric storms. 10 % of magnetic storms result in increasing N_T without succeeding decay; about 30 % are the cases of the N_T negative storm phase without positive one; less than 50 % of storms are those with the well-known general-type scheme of positive and negative N_T phases

Отклик полного электронного содержания на геомагнитную бурю многократно исследовался в литературе [1–3]. Предполагаемая 100%-я эффективность магнитосферных бурь в ионосфере привела к применению геомагнитных индексов в качестве драйверов моделей ионосферных бурь. Однако в последнее время выяснилось, что имеются ионосферные возмущения, не связанные с магнитными бурями [4]. Естественно, возникает вопрос, все ли магнитные бури вызывают соответствующий отклик в ионосфере и плазматмосфере Земли?

С целью исследования данного вопроса были проанализированы данные полного электронного содержания N_T в столбе единичного сечения от основания ионосферы (65–80 км) до высот орбиты спутниковой радионавигационной системы GPS в плазматмосфере (20200 км). Данные выбраны из ежедневных двухчасовых карт мирового времени ESAG-IONEX (<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex>) за период 1999–2006 гг. вдоль меридиана 30° E на широтах от 10° до 60° N.

Значения N_T были предварительно нормированы на отношение зенитного угла Солнца в момент наблюдения к его значению в местный полдень. При этом сохраняется без изменения полуденное значение N_T , а в остальное время суток результат нормировки дает постепенное уменьшение N_T от дня к ночи с сохранением этой формы профиля суточных вариаций в течение года в любой точке земного шара.

В качестве спокойного уровня отсчета вычислена медиана N_T за 27 предыдущих дней в каждый момент мирового времени в каждом узле карты по широте для меридиана 30° E в северном полушарии. Относительные изменения N_T градуированы по степени логарифмических отклонений от медианы подобно индексам максимальной плотности электронов [5]. Индексы W_T положительной и отрицатель-

ной возмущенности N_T равны ± 1 для спокойных условий, ± 2 – для умеренных возмущений, ± 3 – для умеренных ионосферных бурь, и ± 4 – для интенсивных ионосферных бурь.

Пример полученных W_T -индексов приведен на рис. 1 (вверху) для магнитной бури 24–25 августа 2005 г. Соответствующие вариации D_{st} -индекса, характеризующего интенсивность кольцевого тока в магнитосфере на расстоянии нескольких земных радиусов, показаны на нижней панели. Видно максимальное значение $W_T = 3$ в момент пика магнитосферной бури, сопровождаемое отрицательной фазой ионосферной бури, достигающее экстремально низких значений $W_T = -4$ (уменьшение N_T более, чем на 50 %) в местное ночное время через 10 часов после главной фазы магнитной бури. Затем наблюдается постепенное восстановление спокойного уровня в магнитосфере и ионосфере.

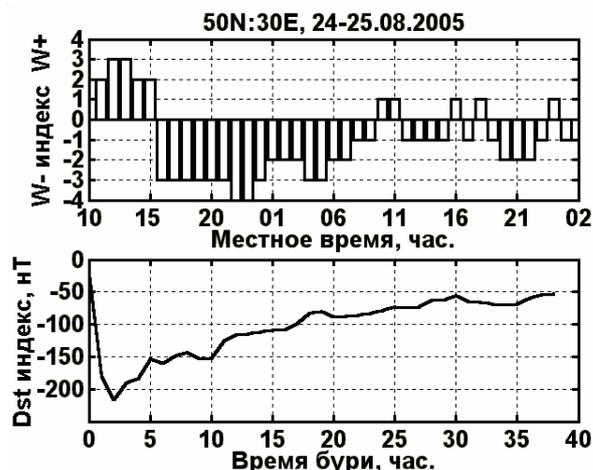


Рис. 1. Индекс ионосферной изменчивости (вверху) во время геомагнитной бури 24–25 августа 2005 г.; геомагнитный D_{st} -индекс (внизу).

За период с января 1999 по декабрь 2006 г. были выделены 69 интенсивных магнитных бурь, достигших минимума $D_{st} < -100$ нТл. Подобно примеру на рис. 1, в течение каждой магнитосферной бури в каждом узле по широте на долготе 30° Е были выбраны максимальный положительный индекс W_{T+} и минимальный отрицательный индекс W_{T-} . По определению, проявление бури электронного содержания в ионосфере и плазмосфере характеризуется индексом W_T , равным ± 3 и ± 4 . В вариациях W_T -индекса во время D_{st} -бури наблюдались 31 двухфазная буря в ионосфере и плазмосфере ($W_{T-} \leq -3$; $W_{T+} \geq 3$), 7 бурь с увеличением плотности ионизации без последующего уменьшения ($W_{T+} \geq 3$; $W_{T-} \geq -2$), 19 бурь только с уменьшением плотности ионизации ($W_{T-} \leq -3$; $W_{T+} \leq 2$). Кроме того, 12 магнитных бурь наблюдались при умеренной изменчивости N_T менее 20 % от спокойной медианы ($-2 \leq W_T \leq 2$).

Групповой «портрет» широтных вариаций положительных и отрицательных индексов ионосферной изменчивости показан на рис. 2 в виде средних значений в пределах стандартного среднеквадратичного отклонения. Кривые 1 и 2 представляют среднее изменение W_T для 31 двухфазной бури N_T во время магнитных бурь, кривые 3 и 4 – изменение W_T в отсутствие заметных отклонений N_T во время 12 бурь D_{st} . Видно, что положительные индексы возрастают к экватору. Наименьшие отрицательные индексы на широтах 20 – 30° соответствуют изменениям характеристик в пике экваториальной аномалии в ионизации [6].

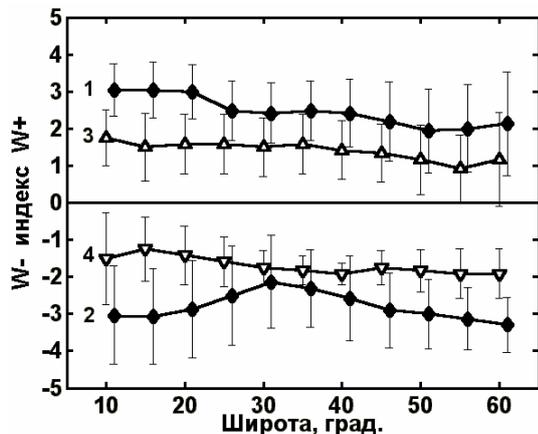


Рис. 2. Вариации экстремальных ионосферных индексов, осредненных по пакетам геомагнитных бурь, и их среднеквадратичные отклонения. Кривые 1 и 2 – случай двухфазной ионосферной бури при геомагнитной буре; кривые 3 и 4 – в отсутствие ионосферной бури при геомагнитной буре.

Таким образом, маркировка уровней спокойной и возмущенной ионосферы позволила получить характеристики изменчивости интегральной ионизации N_T в ионосфере и плазмосфере по мировым картам GPS-IONEX на долготе 30° Е в северном полушарии. Проведен анализ полученных ионосферных индексов во время 69 интенсивных геомагнитных бурь с $D_{st} < -100$ нТл за период 1999–2006 гг. Выявлено четыре типа изменений полного электронного содержания N_T во время магнитной бури: 1) стандартная ионосферная буря с положительной и отрицательной фазами наблюдалась в 45 % случаев; 2) только положительная фаза наблюдалась в 10 % случаев; 3) только отрицательная фаза наблюдалась в 28 % случаев; 4) в 17 % случаев магнитная буря проходила без ответной бури в интегральном содержании электронов в ионосфере и плазмосфере. Этим может объясняться ограниченное применение метода коррекции максимальной плотности ионизации в ионосфере по предыстории геомагнитных индексов [7]. Индексы ионосферной изменчивости могут существенно дополнить геомагнитные индексы в качестве управляющих параметров ионосферных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Mendillo M. Storms in the ionosphere: Patterns and processes for total electron content Rev. Geophys. 2006. V. 47. RG4001. P. 1–47.
- Афраймович Э.Л., Первалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли // Иркутск: ИСЗФ, 2006. 479 с.
- Zhao B., Wan W., Liu L., Mao T. Morphology in the total electron content under geomagnetic disturbed conditions: Results from global ionosphere maps // Ann. Geophys. 2007. V. 25. P. 1555–1568.
- Mikhailov A.V., Depueva A.H., Depuev V.H. Day-time F2-layer negative storm effect: What is the difference between storm-induced and Q-disturbance events? // Ann. Geophys. 2007. V. 25. P. 1531–1541.
- Gulyaeva T.L., Stanisłwska I., Tomasik M. Ionospheric weather: Cloning missed f_0F_2 observations for derivation of variability index // Ann. Geophys. 2008 (in press).
- Dumin Yu.V. The accuracy of IRI in the description of development of the equatorial (Appleton) anomaly // Adv. Space Res. 2007. V. 39. P. 687–690.
- Fuller-Rowell T.J., Araujo-Pradere E., Codrescu M.V. An empirical ionospheric storm-time model // Adv. Space Res. 2000. V. 25(1). P. 139–146. Doi:10.1016/S0273-1177(99)00911-4.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк