

УДК 550.388

ВАРИАЦИИ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВО ВРЕМЯ МОЩНОГО ТАЙФУНА 5–11 АВГУСТА 2006 г. У ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КИТАЯ

А.Б. Ишин

TOTAL ELECTRON CONTENT VARIATIONS DURING THE STRONG TYPHOON OF AUGUST 5–11, 2006 NEAR SOUTH-EASTERN COAST OF CHINA

A.B. Ishin

В данной работе проведен анализ вариаций полного электронного содержания (ПЭС), полученных по данным 11 наземных станций GPS в регионе (5° S – 80° N; 110 – 160° E) в период 2–15 августа 2006 г., с целью поиска возможных ионосферных проявлений мощного тайфуна SAOMAI 5–11 августа 2006 г. у юго-восточного побережья Китая. Были использованы также глобальные карты ПЭС (GIM).

В районе действия тайфуна во время магнитной бури 7 августа было выявлено усиление вариаций ПЭС в вечернее местное время в диапазоне периодов 32–128 мин. Однако этот эффект вероятнее всего был обусловлен динамикой неоднородной структуры экваториальной аномалии, а также возмущенной геомагнитной обстановкой ($K_p \sim 3$ – 6 , D_{st} от -74 до -153 нТл). Анализ суточных вариаций абсолютных значений ПЭС и вариаций ПЭС с периодами 2–25 мин не выявил существенного увеличения интенсивности и изменения спектра вариаций ПЭС в период действия тайфуна по сравнению с соседними днями. Таким образом, нам не удалось обнаружить ионосферные возмущения, однозначно связанные с тайфуном SAOMAI.

The analysis of total electron content (TEC) variations as deduced from GPS data of 11 sites in the region of 5° S – 80° N; 110 – 160° E of during 2–15 August 2006 was carried out to find possible ionospheric effects of the strong typhoon SAOMAI of 5–11 August 2006 near south-eastern coast of China. We also of global ionospheric maps (GIM).

The intensification of TEC variations in the range of 32–128 min for evening local time was found in the region of the typhoon activity during the magnetic storm of August 7, 2006. However this effect seems to be caused by the dynamics of the equatorial anomaly irregularities as well as by disturbed geomagnetic situation ($K_p \sim 3$ – 6 , D_{st} from -74 to -153 nT). The analysis of TEC absolute values diurnal variations and TEC variations in the range of 2–25 min was made. It did not show evident change of TEC variations spectrum during typhoon in comparison with neighbor days. Therefore we did not find ionospheric disturbances that were caused by the SAOMAI typhoon.

Введение

В литературе, посвященной тропосферно-ионосферному взаимодействию, неоднократно высказывалось предположение, что мощные метеорологические возмущения (циклоны, ураганы, тайфуны, торнадо, грозы и т. д.) должны служить источником акустико-гравитационных волн (АГВ). В работе [1] на решетке доплеровских установок в северной части Тайваня было проведено исследование параметров ПИВ во время 12 тайфунов 1982–1983 гг. Авторы [1] лишь для двух событий смогли обнаружить ионосферный отклик в форме квазипериодических вариаций с характерным периодом 13–14 мин.

Однако надежного экспериментального подтверждения существования ПИВ метеорологического происхождения до сих пор не получено. В ИСЗФ СО РАН разработаны научные принципы и создан уникальный программный комплекс GLOBDET глобального мониторинга ионосферных возмущений на основе измерений вариаций полного электронного содержания (ПЭС), выполненных на разнесенных в пространстве приемниках GPS [2].

Целью данной работы является поиск возможных ионосферных проявлений мощного тайфуна SAOMAI 7–11 августа 2006 г. у юго-восточного побережья Китая. Для этого использовались данные вариаций ПЭС, полученные на 11 наземных станциях GPS в регионе (5° S – 80° N; 110 – 160° E) в период 2–15 августа 2006 г., и глобальные карты ПЭС (GIM [3]).

Общие сведения об эксперименте и методика обработки данных

На рис. 1, а штриховой линией представлена траектория движения центра тайфуна SAOMAI с 5 по 11 августа 2006 г. Звездочками отмечено его положение для 0:00 UT каждого дня. Данные по тайфуну были взяты с сайта <http://www.solar.ifa.hawaii.edu/Tropical/>. Черными точками показаны станции GPS, данные которых были доступны из Internet <http://sopac.ucsd.edu/>.

Геомагнитную обстановку можно охарактеризовать как возмущенную. На рис. 2, г даны зависимости от времени индексов геомагнитной возмущенности K_p (серая линия) и D_{st} (черная линия). 7 августа была зарегистрирована магнитная буря с SSC в 00:36 UT. Во время бури значения индекса K_p достигали 5–6, а значения D_{st} варьировались в пределах от -74 до -153 нТл.

Технология GPS предоставляет возможность детектирования волновых возмущений в ионосфере на основе двухчастотных фазовых измерений вариаций наклонного ПЭС I_s .

Измерения фазы в системе GPS производятся с высокой степенью точности, при которой ошибка в определении ПЭС при 30-секундных интервалах усреднения не превышает 10^{14} м⁻², хотя начальное значение ПЭС и остается неизвестным [4]. Это позволяет детектировать неоднородности ионизации и волновые процессы в ионосфере в широком диапазоне значений амплитуд (до 10^{-4} от суточного изменения ПЭС) и периодов (от суток до 5 мин). Ниже мы будем использовать общепринятую в литературе единицу измерения

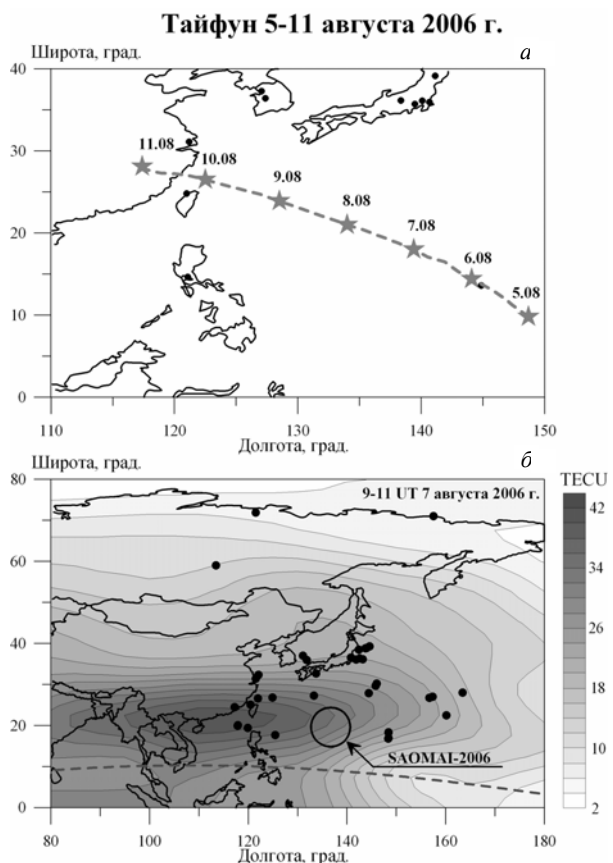


Рис. 1. Общая геометрия эксперимента (а). Карта ПЭС и положение максимумов вариаций ПЭС (точки), соответствующих крупномасштабным ионосферным возмущениям, для 09:00–11:00 UT 7 августа 2006 г. (б).

ПЭС TECU, равную 10^{16} м^{-2} .

Для нормировки амплитуды возмущений ПЭС используется преобразование «наклонного» ПЭС I_s в эквивалентное «вертикальное» значение I .

Из всего массива данных ПЭС мы выбирали непрерывные ряды $I(t)$ длительностью 2.3 ч. Таким образом, для каждого дня мы получали данные ПЭС для 22 перекрывающихся временных интервалов с шагом 1 ч. Ряды ПЭС $I(t)$ фильтровались методом скользящего среднего в трех диапазонах периодов: 2–10, 10–25 и 32–128 мин, в результате получались ряды $dI(t)$. Для каждого ряда $dI(t)$ рассчитывалось среднеквадратичное отклонение (с.к.о.) σ . Далее для каждого 2.3-часового интервала значения σ усреднялись по всем рядам $dI(t)$, отфильтрованным в данном диапазоне периодов – $S = [\sum \sigma_i] / m$, где $i=1, 2, \dots, m$; m – количество рядов $dI(t)$. Так мы получали ряды $S_L(t)$, $S_M(t)$ и $S_S(t)$ интенсивности вариаций ПЭС в трех диапазонах периодов, соответствующих крупномасштабным (L, 32–128 мин), среднемасштабным (M, 10–25 мин) и мелкомасштабным (S, 2–10 мин) возмущениям.

Исследование вариаций ПЭС в регионе действия тайфуна SAOMAI

На рис. 2, а представлены изменения абсолютных значений ПЭС, усредненных по земному шару, за 2006 г. Далее приведены временные зависимости значений ПЭС, усредненных по земному шару (серая линия) и по региону наибольшей активности тайфуна

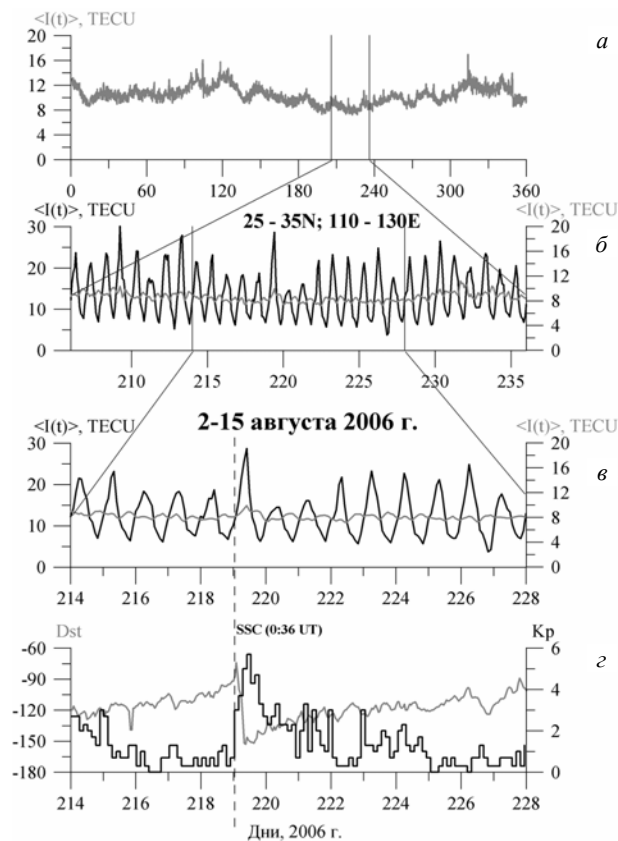


Рис. 2. Вариации абсолютных значений ПЭС, усредненных по всему земному шару (серые линии) и по региону (25–35° N; 110–130° E) (черная линия) (а, б, в). Вариации индексов K_p (серая линия) и D_{st} (черная линия) (г).

(25–35° N; 110–130° E) (черная линия), для следующих номеров дней в году: 206–236 (рис. 2, б) и 214–228 (рис. 2, в).

По изменениям ПЭС, усредненным по земному шару (серая линия, рис. 2, б, в), прослеживается отклик на магнитную бурю 7 августа 2006 г. Видно, что после внезапного начала происходит глобальное увеличение ПЭС. Такую же картину мы можем наблюдать и для регионального ПЭС (черная линия, рис. 2, б, в). По временной зависимости регионального ПЭС хорошо прослеживается уменьшение максимальных значений ПЭС в дни после бури с постепенным восстановлением невозмущенного уровня. Такое поведение электронной концентрации и ПЭС весьма характерно для геомагнитных бурь и описано во множестве работ (например, [5]). Таким образом, сравнение вариаций регионального ПЭС во время существования тайфуна с предшествующими и последующими днями не дает оснований для вывода об увеличении максимального значения ПЭС в период действия тайфуна.

На рис. 3, а–в даны ряды интенсивности вариаций ПЭС $S_L(t)$, $S_M(t)$ и $S_S(t)$ для трех диапазонов периодов. Вертикальными штриховыми линиями показан временной интервал наблюдения тайфуна SAOMAI.

Из рис. 3, а видно, что во время действия тайфуна интенсивность $S_L(t)$ вариаций ПЭС с периодами 32–128 мин возрастала только во время магнитной бури 7 августа (рис. 2, г). В остальные дни существования тайфуна ряд $S_L(t)$ не имеет существенных отличий

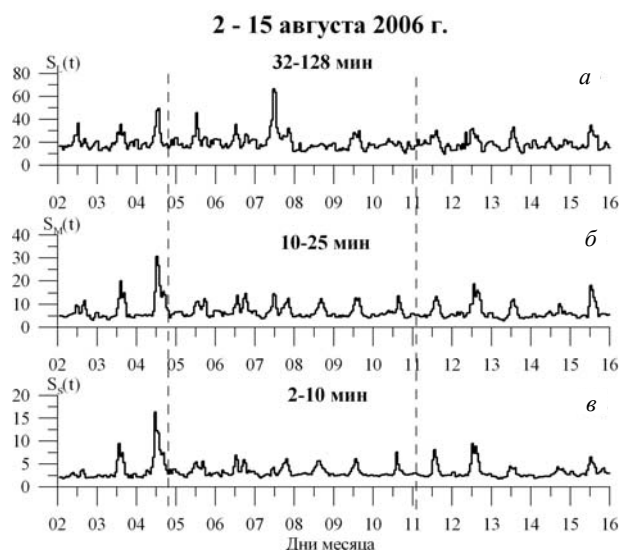


Рис. 3. Ряды интенсивности вариаций ПЭС для региона действия тайфуна, отфильтрованных в диапазонах периодов 32–128 (а), 10–25 (б) и 2–10 мин (в).

по сравнению с соседними днями. Для определения пространственной локализации крупномасштабных ионосферных возмущений мы отобразили на карте (рис. 1, б, черные точки) положение подионосферных точек, соответствующих максимумам вариаций ПЭС, отфильтрованных в диапазоне периодов 32–128 мин, для интервала времени 9–11 UT 7 августа (18–20 LT для 135° E). Примерно в этом же интервале времени наблюдалась максимальная интенсивность $S_L(t)$ (рис. 3, а). Видно, что зарегистрированные максимумы крупномасштабных возмущений находятся вблизи области наибольшей активности тайфуна (окружность на рис. 1, б). С другой стороны, практически все максимумы расположены на вечерней стороне северного гребня экваториальной аномалии – карта абсолютных значений ПЭС дана графиками серого цвета на рис. 1, б.

Максимальные значения интенсивности вариаций ПЭС $S_M(t)$ (10–25 мин) и $S_S(t)$ (2–10 мин) в двух других диапазонах периодов наблюдались 3 и 4 августа до появления тайфуна (рис. 3, б, в). Во время существования тайфуна усиления вариаций $S_M(t)$ и $S_S(t)$ по сравнению с соседними днями не наблюдалось.

Обсуждение результатов и выводы

В районе действия тайфуна во время магнитной бури 7 августа было выявлено усиление вариаций ПЭС в вечернее местное время в диапазоне периодов 32–128 мин. Несмотря на то, что соответствующие экстремумы вариаций ПЭС были зарегистрированы вблизи области действия тайфуна, трудно сделать вывод о взаимосвязи этих событий. Вероятнее всего, этот эффект был обусловлен динамикой возмущенной неоднородной структуры экваториальной аномалии, а также появлением на низких широтах интенсивных крупномасштабных возмущений аврорального происхождения. Анализ суточных вариаций абсолютных значений ПЭС и вариаций ПЭС с периодами 2–25 мин не выявил существенного увеличения интенсивности ПЭС в период действия тайфуна по сравнению с соседними днями.

Таким образом, анализ интенсивности вариаций ПЭС, определенных по данным наземных приемников GPS и карт GIM, не выявил ионосферных возмущений, однозначно связанных с тайфуном SAOMAI-2006.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 05-05-64634 и 06-05-64577), а также интеграционного проекта СО РАН N 3.24.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang Y.-N., Cheng K., Chen S.-W. On the detection of acoustic-gravity waves generated by typhoon by use of real time HF Doppler frequency shift sounding system // Radio Science. 1985. V. 20. P. 897–906.
2. Afraimovich E.L. GPS global detection of the ionospheric response to solar flares // Radio Sci. 2000. V. 35. P. 1417–1424.
3. Mannucci A.J., Wilson B.D., Yuan D.N., et al. A global mapping technique for GPS-derived ionospheric TEC measurements // Radio Sci. 1998. V. 33, N 3. P. 565–582.
4. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice. New York: Springer-Verlag Wien. 1992. P. 327.
5. Buonsanto M.J. Ionospheric storms – A review // Space Science Reviews. 1999. V. 88. P. 563–601.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск