

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВО ВРЕМЯ ДЕЙСТВИЯ МОЩНЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ SANBA И SANDY

А.С. Полякова, Н.П. Перевалова

STUDY OF THE WAVE TOTAL ELECTRON CONTENT DISTURBANCES DURING THE POWERFUL TROPICAL CYCLONES SANBA AND SANDY

A.S. Polyakova, N.P. Perevalova

Проведено исследование волновых возмущений полного электронного содержания (ПЭС) в периоды действия мощных тропических циклонов (ТЦ) Sanba и Sandy, наблюдавшихся осенью 2012 г. Для анализа возмущений ПЭС, связанных с действием ТЦ, использовались данные фазовых двухчастотных приемников GPS и метеоархива NCEP Reanalysis. Показано, что в моменты наивысшего развития циклонов над зонами их действия наблюдается усиление интенсивности вариаций ПЭС различного масштаба. Радиус области ионосферных возмущений может составлять до 3000 км от центра циклона. При этом направление наиболее интенсивных возмущений ПЭС противоположно направлению фонового ветра на высоте нижней термосферы.

A study of the wave total electron content (TEC) disturbances during the powerful tropical cyclones (TCs) Sanba and Sandy action is carried out. These TCs were observed in the fall of 2012. The two-frequency phase GPS receivers and the NCEP Reanalysis weather archive data were used to analyze TEC variations connected with the TCs actions. An increase of different-scale TEC variations intensity is observed over the cyclones zones at the moments of its highest development. The radius of the ionospheric perturbations area can be up to 3000 km from a cyclone centre. The direction of the most intense wave TEC variation, as a rule, is opposite to the lower thermosphere background wind direction.

Введение

Тропические циклоны (ТЦ) – это мощные вихревые структуры, зарождающиеся в экваториальной тропосфере над океанами. Известно, что ТЦ являются источниками различных типов внутренних атмосферных волн (ВВВ), которые, проникнув на высоты ионосферы, могут приводить к генерации неоднородностей ионосферной плазмы [Lastovicka, 2006]. Ионосферные возмущения, связанные с воздействием ТЦ, регистрировались различными радиофизическими методами [Huang et al., 1985; Bishop et al., 2006; Xiao et al., 2007]. Однако в большинстве исследований, посвященных изучению отклика ионосферы на ТЦ, используются единичные измерения и короткие временные ряды данных, что не дает полной уверенности в том, что обнаруженные эффекты в ионосфере связаны именно с воздействием ТЦ. На основе анализа состояния ионосферы над зонами действия ТЦ, наблюдавшихся в 2005 г., нами уверенно зарегистрировано наличие волновых ионосферных возмущений, связанных с прохождением мощных циклонов в различных регионах [Polyakova, Perevalova, 2011, 2013]. Выявлено, что в период наивысшего развития тропического циклона (стадия урагана) над его траекторией в ионосфере формируется область неоднородностей ионизации диаметром 1500–2000 км, перемещающаяся вслед за движением ТЦ. Однако полная морфологическая картина реакции ионосферы на действие ТЦ до конца не ясна. В связи с чем в настоящей работе мы продолжаем серию исследований, посвященных изучению состояния ионосферной плазмы над зонами действия ТЦ. Для анализа выбраны наиболее мощные циклоны 2012 г.

Для исследования возмущений ПЭС, связанных с действием ТЦ, использовались данные фазовых двухчастотных приемников GPS [http://sopac.ucsd.edu]. Исходные ряды данных подвергались фильтрации с диапазонами периодов, соответствующих периодам акустико-гравитационных (2–10 мин) и средне- (10–

20 мин) и крупномасштабных (20–60 мин) внутренних гравитационных волн на высоте ионосферы. Для выделения волновых колебаний ПЭС указанных периодов. Далее полученные колебания ПЭС сравнились с поведением приземных метеорологических параметров (NCEP/NCAR Reanalysis, [http://www.esrl.noaa.gov/psd]), что позволило нам проследить связь ионосферных возмущений с движением и эволюцией ТЦ. Основа применяемого метода заключается в том, что на карты приземных метеопараметров наносятся траектории ионосферных точек лучей «приемник – спутник GPS», при этом размер каждой точки пропорционален модулю амплитуды колебаний ПЭС, зарегистрированной в данной точке. Для анализа использовались данные, полученные в вечерние/ночные часы местного времени в спокойной геомагнитной обстановке, что позволяет избежать влияния других геофизических факторов на полученные результаты [Perevalova, Ishin, 2011].

Вариации ПЭС во время ТЦ Sanba и Sandy

ТЦ Sanba являлся самым мощным тропическим циклоном в 2012 г. ТЦ Sanba действовал 10–17 сентября в северо-западной части Тихого океана, 13–14 сентября скорость ветра в циклоне достигла 90 м/с, и ТЦ Sanba была присвоена категория супертайфуна. Одним из наиболее мощных и самым разрушительным ураганом северной части Атлантического побережья США в 2012 г. являлся ТЦ Sandy, наблюдавшийся в этом регионе 21–31 октября. Максимальная скорость ветра в ТЦ превысила 50 м/с, а давление опускалось до 940 мбар. Данные об эволюции ТЦ и максимальной скорости ветра в циклонах приведены в табл. 1 [http://wunderground.com/hurricane/].

На рис. 1 представлены примеры возмущений во временных вариациях ПЭС, отфильтрованных в диапазоне периодов 2–10 мин. Приведены вариации ПЭС, которые были получены в вечерние/ночные

Эволюция и основные характеристики циклонов

Циклон	Время действия	Стадия урагана	Максимальная скорость ветра в ТЦ	Минимальное давление в ТЦ	Выход на сушу
Sanba	10–17.09.2012	12–17.09.2012	90 м/с (14.09.2012)	900 мБар (13.09.2012)	17.09.2012
Sandy	21–31.10.2012	24–29.10.2012	54 м/с (25.10.2012)	940 мБар (29.10.2012)	24.10.2012 25.10.2012

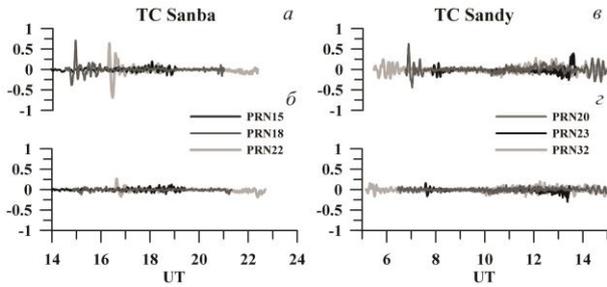


Рис. 1. Вариации ПЭС с периодом 2–10 мин на станциях, расположенных вблизи траектории ТЦ в период их наивысшего развития (а, б), и на тех же станциях в спокойные дни (б, з).

Таблица 2

Средняя амплитуда колебаний ПЭС вдоль луча «приемник – спутник GPS»

Период колебаний	Циклон	
	Sanba 90 м/с (14.09.2012 г.)	Sandy 54 м/с (25.10.2012 г.)
20–60 мин	0.55/0.21 (<i>pimo</i>)	0.45/0.25 (<i>cn12</i>)
	<i>0.31/0.16</i> (<i>ulab</i>)	<i>0.25/0.17</i> (<i>frdn</i>)
10–20 мин	0.18/0.06 (<i>pimo</i>)	0.09/0.04 (<i>cn40</i>)
	<i>0.06/0.03</i> (<i>ulab</i>)	<i>0.05/0.03</i> (<i>frdn</i>)
2–10 мин	0.09/0.04 (<i>pimo</i>)	0.05/0.03 (<i>cn12</i>)
	<i>0.03/0.02</i> (<i>ulab</i>)	<i>0.03/0.02</i> (<i>frdn</i>)

часы местного времени на станциях, расположенных вблизи траектории циклонов в дни максимального развития ТЦ (рис. 1, а, б), а также в спокойные дни, когда в регионе отсутствовали циклоны (рис. 1, б, з). Видно, что во время действия ТЦ регистрируется усиление интенсивности вариаций ПЭС относительно фонового уровня.

На рис. 2 и 3 представлена пространственно-временная динамика вариаций ПЭС с периодами 10–20 мин во время действия ТЦ Sanba и Sandy соответственно. На каждом рисунке точки разного размера отображают амплитуду колебаний ПЭС, зарегистрированных в дни наивысшего развития циклонов (панель б) и в спокойные дни, когда циклоны отсутствовали (панель а). Видно, что в моменты, когда скорость ветра в циклоне достигает максимальных значений, амплитуда колебаний ПЭС значительно превышает уровень флуктуаций в спокойные дни. Причем интенсивность волновых возмущений ПЭС во время ТЦ Sanba оказывается выше, чем во время ТЦ Sandy, что может объясняться большей мощностью тихоокеанского циклона. Ра-

диус области, которую охватывают возмущения ПЭС, достигает 3000 км от центра циклона. Следует также отметить, что наибольшие возмущения ПЭС для обоих циклонов наблюдаются в северо-западном направлении от зоны действия ТЦ. Учитывая, что, согласно модели атмосферного ветра [Hedin et al., 1996], нейтральный ветер на высоте нижней термосферы в данный период суток направлен на юго-восток, направление наиболее интенсивных возмущений ПЭС оказывается противоположным направлению фонового термосферного ветра.

Нами выполнена количественная оценка интенсивности ионосферного отклика на действие исследуемых циклонов. Для этого на каждом луче «приемник – спутник GPS» рассчитаны средние амплитуды возмущений ПЭС с периодами 20–60, 10–20 и 2–10 мин вдоль всего луча (табл. 2). В табл. 2 приведены значения средних амплитуд в дни максимального развития циклонов на станциях, близких к центру ТЦ (жирный шрифт) и удаленных на расстояние около 2000 км от центра циклона (курсив). Справа от черты показаны значения средней амплитуды колебаний ПЭС на тех же лучах в спокойный день, когда отсутствовали ТЦ. В каждой ячейке в скобках представлено название станции, для которой приведены расчеты. На станциях, расположенных вблизи зоны действия ТЦ Sanba, средняя амплитуда крупно- и среднемасштабных колебаний ПЭС в три раза превышает значение амплитуды фоновых вариаций ПЭС. Во время действия ТЦ Sandy средняя амплитуда увеличилась примерно в два раза. На станциях, удаленных от траектории ТЦ, увеличение средней амплитуды колебаний ПЭС с периодами 10–20 и 20–60 мин составляет 1.5–2 раза. Амплитуда мелкомасштабных вариаций (2–10 мин) возрастает в меньшей степени, особенно на удаленных станциях, что говорит о том, что мелкомасштабные возмущения охватывают меньшую территорию. Кроме того, этот факт может свидетельствовать о том, что во время действия ТЦ основным источником передачи энергии возмущения от тропосферы к ионосфере является именно внутренняя ветвь атмосферных волн.

Заключение

Представлены результаты исследования волновых возмущений полного электронного содержания во время мощных тропических циклонов Sanba и Sandy, наблюдавшихся осенью 2012 г. Показано, что в моменты наивысшего развития циклонов над зонами их действия наблюдается усиление интенсивности колебаний ПЭС различных диапазонов периодов,

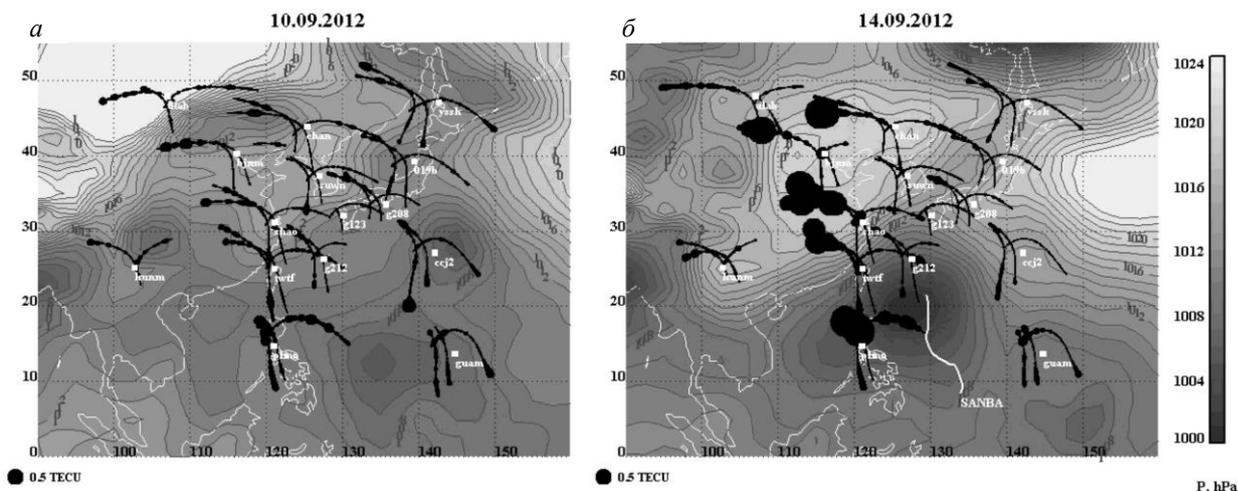


Рис. 2. Интенсивность колебаний ПЭС с периодами 10–20 мин (черные точки разного размера) в сравнении с вариациями приземного давления (заливка) во время действия ТЦ Sanba. Траектория циклона показана сплошной белой линией, квадратами отмечено положение станций GPS. В левом нижнем углу каждой панели показан круг, соответствующий $|dI(t)|=0.5$ TECU.

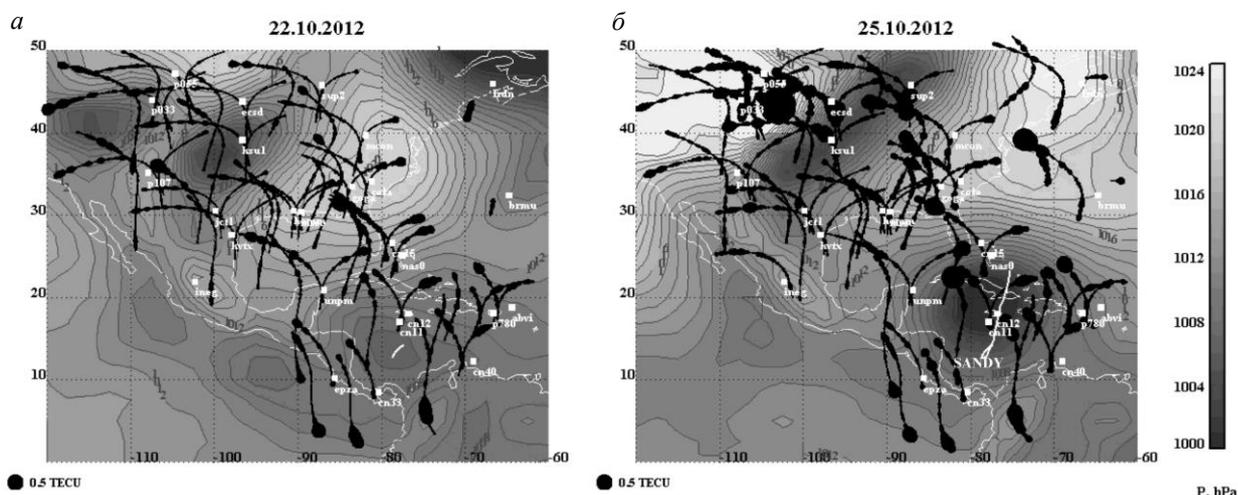


Рис. 3. Интенсивность колебаний ПЭС с периодами 10–20 мин и вариации приземного давления (заливка) во время действия ТЦ Sandy. Обозначения те же, что и на рис. 2.

причем направление наиболее интенсивных возмущений ПЭС оказывается противоположным направлению фонового термосферного ветра. Интенсивность возмущений ионосферной плазмы оказывается тем выше, чем больше мощность циклона.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение № 8699), Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 12-05-33032-а, 12-05-00865-а) и гранта Президента РФ № МК-3771.2012.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Bishop R.L., Aponte N., Earle G.D., et al. Arecibo observations of ionospheric perturbations associated with the passage of tropical storm Odette // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. A11320.
 Hedin A.E., Fleming E.L., Manson A.H., et al. Empirical wind model for the upper, middle and lower atmosphere // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1996. V. 58. P. 1421–1447.
 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 Sci.* 1985. V. 20. P. 897–906.

Lastovicka J. Forcing of the ionosphere by waves from below // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2006. V. 68. P. 479–497.
 Perevalova N.P., Ishin A.B. Effects of tropical cyclones in the ionosphere from data of sounding by GPS signals // *Izvestiya. Atmos. and Oceanic Phys.* 2011. V. 47, iss. 9. P. 1072–1083.
 Polyakova A.S., Perevalova N.P. Investigation into impact of tropical cyclones on the ionosphere using GPS sounding and NCEP/NCAR reanalysis data // *Adv. Space Res.* 2011. V. 48. P. 1196–1210.
 Polyakova A.S., Perevalova N.P. Comparative analysis of TEC disturbances over tropical cyclone zones in the North-West Pacific Ocean // *Ibid.* 2013. 10.1016/j.asr.2013.07.029.
 Xiao Z., Xiao S., Hao Y., Zhang D. Morphological features of ionospheric response to typhoon // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. A04304.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия