

Сравнительный анализ возмущений полного электронного содержания над зонами действия девяти тропических циклонов

А.С. Полякова, Н.П. Перевалова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

E-mail: annpol@iszf.irk.ru, pereval@iszf.irk.ru

Основываясь на данных двухчастотных приемников GPS, выполнен сравнительный анализ возмущений полного электронного содержания (ПЭС) над зонами действия девяти тропических циклонов различной интенсивности, наблюдавшихся осенью 2005 г. Показано, что в ионосфере над циклонами регистрируется увеличение амплитуды колебаний ПЭС с периодами, характерными для средне- и крупномасштабных внутренних атмосферных волн (ВАВ). Установлено, что реакция ионосферы на ТЦ сопоставимой мощности не одинакова, что может объясняться фоновыми характеристиками атмосферы, влияющими на распространение ВАВ над циклонами. Интенсивность возмущений ПЭС оказывается выше, если в регионе действуют несколько циклонов одновременно. Выявлено, что отклик ионосферы на тропические циклоны выявляется отчетливее на низких углах места луча «приемник-спутник GPS».

Ключевые слова: ионосферные возмущения, GPS ПЭС, тропические циклоны.

Введение

Тропические циклоны (ТЦ) являются одними из самых драматических и разрушительных геофизических явлений. ТЦ представляют собой мощные вихревые структуры, зарождающиеся в экваториальной тропосфере над океанами. Стадии развития ТЦ принято классифицировать по максимальной установившейся скорости ветра в циклоне. Установившаяся скорость определяется как усредненная за каждые десять минут скорость ветра в ТЦ, зафиксированная на высоте 10 м над уровнем моря в открытом свободном пространстве. Циклон с максимальной скоростью ветра менее 17 м/с включительно называют тропической депрессией; если скорость ветра в циклоне составляет 18–33 м/с – тропическим штормом. Когда скорость ветра в ТЦ превышает 33 м/с, циклон достигает стадии урагана. В юго-восточной Азии циклоны в стадии урагана принято называть тайфунами (Emanuel, 2003).

Основным механизмом передачи энергии возмущения от тропосферы на ионосферные высоты считаются внутренние атмосферные волны (ВАВ). Тропические циклоны являются энергичными тропосферными структурами, которые вследствие атмосферной турбулентности и конвекции могут генерировать ВАВ (Pfister, 1993). Зародившись в нижних слоях атмосферы, ВАВ при благоприятных условиях поднимаются до высот термосферы, где вызывают волновые возмущения электронной концентрации, называемые перемещающимися ионосферными возмущениями (ПИВ) (Kazimirovsky, 2002).

Ионосферные возмущения с периодами от 13 до 90 мин., связанные с тропическими циклонами, регистрировались различными радиофизическими методами: с помощью измерений доплеровского сдвига частоты (Hung, Smith, 1978; Xiao et al., 2007) и фарадеевского вращения плоскости поляризации зондирующего сигнала (Bertin, Testud, 1975); радаров

некогерентного рассеяния (Huang et al., 1985; Bishop et al., 2006); на основе спектрального анализа суточных вариаций атмосферных радиошумов (Михайлов и др., 2005); вертикального (Perevalova, Polekh, 2009), наклонного (Черниговская и др., 2010) и возвратно-наклонного зондирования (Ойнац и др., 2012) и GPS (Polyakova, Perevalova, 2011; Perevalova и др., 2010, 2011; Zakharov, Kunitsyn, 2012).

Нами разработан метод сравнительного анализа данных GPS и метеоархива NCEP/NCAR Reanalysis, который позволяет не только зарегистрировать перемещающиеся возмущения в ионосфере, но и проследить их связь с циклонами (Polyakova, Perevalova, 2011; Perevalova и др., 2010, 2011). На основе указанного метода для ТЦ Katrina, Rita и Wilma было показано, что над траекторией циклона на высотах ионосферы формируется область неоднородностей ионосферной плазмы. Радиус области составляет около 2000 км от центра циклона в период его максимального развития; при этом возмущения с большими периодами охватывают большую территорию. Область формируется, когда циклон достигает стадии урагана, перемещается вслед за циклоном и исчезает, когда скорость ветра в ТЦ становится меньше 30 м/с (Polyakova, Perevalova, 2011; Perevalova и др., 2010, 2011).

В настоящей работе проведен сравнительный анализ вариаций параметров ионосферной плазмы во время действия девяти различных по интенсивности тропических циклонов, наблюдавшихся осенью 2005 г. в северо-западных частях Тихого и Атлантического океанов.

Данные и методика исследования

Для детектирования возмущений ионосферной плазмы использовались данные вариаций полного электронного содержания (ПЭС), полученные на глобальной сети наземных двухчастотных приемников GPS (<http://sopac.ucsd.edu>), расположенных в зоне действия тропических циклонов. Исходные ряды данных фильтровались в диапазоне периодов 2–20 и 20–60 мин. с целью выделения колебаний указанных периодов. Выбранные для фильтрации диапазоны периодов соответствуют периодам наблюдаемых в верхней атмосфере ВАВ, источником которых могут являться тропические циклоны. В работе (Perevalova, Ishin, 2011) было показано, что регистрация отклика ионосферы на тропосферные возмущения наталкивается на трудности, связанные с малой интенсивностью возбуждаемых возмущений в ионосфере. Выявлению вариаций ПЭС, связанных с приземными источниками, может препятствовать влияние геомагнитных возмущений, экваториальной аномалии ионизации, солнечного терминатора и т.д. (Perevalova, Ishin, 2011). Поэтому в настоящей работе для анализа были выбраны данные за периоды, соответствующие спокойной геомагнитной обстановке (индекс Кр не превышал 4, индекс Dst не опускался ниже –50 нТл) и относящиеся к вечерним/ночным часам местного времени, когда отсутствует влияние вышеперечисленных факторов. Данные о поведении индексов геомагнитной активности взяты с сайта http://www.ngdc.noaa.gov/stp/GEOMAG/kp_ap.html.

Возмущения ПЭС во время действия циклонов

Исследование отклика ионосферы на ТЦ проводилось для девяти циклонов различной мощности, действовавших в северо-западной части Атлантического и Тихого океанов в августе–ноябре 2005 г.: Katrina, Rita, Wilma, Damrey, Saola, Longwang, Kirogi, Tembin и Bolaven. Траектории исследуемых циклонов показаны различными символами на *рис. 1*. Размер символов пропорционален скорости ветра в циклоне в соответствующий момент времени. Данные об эволюции ТЦ и максимальной скорости ветра в циклонах приведены в *табл. 1* (Покровская, Шарков, 2006; <http://wunderground.com/hurricane/>).

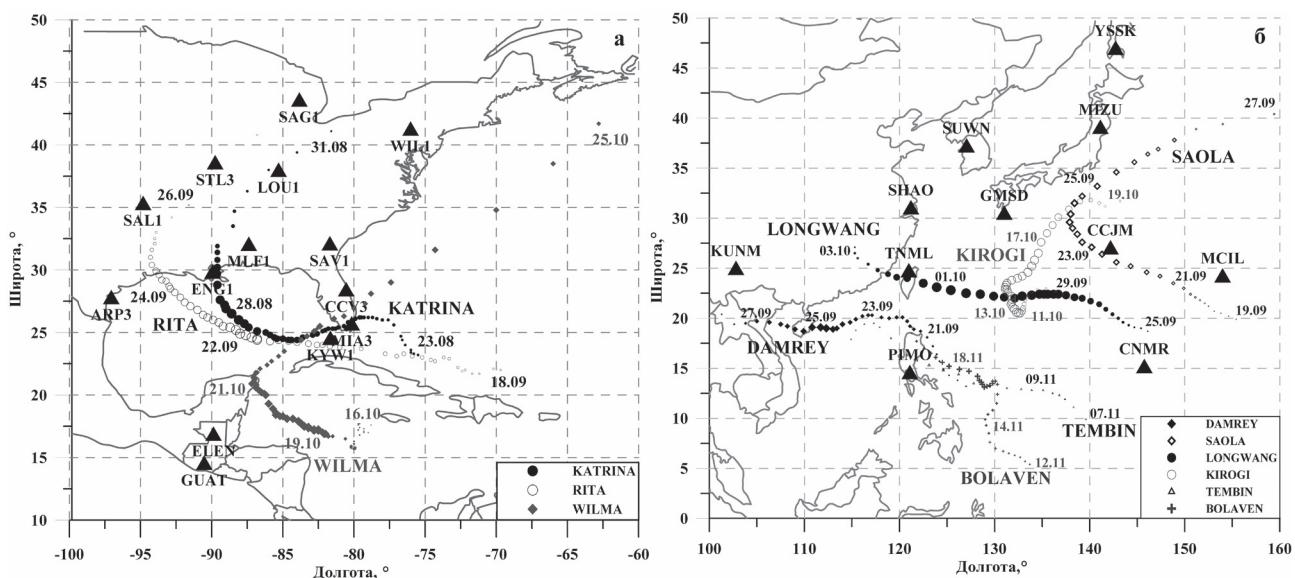


Рис. 1. Траектории исследуемых циклонов в районах Атлантического (а) и Тихого (б) океанов, размер каждого символа пропорционален скорости ветра в ТЦ. Треугольниками показаны станции GPS

Таблица 1. Характеристики исследуемых циклонов

<i>Название циклона</i>	<i>Район действия (океан)</i>	<i>Время существования</i>	<i>Стадия урагана</i>	<i>Максимальная скорость ветра</i>
Katrina	Атлантический	23–31.08.2005	25–29.08.2005	78 м/с (28.08.2005)
Rita	Атлантический	18–26.09.2005	20–24.09.2005	79 м/с (22.09.2005)
Wilma	Атлантический	15–26.10.2005	18–25.10.2005	82 м/с (19.10.2005)
Saola	Тихий	20–26.09.2005	22–25.09.2005	51 м/с (24.09.2005)
Damrey	Тихий	20–27.09.2005	24–26.09.2005	46 м/с (25.09.2005)
Longwang	Тихий	25.09–03.10.2005	27.09–02.10.2005	67 м/с (29.09.2005)
Kirogi	Тихий	09–19.10.2005	11–18.10.2005	64 м/с (16.10.2005)
Tembin	Тихий	07–11.11.2005	–	23 м/с (10.11.2005)
Bolaven	Тихий	13–20.11.2005	17–18.11.2005	38 м/с (17.11.2005)

На *рис. 2* представлены примеры возмущений во временных вариациях ПЭС, отфильтрованных в диапазоне периодов 2–20 мин. Приведены вариации ПЭС, которые были

получены в вечерние / ночные часы местного времени в дни максимального развития циклонов на станциях, расположенных вблизи траектории ТЦ. Пунктиром на панелях показаны изменения углов места θ соответствующих спутников GPS. Видно, что на станциях, близко расположенных к траекториям ТЦ, практически во всех случаях регистрировалось усиление возмущений ПЭС. Наибольшие колебания ПЭС зарегистрированы для ТЦ Katrina, Saola и Damrey (рис. 2а, г, д), причем последние два в наивысшей стадии развития находились одновременно. Максимальная амплитуда вариаций ПЭС для этих циклонов превышала 1 TECU. Значительные возмущения во временных рядах ПЭС регистрировались также для ТЦ Longwang и Kirogi (рис. 2е, ж). Для ТЦ Rita и Wilma, несмотря на большую мощность этих циклонов (максимальная скорость ветра в ТЦ превышала 70 м/с, табл. 1), увеличение интенсивности вариаций ПЭС значительно меньше (рис. 2б, в): максимальная амплитуда колебаний ПЭС не превышает 0,5 TECU. Для ТЦ Tembin и Bolaven не наблюдается существенного увеличения амплитуды вариаций ПЭС (рис. 2з, и), что объясняется небольшой мощностью этих циклонов. Это подтверждает установленный в (Polyakova, Perevalova, 2011) факт, что возмущения ПЭС, вызванные действием ТЦ, могут быть зарегистрированы только тогда, когда циклон достигает стадии урагана.

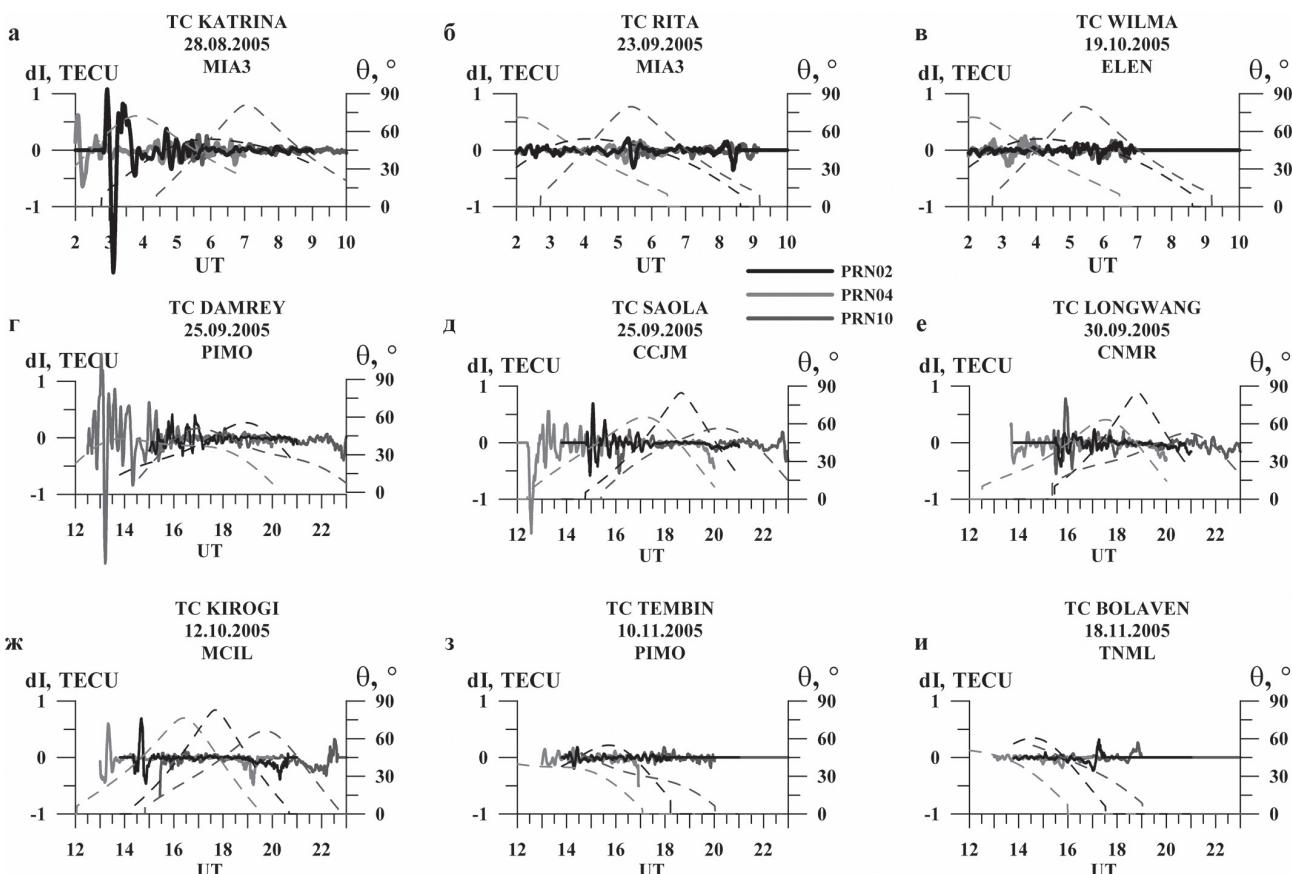


Рис. 2. Вариации ПЭС, отфильтрованные в диапазоне 2–20 мин, в дни максимального развития циклонов на станциях, находящихся вблизи центров ТЦ для спутников GPS PRN02, PRN04, PRN10

Следует отметить, что во всех исследуемых случаях максимальные возмущения ПЭС регистрируются на низких углах места луча «приемник – спутник GPS» ($\theta = 30\text{--}45^\circ$).

Полученный результат согласуется с данными работы (Rolland et al., 2011), в которой было показано, что ионосферный отклик на землетрясения удается выявить только на низких углах места (менее 40°). Этот эффект может быть следствием либо большей длины таких лучей в ионосфере (т.е. являться откликом ионосферы), либо вызван задержкой радиосигнала в тропосфере, так как известно, что тропосферная задержка максимальна при малых углах места луча. Однако при расчете ПЭС по двухчастотным фазовым измерениям величина тропосферной задержки исключается, поскольку она не зависит от частоты радиоволны (Hofman-Wellenhof et al., 1992). Это означает, что даже на низких углах места тропосферная задержка не оказывает влияния на расчет вариаций ПЭС, и амплитуда возмущений ПЭС при низких углах оказывается выше за счет большей длины этих лучей. Вследствие чего можно заключить, что регистрация на низких углах места является более благоприятной для выделения слабых ионосферных возмущений, вызванных приземными источниками.

Средняя амплитуда колебаний ПЭС

Для количественной оценки интенсивности ионосферного отклика на действие исследуемых циклонов для каждого луча «приемник – спутник GPS» были рассчитаны средние амплитуды возмущений ПЭС с периодами 20–60 и 2–20 мин. на всем луче (табл. 2), а также средние амплитуды для углов места луча менее 45° (табл. 3). В табл. 2 и 3 приведены значения средних амплитуд, рассчитанные в дни максимального развития циклонов на станциях близких к центру ТЦ (жирный шрифт) и удаленных на расстояние 1500–2000 км от центра циклона (жирный курсив). Справа от черты показаны значения средней амплитуды колебаний ПЭС на тех же лучах в спокойный день, когда отсутствовали ТЦ. В каждой ячейке снизу представлены название станции и номер спутника GPS, для которых приведены расчеты.

Таблица 2. Средняя амплитуда колебаний ПЭС на всем луче «приемник – спутник GPS»

Katrina 28.08.05	Rita 22.09.05	Wilma 19.10.05	Saola 24.09.05	Damrey 25.09.05	Longwang 29.09.05	Kirogi 12.10.05	Tembin 10.11.05	Bolaven 17.11.05
78 м/с	79 м/с	82 м/с	51 м/с	46 м/с	67 м/с	59 м/с	23 м/с	38 м/с
20–60 мин.								
0,32 / 0,17 (KIW1-07)	0,16 / 0,10 (KIW1-04)	0,22 / 0,12 (ELEN-04)	0,44 / 0,24 (CNMR-02)	0,33 / 0,18 (KUNM-07)	0,12 / 0,07 (CCJM-07)	0,20 / 0,07 (CCJM-04)	0,12 / 0,09 (PIMO-10)	0,22 / 0,14 (PIMO-02)
0,19 / 0,13 (ARP3-07)	0,21 / 0,13 (STL3-04)	0,13 / 0,08 (ENG1-10)	0,17 / 0,14 (SUWN-10)	0,18 / 0,14 (SUWN-10)	0,20 / 0,12 (YSSK-04)	0,11 / 0,08 (SUWN-07)	0,09 / 0,06 (SUWN-04)	0,07 / 0,06 (SUWN-04)
02–20 мин.								
0,10 / 0,04 (KIW1-07)	0,03 / 0,03 (KIW1-04)	0,05 / 0,03 (ELEN-04)	0,10 / 0,05 (CNMR-02)	0,06 / 0,04 (KUNM-07)	0,05 / 0,03 (CCJM-07)	0,08 / 0,03 (CCJM-04)	0,04 / 0,03 (PIMO-10)	0,04 / 0,03 (PIMO-02)
0,08 / 0,05 (ARP3-07)	0,04 / 0,03 (STL3-04)	0,04 / 0,02 (ENG1-10)	0,04 / 0,03 (SUWN-10)	0,04 / 0,03 (SUWN-10)	0,05 / 0,03 (YSSK-04)	0,04 / 0,04 (SUWN-07)	0,02 / 0,02 (SUWN-04)	0,03 / 0,02 (SUWN-04)

Для крупномасштабных колебаний на станциях (*табл. 2*), расположенных вблизи траектории циклонов в дни максимальной фазы ТЦ наблюдается увеличение средней амплитуды колебаний ПЭС в 1,5–2 раза (*табл. 2*). Наибольшая средняя амплитуда была зарегистрирована для ТЦ Katrina, а также для тайфунов Saola и Damrey, которые действовали одновременно. Для короткопериодных колебаний также наблюдается увеличение средней амплитуды возмущений ПЭС. Наиболее сильное возрастание колебаний ПЭС (в 1,5–2 раза по сравнению с днями, когда отсутствовали ТЦ) зарегистрировано для ТЦ Katrina, Saola и Kirogi.

На удаленных от траектории ТЦ станциях (*табл. 2*) регистрируется увеличение средней амплитуды крупномасштабных вариаций ПЭС, но в меньшей степени, чем на близких станциях (не более чем в 1,6 раз). Для мелкомасштабных колебаний заметного усиления не выявлено, увеличение вариаций ПЭС наблюдается только для ТЦ Katrina. Это свидетельствует о том, что область, охватываемая колебаниями с периодами 20–60 мин., составляет не менее 2000 км, для колебаний 2–20 мин. не превышает 1500 км.

Возрастание средних значений амплитуды возмущений ПЭС более отчетливо выражено на низких углах места (*табл. 3*). Так для ТЦ Katrina, Saola, Damrey на станциях, расположенных вблизи центра циклонов, средняя амплитуда крупномасштабных вариаций ПЭС, рассчитанная для углов места менее 45°, превышает 0,5 ТЕСУ. Увеличение средних значений амплитуды колебаний ПЭС с периодами 2–20 и 20–60 мин. на низких углах по сравнению с днями, когда отсутствовали ТЦ, может составлять 2,5–3 раза.

На удаленных от центра ТЦ станциях средняя амплитуда крупномасштабных вариаций для углов менее 45° в 1,5–2 раза превышает среднюю амплитуду в спокойные дни. Для колебаний с периодом 2–20 мин. на низких углах, так же как и для среднего вдоль всего луча, на удаленных станциях не выявлено заметного увеличения значений средней амплитуды колебаний ПЭС.

Таблица 3. Средняя амплитуда колебаний ПЭС для углов менее 45°

Katrina	Rita	Wilma	Saola	Damrey	Longwang	Kirogi	Tembin	Bolaven
28.08.05	22.09.05	19.10.05	24.09.05	25.09.05	29.09.05	12.10.05	10.11.05	17.11.05
78 м/с	79 м/с	82 м/с	51 м/с	46 м/с	67 м/с	59 м/с	23 м/с	38 м/с
20–60 мин.								
0,51 / 0,16 (KIW1-07)	0,18 / 0,07 (KIW1-04)	0,24 / 0,09 (ELEN-04)	0,70 / 0,29 (CNMR-02)	0,65 / 0,21 (KUNM-07)	0,32 / 0,14 (CCJM-07)	0,45 / 0,08 (CCJM-04)	0,13 / 0,08 (PIMO-10)	0,32 / 0,19 (PIMO-02)
0,18 / 0,12 (ARP3-07)	0,23 / 0,14 (STL3-04)	0,20 / 0,13 (ENG1-10)	0,37 / 0,17 (SUWN-10)	0,38 / 0,17 (SUWN-10)	0,22 / 0,13 (YSSK-04)	0,27 / 0,08 (SUWN-07)	0,12 / 0,07 (SUWN-04)	0,08 / 0,06 (SUWN-04)
02–20 мин.								
0,13 / 0,06 (KIW1-07)	0,04 / 0,03 (KIW1-04)	0,05 / 0,03 (ELEN-04)	0,17 / 0,06 (CNMR-02)	0,13 / 0,06 (KUNM-07)	0,08 / 0,03 (CCJM-07)	0,21 / 0,07 (CCJM-04)	0,04 / 0,03 (PIMO-10)	0,05 / 0,04 (PIMO-02)
0,07 / 0,03 (ARP3-07)	0,05 / 0,03 (STL3-04)	0,07 / 0,04 (ENG1-10)	0,07 / 0,05 (SUWN-10)	0,05 / 0,04 (SUWN-10)	0,07 / 0,05 (YSSK-04)	0,04 / 0,03 (SUWN-07)	0,05 / 0,03 (SUWN-04)	0,03 / 0,03 (SUWN-04)

Как отмечено выше, интенсивность возмущений ПЭС во время действия ТЦ Rita и Wilma была достаточно низкой (*табл. 2, 3*). Известно, что на эффективность проникновения ВАВ от тропосферы до термосферных высот значительное влияние оказывают фоновые характеристики атмосферы (температура, ветер). По-видимому, слабый ионосферный отклик во время действия ТЦ Rita и Wilma может объясняться тем, что условия для распространения волн от циклона были менее благоприятными, чем во время действия других ТЦ. Так анализ температурных и барических полей, выполненный в (Перевалова и др., 2011), показал, что ТЦ Rita и Wilma имели вертикальную протяженность не более 8 км, в то время как ТЦ Katrina прослеживался до 12 км. Температура над центром ТЦ Katrina примерно на 10° превышала значение температуры над ТЦ Rita и Wilma. По всей вероятности совокупность этих факторов послужила причиной более слабого отклика ионосферы на действие указанных ТЦ.

Заключение

На основе сравнительного анализа колебаний ПЭС, выполненного во время действия девяти ТЦ различной интенсивности, в периоды максимального развития большинства циклонов над зонами их действия выявлено увеличение амплитуды колебаний ПЭС с периодами, характерными для средне- и крупномасштабных ВАВ в верхней атмосфере. Увеличение интенсивности колебаний ПЭС регистрировалось, если циклон достигал стадии тайфуна / урагана. Интенсивность вариаций ПЭС оказывалась выше, если в регионе действовало несколько циклонов одновременно. В моменты наивысшего развития циклонов средняя амплитуда крупномасштабных возмущений ПЭС на станциях, находящихся вблизи центра циклона, в 1,5–2 раза превышала уровень фоновых флуктуаций, для мелкомасштабных колебаний увеличение достигало 1,5 раза. Площадь, которую охватывают колебания с периодом 20–60 мин., составляла около 2000 км, для мелкомасштабных колебаний не превышала 1500 км.

Установлено, что реакция ионосферы на ТЦ сопоставимой мощности не одинакова. Различие в интенсивности отклика ионосферы на действие ТЦ может объясняться фоновыми характеристиками атмосферы, влияющими на распространение ВАВ над циклонами.

Показано, что регистрация на низких углах места луча «приемник – спутник GPS» является более благоприятной для выявления ионосферных возмущений, вызванных источниками в тропосфере.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) за предоставленные ими данные GPS. 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.

Литература

1. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Чернева Н.В. Возможные атмосферные эффекты в нижней ионосфере по наблюдениям атмосферных радиошумов на Камчатке во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэрономия. 2005. Т. 45. № 6. С. 824–839.
2. Ойнац А.В., Куркин В.И., Nishitani N., Черниговская М.А. Метеорологические эффекты в ионосфере по данным декаметрового радара SuperDARN Хоккайдо // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 4. С. 113–120.
3. Перевалова Н.П., Полякова А.С., Ишин А.Б., Войков С.В. Исследование волновых возмущений ионосферной плазмы по данным дистанционного зондирования во время урагана Katrina // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 1. С. 190–200.
4. Перевалова Н.П., Полякова А.С., Ишин А.Б., Войков С.В. Сравнительный анализ вариаций ионосферных и метеорологических параметров над зонами действия тропических циклонов Rita (18–26.09.2005) и Wilma (15–25.10.2005) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. № 1. С. 303–312.
5. Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана. Версия 3.1 (1983–2005). М.: Полиграф сервис, 2006. 728 с.
6. Черниговская М.А., Куркин В.И., Орлов И.И., Шарков Е.А., Покровская И.В. Исследование связи короткопериодных временных вариаций параметров ионосферы в северо-восточном регионе России с проявлениями тропических циклонов // Исследования Земли из космоса. 2010. № 5. С. 32–41.
7. Bertin F., Testud J. Medium scale gravity waves in the ionospheric F-region and their possible origin in weather disturbances // Planet. Space Sci. 1975. V. 23. P. 493–507.
8. Bishop R.L., Aponte N., Earle G.D., Sulzer M., Larsen M.F., Peng G.S. Arecibo observations of ionospheric perturbations associated with the passage of Tropical Storm Odette // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. A11320.
9. Emanuel K. Tropical Cyclones // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2003. V. 31. P. 75–104.
10. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice. Springer-Verlag, Wien New York. 1992. P. 327
11. 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.
12. Hung R.J., Smith R.E. Ray Tracing of Gravity Waves as a Possible Warning System for Tornadoic Storms and Hurricanes // J. of Applied Meteorology. 1978. V. 17. No. 1. P. 3–11.
13. Kazimirovsky E.S. Coupling from below as a source of ionospheric variability: a review // Ann. of Geophys. 2002. V. 45 (1). P. 1–29.
14. Pfister L., Chan K.R., Bui T.P., Bowen S., Legg M., Gary B., Kelly K., Proffitt M., and Starr W. Gravity Waves Generated by a Tropical Cyclone During the STEP Tropical Field Program. A Case Study // J. of Geophys. Res. 1993. V. 98. No. D5. P. 8611–8638.

15. Perevalova N.P., Polekh N.M. An investigation of the upper atmosphere response to cyclones using ionosonde data in Eastern Siberia and the Far East // Proc. SPIE. Int. Soc. Opt. Eng. 7296. 2009. P. 72960J1–11.
16. Perevalova N.P., Ishin A.B. Effects of Tropical Cyclones in the Ionosphere from Data of Sounding by GPS Signals // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2011. V. 47 (9). P. 1072–1083.
17. Polyakova A.S., Perevalova N.P. Investigation into impact of tropical cyclones on the ionosphere using GPS sounding and NCEP/NCAR Reanalysis data // Adv. in Space Res. 2011 V. 48. P. 1196–1210.
18. Rolland L.M., Lognonne P., Munekane H. Detection and modeling of Rayleigh wave induced patterns in the ionosphere// J. Geophys. Res. 2011. V. 116. A05320, doi:10.1029/2010JA016060.
19. Xiao Z., Xiao S., Hao Y., Zhang D. Morphological features of ionospheric response to typhoon // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. A04304.
20. Zakharov V.I., Kunitsyn V.E. Regional Features of Atmospheric Manifestations of Tropical Cyclones according to Ground-Based GPS Network Data // Geomagnetism and Aeronomy. 2012. V. 52. No. 4. P. 533–545.

Comparative analysis of total electron content disturbances over nine tropical cyclones

A.S. Polyakova, N.P. Perevalova

Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences
E-mail: annpol@iszf.irk.ru, pereval@iszf.irk.ru

Based on two-frequency GPS receivers data the comparative analysis of Total Electron Content (TEC) disturbances over nine different power tropical cyclones (TC) was carried out. It is shown, that an increase in TEC oscillations intensity with periods characterized for medium- and large-scale internal atmospheric waves (IAW) is registered in ionosphere over TC. It is revealed that ionosphere response on comparable power cyclones action is not the same. This fact may be explained by background atmospheric conditions that affect on IAW propagation. The TEC variation intensity is higher when several cyclones act in a region simultaneously. It is shown, that ionospheric response to tropical cyclones is more evident at low satellite elevation angles.

Keywords: ionospheric disturbances, GPS TEC, tropical cyclones.