

## Ионосферные вариации над Австралийским континентом во время действия тропических циклонов YASI и ZAKA в 2011 г.

Л.Б. Ванина-Дарт, Е.А. Шарков

*Институт космических исследований РАН,  
117997 Москва, Профсоюзная 84/32  
E-mails: vandart@iki.rssi.ru; easharkov@iki.rssi.ru*

В настоящей работе авторы поставили перед собой задачу проанализировать возмущения в ионосфере от предполагаемого источника ТЦ (тропического циклона) над сектором Земли. В этих целях были привлечены ионосферные данные, полученные над всем Австралийским континентом с географическими координатами от 10° до 50° S и от 110° до 180° E. В предыдущих работах авторы исследовали ионосферу на определенном расстоянии или над отдельно взятой географической точкой, или над отдельно взятым участком меридионального разреза. Продолжение поиска отклика ТЦ на вышеприведенную ионосферу проводилось на основе измерения ПЭС (полного электронного содержания в столбе ионосферы с сечением 1 м<sup>2</sup>) над Австралийским континентом во время действия мощнейшего ТЦ YASI и ТЦ ZAKA. В конце января и начале февраля 2011 г. над Австралийским континентом действовали 2 вышеуказанных тропических циклона различной мощности. С момента зарождения ТЦ и до начала его самой активной фазы над зоной его действия и около в ионосфере наблюдается повышение значений ее параметров (до 100%). Далее, над зоной локализации ТЦ и около, значения ионосферных параметров начинают падать (до 50%). Принципиальное отличие относительно воздействия на ионосферу со стороны тропического циклона с точки зрения уровня мощности ТЦ не выявлено. Авторы полагают, что влияние ТЦ на ионосферу носит как волновой характер, так и зональный характер.

**Ключевые слова:** ионосферные слои, тропический циклон, спутниковое зондирование ионосферы, ионосфера низких широт.

### Введение

В конце января и на протяжении первой декады февраля 2011 г. в южном Тихом океане над Австралийским континентом действовали два тропических циклона. Причем, один из них с названием YASI прогнозировался максимальной (пятой) категорией мощности по шкале ураганов Саффира-Симпсона. Вслед за ним действовал ТЦ ZAKA, который был «слабо-средней» мощности.

Как уже не раз отмечалось в публикациях авторов (Ванина-Дарт и др., 2008; 2010; 2011б), в последнее время немалое внимание уделяется поиску предполагаемого ионосферного отклика на важное тропосферное явление – циклон (ТЦ). Точки зрения о возможном влиянии этого явления на ионосферу расходятся. Если в одних работах авторы находят возможный отклик ТЦ в нижней, верхней или даже во внешней ионосфере, то есть работы, в которых результат отрицателен. Наиболее полное состояние этого вопроса можно найти в статьях (Ванина-Дарт и др., 2010; 2011 а, 2011б). Стоит отметить, что исследования в этом направлении ведутся более 60 лет, начиная с Е.Е Gherzi. Еще в 1950-х годах, Бауэр (Bauer, 1958) при исследованиях ионосферы во время действия ТЦ обнаружил, что значения foF2 (критическая частота слоя F2) будут расти и достигнут максимума, когда ТЦ находится ближе всего к ионосферной станции наблюдения. При анализе ионосферных откликов от ТЦ вокруг острова Хайнань, было установлено (Shen, 1982), что ТЦ оказывают специфическое воздействие на поведение foF2, которые находятся на расстоянии от ТЦ, и значения foF2

понижались вследствие «приземления» (пересечение тропическим циклоном берега суши в горизонтальной проекции над Землей). Анализ возможных воздействий на ионосферу в связи с изменением расстояния между ионосферной станцией и ТЦ, с влиянием динамики атмосферы над берегом суши при прохождении ТЦ. Было сделаны выводы о том, что действие ТЦ приведет к короткому росту foF2 перед «приземлением» и длительному падению foF2 (около суток) после приземления.

Современные исследования взаимосвязи ТЦ и ионосферы сопряжены с большими сложностями доказательства действия гипотетически предложенных механизмов воздействия ТЦ на ионосферу. Тропические циклоны являются самыми мощными тропосферными катастрофами. Мощные выбросы заряженных частиц и нейтралов, излучение ВГВ (внутренних гравитационных волн) и низкочастотных электромагнитных волн из центральных зон ТЦ на значительные высоты и расстояния от ТЦ являются проявлением механизма действия тропических циклонов.

Авторы данной работы ведут поиск ионосферного отклика от ТЦ более семи лет. Изначально поиск велся в нижней экваториальной ионосфере, поскольку эта часть ионосферы наиболее тесно связана с атмосферой (концентрации заряженных частиц намного меньше концентраций нейтральных частиц). В работах (Ванина-Дарт и др., 2007а, 2008) представлены результаты комплексной обработки данных ракетного зондирования экваториальной нижней ионосферной области с ракетного полигона «Тумба» (Индия (8°N, 77°E)) в районе действия ТЦ. На основе синхронного анализа серии ракетных измерений электронной концентрации Ne и термодинамических параметров нижней ионосферы в экваториальной области, а также дистанционных данных по тропическому циклогенезу в северной части Индийского океана, был впервые зарегистрирован экспериментальный факт понижения Ne в области D на расстоянии около 1000 км (по горизонтали) от ядра тропического циклона, действующего в активной фазе. Наибольшего понижения Ne в среднем в три – четыре раза достигает на высотах  $71 \pm 3$  км. При этом нижняя граница слоя D поднималась на несколько километров (не более 5 км). В работе был предложен вариант гипотетического физического механизма «быстрых» взаимодействий тропосферных возмущений с состоянием ионосферы – внутренние гравитационные волны (ВГВ), порождаемые ТЦ.

В работах (Ванина-Дарт и др., 2007б) авторы пытались сопоставить влияние гелиоактивности на нижнюю экваториальную ионосферу в дни с наличием активно функционирующих ТЦ и без них. Для решения поставленной задачи были опять использованы данные, полученные с ракетного полигона «Тумба». На основе сравнения поведения Ne в дни без тропических циклонов и в дни с ТЦ получено, что наибольшего различия Ne достигает на высотах около 70 км, а именно, влияние ТЦ уменьшает значение Ne. Также, на основе приведенных выше статистических результатов, мы приходим к новым двум выводам. Во-первых, наличие ТЦ усиливает действие солнечной активности на область D на высотах от 65 до 80 км в дневных условиях. Во-вторых, влияние тропических циклонов на нижнюю экваториальную ионосферу не зависит от мощности самих циклонов и его удаленности (в пределах 8000 км) по горизонтали. То есть тропический циклон является неким «пусковым механизмом» влияния на нижнюю ионосферу.

В дальнейших работах авторы продолжили поиск возможного воздействия ТЦ, но уже на верхнюю ионосферу. Используемые данные были получены методом фазоразностной томографии. Отличительной особенностью метода ионосферной томографии на базе сигналов низкоорбитальных навигационных систем является возможность выявления вариаций электронной концентрации, вызванных, например, распространением сильных цикло-

нов в тропосфере Земли, чего принципиально нельзя достигнуть только с использованием глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. В отличие от фазовой томографии, где интегральной величиной является полная фаза, фазоразностный метод является более чувствительным к относительно малым неоднородностям  $N_e$ , которые вносят незначительный вклад в фазу, и более существенный – в ее производную. Наблюдения проводились в 2007 г. над тремя пунктами, расположенными почти на одном меридиане  $143^{\circ}\text{E}$  о. Сахалин: Южно-Сахалинск (географические координаты:  $(46^{\circ}57' \text{N}, 143^{\circ}44' \text{E})$ ), Поронайск ( $49^{\circ}13' \text{N}, 143^{\circ}06' \text{E}$ ) и Ноглики ( $51^{\circ}49' \text{N}, 143^{\circ}07' \text{E}$ ). В работах (Ванина-Дарт и др., 2010, 2011a, 2011b, 2011b) на основе данных, полученных в ноябре 2007 г. над о. Сахалин, был сделан вывод о том, что возможным откликом верхней ионосферы, локализующейся над зоной ТЦ (в данном случае на  $25\text{-}30^{\circ}$  севернее и  $5\text{-}20^{\circ}$  восточнее) на расстоянии приблизительно от 3800 до 5500 км от центра ТЦ, является изменение величины ее параметра  $f_0F2$  в среднем не более, чем на 10-20 процентов. Уменьшение или, наоборот, повышение  $f_0F2$  связано с «задержкой» момента измерений по отношению к началу действия ТЦ.

Мы полагаем, что сложности с нахождением отклика тропического циклона в ионосфере (и очень непростой морфологией) связаны с тем, что ТЦ является «широкополосным» источником возмущений, действующим в течение длительного времени. Т.е., если полагать, что источником переноса возмущения снизу являются внутренние гравитационные волны, то мы имеем результат их суммарного воздействия на протяжении нескольких дней.

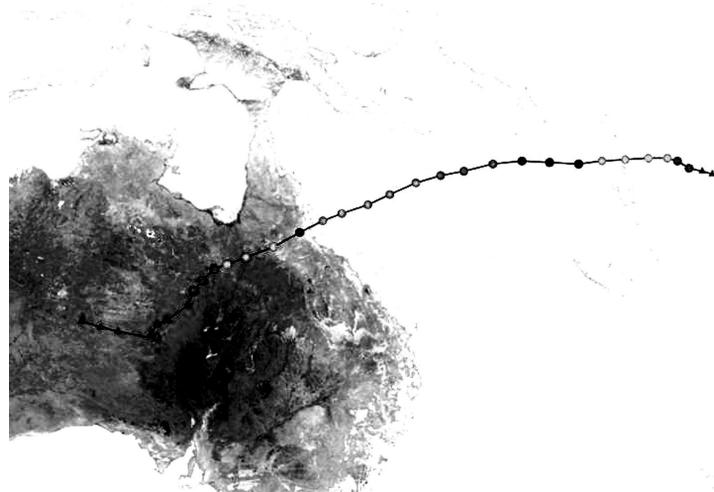
В настоящей работе авторы поставили перед собой задачу проанализировать возмущения в ионосфере над предполагаемым источником (ТЦ) не над отдельно взятой географической точкой, и не над отдельно взятым участком меридионального разреза на определенном расстоянии. Ведь, учитывая сложность динамики экваториальной ионосферы, мы должны предполагать анизотропию распространения возмущений вокруг ТЦ. Мы решили рассмотреть это событие над сектором Земли. В этих целях были привлечены ионосферные данные, полученные над всем Австралийским континентом с географическими координатами от  $10^{\circ}$  до  $50^{\circ}$  S и от  $110^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  E.

Целью данной работы является сопоставление возможных откликов тропических циклонов различной мощности на вышележащую ионосферу. В основу работы взяты данные измерения ПЭС – полного электронного содержания в столбе ионосферы с сечением  $1 \text{ m}^2$  над Австралийским континентом. Данные являются собственностью Австралийского центра прогнозирования ионосферы.

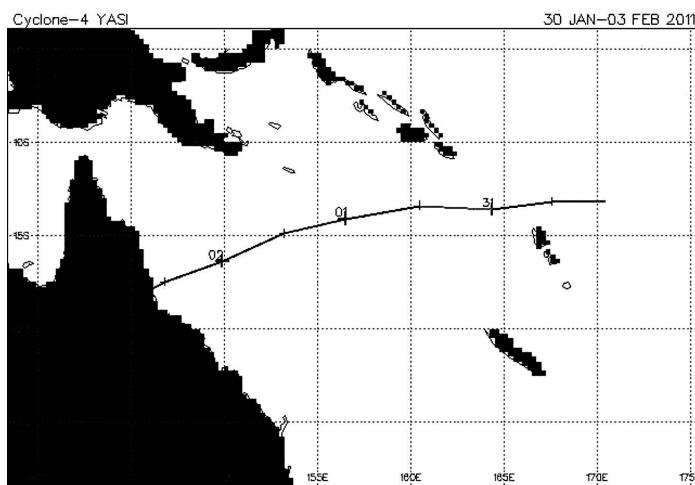
### Тропические циклоны YASI и ZAKA

В конце января и начале февраля 2011 г. над северо-западной частью Австралии прошел мощный ТЦ YASI (рис. 1-2). В преддверии его «нашествия» на сушу прогнозировались бедствия в связи с его приближением к берегам Австралии. Власти штата Квинсленд даже эвакуировали местное население. Супертайфун YASI (рис. 3) обрушился между городами Иннисфейл (Innisfail, географические координаты:  $17^{\circ}31' \text{S}, 146^{\circ}01' \text{E}$ ) и Кардуэлл (Cardwell, 95 км южнее Иннисфейла) около полуночи по местному времени (в 14.00 UT 2 февраля 2011 г.) и нанес им серьезный ущерб. ТЦ пересек побережье около известного австралийского курорта Mission Beach ( $17^{\circ}52' \text{S}, 146^{\circ}06' \text{E}$ ). Порывы ветра составляли по оценкам метеорологов до 290 км/ч и оставили после себя значительный ущерб. Высота поднятого уровня моря в сумме с ветровыми волнами достигала 7 метров. Часть прибрежной

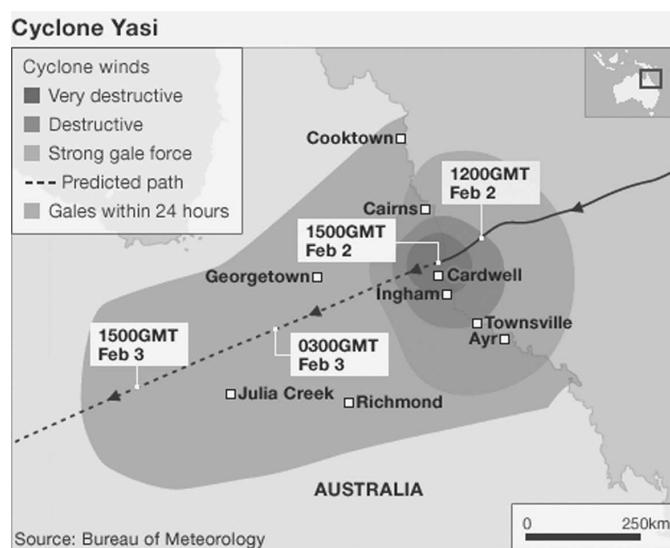
инфраструктуры была разрушена (до 300 м вглубь страны), а часть территории затоплена. Ураганные ветры сопровождались сильными грозовыми ливнями. Глаз ТЦ составлял 35 км. А ширина ТЦ вдоль побережья составляла 650 км. В целом ТЦ YASI, переместился с южной широты 14° до 24° и с восточной долготы 173° до 129°.



*Рис. 1. Траектория реального прохождения ТЦ YASI*



*Рис. 2. Траектория реального прохождения ТЦ YASI по данным сайта <http://weather.unisys.com/hurricane/>*



*Рис. 3. Положение ТЦ YASI по спутниковым данным центра прогнозирования циклонов JTWC в 19.00 UT 2 февраля 2011 г.*

Ранним утром 5 февраля РСМЦ (Региональный специализированный метеорологический Центр) в Нади (о-ва Фиджи) сообщил о тропическом возмущении в окрестности около 200 км к юго-востоку от Нукуалофа (Nuku-alofa, географические координаты: 21°8' S, 175° 12' E) в Тонге. В этот же день, возмущение постепенно росло, перемещаясь на восток. Это возмущение было классифицировано ЦПТЦ (центр предупреждения о тропических циклонах) в Новой Зеландии как тропическая депрессия в тот же день. Усиление продолжалось и на следующий день (6 февраля), и тропическая депрессия «переросла» в стадию тропического циклона с названием ZAKA (рис. 4). Вскоре ТЦ ZAKA пересек широту 25°S и попал под контроль ЦПТЦ в Веллингтоне. В полночь, в тот же день, ЦПТЦ в Веллингтоне присвоил ТЦ ZAKA 2-ую категорию тропического циклона по шкале интенсивности ТЦ Австралийского региона (несколько отличной от шкалы Саффира-Симпсона). Ранним утром 7 февраля система начала ослабевать, достигнув 1-ой категории тропического циклона (рис. 5). В ночь на 8 февраля ЦПТЦ присвоил ТЦ ZAKA стадию тропической депрессии. К концу того же дня ТЦ ZAKA разрушился. В целом ТЦ ZAKA (рис. 6), переместился с южной широты 19° до 36° и с западной долготы 160° до 178°.

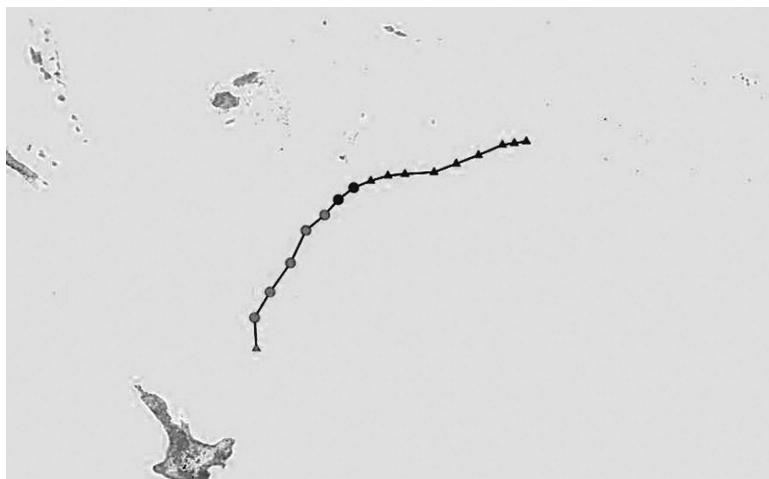


Рис. 4. Траектория реального прохождения ТЦ ZAKA

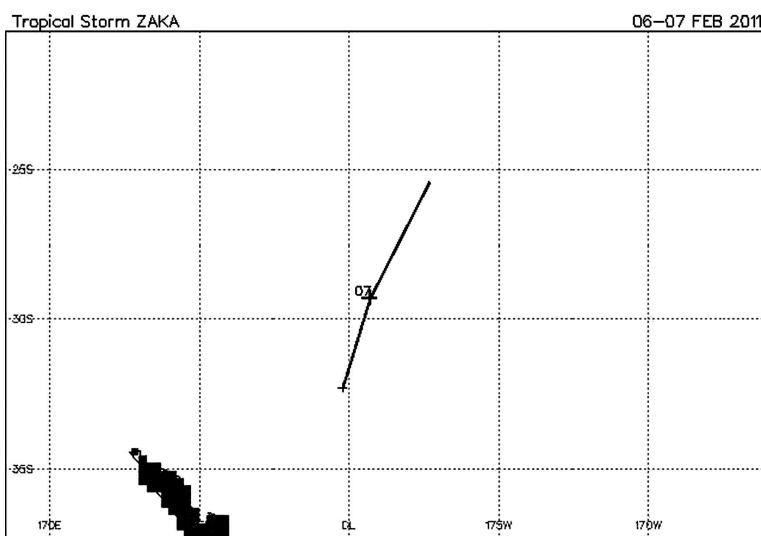


Рис. 5. Траектория реального прохождения ТЦ ZAKA по данным сайта <http://weather.unisys.com/hurricane/>

## Ионосферные данные

На сайте Австралийского центра прогнозирования состояния ионосферы представлены ежечасные региональные ионосферные карты. В основу взято измерение ПЭС (полного электронного содержания в столбе ионосферы с сечением 1 м<sup>2</sup>) над сектором поверхности Земли с географическими координатами от 10° до 50° S и от 110° до 180° E. Помимо карты ПЭС на сайте представлены карты отклонений ПЭС (единица измерения TECU: 1016 электрон/м<sup>2</sup>) от: климатической эмпирической нормы; значений ПЭС, рассчитанным по модели IRI и по модели Klobuchar.

Поскольку в дальнейшем мы будем использовать карту отклонений ПЭС от климатической нормы, приведем ее краткое описание. Карта отклонений ПЭС от климатической нормы в реальном времени является продуктом Службы Ионосферных Прогнозов Австралии. В результате вычитания рассчитанных с помощью климатической модели значений ПЭС из реальных значений и получается карта климатических отклонений ПЭС. Климатическая модель ПЭС базируется на эмпирических ортогональных функциях (ЭОФ), построенных путем анализа ПЭС за 30-дневный период с интервалом в 15 минут. Функция ПЭС раскладывается на базисные предикторы. Как правило, находятся первые наиболее значимые четыре ЭОФ, которые могут расшифровать около 95% наблюдаемых отклонений в течение 30 дней. Итак, карта климатологии производится из анализа ЭОФ путем определения медианы коэффициентов ЭОФ в данный момент времени данного дня в течение 30-дневного периода. Карта отклонений ПЭС учитывает время суток, день года, сезон и солнечный цикл, что дает на выходе независимость остатков ПЭС от зенитного угла Солнца, сезона и солнечной активности.

## Анализ данных

На рис. 6-13 представлены карты отклонений ПЭС от климатической нормы с 1 по 6 февраля 2011 г. (хотя в нашем распоряжении имелись карты до 9 февраля). В данной работе представлены только те карты, которые являются наиболее значимыми. По данным сайта <http://weather.unisys.com/> циклон YASI был зафиксирован в 00.00 UT 30 января 2011 г. в стадии тропического шторма (географические координаты локализации: 13° S, 170° E), а до этого имел стадию тропической депрессии (начиная с 00.00 UT 29 января). Ровно через сутки циклон перешел в первую стадию тропического циклона по шкале ураганов Саффира-Симпсона. 1 февраля в 00.00 UT YASI набрал скорость 3-ей категории ТЦ, переместившись на 14 градусов западнее от начальной точки нахождения (географические координаты локализации: 14° S, 156° E). Как было описано выше, при вторжении на материк ему прогнозировали достижение 5-ой категории ТЦ. Однако этого не произошло. С 12.00 UT 1 февраля по 12.00 UT 2 февраля (геог. координаты локализации: 19° S, 143° E) ТЦ YASI имел 4-ую категорию ТЦ. Уже к 00.00 UT 3 февраля циклон ослабел и перешел в стадию тропического шторма. В 18.00 UT этого же дня (геог. координаты локализации: 21° S, 139° E) по 18.00 UT 6 февраля (геог. координаты локализации: 24° S, 129° E) циклон находился в стадии тропической депрессии. За 1 февраля (когда ТЦ еще не вторгся на материк) в нашем распоряжении имеются только 2 карты отклонений ПЭС в 12 и 19 часов по UT. В полдень по UT (рис. 6) мы видим 2 области пониженного содержания ПЭС на 2-4 единицы в области северной и западно-южной Австралии. Также,

в северной области карты видна значительная площадь повышенного содержания ПЭС. В 19.00 UT(рис. 7) на карте представлены две области с повышенным (в северо-западной части) и пониженным (над Новой Зеландией) ПЭС.

В момент вторжения на материк в 14.00 UT 2 февраля севернее места вторжения ТЦ ( $18^{\circ}$  S,  $146^{\circ}$  E) находится область повышенного ПЭС с колебаниями отклонений до от 2 до 6 единиц ПЭС (рис. 8). Через час в северо-западной части карты зафиксированы разрывные области повышенного ПЭС. Интересно отметить, что направление возмущений находится на одной параллели с областью нахождения ТЦ.

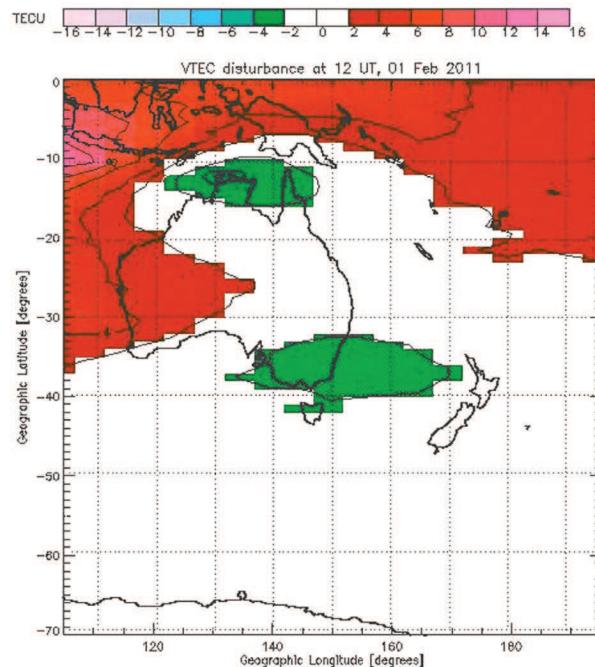


Рис. 6. Региональная карта отклонений ПЭС от климатической нормы 1 февраля в 12.00 UT

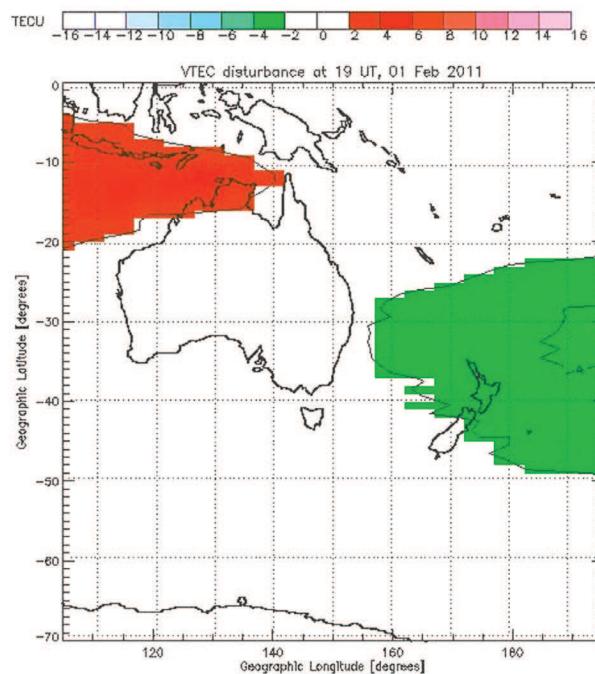


Рис. 7. Региональная карта отклонений ПЭС от климатической нормы 1 февраля в 19.00 UT

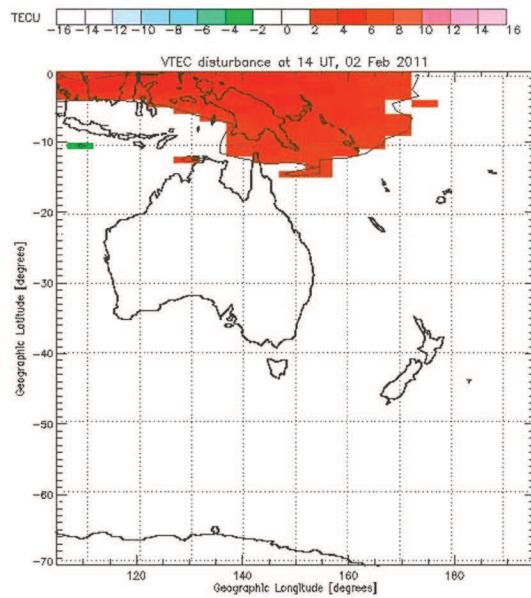


Рис. 8. Региональная карта отклонений ПЭС от климатической нормы 2 февраля в 14.00 UT

Карты отклонений ПЭС 3 февраля в 05.00UT (рис. 9) и 06.00UT (рис. 10) отличаются особой неоднородностью возмущений. На юго-западе Австралии, где в 05.00 UT была зона повышенного ПЭС, через час становится зоной более однородно пониженного ПЭС. Данный факт можно рассматривать как движение возмущенной области с востока Австралии, или как проявлением волновых процессов. В это время, когда YASI все еще находился в стадии тропического шторма (геог. координаты локализации: 20° S, 141° E), относительно недалеко от него и почти на одной параллели зародился другой ТЦ ZAKA (геог. координаты локализации: 19° S, 161° E). ТЦ ZAKA впоследствии перемещался на юго-восток (его последнее местоположение зафиксировано в 06.00 UT 8 февраля в стадии депрессии с географическими координатами: 37° S и 178° E).

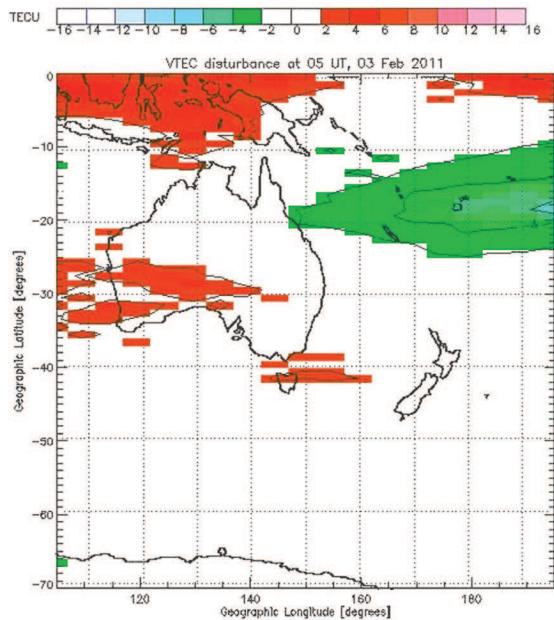


Рис. 9. Региональная карта отклонений ПЭС от климатической нормы 3 февраля в 05.00 UT

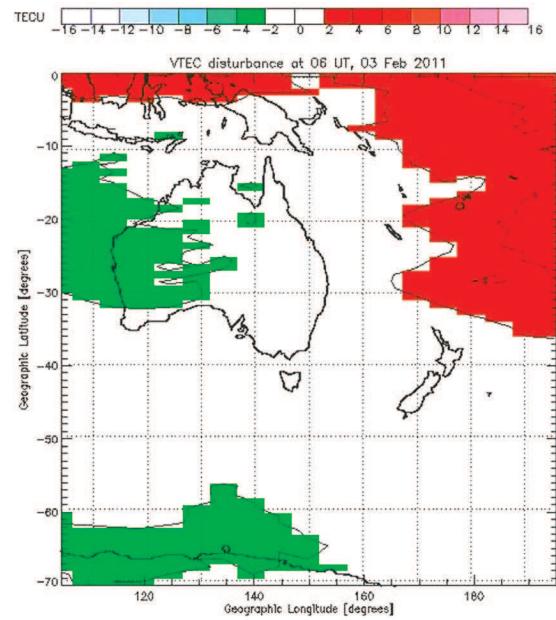


Рис. 10. Региональная карта отклонений ПЭС от климатической нормы 3 февраля в 06.00 UT

На рис. 11 в 14.00 UT 5 февраля область повышенного ПЭС находилась над Новой Зеландией, которая несколько истощилась через 1 час (рис. 12). Зона пониженного ПЭС в северо-западной части карты также уменьшилась через час. В это время ТЦ YASI находился в точке с координатами: 25° S и 144° E, ТЦ ZAKA – с координатами: 22° S и 173° E. ТЦ ZAKA еще не перешел в стадию тропического шторма по шкале ураганов Саффира-Симпсона. Но, как мы видим на рисунках, явно над ним находится зона повышенного ПЭС. Та же картина наблюдается до полудня по UT 6 февраля. 6 февраля ТЦ ZAKA достиг стадии тропического шторма. Максимального увеличения отклонения величины ПЭС до  $8 * 10^{16}$  электрон/ $m^2$  достигли в 14.00 UT этого дня, что по сравнению с величиной ПЭС, измеренной 2 февраля, составляет увеличение в 2 раза. Стоит отметить, что, начиная с 5 февраля спутниками GOES 11 и 13, были зафиксированы значительные повышения интенсивности электронов с энергиями от 0.6 до 2 МэВ. Так же вечером 4 февраля отмечалась геомагнитная буря (рис. 13). Так в 22.00 UT индекс Dst по модулю составлял 56 nT (что соответствует слабой геомагнитной буре). До полудня 5 февраля значения Dst по модулю не опускались до 40 nT. Мы полагаем, что карты климатических отклонений ПЭС не зависят от параметров, связанных с отмеченными событиями. И этот факт находит отражение на этих картах. Но положение «облака» повышенной ПЭС (превышая нормы в шесть раз) над местом локализации ТЦ скорее всего связано именно с этим ТЦ. Мы пока не делаем выводов о связи выбросов электронов и ТЦ и ионосферой в этой статье. Авторы планируют посвятить этому вопросу другую работу.

На рис. 14 мы видим отчетливое «облако» пониженного ПЭС, которое несколько южнее места нахождения ТЦ ZAKA. Но уже в дальнейшем оно постоянно присутствует на картах. Факт понижения ПЭС уже отмечался в др. работах. Скорее всего, это связано с фактом длительности функционирования ТЦ и выбросов водяного пара при этом в атмосферу.

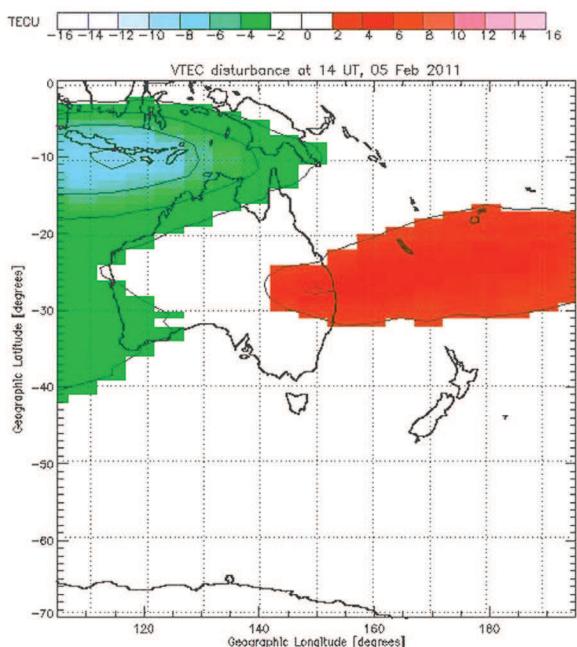


Рис. 11. Региональная карта отклонений ПЭС от климатической нормы 5 февраля в 14.00 UT

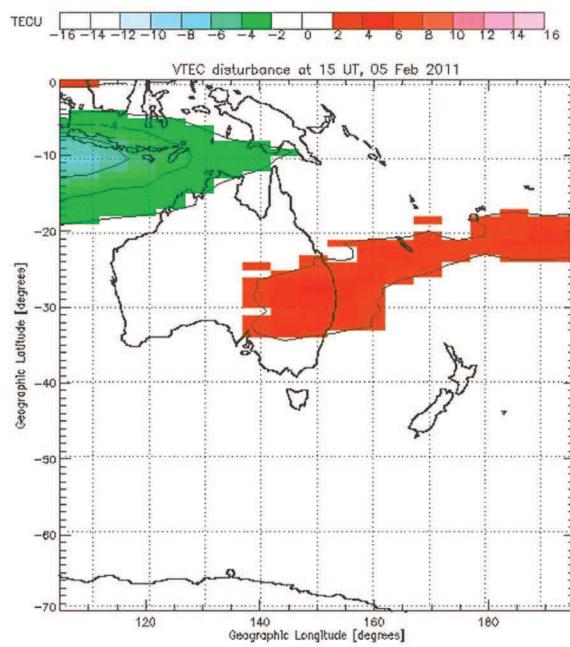


Рис. 12. Региональная карта отклонений ПЭС от климатической нормы 5 февраля в 15.00 UT

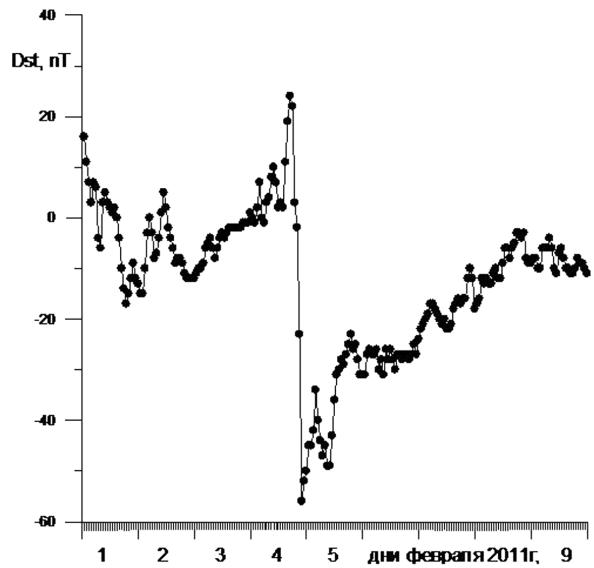


Рис. 13. Изменение величины индекса  $Dst$  в первой декаде февраля 2011 г.

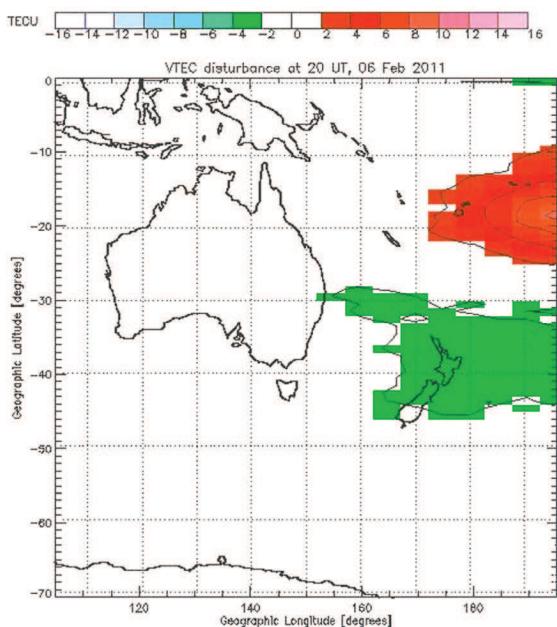


Рис. 14. Региональная карта отклонений ПЭС от климатической нормы 6 февраля в 20.00

Стоит отметить, что мы не стараемся в данной работе акцентировать внимание на возможный отклик ионосферы от землетрясений. Вокруг Австралийского континента часты землетрясения. В отмеченный период наблюдались землетрясения с магнитудой более 6: 04.02.2011 с географическими координатами 14°S 166°E и 07.02.2011 с географическими координатами 7°S 155°E. Мы посвятим этому вопросу последующие статьи. В данной статье мы попытались рассмотреть ионосферное поведение «в целом» над сектором Земли. И мы показали анизотропию распространения возможного отклика от ТЦ в верхней ионосфере.

## Выводы

Для полноценности выводов по воздействию ТЦ на ионосферу в данном случае нам не хватает данных за конец января, когда ТЦ YASI только набирал силу. Но, в целом, складывается следующая картина. С момента зарождения ТЦ и до начала его самой активной фазы над зоной его действия и около в ионосфере наблюдается повышение значений ее параметров (до 100%). Далее картина меняется. Это означает, что над зоной локализации ТЦ и около значения ионосферных параметров начинают падать (до 50%). При этом картина влияния ТЦ на ионосферу носит как волновой характер, так и зональный характер, а именно образование возмущенных зон (с пониженным или повышенным содержанием электронов), которые медленно распространяются со временем. Явного принципиального отличия относительно воздействия на ионосферу со стороны тропического циклона с точки зрения уровня мощности ТЦ сделать не удалось. Распространения возмущений в ионосфере от предполагаемого источника ТЦ носят анизотропный характер.

## Литература

1. Ванина-Дарт Л.Б., Покровская И.В., Шарков Е.А. Исследование взаимодействия нижней экваториальной ионосферы с тропическими циклонами по данным дистанционного и ракетного зондирования // Исследование Земли из космоса. 2007. № 2. С. 19-27.
2. Ванина-Дарт Л.Б., Шарков Е.А., Покровская И.В. Влияние солнечной активности на отклик экваториальной нижней ионосферы во время активной фазы тропических циклонов // Исследование Земли из космоса. 2007. № 6. С. 3-10.
3. Ванина-Дарт Л.Б., Покровская И.В., Шарков Е.А. Реакция нижней экваториальной ионосферы на сильные тропосферные возмущения // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48. № 2. С. 255-260.
4. Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А. Влияние тропического циклона на верхнюю ионосферу по данным томографического зондирования над о.Сахалин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 1. С.173-189.
5. Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А. Вариации критической частоты ионосферного слоя F2 по данным томографического зондирования при прохождении тропического циклона // Исследование Земли из космоса. 2011. № 3. С. 30-39.
6. Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А. Влияние тропического циклона на верхнюю ионосферу по данным томографического зондирования над о-вом Сахалин в ноябре 2007 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2011. Т. 51. № 6. С. 30-37.
7. Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А. Вариации ионосферного слоя F2 под влиянием тропического циклона по данным радиозондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С.85-93.
8. Bauer S.J. An apparent ionospheric response to the passage of hurricanes // J. Geophys. Res., 1958, 63. P. 265–269.
9. Shen C.S. The correlations between the typhoon and the foF2 of ionosphere (in Chinese). Chin. J. Space Sci., 1982. 2. P. 335–340.

## The comparison of ionospheric variations over the Australian continent during the activity of tropical cyclones Yasi and Zaka in 2011

L.B. Vanina-Dart, E.A. Sharkov

Space Research Institute of RAS  
117997 Moscow, 84/32 Profsoyuznaya str.  
E-mails: [vandart@iki.rssi.ru](mailto:vandart@iki.rssi.ru) ; [easharkov@iki.rssi.ru](mailto:easharkov@iki.rssi.ru)

The authors of this paper continue to search for the tropical cyclone (TC) response in the overlying ionosphere by measuring the TEC (total electron content of the ionosphere in a colu response mn with a cross section of 1 m<sup>2</sup>) over the Australian continent at the time of the most powerful TC «YASI» and TC «ZAKA.» These two TC acted in late January and early February 2011 on the Australian continent. From the inception of the cyclone and the beginning of its most active phase over the zone of its action and about in the ionosphere observed increase in the values of its parameters (up to 100%). Further localization of the area around the TC and the values of ionospheric parameters begin to fall (50%). The authors suggest that the influence of TC on the ionosphere has a wave and zone character and anisotropy character.

**Keywords:** ionospheric layers, tropical cyclone, satellite sensing of ionosphere.