

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

# СОПОСТАВЛЕНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ ВАРИАЦИЙ НАД АВСТРАЛИЙСКИМ КОНТИНЕНТОМ ВО ВРЕМЯ ДЕЙСТВИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

© 2012 г. Л. Б. Ванина-Дарт, Е. А. Шарков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва

E-mails: vandart@iki.rssi.ru; easharkov@iki.rssi.ru

Поступила в редакцию 25.05.2012 г.

Продолжен поиск отклика тропического циклона (ТЦ) на вышележащую ионосферу на основе измерения полного электронного содержания в столбе ионосферы с сечением  $1 \text{ см}^2$  (ПЭС) над Австралийским континентом во время действия ТЦ Yasi и Zaka различной мощности в конце января–начале февраля 2011 г. С момента зарождения ТЦ и до начала самой активной фазы над зоной действия и около нее в ионосфере наблюдается повышение значений параметров ПЭС (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. Можно полагать, что влияние ТЦ на ионосферу носит как волновой, так и зональный характер.

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

### ВВЕДЕНИЕ

В конце января–начале февраля 2011 г. в районе Австралийского континента действовали два тропических циклона. Причем один из них – Yasi – прогнозировался максимальной (пятой) категорией мощности по шкале ураганов Саффира-Симпсона. Вслед за ним действовал ТЦ Zaka, который был “слабо-средней” мощности.

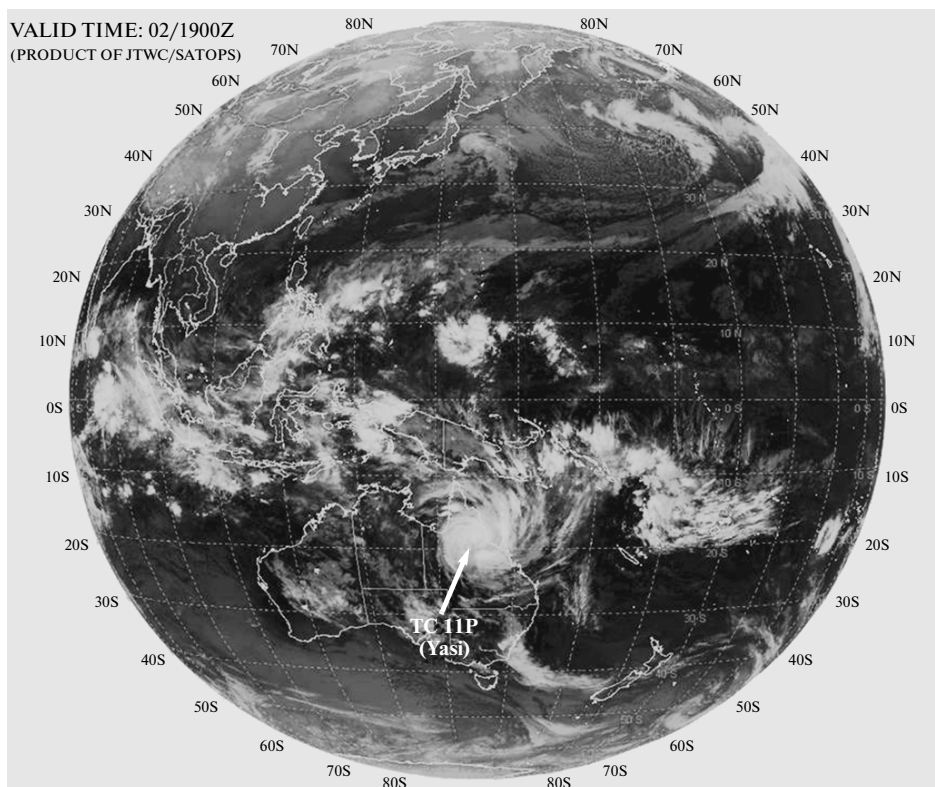
Как уже не раз отмечалось в публикациях авторов (Ванина-Дарт и др., 2008, 2010, 2011в), в последнее время немалое внимание уделяется поиску предполагаемого ионосферного отклика на важное тропосферное явление – тропический циклон (ТЦ). Точки зрения о возможном влиянии этого явления на ионосферу расходятся. Если в одних работах авторы находят возможный отклик тропических циклонов 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; 2011а, 2011б).

Цель данной работы – сопоставление возможных откликов тропических циклонов различной мощности на лежащую выше ионосферу. В основу работы взяты данные измерения ПЭС над Австралийским континентом. Данные являются собственностью Австралийского центра прогнозирования ионосферы.

### О ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНАХ YASI И ZAKA

В конце января–начале февраля 2011 г. над северо-западной частью Австралии прошел мощный ТЦ Yasi (рис. 1). В преддверии его “нашествия” на сушу прогнозировались бедствия в связи с его приближением к берегам Австралии. Власти штата Квинсленд даже эвакуировали местное население (рис. 2). Супертайфун Yasi (рис. 3, 4) обрушился между городами Иннисфейл (Innisfail, географические координаты:  $17^{\circ}31'S$ ,  $146^{\circ}01'E$ ) и Кардуэлл (Cardwell, 95 км южнее Иннисфейла) около полуночи по местному времени (в 14:00 UT 2 февраля 2011 г.) и нанес серьезный ущерб. ТЦ пересек побережье около известного австралийского курорта Mission Beach ( $17^{\circ}52'S$ ,  $146^{\circ}06'E$ ). Порывы ветра здесь составляли, по оценкам метеорологов, до 290 км/ч и также нанесли значительный ущерб. Высота поднятого уровня моря в сумме с ветровыми волнами достигала 7 м. Часть прибрежной инфраструктуры была разрушена (до 300 м вглубь страны), а часть территории затоплена. Ураганные ветры сопровождалась сильными грозовыми ливнями. Глаз ТЦ составлял 35 км, ширина вдоль побережья – 650 км. В целом ТЦ Yasi переместился с  $14^{\circ}$  до  $24^{\circ}$  ю.ш. и с  $173^{\circ}$  до  $129^{\circ}$  в.д.

Ранним утром 5 февраля РСМЦ (Региональный специализированный метеорологический центр) в Нади (о-ва Фиджи) сообщил о тропиче-



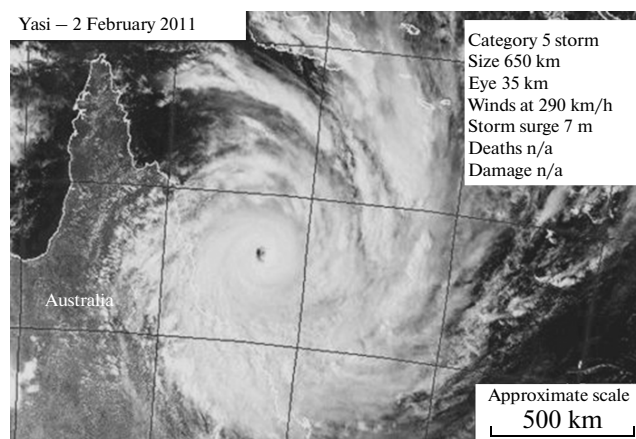
**Рис. 1.** Положение ТЦ Yasi по спутниковым данным центра прогнозирования циклонов JTWC в 19:00 UT 2 февраля 2011 г.

ском возмущении в окрестности около 200 км к юго-востоку от Нукуалофа (Nuku'alofa, географические координаты: 21°8'S, 175°12'E) в Тонге. В течение того же дня возмущение постепенно росло, перемещаясь на восток. Оно 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 ТЦ с названием Zaka (рис. 5). Вскоре ТЦ Zaka пересек южную широту 25° и попал под контроль ЦПТЦ в Веллингтоне. В полночь того же дня ЦПТЦ в Веллингтоне присвоил ТЦ Zaka 2-ю категорию тропического циклона по шкале интенсивности ТЦ Австралийского региона (несколько отличной от шкалы Саффира-Симпсона). Ранним утром 7 февраля система начала ослабевать, достигнув 1-й категории ТЦ. 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 19° до 36° ю.ш. и с 160° до 178° з.д.

### ИОНОСФЕРНЫЕ ДАННЫЕ

На сайте Австралийского центра прогнозирования состояния ионосферы представлены еже-

часные региональные ионосферные карты. В основу взято измерение ПЭС над сектором поверхности Земли с географическими координатами от 10° до 50° ю.ш. и от 110° до 180° в.д. Помимо карты ПЭС, на сайте представлены карты отклонений ПЭС (единица измерения  $10^{16}$  электрон/м<sup>2</sup>) от климатической эмпирической нормы, значений ПЭС, рассчитанным по моделям IRI и Klobuchar.



**Рис. 2.** Положение ТЦ Yasi над Австралией 2 февраля 2011 г. в момент “вторжения” на материк по спутниковым данным.

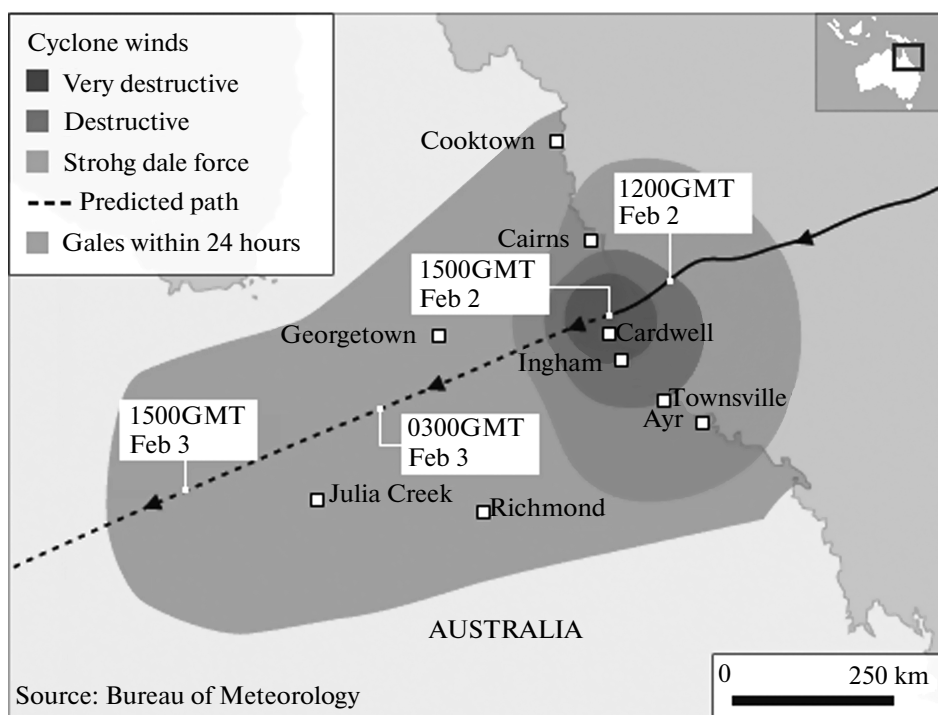


Рис. 3. Траектория прогнозируемого прохождения ТЦ Yasi с указанием областей разной мощности.

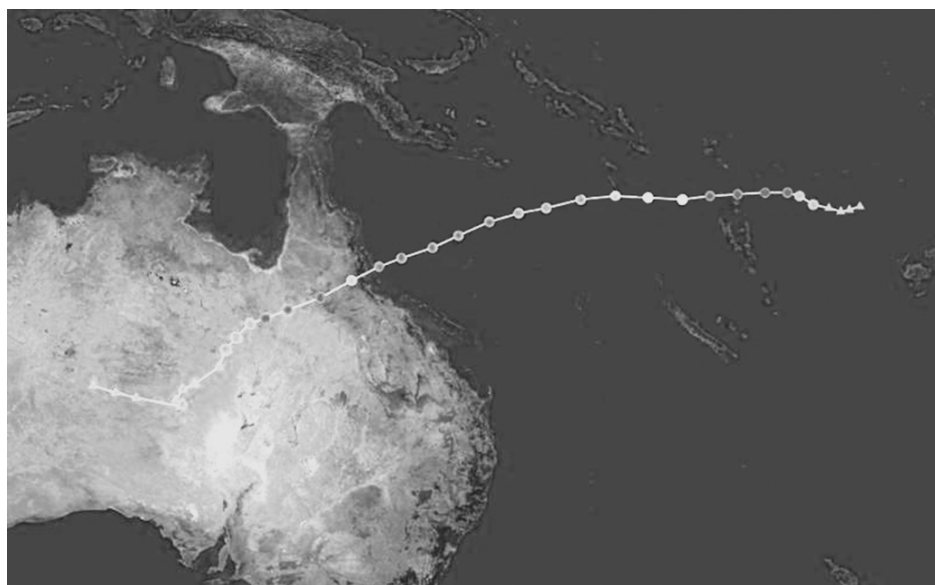


Рис. 4. Траектория реального прохождения ТЦ Yasi.

Поскольку в дальнейшем мы будем использовать карту отклонений ПЭС от климатической нормы, приведем ее описание. Карта 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 мин. Функция ПЭС

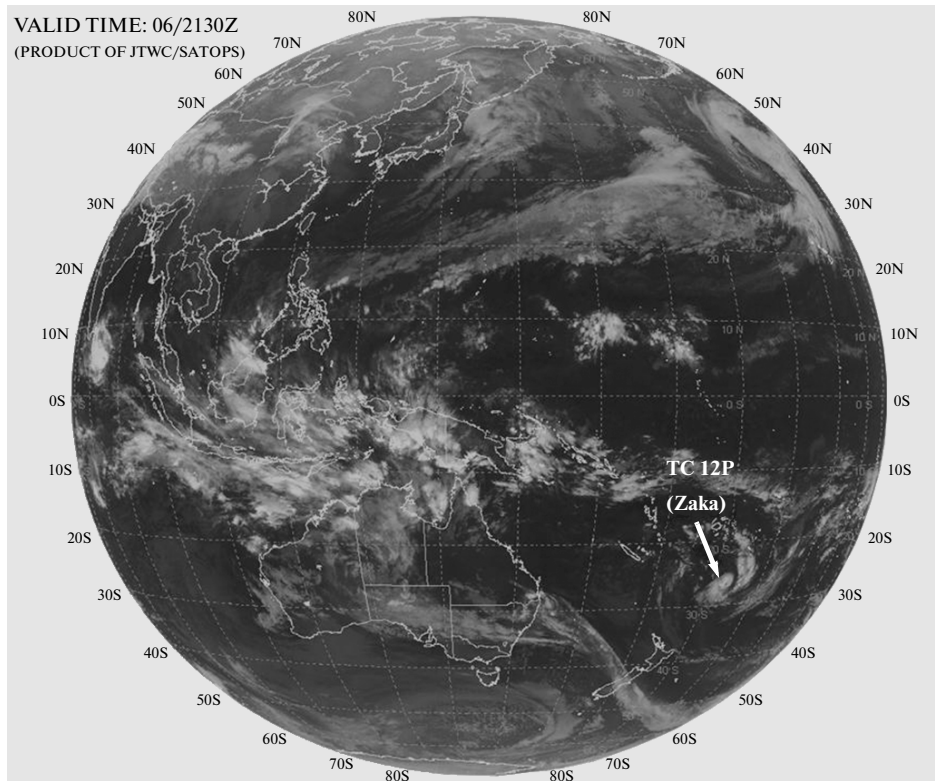


Рис. 5. Положение ТЦ Zaka по спутниковым данным центра прогнозирования циклонов JTWC в 21:30 UT 6 февраля 2011 г.

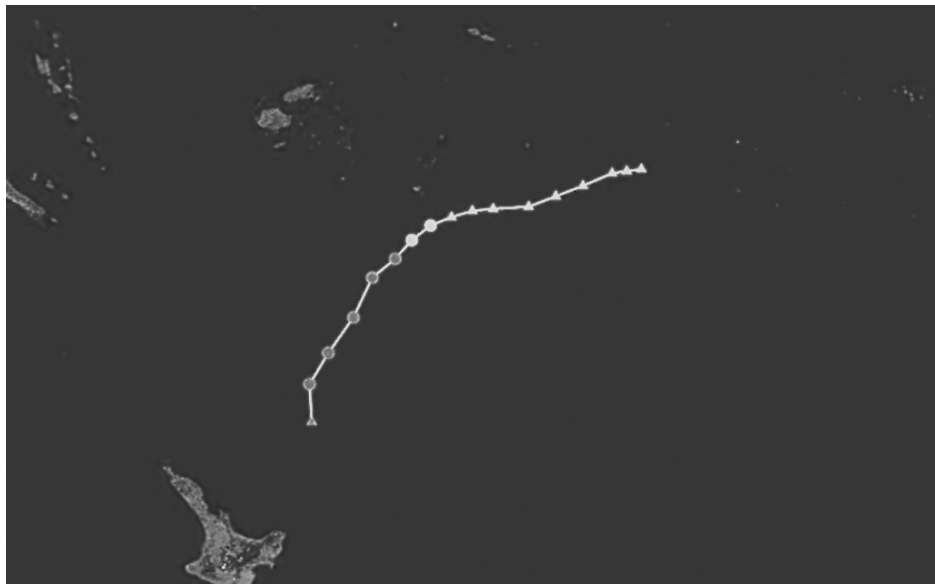


Рис. 6. Траектория реального прохождения ТЦ Zaka.

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 ана-

лиза 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 незави-



Рис. 8. Траектория реального прохождения ТЦ Yasi к моменту “вторжения” на материк.

симось остатков ПЭС от зенитного угла Солнца, сезона и солнечной активности.

#### АНАЛИЗ ДАННЫХ

На рис. 7.1–7.12 (см. на цветн. вклейках) представлены карты отклонений ПЭС от климатической нормы с 1 по 9 февраля 2011 г. 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:  $13^{\circ}$  ю.ш.,  $170^{\circ}$  в.д.), а до этого имел стадию тропической депрессии (начиная с 00:00 UT 29 января). Ровно через сутки циклон перешел в первую стадию ТЦ по шкале ураганов Саффира-Симпсона. 1 февраля в 00:00 UT Yasi набрал скорость 3-й категории ТЦ, переместившись на  $14^{\circ}$  западнее от начальной точки нахождения (географические координаты локализации:  $14^{\circ}$  ю.ш.,  $156^{\circ}$  в.д.). Как было описано выше, при вторжении на материк ему прогнозировали достижение 5-й категории ТЦ. Однако этого не произошло. С 12:00 UT 1 февраля по 12:00 UT 2 февраля (географические координаты локализации:  $19^{\circ}$  ю.ш.,  $143^{\circ}$  в.д.) ТЦ Yasi имел 4-ю категорию ТЦ. Уже к 00:00 UT 3 февраля циклон ослабел и перешел в стадию тропического шторма. В 18:00 UT этого же дня (географические координаты локализации:  $21^{\circ}$  ю.ш.,  $139^{\circ}$  в.д.) по 18:00 UT 6 февраля (географические координаты локализации:  $24^{\circ}$  ю.ш.,  $129^{\circ}$  в.д.) циклон находился в стадии тропической депрессии. За 1 февраля (когда ТЦ еще не вторгся на материк) в нашем распоряжении имеются только две карты отклонений ПЭС – в 12

и 19 ч по UT. В полдень по UT мы видим две 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 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 ( $18^{\circ}$  ю.ш.,  $146^{\circ}$  в.д.) находится область повышенного ПЭС с колебаниями отклонений до от 2 до 6 единиц ПЭС (рис. 8). В 15:00 UT в северо-западной части карты располагаются наибольшие разрывные области повышенного ПЭС. Интересно отметить, что направление возмущений находится на одной линии с областью нахождения ТЦ (рис. 7.1–7.2, 7.3–7.4 на цветн. вклейках).

Карты отклонений ПЭС 3 февраля в 05:00 и 06:00 UT отличаются особой неоднородностью возмущений. На юго-западе Австралии, где в 05:00 UT была зона повышенного ПЭС, через час она становится зоной более однородно пониженного ПЭС. Данный факт можно рассматривать как движение возмущенной области с востока Австралии, или как проявление волновых процессов. В это время, когда Yasi все еще находился в стадии тропического шторма (географические координаты локализации:  $20^{\circ}$  ю.ш.,  $141^{\circ}$  в.д.), относительно недалеко от него и почти на одной параллели зародился другой ТЦ Зака дня (географические координаты локализации:  $19^{\circ}$  ю.ш.,  $161^{\circ}$  в.д.). Впоследствии он перемещался на юго-восток (его последнее местоположение зафиксировано в 06:00 UT 8 февраля в стадии депрессии с гео-

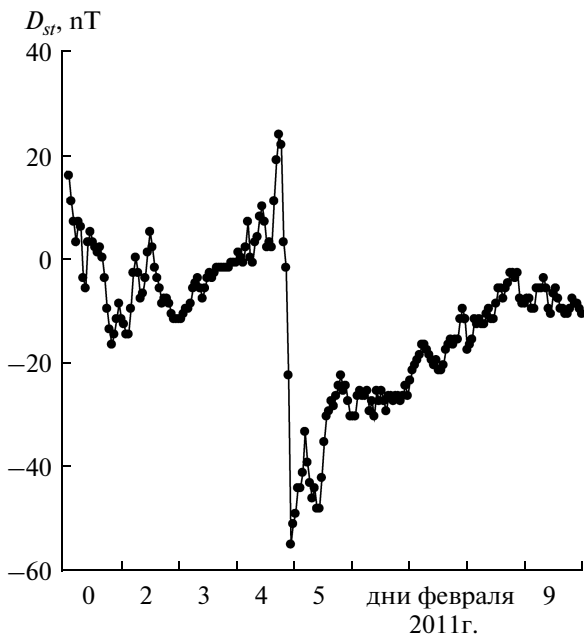


Рис. 9. Изменение величины индекса  $D_{st}$  в первой декаде февраля 2012 г.

графическими координатами:  $37^\circ$  ю.ш. и  $178^\circ$  в.д.) (рис. 7.5–7.6 там же).

В 14:00 UT 5 февраля (рис. 7.7 на цветн. вклейках) область повышенного ПЭС находилась над Новой Зеландией, которая несколько истощилась через 1 ч (рис. 7.8 там же). Зона пониженного ПЭС в северо-западной части карты также уменьшилась через час. В это время ТЦ Yasі находился в точке с координатами:  $25^\circ$  ю.ш. и  $144^\circ$  в.д., ТЦ Zaka — с координатами:  $22^\circ$  ю.ш. и  $173^\circ$  з.д. ТЦ Zaka еще не перешел в стадию тропического шторма по шкале ураганов Саффира-Симпсона. Но, как мы видим на рисунках, над ним явно находится зона повышенного ПЭС. Та же картина наблюдается и в 19:00 UT 5 февраля и в 11:00 UT 6 февраля. 6 февраля ТЦ Zaka достиг стадии тропического шторма. Максимального увеличения отклонения величины ПЭС до  $8 \times 10^{16}$  электрон/м<sup>2</sup> 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. Также вечером 4 февраля отмечалась геомагнитная буря (рис. 9) — в 22:00 UT индекс  $D_{st}$  по модулю составлял 56 нТ (что соответствует слабой геомагнитной буре). До полудня 5 февраля значения  $D_{st}$  по модулю не опускались до 40 нТ. Мы полагаем, что карты климатических отклонений ПЭС не зависят от параметров, связанных с отмеченными событиями. И этот факт находит отражение на указанных картах. Но положение “облака” повы-

шенной ПЭС (превышая нормы в 6 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. 7.11 и 7.12 (на цветн. вклейках) 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 других работах. Скорее всего, это связано с фактом длительности функционирования ТЦ и выбросов водяного пара при этом в атмосферу. Причем складывается впечатление, что эта область стремится распространяться на запад. В 21:00 UT 7 февраля мы видим лишь ее небольшие остатки. На последующих картах это облако уже отсутствовало. На рис. 7.13–7.14 (на цветн. вклейках) область пониженного ПЭС также находится над Новой Зеландией и над ТЦ.

## ВЫВОДЫ

Впервые осуществлена попытка поиска отклика верхней ионосферы от ТЦ масштабно. Предыдущие работы анализировали либо “точечные” ионосферные данные (т.е. над какой-то географической точкой), либо данные “разреза” (т.е. над несколькими географическими точками). Стало очевидным, что пространственные ограничения ионосферного материала не дают полноценных выводов о возможном влиянии ТЦ. Необходимо рассматривать ионосферный материал как над самим ТЦ, так и над его близкими и дальними окрестностями, поскольку отклик может быть обнаружен в любом из указанных мест.

В данной работе авторы впервые анализировали результаты большого участка ионосферы над сектором поверхности Земли с географическими координатами от  $10^\circ$  до  $50^\circ$  ю.ш. и от  $110^\circ$  до  $180^\circ$  в.д. Осуществлена возможность отслеживания изменчивости ионосферы в окрестностях около  $20^\circ$  по радиусу от точки нахождения ТЦ за достаточно длительный срок. На основе уникального материала были сделаны следующие выводы:

1) 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%);

2) предполагаемое влияние ТЦ на ионосферу может носить как волновой, так и зональный характер. Образуются возмущенные зоны (с пониженным или повышенным содержанием элек-

тронов), которые медленно распространяются со временем;

3) авторам не удалось выявить принципиальные отличия о влиянии уровня мощности ТЦ на ионосферу. Возможно, их не удалось выявить в силу наличия геомагнитной бури во время действия слабого ТЦ. Либо данный вывод можно трактовать как означающий, что наличие геомагнитной бури усиливает эффект влияния ТЦ на ионосферу. Данный вопрос пока остается открытым.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Ванина-Дарт Л.Б., Покровская И.В., Шарков Е.А.* Реакция нижней экваториальной ионосферы на сильные тропосферные возмущения // Геомагнетизм и аэрномия. 2008. Т. 48. № 2. С. 255–260.

*Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А.* Влияние тропического циклона на верхнюю ионосферу по данным томографического зондирования над о-вом. Сахалин // Соврем. пробл. дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 1. С. 173–189.

*Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А.* Вариации критической частоты ионосферного слоя F2 по данным томографического зондирования при прохождении тропического циклона // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 3. С. 30–39

*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 аэрномия. 2011. Т. 51. № 6. С. 30–37.

*Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А.* Вариации ионосферного слоя F2 под влиянием тропического циклона по данным радиозондирования // Соврем. пробл. дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3.

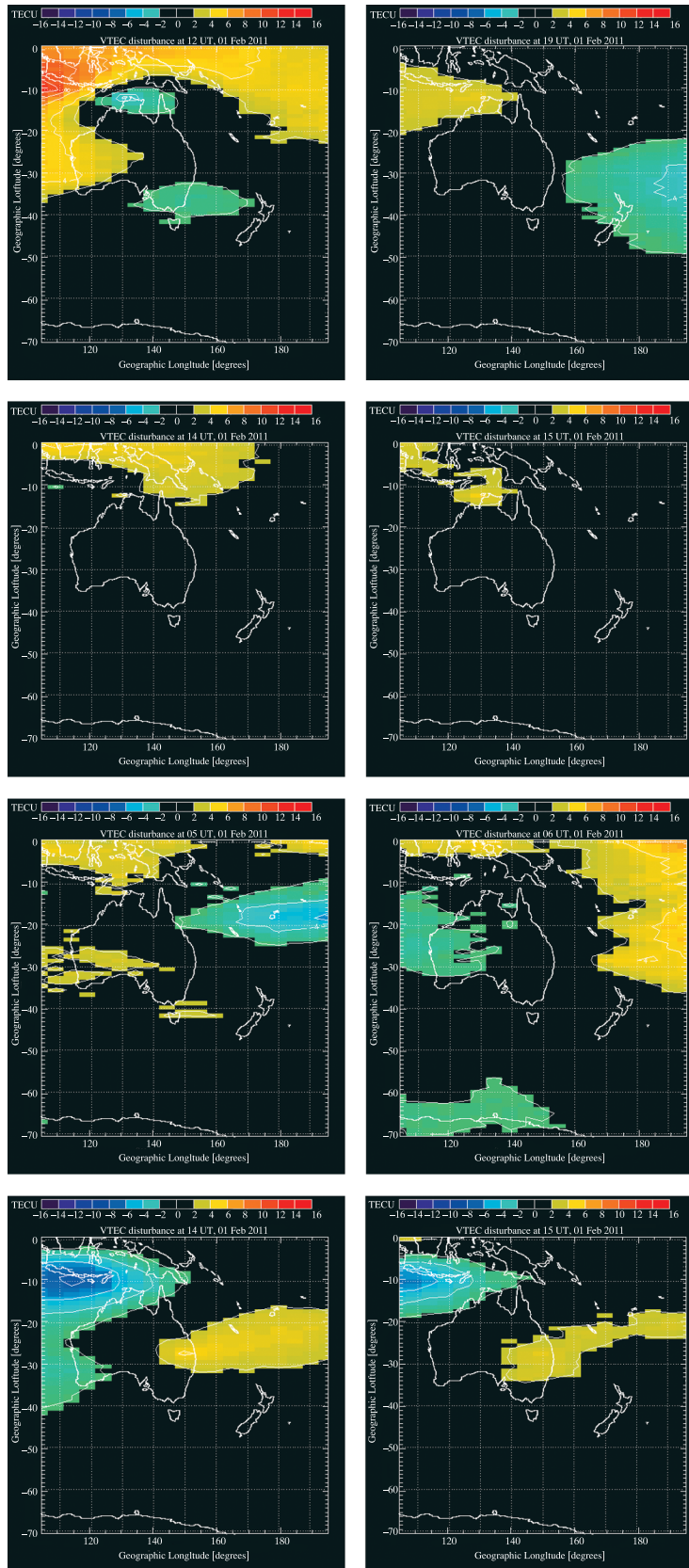
## The Comparison of Ionospheric Variations Over the Australian Continent During the Activity of Different Power Tropical Cyclones Yasi and Zaka

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

*Space Research Institute, Moscow*

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 cm<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.

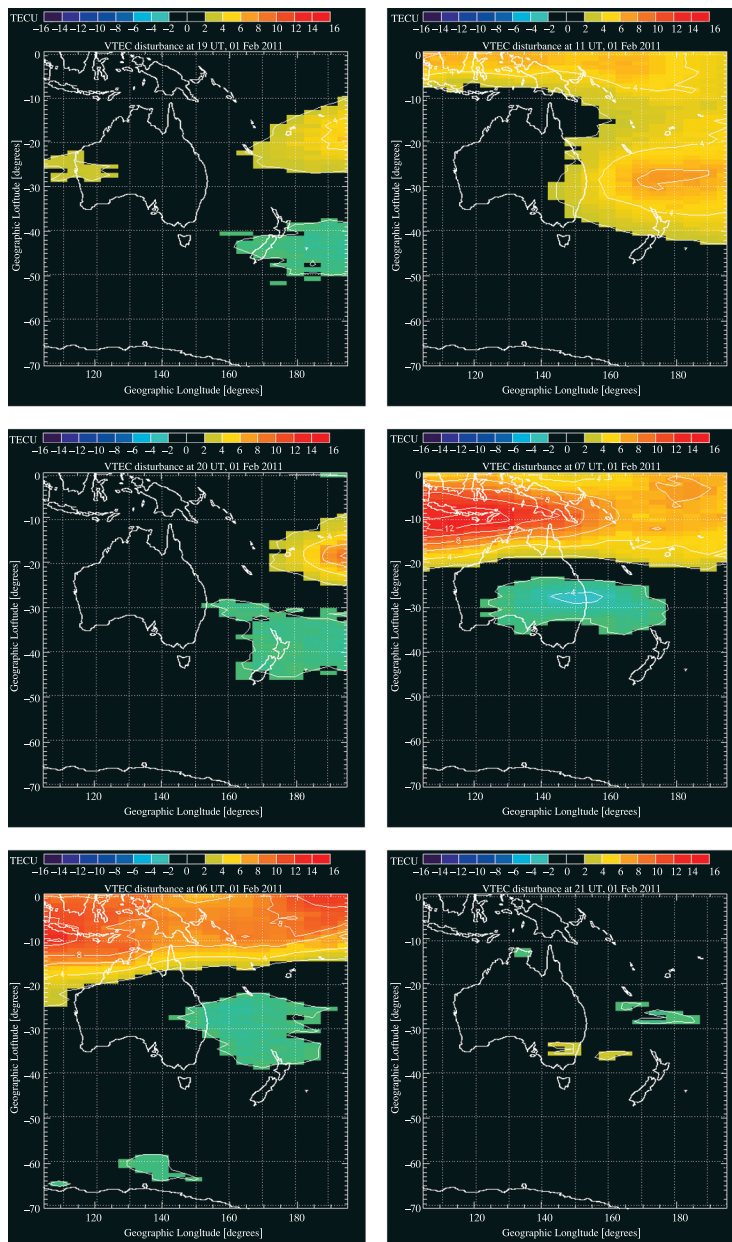
**Keywords:** ionospheric layers, tropical cyclone, satellite sensing of ionosphere



**Рис. 7.1–7.8.** Региональная карта отклонений вертикального ПЭС (VTEC) от климатической нормы (TECU – единица TEC): **7.1** – 1 февраля в 12:00 UT; **7.2** – 1 февраля в 19:00 UT; **7.3** – 2 февраля в 14:00 UT; **7.4** – 2 февраля в 15:00 UT; **7.5** – 3 февраля в 05:00 UT; **7.6** – 3 февраля в 06:00 UT; **7.7** – 5 февраля в 14:00 UT; **7.8** – 5 февраля в 15:00 UT.







**Рис. 7.9–7.14.** Региональная карта отклонений вертикального ПЭС (VTEC) от климатической нормы (TECU – единица TEC): **7.9** – 5 февраля в 19:00 UT; **7.10** – 6 февраля в 11:00 UT; **7.11** – 6 февраля в 20:00 UT; **7.12** – 6 февраля в 21:00 UT; **7.13** – 7 февраля в 06:00 UT; **7.14** – 7 февраля в 21:00 UT.

