

ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И РАЗВИТИИ ТАЙФУНОВ

Геннадий Беляев¹, Владимир Костин², Елена Трушкина¹, Ольга Овчаренко¹,
Бойчо Бойчев³

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн – РАН
e-mail: belyaev@izmiran.ru

²Государственный экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
e-mail: kostin@maryno.net

³Институт космических и солнечно-земных исследований – Болгарская академия наук
e-mail: boytchev@space.bas.bg

Резюме: Для ~70 тайфунов были рассмотрены параметры ионосферы на высоте ~960 км по данным всего комплекса научных приборов спутника Космос-1809. Показано, что над тайфунами в период интенсификации наблюдается возрастание N_e – электронной концентрации. Особенно отчетливо данный эффект проявляется в ночных условиях для супер тайфунов. Над тайфуном Гарри имеется резкий пик N_e с меридиональными размерами ~100 км и более широкая область увеличенного N_e в тысячи км. В дневных условиях, на следующий день после интенсификации тайфуна Гарри, к западу в области ~50° наблюдается увеличение N_e на 20-30%, что интерпретируется как дополнительная накачка тайфуном нейтральной компоненты. Интенсивная грозовая активность в области тайфунов приводит к специфичному возрастанию электростатических колебаний вблизи циклотронной частоты водорода в магнитосопряженном районе, что интерпретируется как инжекция ионов водорода вниз из области отражения неканализованных вистлеров. Перед интенсификацией и на стадии истощения супертайфунов Page и Owen наблюдалась ночная тропическая аномалия с экстремальными характеристиками. В отдельных случаях, в области тропической депрессии в дневных условиях за сутки до появления глаза тайфуна, над ним наблюдалось резкое понижение N_e до 40% в области 200-400 км. Часть результатов представленных в докладе были опубликованы в работе [1].

VARIATIONS OF IONOSPHERIC PARAMETERS IN THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF TYPHOONS

Gennady Belyaev¹, Vladimir Kostin², Elena Trushkina¹, Olga Ovcharenko¹, Boytcho Boytchev³

¹Institute of Terrestrial Magnetism Ionosphere and Radio Wave Propagation – Russian Academy of Sciences
e-mail: belyaev@izmiran.ru

²Plekhanov Russian Economic University, Moscow, Russia
e-mail: kostin@maryno.net

³Space and Solar-Terrestrial Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: boytchev@space.bas.bg

Abstract: The parameters of the ionosphere at altitude of 960 km according to the Cosmos-1809 scientific instrument satellite complex were considered for about 70 typhoons. It was shown that increase in the N_e - electron concentration during the period of intensification in the area over the typhoon is observed. This effect is especially clearly seen at night for a super typhoon. Over the Harry typhoon, a sharp peak with N_e meridional dimensions of about 100 km and a wider area of increased N_e in thousands of kilometers were observed. An increase in N_e by 20-30% at daytime, the day after the intensification of the Harry typhoon in an area of approximately 50 degrees to the west was registered. This is interpreted as an additional pumping of the neutral component typhoon. Intense thunderstorm activity in the area of the typhoon leads to specific increase in the electrostatic oscillations near the cyclotron frequency of hydrogen in the magnetocjugate area, which is interpreted as injection of hydrogen down from the region reflected whistlers not current in the channel. Night tropical anomaly with extreme characteristics was observed before the intensification and the exhaustion stage of the Page and Owen super typhoons. In some cases, in the tropical depression area, at daytime, one day before the typhoon eye, above it there was a sharp decrease of N_e of up to 40% at 200-400 km. Some of the results presented in the report have been published in [1].

Введение

Для изучения ионосферных эффектов, которые могут быть связаны с тайфунами, были использованы результаты наблюдений со спутников Космос-1809 и Болгария-1300. Спутник Космос-1809 работал с 18 декабря 1986 г. по 23 мая 1993 г. Параметры его орбиты: апогей – 980 км, перигей – 950 км, наклонение – $82,5^\circ$, период – 104 мин.

Наиболее информативными для исследуемого вопроса оказались данные приборов ИСЗ Космос-1809:

1. Импедансный зонд (ИЗ-2) – для измерения плотности электронов и ее вариации [2].
2. Анализатор низких частот (АНЧ-2МЕ) – измерялись компоненты электромагнитного поля в диапазоне частот 70 Гц – 20 кГц в каналах 140 Гц, 450 Гц, 850 Гц, 4600 Гц, 15 кГц; $\Delta f/f = 1/8$ в режиме запоминания. Вся рабочая полоса могла передаваться в режиме прямой передачи [3].
3. Детектор электрического поля (ДЭП) – позволял измерять электрическое поле ($f=0-3$ Гц).
4. Высокочастотный зонд (КМ-9) – для измерения электронной температуры в диапазоне 600-5000 К [4].

Оказалось, что информация со спутника в режиме запоминания с опросностью в 2,56 с (ЗАП-4) и общим временем сеанса ~ 17 часов почти всегда содержит фрагмент прохождения над зонами тайфунов. В таблице представлены данные об отдельных тайфунах, которые обсуждаются в докладе.

Имена тайфунов и их положение при измерении со спутника Космос-1809

No	Name of typhoon	Time of existence	Max Wind	Day	Lat	Long	Wind, kt	Orbit	UT	Δ Long
1	Edme	Jan. 17 – 26, 1989	115	23	20S	81E	115	10606	22:10	9W
2	Firinga	Jan. 24 – Feb. 1, 1989	90	23	11S	62E	25	10606	22:07	9E
3	Kirrily	Feb. 5 – 10, 1989	75	10	25S	103E	25	10852	17:28	8E
4	Harry	Feb. 6 – 22, 1989	130	10 11	19S 21S	165E 163E	110 105	10850 10864	13:58 14:17	2W 6W
5	Page	Nov. 5 – Dec. 1, 1990	140	21 27 28	7N 18N 20N	144E 126E 127E	25 120 115	19816 19907 19913	9:37 22:54 10:01	6E 5W 0
6	Owen	Nov. 14– Dec. 5, 1990	140	21 27 28 3	10N 8N 7N 12N	167E 150E 147E 131E	30 135 125 30	19815 19906 19912 19982	7:50 21:07 8:11 9:49	5E 2E 9E 7W
7	Sina	Nov. 24 – 28, 1990	125	28	19S	179E	115	19911	6:43	6E
8	O4s	Dec. 3 – 4, 1990	55	3	15S	80E	55	19984	13:29	7E
9	Roslyn	Sept. 13 – 30, 1992	85	24	18N	146W	65	29116	6:06	9E
10	Ted	Sept. 14 – 24, 1992	65	24	34N 36N	122E 127E	40	29114 29120	2:01 12:57	2E 1W
11	Tina	Sept. 17– Oct. 11, 1992	115	24	13N 13,5	110W 109,5	75 65	29115 29123	4:23 17:32	7E 6E
12	Bonnie	Sept. 17– Oct. 2, 1992	90	24	37N	51W	75 65	29113 29121	0:48 14:11	1W 10W
13	Seymour	Sept. 17 – 27, 1992	75	24	24N 23N	122W 123W	55 45	29116 29123	6:04 17:35	7W 7E
14	Val	Sept. 19 – 27, 1992	55	24	16N 17N	157E 157E	25 30	29113 29119	0:15 11:15	12W 1E
15	TC05B	Sept. 21 – 25, 1992	30	24	22N	90E	25	29115 29121	3:41 14:45	2E 11E
16	Charley	Sept. 21 – 27, 1992	95	24	36N	34W	90	29120	12:26	2W
17	Danielle	Sept. 22 – 26, 1992	55	24	34N	73W	40	29114 29121	2:33 14:10	6W 11E
18	Ward	Sept. 23– Oct. 7, 1992	95	24	12N	167W	25	29118	9:34	1E
19	Aviona	Sept. 25– Oct. 1, 1992	65	24	4S	84E	15	29114 29122	3:33 16:37	7E 7W

Положение тайфунов и их характеристики взяты с сайтов: Объединенного центра предупреждения тайфунов – www.usno.navy.mil и Национального центра ураганов США – www.nhc.noaa.gov. Одна из характеристик тайфунов – скорость поверхностного ветра приводится, как принято в метеорологии, в узлах (морская миля в час) $1\text{kt} = 1,852\text{ км/час}$. Последняя колонка – удаление ближайшей рабочей траектории спутника от центра тайфуна.

Экспериментальные результаты

Известно, что так как общее энерговыделение в структурах тропических ураганов достигает 10^{25} Дж, то его влияние должно простираться до магнитосферы [1,5]. Причем, неустойчивость тропического циклона обычно развивается до тропической депрессии (скорость ветра у поверхности меньше 34 kt), реже - до тропического шторма (ветер до 63 kt), и только 10% тайфунов достигает силы урагана (ветер более 64 kt). В супертайфунах ветер превышает 130 kt.

Обширная метеорологическая информация и библиография о тайфунах представлена на сайтах отделений Всемирной Метеорологической Организации. Однако там отсутствуют ионосферные данные. Ниже представлены экспериментальные результаты, полученные со спутника Космос-1809 над различными ураганами на разной стадии их развития.

Так как спутник Космос-1809 был солнечно синхронизирован, то все близкие витки проходят при одинаковой освещенности ионосферы. Представленные ниже данные (рис.1) соответствуют временам ночной интенсификации супертайфуна Harry и резкому ослаблению урагана Kirrily. Наложение на график данных за двое суток позволяет продемонстрировать характерное воздействие тайфунов на ионосферу.

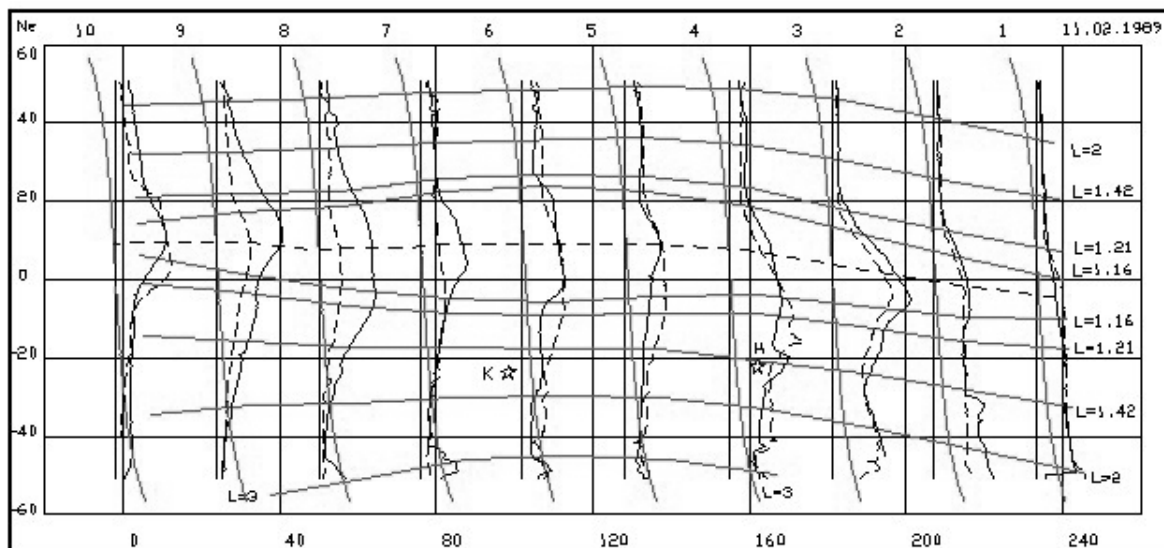


Рис. 1. Плотность ночной плазмы (LT=00:30) вдоль траектории спутника 11.02.1989 г. - сплошные линии и 10.02.89 г. – пунктирные линии (смещены на 6 W). Положение ураганов Harry и Kirrily отмечены звездочками.

В неосвещенной ночной экваториальной ионосфере распределение плазмы без дополнительных источников симметрично относительно геомагнитного экватора (на рисунке штриховая линия). Здесь же можно выделить следующие особенности:

1. В зените над тайфуном Harry, с учетом суточного смещения тайфуна, наблюдается увеличение плотности электронов N_e в ~ 1.5 раза относительно среднего уровня в области шириной ~ 100 км и протяженностью на запад свыше 500 км.

2. Широкий максимум в распределении плазмы на витках №3 (одинаковый 10 и 11 февраля) смещен относительно геомагнитного экватора к югу и его величина на порядок больше, чем на предыдущих витках, что, по-видимому, указывает на восточный вынос плазмы, генерируемой над тайфуном.

3. Дополнительное, симметричное геомагнитному экватору увеличение N_e на меридианах 20-80 градусов на следующий день 11 февраля после интенсификации тайфуна Harry 10 февраля, скорее всего, связано с дополнительным поступлением нейтральной компоненты над тайфуном и ее западным переносом. Плазменная компонента пропорциональна плотности нейтралов.

4. Рост N_e к югу от экватора меняется на разных витках, что связано с магнитным склонением. Разная интенсивность рассеянного солнечного освещения силовых трубок приводит к росту плотности плазмы при приближении к полярному терминатору. Более быстрое охлаждение электронов на внутренних L-оболочках, компенсируется увеличением N_e к геомагнитному экватору, так что электронное давление сохраняется. При удалении от терминатора, в первом приближении, наблюдается линейный спад электронного давления, как показано на рис. 2.

Больше информации о физике явлений в ионосфере над тайфуном дает сопоставление данных всех научных приборов спутника. На рис. 2 последовательно приведены данные приборов ИЗ-2, КМ-9; рассчитанное по формуле $P = N_e k T$ давление электронного газа, где k – постоянная Больцмана; горизонтальная компонента E_y прибора ДЭП; несколько узкополосных каналов электрического поля прибора АНЧ-2МЕ.

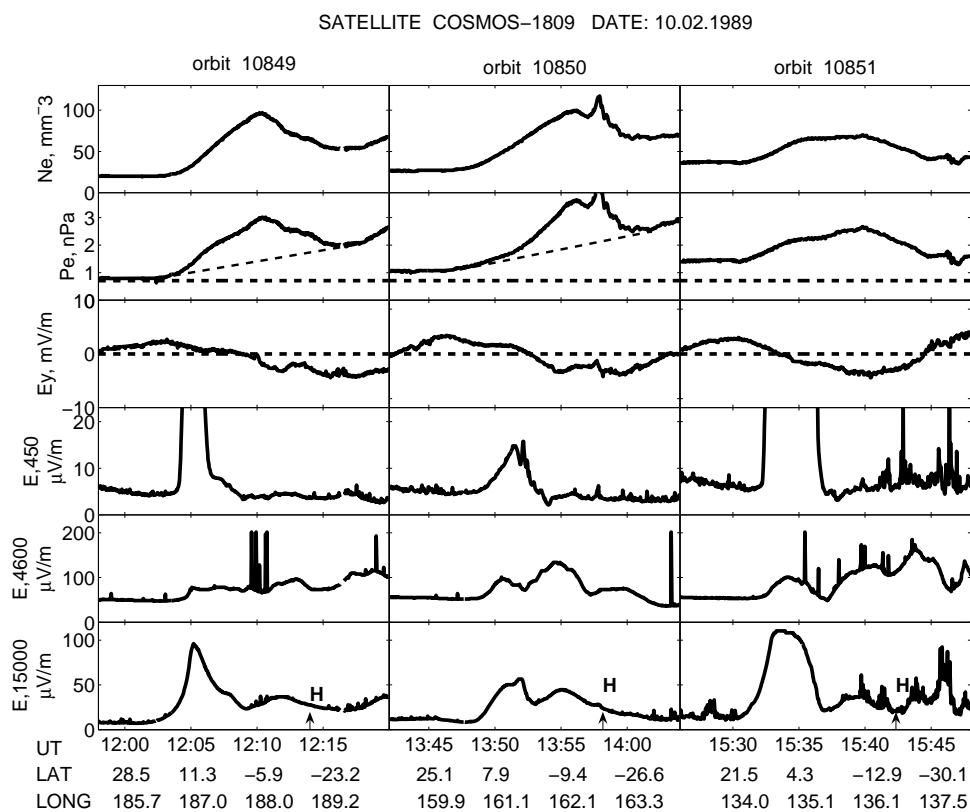


Рис. 2. Параметры плазмы на трех последовательных витках в окрестности урагана Harry при его интенсификации. Прохождение широты урагана отмечено стрелкой.

Информация, представленная на этом рисунке, дополняет приведенные выше выводы и позволяет сделать следующие новые утверждения:

5. Поведение электрического поля E_y над тайфуном на витке 10860 может быть объяснено восходящим потоком нейтральной атмосферы, увлекающим вследствие столкновений ионы вверх, а квазинейтральность плазмы поддерживается продольной подвижностью электронов вдоль магнитного поля. Начало роста E_y отвечает силовой трубке, опирающейся на E-слой над тайфуном. Тонкая структура пика в зените над тайфуном, указывает на то, что струя ионов останавливается на высоте ~1500 км.

6. Совместный анализ E_x и E_y компонент подтверждает вывод №2 о восточном дрейфе плазмы.

7. Аномальная грозовая активность наблюдается на восточной и западной периферии тайфуна (витки 10859 и 10861). Резкие всплески в каналах E4600 Гц и E450 Гц возникают из-за неканализированных вистлеров.

8. Отраженные вистлеров в ночной магнитосфере на высотах 2000-3000 км, где в плазме преобладает водород, по-видимому, создает вблизи его циклотронной частоты электростатическую турбулентность, которая простирается до высоты спутника. Увеличение амплитуды сигнала отмечается в канале E450 Гц, где наблюдается широкий аномальный пик

интенсивности. В дневной ионосфере картина в данном канале симметрична относительно геомагнитного экватора и имеет свои специфичные особенности [1].

9. Дополнительные каналы прибора ИЗ-2 с тонкой структурой флуктуаций ΔNe , которые приводятся только в статье [1], показывают, что в широкой области ≥ 1000 км над тайфуном наблюдается ленгмюровская турбулентность, достигающая 10%. Данная аномалия отражается в шумовом уровне на электронной части ветви вистлеров, которая регистрируется в канале E15000 Гц.

10. Об изменении ионного состава плазмы над тайфуном можно судить по асимметрии шумов вблизи нижней гибридной частоты в канале E4600 Гц в северном и южном полушариях.

Ниже представлен уникальный случай наблюдения со спутника Космос-1809 в один день 24 августа 1992 г. одиннадцати тайфунов.

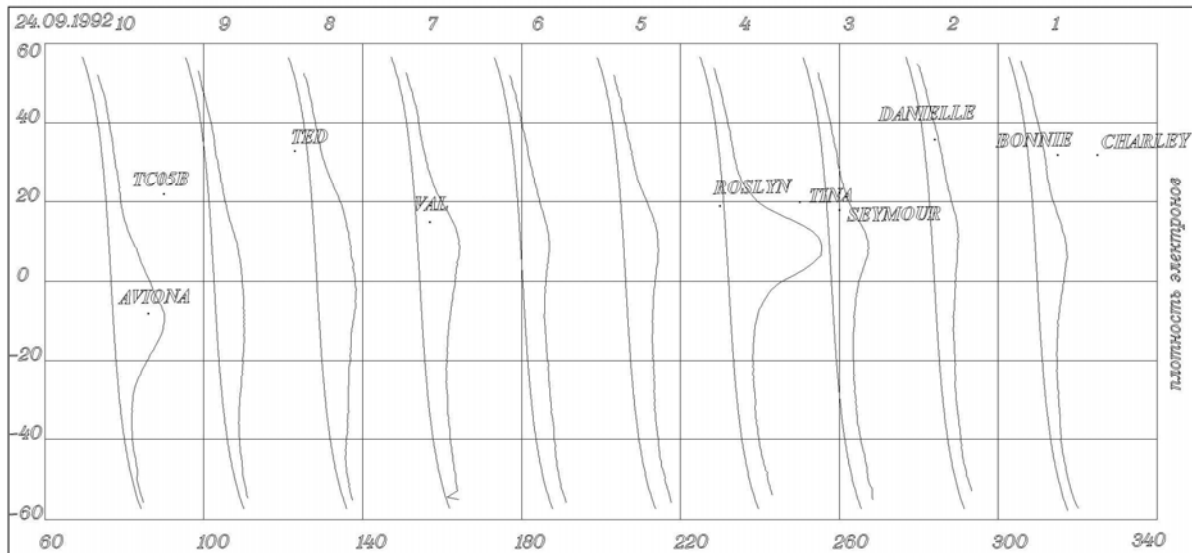


Рис. 3. Карта плотности плазмы в вечернем секторе (LT = 21:30). Тайфуны указаны.

Первый нисходящий виток №1 на рис.3 соответствует орбите 29113, а первый восходящий виток на рис.4 окончанию орбиты 29113 и началу орбиты 29114. В вечернем секторе, начиная с широты 45N и ниже солнечная тень была выше спутника. Вершины магнитных силовых трубок при $L < 1,8$ были в тени.

Указанные на картах тайфуны, за исключением Bonnie, в Атлантике и восточной части Тихого океана возникли из тропических волн, стартовавших из Африки с 31 августа по 8 сентября. Тайфуны в Индийском океане и западной части Тихого океана сформировались из муссонного желоба.

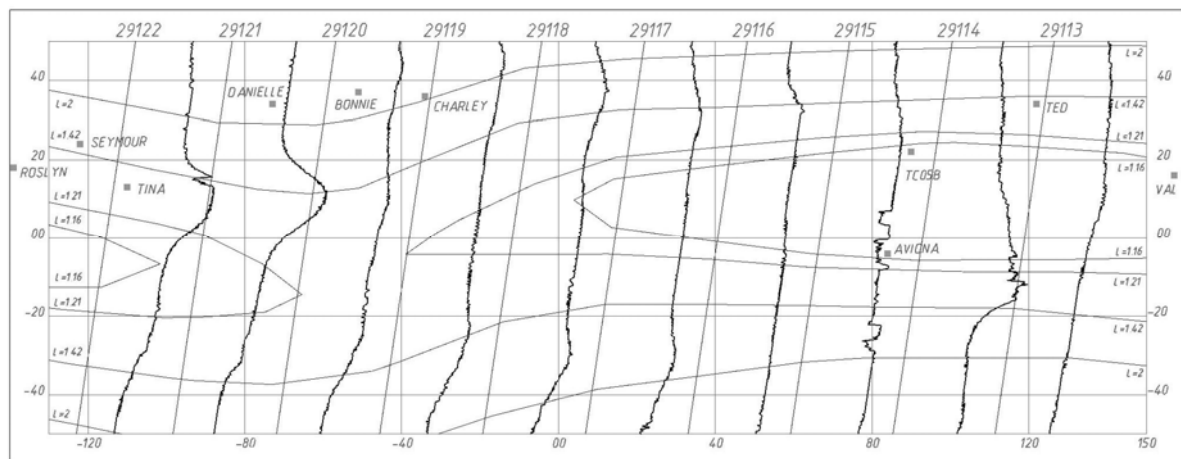


Рис. 4. Карта плотности плазмы в утреннем секторе (LT = 09:30). Тайфуны указаны.

Анализ представленных на этой странице результатов и траекторий движения тайфунов позволяет прийти к следующим выводам:

11. Смещение максимума N_e в северном полушарии с меридиана 230E за 10 часов на меридиан 270E может быть кажущимся из-за ослабления тайфуна Tina и усиления тайфуна Charley, что подтверждает большое влияние тайфунов на параметры ионосферы.

12. Положение экваториального глобального ионосферного максимума N_e в южном полушарии на меридиане 80-90E заметно не меняется в течение 12 часов.

13. За день до интенсификации тайфуна Aviona в его окрестности наблюдается формирование локализованных каверн в плотности плазмы с характерным размером ~200 км и падением плотности на 40%, что, по-видимому, способствует переходу тропической депрессии в состояние урагана.

14. В этот день все тайфуны резко изменили траектории своего движения, за исключением тайфуна Roslyn, что указывает на то, что и ионосфера влияет на динамику тайфунов.

Возникновение плазменных каверн над зарождающимися тайфунами

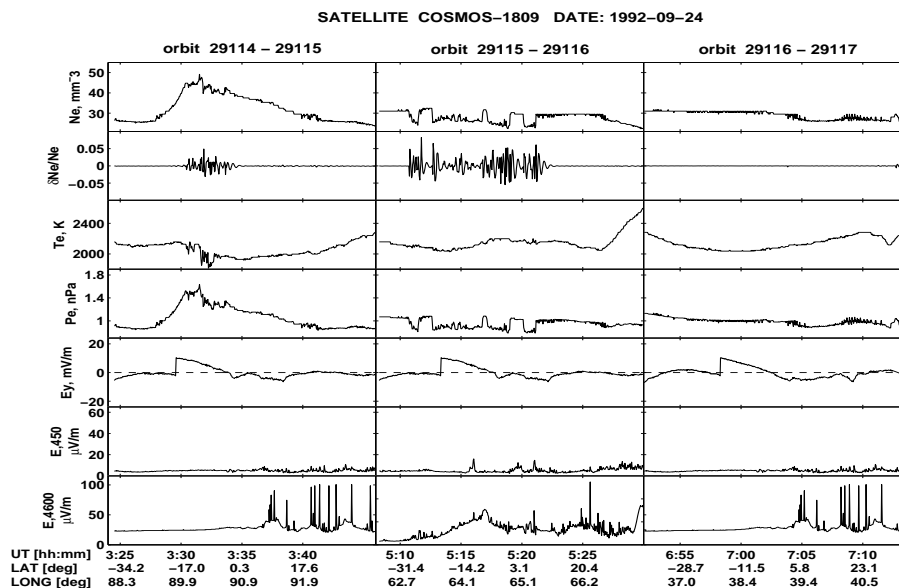


Рис. 5. Параметры плазмы на трех последовательных витках в окрестности тропического шторма TC05B и зарождающегося тайфуна Aviona (LT = 9:30).

Параметры ночной плазмы над зарождающимся тайфуном Firinga (LT = 02:50)

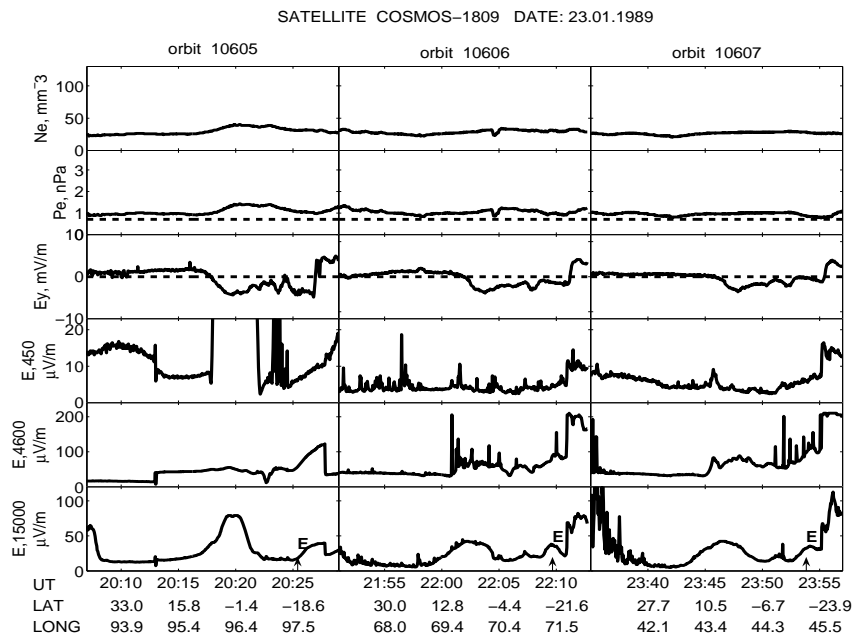


Рис. 6. Параметры плазмы ночной ионосферы (LT 02:46) на трех последовательных витках в окрестности тайфунов Edme (20S, 80E) и Firinga (11S, 62E).

Влияние супертайфунов Page и Owen на ночную экваториальную тропическую аномалию ионосферы фрагментарно показано на рис. 7.

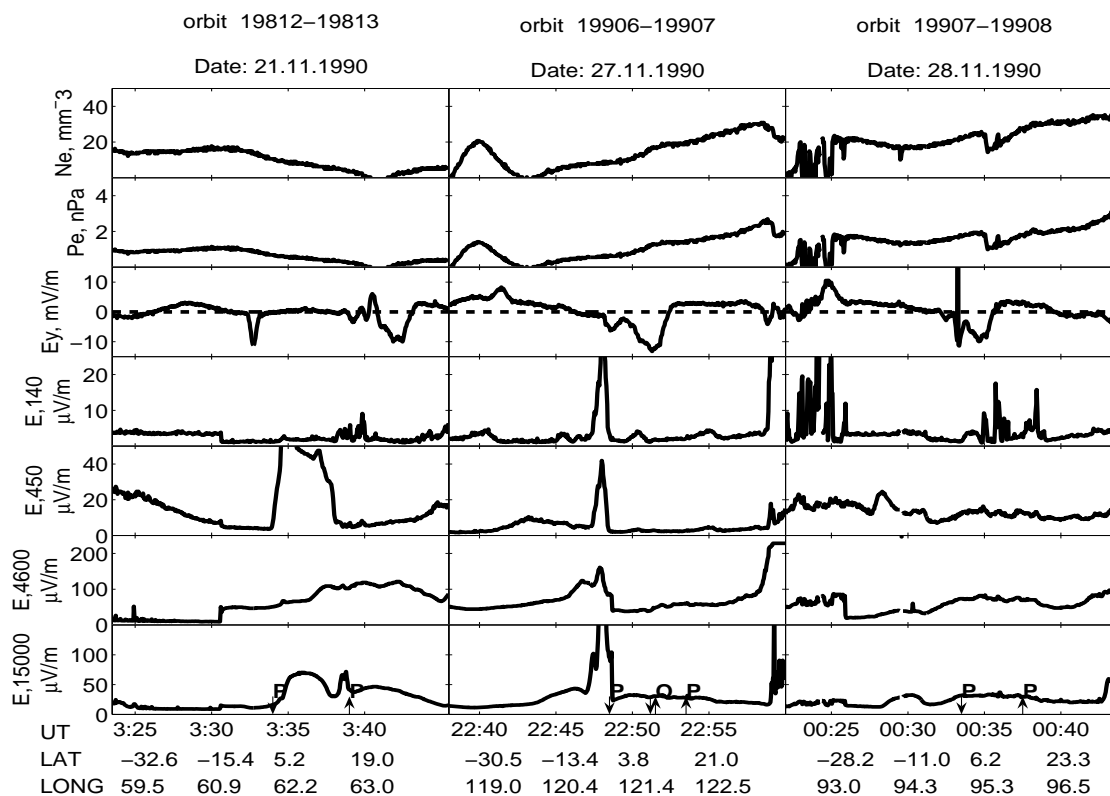


Рис. 7. Динамика параметров плазмы вдоль отдельных витков спутника Космос-1809 в утреннем секторе (LT ≈ 7:00) при развитии тайфунов Page и Owen.

Спутник Космос-1809 проводил мониторинг состояния ионосферы 21, 27-28 ноября и 3 декабря 1990 г., когда супертайфуны Page и Owen входили в активную фазу и начинали разрушаться. Траектория спутника в эти дни пересекала экватор в утреннем секторе (LT ≈ 7:00) и вечернем секторе (LT ≈ 19:00). Поведение параметров ионосферы было не обычным, и детальное рассмотрение требует отдельного изложения. Отметим, что в этот период также выделялось воздействие на ионосферу мощных техногенных источников, таких как подземный ядерный взрыв 21.11.90 г. и релаксационные процессы после серии испытаний на полигонах Муруруа и Невада [6].

На представленных рисунках 5-7 можно выделить следующие элементы:

15. Каверны плотности имеют внутреннюю более мелкомасштабную структуру в ΔNe и часто заполнены КНЧ электростатическими колебаниями на частоте E140 Гц.

16. Ночная экваториальная тропическая аномалия ионосферы регистрировалась как в утреннем, так и в ночном секторах. Поведение ее в северном и южном полушарии отличается, широтное распределение связано с положением тайфунов Page, Owen и Sina.

Выводы

1. Развитие тайфунов существенно меняет параметры экваториальной ионосферы.
2. Восходящая струя нейтральной атмосферы в «глазе» супертайфуна достигает ночью высот ~ 1000 км, что приводит к увеличению концентрации электронов.
3. Динамические процессы в структурах тайфунов вызывают в ночной ионосфере значительное увеличение плотности плазмы, дрейфующей на восток.
4. В отдельных случаях в верхней ионосфере над областями тропических штормов до перехода в стадию урагана наблюдалось формирование каверны плотности плазмы

5. Измерения на ИСЗ указывают на нерегулярные резкие изменения спектров ОНЧ-колебаний в широких областях над зонами тайфунов, что можно связать с воздействием внутренних АГВ.

Литература:

1. I s a e v, N. V., V. M. K o s t i n, G. G. B e l y a e v, O. Ya. O v c h a r e n k o, and E. P. T r u s h k i n a. Disturbances of the Topside Ionosphere Caused by Typhoons // Geomagn. Aeron. V. 50, No. 2, pp. 243-254, 2010.
2. К о м р а к о в, Г. П., В. П. И в а н о в, И. В. П о п к о в, В. Н. Т ю к и н. Измерение электронной концентрации ионосферы методом высокочастотного импедансного зонда // Космич. исслед. Т. 8. № 2. С. 278-283. 1970.
3. В о р о б ь е в, О. В., В. В. К о р о б о в к и н, Ю. М. М и х а й л о в, В. Б. Р о ж к о в, Я. П. С о б о л е в. Приемная аппаратура для регистрации естественных низкочастотных сигналов и шумов // Аппаратура для исследования внешней ионосферы / Под ред. Г.В. Васильева и Ю.В. Кушнеревского. М.: ИЗМИРАН. С. 136-142. 1980.
4. А ф о н и н, В. В., Г. Л. Г д а л е в и ч, К. И. Г р и н г а у з и др. Исследование ионосферы, проведенные при помощи спутника «Интекосмос-2». III. Измерение электронной температуры в ионосфере методом высокочастотного зонда // Космич. исслед. Т. 11. № 2. С. 254-266. 1973.
5. Г о л и ц ы н, Г. С. Ураганы, полярные и тропические, их энергия и размеры, количественный критерий возникновения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 44. № 5. С. 579-590. 2008.
6. Б е л я е в, Г. Г., В. М. К о с т и н, О. Я. О в ч а р е н к о, Е. П. Т р у ш к и н а. Вариации параметров плазмы верхней ионосферы после подземных ядерных испытаний // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: V международная конференция. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. С.342-348. 2010.