

Исследование связи ионосферных возмущений в Восточносибирском и Дальневосточном регионах с циклонической активностью

Н.П. Перевалова, Н.М. Полех, С.В. Воейков

*Институт солнечно-земной физики СО РАН (ИСЗФ СО РАН)
664033, Иркутск-33, а/я 291,
E-mail: pereval@iszf.irk.ru*

По данным зондирования ионосферы сигналами спутниковой радионавигационной системы GPS, а также по данным вертикального зондирования на ионосферных станциях в России и Китае исследованы ионосферные возмущения в Восточносибирском и Дальневосточном регионах в сентябре 2005 г. В спокойных геомагнитных условиях зафиксированы усиления интенсивности колебаний критической частоты и высоты основания слоя F2 с периодами 1.5-6 ч. Рост интенсивности колебаний, как правило, сопровождался заметными отклонениями параметров слоя F ионосферы от медианных значений. Одновременно на приемных станциях GPS регистрировалось усиление интенсивности возмущений ПЭС с характерными временными масштабами 60-90 мин. Спокойная гелио- геомагнитная обстановка дает возможность предположить, что эти явления, возможно, связаны с действием мощных тропических циклонов DAMREY, SAOLA, LONGWANG.

Ключевые слова: ионосферные возмущения, тропические циклоны.

Введение

Согласно теоретическим моделям тропические циклоны (ТЦ) могут служить источниками различных типов гравитационных волн (с периодами 1-150 мин) и электрических полей, которые проникнув на высоты ионосферы будут приводить к генерации неоднородностей ионосферной плазмы. Однако, регистрация возмущений, обусловленных циклонической активностью, в E и F областях ионосферы наталкивается на трудности, связанные с сильной изменчивостью ионосферных параметров и слабой интенсивностью ионосферного отклика на этих высотах. В связи с этим статистика наблюдений ионосферных откликов на ТЦ неоднозначна. Детектирование возмущений, вызванных воздействием тропических циклонов на верхнюю ионосферу, проводилось в большинстве случаев с помощью измерений доплеровского сдвига частоты, фарадеевского вращения плоскости поляризации зондирующего сигнала, а также критических частот отражения при наклонном и вертикальном зондировании [1-4]. В области F регистрировались волновые возмущения с периодами от 10 мин до 2 ч, которые по мнению авторов, могли быть связаны с воздействием тропических циклонов. В тоже время в период действия целого ряда циклонов возмущения в верхней ионосфере зафиксированы не были [2, 3].

Новые возможности для детектирования ионосферных возмущений обеспечивает технология зондирования ионосферы с помощью спутниковой радионавигационной системы GPS. Сеть наземных двухчастотных приемников GPS позволяет получать данные о вариациях полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере с высоким пространственно-временным разрешением. Первые опыты применения GPS для исследования ионосферных откликов на ТЦ [5-7] подтвердили высокую чувствительность системы и выявили основную трудность, связанную с идентификацией отклика. Уверенное выделение эффектов тропических циклонов

в области F требует учета многих факторов, оказывающих влияние на состояние ионосферной плазмы, таких как : уровень солнечной активности, геомагнитные возмущения, движение солнечного терминатора, ветровой режим атмосферы, землетрясения и т.д. Для решения проблемы представляется перспективным согласованный поиск возмущений ионосферных параметров одновременно всеми доступными средствами зондирования в заданном географическом регионе.

В настоящей работе проведено исследование ионосферных возмущений в Восточносибирском и Дальневосточном регионах в сентябре 2005 г. во время действия трех мощных тропических циклонов DAMREY, SAOLA, LONGWANG. Исследование выполнено на основе данных зондирования ионосферы сигналами спутниковой радионавигационной системы GPS, а также по данным вертикального зондирования (ВЗ) на ионосферных станциях в России и Китае.

Используемые данные и методы их обработки

Геометрия измерений при исследовании ионосферных возмущений в Восточносибирском и Дальневосточном регионах в сентябре 2005 г. представлена на рис. 1.

Квадратами на рис. 1 обозначены станции ВЗ, на которых измерялись параметры F-области ионосферы: критическая частота f_0F2 и высота максимума h_mF2 слоя F2, действующая высота $h'F$ основания слоя F. Данные Хабаровской ионосферной станции любезно предоставлены сотрудниками ИКИР ДВО РАН. Данные четырех ионозондов (Guangzhou, Chongqing, Beijing, Manzhouli) в Китае получены на сайте [<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists>]. Для всех станций были построены и проанализированы отклонения ионосферных параметров от медианных значений. Для станций Иркутск и Хабаровск выполнен гармонический анализ данных, который проводился с помощью одночастотного алгоритма поиска периодичностей для временных рядов, разработанного в ИСЗФ СО РАН [8]. Алгоритм позволяет получать распределение интенсивности конкретных гармоник в течение всего интервала наблюдений. Учитывая, что временное разрешение иркутских данных составляло 5 мин, а хабаровских – 60 мин, для Иркутского ионозонда удалось получить распределения амплитуд гармоник с периодами 1, 1.5, 2, ... 6 ч, для станции Хабаровск – с периодами 4 и 6 ч.

Точками на рис. 1 отмечено положение двухчастотных приемников GPS, с помощью которых получены вариации полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере [<http://sopac.ucsd.edu>]. Для анализа данных GPS-приемников выбирались непрерывные ряды вариаций ПЭС $I(t)$ длительностью 2.3 ч, полученные при высоких (более 30°) углах места лучей "приемник-спутник". Исходные ряды "наклонного" ПЭС приводились к эквивалентному "вертикальному" значению [5] и были отфильтрованы в диапазоне периодов 20-90 мин.

Исследование ионосферных возмущений проводилось в период 18-30 сентября 2005 г. Геомагнитная обстановка в этот период была в целом спокойной (индекс K_p не превышал 4, индекс Dst не опускался ниже -50 нТл). Во второй половине сентября 2005 г. в северо-западной части Тихого океана действовали три мощных тропических циклона: DAMREY (18-27.09.2005), SAOLA (19-26.09.2005), LONGWANG (24.09-03.10.2005). Информация о циклонах получена по геоинформационной системе глобального тропического циклогенеза "Геоинформ-ТЦ" [9] и на сайте <http://www.solar.ifa.hawaii.edu>. Черными сплошными линиями на рис. 1 показаны траектории движения циклонов DAMREY, SAOLA, LONGWANG. Треугольниками на траекториях обозначены положения центра циклона в 00:00 UT. Толстыми линиями на траекториях выделена стадия урагана [9].

Вариации параметров слоя F2 в период действия тропических циклонов

На рис. 2(a) представлены отклонения Δf_0F2 критической частоты от медианы на станции Guangzhou, расположенной наиболее близко к зоне действия циклонов. На станции наблюдаются заметные отклонения f_0F2 от медианных значений 19-27 сентября. Этот период соответствует времени действия циклона DAMREY, траектория которого проходила на расстоянии около 430 км от станции Guangzhou. Максимальные отклонения критической частоты наблюдаются 25 сентября в момент наивысшего развития циклона, когда скорость V ветра в стене, окружающей глаз урагана, достигала 44 м/с (рис. 2a), а давление в центре циклона падало до минимального значения 955 мбар. Аналогичная картина, но менее выраженная, наблюдалась в вариациях f_0F2 на станции Chongqing, удаленной от траектории циклона на 1045 км. На станциях Beijing и Manzhouli, расположенных гораздо севернее, в вариациях критических частот слоя F2 25-27 сентября удалось выделить лишь небольшое увеличение положительных отклонений f_0F2 от медианы.

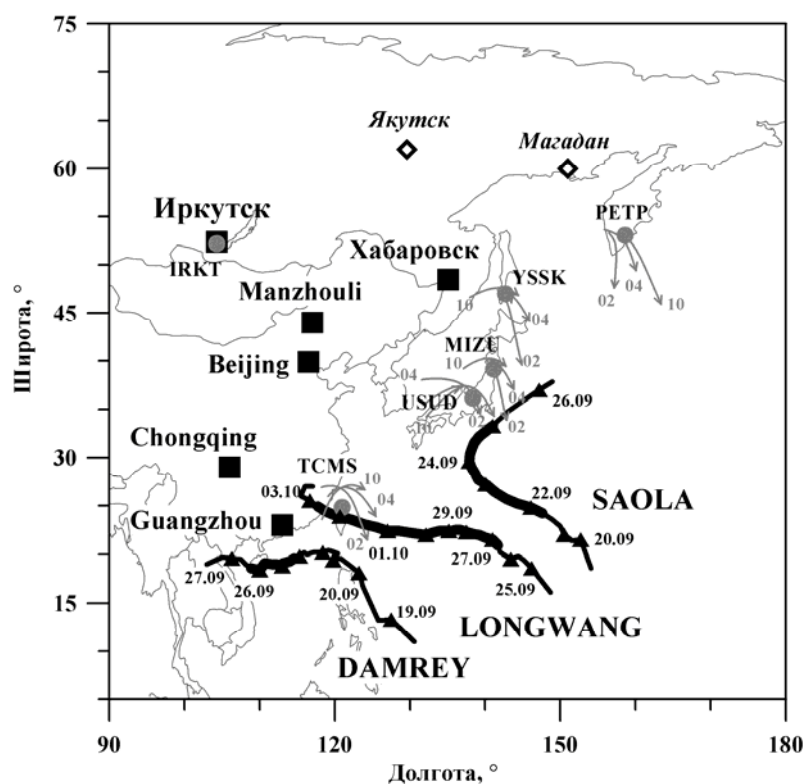


Рис. 1. Геометрия измерений и траектории движения тропических циклонов DAMREY, SAOLA, LONGWANG в сентябре 2005 г.

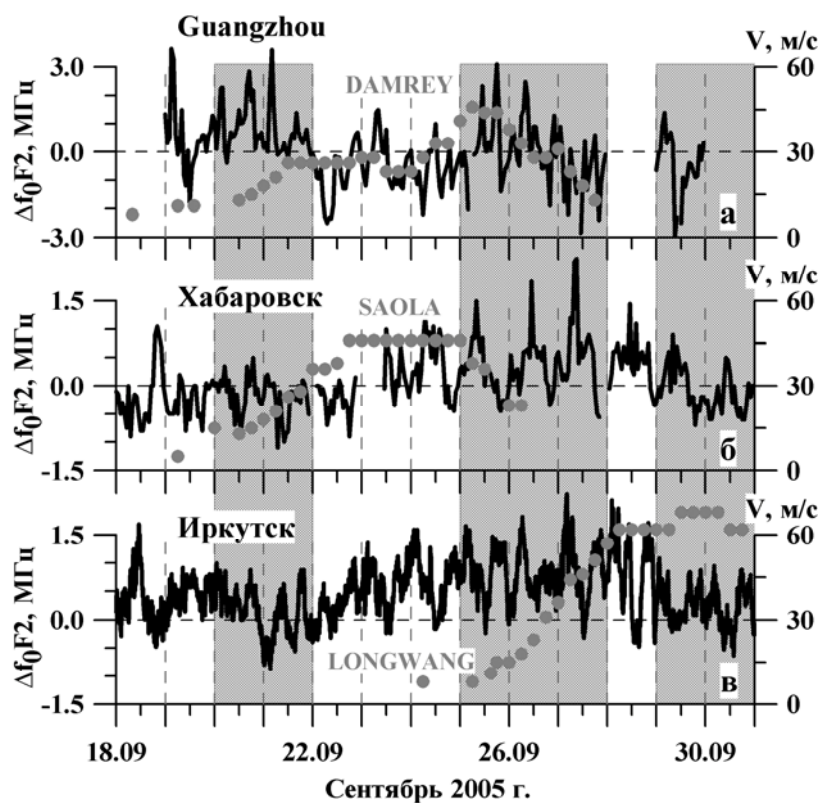


Рис. 2. Отклонения критических частот от медианы на станциях Guangzhou (а), Хабаровск (б), Иркутск (в). Скорость ветра в циклонах DAMREY (а, точки), SAOLA (б, точки), LONGWANG (в, точки). Серым цветом выделены периоды, когда на станции TCMS регистрировалось усиление колебаний ПЭС

В период 24-28 сентября зарегистрированы повышенные относительно медианы значения f_0F_2 на Хабаровской ионосферной станции (рис. 2б), которая оказалась близко расположенной к траектории циклона SAOLA (наименьшее расстояние до траектории 1760 км). В Хабаровске также, как в Guangzhou, в момент максимальной скорости ветра и минимального давления в центральной части циклона начинается увеличение положительных отклонения f_0F_2 (рис. 2а-б). Одновременно с увеличением f_0F_2 в Хабаровске обнаружены колебания в вариациях h'F в период 25-28 сентября, которые обычно в спокойных условиях не регистрируются. Гармонический анализ этих ионосферных данных показал усиление интенсивности колебаний f_0F_2 и h'F с периодами 4 и 6 часов 25-28 сентября (рис. 3а-б).

Для Иркутского ионозонда у нас имелся наиболее полный набор измерений ионосферных параметров (f_0F_2 , h_mF_2 , h'F) с хорошим временным разрешением (5 мин). Для всех трех параметров были построены отклонения от медианы в течение сентября 2005 г. На рис. 2в приведены отклонения Δf_0F_2 критической частоты для периода 18-30 сентября. В период 24-28 сентября над Иркутском увеличились положительные отклонения f_0F_2 от медианы, так же, как на станции в Хабаровске (рис. 2б-в). Аналогичные изменения наблюдались в вариациях h'F, в то время как заметных отклонений h_mF_2 от медианы выделить не удалось.

На рис. 3в-д приведены распределения амплитуды колебаний с периодом 3.5 ч в вариациях f_0F_2 , h_mF_2 , h'F, полученные в результате гармонического анализа. Данные распределения являются типичными и отражают поведение других гармоник с периодами 1, 1.5, 2, ... 6 ч. В спокойных геомагнитных условиях зарегистрировано усиление интенсивности колебаний в вариациях f_0F_2 (рис. 3в) и h'F (рис. 3д). Интересно отметить, что в вариациях h'F

максимальный рост интенсивности колебаний наблюдается примерно на сутки позже, чем в вариациях f_0F_2 . Такая же картина характерна и для данных, полученных в Хабаровске. В поведении высоты максимума F-слоя h_mF_2 рост интенсивности колебаний во время действия циклонов практически отсутствует (рис. 3г).

Спокойная гелио-геомагнитная обстановка дает возможность предположить, что зарегистрированные возмущения ионосферных параметров могут быть связаны с действием тропических циклонов DAMREY, SAOLA, LONGWANG.

Вариации ПЭС в период действия тропических циклонов

В период с 20 сентября по 03 октября 2005 г. на записях вариаций ПЭС, относящихся к ночным часам местного времени, выделены волновые возмущения, амплитуда которых превышала уровень фоновых флуктуаций ПЭС. На рис. 4-5 приведены примеры отфильтрованных вариаций ПЭС dI , полученных в ночное время на станциях TCMS (рис. 4) и YSSK (рис. 5) (спутники GPS PRN02, PRN04, PRN10). Стрелками на рис. 1 показаны траектории ионосферных точек этих спутников в период 14-20 UT 30 сентября 2005 г. (цифрами обозначены номера спутников GPS). Отметим, что в силу конфигурации системы спутники GPS ежедневно повторяют свою траекторию с "опозданием" в 4 мин.

В течение 14 исследовавшихся дней на станциях, расположенных близко к траекториям тропических циклонов (TCMS, USUD, MIZU), наблюдалось усиление интенсивности возмущений ПЭС с характерным временным масштабом 60-90 мин (рис. 4). Амплитуда этих возмущений (0.2-0.7 TECU) превышала уровень фоновых флуктуаций ПЭС (0.06 TECU) для данного диапазона периодов [5] более, чем в 2 раза.

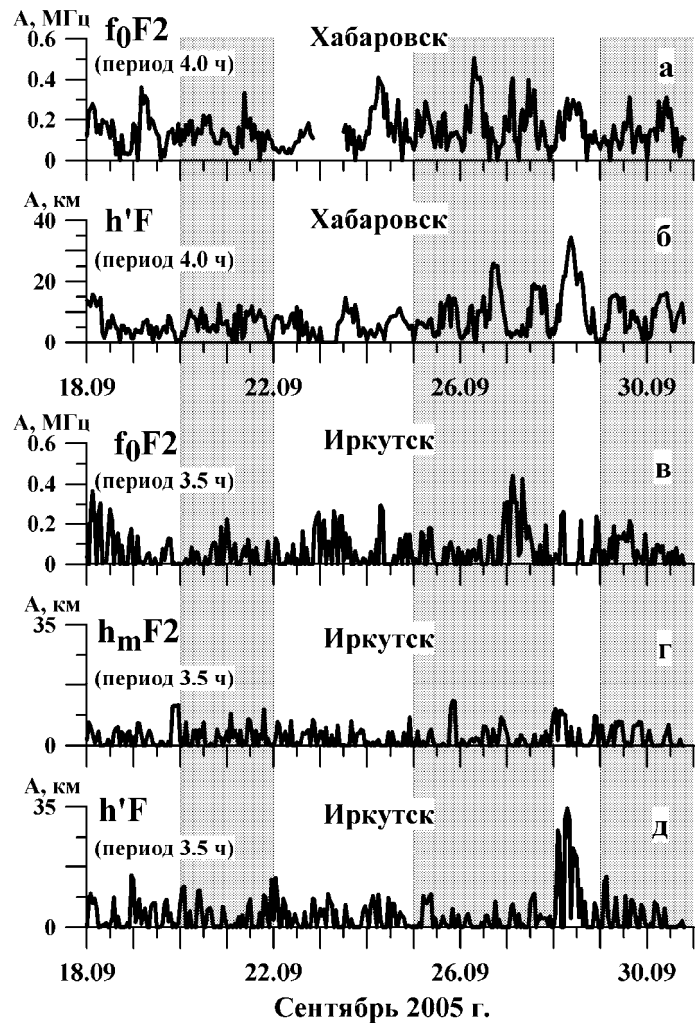


Рис. 3. Распределения интенсивности A колебаний f_0F_2 , $h'F$, h_mF_2 с периодами 4 ч в Хабаровске (а, б) и 3.5 ч в Иркутске (в-д) 18-30 сентября 2005 г. Серым цветом выделены периоды, когда на станции TCMS регистрировалось усиление колебаний ПЭС

TCMS

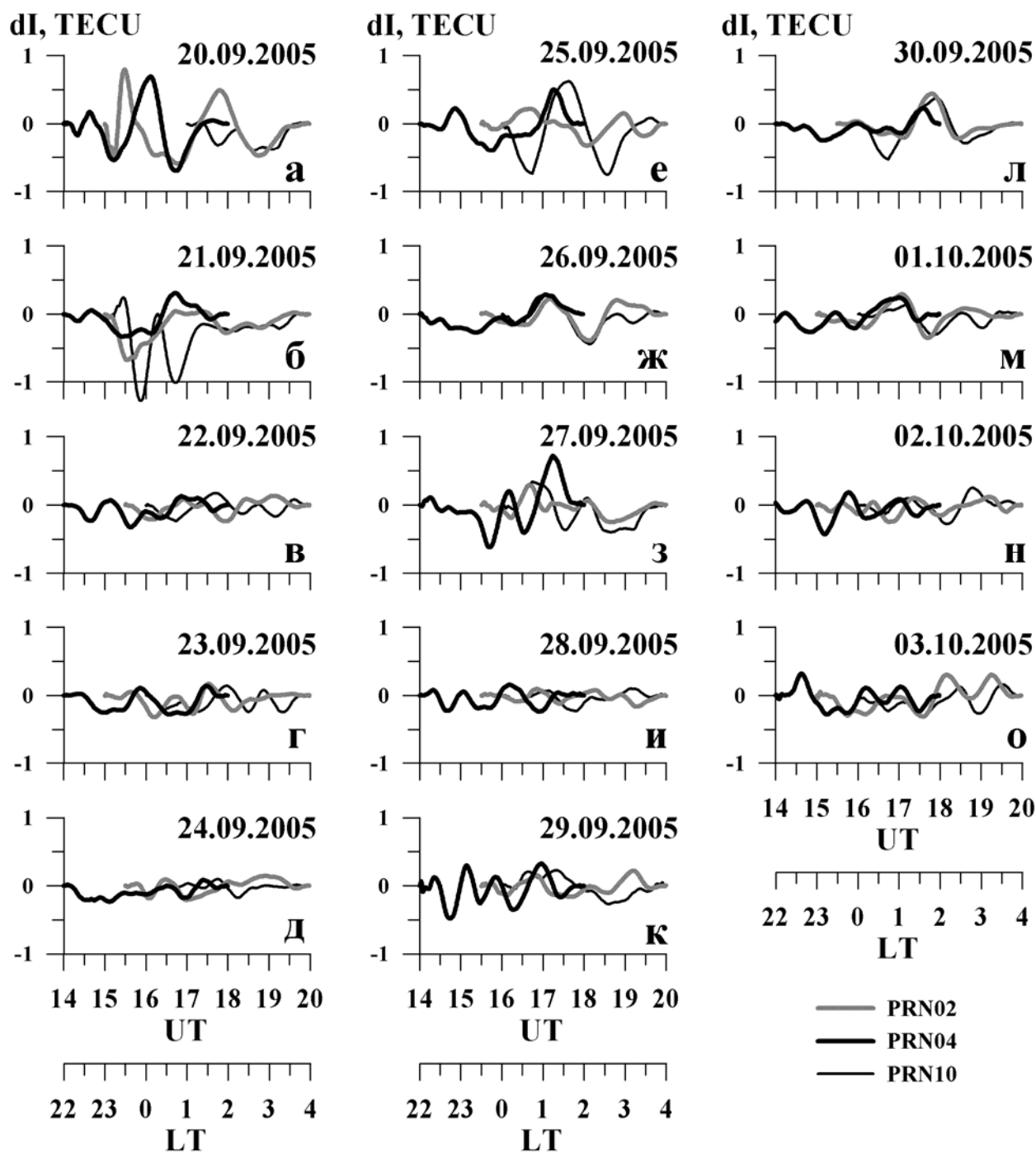


Рис. 4. Отфильтрованные вариации ПЭС, полученные на станции TCMS для спутников GPS PRN02, PRN04, PRN10 с 20 сентября по 3 октября 2005 г. Внизу нанесены шкалы местного времени LT

На каждой станции в определенные моменты времени наблюдалось периодическое увеличение (например, 20-21.09.2005, 25-27.09.2005, 29.09-01.10.2005 на станции TCMS, рис. 4, а также 28.09.2005, 02-03.10.2005 на станциях USUD и MIZU) и уменьшение амплитуды колебаний ПЭС (например, 23.09.2005, 28.09.2005 на станции TCMS, рис. 4, а также 21.09.2005, 23.09.2005 на станциях USUD и MIZU). Как правило, увеличение амплитуды регистрировалось, когда вблизи станции действовал циклон, достигший стадии урагана (25-27.09.2005, 29.09-01.10.2005 станция TCMS, рис. 4).

YSSK

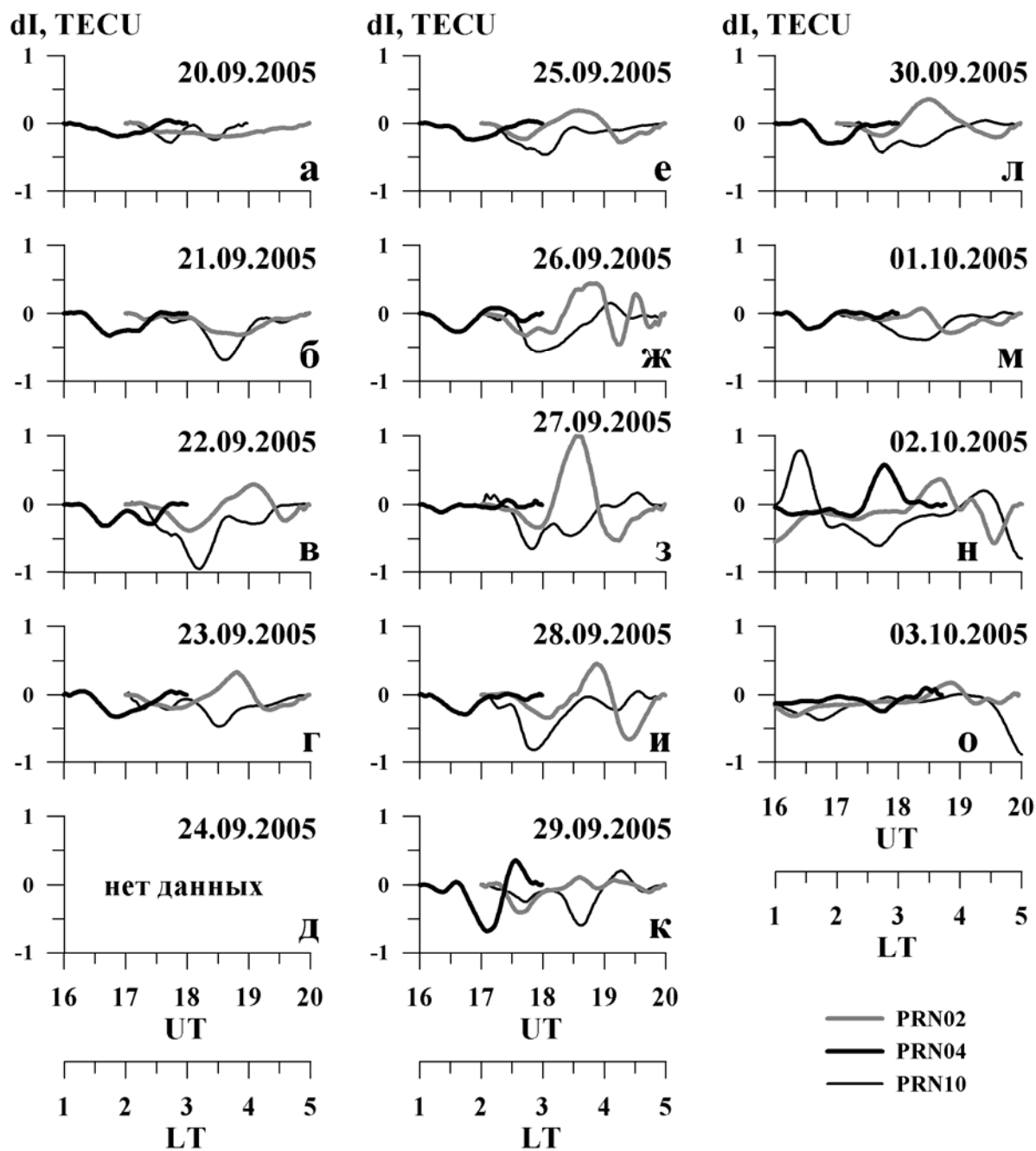


Рис. 5. Отфильтрованные вариации ПЭС, полученные на станции YSSK для спутников GPS PRN02, PRN04, PRN10 с 20 сентября по 3 октября 2005 г. Внизу нанесены шкалы местного времени LT

На станциях, более удаленных от траекторий циклонов (станция YSSK, рис. 5), в целом, наблюдалась сходная картина поведения ПЭС. Однако, как правило, интенсивные возмущения на таких станциях регистрировались через 1-2 дня: на станции YSSK заметные возмущения ПЭС появились 21 сентября, на станции РЕТР – 22 сентября.

Для сравнения данных вертикального и GPS-зондирования ионосферы периоды, когда на станции TCMS регистрировалось усиление колебаний ПЭС, выделены серым цветом на рис. 2 и рис. 3. Видно, что регистрируемые возмущения ПЭС в пункте TCMS хорошо коррелируют с возмущениями критической частоты слоя F2 на близлежащей ионосферной станции

Guangzhou (рис. 2а). 25-27 сентября рост интенсивности колебаний ПЭС совпадает также с возмущениями f_0F2 (увеличение отклонения от медианы, усиление интенсивности колебаний с периодами от 1.5 до 6 ч.) на станциях Хабаровск и Иркутск.

Заключение

По данным вертикального и GPS-зондирования ионосферы в Восточносибирском и Дальневосточном регионах в спокойных геомагнитных условиях зарегистрированы возмущения ионосферных параметров, которые проявлялись в существенном отклонении критической частоты f_0F2 и высоты $h'F$ основания слоя F2 от медианных значений, усилении интенсивности колебаний f_0F2 и $h'F$ с периодами 1.5-6 ч, усилении интенсивности колебаний ПЭС с периодами 60-90 мин. Возмущения наблюдались в период действия в северо-западной части Тихого океана трех мощных тропических циклонов DAMREY, SAOLA, LONGWANG. В большинстве случаев зарегистрированные возмущения ионосферных параметров совпадали с максимальными фазами развития циклонов. В поведении высоты максимума h_mF2 слоя F2 заметных отклонений не наблюдалось.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 08-05-00658, 08-02-90437-Укр). Авторы выражают благодарность сотрудникам Хабаровской ионосферной станции ИКИР ДВО РАН за предоставление первичных данных вертикального зондирования.

Литература

1. Bertin F., Testud J., Kersley L. 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.
2. 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.
3. Xiao Z., Xiao S., Hao Y., Zhang D. Morphological features of ionospheric response to typhoon // J. Geophys. Res. 2007. V.112. A04304, doi:10.1029/2006JA011671.
4. Черниговская М.А., Шарков Е.А., Куркин В.И., Орлов И.И., Покровская И.В. Исследование временных вариаций ионосферных параметров в регионе Сибири и Дальнего Востока // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сборник научных статей. М.: ООО "Азбука-2000". 2008. Вып. 5. Т.1. С.567-574.
5. Афраймович Э.Л., Первалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли // Иркутск: Изд-во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. 480 с.
6. Афраймович Э.Л., Воейков С.В., Ишин А.Б., Первалова Н.П., Ружин Ю.Я. Вариации полного электронного содержания во время мощного тайфуна 5–11 августа 2006 г. у юго-восточного побережья Китая // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т.48. N5. С. 703-708.
7. Бондур В.Г., Пулинец С.А., Узунов Д. Воздействие крупномасштабных атмосферных вихревых процессов на ионосферу на примере урагана KATRINA // Исследование Земли из космоса. 2008. N6. С.3-11.
8. Куклин Г.В., Орлов И.И., Бернгардт О.И. О методике определения периодичностей на примере анализа чисел Вольфа // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. Иркутск: Изд-во СО РАН. 2000. Вып. 110. С.7-12.
9. Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана Версия 3.1 (1983 - 2005) // Москва: Полиграф сервис, 2006. 728 с.

Investigation of the relation of ionospheric disturbances in Eastern Siberia and the Far East with the cyclonic activity

N.P. Perevalova, N.M. Polekh, S.V. Voeykov

*Institute of Solar-Terrestrial Physics Russian Academy of Sciences SB RAS
664033 p/o box 291; Irkutsk, Russia*

Based on data from Russian and Chinese ionospheric stations and GPS network data ionospheric disturbances were investigated in the Eastern Siberia and the Far East during the second half of September 2005. Under quite magnetic conditions a growth of critical frequency and minimum height F-layer variation intensities were recorded. These changes had periods about 1.5-6 h. As a rule the growth of intensity was attended with the detectable deviations of F2-layer parameters from their medians. At the same time the magnified intensity of disturbances in total electron density was registered with specific temporal scale about 60-90 minutes. The quite geomagnetic conditions suggest that these disturbances probably can be associated with intensive tropic cyclones DAMREY, SAOLA, LONGWANG.

Keywords: ionospheric disturbances, tropical cyclones.