

## Исследование отклика верхней атмосферы на циклоны по данным ионозондов в Восточно-Сибирском и Дальневосточном регионах

Н.П. Перевалова, Н.М. Полех\*

*Институт солнечно-земной физики СО РАН  
664033, г. Иркутск, а/я 291*

Поступила в редакцию 17.06.2008 г.

Представлены результаты исследования отклика среднеширотной верхней атмосферы на тропические циклоны, действовавшие в северо-западной части Тихого океана в сентябре–ноябре 2005 г. Считается, что одним из физических механизмов тропосферно-ионосферного взаимодействия являются внутренние атмосферные волны (ВАВ). Предполагается также, что ВАВ могут распространяться вверх по наклонной траектории, проявляясь в верхней атмосфере в виде перемещающихся ионосферных возмущений, которые могут регистрироваться на расстояниях в несколько тысяч километров от тропосферного источника. Для проверки этой гипотезы проведен статистический и гармонический анализ данных вертикального зондирования ионосферы в Восточно-Сибирском и Дальневосточном регионах России, в Китае и в Австралии. В вариациях параметров  $F$ -области выделены возмущения, которые с наибольшей вероятностью могут быть связаны с циклонической активностью: рост интенсивности колебаний с периодами 1,5–6 ч, существенные отклонения параметров  $F$ -слоя от медианных значений.

*Ключевые слова:* вертикальное зондирование ионосферы, критическая частота, циклоническая активность.

### Введение

Регистрация отклика  $F$ -области ионосферы на тропосферные возмущения является одной из проблемных тем в ионосферных исследованиях. С одной стороны, следует ожидать, что верхняя ионосфера будет реагировать на мощные динамические процессы в нейтральной атмосфере. Есть немало работ, где сообщается о регистрации откликов различных областей ионосферы на тропические циклоны [1–4]. С другой стороны, доминирующим фактором, определяющим поведение верхней ионосферы, является солнечная и геомагнитная активность, реакция области  $F$  на тропосферные возмущения гораздо слабее. В связи с этим ряд исследователей считают, что большинство описанных фактов регистрации отклика  $F$ -области на тропические циклоны (ТЦ) недостаточно статистически обоснованы [5, 6].

Считается, что прохождение мощного циклонического фронта сопровождается возбуждением широкого спектра внутренних атмосферных волн (ВАВ), которые при определенных условиях могут достигать высот максимума ионосферы и распространяться на горизонтальные расстояния в тысячи километров. Однако теоретические механизмы проникновения ВАВ на высоты области  $F$  разработаны слабо и не всегда согласуются с экспериментальными данными.

Теоретические расчеты, выполненные в [7], показали, что над местом локального возмущения атмосферы должны наблюдаться акустико-гравитационные волны (АГВ) с периодами в несколько минут. На больших удалениях от локального источника в атмосфере будут регистрироваться внутренние гравитационные волны (ВГВ) с периодами от десятков минут до 2–3 ч. Это связано с тем, что АГВ быстро затухают из-за вязкости и теплопроводности атмосферы. В то же время многие авторы [1, 2] сообщают о регистрации в  $F$ -области АГВ с периодами 10–20 мин на горизонтальных расстояниях до 2000 км от ТЦ в тропосфере. В такой ситуации, по нашему мнению, подход к исследованию влияния ТЦ на ионосферу должен определяться следующими вопросами.

1. Не подавляет ли солнечная и магнитная активность влияние ТЦ на ионосферу? Если подавляет, то на каких высотах? Ответ на эти вопросы уже практически дан. Магнитные бури маскируют эффекты тропосферных возмущений в верхней ионосфере. С этим согласны все авторы [1–6].

2. Вызывают ли ТЦ какие-либо эффекты в вариациях ионосферных параметров? Если вызывают, то на каких расстояниях от траектории циклона? По оценкам авторов [4], «радиус воздействия» ТЦ на нижнюю ионосферу (область  $D$ ) может составлять 5000–8000 км. При этом влияние ТЦ заключается в уменьшении электронной концентрации на высотах 60–80 км, выше 80 км оно несущественно. В верхней ионосфере более вероятны волновые возмущения, связанные с распространением

\* Наталья Петровна Перевалова (pereval@iszf.irk.ru);  
Нелли Михайловна Полех (polekh@iszf.irk.ru).

ВAB от ТЦ [1, 2]. Вопросы о «радиусе действия» ТЦ на высотах  $F$ -области и о периодах ионосферных возмущений требуют разрешения.

3. Генерирует ли циклон ВAB в течение всего времени своего существования? Тропический циклон действует достаточно длительное время (несколько суток). Если в течение данного времени он является источником ВAB, это должно привести к росту интенсивности всего спектра колебаний или отдельных его диапазонов. Временные вариации ионосферных параметров, даже в спокойных условиях, представляют собой смесь волновых и аperiodических возмущений различных временных масштабов. Учитывая это, при выделении ионосферных эффектов ТЦ (особенно на больших расстояниях) основное внимание следует уделить не регистрации отдельных волновых возмущений (как это обычно делают [1, 2]), а поиску усиления интенсивности возмущений в вариациях ионосферных параметров.

Руководствуясь описанным подходом, мы начали серию исследований воздействий ТЦ на ионосферу в различных регионах земного шара. В настоящей статье проведен анализ данных вертикального зондирования во время действия ТЦ в северо-западной части Тихого океана в сентябре–ноябре 2005 г.

## Измерения и метод обработки данных

Период с 17 сентября по 30 ноября 2005 г. отличается спокойной геомагнитной обстановкой и отсутствием крупных магнитосферных бурь. Лишь в отдельные дни (7–8 октября, 16–17 октября, 25 октября, 31 октября, 4–5 ноября, 12–13 ноября, 19–20 ноября) уровень геомагнитной активности был несколько повышенным. Поток радиоизлучения Солнца на волне длиной 10,7 см ( $F_{10.7}$ ) в сентябре–ноябре 2005 г. изменялся от 120 до 71 в ед. [ $10^{-22}$  Вт/(Гц·м<sup>2</sup>)]. В связи с этим указанный период является наиболее благоприятным для исследования отклика верхней атмосферы на тропосферные возмущения.

В сентябре–ноябре 2005 г. в северо-западной части Тихого океана зарегистрировано 10 крупных ТЦ. Характеристики этих циклонов приведены в табл. 1.

Информация о циклонах получена по геoinформационной системе глобального тропического циклогенеза «Геоинформ-ТЦ» [8], а также на сайте <http://www.solar.ifa.hawaii.edu>. Для исследования особый интерес представлял конец сентября, когда действовали сразу три мощных циклона (DAMREY, SAOLA, LONGWANG).

На рис. 1 показаны траектории движения тропических циклонов DAMREY, SAOLA, LONGWANG в сентябре 2005 г. Точками на траекториях обозначены положения центра циклона в 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UT. Выделены основные стадии, которые проходит в своем развитии циклон согласно международной классификации [8]: тропическая депрессия (скорость ветра в центре циклона  $V \approx 15\text{--}18$  м/с), тропический шторм и сильный тропический шторм ( $V \approx 18\text{--}33$  м/с), ураган ( $V > 33$  м/с), внетропическое возмущение (область низкого приземного давления умеренных широт,  $V < 15$  м/с).

Для поиска эффектов в верхней атмосфере, возможно связанных с действием тропических циклонов, использовались данные измерений ионосферных параметров (критическая частота  $f_0F2$  слоя  $F2$ , действующая высота  $h_mF2$  максимума ионизации, действующая высота  $h'F$  основания слоя  $F$ ) на Иркутском дигизонде ИСЗФ СО РАН, Хабаровской ионосферной станции ИКИР ДВО РАН, а также на ряде станций вертикального зондирования (ВЗ) ионосферы в Китае [<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists>] и Австралии [<http://www.wdc.rl.ac.uk/wdcc1/ionosondes>]. Список станций и перечень полученных на них ионосферных параметров (с указанием интервала наблюдения, временного разрешения данных  $\Delta T$ , удаленности  $R$  станции от зоны действия циклонов и источника информации) приведены в табл. 2.

Положение станций ВЗ отмечено квадратами на рис. 1.

Удаленность пункта ВЗ от зоны действия циклонов оценивалась по расстоянию между ионозондом и условно выбранной точкой с координатами (22,4° с.ш., 128,5° в.д.), расположенной примерно в центре зоны циклонической активности. Условная точка находится на траектории циклона LONGWANG (30.09.2005,

Таблица 1

Тропические циклоны, действовавшие в северо-западной части Тихого океана в сентябре–ноябре 2005 г.

Циклон	Время действия	Период в стадии урагана	Минимальное давление, мбар	Максимальная скорость ветра, м/с
NABI	29.08–06.09	01.09–05.09	*	*
KHANAN	04.09–13.09	08.09–11.09	945	60
VICENTE	16.09–18.09	*	*	*
DAMREY	18.09–27.09	24.09–26.09	955	44
SAOLA	19.09–26.09	22.09–25.09	950	46
LONGWANG	24.09–03.10	27.09–02.10	930	68
KIROGI	10.10–19.10	11.10–18.10	*	*
KAI-TAK	27.10–03.11	30.10–01.11	950	46
TEMBIN	04.11–14.11	*	1000	23
BOLAVEN	12.11–21.11	17.11–18.11	975	38

«\*» — нет данных.

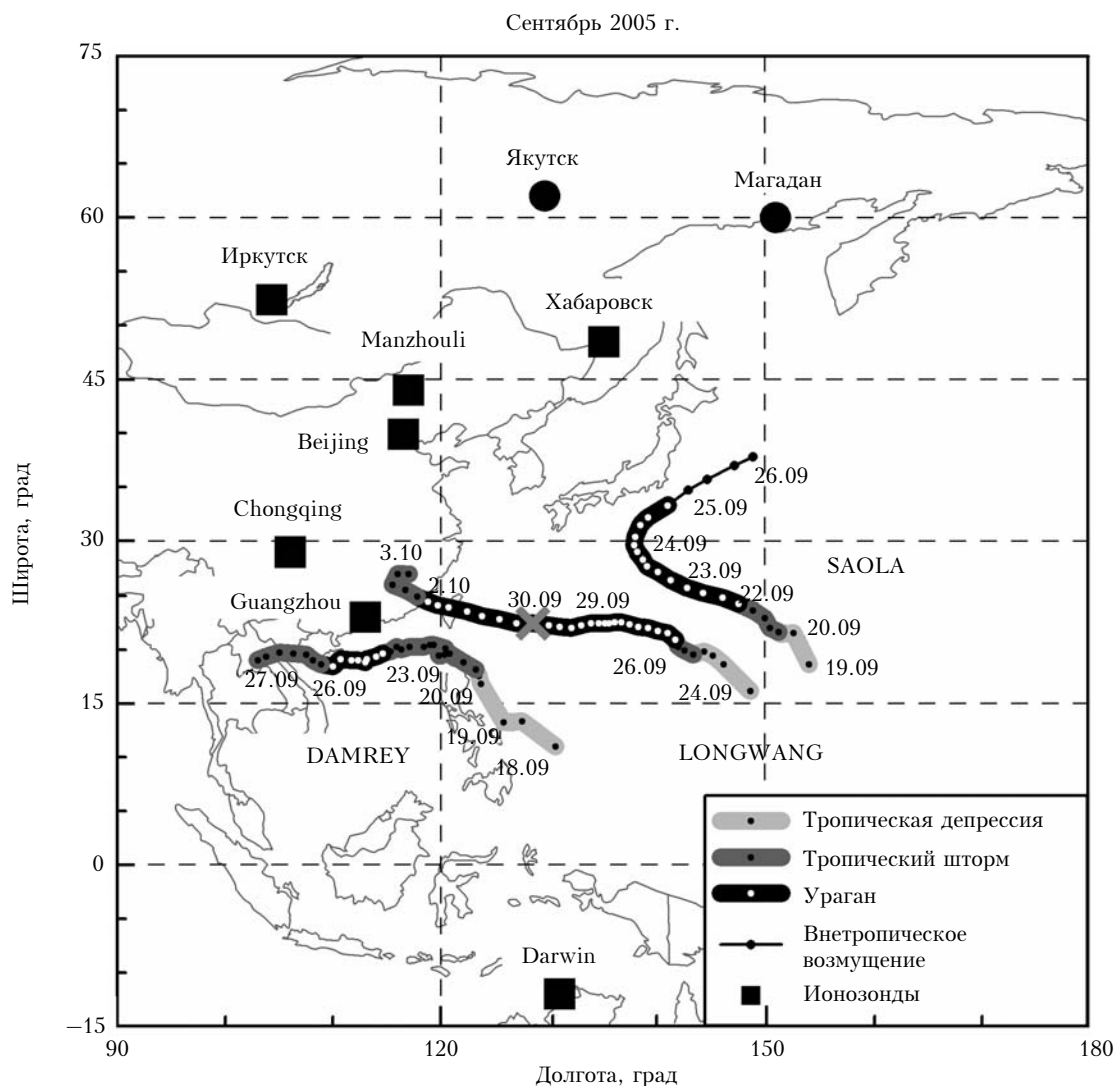


Рис. 1. Траектории движения тропических циклонов DAMREY, SAOLA, LONGWANG в сентябре 2005 г.

Т а б л и ц а 2

**Станции вертикального зондирования и ионосферные параметры**

Станция	Ионосферные параметры	Интервал наблюдений	$\Delta T$ , мин	$R$ , км	Источник данных
Иркутск	$f_0F2$ , $h_mF2$ , $h'F$	01.09–30.09 01.10–30.11	5 15	3921	Дигизонд DPS-4 ИСЗФ СО РАН
Хабаровск	$f_0F2$ , $h_mF2$ , $h'F$	15.09–30.09	60	2960	Хабаровская ионосферная станция ИКИР ДВО РАН
Manzhouli	$f_0F2$	15.09–30.09	60	2623	<a href="http://www.swpc.noaa.gov">http://www.swpc.noaa.gov</a>
Beijing	$f_0F2$	15.09–30.09	60	2247	<a href="http://www.swpc.noaa.gov">http://www.swpc.noaa.gov</a>
Chongqing	$f_0F2$	15.09–30.09	60	2366	<a href="http://www.swpc.noaa.gov">http://www.swpc.noaa.gov</a>
Guangzhou	$f_0F2$	15.09–30.09	60	1570	<a href="http://www.swpc.noaa.gov">http://www.swpc.noaa.gov</a>
Darwin	$f_0F2$ , $h'F$	15.09–30.09	60	3866	<a href="http://www.wdc.rl.ac.uk/wdcc1">http://www.wdc.rl.ac.uk/wdcc1</a>

18:00 UT) и отмечена серым крестом на рис. 1. Согласно теоретическим и экспериментальным оценкам скорость распространения ВАВ в атмосфере меняется в пределах 200–1000 м/с в зависимости от высоты [9]. Для среднего в диапазоне высот 0–300 км значения скорости  $V \approx 400$  м/с время прохождения ВАВ от условной точки до ионосферных станций

варьируется от 1,1 (ст. Guangzhou) до 2,7 ч (ст. Иркутск).

Анализ полученных данных проводился с помощью одночастотного алгоритма поиска периодичностей для временных рядов, разработанного в ИСЗФ СО РАН [10]. Алгоритм позволяет определить условную амплитуду квазипериодических составляющих

исходного временного ряда в определенном диапазоне периодов. Амплитуда характеризует интенсивность гармоники с периодом  $T_i$ . В результате расчетов получается амплитудный спектр на заданной сетке периодов.

Алгоритм имеет также режим обработки со скользящим окном. В данном режиме на интервале времени определенной длины (во временном окне) рассчитывается интенсивность конкретной гармоники (например, гармоники с  $T = 2,5$  ч). Полученное значение амплитуды относится к моменту, соответствующему середине временного окна. Операция повторяется при сдвиге временного окна на заданный шаг по времени. Таким образом получается распределение интенсивности конкретной гармоники в течение всего интервала наблюдений. Гармонический анализ данных ионозондов проводился с помощью скользящего временного окна длиной 10 ч и сдвигом 1 ч.

Учитывая временное разрешение данных (см. табл. 2), для Иркутского дигизонда удалось получить распределения амплитуд гармоник с периодами 1; 1,5; 2; ... 6 ч для ст. Хабаровск и Darwin — с периодами 4 и 6 ч.

### Вариации ионосферных параметров в сентябре 2005 г.

Для характеристики геофизической обстановки на рис. 2, а, 3, а, 4, а, в представлены вариации индекса геомагнитной активности Dst. Стрелками отмечено время действия циклонов в северо-западной части Тихого океана. Толстыми линиями выделены периоды, когда циклоны находились в стадии ураганов.

На китайской ионосферной станции Guangzhou, расположенной наиболее близко к зоне действия циклонов, зарегистрированы заметные отклонения  $f_0F_2$  от медианных значений 19–27 сентября (рис. 2, б). Этот период соответствует времени действия циклона DAMREY, траектория которого проходила на расстоянии около 430 км от Guangzhou. Отклонения  $f_0F_2$  носят характер планетарной волны с периодом около 6 сут. Появление волны совпадает с временем зарождения циклона. Максимальные отклонения критической частоты наблюдаются 25 сентября в момент наивысшего развития циклона и падения давления в центре циклона до минимального значения 955 мбар (рис. 2, б). Аналогичная картина, но менее выраженная, наблюдалась в вариациях  $f_0F_2$  на ст. Chongqing, удаленной от траектории циклона на 1045 км. На ст. Beijing и Manzhouli, расположенных гораздо севернее, в вариациях критических частот F2-слоя 25–27 сентября удалось выделить лишь небольшое увеличение положительных отклонений  $f_0F_2$  от медианы.

На рис. 2, в представлены отклонения  $f_0F_2$  в период 15–30.09.2005, построенные по данным Хабаровской ионосферной станции, 24–29 сентября зарегистрировано увеличение  $f_0F_2$  относительно медианы. Это увеличение произошло в спокойных геомагнитных условиях, однако имеет амплитуду, сравнимую с возмущением, наблюдавшимся в начале сентября 2005 г. во время магнитной бури. Ст. Ха-

баровск оказалась наиболее близко расположенной к траектории циклона SAOLA (наименьшее расстояние до траектории 1760 км). Интересно отметить, что характер реакции  $f_0F_2$  на ближайшие циклоны в Хабаровске и в Guangzhou сходен: в момент минимального давления в центре циклона начинается увеличение положительных отклонений  $f_0F_2$  (рис. 2, б, в). Гармонический анализ показал усиление интенсивности гармоник с периодами 4 и 6 ч в вариациях  $f_0F_2$  и  $h'F$  над Хабаровском 25–28 сентября.

Во время действия циклонов увеличились положительные отклонения  $f_0F_2$  от медианы (рис. 2, з) над Иркутском, так же как на ст. Хабаровск. Аналогичные изменения наблюдались в вариациях  $h'F$ , в то время как заметных отклонений  $f_mF_2$  от медианы выделить не удалось. На рис. 3, б–г приведены типичные распределения амплитуды для колебаний с периодом 3,5 ч в вариациях  $f_0F_2$ ,  $h_mF_2$ ,  $h'F$  в течение сентября. Вертикальной штриховой линией на рис. 3 отмечены время окончания магнитной бури и начало действия ТЦ. Во время циклонов в спокойных геомагнитных условиях зарегистрировано усиление гармоник в вариациях  $f_0F_2$  и  $h'F$ .

На ст. Darwin, расположенной в южном полушарии (см. табл. 2), в периоды 17–21 и 24–28 сентября наблюдалось существенное превышение  $f_0F_2$  над медианными значениями (рис. 2, д). Примерно в эти же моменты времени (19–20 и 25–27 сентября) в вариациях  $f_0F_2$  и  $h'F$  наблюдалось усиление колебаний с периодами 4 и 6 ч.

Таким образом, в конце сентября 2005 г. почти на всех рассматривавшихся ионосферных станциях зарегистрировано характерное увеличение критической частоты и нижней границы F-слоя в период действия трех мощных циклонов в северо-западной части Тихого океана. Одновременно в вариациях этих параметров наблюдалось увеличение интенсивности колебаний с периодами от 1,5 до 6 ч. Так как геомагнитная обстановка в данный период была спокойной, то вполне возможно, что эти явления вызваны циклонами.

### Вариации ионосферных параметров в октябре–ноябре 2005 г.

На рис. 4 в качестве примера приведены распределения интенсивности колебаний  $h'F$  с периодами 3,5 ч (Иркутский дигизонд) и 4 ч (ст. Darwin) в октябре–ноябре 2005 г.

В вариациях  $f_0F_2$ ,  $h_mF_2$ ,  $h'F$  над Иркутском 7–8 октября, 16–17 октября, 23–25 октября, 31 октября наблюдалось усиление интенсивности колебаний во всем исследовавшемся диапазоне периодов от 1 до 6 ч, связанное, вероятнее всего, со слабыми возмущениями геомагнитного поля (рис. 4, а). В период действия циклона KIROGI (10–12 октября) можно выделить небольшое усиление интенсивности гармоник с периодами 2,0–3,5 ч в вариациях  $h_mF_2$  и гармоник с периодами 2–5 ч в вариациях  $f_0F_2$  и  $h'F$  (рис. 4, а), не связанное с геомагнитной активностью.

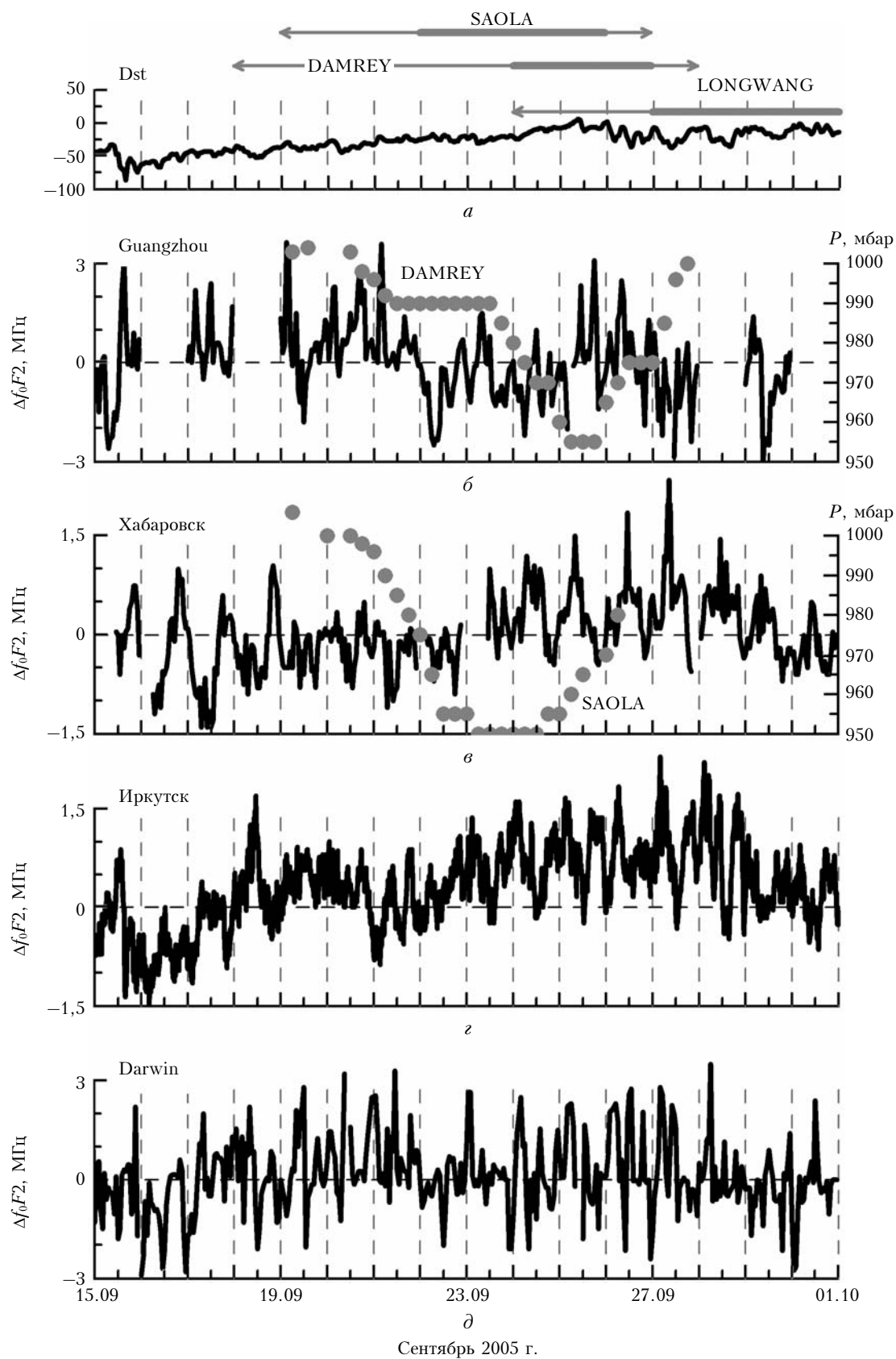


Рис. 2. Вариации геофизических данных в течение 15 сентября – 1 октября 2005 г.: индекс Dst (a); отклонения критических частот от медианы на станциях Guangzhou (б), Хабаровск (в), Иркутск (г), Darwin (д); давление в центре циклонов DAMREY (б, точки) и SAOLA (в, точки). Стрелками на панели (a) отмечено время действия ТЦ, жирной линией выделены интервалы стадии ураганов для ТЦ

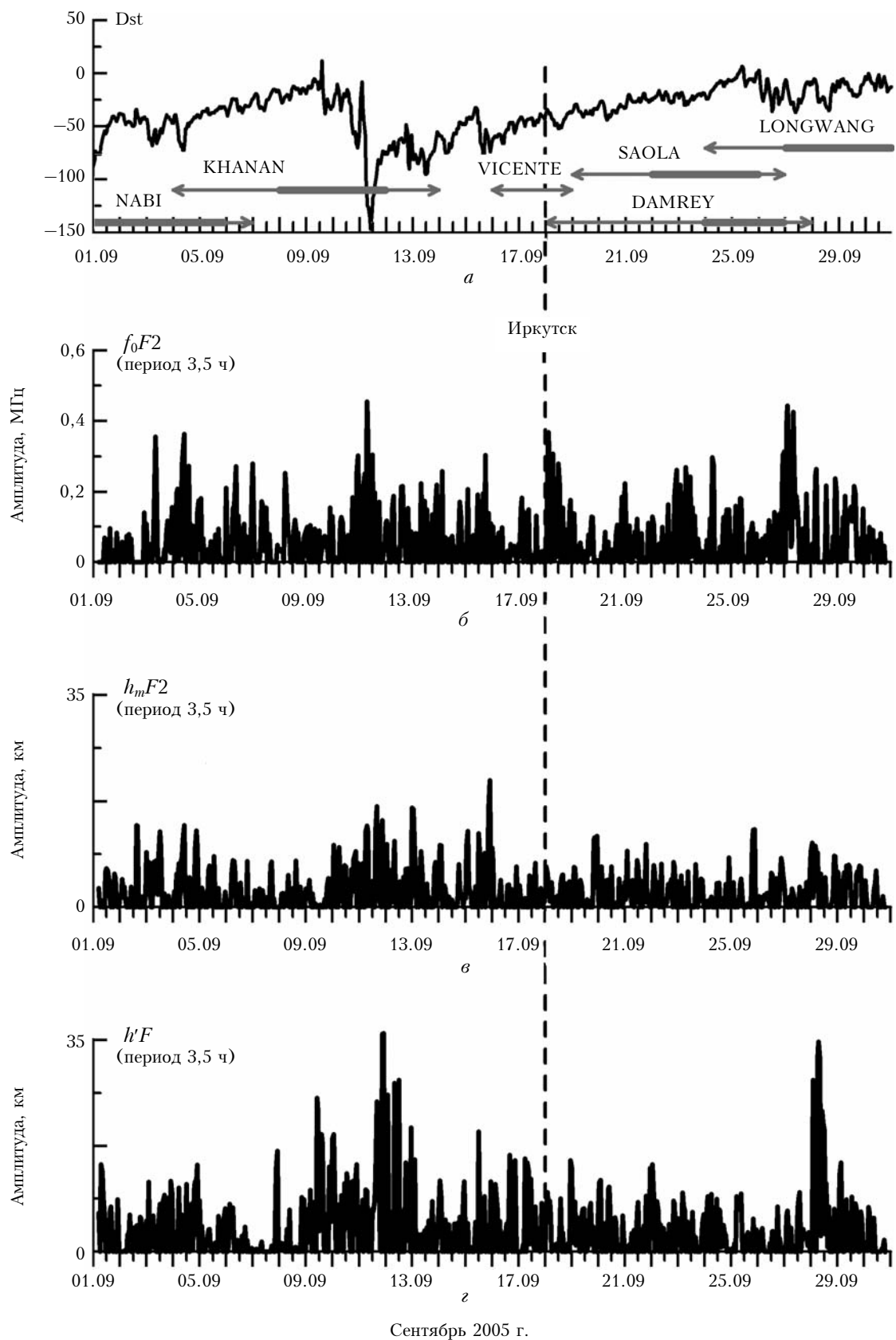


Рис. 3. Вариации геофизических параметров в течение 1 сентября – 1 октября 2005 г.: индекс Dst (а); интенсивность колебаний с периодом 3,5 ч в вариациях  $f_0F2$  (б),  $h_mF2$  (в),  $h'F$  (г) над Иркутском. Стрелками на панели (а) отмечено время действия ТЦ, жирной линией выделены стадии ураганов. Пунктирной линией отмечены время окончания магнитной бури и начало действия ТЦ

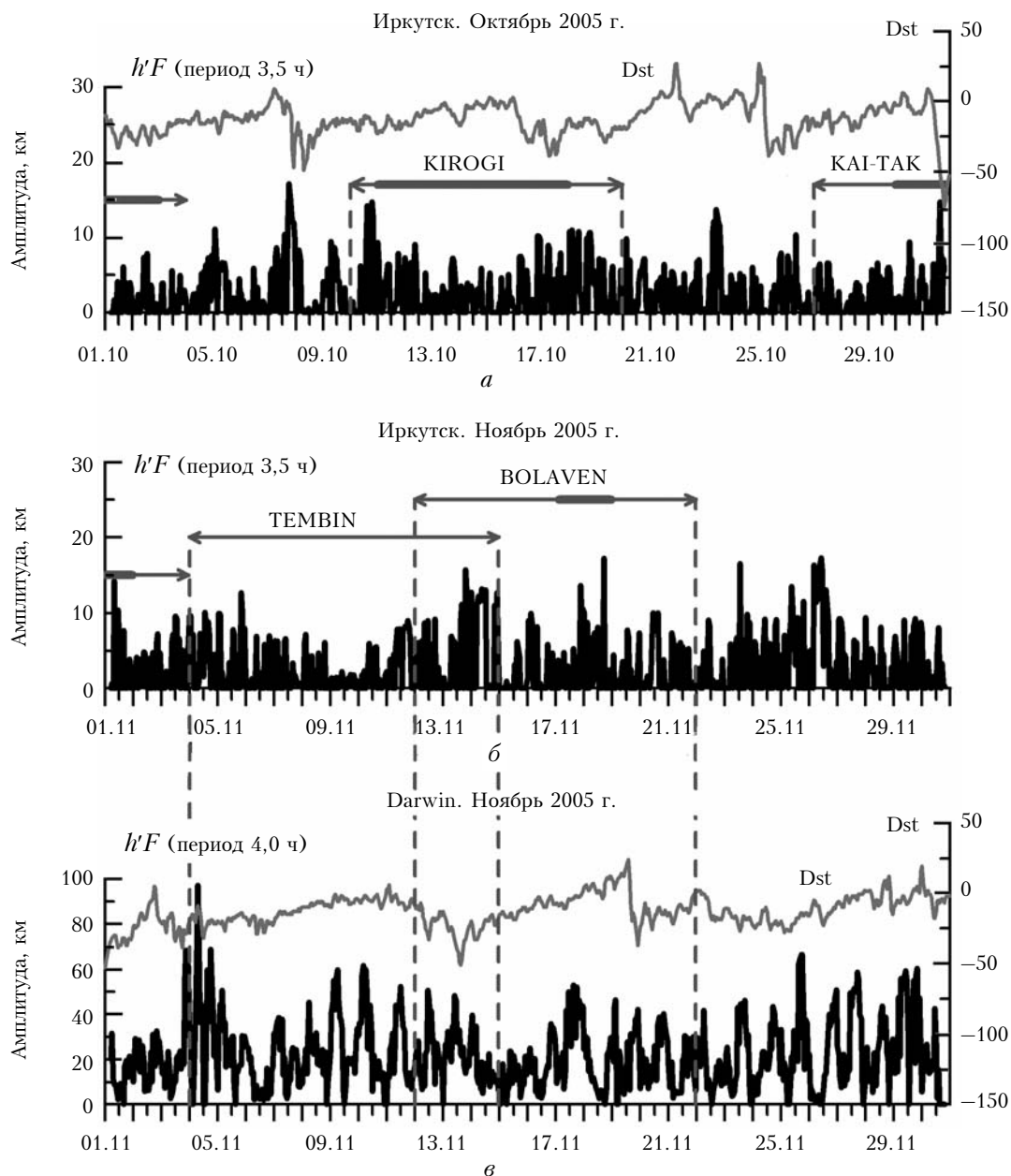


Рис. 4. Распределения интенсивности колебаний  $h'F$  с периодами 3,5 ч (Иркутск) и 4 ч (Darwin) в октябре–ноябре 2005 г. Вариации индекса Dst и время действия ТЦ в октябре (*a*). Вариации индекса Dst (*в*) и время действия ТЦ (*б*) в ноябре

В ноябре над Иркутском можно выделить два периода (17–19 ноября и 23–27 ноября), в течение которых зарегистрирован рост интенсивности колебаний  $f_0F_2$ ,  $h_mF_2$ ,  $h'F$ , не связанный с геомагнитной активностью: 17–19 ноября (во время циклона BOLAVEN) и 23–27 ноября (в отсутствие как геомагнитных возмущений, так и ТЦ). Аналогичная картина наблюдалась на ст. Darwin: периоды 11–18 ноября и 24–30 ноября характеризуются появлением аномальных значений  $h'F$ , а также усилением колебаний с периодами 4 и 6 ч в вариациях  $h'F$  и  $f_0F_2$ .

Полученные нами результаты согласуются с результатами анализа временных вариаций максималь-

ных наблюдаемых частот (МНЧ) сигналов наклонного зондирования вдоль среднеширотной односкачковой трассы Магадан–Иркутск в ноябре 2005 г., представленными в работе [11]. Геометрия трассы такова, что область, от которой происходит отражение радиосигнала, расположена в районе г. Якутска (см. рис. 1). Авторы [11] зарегистрировали рост энергии колебаний МНЧ с периодом 2 ч 17–18 ноября 2005 г.

Таким образом, в октябре–ноябре 2005 г. отклик области  $F$  на ТЦ выражен существенно слабее, чем в сентябре. Усиления интенсивности, не связанные с геомагнитными возмущениями, наблюдаются лишь

для отдельных гармоник в вариациях  $f_0F2$ ,  $h_mF2$ ,  $h'F$ . Особый интерес представляют возмущения ионосферных параметров, зарегистрированные на ст. Иркутск и Darwin в период 24–30 ноября. Эти возмущения не имеют явного источника. Возможно, они связаны с проникновением на высоты  $F$ -области ионосферы планетарных волн, генератором которых могли быть ТЦ.

## Обсуждение результатов

Из анализа полученных нами предварительных результатов и данных других авторов, на наш взгляд, складывается следующая картина отклика верхней атмосферы на ТЦ. Уверенная регистрация реакции параметров  $F$ -слоя ионосферы на отдельно действующий циклон возможна, скорее всего, лишь в достаточной близости (не более 2000 км) от траектории циклона. Вероятность регистрации ионосферного отклика зависит также от силы циклона. Несколько одновременно действующих мощных циклонов могут формировать возмущенную обстановку в атмосфере, воздействие которой на  $F$ -область окажется более интенсивным и может быть обнаружено на расстояниях до 3000–4000 км. Обоснование данного положения требует, прежде всего, накопления статистики измерений и расширения экспериментальной базы. Нужен также учет ветрового и температурного режима атмосферы во время анализируемых временных интервалов. Наконец, необходимо исследование роли планетарных волн с периодами в несколько суток, которые присутствовали в изучавшихся нами вариациях ионосферных параметров во время действия тропических циклонов.

## Заключение

По данным ионозондов в Восточно-Сибирском и Дальневосточном регионах России, в Китае и в Австралии в вариациях ионосферных параметров выявлены возмущения, которые с наибольшей вероятностью могут быть связаны с циклонической активностью в северо-западной части Тихого океана в сентябре–ноябре 2005 г. Почти на всех рассматривавшихся ионосферных станциях зафиксированы усиления интенсивности колебаний с периодами 1,5–6 ч в спокойных геомагнитных условиях. В большинстве случаев такие усиления совпадали по времени с периодами действия тропических циклонов. Рост

интенсивности колебаний, как правило, сопровождался существенными отклонениями параметров слоя  $F$  ионосферы от медианных значений.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Хабаровской ионосферной станции ИКИР ДВО РАН за предоставление первичных данных вертикального зондирования.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 08-05-00658, 08-02-90437-Укр).

1. 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. N 4. P. 897–906.
2. 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.
3. Voyeikov S.V., Ishin A.B., Perevalova N.P. Total electron content variations during typhoon 7–11 August, 2006 near south-eastern coast of China // Proc. SPIE. 2007. V. 6936. P. 365–372.
4. Ванина-Дарт Л.Б., Шарков Е.А., Покровская И.В. Влияние солнечной активности на отклик экваториальной нижней ионосферы во время активной фазы тропических циклонов // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 6. С. 1–9.
5. Kazimirovsky E.S., Kokourov V.D. The tropospheric and stratospheric effects in the ionosphere // J. Geom. Geoelectr. 1991. V. 43 (Suppl. Part 1). P. 551–562.
6. Rishbeth H. F-region links with the lower atmosphere? // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2006. V. 68. P. 469–478.
7. Куницын В.Е., Сураев С.Н., Ахмедов Р.Р. Моделирование распространения акустико-гравитационных волн в атмосфере для различных поверхностных источников // Вестн. МГУ. Сер. 3. 2007. № 2. С. 59–63.
8. Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана. Версия 3.1 (1983–2005). М.: Полиграф сервис, 2006. 728 с.
9. Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and traveling ionospheric disturbances 1982–1995 // Ann. Geophys. 1996. V. 14. N 5. P. 917–940.
10. Куклин Г.В., Орлов И.И., Бернгардт О.И. О методике определения периодичностей на примере анализа чисел Вольфа // Исследования по геомагнетизму, аэрномии и физике Солнца. Иркутск: Изд-во СО РАН, 2000. Вып. 110. С. 7–12.
11. 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. М.: Изд-во ИКИ РАН, 2007. Вып. 4.

### *N.P. Perevalova, N.M. Polekh. Investigation of the upper atmosphere response to cyclones using ionosonde data in Eastern Siberia and the Far East.*

This paper presents the results of investigation of mid-latitude upper atmosphere response to tropical cyclones, which were observed over the Northwest Pacific Ocean in September–October 2005. It is accepted that internal atmospheric waves (IAWs) are among the physical mechanisms of the interaction between the troposphere and ionosphere. It is also assumed that IAWs travel upward along oblique trajectories and manifest themselves in the upper atmosphere as traveling ionospheric disturbances (TIDs). Such TIDs can be registered at distances of some thousands of kilometers from the IAWs tropospheric source. To check up this hypothesis, we carried out statistical and harmonic analyses of data on the vertical sounding of the upper atmosphere in the East Siberian and Far Eastern regions of Russia, in the China, and the Australia. The disturbances, which most probably can be associated with cyclones, were pick out from variations of ionospheric  $F$ -region parameters: the increase of oscillation amplitude in the range of periods 1.5–6 h; essential deviation of  $F$ -region parameters from their medians.