

**СРАВНЕНИЕ РЕАКЦИИ ИОНОСФЕРЫ НА КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ АВРОРАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ 29–31 ОКТЯБРЯ 2003 г. И 7–11 НОЯБРЯ 2004 г. ПО ДАННЫМ СЕТИ GPS И ИОНОЗОНДОВ**

**Э.Л. Афраимович, С.В. Воейков, К.Г. Ратовский**

**THE IONOSPHERIC RESPONSE TO LARGE-SCALE DISTURBANCES OF AURORAL ORIGIN DURING THE MAGNETIC STORMS 29-31 OCTOBER 2003 AND 7-11 NOVEMBER 2004 USING GPS AND IONOSONDES DATA**

**E.L. Afraimovich, S.V. Voeykov, K.G. Ratovsky**

В настоящей работе проведено сравнение интегральной интенсивности крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (КМ ПИВ), зарегистрированных по данным полного электронного содержания (ПЭС) во время магнитных бурь 29–31 октября 2003 г. и 7–11 ноября 2004 г., с интенсивностью локальных возмущений электронной концентрации. Для этого использовались данные измерений ПЭС на наземных GPS-приемниках, расположенных вблизи от ионосферных станций, и соответствующие значения критической частоты  $f_0F2$  F-слоя ионосферы. Для всех упомянутых событий было отмечено подобие колебаний ПЭС и  $f_0F2$ . Для тех случаев, когда возмущение электронной концентрации в максимуме F-слоя не превышало 50 %, было подтверждено высказанное в работах [1, 2] предположение о том, что основной вклад в модуляцию ПЭС вносит область толщиной 150–200 км в окрестности максимума F-слоя ионосферы. Однако при возмущении электронной концентрации в F-слое порядка 85 % эта область, вероятно, становится более протяженной по высоте.

In the work the comparison between integral intensity of large-scale ionospheric disturbances (LS TIDs) registered using total electron content data (TEC) during the strong magnetic storms 29–31 October 2003 and 7–11 November 2004 and intensity of local electron density disturbances was made. For this purpose the TEC data obtained on ground-based GPS receivers situated near to ionospheric stations and corresponding values of ionospheric F-layer critical frequency  $f_0F2$  were used. Similarity of TEC and  $f_0F2$  variations was observed for all events. The assumption of [1, 2] that the main contribution to TEC modulation occurs in the region of 150–200 km width located close to ionospheric F-layer maximum was confirmed for the cases when electron density disturbance in F-layer maximum did not exceed 50 %. However the region became more wide when electron density disturbance in F-layer was about 85 %.

**Введение**

Новый этап в дистанционной диагностике ионосферы открывается благодаря развитию международной глобальной наземной сети двухчастотных приемников навигационной системы GPS. В ИСЗФ СО РАН разрабатывается программный комплекс GLOBDET, предназначенный для глобального детектирования и мониторинга ионосферных возмущений естественного и техногенного происхождения по данным измерений вариаций ПЭС, производимых в системе GPS [3].

Одной из ключевых проблем исследования ионосферы с помощью трансionoсферного зондирования является вопрос о соответствии параметров ионосферных возмущений, определенных по данным измерений ПЭС, локальным характеристикам возмущений электронной концентрации, обусловленных распространением акустико-гравитационных волн (АГВ) естественного и техногенного происхождения. Для решения этой проблемы необходимо привлечение дополнительных данных, полученных с помощью других геофизических инструментов: ионозондов, радаров некогерентного рассеяния.

**Общие сведения об эксперименте**

В настоящей работе в качестве объекта исследования были выбраны КМ ПИВ, зарегистрированные во время магнитных бурь 29–31 октября 2003 г. ( $D_{st} = -347$  нТл,  $K_p = 9$ ) и 7–11 ноября 2004 г. ( $D_{st} = -383$  нТл,  $K_p = 9$ ). Абсолютная амплитуда этих возмущений по данным ПЭС составила от 2 до 16 TECU (1 TECU =  $10^{16}$  м<sup>-2</sup>).

Относительная амплитуда возмущения электронной концентрации определялась по данным измерений критической частоты слоя F ионосферы  $f_0F2$  на Иркутском дигизонде (52.2° N; 104.3° E) и на ионосферной станции Dyess AFB (32.5° N; 260.3° E). Определение параметров соответствующего возмущения ПЭС производилось по данным измерений на близлежащих станциях GPS. В качестве фонового значения ПЭС использовались значения абсолютного «вертикального» ПЭС  $I_0$ , рассчитанные в лаборатории JPLG по данным сети GPS (технология GIM [4]).

**Анализ возмущения, зарегистрированного 29 октября 2003 г. в восточной Азии**

Во время магнитной бури 29 октября 2003 г. удалось одновременно зафиксировать КМ ПИВ по данным ПЭС на станции IRKT (52.2° N; 104.3° E) и по измерениям  $f_0F2$  на Иркутском дигизонде.

На рис. 1 сплошной и пунктирной линиями представлены отфильтрованные вариации  $dI(t)$  ПЭС на двух лучах «приемник–ИСЗ GPS» IRKT–PRN02 и IRKT–PRN03. Относительная амплитуда вариаций ПЭС  $dI/I_0$  составила порядка 10–12 %.

Сплошной линией с треугольниками на рис. 1 показаны изменения критической частоты  $f_0F2$ . Шкала соответствующих приближенных значений электронной концентрации  $N$  в максимуме F-слоя приведена на рис. 1 справа. Вариации  $f_0F2$  показывают высокую степень подобия с вариациями ПЭС в интервале времени с 07:00 до 08:00 UT. Относительная амплитуда возмущения электронной

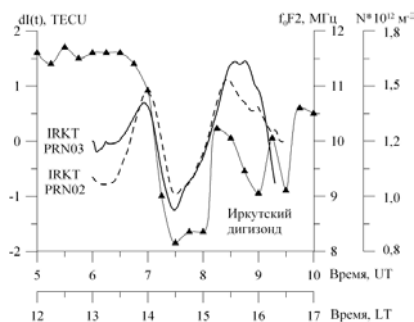


Рис. 1. Сравнение вариаций ПЭС с изменениями  $f_0F2$  для события 29 октября 2003 г. в Восточной Азии.

концентрации  $\Delta N/N$  в области максимума F-слоя достигала 45–50 %.

### Анализ возмущения, зарегистрированного 30 октября 2003 г. в Северной Америке

Для исследования этого возмущения были использованы данные измерений ПЭС на GPS-станции SUM1 (34.8° N; 257.5° E) и значения критической частоты F-слоя ионосферы  $f_0F2$ , определенные на ионозонде Dyess AFB (32.5° N; 260.3° E).

На рис. 2 сплошной и пунктирной линиями представлены отфильтрованные вариации  $dl(t)$  ПЭС на двух лучах SUM1-PRN13 и SUM1-PRN27. Размах колебаний достигает 9 TECU. Относительная амплитуда колебаний ПЭС  $dl/I_0$  составляет примерно 14 %.

Колебания  $f_0F2$  (линия с треугольниками на рис. 2) близки по форме к вариациям ПЭС. Относительная амплитуда возмущения электронной концентрации  $\Delta N/N$  в области максимума F-слоя составила порядка 40 %.

### Анализ возмущения, зарегистрированного 10 ноября 2004 г. в восточной Азии

Во время мощной магнитной бури 10 ноября 2004 г. над Иркутском (52.2° N; 104.3° E) было зарегистрировано КМ ПИВ по данным ПЭС на станции GPS IRKT и по измерениям  $f_0F2$  на Иркутском дигизонде.

На рис. 3 сплошной линией представлены отфильтрованные вариации  $dl(t)$  ПЭС на луче IRKT-PRN28. Приблизительно в 08:15 UT наблюдается максимум вариаций ПЭС с последующим выраженным уменьшением ПЭС на величину до 16 TECU за время порядка 40–50 мин. Относительная амплитуда отмеченного перепада в вариациях ПЭС  $dl/I_0$  составила порядка 40 %.

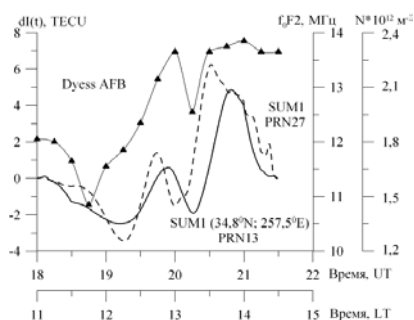


Рис. 2. Сравнение вариаций ПЭС с изменениями  $f_0F2$  для события 30 октября 2003 г. в Северной Америке.

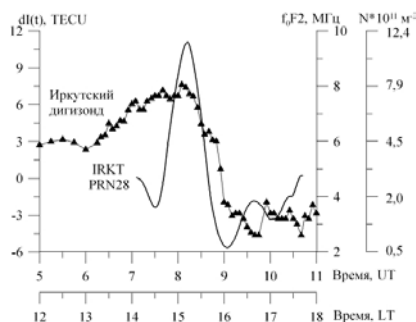


Рис. 3. Сравнение вариаций ПЭС с изменениями  $f_0F2$  для события 10 ноября 2004 г. в Восточной Азии.

На рис. 3 сплошной линией с треугольниками показаны изменения критической частоты  $f_0F2$ . Видно, что вариации  $f_0F2$  близки по форме к вариациям ПЭС. Наблюдаемое уменьшение критической частоты  $f_0F2$  соответствует относительной амплитуде возмущения электронной концентрации  $\Delta N/N$  в области максимума F-слоя не менее 85 %.

### Обсуждение

Для первых двух возмущений, зарегистрированных во время магнитных бурь 29–31 октября 2003 г., соотношение относительной амплитуды возмущения по данным ПЭС ( $dl/I_0 \approx 12\text{--}14\%$ ) и по данным  $f_0F2$  ( $\Delta N/N \approx 40\text{--}50\%$ ) было практически одинаковым (рис. 1 и 2) – от 1/3 до 1/4. Это подтверждает высказанное в работах [1, 2] предположение о том, что при распространении АГВ основной вклад в модуляцию ПЭС вносит область толщиной 150–200 км в окрестности максимума F-области ионосферы.

В то же время для возмущения, зарегистрированного 10 ноября 2004 г. (рис. 3), относительная амплитуда по данным ПЭС достигала 40 %, а по данным  $f_0F2$  – 85 %. Соотношение относительных амплитуд составляло приблизительно 1/2. В этом случае область ионосферы, вносящая основной вклад в модуляцию ПЭС, должна быть значительно протяженной по высоте. Видимо, наблюдаемое отличие событий связано с тем, что возмущение, наблюдавшееся 10 ноября 2004 г., было более интенсивным, чем два предыдущих.

Эта работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 03-05-64100, 04-05-39008 и 05-05-64634), а также гранта N НШ-272.2003.5 государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kirchengast G. Elucidation of the physics of the gravity wave – TID relationship with the aid of theoretical simulations // J. Geophys. Res. 1996. V. 101, N A6. P. 13353–13368.
2. Yeh K.C., Liu C.H. Acoustic-gravity waves in the upper atmosphere // Rev. Geophys. Space Phys. 1974. V. 12, N 2. P. 193–216.
3. Afraimovich E.L. GPS global detection of the ionospheric response to solar flares // Radio Sci. 2000. V. 35, P. 1417–1424.
4. Mannucci A.J., Ho C.M., Lindqwister U.J. et al. A global mapping technique for GPS-derived ionospheric TEC measurements // Ibid. 1998. V. 33. P. 565–582.