

УДК 550.388.2

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ПРОФИЛЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ,
ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИРКУТСКОГО РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ
И ИОНОЗОНДА DPS-4 В 2005–2007 гг.**

А.В. Медведев, К.Г. Ратовский, М.В. Толстик

**VELOCITY DETERMINATION OF TRAVELING IONOSPHERIC DISTURBANCES USING
ELECTRON DENSITY PROFILES OBTAINED AT THE IRKUTSK INCOHERENT
SCATTER RADAR AND IONOSONDE DPS-4 IN 2005–2007**

A.V. Medvedev, K.G. Ratovsky, M.V. Tolstikov

В работе исследовалась высотно-временная структура характеристик распространения перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) на основе профилей электронной концентрации, измеренных двумя лучами радара НР и ионозондом. С помощью кросскорреляционного и спектрального анализа данных радара и ионозонда получены высотные профили характеристик распространения ПИВ во время различных геофизических событий сентября 2005 г., марта 2006 г. и июня 2007 г. В работе проведен статистический анализ динамических характеристик ПИВ в различные сезоны 2005–2007 гг.

The spatio-temporal structure of characteristics of traveling ionospheric disturbances (TID) was studied from electron density profiles measured by two beams of the incoherent scatter radar and ionosonde. Height profiles of TID propagation characteristics during different geophysical events in September 2005, March 2006, and June 2007 were obtained using cross-correlation and spectrum analysis of the radar and ionosonde data. We made statistical analysis of TID dynamic characteristics for different seasons of 2005–2007.

Для изучения пространственной структуры ПИВ необходимо проводить измерения ионосферных параметров в пространственно-разнесенных точках. Мы использовали данные радара НР, ионозонда DPS-4. Схема расположения инструментов показана на рис. 1.

Исходными данными являются профили электронной концентрации, измеренные двумя лучами радара НР и ионозондом DPS-4. Электронная концентрация как функция времени разделялась на медленную (фоновою) и быструю (возмущенную) составляющие. Измерялись задержки между ПИВ, наблюдаемыми на двух лучах радара НР и ионозонде DPS-4, а также межвысотные задержки на ионозонде. Задержки определялись по максимуму коэффициента кросскорреляции. В приближении плоской волны для каждой высоты была получена система линейных уравнений, позволяющая определить скорость и направление движения ПИВ. Подробно эта методика изложена в работах [1, 2].

Указанным образом были проанализированы данные более 30 сут наблюдений в периоды сентября

2005 г., марта 2006 г., июня 2007 г. Возмущения с амплитудой от 5 до 10 % присутствуют в каждые рассмотренные сутки, достигая в магнитовозмущенные дни 30 % и более. При этом модель возмущения в виде плоской волны адекватно описывает ситуацию только в случаях, когда присутствует доминирующее возмущение, обусловленное мощным источником, например, авроральной активностью во время геомагнитных бурь. В магнитоспокойные периоды марта 2006 г. и июня 2007 г. доминирующие возмущения выделить чаще всего не удастся, картина ионосферных возмущений имеет сложную пространственно-временную структуру, сформированную интерференцией волн от различных источников, и восстановленные динамические характеристики возмущений демонстрируют очень высокую высотно-временную вариативность. Дополнительные сложности в применении метода возникают в период низкой солнечной активности из-за существенного опускания высоты максимума ионизации слоя F2. Сочетание низкого значения $h_m F2$ (обычно около 230 км) и сложной структуры профиля неоднородностей ставит под вопрос используемую на ионозонде DPS-4 процедуру экстраполяции значения концентрации на высоты больше 250 км. Тем не менее, в ряде случаев удается получить достоверные значения динамических характеристик ПИВ даже в такие периоды. На рис. 2, а представлена картина возмущений для 28 марта 2006 г., типичная для периода низкой солнечной и магнитной активности. Коэффициент корреляции в полосе периодов 1–4 ч между разными лучами довольно низок, но при анализе спектров удается выделить гармонику ~ 2.3 ч, общую для всех трех направлений (рис. 2, б). Фильтрация этой гармоники производилась независимо по каждой из высот рассматриваемого диапазона и, следовательно, преобладание фазы колебания по высоте служит подтверждением достоверности существования физического процесса, соответствующего

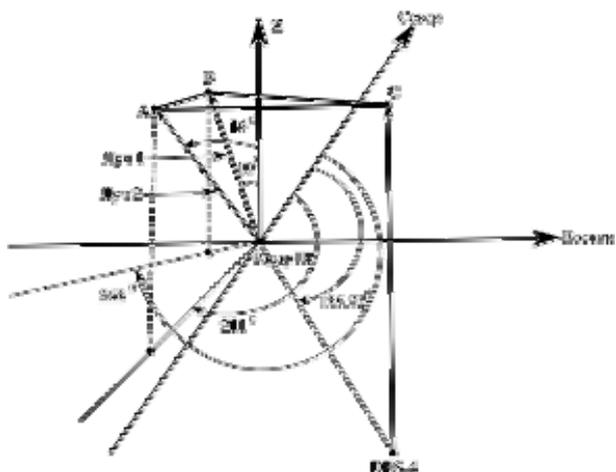


Рис. 1.

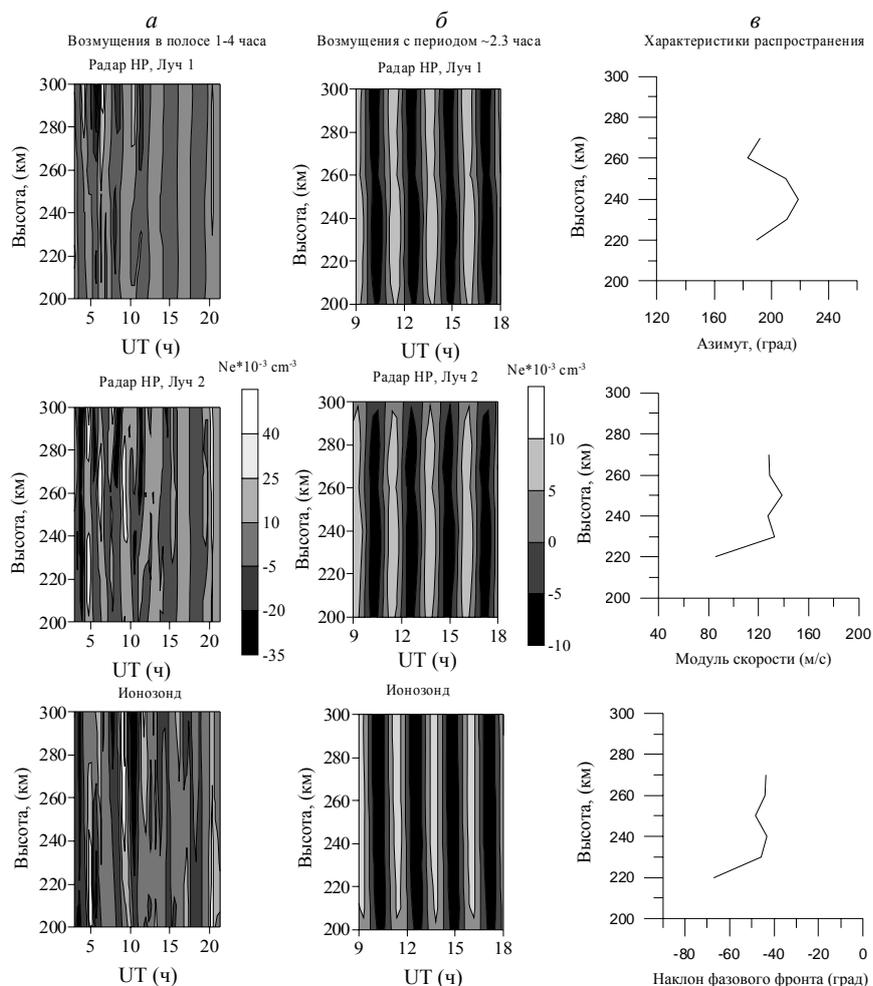


Рис. 2.

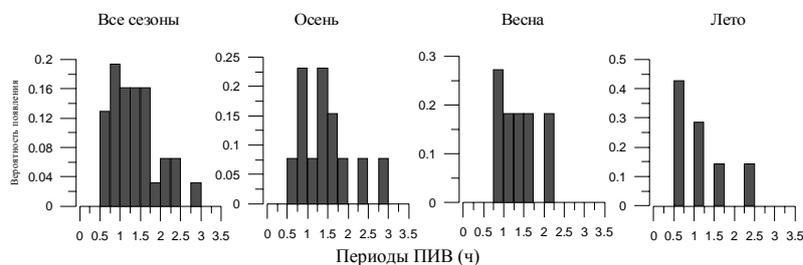


Рис. 3.

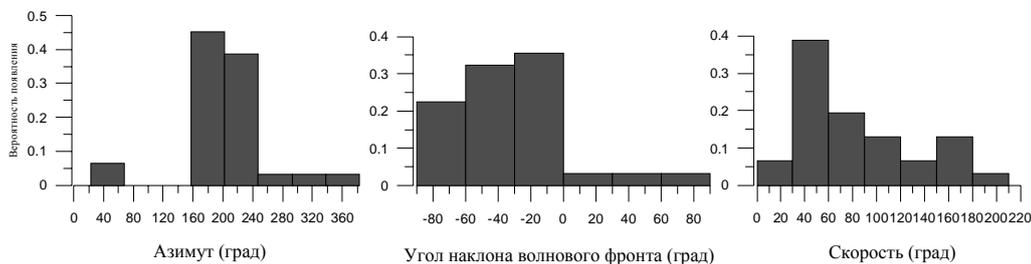


Рис. 4.

природе ВГВ. Характеристики движения ПИВ, определенные фазоразностным способом, приведены на рис. 2, в.

На рис. 3 представлены гистограммы распределения периодов ПИВ за время наблюдения.

На рис. 4 представлены гистограммы распределения параметров ПИВ за время наблюдения.

Как можно видеть из рис. 4, большинство наблюдавшихся ПИВ распространяются в южном (180 ± 22.5) и юго-западном (225 ± 22.5) направлении сверху вниз со средней скоростью порядка 50 м/с. Рассмотрим распределения параметров распространения по сезонам (рис. 5).

Как можно видеть из рис. 5, кроме указанных выше

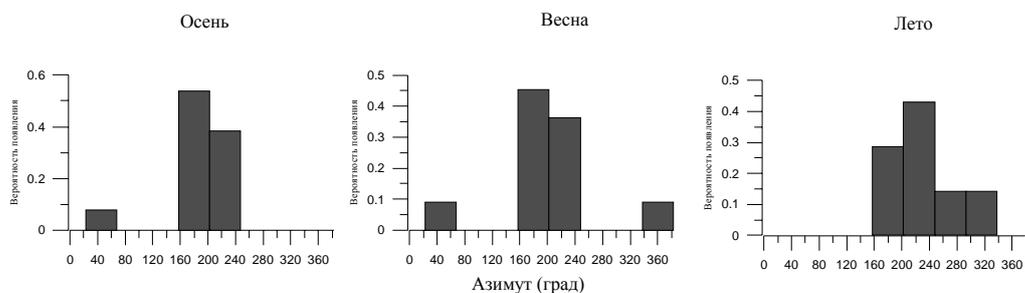


Рис. 5.

основных направлений распространения осенью существуют возмущения, распространяющиеся в северо-восточном направлении (45 ± 22.5), весной – в северном (360 ± 22.5) и северо-восточном (45 ± 22.5), летом – в западном (270 ± 22.5) и северо-западном (315 ± 22.5).

Полученные нами результаты согласуются с наблюдениями других исследователей. Типичное для крупномасштабных ПИВ направление распространения фазового фронта с севера на юг, сверху вниз [3]. В различных работах приводятся следующие величины модуля фазовой скорости: 50 м/с в работе [4], 62 м/с [5], 80 м/с [6], 96–113 м/с [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ratovsky K.G., Medvedev A.V., Tolstikov M.V., Kushnarev D.S. Case studies of height structure of TID propagation characteristics using cross-correlation analysis of incoherent scatter radar and DPS-4 ionosonde data // *Adv. Space Res.* 2008. V. 41. P. 1453–1457.
2. Медведев А.В., Ратовский К.Г., Толстикова М.В. Методика определения скорости перемещающихся ионосферных возмущений на основе трех независимо полученных профилей электронной концентрации в пространственно разнесенных точках // *Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике (БШФФ-2006). Труды IX Конференция молодых ученых «Физические процессы в космосе и околоземной среде»* (Иркутск, 11–16 сентября 2006 г.). Иркутск, 2006. С. 175–176.
3. Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982–1995 // *Ann. Geophys.* 1996. V. 14. P. 917–940.
4. Ma S.Y., Schlegel K., Xu J.S. Case studies of the propagation characteristics of auroral TIDs with EISCAT CP2 data using maximum entropy cross-spectral analysis // *Ann. Geophys.* 1998. V. 16, N 2. P. 161–167.
5. Williams P.J.S., Viridi T.S., Lewis R.V., et al. Worldwide atmospheric gravity-wave study in the European sector 1985–1990 // *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 1993. V. 55, N 4–5. P. 683–696.
6. Oliver W.L., Fukao S., Sato T., et al. Ionospheric incoherent scatter measurements with the middle and upper atmosphere radar: Observations during the large magnetic storm of February 6–8, 1986 // *J. Geophys. Res.* 1988. V. 93, N A12. P. 14649–14655.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск