

# Отклик ионосферы на мощные тропические вихри

О.Г. Онищенко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт космических исследований РАН,  
117997 Москва, Профсоюзная 84/32,*

<sup>2</sup>*Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН,  
123995 Москва, Б.Грузинская ул.,10  
E-mail: onish@ifz.ru*

Приэкваториальная атмосфера является местом, где зарождаются мощные тропические циклонические вихри. Тайфуны, несущие большое количество влаги, могут служить источником приливов планетарного масштаба. Электронная концентрация в ионосфере также максимальна вблизи экватора (область экваториальной аномалии). Поэтому, именно в этой области наиболее эффективно взаимодействие планетарных возмущений атмосферы и ионосферы.

**Ключевые слова:** взаимодействие геосфер Земли, нейтральная атмосфера, ионосфера, вихри, волны Россиби, тайфуны.

Одной из основных задач физики околоземной среды является описание элементов глобальной циркуляции, определяющих космическую погоду обширных регионов. Циркуляция, усредненная по большим пространственным масштабам, характеризуется вихрями планетарного масштаба и зональными ветрами.

Отклик ионосферы на мощные тропические вихри планетарного масштаба с энергией достаточной для генерации тайфунов является частной задачей более общей проблемы о взаимодействии нейтральной атмосферы с ионосферой Земли. Проблема отклика ионосферы на планетарные вихри привлекала и продолжает привлекать внимание исследователей, см., например, [1 - 4]. О том, что эта проблема актуальна, свидетельствует, в частности, тот факт, что «Изучение взаимодействия планетарных ионосфер с атмосферами в режиме сильных столкновений» выделено в плане научных исследований NASA на 2007 – 2016 годы как проблема особой важности. Исследование возмущений ионосферы является также проблемой социального значения. Планетарные структуры электронной концентрации в ионосфере, влияющие на распространение радиоволн, включая сигналы GPS, могут служить причиной увеличения ошибок, и в некоторых случаях, критических навигационных. Исследование обмена энергией и импульсом между нейтральной и ионизованной компонентами слабоионизованного газа актуальны для ряда задач планетарных атмосфер и астрофизики аккреционных дисков. Околоземная среда - естественная лаборатория для такого исследования.

Недавние наблюдения, [3, 4], на спутнике IMAGE (Imager Magnetopause-to-Aurora Global Exploration) указывают на необходимость пересмотра существующих представлений о физике взаимодействия верхней атмосферы и ионосферы. Эти наблюдения показали, что невозмущенная солнечным ветром ионосфера регулярно откликается на синоптические движения атмосферы. В работе [4] приливные волны рассматриваются в качестве возможного механизма обеспечивающего перенос энергии крупномасштабных возмущений из атмосферы в ионосферу. Этот вывод сделан основываясь на наблюдаемом подобии приливных возмущений внизу, в атмосфере, и вверху, в ионосфере. Однако, такой механизм переноса энергии в ионосферу удивителен, поскольку до недавнего времени считалось, что приливные возмущения распространяясь вверх должны затухать у основания ионосферы, оказывая слабое влияние на состояние ионосферы на больших высотах. Основным источником энергии приливов связан с вы-

свобождающейся энергией фазового перехода пар – капли воды в воздушных массах над тропическим лесом или теплым океаном. Приливные силы и, связанные с ними, волны подвержены сезонным и суточным изменениям и отражают реальное состояние тропосферы [5-6].

Приэкваториальная атмосфера является местом, где зарождаются мощные тропические циклонические вихри – тайфуны, см., например, [7]. Тайфуны, несущие большое количество влаги также могут служить источником приливов планетарного масштаба. Электронная концентрация в ионосфере также максимальна вблизи экватора (область экваториальной аномалии), см., например, [5, 8]. Поэтому, именно в этой области наиболее эффективно взаимодействие планетарных возмущений атмосферы и ионосферы. К настоящему времени имеется большой банк данных свидетельствующих о наблюдении планетарных вихревых структур и зональных ветров в E-слое ионосферы, см., например, [3, 4, 9, 10], аналогичных синоптическим вихрям и зональным ветрам в атмосфере. Такие волны были названы замагниченными волнами Россби. Ионы в таких волнах наряду с силой Кориолиса подвержены влиянию силы Лоренца. В E-слое эти силы и их градиенты в меридиональном направлении могут быть одного порядка. В работах [9, 10] было показано, что замагниченные волны Россби (ЗВР) в E-слое могут быть описаны в рамках модифицированного уравнения Чарни–Обухова. Модификация связана с перенормировкой скорости Россби и радиуса деформации (радиуса Россби – Обухова). Нелинейная динамика развития параметрической неустойчивости ЗВР и неустойчивости КГ в E-слое ионосферы совпадает с соответствующей динамикой нелинейных волн Россби в атмосфере. В верхних слоях ионосферы и в магнитосфере можно пренебречь вкладом силы Кориолиса по сравнению с силой Лоренца в уравнении движения ионов, ограничившись изучением обычных низкочастотных волн в замагниченной плазме. В плазме существует большое разнообразие низкочастотных волн (с частотой ниже ионной циклотронной) в отличие от нейтральной атмосферы, где имеется только одна низкочастотная ветвь волны Россби с характерной частотой меньшей частоты вращения Земли. Вихри разнообразных низкочастотных волн в плазме были предсказаны теоретически, см., например, [11 – 13]. Несмотря на то, что низкочастотные нелинейные волны в плазме описываются более сложной системой нелинейных уравнений для возмущений электрического потенциала, магнитного поля, плотности плазмы и др. параметров, в отличие от одного нелинейного уравнения для волн Россби, квазистационарные решения таких систем уравнений могут быть представлены в виде вихрей аналогичным вихрям Россби.

Последние исследования процесса переноса энергии возмущений из нейтральной атмосферы в ионосферу показали, что взаимодействие нейтралов с ионами, лежащее в основе этого процесса, является сложным динамическим процессом. Выяснение деталей этого взаимодействия требует новых спутниковых наблюдений скорости ветров, плотности нейтралов и ионов, состава ионосферы с одновременным измерением профилей этих параметров на высотах 100 – 400 км. как в дневное, так и в ночное время. С целью изучения взаимодействия нейтральной атмосферы Земли с ионосферой в мае 2008 года NASA был выведен спутник NICE (Neutral Ion Coupling Explorer) предвещающий новые исследования в рамках программы SMEX (Small Explorer). Измерения на спутнике NICE позволят одновременно измерить все основные параметры, характеризующие термосферу и ионосферу. Три оптические приборы позволят восстановить профили ветра нейтральной атмосферы, состав и плотность ионов, кроме того, предполагаются *in situ* измерения электрического поля. NICE – спутник с траекторией имеющей наклон 28 градусов и максимальное удаление – 550 км. Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 7.

## Литература

1. *Vanina-Dart L. B., Pokrovskaya I. V., and Sharkov E. A.* Response of the Lower Equatorial Ionosphere to Strong Tropospheric Disturbances // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2008. V. 48. P. 245 – 250.
2. *Lastovicka J.* Forcing of the ionosphere by waves from below // *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 2006. V. 68. P. 479 – 497.
3. *Immel T. J., Mende S. B., Hagan M. E., Kintner P. M., and England S. L.* Evidence of Tropospheric Effects on the Ionosphere // *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 2009. V. 90. N 9. P. 69 – 80.
4. *Immel T. J., Mende S. B., Hagan M. E., Kintner P. M., and England S. L.* Control of equatorial ionospheric morphology by atmospheric tides // *Geophys. Res. Lett.*, 2006. V. 33, L15108, doi: 10.1029/2006GL026161.
5. *Luhr H., Hausler K., and Stolle C.* Longitudinal variation of F region electron density and thermospheric zonal wind caused by atmospheric tides // *Geophys. Res. Lett.*, 2007. V. 34, L16102, doi:10.1029/2007GL030639.
6. *Hagan M. E., and Forbes J. M.* Migrating and nonmigrating diurnal tides in the middle and upper atmosphere excited by tropospheric latent heat release // *J. Geophys. Res.*, 2002. V. 107(D24). P. 4754, doi:10.1029/2001JD001236.
7. *Онищенко О. Г., Похотелов О. А., Астафьева Н. М.* Генерация крупномасштабных вихрей и зональных ветров в атмосферах планет // *УФН*, 2008. Т. 178. № 6. С. 605 – 616.
8. *Lawrence A. R., and Jarvis M. J.* Simultaneous observations of planetary waves from 30 to 220 km // *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 2003. V. 65. P. 765.
9. *Kaladze T. D., Pokhotelov O. A., Sagdeev R. Z., Stenflo L., and Shukla P. K.* Planetary electromagnetic waves in the ionospheric E-layer // *J. Atmosp. Solar Terrestr. Phys.*, 2003. V. 65. P. 757 – 764.
10. *Kaladze T. D., Wu D. J., Pokhotelov O. A., Sagdeev R. Z., Stenflo L., and Shukla P. K.* Rossby-wave driven zonal flows in the ionospheric E-layer // *J. Plasma Phys.* 2007. V. 73. P. 131.
11. *Петвиашвили В.И., Похотелов О. А.* Уединенные вихри в плазме и атмосфере. М. Энергоатомиздат, 1989. 200 с.
12. *Михайловский А.Б., Лахин В. П., Онищенко О. Г., Смоляков А. И.* К теории вихрей в плазме // *ЖЭТФ*, 1984. Т. 86. С. 2061.
13. *Петвиашвили В. И., Похотелов О. А.* Уединенные вихри в плазме // *Физика плазмы*, 1986, Т. 12. С. 1127.

## The response of the ionosphere on the powerful tropical vortices

O.G. Onishchenko <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>117997 Moscow, 84/32 Profsoyuznaya str.,  
Space Research Institute;

<sup>2</sup>123995 Moscow, 10 B. Gruzinskaya str.,  
Institute of Physics of the Earth,  
E-mail: onish@ifz.ru

Equatorial atmosphere is a place where nucleate powerful tropical cyclonic eddies. Typhoons that carry a large amount of moisture can be a source of tidal planetary scale. The electron concentration in the ionosphere is also a maximum near the equator (region of the equatorial anomaly). Therefore, this is the area most effective interaction of the planetary perturbations of the atmosphere and ionosphere.

**Keywords:** Earth geospheres coupling, the neutral atmosphere, ionosphere, eddies, Rossby waves, typhoons.