

УДК 550.388

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ ВОДОРОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОСТОЯНИЯХ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Д.В. Котов, Л.Ф. Черногор

SPATIAL-TEMPORAL VARIATIONS OF THE HYDROGEN IONS CONCENTRATION UNDER VARIOUS SPACE WEATHER CONDITIONS

D.V. Kotov, L.F. Chernogor

В докладе представлены пространственно-временные вариации относительной концентрации ионов водорода во внешней ионосфере, полученные с помощью харьковского радара некогерентного рассеяния, для существенно различных гелиогеофизических условий. Проведено сопоставление этих вариаций с данными, предоставляемыми международной справочной моделью ионосферы IRI.

The spatial-temporal variations of the hydrogen ions fraction in the topside ionosphere obtained by the Kharkiv incoherent scattering radar for a significantly various heliogeophysical conditions are presented. The comparison of these variations with the data provided by the international reference ionosphere model IRI is performed.

Введение

Изучение вариаций ионного состава во внешней ионосфере является одной из фундаментальных задач исследования геокосмоса. Результаты исследований вариаций содержания ионов водорода H^+ представляют ценность для дальнейшего развития представлений о комплексном взаимодействии подсистем геокосмоса и необходимы для успешного решения ряда актуальных прикладных задач, в частности для прогнозирования космической погоды [Иванов-Холодный, 1980; Авдюшин, 1987].

Вариации концентрации ионов H^+ все еще изучены недостаточно [Triskova et al., 2005]. Многочисленные исследования позволили определить характер зависимости относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$ от величины зенитного угла Солнца, уровня солнечной активности, сезона, высоты, времени суток, координат места наблюдения, однако количественные значения параметра $N(H^+)/N$, полученные в различных экспериментах в сходных условиях, могут существенно отличаться [Triskova et al., 2005]. Основная часть экспериментальных результатов, составляющих базу существующих эмпирических моделей ионного состава внешней ионосферы, получена с помощью спутниковых наблюдений, надежная калибровка которых продолжает оставаться первоочередной задачей. Именно поэтому модель ионного состава традиционно является самой слабой частью международной модели ионосферы IRI [Bilitza, Reinisch, 2008].

Большую ценность представляют результаты исследований ионного состава методом некогерентного рассеяния (НР) [Hysell et al., 2008]. Главным достоинством метода является возможность получения параметров ионосферной плазмы одновременно в широком диапазоне высот.

Цель работы – представить результаты наблюдений вариаций ионного состава, полученных с помощью радара НР Института ионосферы (г. Харьков), и сопоставить эти вариации с данными современных моделей ионного состава внешней ионосферы.

Результаты измерений. Сопоставление с модельными данными

На рисунке представлены вариации относитель-

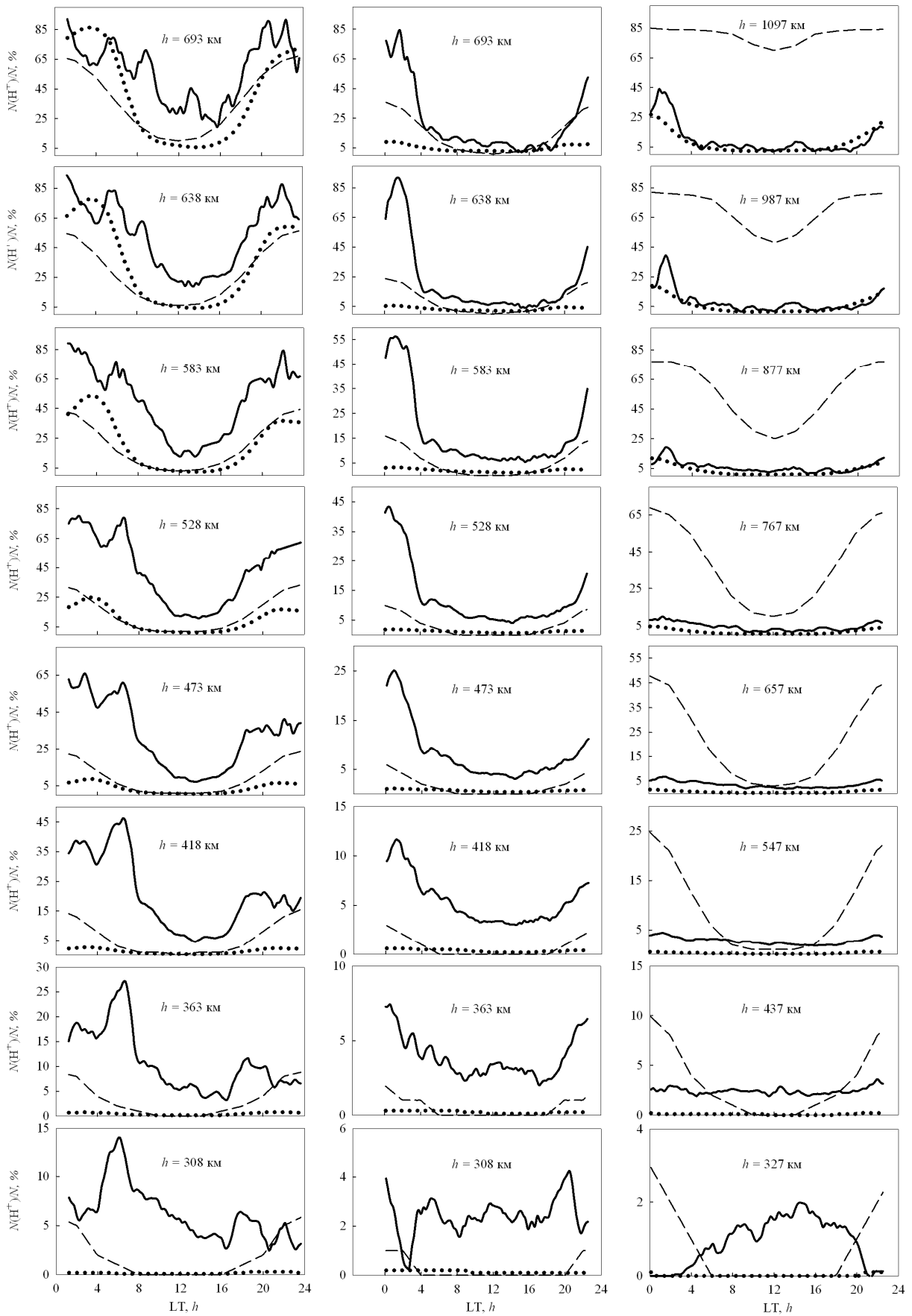
ной концентрации ионов водорода, полученные для 14 декабря 2009 г. (практически соответствует зимнему солнцестоянию в минимуме солнечной активности), 23 июня 2010 г. (летнее солнцестояние в минимуме солнечной активности) и 2 июля 2000 г. (дата близка к летнему солнцестоянию в максимуме солнечной активности). Данные харьковского радара НР сравнивались с вариациями, рассчитанными при помощи модели Данилова–Яичникова (модель ионного состава в предыдущих версиях модели IRI) [Danilov, Yaichnikov, 1985] и при помощи модели TTS (новая эмпирическая модель, используемая по умолчанию в последней версии модели IRI-2007) [Triskova et al., 2003].

Детальный анализ вариаций параметра $N(H^+)/N$ позволяет выделить следующие особенности.

Для 14 декабря 2009 г. практически на всех рассматриваемых высотах экспериментальные значения превосходят соответствующие модельные значения, предоставляемые обеими моделями, причем хорошо видно, что на высотах ниже 583 км данные модели Данилова–Яичникова лучше согласуются с результатами измерений, чем данные модели TTS, а выше имеет место обратная картина. В целом следует отметить весьма значительные расхождения между экспериментальными и модельными вариациями. Так, для высоты 528 км в 07:00 LT экспериментальное значение $N(H^+)/N \approx 80\%$, а обе модели дают приблизительно одинаковые значения – менее 10 %.

Для 23 июня 2010 г. в дневное время расхождение между экспериментальными и модельными данными имеют гораздо меньшие значения, однако в ночное время модельные данные существенно занижены. Например, на высоте 638 км в 02:00 LT экспериментальное значение величины $N(H^+)/N$ достигает 90 %; модельные значения равны 25 % и 5 % для моделей Данилова–Яичникова и TTS соответственно.

Для 2 июля 2000 г. наблюдаются радикальные отличия результатов эксперимента и данных модели Данилова–Яичникова, что, по-видимому, объясняется тем, что база эмпирических данных, на которой создавалась эта модель, была составлена исключительно из результатов спутниковых измерений, полученных в период низкой и средней солнечной ак-



Суточные вариации относительного содержания ионов водорода на указанных высотах для 14 декабря 2009 г. (а), 23 июня 2010 г. (б) и 2 июля 2000 г. (в). Сплошной линией показаны результаты наблюдений с помощью радара НР (г. Харьков), штриховой линией – данные модели Данилова–Яичникова, точками – вариации, рассчитанные с помощью современной модели TTS (IRI-2007).

тивности. В то же время, в целом отмечается хорошее согласие результатов эксперимента и данных модели TTS, однако модель не отображает резкого возрастания относительной концентрации ионов водорода в послеполуночные часы.

Следует заметить, что в отличие от модели Данилова–Яичникова модель TTS дает несимметричные относительно полудня вариации параметра $N(H^+)/N$, что лучше согласуется с результатами наблюдений. Также очевидно, что ни одна из моделей в общем случае не отображает характерные особенности суточных вариаций относительной концентрации ионов водорода в ионосфере над Харьковом ни качественно, ни количественно.

Выводы

1. Проведено сопоставление вариаций относительной концентрации ионов водорода, полученных с помощью харьковского радара HP, с данными международных моделей ионного состава внешней ионосферы.

2. Выявлены существенные количественные и качественные различия в поведении экспериментальных и модельных вариаций параметра $N(H^+)/N$. Отмечено, что в отдельных случаях более достоверные данные предоставляет более старая версия модели – модель Данилова–Яичникова.

3. Установлено, что в общем случае ни одна из существующих глобальных эмпирических моделей ионного состава внешней ионосферы не может использоваться для расчета вариаций относительной концентрации ионов водорода в ионосфере над Харьковом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авдюшин О.И., Данилов А.Д. Ионосферно-магнитная служба. Современное состояние, задачи и перспективы. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 243 с.

Иванов-Холодный Г.С., Михайлов А.В. Прогнозирование состояния ионосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 190 с.

Bilitza D., Reinisch B. International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters // *Adv. Space Res.* 2008. V. 42. P. 599–609.

Danilov A., Yaichnikov A. A new model of the ion composition at 75 km to 1000 km for IRI // *Adv. Space Res.* 1985. V. 5. P. 75–79.

Hysell D.L., Rodrigues F.S., Chau J.L., Huba J.D. Full profile incoherent scatter analysis at Jicamarca // *Ann. Geophys.* 2008. V. 26. P. 59–75.

Triskova L., Truhlik V., Smilauer J. An empirical model of ion composition in the outer ionosphere // *Adv. Space Res.* 2003. V. 31, N 3. P. 653–663.

Truhlik V., Triskova L., and Smilauer J. Manifestation of solar activity in the global topside ion composition – a study based on satellite data // *Ann. Geophys.* 2005. V. 23. P. 2511–2517.

Институт ионосферы НАН и МОН Украины Украины, Харьков