

УДК 550.388,
520.16+523.31+523.9:520.86

И. Ф. ДОМНИН¹, Д. В. КОТОВ¹, Л. Ф. ЧЕРНОГОР^{1,2}

¹Институт ионосферы НАН и МОНМС Украины,
ул. Краснознаменная, 16, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: dmitrykotoff@gmail.com

²Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина
E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ ВОДОРОДА ВО ВНЕШНЕЙ ИОНОСФЕРЕ НАД УКРАИНОЙ ПО ДАННЫМ МЕТОДА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ И ИХ СОПОСТАВЛЕНИЕ С ДАННЫМИ МОДЕЛИ IRI-2012. 1. МИНИМУМ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Приведены результаты наблюдений с помощью радара некогерентного рассеяния Института ионосферы (г. Харьков) высотно-временных вариаций относительной концентрации ионов водорода в дни весеннего и осеннего равноденствий, зимнего и летнего солнцестояний в период минимума 23-го цикла солнечной активности. Проведено сравнение наблюдавшихся вариаций с данными модели IRI-2012. Установлено, что вариации относительной концентрации ионов водорода над Украиной качественно и количественно отличаются от модельных вариаций.

Ключевые слова: метод некогерентного рассеяния радиоволн, ионосферная плазма, ионный состав, относительная концентрация ионов водорода

1. Введение

Экспериментальные и теоретические исследования вариаций относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$ при помощи радаров некогерентного рассеяния (НР) и спутниковых методов проводятся с середины 60-х гг. прошлого века [1–6]. Однако любые новые результаты таких исследований продолжают оставаться востребованными, поскольку представляют ценность как для дальнейшего развития фундаментальных представлений о комплексном взаимодействии подсистем геокосмоса, так и для успешного решения ряда прикладных задач (в частности, создания современных моделей ионосферы и прогнозирования космической погоды [7–9]).

Следует отметить, что основной массив экспериментальных данных о вариациях параметра $N(H^+)/N$, использованный для построения существующих моделей ионного состава внешней ионосферы, получен с помощью спутниковых измерений [10, 11]. Существенным недостатком таких измерений является невозможность получать непрерывные суточные вариации ионного состава для области ионосферы над заданным пунктом. Суточные вариации по сути “сшиваются” из данных, собранных для различных интервалов времени, определяемых параметрами орбиты спутника.

Общий интервал сбора необходимых данных при этом достигает 80 дней [11]. За этот период состояние геокосмоса в целом и ионосферы в частности существенно изменяется даже в спокойных гелиогеофизических условиях [8, 12]. Вследствие этого для полученных подобным образом суточных и сезонных вариаций отсутствует четкая временная физическая преемственность. На основании таких данных невозможно корректно исследовать развитие процессов в ионосфере во времени над заданным пунктом.

Непрерывные экспериментальные данные об ионном составе внешней ионосферы для конкретного региона могут предоставить только исследовательские комплексы НР [1, 2].

Цель настоящей работы – представить вариации параметра $N(H^+)/N$, полученные с помощью радара НР Института ионосферы НАН и МОНМС Украины для четырех сезонов в период минимума 23-го цикла солнечной активности, а также сравнить экспериментальные данные с данными модели International Reference Ionosphere (IRI) - 2012 [13, 14].

2. Состояние космической погоды

Выбранные для анализа данные соответствовали минимуму солнечной активности. На протяжении всего рассматриваемого периода индекс $F_{10.7}$ (оп-

ределяющий плотность потока радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см и измеряемый в единицах $10^{-22} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$) изменялся очень слабо: 20 декабря 2007 г. $F_{10.7} = 73$; 25 марта 2009 г. $F_{10.7} = 69$; 30 сентября 2009 г. $F_{10.7} = 72$; 23 июня 2010 г. $F_{10.7} = 74$.

Геоманнитная обстановка в выбранные дни была спокойной. Планетарный индекс геомагнитной активности K_p не превышал значения 4, а индекс A_p был меньше 13 (дни, когда $A_p < 30$, считаются магнитоспокойными).

Таким образом, состояние космической погоды в рассматриваемые дни можно считать спокойным.

3. Средства и методы

Радар Института ионосферы является одним из четырех (среди более чем десяти существующих) радаров НР в мире, которые могут проводить измерения ионного состава во внешней ионосфере. Следует отметить, что остальные три радара (в Хикамарка (Перу), Аресибо (Пуэрто-Рико) и Миллстоун Хилле (США)) расположены в регионах с существенно отличающимися геомагнитными координатами и значениями параметра Мак-Илвейна [1, 12]. Как результат, объемы трубок геомагнитного поля, проходящих над всеми упомянутыми радарными, отличаются весьма значительно (по сравнению с объемом трубки над Харьковом объемы трубок над Хикамарка, Аресибо и Миллстоун Хиллом соответственно меньше в 12 раз, меньше в 4.6 раза и больше в 3.5 раза) [12]. Существенно отличаются также длины трубок геомагнитного поля, высоты их вершин и условия на концах трубок [12]. Вследствие этого распределения ионов H^+ в ионосфере над указанными радарными значительно отличаются. Таким образом, данные радара Института ионосферы являются уникальными. Лишь этот радар позволяет наблюдать вариации концентрации ионов H^+ в условиях, характерных для среднеширотной ионосферы.

Радар расположен в Ионосферной обсерватории Института ионосферы ($49^\circ 36' \text{ с. ш.}, 36^\circ 18' \text{ в. д.}$) [2]. Основные параметры радара следующие: частота – 158 МГц, диаметр зенитной параболической антенны – 100 м, эффективная площадь антенны – около 3700 м^2 , коэффициент усиления антенны – около 10^4 , ширина основного лепестка диаграммы направленности – около 1° , импульсная и средняя мощности радиопередающего устройства дости-

гают 3.6 МВт и 100 кВт соответственно, длительность излучаемого импульса $T_p \approx 660 \text{ мкс}$, частота следования импульсов $F = 24.4 \text{ Гц}$. В режиме измерений ионного состава во внешней ионосфере полоса пропускания фильтра радиоприемного устройства составляет 9.5 кГц.

Относительная концентрация ионов водорода, как и другие параметры ионосферной плазмы, в методе НР определяется в результате решения обратной радиофизической задачи [1]. Исходными данными являются измеренные автокорреляционные функции (АКФ) НР сигнала, а решение обратной задачи состоит в сравнении измеренной АКФ с заранее рассчитанными теоретическими функциями с помощью критерия наименьшего среднеквадратического отклонения.

При анализе экспериментальных данных, полученных для внешней ионосферы, возникают дополнительные сложности. Прежде всего, на высотах внешней ионосферы отношение сигнал/шум зачастую гораздо меньше единицы (вследствие уменьшения концентрации электронов и увеличения расстояния до исследуемой области), что приводит к необходимости временного усреднения исходных экспериментальных данных на большем интервале времени (в настоящей работе измеренные АКФ НР сигнала усреднялись на интервале 60 мин). Учет возможной многокомпонентности ионного состава увеличивает число параметров плазмы, которые необходимо получить в результате решения обратной радиофизической задачи. Это обстоятельство не только существенно увеличивает время анализа данных, но и, в отдельных случаях, может привести к значительным погрешностям получаемых результатов вследствие неудачного выбора шагов поиска параметров плазмы [15]. В настоящей работе при анализе экспериментальных данных использовались обоснованные авторами оптимальные значения шагов поиска [15]. Впервые при анализе данных радара Института ионосферы наряду с традиционно используемой одномерной функцией неопределенности были применены двумерная функция неопределенности АКФ НР сигнала [16] и оригинальная методика, позволяющая существенно повысить достоверность результатов оценивания относительных концентраций ионов водорода и гелия [17].

Погрешность оценок параметра $N(\text{H}^+)/N$ сложным образом зависит от состояния ионо-

сферы, и она оценивалась по результатам проведения статистического моделирования, которое предусматривало многократное решение прямой радиофизической задачи в соответствии с предложенным в [18] способом. Рассчитанные доверительные интервалы (для доверительной вероятности 0.997) показаны на графиках, представляющих результаты наблюдений.

4. Результаты наблюдений

Временные вариации относительной концентрации ионов водорода на определенных высотах, наблюдавшиеся с помощью радара Института ионосферы в выбранные дни (близкие к равноденствиям и солнцестояниям), представлены на рис. 1 и рис. 2. Рассмотрим основные особенности вариаций.

Во все сезоны значение параметра $N(\text{H}^+)/N$ увеличивается с ростом высоты. Максимальные

значения $N(\text{H}^+)/N$ регистрируются в послеполуночные часы, минимальные – в околополуденное время. Общей особенностью вариаций является отсутствие выраженной связи момента начала уменьшения (увеличения) значений параметра $N(\text{H}^+)/N$ со временем восхода (захода) Солнца как над обсерваторией, так и в магнитосопряженной точке (МСТ). Заметна асимметрия суточных вариаций относительно 12:00 (здесь и далее приводится местное солнечное время (LT)).

Форма суточных вариаций $N(\text{H}^+)/N$ в разные сезоны имеет свои особенности. Так, в летний сезон наблюдается четко выраженный максимум (около 01:30), при этом значение $N(\text{H}^+)/N$ на высоте 606 км достигает 70 %, хотя на протяжении большей части суток (примерно с 04:00 до 21:00) $N(\text{H}^+)/N$ не превышает 10 %. Зимой,

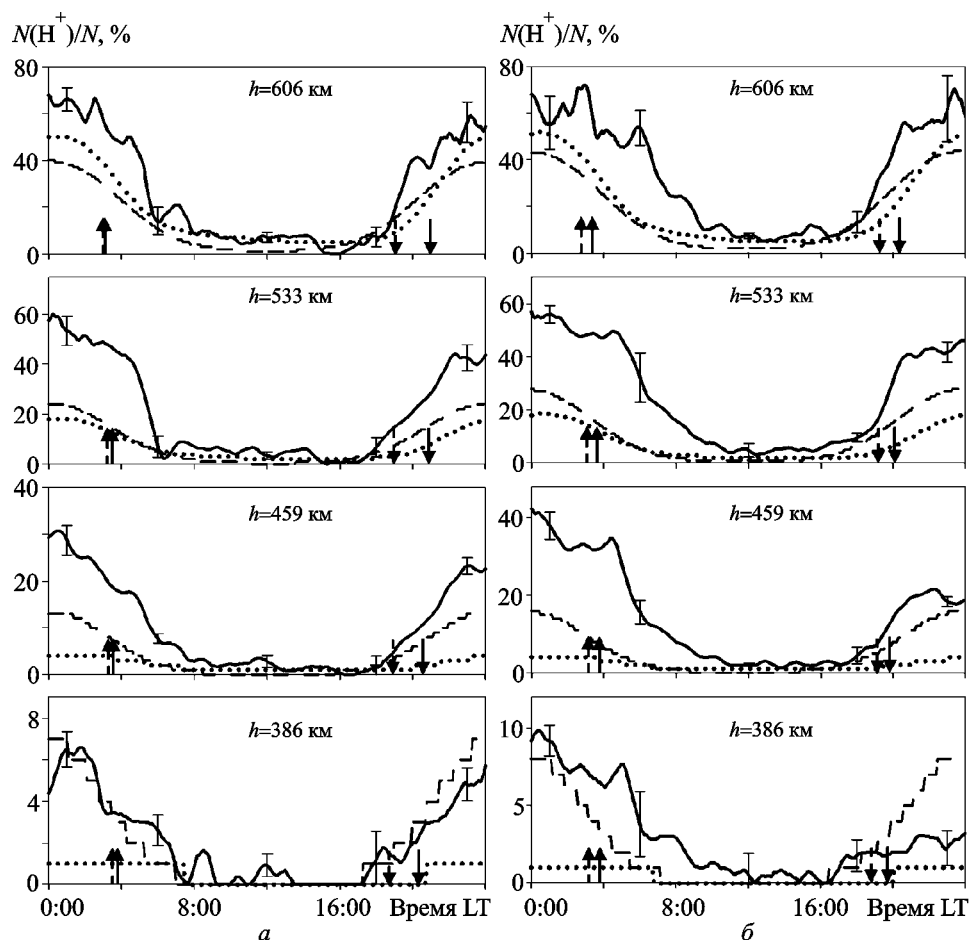


Рис. 1. Высотно-временные вариации параметра $N(\text{H}^+)/N$ 25 марта 2009 г. (а) и 30 сентября 2009 г. (б). На этом и следующем рисунке сплошной линией показаны экспериментальные данные, точками – данные модели TTS, штриховой линией – данные модели Данилова–Яичникова. Сплошными стрелками показаны моменты восхода и заката Солнца на данной высоте над Ионосферной обсерваторией, штриховыми стрелками – соответствующие моменты над МСТ

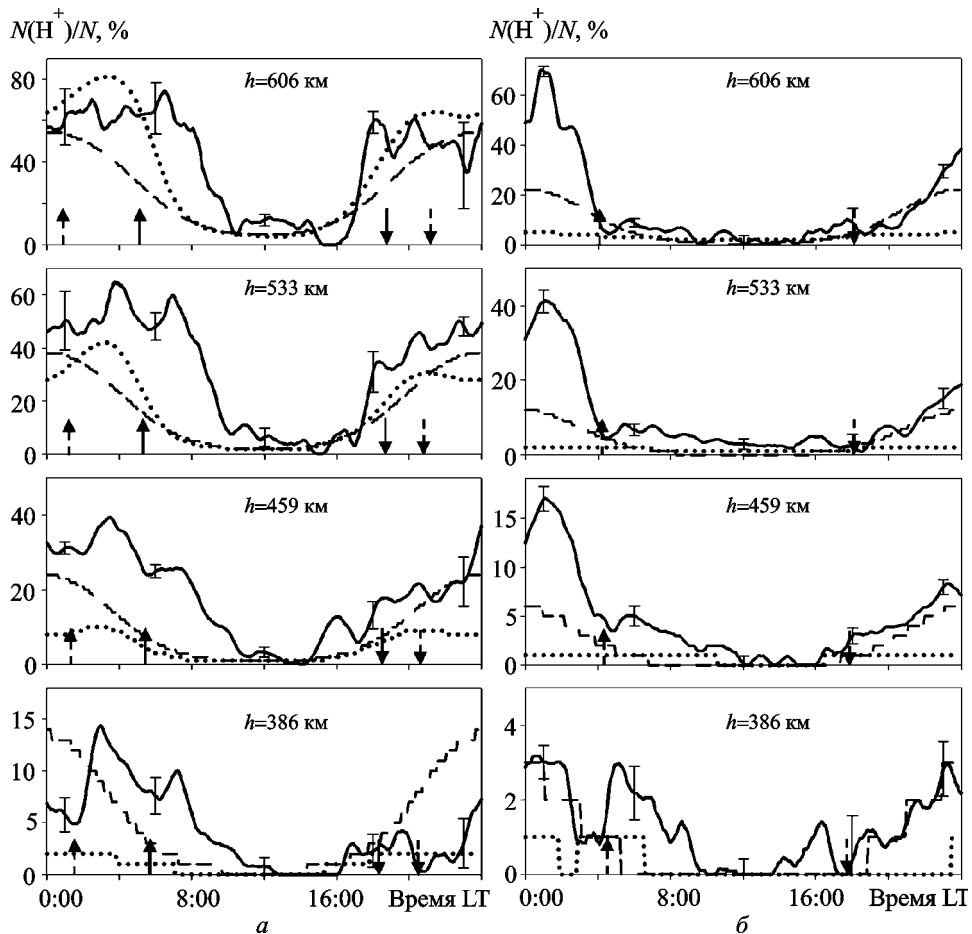


Рис. 2. Высотно-временные вариации параметра $N(H^+)/N$ 21 декабря 2007 г. (а) и 23 июня 2010 г. (б)

напротив, отсутствует выраженный суточный максимум, а на той же высоте 606 км значения $N(H^+)/N$ превышают 10 % в течение большей части суток (за исключением периода примерно с 10:00 до 17:00), хотя максимальное значение $N(H^+)/N$, как и в летний сезон, составляет примерно 70 %. В дни, близкие к равноденствиям, максимальное значение $N(H^+)/N$ на высоте 606 км также достигает примерно 70 %. Вариации в осенний и весенний сезоны имеют сходный характер, однако 30 сентября 2009 г. изменения параметра $N(H^+)/N$ в течение суток более монотонны, чем 25 марта 2010 г.

Высотные вариации величины $N(H^+)/N$ также зависят от сезона. Так, например, 23 июня 2010 г. в 01:30 значения $N(H^+)/N$ на высотах 459, 533 и 606 км примерно равны 17, 40 и 70 % соответственно. А 20 декабря 2007 г. значения $N(H^+)/N$ на тех же высотах и в то же время составляют соответственно 30, 50 и 65 %.

5. Сравнение с данными модели IRI-2012

Модель IRI, созданная как совместный проект Международного научного радиосоюза (URSI) и Комитета по исследованию космического пространства (COSPAR), фактически является международным климатологическим стандартом ионосферы [13].

В качестве модели ионного состава внешней ионосферы до появления версии IRI-2007 использовалась модель Данилова–Яичникова, построенная по результатам ракетных исследований и спутниковых измерений (“Электрон-2,-4”, S3-1), соответствующих низкой и средней солнечной активности, и дополненная данными ограниченного количества измерений методом HP [10]. Ионный состав описывался как функция высоты, широты, зенитного угла Солнца, сезона, времени и солнечной активности. В версии IRI-2007 появилась альтернативная модель ионного состава TTS, построенная по результатам анализа данных спутников

Atmosphere Explorer-C, - E и “Интеркосмос-24” [11]. Входные параметры модели такие же, как и у модели Данилова–Яичникова.

Вариации параметра $N(H^+)/N$ рассчитанные для рассматриваемых дат и высот с использованием моделей Данилова–Яичникова и TTS, представлены на рис. 1 и рис. 2. Сравнение данных радара Института ионосферы с модельными вариациями выявило следующие основные отличия.

Для всех сезонов для большинства рассматриваемых высот модельные значения параметра $N(H^+)/N$ ниже, чем результаты эксперимента. Абсолютная величина наблюдаемых различий минимальна в околополуденное время и возрастает при переходе к ночным условиям. Так, например, 23 июня 2010 г. в 01:30 на высоте 533 км экспериментальная оценка параметра $N(H^+)/N \approx 40\%$, тогда как соответствующее значение, полученные с помощью модели Данилова–Яичникова равно 10%, а модель TTS дает всего лишь 2%. Подобная картина наблюдается и для других высот. Следует заметить, что для высот ниже 606 км для всех сезонов, кроме зимнего, расхождения с данными эксперимента меньше в случае применения модели Данилова–Яичникова, а на высоте 606 км более близкие к результатам эксперимента значения $N(H^+)/N$ дает модель TTS (за исключением летнего сезона).

Экспериментальные вариации параметра $N(H^+)/N$ являются значительно менее монотонными по сравнению с модельными вариациями. Так, например, в весенний сезон максимальное значение $N(H^+)/N$ на высоте 459 км равно примерно 30%, а минимальное – 0%. Соответствующие значения в модели Данилова–Яичникова составляют 13 и 0%, в модели TTS – 4 и 1%.

Модельные вариации являются также значительно более симметричными относительно полудня.

В целом можно говорить о существенных качественных и количественных отличиях между результатами эксперимента по измерению сезонных высотно-временных вариаций параметра $N(H^+)/N$ и данными моделей ионного состава, входящих в модель IRI-2012.

6. Обсуждение

Представленные результаты наблюдений и отмеченные особенности вариаций параметра $N(H^+)/N$ качественно соответствуют существующим физи-

ческим представлениям о поведении ионов водорода во внешней ионосфере. Согласно этим представлениям в дневное время относительная концентрация ионов водорода на рассматриваемых высотах низкая (не более 10%), поскольку основным источником ионов водорода является не фотоионизация нейтральных атомов водорода, а так называемая резонансная передача заряда от ионов кислорода к атомам водорода [12].

Образовавшиеся в результате этой реакции ионы H^+ диффундируют вдоль силовых линий геомагнитного поля и накапливаются в области вершины трубки геомагнитного поля, проходящей сквозь данную область ионосферы. В ночные часы, когда процессы фотоионизации в рассматриваемой области приостанавливаются, концентрация электронов и температуры заряженных частиц уменьшаются, что приводит к снижению давления плазмы у основания трубки геомагнитного поля, возникновению нисходящих потоков ионов водорода и соответствующему увеличению их относительной концентрации на рассматриваемых высотах [19].

Такая схема процессов позволяет объяснить наблюдаемое увеличение значений параметра $N(H^+)/N$ с ростом высоты и большие по сравнению с дневными значениями относительные концентрации ионов водорода в вечерние и ночные часы.

Отмеченное отсутствие четкой связи между моментом начала уменьшения (увеличения) значений параметра $N(H^+)/N$ со временем восхода (захода) Солнца над Ионосферной обсерваторией и в МСТ можно объяснить тем, что динамика ионосферно-протоносферных потоков плазмы зависит не только от уровня освещенности рассматриваемой области ионосферы, но и в значительной степени от распределения светового потока вдоль всей трубки геомагнитного поля, проходящей через эту область. Поскольку на различных высотах и в регионах с существенно отличающимся географическим положением (а вершина трубки магнитного поля, проходящей над харьковской Ионосферной обсерваторией, находится на высоте примерно одного радиуса Земли над экватором) время восходов и заходов, а также интенсивность солнечного излучения различны, результирующее пространственно-временное распределение освещенности внутри трубки геомагнитного поля оказывается достаточно сложным. Одним из факторов, влияющих на рас-

пределение ионов водорода, являются также ветры в нейтральной атмосфере [5, 20].

Систематическое, значительно превышающее уровень погрешностей измерений, занижение значений параметра $N(\text{H}^+)/N$ в моделях ионного состава по сравнению с данными эксперимента должно стать предметом отдельного исследования. Как представляется, возможным объяснением наблюдаемых различий может быть неустранимое смещение оценок параметра $N(\text{H}^+)/N$, получаемых с помощью спутниковых измерений. Дело в том, что ионы водорода могут достаточно интенсивно исчезать, передавая свой заряд атомам кислорода [12]. Скорость такой реакции пропорциональна произведению абсолютных концентраций ионов водорода и атомов кислорода [12]. Есть основания полагать, что в условиях измерений ионного состава на спутниках (главным образом вследствие того, что скорости движения спутника относительно атомов кислорода в несколько раз превышает скорость их теплового движения) скорость исчезновения ионов водорода непосредственно в измерителе ионного состава может оказаться существенно большей, чем соответствующая скорость в окружающей невозмущенной ионосферной плазме. Вследствие этого значительная часть попавших в измеритель ионов H^+ может передать свой заряд присутствующим там атомам кислорода. Как результат, возможно занижение оценок параметра $N(\text{H}^+)/N$ и соответствующее завышение измеряемых значений $N(\text{O}^+)/N$. К аналогичным последствиям может привести и увеличение концентрации ионов O^+ в измерителе, связанное с малой (по сравнению со скоростью движения спутника) скоростью их теплового движения.

В пользу гипотезы о систематическом занижении спутниковых оценок параметра $N(\text{H}^+)/N$ свидетельствует несколько лучшее согласие результатов эксперимента с данными модели Данилова–Яичникова, в которой, в отличие от модели TTS, частично использовались данные, полученные с помощью метода НР.

Таким образом, систематические качественные и количественные отличия между результатами эксперимента по измерению сезонных высотно-временных вариаций параметра $N(\text{H}^+)/N$ и данными моделей ионного состава, входящих в модель IRI-2012, свидетельствуют о неприемлемости последних на современном этапе

для прогнозирования вариаций относительной концентрации ионов водорода в ионосфере над регионом Центральной Европы.

7. Выводы

1. С помощью радара НР Института ионосферы получены высотно-временные вариации относительной концентрации ионов водорода в течение четырех сезонов в период минимума 23-го цикла солнечной активности. Выявлены общие черты и характерные для отдельных сезонов особенности вариаций, обсуждены наиболее вероятные причины этих особенностей.

2. Проведено сравнение экспериментально полученных вариаций с данными моделей Данилова–Яичникова и TTS, входящих в состав международной модели ионосферы IRI-2012. Установлено, что для большинства рассмотренных условий в ночные и вечерние часы модельные оценки параметра $N(\text{H}^+)/N$ существенно занижены по сравнению с результатами эксперимента. Предложено возможное объяснение причин такого занижения.

3. Необходимым является создание эмпирической модели вариаций относительной концентрации ионов водорода во внешней ионосфере над регионом Центральной Европы по данным радара НР Института ионосферы.

Авторы благодарны И. Б. Склярору, С. В. Черняеву и А. Ф. Кононенко за помощь в проведении измерений с использованием радара НР Института ионосферы, а также А. В. Богомазу и М. Н. Сюсюк за содействие в анализе экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эванс Дж. В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн // ТИИЭР. – 1969. – Т. 8, № 4. – С. 139–175.
2. Таран В. И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэронавтика. – 2001. – Т. 41, № 5. – С. 659–666.
3. Chandra S., Troy, Jr., B. E., Donley J. L., and Bourdeau R. E. OGO 4 observations of ion composition and temperatures in the topside ionosphere // J. Geophys. Res. – 1970. – Vol. 75, No. 19. – P. 3867–3878.
4. Hanson W.B., Sanatani S., Zuccaro D., and Flowerday T.W. Plasma measurement with the retarding potential analyzer on OGO-VI // J. Geophys. Res. – 1970. – Vol. 75, No. 28. – P. 5483–5501.

5. Bankov L., Heelis R., Parrot M., Berthelier J., Marinov P. and Vassileva A. WN4 effect on longitudinal distribution of different ion species in the topside ionosphere at low latitudes by means of DEMETER, DMSP-F13 and DMSP-F15 data // *Ann. Geophys.* – 2009. – Vol. 27, No. 7. – P. 2893–2902.
 6. Гладышев В. А., Щекотов А. Ю., Ягова Н. В., Бертелье Ж.-Ж., Парро М., Акенътиева О. С., Баранский Л. Н., Федоров Е. Н., Мулярчик Т. М., Молчанов О. А. Концентрация ионов в верхней ионосфере по измерениям на спутнике DEMETER. Морфология и зависимость от солнечной и геомагнитной активности // *Космические исследования.* – 2012. – Т.50, № 2. – С. 109–121.
 7. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2003. – Т. 8, № 1. – С. 59–106.
 8. Иванов-Холодный Г. С., Михайлов А. В. Прогнозирование состояния ионосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 190 с.
 9. Авдюшин О. И., Данилов А. Д. Ионосферно-магнитная служба. Современное состояние, задачи и перспективы. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 243 с.
 10. Danilov A., and Yaichnikov A. A new model of the ion composition at 75 km to 1000 km for IRI // *Adv. Space Res.* – 1985. – Vol. 5, No. 3. – P. 75–79.
 11. Triskova L., Truhlik V., and Smilauer J. An empirical model of ion composition in the outer ionosphere // *Adv. Space Res.* – 2003. – Vol. 31, No. 3. – P. 653–663.
 12. Брюнелли Б. Е., Намаладзе А. А. Физика ионосферы. – М.: Наука, 1988. – 528 с.
 13. Bilitza D. and Reinisch B. W. International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters // *Adv. Space Res.* – 2008. – Vol. 42, No. 4. – P. 599–609.
 14. Сайт модели International Reference Ionosphere <www.iri.gsfc.nasa.gov>.
 15. Домнин И. Ф., Котов Д. В., Черногор Л. Ф. Оптимизация определения параметров ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния // *Нелинейный мир.* – 2012. – № 6. – С. 380–386.
 16. Сюсюк М. Н., Котов Д. В., Богомаз А. В. Моделирование двумерной функции неопределенности радара некогерентного рассеяния // *Вестник Национального технического университета “ХПИ”, тематический выпуск “Радиофизика и ионосфера”.* – № 44. – С. 81–84.
 17. Котов Д. В., Черногор Л. Ф. Об особенностях наблюдения ионов гелия с помощью радаров некогерентного рассеяния // *Сборник Трудов XII Конференции молодых ученых “Взаимодействие полей и излучения с веществом” БШФФ-2011.* – Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН. – 2011. – С. 199–201.
 18. Пат. 42311 Україна, МПК G015 13/95 Спосіб імітації суміші шумоподібного сигналу та завади із заданими спектрами. В. А. Пуляев, А. В. Богомаз, Д. В. Котов. № заявки 4200901462; Заявл. 20.02.2009; Опубл. 25.06.2009. – Бюл. № 12/2009.
 19. Richards P. G., Schunk R. W., and Sojka J. J. Large-Scale Counterstreaming of H⁺ and He⁺ Along Plasmaspheric Flux Tubes // *J. Geophys. Res.* – 1983. – Vol. 88, No. A10. – P. 7879–7886.
 20. Heelis R. A. and Hanson W. B. Interhemispheric transport induced by neutral zonal winds in the F-region // *J. Geophys. Res.* – 1980. – Vol. 85, No. A6. – P. 3045–3051.
- І. Ф. Домнін¹, Д. В. Котов¹, Л. Ф. Черногор^{1,2}
- ¹Інститут іоносфери НАН і МОНМС України, вул. Червонопрапорна, 16, м. Харків, 61002, Україна
- ²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна
- СЕЗОННІ ВАРІАЦІЇ ВІДНОСНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ ВОДНЮ У ЗОВНІШНІЙ ІОНОСФЕРІ НАД УКРАЇНОЮ ЗА ДАНИМИ МЕТОДУ НЕКОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЯННЯ ТА ЇХ ПОРІВНЯННЯ З ДАНИМИ МОДЕЛІ IRI-2012.
1. МІНІМУМ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ
- Наведено результати спостережень за допомогою радара некогерентного розсіяння Інституту іоносфери (м. Харків) висотно-часових варіацій відносної концентрації іонів водню у дні весняного та осіннього рівнодень, зимового та літнього сонцестоянь під час мінімуму 23-го циклу сонячної активності. Виконано порівняння спостережених варіацій з даними моделі IRI-2012. Встановлено, що варіації відносної концентрації іонів водню над Україною якісно та кількісно відрізняються від модельних варіацій.
- I. F. Domnin¹, D. V. Kotov¹, and L. F. Chernogor^{1,2}
- ¹Institute of Ionosphere, National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, 16, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine
- ²V. Kazarin National University of Kharkiv, 4, Svoboda Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine
- SEASONAL VARIATIONS OF HYDROGEN IONS FRACTION IN THE TOPSIDE IONOSPHERE OVER UKRAINE ACCORDING TO THE INCOHERENT SCATTERING TECHNIQUE DATA AND COMPARISON WITH IRI-2012 MODEL DATA.
1. SOLAR ACTIVITY MINIMUM
- The results of observations of altitude and temporal variations in the hydrogen ions fraction for the vernal and autumnal equinoxes, winter and summer solstices during the minimum of the 23rd solar activity cycle using the incoherent scatter radar of the Institute of Ionosphere, Kharkiv, are presented. The observed variations are compared with the IRI-2012 data model. It is found that variations in the hydrogen ions fraction over Ukraine are different both qualitatively and quantitatively from the model variations.

Стаття постуила в редакцію 06.07.2012