

Л.Я. ЕМЕЛЬЯНОВ, канд. физ.-мат. наук, зав. отделом, Институт ионосферы, Харьков

А.А. КОНОНЕНКО, м.н.с., Институт ионосферы, Харьков

СЕЗОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ИОНОЗОНДА “БАЗИС” ИНСТИТУТА ИОНОСФЕРЫ

У роботі наведено результати сезонних спостережень іоносфери методом вертикального зондування за допомогою іонозонда “Базис” (Харків). Проведено їх порівняння з даними дигізондів DPS-4 в Прухоніце (Чехія) і в Дурбесі (Бельгія), що розташовані на близькій широті.

В работе представлены результаты сезонных наблюдений ионосферы методом вертикального зондирования с помощью ионозонда “Базис” (Харьков). Проведено их сравнение с данными дигизондов DPS-4 в Прухонице (Чехия) и Дурбесе (Бельгия), расположенных на близкой широте.

The results of seasonal ionospheric observations by the vertical sounding method with ionosonde “Bazis” (Kharkiv) are presented. The comparison of the Kharkiv ionosonde data with ones of DPS-4 digisondes in Pruhonice (Czech Republic) and Dourbes (Belgium) located at such latitudes have been carried out.

Введение. Для исследования ионосферы используются сложные технологические системы, такие как спутниковые навигационные системы (GPS, Galileo, ГЛОНАСС), наземные РЛС и др. Одним из наиболее распространенных инструментов наблюдения за изменением состояния ионосферы являются ионосферные станции (ионозонды) [см., например, 1–3]. В настоящее время территория земного шара охвачена сетью ионосферных станций разного типа, к которым относятся аналоговые ионозонды (АИС, IPS-42 и др.) и цифровые ионозонды (Digisondes) (“Парус”, DPS-4 и др.). Данные, полученные с их помощью, позволяют проводить диагностику ионосферы и прогнозировать её состояние.

Измеряемые несколькими (в том числе расположенными на близких широтах) станциями параметры ионосферы при одинаковых гелиофизических условиях могут иметь существенные отличия даже при спокойной ионосфере, что, в частности, вызвано несовпадением географических и геомагнитных полюсов. При возмущениях в ионосфере отличия, естественно, возрастают. Поэтому большой интерес представляет мониторинг ионосферы над конкретным регионом и изучение долготных эффектов в ионосфере.

В составе радара некогерентного рассеяния Института ионосферы используется ионозонд “Базис”, который находится вблизи г. Харькова (49.6° с.ш., 36.3° в.д.) и работает в режиме вертикального зондирования. В ряде случаев измерения параметров ионосферы с помощью ионозонда “Базис” осуществляются автономно.

Использование станции “Базис” для мониторинга ионосферы в составе сети ионозондов, расположенных, в том числе, на близких широтах, имеет большое практическое и научное значение.

Цель статьи – представление результатов сезонных наблюдений ионосферы с помощью ионозонда “Базис” обсерватории Института ионосферы (г. Харьков) и их сопоставление с данными ионосферных станций, расположенных на близкой широте.

Выбор ионосферных станций для анализа данных. На рис. 1 приведена европейская сеть ионозондов. На территории Украины расположено три ионозонда: в Харькове, Киеве и Симферополе. Их географические координаты различаются как по широте, так и по долготе. Сравнение ионосферных данных станций, расположенных на разных широтах, проводилось в работе [4]. Из рис. 1 видно, что наиболее подходящими для сравнения результатов ионосферных измерений с данными харьковской станции “Базис” являются станции в Прухонице (Чехия, 50.0° с.ш., 14.6° в.д.) и Дурбесе (Бельгия, 50.1° с.ш., 4.6° в.д.), расположенные практически на одной широте с харьковским ионозондом.

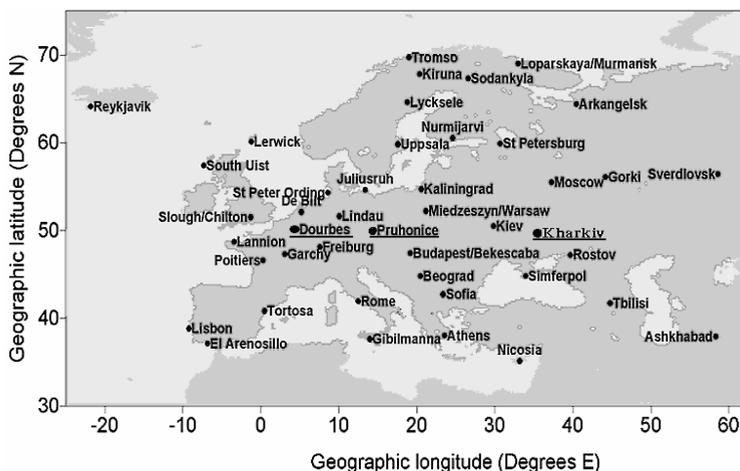


Рис. 1 – Сеть ионозондов в Европе

Ионозонд “Базис”. Автоматическая ионосферная станция “Базис” позволяет проводить вертикальное, наклонное и трансionoсферное импульсное зондирование. Её основные технические характеристики: диапазон рабочих частот в режиме вертикального зондирования 1 – 20 МГц; закон изменения частоты зондирования дискретный, линейно возрастающий с шагом 1 – 100 кГц; количество рабочих частот – 400; разрешающая способность по высоте – 3 км; частота повторения импульсов – 100 Гц;

длительность импульса – 100 мкс; импульсная мощность передатчика не менее 15 кВт; чувствительность приемника – 15 мкВ; количество импульсов, последовательно излучаемых на каждой из 400 частот, – 2^N , где $N = 0, 1, 2, \dots, 8$. Антенны – ромбические с вертикальным излучением: приемная и передающая антенны идентичны и расположены ортогонально. Каждая антенна состоит из двух ромбов. Малый ромб работает в диапазоне 6 – 20 МГц, а большой – 1 – 6 МГц.

Временные вариации критической частоты. Результаты ионосферных измерений показали, что при спокойном состоянии ионосферы ионограммы станции “Базис” и дигизондов DPS-4 в Прухонице и Дурбесе находятся в удовлетворительном согласии при учёте разницы местного времени, которая составляет 1 ч 27 мин и 2 ч 07 мин соответственно.

На рис. 2 представлены временные вариации критических частот слоя F2 (f_oF2), измеренные в Харькове, Прухонице [5] и Дурбесе [6] при спокойном состоянии ионосферы в периоды весеннего (а) и осеннего (б) равноденствия. Здесь же приведены индексы солнечной ($F_{10,7}$) и магнитной (A_p) активности для рассматриваемых дней.

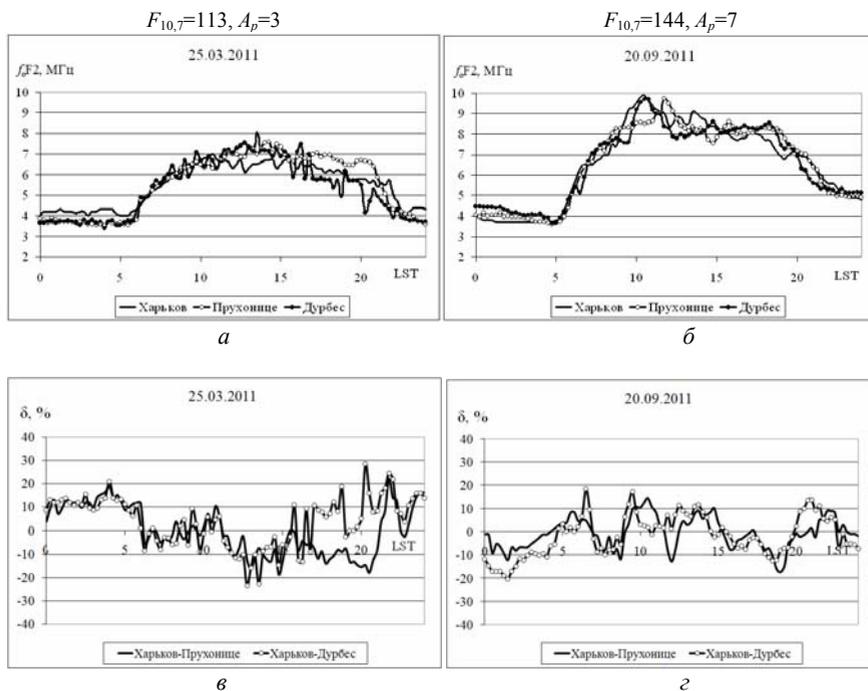


Рис. 2 – Временные вариации критических частот в периоды: а – весеннего и б – осеннего равноденствия и в, г – их относительных расхождений

Расчет относительных расхождений проводился по формуле

$$\delta = \frac{f_oF2_x - f_oF2_{П(Д)}}{f_oF2_x} \cdot 100\%,$$

где f_oF2_x , $f_oF2_{П}$, $f_oF2_{Д}$ – критические частоты слоя F2, измеренные ионосферными станциями Харькова, Прухонице и Дурбеса соответственно.

На рис. 3 представлены временные вариации критических частот f_oF2 , полученные в периоды летнего и зимнего солнцестояния.

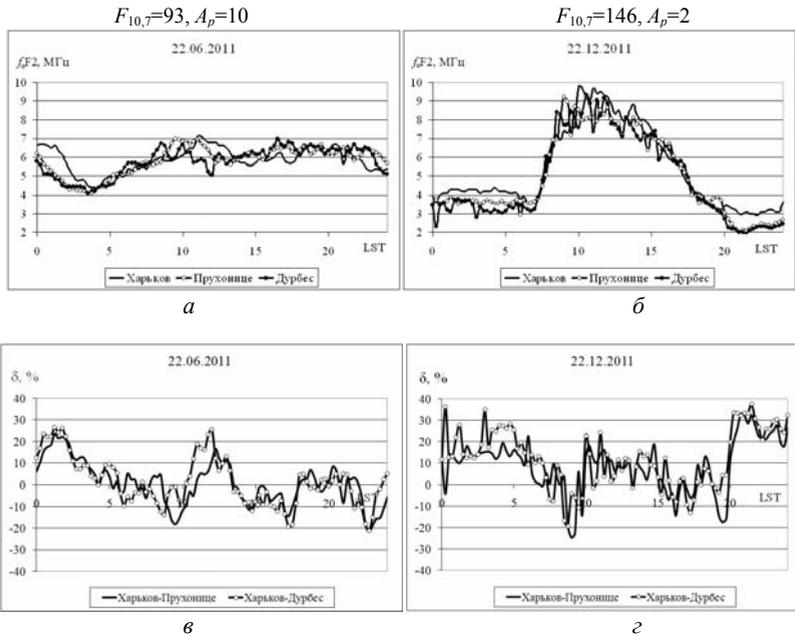


Рис. 3 – Временные вариации критических частот в период: а – летнего и б – зимнего солнцестояний в Харькове, Прухонице, Дурбесе и в, г – их относительных расхождений

В результате сравнения данных харьковской станции с данными дигизондов DPS-4, расположенных в Прухонице и Дурбесе, выяснено, что вариации критической частоты качественно подобны (см. рис. 2 и рис. 3). Однако в ночное и дневное время расхождения между значениями f_oF2 заметно возрастали, достигая 22 – 26% летом и 37% зимой. При этом различия между данными f_oF2 харьковской станции и станции в Дурбесе большие, чем между аналогичными данными ионозондов Харькова и

Прухонице, расстояние между которыми примерно в 1,5 раза меньше. Это свидетельствует о долготных эффектах в ионосфере. В утреннее и вечернее время вариации f_oF2 трёх станций имеют слабые отличия (на уровне статистического разброса данных) за исключением вариаций 25 марта 2011 г., когда различия имели разный знак и достигали +28% между данными Харькова и Дурбеса и -18% между данными Харькова и Прухонице (см. рис. 2, а и б).

Корреляционный анализ. На рис. 4 приведены взаимные корреляционные функции $r(\tau)$ критических частот f_oF2 , измеренных 25 марта, 22 июня, 20 сентября и 22 декабря 2011 г. в Харькове и Прухонице (сплошная линия), а также в Харькове и Дурбесе (линия с кружками).

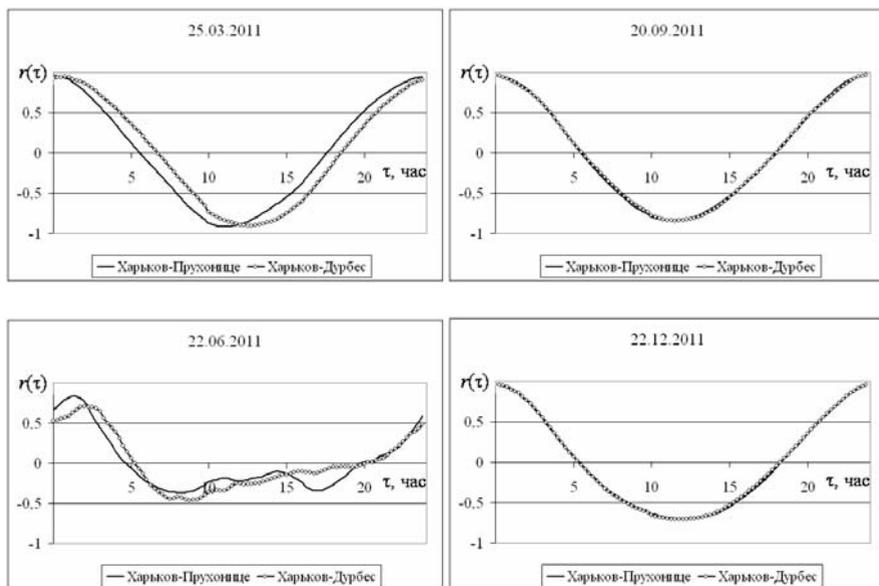


Рис. 4 – Взаимные корреляционные функции критических частот

Из рис. 4 видно, что вид нормированных взаимных корреляционных функций близок к гармоническому за исключением летнего дня 22 июня 2011 г., что, очевидно, связано со слабыми возмущениями в ионосфере ($A_p = 10$). Период корреляционной функции составляет 24 ч.

Выводы.

1. Использование ионозонда “Базис” целесообразно как в составе радара некогерентного рассеяния для его калибровки, так и в автономном режиме для определения вариаций ионосферных параметров в течение продолжительного периода времени без потребления значительных ресурсов.

2. В условиях невозмущённой ионосферы временные вариации критической частоты f_oF2 в Харькове, Прухонице и Дурбесе находятся в хорошем согласии в утреннее и вечернее время. Днём и ночью отличия f_oF2 составляют до 10 – 15% (в отдельных случаях до 26%), а зимой – до 30% и выше (в отдельных случаях до 37%), что соответствует существенному отличию вычисляемых значений концентрации электронов – до 70%.

3. Различия между данными f_oF2 харьковской станции и станции в Дурбесе больше, чем между аналогичными данными ионозондов Харькова и Прухонице, расстояния между которыми примерно в 1,5 раза меньше, что свидетельствует о долготных эффектах в ионосфере.

4. Анализ взаимной корреляции критических частот f_oF2 , измеренных с помощью ионозондов в Харькове и Прухонице, а также в Харькове и Дурбесе, показал, что при отсутствии возмущений в ионосфере вид нормированных взаимных корреляционных функций f_oF2 близок к гармоническому с периодом 24 ч. При возникновении слабых возмущений в ионосфере ($A_p = 10$) взаимная корреляционная функция критических частот, измеренных ионозондами в Харькове и Прухонице, заметно искажалась. Подобные искажения имели место и для взаимной корреляционной функции критических частот, измеренных ионозондами в Харькове и Дурбесе.

5. Ионозод “Базис” позволяет эффективно вести мониторинг ионосферы, работая в сети ионозондов и дополняя их данные информацией, характеризующей состояние ионосферы над Украиной.

Список литературы: 1. *Reinisch B.W.* Recent advances in real time analysis of ionograms and ionospheric drift measurements with digisondes / *B.W. Reinisch, X. Huang, I.A. Galkin et al.* // *J. Atmos. Terr. Phys.* – 2005. – V. 67, No. 12. – P. 1054 – 1062. 2. *Reinisch B.W.* Automated collection and dissemination of ionospheric data from the digisonde network / *B.W. Reinisch, I.A. Galkin, G. Khmyrov et al.* // *Radio Sci.* – 2004. – V. 2. – P. 241 – 247. 3. *Ратовский К.Г.* Современный цифровой ионозод DPS-4 и его возможности / *К.Г. Ратовский, А.П. Потехин, А.В. Медведев, В.И. Куркин* // *Солнечно-земная физика.* – 2004. – Т. 118, № 5. – С. 102 – 104. 4. *Емельянов Л.Я.* Ионозод “Базис” Института ионосферы как средство для мониторинга состояния ионосферы / *Л.Я. Емельянов, А.А. Кононенко* // *Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* – 2011. – Вып. 167. – С. 30 – 33. 5. *Pruhonicc / Digisonde-4D / Czech Republic.* – <http://147.231.47.3>. 6. *Dourbes / Digisonde DPS-4/ Belgium* – <http://digisonde.oma.be>.

Поступила в редколлегию 20.09.2012