

Т.Г. ЖИВОЛУП, канд. физ.-мат. наук, н.с., Институт ионосферы, Харьков

ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ F2 В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО РАВНОДЕНСТВИЯ 2012 Г. ПО ДАННЫМ РАДАРОВ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ ХАРЬКОВА И EISCAT

Проведены исследования временных вариаций электронной концентрации в максимуме слоя F2, ионной и электронной температур в средних и высоких широтах в период весеннего равноденствия. Выявлены особенности временных вариаций параметров слоя F2 в Харькове и Тромсё в период весеннего равноденствия. Установлено, что в период весеннего равноденствия температура электронов в Тромсё больше, а температура ионов меньше, чем в Харькове на всем временном интервале совместных наблюдений с 09:00 до 19:00 UT.

Ключевые слова: весеннее равноденствие, временные вариации параметров слоя F2 в средних и высоких широтах.

Проведено дослідження часових варіацій електронної концентрації в максимумі шару F2, іонної та електронної температур в середніх і високих широтах в період весняного рівнодення. Виявлено особливості часових варіацій параметрів шару F2 в Харкові і Тромсьо в період весняного рівнодення. Встановлено, що в період весняного рівнодення температура електронів в Тромсьо більше, а температура іонів менше, ніж у Харкові на всьому часовому інтервалі спільних спостережень з 09:00 до 19:00 UT.

Ключові слова: весняне рівнодення, часові варіації параметрів шару F2 в середніх і високих широтах.

The investigations of temporal variations of the electron density in the F2-layer maximum, ion and electron temperatures in the mid-and high latitudes during the spring equinox are conducted. The features of the temporal variations of the parameters of the F2-layer in Kharkov and Tromsø during the spring equinox are revealed. Found that during the spring equinox, the electron temperature in Tromsø more, and the ion temperature is lower than in Kharkov on the whole time interval of joint observations from 09:00 to 19:00 UT.

Keywords: the spring equinox, the temporal variations of the parameters of the F2-layer in middle and high latitudes.

Постановка задачи. Радар некогерентного рассеяния (НР) в Харькове и радары обсерватория EISCAT образуют европейскую цепочку радаров НР, которая позволяет получать знания о структуре ионосферы на средних и высоких широтах, а также создавать современные ионосферные и термосферные модели. Проведение сравнительного анализа временных вариаций электронной концентрации в максимуме слоя F2, ионной и электронной температур в средних и высоких широтах для спокойного периода в разные сезоны позволяет совершенствовать теорию области F2 и термосферы. Создание надежной теоретической модели области F2 ионосферы для средних и высоких широт, учитывающей различные гелиогеофизические условия, представляет интерес как для развития теории

© Т.Г. Живолуп, 2013

ионосферы, так и для решения прикладных задач распространения радиоволн.

Анализ литературы. Исследования области F2 по различным международным программам проводятся регулярно на различных широтах. В работе [1] приведены результаты исследования сезонных вариаций электронной концентрации в максимуме слоя F2 ($n_{em}F2$) на разных широтах. Было отмечено, что в летние месяцы $n_{em}F2$ достигает максимальных значений в период захода Солнца. В работе [2] приведены результаты исследования температур электронов и ионов для летнего, зимнего и равноденственного сезонов на разных широтах и при различных уровнях солнечной активности. Было отмечено, что дневные значения электронной температуры превышают ее средние ночные значения в 2.8 – 4.6 раза при переходе от минимума солнечной активности к ее максимуму, а дневные значения ионной температуры – в 1.2 – 2.2 раза.

При сильной конвекции, высокоширотная область F2 ионосферы существенно изменяется в течение суток, как во время зимы, так и лета [3]. Как правило, концентрация электронов в области F2 гораздо больше изменяется с высотой зимой, чем летом. Высокая скорость конвекции вызывает заметные сезонные колебания ионного состава в области F2, что приводит к гораздо большей концентрации молекулярных ионов вблизи максимума области F2 летом по сравнению с зимой.

В [4] исследовались вариации $n_{em}F2$ с помощью 13 станций вертикального зондирования, расположенных на различных широтах. Было отмечено, что при средней солнечной активности (индекс $F_{10.7}$ был равен 140) стандартные изменения $n_{em}F2$ составляют 20% днем и 33% ночью. Были отмечены сезонные изменения $n_{em}F2$, особенно, увеличение $n_{em}F2$ в период равноденствия.

Цель статьи – выявление особенностей временных вариаций электронной концентрации в максимуме слоя F2, ионной и электронной температур в средних и высоких широтах в период весеннего равноденствия при умеренной солнечной активности.

Гелиогеофизическая обстановка 29 марта 2012 года. Измерения на радарх НР в Харькове и Тромсё проведены в период с 29 по 30 марта 2012 г. согласно Международному геофизическому календарю.

В рассматриваемый период индекс солнечной активности $F_{10.7}$ имел значения 112 и 111 (т.е. солнечная активность была умеренной). Планетарный суточный индекс геомагнитной активности A_p 29 и 30 марта имел значения 3 и 5, а трехчасовой планетарный K_p -индекс имел значения, не превышающие 2 (в основном от 0 до 1), т. е. этот период времени был абсолютно спокойным.

Вариации концентрации электронов в максимуме слоя F2 29 марта 2012 г. по данным радаров Харькова и Тромсё. Особый интерес в изучении области F2 представляют временные вариации концентрации

электронов n_{em} в максимуме слоя F2 в средних и высоких широтах в разные сезоны. На рис. 1 показано сравнение временных вариаций $\lg n_{em}F2$ на временном интервале 11:00 – 19:00 (здесь и далее время UT) по данным радаров в Харькове и Тромсё. в спокойные сутки 29 марта 2012 года. Как видно из рис. 1 временной ход $\lg n_{em}F2$ для Харькова имеет два ярко выраженных локальных максимума в 12 и 16 часов, как и временной ход $\lg n_{em}F2$ для Тромсё с локальными максимумами в 12:00 и 14:00. В Тромсё $n_{em}F2$ медленно монотонно убывает после 14:00 до 17:00, и после 17:00 наблюдается более быстрое убывание электронной концентрации в максимуме слоя F2. Над Харьковом $n_{em}F2$ монотонно убывает после 12:00 до локального минимума в 14:00, потом возрастает до второго локального максимума в 16:00 и далее монотонно убывает, причем, убывание $n_{em}F2$ в Харькове более медленное по сравнению с Тромсё.

Из рис. 1 видно, что значения $\lg n_{em}F2$ для Харькова превышают значения $\lg n_{em}F2$ для Тромсё на всем временном интервале совместных наблюдений с 11:00 до 19:00. Значение первого локального максимума $n_{em}F2$ для Харькова превышает значение первого локального максимума $n_{em}F2$ для Тромсё на 48%, а значение второго локального максимума $n_{em}F2$ – на 50%. Значение локального минимума $n_{em}F2$ для Харькова превышает значение локального минимума $n_{em}F2$ для Тромсё на 32%. В 19:00 $n_{em}F2$ в Харькове превышает $n_{em}F2$ в Тромсё в 2,6 раза.

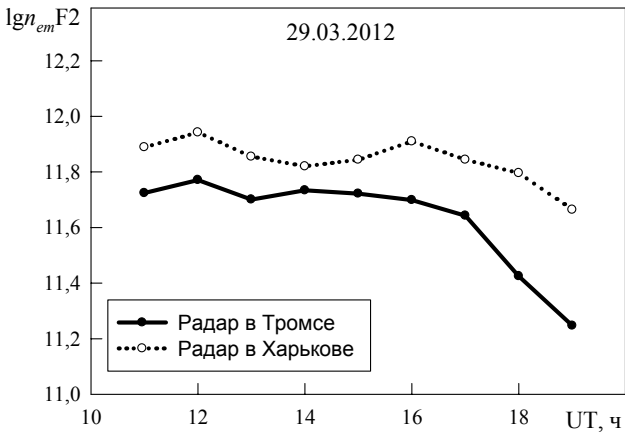


Рис. 1 – Временные вариации $\lg n_{em}F2$ по данным радаров в Харькове и Тромсё для 29.03.2012 г.

В Харькове после захода Солнца в 16:05 наблюдается монотонное уменьшение $n_{em}F2$, а в 16:00 – предзаходный максимум $n_{em}F2$. В Тромсё

наблюдается медленное монотонное уменьшение $n_{em}F2$ с 15:00 до 17:00, и после захода Солнца в 17:46 в Тромсё наблюдается более быстрое уменьшение $n_{em}F2$ по сравнению с вариациями $n_{em}F2$ после захода Солнца в Харькове. Следует отметить, что предзаходный максимум $n_{em}F2$ в Тромсё не наблюдается.

Таким образом, в период весеннего равноденствия $n_{em}F2$ в Харькове превышает $n_{em}F2$ в Тромсё на всем рассматриваемом временном интервале совместных наблюдений с 11:00 до 19:00. В Тромсё не наблюдается предзаходный максимум $n_{em}F2$, который наблюдается в Харькове. После захода Солнца в Тромсё наблюдается более быстрое уменьшение $n_{em}F2$ по сравнению с уменьшением $n_{em}F2$ после захода Солнца в Харькове.

Вариации температуры электронов 29 марта 2012 г. по данным радаров в Харькове и Тромсё. Вариации температуры электронов T_e 29 марта 2012 г. на высотах 342 и 344 км в Харькове и Тромсё показаны на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что температура электронов T_e в ионосфере над Тромсё больше температуры электронов в ионосфере над Харьковом на всем временном интервале совместных наблюдений с 09:00 до 19:00. Температура электронов в ионосфере над Харьковом, начиная с 09:00, плавно возрастает до своего максимального значения – 2345 К в 14:00.

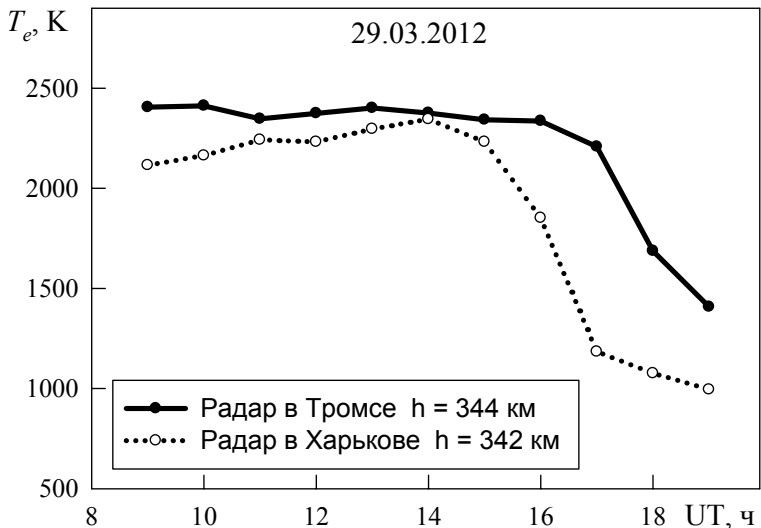


Рис. 2 – Временные вариации T_e по данным радаров в Харькове и Тромсё для 29.03.2012 г.

После 14:00 с заходом Солнца в магнитосопряженной с Харьковом точке (о. Мадагаскар) в 14:50 температура электронов плавно уменьшается, и с заходом Солнца в Харькове в 16:05 наблюдается более быстрое уменьшение T_e до ее минимального значения 995 К, которое она принимает в 19:00. Амплитуда изменения T_e , т.е. разность между максимальной и минимальной температурами электронов в ионосфере над Харьковом составляет 1350 К.

В ионосфере над Тромсё температура электронов возрастает до своего первого локального максимума 2412 К в 10:00, а второй локальный максимум T_e – 2401 К наблюдается в 13:00. После этого температура электронов плавно уменьшается до значения 2208 К, которое она принимает в 17:00, и с заходом Солнца в 17:46 T_e быстро уменьшается до значения 1408 К, которое она принимает в 19:00. Амплитуда изменения T_e в ионосфере над Тромсё составляет 1004 К, т.е. в ионосфере над Тромсё амплитуда изменения температуры электронов на временном интервале 09:00 – 19:00 в 1.34 раза меньше, чем в ионосфере над Харьковом. Температура электронов в ионосфере над Тромсё превышает температуру электронов в ионосфере над Харьковом: в интервале 09:00 – 14:00 – на 31– 290 К, в интервале 14:00 – 16:00 – на 31 – 484 К и в интервале 17:00 – 19:00 – на 1024 – 413 К.

Таким образом, в период весеннего равноденствия температура электронов в ионосфере над Тромсё превышает температуру электронов в ионосфере над Харьковом на всем временном интервале совместных наблюдений с 09:00 до 19:00. Температура электронов в ионосфере над Харьковом имеет явно выраженный максимум в 14:00 и начинает быстро убывать после захода Солнца в магнитосопряженной точке в 14:50. В ионосфере над Тромсё быстрое убывание температуры электронов наблюдается только после захода Солнца в Тромсё в 17:46. В ионосфере над Тромсё амплитуда изменения температуры электронов на временном интервале 09:00 – 19:00 в 1.34 раза меньше, чем в ионосфере над Харьковом. Это объясняется тем, что в Тромсё на высотах 300 км и более 29 марта 2012 г. Солнце не заходит, и на этих высотах господствует полярный день.

Вариации температуры ионов 29 марта 2012 г. по данным радаров в Харькове и Тромсё. Вариации температуры ионов T_i 29 марта 2012 г. на высотах 342 и 344 км в Харькове и Тромсё показаны на рис. 3. Из рисунка видно, что температура ионов в ионосфере над Харьковом больше температуры ионов в ионосфере над Тромсё на всем временном интервале совместных наблюдений с 09:00 до 19:00.

В ионосфере над Харьковом температура ионов T_i имеет два локальных максимума в 10:00 и 14:00 и локальный минимум – в 12:00. После 14:00 температура ионов медленно убывает и после захода Солнца в Харькове в 16:05 температура ионов быстро убывает до значения 995 К, которое она принимает в 19:00. Амплитуда изменения T_i , т.е. разность между максимальной и минимальной температурами ионов в ионосфере над

Харьковом составляет 204 К.

В ионосфере над Тромсё температура ионов имеет два локальных максимума в 10:00 и 13:00 и локальный минимум – в 12:00. После 13:00 температура ионов медленно убывает до 17:00 и после захода Солнца в Тромсё в 17:46 температура ионов быстро убывает до значения 913 К, которое она принимает в 19:00. Амплитуда изменения T_i в ионосфере над Тромсё составляет 260 К, т.е. на 56 К больше, чем в ионосфере над Харьковом.

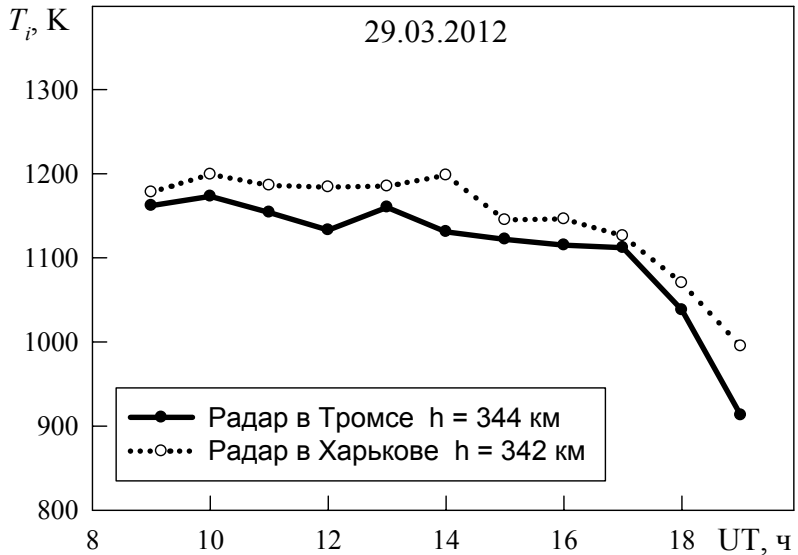


Рис. 3 – Временные вариации T_i по данным радаров в Харькове и Тромсё для 29.03.2012 г.

Температура ионов в ионосфере над Харьковом превышает температуру ионов в ионосфере над Тромсё: в интервале 09:00 – 14:00 – на 12 – 67 К и в интервале 15:00 – 19:00 – на 14 – 82 К.

Таким образом, в период весеннего равноденствия температура ионов в ионосфере над Харьковом превышает температуру ионов в ионосфере над Тромсё на всем временном интервале совместных наблюдений с 09:00 до 19:00. После захода Солнца в Харькове и Тромсё температура ионов в ионосфере быстро убывает до своего минимального значения. Амплитуда изменения T_i с 09:00 до 19:00 в ионосфере над Тромсё на 56 К больше, чем амплитуда изменения T_i в ионосфере над Харьковом.

Выводы. 1. В период весеннего равноденствия $n_{em}F2$ в Харькове превышает $n_{em}F2$ в Тромсё на всем временном интервале совместных наблюдений с 11:00 до 19:00.

2. В Тромсё не наблюдается предзаходный максимум $n_{em}F2$, который наблюдается в суточных вариациях концентрации электронов в максимуме области F2 ионосферы над Харьковом.

3. После захода Солнца в Тромсё наблюдается более быстрое уменьшение $n_{em}F2$ по сравнению с уменьшением $n_{em}F2$ после захода Солнца в Харькове.

4. В период весеннего равноденствия температура электронов в ионосфере над Тромсё превышает температуру электронов в ионосфере над Харьковом на всем временном интервале совместных наблюдений с 09:00 до 19:00.

5. В период весеннего равноденствия температура ионов в ионосфере над Харьковом превышает температуру ионов в ионосфере над Тромсё на всем временном интервале совместных наблюдений с 09:00 до 19:00.

6. Температура электронов в ионосфере над Харьковом начинает быстро убывать после захода Солнца в магнитосопряженной точке в 14:50, тогда как в Тромсё быстрое убывание температуры электронов наблюдается только после захода Солнца в 17:46. После захода Солнца в Харькове и Тромсё температура ионов в ионосфере быстро убывает до своего минимального значения.

Список литературы. 1. *Sardar N., Singh A.K., Nagar A., Mishra S.D., Vijay S.K.* Study of latitudinal variation of ionospheric parameters – A Detailed Report // J. Ind. Geophys. Union. – 2012. – Vol. 23, № 1. – P. 113-133. 2. *Sharma D.K., Sharma P.K., Rai J., Garg S.C.* Effect of solar activity on ionospheric temperatures in F2 region // Ind. J. Radio Space Phys. – 2008. – Vol. 37. – P. 319-325. 3. *Sojka J.J., Schunk R.W., Raitt W.J.* Seasonal variations of the high-latitude F region for strong convection // J. Geoph. Res. – 1982. – Vol. 87, № A1. – P. 187-198. 4. *Rishbeth H., Mendillo M.* Patterns of F2-layer variability // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. – 2001. – Vol. 63. – P. 1661-1680.

Поступила в редколлегию 01.04.2013