

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИОНОСФЕРЫ НАД ИРКУТСКОМ. НАБЛЮДЕНИЯ И СРАВНЕНИЯ С МОДЕЛЬЮ IRI-2001

К.Г. Ратовский, А.В. Ойнац, А.В. Медведев

### CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE IONOSPHERE OVER IRKUTSK. OBSERVATION AND COMPARISON WITH THE MODEL IRI-2001

K.G. Ratovsky, A.V. Oinats, A.V. Medvedev

Морфологические особенности поведения электронной концентрации над Иркутском (52.3 N, 104.3 E) исследуются методом текущих медиан. В работе представлены результаты сравнения наблюдений с данными модели IRI на фазе спада солнечной активности (2003–2006 гг.). Обсуждаются систематические расхождения между прогнозом и наблюдениями.

Morphological peculiarities of electron density behavior over Irkutsk (52.3 N, 104.3 E) are investigated by the current-median method. In this paper, the results of comparison between observations and IRI model data in the decay phase of solar activity (2003–2006) are presented. Systematic discrepancies between forecast and observation are discussed.

#### Введение

Морфологические особенности поведения ионосферы над Иркутском (52.3 N, 104.3 E) были исследованы методом текущих медиан. Для исследования были выбраны основные параметры, характеризующие F2- слой ионосферы: критическая частота ( $f_0F2$ ), высота максимума ( $h_mF2$ ), а также значения электронной концентрации ( $N_e$ ) на высотах 200, 250, 300 и 350 км. Ионосферные данные получены с помощью цифрового ионозонда DPS-4 [1], установленного в Иркутске в ноябре 2002 г. Медианные значения рассчитывались для каждого дня года усреднением по 31 дню, в результате ионосферные параметры рассматривались как функции местного времени и дня года. Предполагается, что эти функции адекватно описывают суточные и сезонные закономерности, поскольку влияние других факторов нивелировано 31-дневным усреднением. Такая форма представления данных позволяет исследовать морфологические особенности поведения электронной концентрации, в частности проводить сопоставления результатов наблюдений с известными моделями. В работе представлены результаты сравнения наблюдений с данными модели IRI [2] на фазе спада солнечной активности (2003–2006 гг.)

#### Различия в форме суточного хода $f_0F2$

Основные различия между наблюдаемой и модельной формами суточного хода  $f_0F2$  для Иркутска проявляются в летнее время, впервые эта закономерность была отмечена в работе [3]. На рис. 1 представлены суточные вариации  $f_0F2$  для июль 2003–2006 гг. Видно, что в экспериментальном суточном ходе наблюдается четко выраженный вечерний максимум (около 21 LT), в то время как для прогноза IRI характерно наличие двух близких по значению максимумов в предполуденное (10–11 LT) и вечернее (около 21 LT) время.

Двухпиковая форма суточного хода, предсказанная моделью IRI, характерна для среднеширотных европейских станций [4, 5]. Таким образом, расхождение между прогнозом IRI для Иркутска и наблюдениями аналогично отличию между особенностями ионосферы над Иркутском и Европой. Довольно похожий характер различия в форме летнего суточного хода над Якутском и субарктическими европейскими стан-

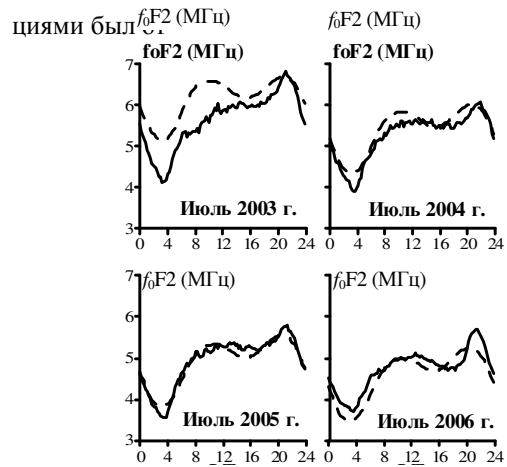


Рис. 1. Суточные вариации  $f_0F2$  для июля 2003–2006 гг. Сплошная линия – наблюдения, штриховая – модель IRI.

мечен в работе [6]. Авторы работы это различие связывали с влиянием Восточно-Сибирской магнитной аномалии. На наш взгляд, это различие может быть связано с различным сдвигом фазы нейтрального ветра. В пользу этой версии говорят результаты работы [7], где было показано, что сдвиг фазы нейтрального ветра приводит к усилению вечернего и ослаблению утреннего пика (или наоборот).

Из рис. 1 можно также увидеть, что прогноз IRI существенно занижает суточный перепад в июле 2003 г. и довольно близок к наблюдениям в июле 2006 г., что связано с различной зависимостью  $f_0F2$  от солнечной активности для модели и эксперимента.

#### Различная зависимость $f_0F2$ от солнечной активности

Сопоставление годовых вариаций суточного минимума  $f_0F2$  ( $f_{0F2\min}$ ) и суточного максимума  $f_0F2$  ( $f_{0F2\max}$ ) позволило выявить следующие закономерности. Если прогнозируемые и наблюдаемые вариации  $f_{0F2\max}$  находятся в удовлетворительном согласии, то в вариациях  $f_{0F2\min}$  имеют место существенные различия, показанные на рис. 2. Из рис. 2 видно, что в летнее время прогноз IRI завышает наблюдаемые значения  $f_{0F2\min}$  для 2003–2005 гг. и довольно близок к ним в 2006 г. С другой стороны, в зимнее время прогноз IRI занижает наблюдения начиная с



Рис. 2. Годовые вариации суточного минимума  $f_0F2$ . Сплошная линия – наблюдения, штриховая – модель IRI.

2005 г. и довольно близок к ним в 2003 г. Оба типа различия связаны с тем, что наблюдаемый суточный минимум  $f_0F2$  очень слабо зависит от солнечной активности, в то время как модель IRI предсказывает хорошо выраженную зависимость. Необходимо отметить, что отсутствие зависимости  $f_0F2$  от солнечной активности в зимнее ночное время в работе [8] объясняется тем, что зимой ночная ионизация поддерживается потоком электронов из плазмосферы и почти не зависит от интенсивности солнечной радиации.

#### Различия в сезонных закономерностях $f_0F2$

Для изучения сезонных закономерностей ионосферы исследовались времена появления суточного максимума ( $LT_{max}$ ) и суточного минимума ( $LT_{min}$ ) критической частоты F2-слоя в зависимости от дня года (рис. 3). По характеру локализации максимума и минимума в году выделяются три интервала. Для первого (условно назовем «равноденствием») типично наличие полуденного максимума и предвосходного минимума. Во втором интервале (условно «лето») максимум смещен на вечерние часы в результате сезонных изменений скорости нейтрального ветра. Для третьего периода (условно «зима») характерно смещение минимума в предполуночный сектор по сравнению с «равноденствием» за счет притока заряженных частиц из плазмосферы. Длительность «летнего» интервала, полученная по данным наблюдений, больше, чем по модели IRI. С понижением уровня солнечной активности прогнозируемая по модели IRI длительность «лета» возрастает, чего не наблюдается. Прогнозируемые границы «зимнего» интервала стабильны, что также не согласуется с наблюдениями. Этот факт, вероятно, связан с тем, что на величину  $f_0F2$  в ночной зимней ионосфере кроме притока ионов из плазмосферы и рекомбинации существенное влияние оказывают вариации скорости нейтрального ветра.

#### Различия в других характеристиках F2-слоя

Основные систематические различия между прогнозом IRI и наблюдениями высоты максимума  $h_mF2$  сводятся к завышению моделью дневных значений  $h_mF2$  (на 13 км в среднем) и различной зависимости ночных значений  $h_mF2$  от солнечной активности. Модель занижает скорость падения ночных значений  $h_mF2$  с уменьшением солнечной активности. Различия в форме суточного хода  $h_mF2$  не имеют такого систематического характера, как в случае критической частоты  $f_0F2$ .

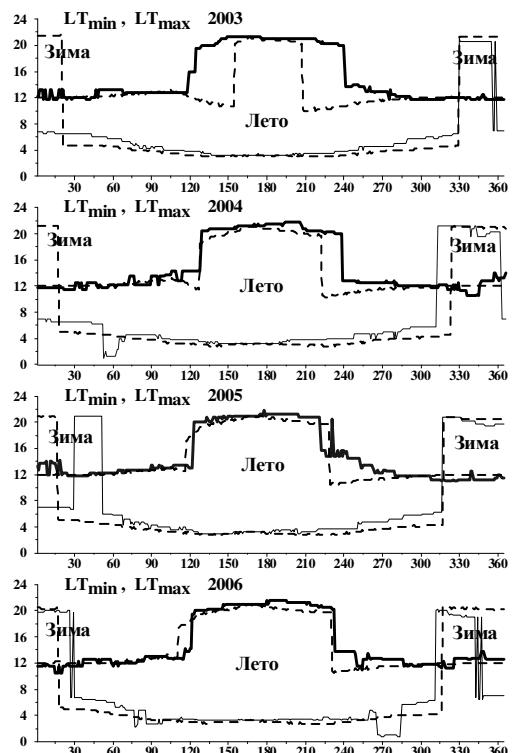


Рис. 3. Времена появления суточного максимума ( $LT_{max}$ , жирная сплошная линия – наблюдения, штриховая – IRI) и суточного минимума ( $LT_{min}$ , тонкая сплошная линия – наблюдения, штриховая – IRI)  $f_0F2$  в зависимости от дня года.

Ошибка прогноза IRI значений  $N_e$  в диапазоне высот 200–350 км в большинстве случаев определяется ошибкой прогноза  $f_0F2$  и  $h_mF2$ ; использование наблюдаемых  $f_0F2$  и  $h_mF2$  в качестве входных параметров модели позволяет существенно уменьшить эту ошибку. При этом в зимнее дневное время выше  $h_mF2$  и в летнее ночное время ниже  $h_mF2$  модель существенно завышает наблюдения даже при использовании  $f_0F2$  и  $h_mF2$  в качестве входных параметров.

#### Заключение

Исследование морфологических особенностей поведения электронной концентрации над Иркутском позволило выявить ряд систематических расхождений с моделью IRI. На наш взгляд, эти расхождения связаны с региональными особенностями ионосферы над Восточной Сибирью и для их объяснений необходимо привлекать физические модели ионосферы. В работе показано, что для изучения сезонных закономерностей ионосферы удобно исследовать времена, соответствующие максимуму и минимуму в суточном ходе  $f_0F2$ . Эти характеристики как функции дня года позволяют естественным образом определить три сезона, различающиеся различной степенью влияния физических процессов в ионосфере, формирующих суточный ход  $f_0F2$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reimisch B.W., Haines D.M., Bibl K., et al. Ionospheric sounding support of OTH radar // Radio Sci. 1997. V. 32, N 4. P. 1681–1694.
2. Bilitza D. International reference ionosphere // Radio Sci. 2001. V. 36, N 2. P. 262–275.

3. Oinats A.V., Kotovich G.V., Ratovsky K.G. Comparison of the main ionospheric characteristics measured by the Digisonde at Irkutsk in 2003 with IRI 2001 model data // *Adv. Space Res.* 2006. V. 37, N 5. P. 1018–1022.
4. Бенедиков В.Е., Гетманцев Г.Г., Гришкевич Л.В. и др. Некоторые результаты ионосферных исследований в НИРФИ с 1957 по 1967 гг. // *Изв. вузов. Радиофизика*. 1968. Т. 11, № 2. С. 169–190.
5. Mendillo M., Rishbeth H., Roble R.G., Wrotten J. Modelling F2-layer seasonal trends and day-to-day variability driven by coupling with the lower atmosphere // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2002. V. 64, N 18. P. 1911–1931.
6. Pirog O.M., Polekh N.M., Chistyakova L.V. Longitudinal variation of critical frequencies in polar F-region // *Adv. Space Res.* 2001. V. 27, N 8. P. 1395–1398.
7. Kohl H., King W. Atmospheric winds between 100 and 700 km and their effects on the ionosphere // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1967. V. 29. P. 1045–1062.
8. Кринберг И.А., Ташилин А.В. Ионосфера и плазмосфера. М.: Наука, 1984. С. 1–189.

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск*