

Тренд ионосферы над Новосибирском в 23-м и 24-м солнечных циклах

А. Ю. Белинская

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: BelinskayaAY@ipgg.sbras.ru*

В представленном кратком сообщении приводятся результаты анализа временного ряда критической частоты ионосферного слоя F2 (f_oF2) над Новосибирском. При поиске трендов использовались медианные значения, были построены ряды максимумов и минимумов суточного хода для каждого месяца года для 23-го и 24-го солнечных циклов. При анализе учитывалась величина потока радиоизлучения на волне 10,7 см. Полученные результаты свидетельствуют о различиях в тенденциях состояния ионосферы в рассматриваемых солнечных циклах. Показано, что тренды наиболее существенно зависят от солнечной активности и могут численно отличаться в несколько раз для разных циклов. Было установлено, что больший вклад в тренды слоя F2 вносят изменения максимальных значений f_oF2 независимо от порядка солнечного цикла. Расчёты трендов зависят от геомагнитных координат мест наблюдения, и поэтому исследование необходимо продолжить для других станций с целью оценки полученных результатов для всего земного шара.

Ключевые слова: тренд, ионосфера, солнечный цикл

Одобрена к печати: 25.03.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-269-272

В научном сообществе от года к году растёт интерес к проблеме долговременных трендов параметров верхней атмосферы, которая тесно связана с вопросом охлаждения и оседания средней и верхней атмосферы (Данилов, Ванина-Дарт, 2010; Lastovicka et al., 2008). Исследовать долговременные тренды параметров нейтрального газа верхней атмосферы достаточно сложно, так как информация по ним получена со спутников, поэтому ряды относительно короткие (несколько лет) и их практически невозможно сравнивать из-за различия орбит, аппаратуры и прочих факторов. Данные же вертикального зондирования на ионосферных станциях предоставляют обширный материал для исследования трендов ионосферных параметров в хорошем временном и пространственном разрешении (Danilov, 2009, 2017; Elias, 2011; Lastovicka, 2009; Mielich, Bremer, 2013). Полученные на их основе результаты дают возможность судить о трендах параметров термосферы.

Кроме того, изучение трендов параметров верхней атмосферы и ионосферы позволяет оценить изменения электронной концентрации в ионосферных слоях, которые необходимо учитывать при решении прикладных вопросов, таких, например, как расчёт движения низкоорбитальных спутников, определение параметров радиосвязи, точность вычисления местоположения с помощью радионавигационных систем и др.

В лаборатории (обсерватории) Солнечно-земной физики ИНГГ СО РАН, расположенной в 10 км от Новосибирского научного центра (54,84° с. ш., 83,23° в. д.), доступны ионограммы для каждого часа и непрерывные ряды основных параметров ионосферы с 1967 г. до текущего момента.

При исследовании морфологических особенностей поведения ионосферы над Новосибирском в качестве параметра, характеризующего состояние ионосферы, была выбрана критическая частота слоя F2 (f_oF2), которая показывает изменение концентрации в ионосфере. Для рассмотрения взяты два солнечных цикла (с. ц.): 23-й (с мая 1996 г. по декабрь 2008 г.) и 24-й (с января 2009 г. по настоящее время). Максимум 23-го с. ц. отмечен в марте 2000 г., вторичный максимум — в ноябре 2001 г., минимум — в декабре 2008 г. Максимумы 24-го с. ц. наблюдались в феврале 2012 г. и в июне 2014 г. В качестве индекса солнечной активности использовалась величина потока радиоизлучения на волне 10,7 см ($f_{10,7}$).

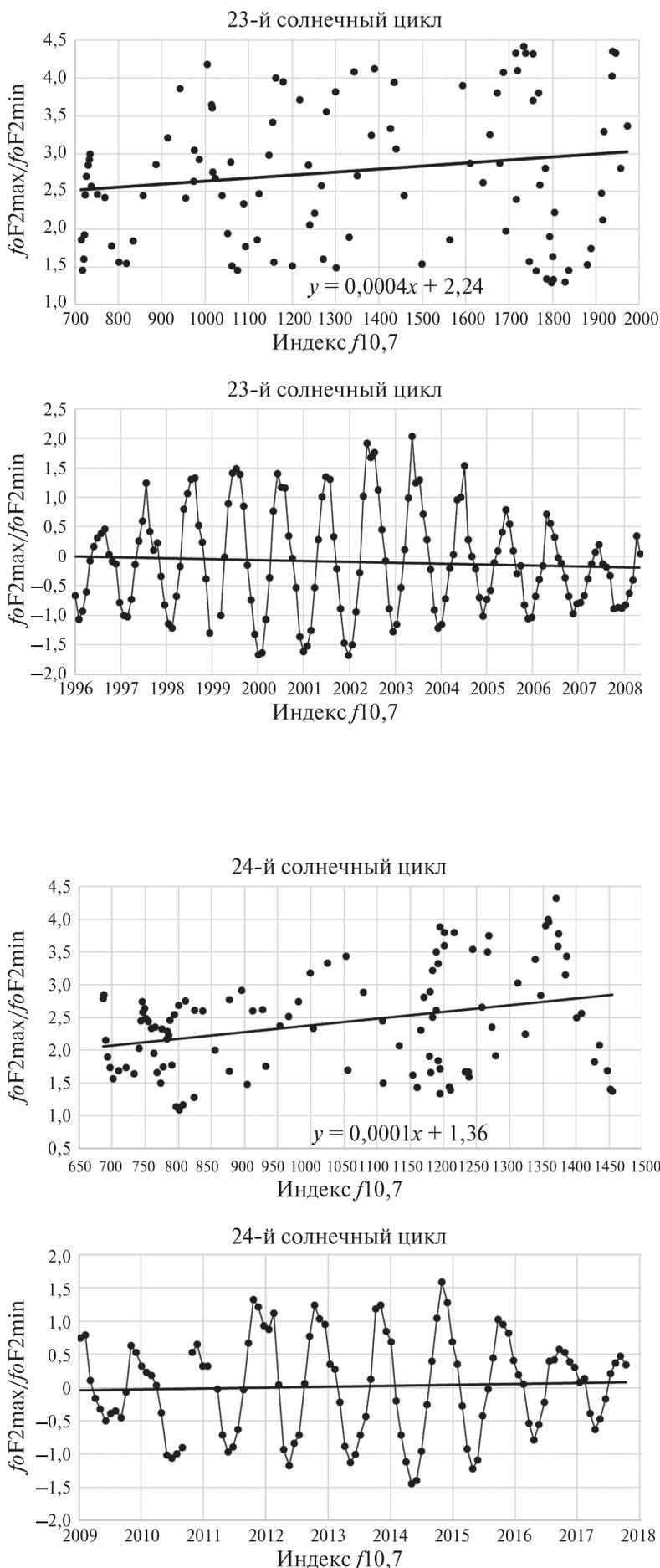


Рис. 1. Зависимость отношения максимальных и минимальных суточных медианных значений $foF2$ от $f_{10,7}$ и временной ход их отклонений от аппроксимирующей прямой зависимости $foF2$ от $f_{10,7}$ для 23-го солнечного цикла

Для исключения влияния геомагнитной активности в вариациях критических частот слоя F2 рассчитывались месячные медианы для каждого часа. С использованием этих медиан были получены ряды максимальных ($foF2_{max}$) и минимальных ($foF2_{min}$) значений для каждого месяца из рассматриваемого периода. Для вычисления тренда бралось отношение $foF2_{max}$ к $foF2_{min}$ (max/min). Затем строилась линейная зависимость этих величин от $f_{10,7}$ и отклонение от неё исходных рядов. На рис. 1 и 2 приведены результаты проведённых вычислений для 23-го и 24-го с. ц.

Для 23-го с. ц. тренд вычисленных величин составил $-0,03$ МГц/год, а с учётом влияния солнечной активности — $-0,01$ МГц/год. То есть мы видим тенденцию к уменьшению электронной концентрации, но в большей степени она всё-таки зависит от изменений солнечной активности.

Рис. 2. Зависимость отношения максимальных и минимальных суточных медианных значений $foF2$ от $f_{10,7}$ и временной ход их отклонений от аппроксимирующей прямой зависимости $foF2$ от $f_{10,7}$ для 24-го солнечного цикла

Если рассматривать только максимальные значения, то эти величины составили $-0,2$ и $0,01$ МГц/год соответственно, и для минимальных — $-0,05$ и $0,01$ МГц/год. Таким образом, можно говорить о том, что больший вклад внесли изменения максимальных значений $foF2$.

Для 24-го с. ц. тренд вычисленных величин составил $0,03$ МГц/год, с учётом влияния солнечной активности — $0,01$ МГц/год. То есть наблюдается совершенно иная ситуация, чем для 23-го с. ц. Возможно, здесь сказывается тот факт, что 24-й с. ц. характеризуется как самый слабый за последние 100 лет. Если рассматривать только максимальные значения, то эти величины составили $0,07$ и $0,04$ МГц/год соответственно, а для минимальных значений вообще близки к 0. Таким образом, можно говорить о том, что и в текущем солнечном цикле больший вклад вносят изменения максимальных значений $foF2$.

В заключение хотелось бы отметить, что разные исследователи получают разные значения трендов, отличающиеся как количественно, так и качественно. Эта проблема порождена не только различием в методиках, длинах рядов, но и геомагнитными координатами мест наблюдений, поэтому работы в данном направлении необходимо продолжать, сравнивая полученные результаты. Только таким путём можно будет получить объективную оценку для всего земного шара.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0013 «Проявление процессов глубинной геодинамики в геосферах Земли по результатам мониторинга геомагнитного поля, ионосферы и космических лучей».

Литература

1. Данилов А. Д., Ванина-Дарт Л. Б. Параметры ионосферного слоя F2 как источник информации о трендах динамики термосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 2010. Т. 50. № 2. С. 1–14.
2. Danilov A. D. Critical frequencies foF2 as an indicator of trends in thermospheric dynamics // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2009. V. 71. No. 13. P. 1430–1440.
3. Danilov A. New results in studying foF2 trends // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2017. V. 163. P. 103–113.
4. Elias A. G. Possible Sources of Long-Term Variations in the Mid-Latitude Ionosphere // The Open Atmospheric Science J. 2011. No. 5. P. 9–15.
5. Lastovicka J. Global pattern of trends in the upper atmosphere and ionosphere: recent progress // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2009. V. 71. P. 1514–1528.
6. Lastovicka J., Akmaev R. A., Beig G., Bremer J., Emmert J. T., Jacobi C., Jarvis M. J., Nedoluha G., Portnyagin Y. I., Ulich T. Emerging pattern of global change in the upper atmosphere and ionosphere // Annales Geophysicae. 2008. V. 26. No. 5. P. 1255–1268.
7. Mielich J., Bremer J. Long-term trends in the ionospheric F2 region with two different solar activity indices // Annales Geophysicae. 2013. V. 31. P. 291–303.

Trend in the ionospheric F2 region over Novosibirsk in 23rd and 24th solar cycles

A. Yu. Belinskaya

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS
Novosibirsk 630090, Russia
E-mail: BelinskayaAY@ipgg.sbras.ru*

The purpose of this study is to analyze the time series of the critical frequency of the ionospheric F2 region over Novosibirsk. We have considered a median values and constructed the array of minimum and maximum daily values for each month of the year for 23rd and 24th solar cycles. The values of the

radio emission flux 10.7 cm was taken into account. The obtained results provide some evidence of differences in the trends of ionosphere condition in the solar cycles under consideration. It is shown that trends most significantly depend on solar activity and can differ numerically several times for different solar cycles. It is established that the variations of maximum values of f_oF_2 make a bigger contribution to the trends of the ionospheric F2 region regardless of an order of the solar cycle. Calculations of trends depend on geomagnetic coordinates of places of observation and therefore the research needs to be continued for other stations to estimate the received results for the whole globe.

Keywords: trend, ionosphere, solar cycle

Accepted: 25.03.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-269-272

References

1. Danilov A. D., Vanina-Dart L. B., Parametry ionosfernogo sloya F2 kak istochnik informatsii o trendakh dinamiki termosfery (Parameters of the ionospheric F2 layer as a source of information on trends in thermospheric dynamics), *Geomagnetizm i aeronomiya*, 2010, Vol. 50, No. 2, pp. 1–14.
2. Danilov A. D., Critical frequencies f_oF_2 as an indicator of trends in thermospheric dynamics, *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2009, Vol. 71, No. 13, pp. 1430–1440.
3. Danilov A., New results in studying f_oF_2 trends, *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2017, Vol. 163, pp. 103–113.
4. Elias A. G., Possible Sources of Long-Term Variations in the Mid-Latitude Ionosphere, *The Open Atmospheric Science J.*, 2011, No. 5, pp. 9–15.
5. Lastovicka J., Global pattern of trends in the upper atmosphere and ionosphere: recent progress, *Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2009, Vol. 71, pp. 1514–1528.
6. Lastovicka J., Akmaev R. A., Beig G., Bremer J., Emmert J. T., Jacobi C., Jarvis M. J., Nedoluha G., Portnyagin Y. I., Ulich T., Emerging pattern of global change in the upper atmosphere and ionosphere, *Annales Geophysicae*, 2008, Vol. 26, No. 5, pp. 1255–1268.
7. Mielich J., Bremer J., Long-term trends in the ionospheric F2 region with two different solar activity indices, *Annales Geophysicae*, 2013, Vol. 31, pp. 291–303.