

Р.К. ХАИТОВ, В.Т. САРЫЧЕВ, С.А. КОЛЕСНИК

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ ИОНОСФЕРНОГО СЛОЯ F2 ПО ДАННЫМ ТОМСКОЙ ИОНОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ¹

Приводятся оценки спектров и тренды критической частоты ионосферного слоя F2 по данным Томской ионосферной станции за период с 1937 по 2011 г. в зависимости от сезона года.

Ключевые слова: сезоны, дисперсия, асимметрия, эксцесс, тренд.

С появлением термина «космическая погода» (Space Weather) активизировались исследования долгопериодических изменений параметров ионосферы. Этому способствовали, во-первых, накопление многолетних рядов наблюдений мировой сетью стандартных ионозондов и, во-вторых, появление пионерской работы [1, 2], где «глобальное потепление» в нижней атмосфере связывалось с «глобальным охлаждением» в термосфере.

Томская ионосферная станция начала работу с июня 1936 г. К настоящему моменту накоплен значительный массив данных, полученный в хронологическом порядке с помощью пяти радаров вертикального зондирования ионосферы: радар Кессениха и Булатова, венгерский радар, АИС (автоматизированная ионосферная станция), ионозонд «Парус» (производства «ИЗМИРАН») и цифровой ионозонд «Диназонд-21» (производства Scion Associates Inc США).

Ниже приводятся результаты исследования спектрального состава и выявление долговременных трендов критических частот слоя F2 ($foF2$) в зависимости от сезонов года.

Исходные данные, статистика и алгоритмы обработки. Используемые ряды данных, полученные на Томской ионосферной станции, включали значения критических частот за период с 17 июня 1937 г. по 28 сентября 2011 г. при периоде дискретизации 15 мин. Далее данные переводились в среднечасовые. По этим рядам вычислялись средние по сезонам значения критических частот и их дисперсии (рис. 1). Значения средних следующие: зима – 4,94 МГц, весна – 6,13 МГц, лето – 5,68 МГц, осень – 5,66 МГц. Дисперсия: зима – 1,66 МГц, весна – 1,92 МГц, лето – 1,27 МГц, осень – 1,87 МГц.

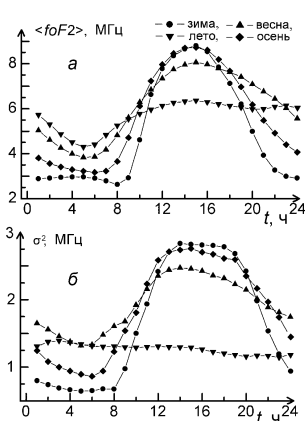


Рис. 1. Суточный ход средних значений критических частот (а) и их дисперсии (б)

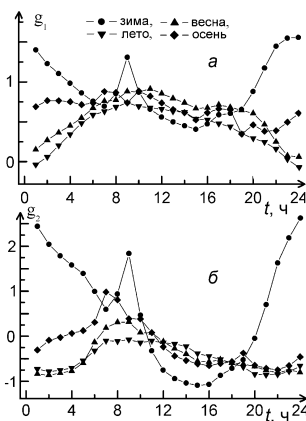


Рис. 2. Суточный ход коэффициентов асимметрии (а) и эксцесса (б)

Кроме первых двух моментов распределения $foF2$, вычислялись коэффициенты асимметрии g_1 и эксцесса g_2 . Их значения были следующие: 0,898 – зима, 0,579 – весна, 0,414 – лето, 0,656 – осень (коэффициент асимметрии). Эксцесс: 0,577 – зима, –0,437 – весна, –0,481 – лето, –0,189 – осень. Эти коэффициенты описывают форму распределения значений критических частот. Их суточный ход представлен на рис. 2.

Тренды. Перед проведением спектрального оценивания в исходных рядах устранялся линейный тренд, оценка которого производилась методом наименьших квадратов по средне-

часовым значениям критической частоты. Для всех сезонов года тренды были отрицательными. На рис. 3 приведен суточный ход параметров линейной аппроксимации вариаций значений $foF2$: a – коэффициент убывания, b – начальные отклонения от средних значений критической частоты. Средние суточные значения коэффициента убывания по сезонам были следующими: –8,03 – зима; –13,83 – весна; –13,35 – лето; –13,18 – осень (МГц/г).

¹ Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007–2012 гг.», ГК № 16.518.11.7048, и гранта РФФИ № 12-05-90715 -моб_ст.

Оценки спектров. Оценивание спектров проводилось алгоритмом ангармонического спектрального разложения [3]. В этой работе мы ограничились десятью наиболее интенсивными по амплитуде спектральными линиями. Как правило, интерференция этих линий обеспечивала $\sim 70\%$ от значений среднеквадратичных отклонений $foF2$, причем в спектре доминировали линии с периодами $\sim 10,7$ лет. На них в среднем приходилось $\sim 50\%$ значений среднеквадратичных отклонений $foF2$, тогда как остальные 9 линий обеспечивали лишь 20% вариаций.

Из рис. 4 видно, что периоды, соответствующих одиннадцатилетнему циклу, для всех сезонов расположены в узком интервале значений $\sim 10,68$ лет, при дисперсии $0,02$ года.

На рис. 5 представлен суточный ход амплитуд этих линий. Наблюдается достаточно регулярное изменение амплитуды в течение суток, характер которого зависит от сезона года. Средние за сутки значения амплитуд составляли: $1,77$ МГц – зимой, $1,96$ МГц – весной, $1,28$ МГц – летом и $1,85$ МГц – осенью. Отклонения от этих значений в течение суток существенно зависели от сезона

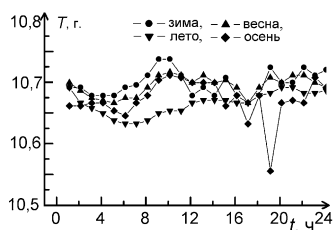


Рис. 4. Суточный ход периодов колебаний, соответствующих 11-летнему циклу

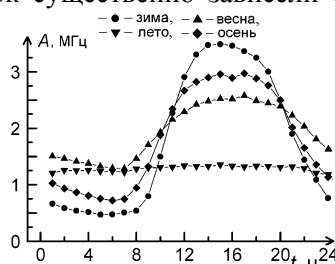


Рис. 5. Суточный ход амплитуд, соответствующих 11-летнему циклу

были следующие: $-2,27$ – зима; $-2,21$ – весна; $-2,2$ – лето; $-2,23$ – осень. Средняя фаза без учета сезонов года составляла $-2,22$ рад. Средняя дисперсия была $\sim 0,05$ рад.

Дату минимума колебаний с периодом T лет можно вычислить по формуле $t = 1974,5 + (1 + \varphi/\pi) \cdot T/2$. Согласно этому выражению, ближайший к 1974,5 г минимум для всех сезонов приходится на 1976 г., что находится в хорошем согласии с положением минимума в рядах уровня солнечной активности.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о наличии характерного суточного хода амплитуд и частот основных линий спектра вариаций $foF2$ и существенного влияния цикла солнечной активности на форму спектра. Наблюдается значимый отрицательный тренд $foF2$, зависящий как от сезона года, так и от времени суток. Наибольшие значения (до -20 кГц/год) тренд принимает в полуденные часы весной и осенью.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о наличии характерного суточного хода амплитуд и частот основных линий спектра вариаций $foF2$ и существенного влияния цикла солнечной активности на форму спектра. Наблюдается значимый отрицательный тренд $foF2$, зависящий как от сезона года, так и от времени суток. Наибольшие значения (до -20 кГц/г) тренд принимает в полуденные часы весной и осенью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roble R. G. and Dickinson R. E. // Geophys. Res. Lett. – 1989. – No. 16. – P. 1441.
2. Rishbeth H. // Planet. Space Sci. – 1990. – No. 38. – P. 945.
3. Сарычев В. Т. // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1981. – № 8. – С. 102–104.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: hrk@mail.tsu.ru

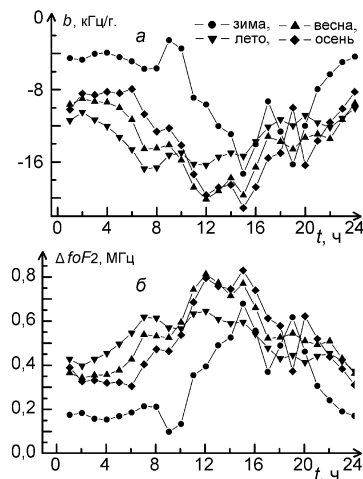


Рис. 3. Суточный ход коэффициента линейной аппроксимации вариаций значений $foF2$

года. Дисперсии, определяемые этими отклонениями, были следующие: $1,25$ МГц – зимой; $0,48$ МГц – весной; $0,04$ МГц – летом и $0,87$ МГц – осенью.

Фаза колебаний указанных линий определялись для даты 1974,5 г., соответствующей середине окна наблюдений. Суточный ход фаз не носил регулярного характера. Средние значения фаз в радианах по сезонам

Поступила в редакцию 15.06.12.