

Сравнение вариаций критической частоты слоя F2 ионосферы на ионосферных станциях Москва и Калининград при спокойных геофизических условиях

Н.Г. Котонаева, В.И. Денисова, В.В. Михайлов, Е.С. Перминова

Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, 129128,
г. Москва, ул. Ростокинская, 9, E-mail: kongt@yandex.ru

Представлены результаты статистического анализа вариаций критической частоты foF2 ионосферы по данным ионосферной станции Москва, Калининград, Ростов. Показано, что квантили отклонений текущих значений foF2 от медианы вплоть до уровня 0,9 имеют явно выраженный суточный ход и сезонную зависимость. Приведены суточные ходы квантилей отклонений от 0,9 и 0,1 уровней для этих трех станций при спокойных геофизических условиях.

The paper describes results of statistical analysis of ionosphere critical frequency foF2 variation by data of ionospheric station Moscow and Kaliningrad. It is shown that up to 0.9-quantile deviations between the current foF2 values and median have obviously expressed daily and seasonal dependence. We present diurnal variation of foF2 deviation from 0.9 to 0.1-quantiles.

Эталонные характеристики ионосферы, разработанные МСЭ-R для описания суточных изменений foF2 в течение месяца, устанавливают верхние и нижние децильные коэффициенты [1]. Приведённые в [1] коэффициенты являются характеристиками изменчивости медианных значений. Интересен вопрос о характеристиках изменчивости случайного процесса - отклонении текущего значений критической частоты foF2 от медианы. Является ли этот процесс марковским случайным процессом, то есть процессом без вероятностного последствия, статистические свойства которого в последующие моменты времени зависят только от значений процессов в данный момент и не зависят от их предыстории. Либо можно говорить о наличии суточного хода ансамбля реализаций этого случайного процесса.

Состояние ионосферы наиболее коррелирует с эффективным интегральным индексом геомагнитной активности $a_p(t, \tau)$, который учитывает предысторию изменения уровня геомагнитной активности в соответствии с (1)

$$a_p(t, \tau) = (1 - \tau) \cdot \sum_{n=0}^{80} a_p(t - 3n) \cdot \tau^n, \quad (1)$$

где $\tau = \exp(-3/\tau_0)$,

$a_p(t)$ – трёхчасовой индекс магнитной активности в момент t ,

$a_p(t-3)$, $a_p(t-6)$ и т.д. – значения этого индекса за предыдущие 3, 6 часов и т.д.

$\tau_0 = 10$ – характерное время реакции термосферы на изменения магнитной активности в часах.

Из всех значений геомагнитной активности рассмотрим два уровня от 0 до 10 и от 10 до 20, которые характеризуются как невозмущённые и слабо возмущённые геофизические условия.

Рассмотрим случайный процесс, каждая конкретная реализация которого является случайной величиной $X(t_0)$ – отклонение текущего значения критической частоты foF2 от своего медианного значения в момент времени t_0 , выраженный в часах, при близких значениях интегрального индекса геомагнитной активности.

$$X(t_0) = (foF2_{med} - foF2) |_{\substack{t=t_0 \\ a \leq a_p(\tau) < b}}, \quad (2)$$

где $foF2_{med}$ -27-дневная плавающая медиана критической частоты для времени суток t_0 ,

$foF2$ текущее значение критической частоты слоя F2,

a, b – границы уровня геомагнитной активности (в результатах статьи от 0 до 10).

α -квантилью (или квантилью уровня α) распределения случайной величины X будем называть число x_α , такое что

$$P(X(t_0) \leq x_\alpha) = \alpha. \quad (3)$$

Рассмотрены значения уровней квантилей $\alpha = 0,1; 0,05; 0,03; 0,01$ при отрицательных отклонениях от медианы, и $\alpha = 0,9; 0,95; 0,97; 0,99$ при положительных отклонениях от медианы.

Учитывая, что отклонения от медианы должны иметь сезонную и географическую зависимость, исследуемая выборка группировалась по месяцам, для анализа использовались данные конкретного ионосферного наблюдательного пункта, оборудованного ионозондом вертикального радиозондирования. В данной статье приведены данные по ионосферной станции Москва.

В настоящее время в практике ионосферной службы мера отклонения текущего значения от медианы измеряется в баллах. Один 1 МГц равен 0,5 баллов. Округление происходит всегда в верхнюю сторону с точностью до 0,5 баллов. В данной статье показано, что значимость одного балла для разного времени суток и для разных сезонов различна.

Для создания необходимых выборок были проанализированы данные наблюдения критической частоты foF2 на станции Москва за период 1957 по 1995 годы. Каждому измеренному значению ставилась в соответствие медианное значение за 27 суток (13 дней до и 13 дней после получения конкретного значения). Геофизические условия при этом не учитывались. Затем из данного объема выбирались только полученные в те дни, когда выполнялось условие $a_p(\tau) < 10$. Объемы выборок получились значимыми. Для станции Москва наименьшие объемы значений получены для сентября. Они представлены в таблице 1. В остальные месяцы объемы выборок были большими. Объемы выборки для Калининграда были меньшими, что позволило построить суточный ход квантиля только до уровня 0,95 и 0,05.

Таблица 1. Количество значений критических частот, для расчета квантилей в сентябре при $a_p(\tau) < 10$

	Время UT																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Москва	482	480	481	490	479	479	508	497	494	501	510	506	525	519	523	528	531	530	531	527	528	506	502	502	
Кали-	359	362	359	336	357	366	379	375	378	391	376	388	405	402	391	406	401	398	400	401	396	386	382	397	

На рис. 1а представлены значения суточных ходов квантилей распределения в декабре на станции Москва. Прежде всего отметим, что суточный ход квантилей существует вплоть до старших уровней квантилей (0,99 при положительных отклонениях и 0,01 при отрицательных отклонениях). Верхние и нижние нерегулярные линии соответ-

ствуют верхней и нижней границам выборки, то есть являются откликом на наличие ошибок всевозможного характера, в большинстве случаев – ошибок обработки и передачи данных. Отметим, что по результатам этого анализа вероятность ошибки на этой станции ниже 1%. Наиболее выделяющейся на рис. 1а является точка, соответствующая часу до восхода Солнца 5UT. Уточним, что восход в Москве в декабре происходит от 5:30 до 6:00 UT. В этот момент при спокойных геофизических условиях положительных отклонений от медианы практически не бывает, отрицательные же отклонения от медианы минимальны как раз в преддверии восхода. Наибольшие отклонения от медианы соответствуют времени накануне захода солнца 12 UT. Днём отклонения от медианы в декабре не могут превосходить 2 МГц, а ночью 1 МГц. В декабре нельзя говорить о доминанте какого-либо вида отклонений – положительных или отрицательных.

В июне картина отклонений иная (рис. 1б) длинный световой день приводит к суточному ходу отклонений с явно выраженными двумя максимумами в 4 UT (через 3 часа после восхода) и 21- 22 UT (через три часа после захода). Время наибольшего покая соответствует полночи и полудню.

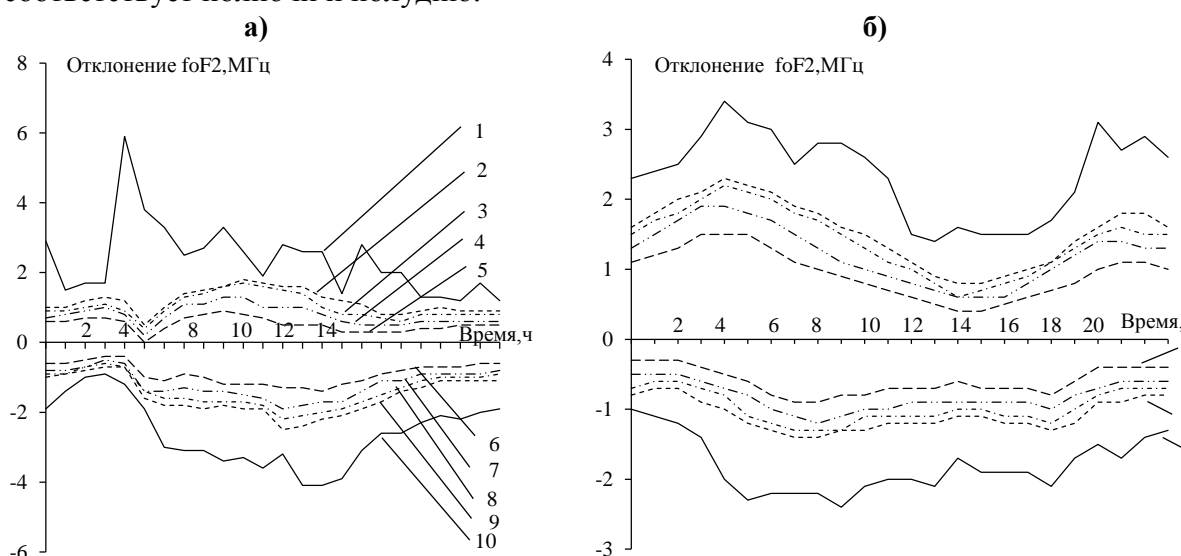


Рис. 1. Суточный ход квантилей отклонений текущих значений foF2 от медианы для станции Москва при $a_p(\tau) < 10$: а) – для декабря; б) – для июня. Цифрами обозначены уровни квантилей, соответственно: 1 – верхняя граница; 2-0,99; 3 – 0,97; 4 – 0,95; 5 – 0,90; 6 – 0,1; 7 – 0,05; 8 – 0,03; 9 – 0,01; 10 – нижняя граница.

Картина распределения в месяцы равноденствия (март и сентябрь) представлена на рис 2.

Так же явно наблюдается суточный ход квантилей отклонений вплоть до уровня 0,99 при положительных отклонениях и уровня 0,01 при отрицательных отклонениях. Однако, картина сентября и марта существенно различается. В сентябре картина отрицательных отклонений почти монотонна в пределах 1,5 МГц, а в марте отсутствие отрицательных отклонений наблюдается во время восхода и через три часа после заката. В эти месяцы положительные отклонения доминируют над отрицательными. Причем отметим, что, несмотря на то, что суточный ход квантилей старших уровней в марте претерпевает большие изменения, чем в сентябре, отклонения текущих значений критической частоты в сентябре больше, чем в марте.

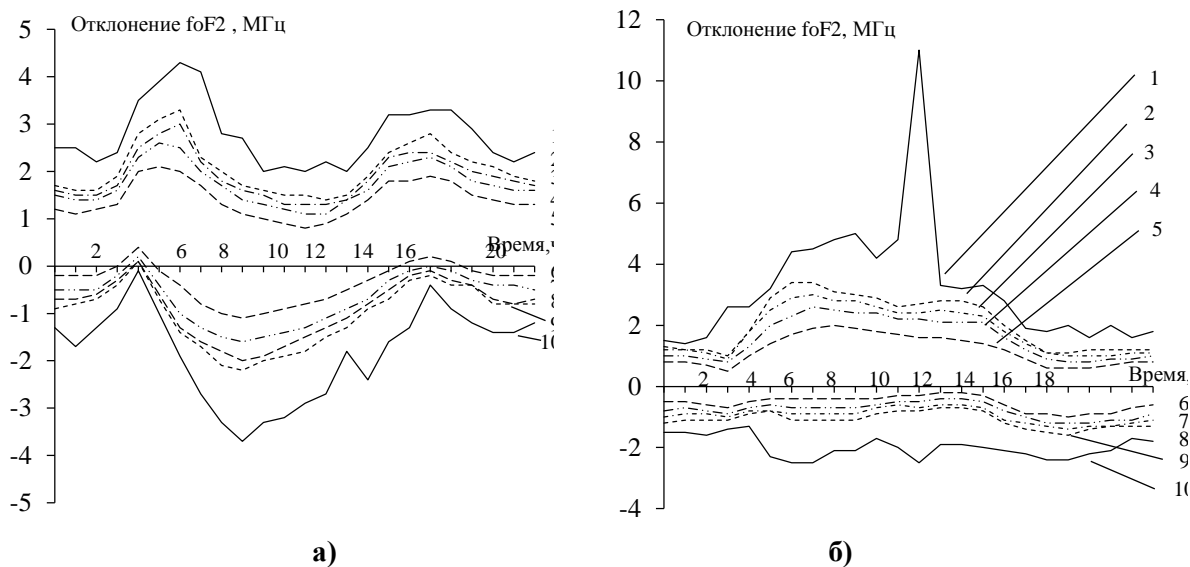


Рис. 2. Суточный ход квантилей отклонений текущих значений foF2 от медианы при $\alpha_p(\tau) < 10$: а) – для марта; б) – для сентября. Цифрами обозначены уровни квантилей, соответственно: 1 – верхняя граница; 2-0,99; 3 – 0,97; 4 – 0,95; 5 – 0,9; 6 – 0,1; 7 – 0,05; 8 – 0,03; 9 – 0,01; 10 – нижняя граница.

Сравним суточные ходы квантилей уровней 0,95 для Калининграда и Москвы в сентябре и июле (рис.3) и марте и январе (рис.4).

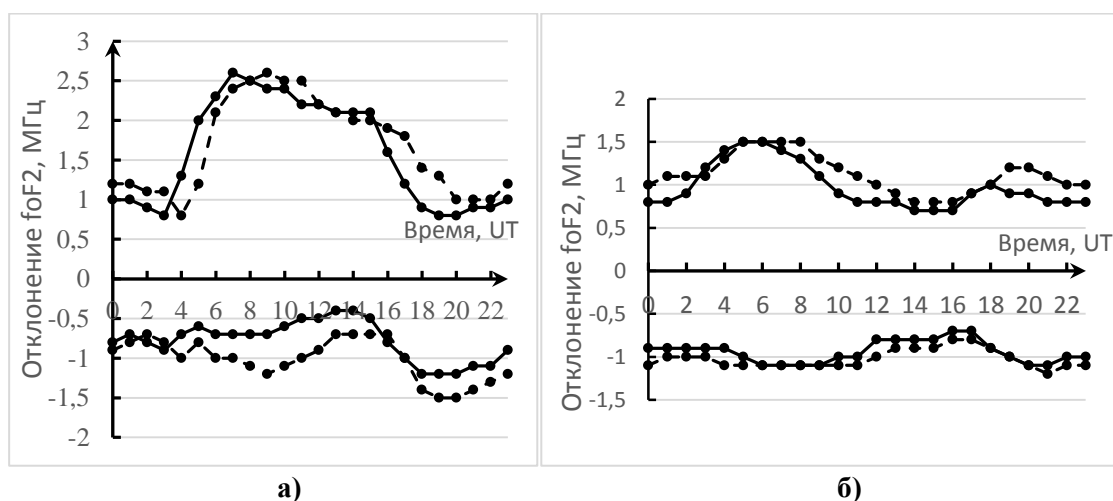


Рис. 3. Суточный ход квантилей отклонений текущих значений foF2 от медианы при $\alpha_p(\tau) < 10$ уровней 0,95 (в верхней части рисунка) и 0,05 (нижняя часть рисунка) а) для сентября б) для июля. Сплошная линия – станция Москва, пунктирная линия- станция Калининград

Обращает на себя внимание сдвиг начала увеличения дневных и максимума дневных отклонений на 1 час позже для Калининграда, что соответствует изменению времени восхода солнца в Калининграде.

Отметим также, что абсолютные значения соответствующих уровней квантилей больше для Калининграда, что может быть связано с тем, что она расположена северней Москвы.

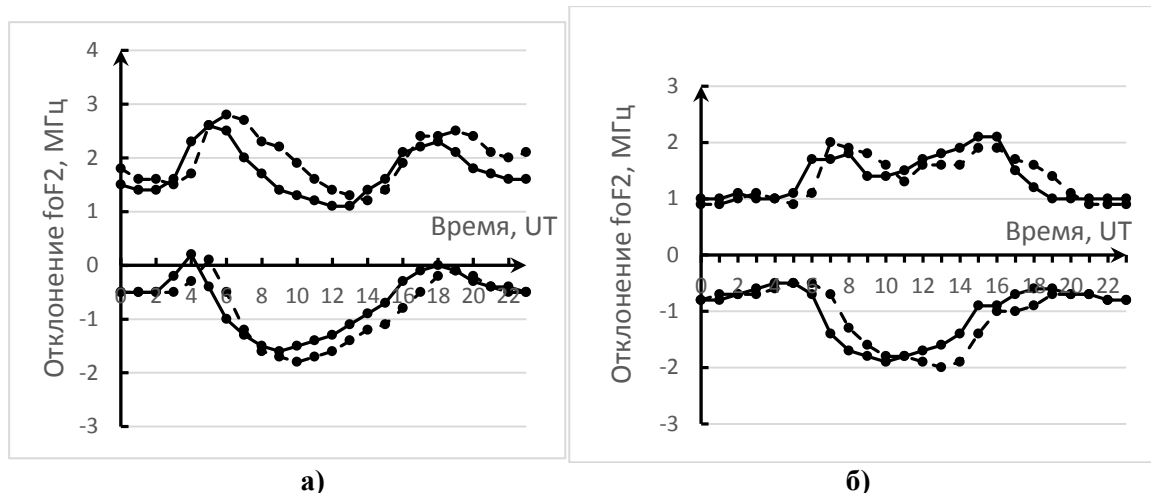


Рис. 4. Суточный ход квантилей отклонений текущих значений foF2 от медианы при $\alpha_p(\tau) < 10$ уровней 0,95 (в верхней части рисунка) и 0,05 (нижняя часть рисунка) а) для марта б) для января. Сплошная линия – станция Москва, пунктирная линия- станция Калининград

В остальные месяцы наблюдается также подобие суточных ходов квантилей отклонений текущих значений foF2 от медианы в Москве и Калининграде.

Заключение

После проведенного статистического анализа длинных рядов наблюдений foF2 на предмет выявления закономерностей в процессе отклонений текущих значений от скользящего медианного следует сделать выводы и дополнительно отметить:

1. Случайный процесс «отклонение значения критической величины от ее медианного значения» не является марковским и имеет выраженный суточный и сезонный ход.
2. Суточный ход выделен во всех месяцах при спокойной и слабовозмущенной геомагнитной обстановке на обеих станциях Москва и Калининград.
3. При спокойной геомагнитной обстановке суточный ход квантилей отклонений наблюдается вплоть до 0,99 (0,01) уровней для Москвы и 0,95 (0,05) уровней для Калининграда.
4. В сезонном ходе явно выражено закатное и рассветное влияние Солнца.
5. Вероятность ошибки обработки и передачи информации на станции Москва за период с 1959 по 1999 годы составила менее 1 %.
6. Метод может быть использован для контроля результатов автоматической обработки ионограмм.

Литература

1. Рекомендация МСЭ-R P.1239-3. Эталонные характеристики ионосферы, разработанные МСЭ-R. Международный союз электросвязи. Сектор радиосвязи.