

Том I, с. 276–280  
УДК: 523.31-853

## ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ О ЗАКОНАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОТКЛОНЕНИЙ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛОЯ F2 ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ДОЛГОТНОЙ ЦЕПОЧКИ СТАНЦИЙ НАБЛЮДЕНИЯ

А. Г. Полякова, Н. Г. Котонаева, В. В. Михайлов

ИИП им. ак. Е.К. Фёдорова, 129128, г. Москва, ул. Ростокинская, 9  
E-mail: antanta-annett@yandex.ru

**Аннотация.** Проведён сравнительный анализ гистограмм распределения отклонений критической частоты слоя F2 ионосферы от медианного значения при различной солнечной активности, различных сезонах, различном времени суток и различном широтном расположении станций. Приведены предположения о законе распределения вероятностей отклонений критической частоты слоя F2 ионосферы. Определена зависимость формы гистограммы распределения от вышеуказанных факторов. Приведены примеры гистограмм распределения и значения их характеристик.

**Ключевые слова:** критическая частота; слой F2 ионосферы; статистические гипотезы; отклонения критической частоты; солнечная активность; широтная зависимость

## TESTING OF STATISTICAL HYPOTHESES ABOUT THE LAWS OF DISTRIBUTION OF PROBABILITIES OF DEVIATIONS OF CRITICAL FREQUENCY OF F2 LAYER FOR THE CHAIN OF LONGITUDE OF OBSERVATION STATIONS

A. G. Polyakova, N. G. Kotonaeva, V. V. Mikhailov

**Abstract.** A comparative analysis of the histograms of the distribution of deviations of the critical frequency of the F2 layer of the ionosphere from the median value at different solar activity, different seasons, different times of day and different latitudinal locations of the stations is carried out. Assumptions are made about the law of the distribution of the probabilities of deviations of the critical frequency of the F2 layer of the ionosphere. The dependence of the shape of the histogram of distribution on the above factors was determined. Examples of distribution histograms and values of their characteristics are given.

**Keywords:** critical frequency; layer F2 of the ionosphere; statistical hypotheses; deviations of the critical frequency; solar Activity; latitude dependence

### Введение

Исследованию пространственных и временных изменений критических частот слоя F2 ионосферы  $f_oF2$  всегда уделялось большое внимание. Подобные исследования лежат в основе эмпирических моделей ионосферы. Подробно вопрос изменчивости  $f_oF2$  рассматривался в [1]. Именно на эту публикацию ссылаются исследователи при определении корреляции между наблюдаемыми значениями различных станций. Близкий подход можно наблюдать в [2].

Накопление длинных непрерывных рядов наблюдений на сети ионосферных станций Росгидромета позволяет вернуться к этому вопросу.

Целью исследования является определение законов распределения случайной величины  $X(T)$  – отклонения критической частоты ионосферы  $f_oF2(T)$  в момент времени от скользящей медианы этих значений  $Me(f_oF2(T))$ , вычисленной по предыдущим 27 суткам [3]

$$X(T) = f_oF2 - Me(f_oF2(T)), \quad (1)$$

определение зависимости закона распределения от уровня солнечной активности, сезона, времени суток, а также географической широты наблюдательного пункта.

Исследование проводилось с использованием часовых данных наблюдений  $f_oF2$  по ионосферным станциям Москва, Ростов, Ленинград за весь, известный авторам, период наблюдений: с 1957 по 2018 год.

Зависимость закона распределения от уровня солнечной активности, времени суток и сезона рассматривается с использованием данных, полученных на станции Ростов. При исследовании широтной зависимости используются данные, полученные с других станций.

### Зависимость закона распределения от уровня солнечной активности

Для учёта солнечной активности за рассматриваемый период выбраны те дни, которые соответствуют низкой солнечной активности с числом Вольфа не превышающим 75. Таким образом, получились две выборки данных – полные данные и данные при низкой солнечной активности.

Для устранения влияния геомагнитных возмущений из обеих выборок взяты данные, соответствующие низкой геомагнитной активности, а именно те моменты, когда интегральное среднее значение индексов  $A_p$  за предыдущие 11 дней ( $A_p7$ ) не превышало 10. По полученным выборкам построены гистограммы распределения за каждый месяц года. Осуществлена проверка гипотезы о законах распределения (1) по критерию Пирсона, в результате которой наиболее подходящим для данных гистограмм распределения оказался нормальный закон.

Сравнение гистограмм закона распределения случайной величины показало, что при низкой солнечной активности закон распределения является нормальным или близок ему с большей вероятностью в большем количестве случаев, чем без учета солнечной активности (рис. 1). При этом:

- максимальное удаление математического ожидания от нуля  $-0,265$  и  $0,158$  при низкой солнечной активности и  $-0,319$  и  $0,235$  без учета солнечной активности;
- в подавляющем большинстве случаев среднее квадратическое отклонение при низкой СА меньше, чем без учета солнечной активности.

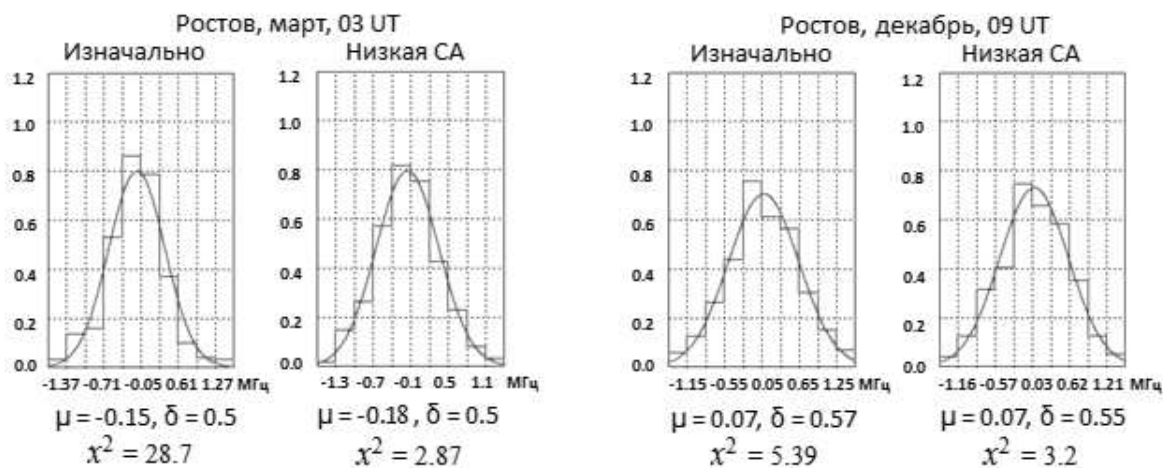


Рис. 1. Ступенчатая линия - гистограммы законов распределения случайной величины (1) – при различной солнечной активности. Плавная линия – проверяемые нормальные законы распределения.  $\mu$  – математическое ожидание.  $\delta$  – среднеквадратическое отклонение.  $\chi^2$  – критерий Пирсона.

При дальнейшем анализе использовались выборки, полученные при низкой солнечной активности.

### Зависимость закона распределения от времени суток

Для выделения зависимости закона распределения от времени суток рассмотрены моменты 03, 09, 15 и 21 UT. Местное время на рассматриваемых станциях было почти одинаково и

отличалось от международного на +3 часа. По найденным значениям отклонений построены гистограммы законов распределения по двенадцати месяцам для каждого выбранного часа.

Сравнения среднеквадратических отклонений в различное время суток представлены на рис. 2.

Получены следующие результаты:

- математическое ожидание величины  $X$  во всех рассмотренных случаях отличалось от нуля не более чем на десятые доли МГц;
- наибольшие значения среднеквадратического отклонения наблюдаются в 09 UT (12 LT), в большинстве случаев они превышали 0,75 МГц. Однако, необходимо отметить, что многие гистограммы в 09 UT имеют единичные выбросы на значительном удалении от математического ожидания. Если их исключить, то среднее квадратическое отклонение в 09 UT уменьшится и будет близким к 03 и 15 UT, коридор значений составит 0,521-0,767. Это может свидетельствовать о том факте, что в это время наблюдалось наибольшее количество перемещающихся ионосферных неоднородностей;
- наименьшие значения среднеквадратического отклонения наблюдаются в 21 UT, при этом в большинстве случаев они были менее 0,5 МГц;
- в 03 UT среднеквадратичные отклонения находятся в интервале 0,378-0,702 МГц;
- в 15 UT среднеквадратичные отклонения находятся в интервале 0,418-0,659 МГц (рис. 2).

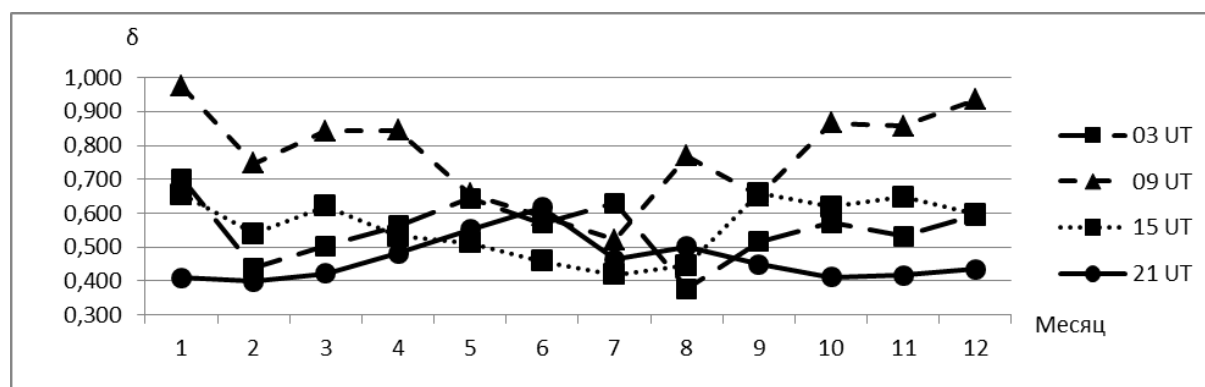


Рис. 2. Среднеквадратическое отклонение в различное время суток.

### Сезонная зависимость закона распределения

Для выделения зависимости закона распределения от сезона рассмотрен момент 09 UT в различные сезоны.

Сравнения среднеквадратических отклонений в 09 UT в различные сезоны представлены на рис. 3.

Получены следующие результаты:

- во все сезоны математическое ожидание отличалось от нуля не более, чем на десятые доли МГц;
- наименьшие значения, а также наименьшая разница между максимальным и минимальным значением среднеквадратического отклонения наблюдаются в летний сезон, он находится в интервале 0,418–0,656 МГц;
- в зимний сезон среднеквадратичные отклонения находятся в интервале 0,409–0,973 МГц;
- в демисезон среднеквадратичные отклонения находятся в интервале 0,378–0,865 МГц.

### Широтная зависимость закона распределения

Для выделения зависимости закона распределения от широтного расположения ионосферной станции рассмотрены данные со станций Москва, Ростов, Ленинград. Станция Ростов нахо-

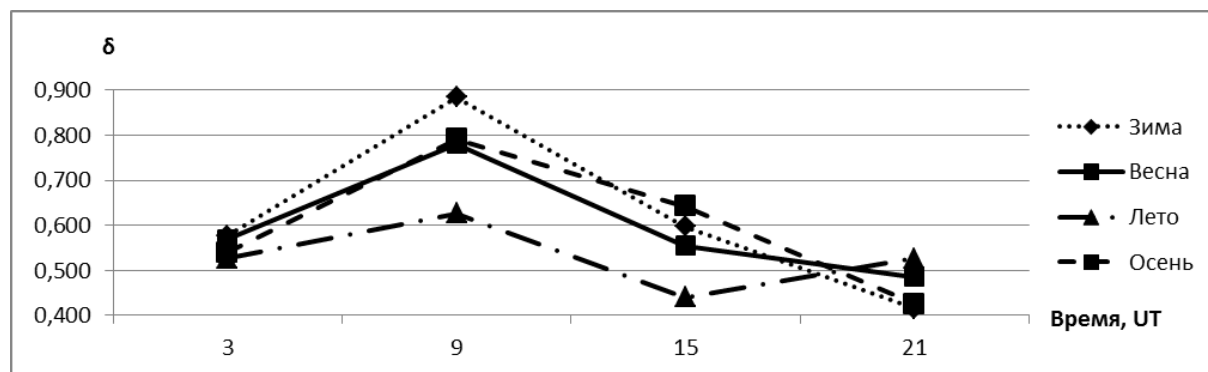


Рис. 3. Среднеквадратическое отклонение в различные сезоны.

дится в зоне среднеширотной ионосферы, Москва на границе среднеширотной и субавроральной, а Ленинград в зоне субавроральной ионосферы.

Сравнения среднеквадратических отклонений в 09 UT представлены на рис. 4.

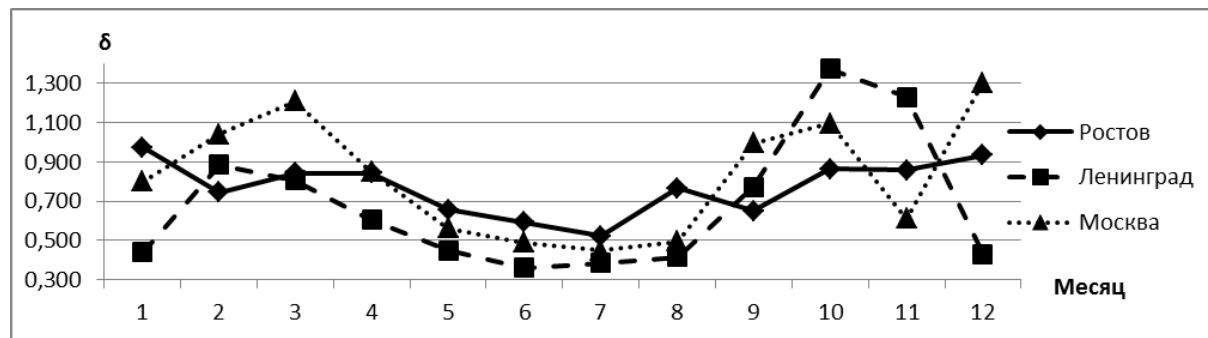


Рис. 4. Среднеквадратическое отклонение в 09 UT на различных ионосферных станциях.

Получены следующие результаты:

- На всех станциях математическое ожидание отличалось от нуля не более, чем на десятые доли МГц.
- На всех трех станциях наблюдается положительное значение математического ожидания в 9 и 15 часов в зимние месяцы.
- Большая часть гистограмм, построенных по данным со станции Ленинград, имеет смещение центра вправо.
- На всех трёх станциях наименьшие значения среднеквадратического отклонения наблюдаются в летнее время.
- На всех станциях наибольшие значения среднеквадратического отклонения наблюдаются в 09 UT. На станции Ростов наименьшие значения среднеквадратического отклонения наблюдаются в 21 UT, на станции Москва одинаково в 03 UT и 21 UT, а на станции Ленинград в 03 UT.

### Выводы

По полученным результатам можно сделать выводы, что закон распределения отклонений критической частоты ионосферы  $f_oF_2(T)$  от скользящей медианы этих значений  $Me(f_oF_2(T))$ , вычисленной по предыдущим 27 суткам, в момент времени является нормальным или близок к нему:

- при низкой солнечной активности с большей вероятностью, чем без учета солнечной активности;

- в моменты 03 и 09 UT (при устранении резких выбросов) с большей вероятностью, чем в остальные рассматриваемые моменты времени;
- в летний и зимний период с большей степенью вероятности, чем в демисезон, однако сезонная зависимость закона распределения менее выражена, чем суточная;
- с большей вероятностью при уменьшении широты ионосферной станции.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-80023 «Опасные явления».

#### **Список литературы**

1. Киселева М.В., Кияновский М.П., Князюк В.С., Ляхова Л.Н., Юдович Л.А. Прогнозирование критических частот области F2 // *Ионосферные возмущения и их влияние на радиосвязь*. – М. Наука, 1971. – С. 74-99.
2. Сергеенко, Н.П. Статистическое моделирование вариаций критической частоты слоя F2 ионосферы // *Известия ВУЗов. Северо-кавказский регион. Естественные науки*, 2010. № 2. – С. 53-57.
3. Котонаева, Н.Г., Михайлов В.В., Перминова Е.С. Статистические закономерности вариаций критической частоты ионосферы при спокойных геофизических условиях / *Труды XXV Всероссийской открытой научной конференции «Распространение радиоволн»*, Томск, 4–9 июля 2016 г. – Т.1. – С. 121–124.