

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.187-189

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ F-РАССЕЯНИЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ПО ДАННЫМ СПУТНИКА ИК-19

В.А. Телегин, Н.А. Дятко, И.В. Кочетов

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк*

**Аннотация.** В настоящей работе выполнена оценка частоты появления разных типов F-рассеяния в различных интервалах инвариантных широт в зависимости от локального времени. Исследования проведены для зимнего периода на основе данных, полученных с использованием ионозонда ИС-338, установленного на борту спутника ИК-19.

При анализе ионограмм, получаемых при внешнем зондировании ионосферы, можно выделить три характерных типа рассеяния сигнала на неоднородностях ионосферы (F-рассеяние). Первый тип (тип F1) наблюдается на высоте спутника, с которого производится зондирование. Третий тип (тип F3) наблюдается в максимуме слоя F2, а второй тип (тип F2) определяется по центральной части ионограммы. Данная классификация была впервые предложена в работе [1]. Целью настоящей работы является выяснение закономерностей появления разных типов рассеяния в различных интервалах инвариантных широт (ПЛАТ) в зависимости от локального времени (LT). Исследования выполнены для зимнего периода. Следует отметить, что анализ закономерностей появления различных типов F-рассеяния на основе результатов, полученных при внешнем зондировании ионосферы, ранее был проведен только для периода равноденствия [2].

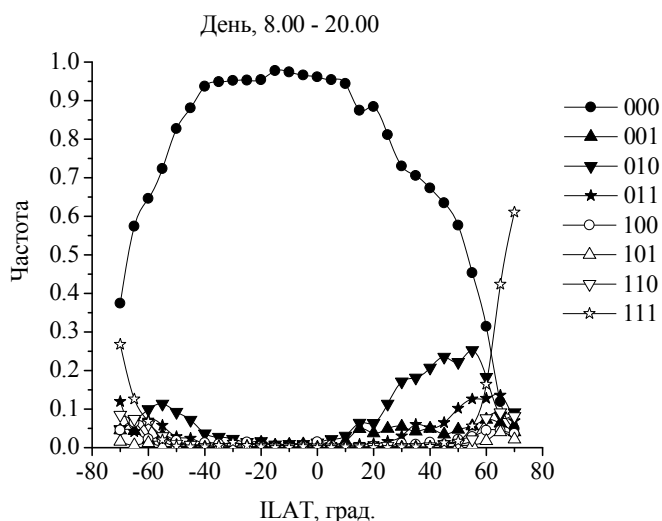
Исследования проводились на основе анализа ионограмм, полученных с использованием ионозонда ИС-338, установленного на борту спутника ИК-19. Спутник летал в период высокой солнечной активности 1979-1981 гг. Всего было проанализировано около 40000 ионограмм в полученных в зимний период. Для каждой ионограммы известны время и дата зондирования и координаты спутника в момент зондирования. Предварительный анализ показал, что координаты точек зондирования достаточно равномерно распределены по поверхности Земли в интервале инвариантных широт от  $-70$  градусов до  $+70$  градусов, а времена зондирования достаточно равномерно распределены в течение суток.

**Таблица 1.** Наиболее часто встречающиеся типы F-рассеяния (вероятность  $\geq 30\%$ ) и временные интервалы их наблюдения (в скобках, часы, LT) в различных диапазонах инвариантных широт.

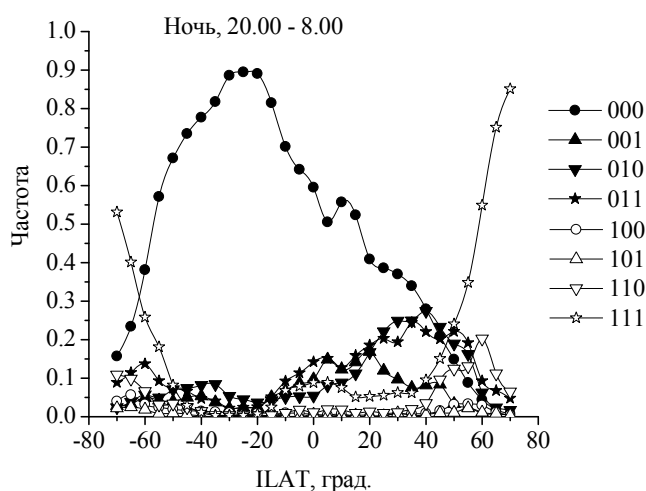
ПЛАТ, град.	Наиболее вероятные ( $\geq 30\%$ ) типы рассеяния и временные интервалы их наблюдения (в скобках, LT)
[60, 70]	010 (10-11), 111 (0-9; 15-24)
[40, 50]	000 (7-23), 010 (2-6; 9-13), 011(5-6)
[20, 30]	000 (3-5; 7-24), 010 (4-6); 011(1-2)
[-5, 5]	000 (0-24)
[-30, -20]	000 (0-24)
[-50, -40]	000 (0-24), 010 (18-20)
[-70, -60]	000 (7-16), 110 (19-20), 111 (0-6; 17-24)

Анализ проводился на основе ионограмм, обработанных вручную. Для каждой ионограммы определялось наличие или отсутствие типов рассеяния F1, F2 и F3. Наличие соответствующего типа рассеяния идентифицировалось цифрой 1, а его отсутствие – цифрой 0. Результат анализа каждой ионограммы записывался в виде последовательности трех цифр, которые указывают на наличие или отсутствие типов рассеяния F1, F2 и F3, соответственно. Например, последовательность 101 означает, что имеют место рассеяния типа F1 и F3, а рассеяние типа F2 отсутствует. А комбинация 000 означает отсутствие возмущений (неоднородностей) в ионосфере. Возможно, всего 8 различных комбинаций трех типов F-рассеяния: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 и 111. Статистическая обработка полученных результатов состояла в расчете частот появления каждой из указанных комбинаций в заданном интервале инвариантных широт в определенном интервале времени. Для этого рассчитывалось общее число событий (ионограмм), удовлетворяющих

заданным условиям по широте и времени ( $N_{\text{tot}}$ ), и количество каждой из указанных выше комбинаций ( $N_i$ ,  $i = 1, \dots, 8$ ). Частота появления данной комбинации рассчитывалась как отношение  $\xi_i = N_i / N_{\text{tot}}$ .



**Рисунок 1.** Зависимость частоты появления различных типов F-рассеяния в дневное время от широты.



**Рисунок 2.** Зависимость частоты появления различных типов F-рассеяния в ночное время от широты.

проанализировать частоту появления различных типов рассеяния отдельно в дневное (с 8 до 20 часов, LT) и ночное (с 20 до 8 часов, LT) время на разных широтах. Результаты такого анализа представлены на рисунках 1 (для дневного времени) и 2 (для ночного времени).

Как видно из рис. 1, суммарная частота появления F-рассеяния (т.е. типов рассеяния отличных от 000) в дневное время в интервале широт [-50, 20] достаточно мала (< 20%). В северном полушарии в области высоких широт суммарная частота появления F-рассеяния резко возрастает и на широтах ~ 70 градусов составляет около 95%. При этом в области широт 25 -55 градусов преобладает рассеяние типа 010, а в области более высоких широт - рассеяние типа 111. В южном полушарии суммарная частота появления F-рассеяния при переходе от средних (- 50 градусов) к высоким (-70 градусов) широтам возрастает от ~ 20 % до ~ 60%. При этом в области высоких широт преобладает F-рассеяние типа 111.

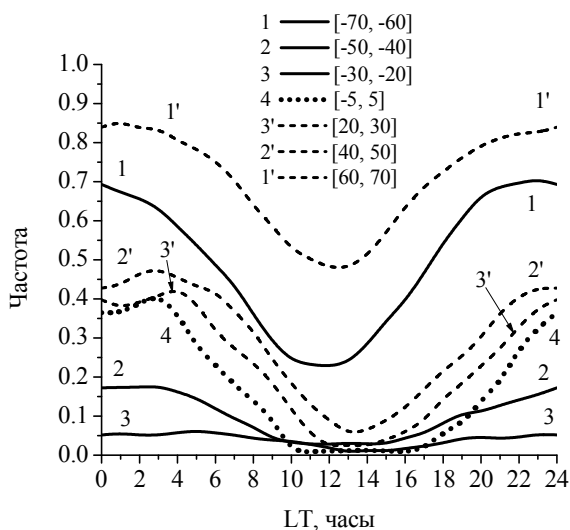
В ночное время распределение частоты появления различных типов F-рассеяния несколько меняется. Минимум суммарной вероятности появления F-рассеяния сдвигается в область экваториальных широт южного полушария: в диапазоне широт [-35, - 40] эта вероятность меньше 20 %. При переходе к более высоким широтам южного полушария вероятность появления F-рассеяния резко возрастает и на широте ~ - 70 градусов составляет около 85%. При этом основным типом рассеяния является тип 111 (~ 53%). Заметный вклад дают также типы 011 (~ 10%) и 011 (~ 10%).

Расчеты были выполнены для высоких ([-70, -60]; [60, 70]), средних ([-50, -40]; [40, 50]) и экваториальных ([-30, -20]; [-5, 5]; [20, 30]) широт южного и северного полушарий. Наглядное представление частот появления всех восьми типов рассеяния в зависимости от инвариантной широты и времени суток возможно либо в виде громоздких таблиц, либо в виде большого числа графиков. В рамках короткой статьи это сделать невозможно. Поэтому мы ограничились анализом типов F-рассеяния, частота появления которых  $\geq 30\%$ . Как оказалось, в основном это типы 000, 111, 010 и (в меньшей степени) типы 011 и 110 (см. Таблицу 1).

Как следует из Табл. 1, в экваториальной области и в средних широтах южного полушария ионосфера в основном невозмущенная (преобладает тип 000). В области более высоких южных широт появляется F-рассеяние типа 111, причем этот тип рассеяния наблюдается в основном в ночное время. В небольшом интервале времени 19-20 часов наблюдается также F-рассеяние типа 110.

В северном полушарии возмущения в ионосфере (типы рассеяния отличные от 000) наблюдаются на более низких широтах, чем в южном полушарии. Причем в экваториальных и средних широтах северного полушария наблюдается F-рассеяние типов 010 и 011. В высоких широтах северного полушария (как и в высоких широтах южного полушария) в ночное время имеет место F-рассеяние типа 111.

Приведенные выше результаты подтверждают тот факт, что явление F-рассеяния чаще наблюдается в ночное время [2]. В связи с этим целесообразно



**Рисунок 3.** Суточный ход частоты появления рассеяния типа XX1.

рассеяние наблюдается в основном ночью [3]. Наблюдаемое с поверхности Земли F-рассеяние соответствует типу F3, наблюдаемому со спутника. Поэтому для корректного сравнения результатов внешнего зондирования с результатами вертикального зондирования необходимо объединить все варианты, в которых наблюдается тип рассеяния F3: 001, 011, 101 и 111. Обозначим такой суммарный тип как XX1. В работе [1, 4] было проведено сравнение результатов внешнего зондирования (данные спутника ИК-19) с результатами вертикального зондирования по станции Москва для зимнего периода в условиях высокой солнечной активности. Показано, что имеет место хорошее согласие временных зависимостей частоты появления F-рассеяния в течение суток.

В настоящей работе сравнения с данными вертикального зондирования не проводилось. Но по данным внешнего зондирования мы рассчитали частоты появления рассеяния типа XX1 в зависимости от локального времени и инвариантной широты. Полученные данные могут быть использованы для сравнения с данными наземных станций вертикального зондирования, расположенных на различных широтах. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, во всем рассмотренном диапазоне широт частота появления F-рассеяния (XX1) увеличивается в ночное время. Этот факт согласуется с результатами, полученными при зондировании ионосферы с поверхности Земли [3]. Кроме того, частота появления рассеяния увеличивается при переходе от низких к высоким широтам. Отметим также, что в одинаковых интервалах широт частота появления F-рассеяния в северном полушарии выше, чем в южном.

## Литература

1. Карпачев А.Т., В.А. Телегин. Энциклопедическая серия. «Энциклопедия низкотемпературной плазмы», Серия Б, Справочные приложения, базы и банки данных. Тематический том 1-3. Ионосферная плазма. Часть 1.2008, с.447-455.
2. Телегин В.А., Н.А. Дятко, А.А. Каптюг. Исследование явления F-рассеяния по данным спутника ИК-19 в период равноденствия. // Proc.of 41-th Annual Seminar «Physics of the Auroral Phenomena», Apatity, PGI, 2018, pp. 154-156.
3. Гершман Б.Н., Э.С. Казимировский, В.Д. Кокуров, Н.А. Чернобровкина. Явление F-рассеяния в ионосфере. М.: «Наука», 1984 г.
4. Панченко В.А., В.И. Рождественская, В.А. Телегин. Цифровой ионозонд DPS-4 в ионосферных исследованиях ИЗМИРАН, Электромагнитные плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли. М.: ИЗМИРАН. 2014, с. 160-169.

При продвижении из области экваториальных широт южного полушария) к высоким широтам северного полушария суммарная вероятность появления F-рассеяния практически монотонно возрастает от 20 % (на широте -20 градусов) 100% (на широте 70 градусов). При этом в области высоких широт северного полушария основным типом F-рассеяния является тип 111 (~ 85% на широте 70 градусов). В области средних и экваториальных широт северного полушария наблюдаются (с близкими вероятностями) различные типы рассеяния: 001, 010, 011, 110 и 111.

Заметим, что явление F-рассеяния впервые наблюдалось при вертикальном зондировании ионосферы с поверхности Земли. При таком зондировании рассеяние наблюдается в основном в области F, что и определило название данного явления. В результате анализа данных большого числа ионосферных станций была получена основная информация о закономерностях этого явления. В частности, было установлено, что F-