

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.154-156

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ F-РАССЕЯНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА ИК-19 В ПЕРИОД РАВНОДЕНСТВИЯ

В.А. Телегин, Н.А. Дятко, А.А. Каптюг

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

Аннотация. В настоящей работе выполнена оценка частоты (везде далее вероятности) появления для разных типов F-рассеяния в различных интервалах инвариантных широт в зависимости от локального времени. Исследования проведены для периода равноденствия 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 (PLAT) в зависимости от локального времени (LT). Исследования выполнены для периода равноденствия. Следует отметить, что анализ закономерностей появления различных типов F-рассеяния на основе результатов, полученных при внешнем зондировании ионосферы, ранее не производился.

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 обработано около 50000 ионограмм. 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 $> 30\%$) и временные интервалы их наблюдения (в скобках, часы, LT) в различных диапазонах инвариантных широт

PLAT, град.	Наиболее часто встречающиеся ($>30\%$ случаев) типы рассеяния и временные интервалы их наблюдения (в скобках, LT)
[60, 70]	000 (7-20), 111 (0-7; 20-24)
[40, 50]	000 (0-24)
[20, 30]	000 (0-24), 010 (8-11)
[-5, 5]	000 (0-1; 5-24)
[-30, -20]	000 (0-23), 010 (0-1; 15-24)
[-50, -40]	000 (0-2; 9-16), 010 (6-9; 15-20), 011 (4-6)
[-70, -60]	000 (12-17), 111 (0-8; 20-24), 010 (9-10)

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

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

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

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 больше 30%. Как оказалось, в основном это типы 000, 111, 010 и (в меньшей степени) тип 011 (см. табл. 1).

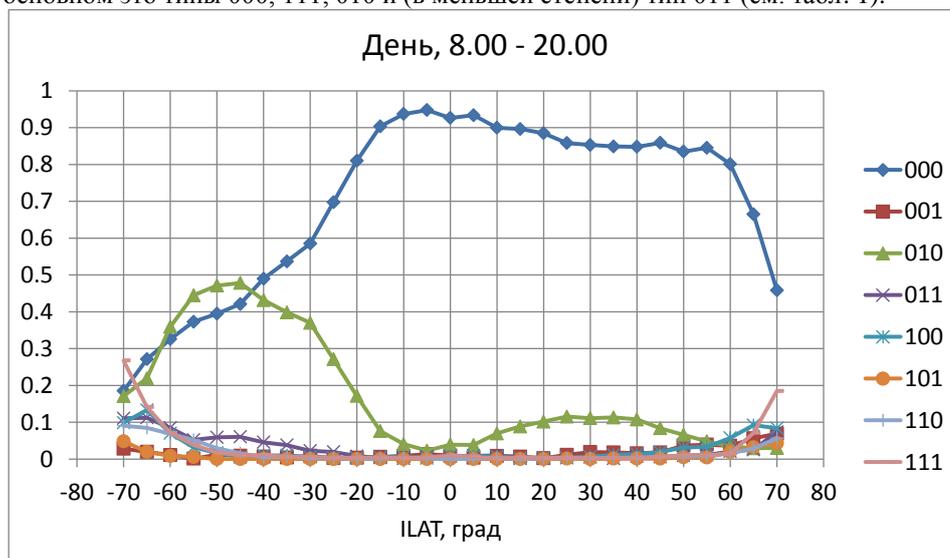


Рисунок 1. Зависимость вероятности появления различных типов F-рассеяния в дневное время от широты

Как следует из табл. 1, в экваториальной области и в средних широтах северного полушария ионосфера в основном невозмущенная (преобладает тип 000). В области более высоких северных широт появляется F-рассеяние типа 111, причем этот тип рассеяния наблюдается в основном в ночное время.

В южном полушарии возмущения в ионосфере (типы рассеяния отличные от 000) наблюдаются на более низких широтах, чем в северном полушарии. Причем в экваториальных и средних широтах южного полушария наблюдается F-рассеяние типа 010. В высоких широтах южного полушария (как и в высоких широтах северного 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 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 рис. 1 (для дневного времени) и 2 (для ночного времени).

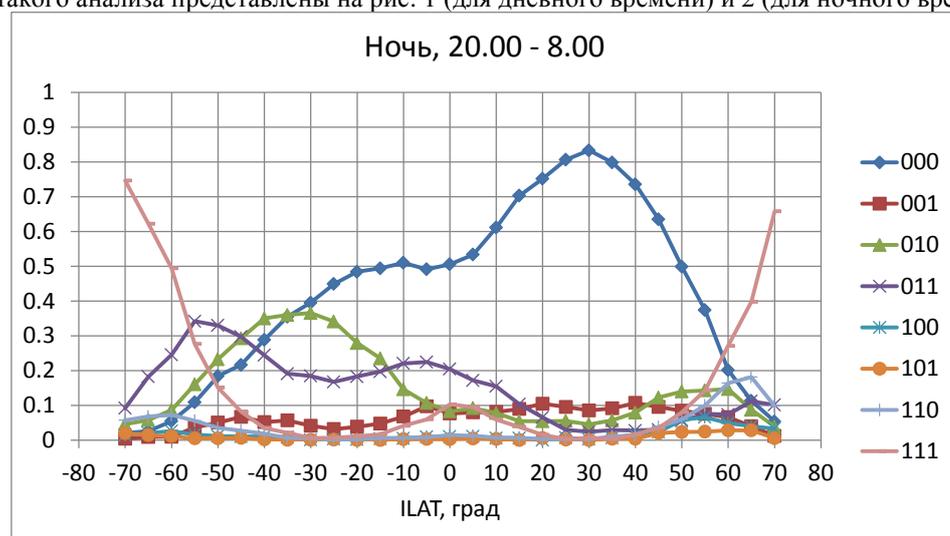


Рисунок 2. Зависимость вероятности появления различных типов F-рассеяния в ночное время от широты

Как видно из рис. 1, вероятность появления F-рассеяния (т.е. типов рассеяния отличных от 000) в дневное время в интервале широт [-20, 60] достаточно мала (< 20%). В северном полушарии в области высоких широт (~ 70 градусов) суммарная вероятность появления F-рассеяния увеличивается до 50%, причем наиболее часто встречается рассеяние типа 111 (~ 20%). В южном полушарии суммарная вероятность появления F-рассеяния

резко возрастает (от 20 % до 80%) при переходе из экваториальных к высоким широтам. При этом в области средних широт преобладает рассеяние типа 010, а в области высоких широт – рассеяние типов 111 и 010.

В ночное время распределение вероятности появления различных типов F-рассеяния заметно меняется. В области высоких широт (как в северном, так и в южном полушариях) суммарная вероятность рассеяния близка к 100%, причем наиболее часто встречающимся типом рассеяния (~ 70%) является тип 111. В южном полушарии в области экваториальных и средних широт достаточно высока вероятность появления (до 35%) рассеяния типов 010 и 011.

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-рассеяние наблюдается в основном ночью [2]. 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 [3] 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 вероятности появления F-рассеяния в течение суток.

В настоящей работе сравнения с данными вертикального зондирования не проводилось. Но по данным внешнего зондирования мы рассчитали вероятности 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.

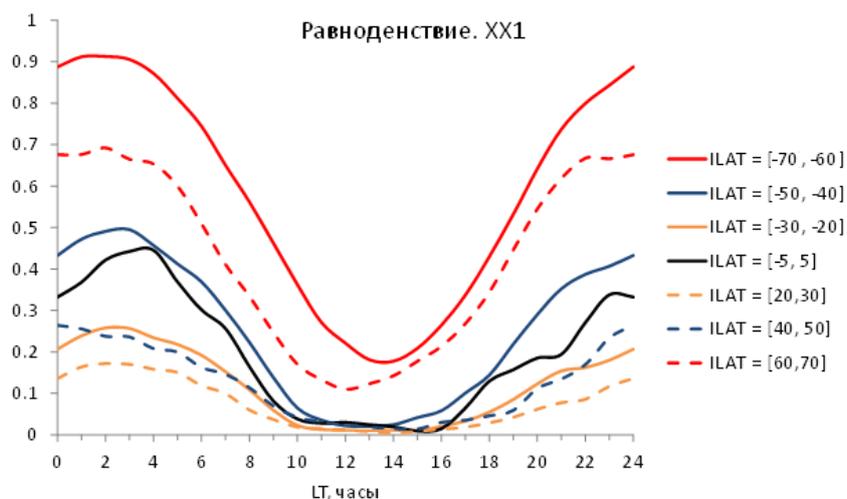


Рисунок 3. Суточный ход вероятности появления рассеяния типа XX1

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

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. с.447-455, 2008
2. Гершман Б.Н., Э.С. Казимировский, В.Д. Кокуров, Н.А. Чернобровкина. Явление F-рассеяния в ионосфере. М.: «Наука», 1984
3. 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.201, с. 160-169, 2015