

Анализ f-рассеяния в ионограммах и его классификация на основе руководства URSI

А.М. Бахи¹, Д.Н. Краснов¹, К.М. Юсупов¹

¹ Казанский федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.
E-mail: abdallahbahi31@gmail.com

В работе представлен анализ F-рассеяния на ионограммах, полученных в ходе наблюдений ионосферы. Используя методические рекомендации из руководства URSI, выполнена классификация типов F-рассеяния, наблюдаемых на различных ионограммах. Рассчитаны основные параметры, такие как критическая частота (f_oF_2) и виртуальная высота (h_mF_2), что позволило оценить нормальные и нестабильные состояния ионосферы. Ионограммы являются ключевым инструментом для анализа состояния ионосферы и определения параметров слоев, таких как критическая частота и высота отражений. В рамках данного исследования были проанализированы ионограммы с различными временными метками (с 3-х ночи до 6-и утра). На основе визуального анализа и расчетов по формулам из URSI, определены следующие типы F-рассеяния: нормальное, нестабильное и дифракционное. Ключевые слова: ионограмма, F-рассеяние, ионосфера, URSI, критическая частота, виртуальная высота

The analysis of f-scattering in ionograms and its classification based on ursi guidelines

A.M. Bakhi¹, D.N. Krasnov¹, K.M. Yusupov¹

¹ Kazan federal university.

The paper presents an analysis of F-scattering observed in ionograms during ionospheric monitoring. Based on URSI methodological recommendations, a classification of F-scattering types was carried out. Key parameters such as critical frequency (f_oF_2) and virtual height (h_mF_2) were calculated, allowing assessment of normal and disturbed ionospheric states. Ionograms serve as a primary tool for analyzing ionospheric conditions and determining layer parameters. The study included ionograms recorded at different times (from 3 a.m. to 6 a.m.). Through visual analysis and URSI-based calculations, the following F-scattering types were identified: normal, unstable, and diffractive. Keywords: ionograms, F-scattering, ionosphere, URSI, critical frequency, virtual height

Введение

Ионосфера представляет собой важный элемент верхней атмосферы, который активно взаимодействует с радиоволнами. Для её исследования применяются специализированные приборы, одним из которых является ионозонд «Циклон».

Циклон включает в себя передатчик, приёмник, компьютер с программным обеспечением и антенну. Ионозонд позволяет получать ионограммы — графики зависимости задержки отражённых сигналов от частоты зондирующего импульса.

На основе анализа этих данных можно наблюдать различные типы F-рассеяния, возникающие вследствие неоднородностей электронной плотности в F-слое ионосферы. Эти типы включают нормальное, нестабильное и дифракционное рассеяние, каждое из которых отражает определённые физические условия среды.

Цель работы

Целью данной работы является систематизация и углублённый анализ наблюдаемых типов F-рассеяния в ионосфере с использованием рекомендаций URSI [1]. Это позволяет не только выявить характерные особенности различных режимов распространения радиоволн, но и повысить достоверность диагностики состояния ионосферы в разных временных и Географических положение.

Решаемые задачи

- Провести детальный анализ ионограмм, полученных с помощью ионозонда «Циклон».
- Использовать H-карты для визуализации и интерпретации высот отражения.
- Выполнить классификацию типов F-рассеяния с опорой на международные стандарты URSI.
- Сравнить полученные данные в различные временные промежутки для выявления зависимости рассеяния от времени суток и Географических положение.

Методика обработки полученных результатов

Исследование основано на использовании методики, рекомендованной URSI для интерпретации ионограмм. Измерения проводились ионозондом, установленным на координатах 55.840185° N, 48.814492° E.

Анализ проводился на основе H-карт, отображающих распределение высот отражений. Ключевые параметры, такие как foF2 и hmF2, определялись для каждой ионограммы. Используемый подход позволяет классифицировать F-рассеяние на основе наблюдаемой структуры и отражённых сигналов.

Результаты и техника анализа

На основе анализа H-карт были выделены три основных типа F-рассеяния.

1. Нормальное F-рассеяние наблюдается в спокойных условиях и проявляется устойчивыми отражениями.
2. Нестабильное F-рассеяние характеризуется флуктуациями и разрывами в ионограммах, что связано с турбулентностью и возмущениями в ионосфере.
3. Дифракционное рассеяние связано с многолучевым распространением на мелкомасштабных неоднородностях и фиксируется в виде размытых следов.

Полученные данные позволили охарактеризовать изменения состояния F-слоя в течение суток и в разные дни наблюдений [2, С.295–298].

Интерпретация результатов

Разработана шкала классификации типов F-рассеяния от 0 до 3 баллов:

0 баллов — отсутствие значимого рассеяния. На (рис.1) наблюдается слабое F-рассеяние. Плавные и устойчивые отражения сигналов указывают на нормальное состояние ионосферы, с минимальными неоднородностями. Это позволяет классифицировать рассеяние на данном изображении как 0 баллов.

1 балл — слабое, нормальное рассеяние. На (рис.2) видны первые признаки нормального F-рассеяния, включающие небольшие флуктуации и нерегулярности в отражённых сигналах. Такие изменения указывают на локальные возмущения в электронной плотности, что позволяет оценить рассеяние в 1 балл.

2 балла — умеренное, нестабильное рассеяние. На (рис.3) фиксируются значительные разрывы и флуктуации сигналов, указывающие на наличие возмущений

средней интенсивности. Такие характеристики характерны для условий нестабильного слоя F2, что позволяет классифицировать рассеяние как 2 балла.

3 балла — сильное дифракционное рассеяние, мешающее определению foF2. На (рис.4) наблюдаются сильные разрывы, дифракционные эффекты и неоднородности, которые существенно затрудняют определение критической частоты F-слоя. Это указывает на сильное F-рассеяние, соответствующее 3 баллам по шкале классификации.

Эта система позволяет проводить быстрый и объективный анализ ионограмм, что важно для мониторинга и прогноза ионосферных условий [2, С.299–310].

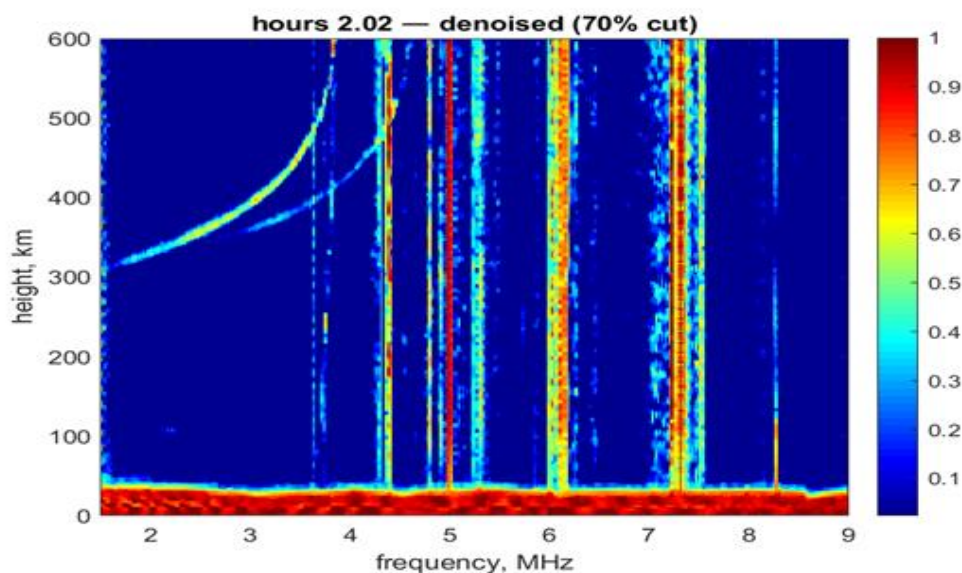


Рис. 1. Классификация 0 баллов: отсутствие рассеяния

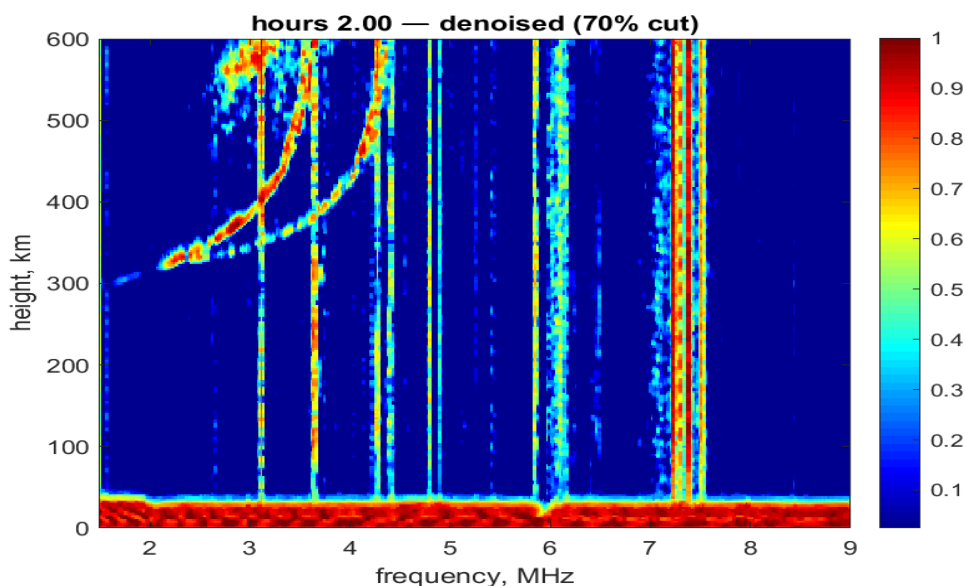


Рис. 2. Классификация 1 балл: нормальное F-рассеяние, слабое рассеяние

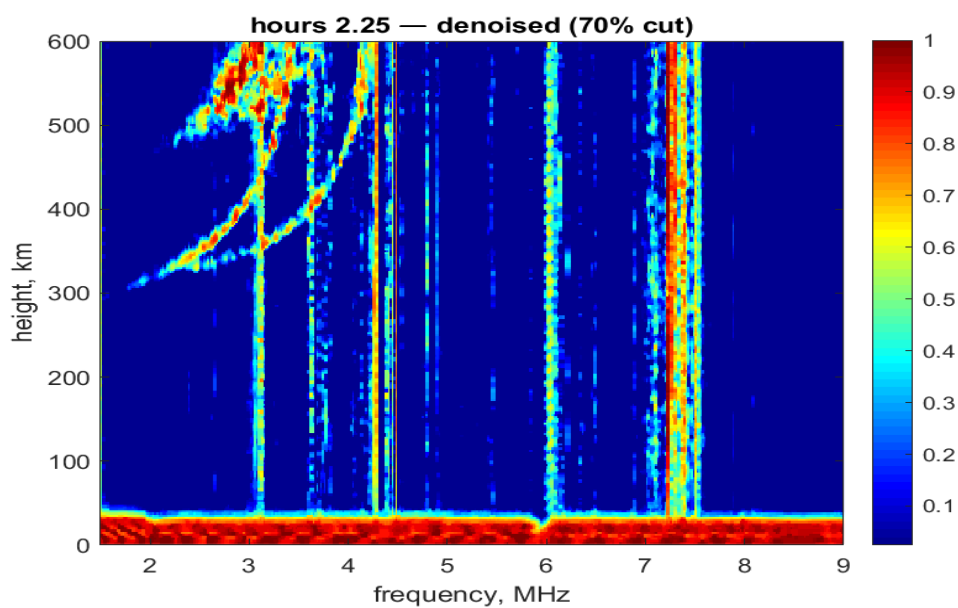


Рис. 3. Классификация 2 балла: нестабильное F-рассеяние, умеренное рассеяние

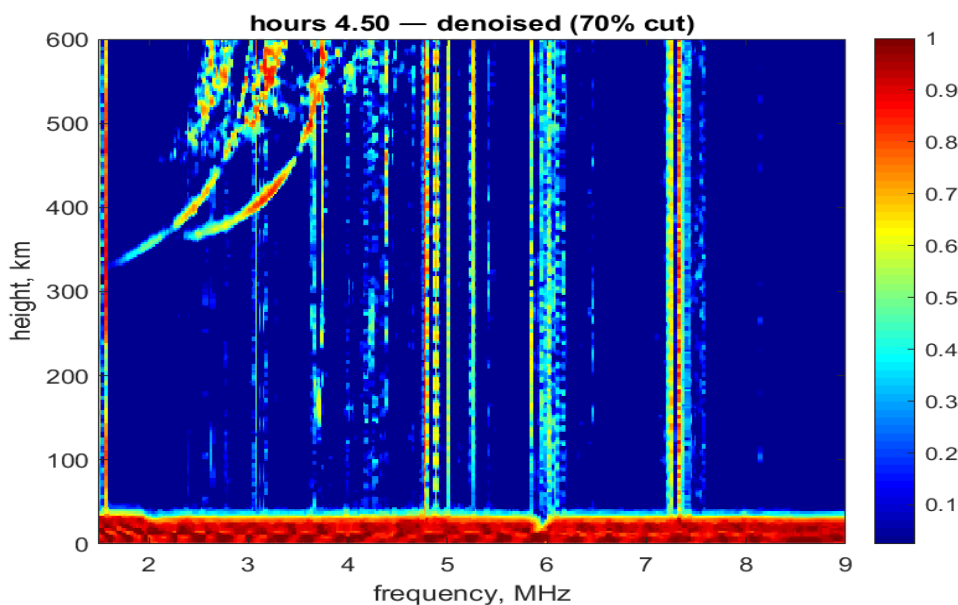


Рис. 4. Классификация 3 балла: дифракционное F-рассеяние, сильное рассеяние

Эта система позволяет проводить быстрый и объективный анализ ионограмм, что важно для мониторинга и прогноза ионосферных условий [2, С.299–310].

Выводы

Проведённый анализ показал, что тип и интенсивность F-рассеяния зависят от времени суток, состояния геомагнитной среды и положения станции.

Утренние часы характеризуются устойчивыми отражениями, в то время как в вечернее и ночное время часто наблюдаются неустойчивости. Использование H-карт в сочетании с рекомендациями URSI даёт эффективный инструмент для диагностики ионосферы.

Перспективным направлением является интеграция спутниковых данных, таких как COSMIC-2 или SWARM, что позволит дополнительно уточнить распределение электронной плотности и её вариации во времени и пространстве.

Литература

1. Пиггота В.Р., Равера К. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм. – М.: Наука, 1977.
2. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм [Текст]: Пер. с англ. / Междунар. науч. радиосоюз, Сов. нац. ком.. — М.: Наука, 1977. — 342 с.