

ГЕОФИЗИКА

УДК 537.871.64

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНОСТИ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Д. В. Кирьянов

(кафедра физики атмосферы)

На экспериментальной угломерной установке изучается временная динамика спектральных свойств ионосферных возмущений на трассе наклонного радиозондирования с целью проверки стационарности изучаемого процесса.

Крупномасштабные неоднородности слоя $F2$ связывают с перемещающимися ионосферными возмущениями (ПИВ), которые имеют волновую природу и вызываются, согласно [1], распространяющимися в атмосфере акустико-гравитационными волнами. Характерный период таких возмущений составляет от долей минут до нескольких часов. Наиболее широко применяемым методом экспериментального изучения ПИВ является радиозондирование в коротковолновом диапазоне с регистрацией параметров рассеянного поля в нескольких точках, разнесенных по поверхности Земли. Для определения динамики и структуры ПИВ применяют методы статистической обработки рассеянного поля [2].

Существенно, что во всех этих методах предполагается стационарность изучаемых процессов в течение времени сеанса измерений. Минимальная длительность сеанса T определяется характерными временными масштабами ПИВ. С другой стороны, при большом времени сеанса зачастую ситуация в ионосфере может существенно измениться. Иными словами, предположение о стационарности процесса может оказаться невыполненным. Одним из проявлений нестационарности является долгопериодный тренд, который вызывается приливными колебаниями атмосферы и планетарными волнами. Для снятия влияния этого тренда используют, в частности, исключение низкочастотных компонент с помощью частотной фильтрации [3].

При проведении измерений необходимо устранить или значительно уменьшить влияние нестационарности на результаты эксперимента. По-видимому, наиболее выгодно разбить данные длительного сеанса на несколько частей и, применив к каждой из них статистические методы обработки, изучить изменение ионосферной ситуации. Проиллюстрируем это на экспериментальном примере.

Измерительная установка, разработанная на физическом факультете МГУ, позволяет регистрировать углы прихода и доплеровский сдвиг частоты ионосферного радиосигнала. В качестве радиотрассы наклонного зондирования выбрана трасса Лондон—Москва (дальность 2400 км), источник излучения — высокостабильная веща-

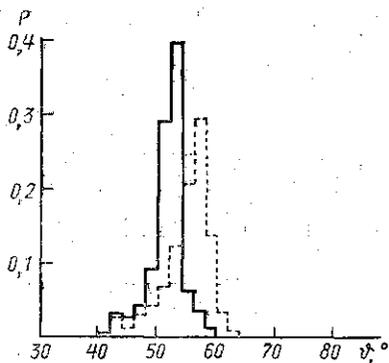


Рис. 1

тельная станция Би-би-си с частотой $f_0=17,8$ МГц, близкая к максимально-применимой частоте слоя F2. Выбор такой частоты обеспечивает однододовость сигнала.

Приведем результаты пятичасового сеанса измерений углов прихода сигнала, проведенного 19.12.1995 г. Массив данных был разбит на несколько частей для исследования стационарности рассматриваемого процесса. На рис. 1 представлены гистограммы распределения полярного угла прихода ионосферного сигнала, рассеянного на ПИВ, в начале и конце измерений. Они показывают медленный тренд среднего значения полярного угла прихода от 51 до 54° .

Чтобы ответить на вопрос, стационарны ли исследуемые ПИВ, наиболее целесообразно проанализировать отдельные части сеанса (например, часовые). Стационарность, если понимать ее в широком смысле [4], означает, что средние значения и дисперсии рассматриваемых углов прихода не зависят от текущего времени, как и корреляционная функция, которая является функцией только разности моментов времени.

Таким образом, можно ожидать, что в случае нарушения стационарности спектры мощности отдельных частей сеанса будут существенно отличаться друг от друга.

Имея это в виду, рассмотрим спектральные свойства записанного сигнала. Результаты вычислений текущих спектров мощности доплеровского смещения частоты ионосферного сигнала для трех последовательных выборок представлены на рис. 2. Можно отметить практичес-

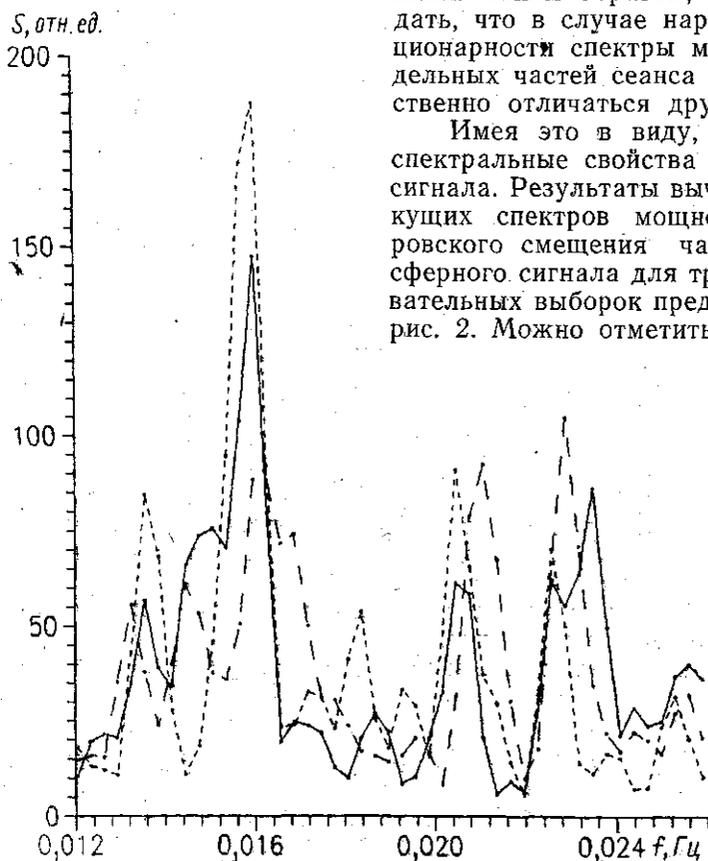
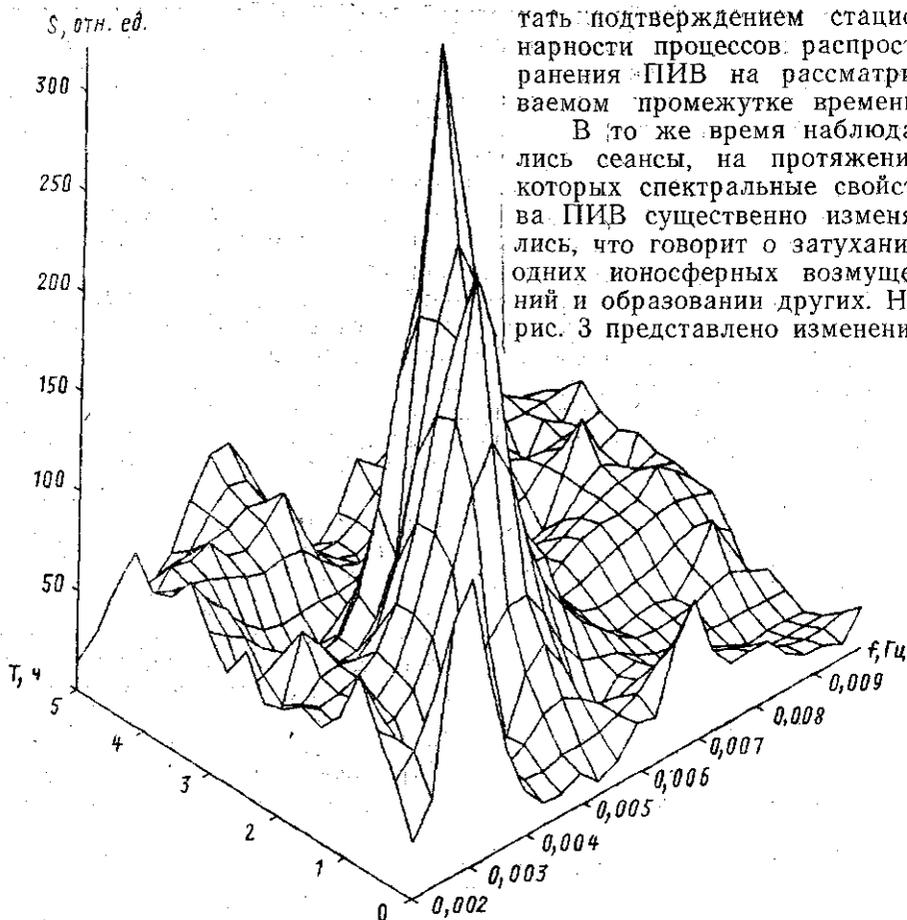


Рис. 2

кое совпадение профилей этих трех графиков — коэффициенты их попарной корреляции $R > 0,7$. На протяжении всего сеанса измерений сохраняются отчетливые максимумы, соответствующие возмущениям с частотами вблизи $0,016$; $0,021$ и $0,023$ Гц. Такие результаты можно счи-



тать подтверждением стационарности процессов распространения ПИВ на рассматриваемом промежутке времени.

В то же время наблюдались сеансы, на протяжении которых спектральные свойства ПИВ существенно изменялись, что говорит о затухании одних ионосферных возмущений и образовании других. На рис. 3 представлено изменение

Рис. 3

со временем текущих спектров мощности доплеровского смещения частоты, измеренных 15.11.1995 г. График показывает рождение и последующее затухание возмущения с периодом около 3 мин.

Таким образом, с помощью гармонического анализа текущих спектров возможно контролировать сохранение стационарности изучаемого процесса, а также исключить долгопериодный тренд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика верхней атмосферы Земли/Под ред. К. О. Хайнса и др. Л., 1971.
2. Миркотан С. Ф., Кушнеревский Ю. В. Неоднородная структура и движения в ионосфере//Ионосферные исследования. 1964. № 12.
3. Бат М. Спектральный анализ в геофизике. М., 1980.
4. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. М., 1976.

Поступила в редакцию
25.04.95