

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

---

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ФОТОНИКИ И ФИЗИКИ МИКРОВОЛН

# Применение аппарата нелинейного анализа динамических систем для обработки сигналов переданных по ионосферному каналу связи

Курсовая работа студента 528 группы  
В.А. Федорова

Научный руководитель кандидат  
физ.-мат. наук

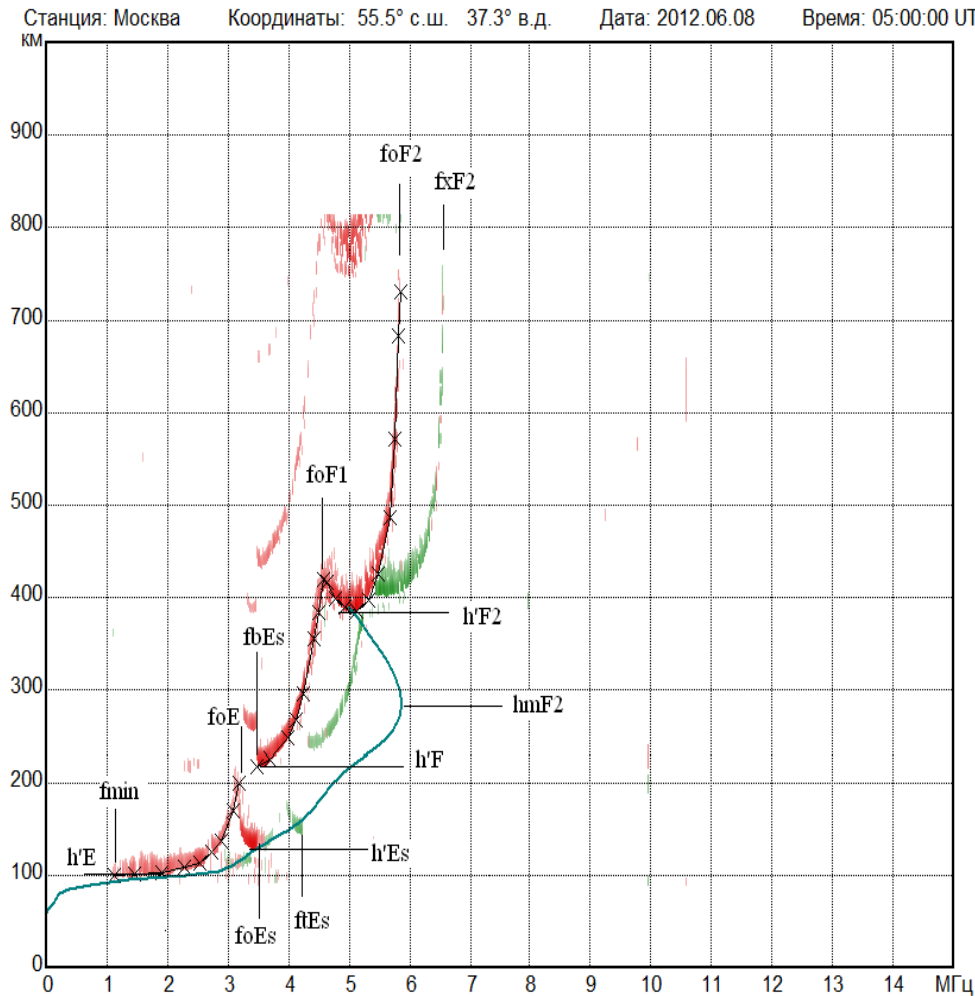
О.Ю. Волков

МОСКВА 2013

# Введение

Особенности ионосферного канала связи :

- Присутствие существенного мультипликативного шума, обусловленного динамическими процессами в ионосфере
- случайно неоднородная структура ионосферы
- многолучевой характер распространения сигнала



ИОНОГРАММА ВЕРТИКАЛЬНОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

# Цель работы

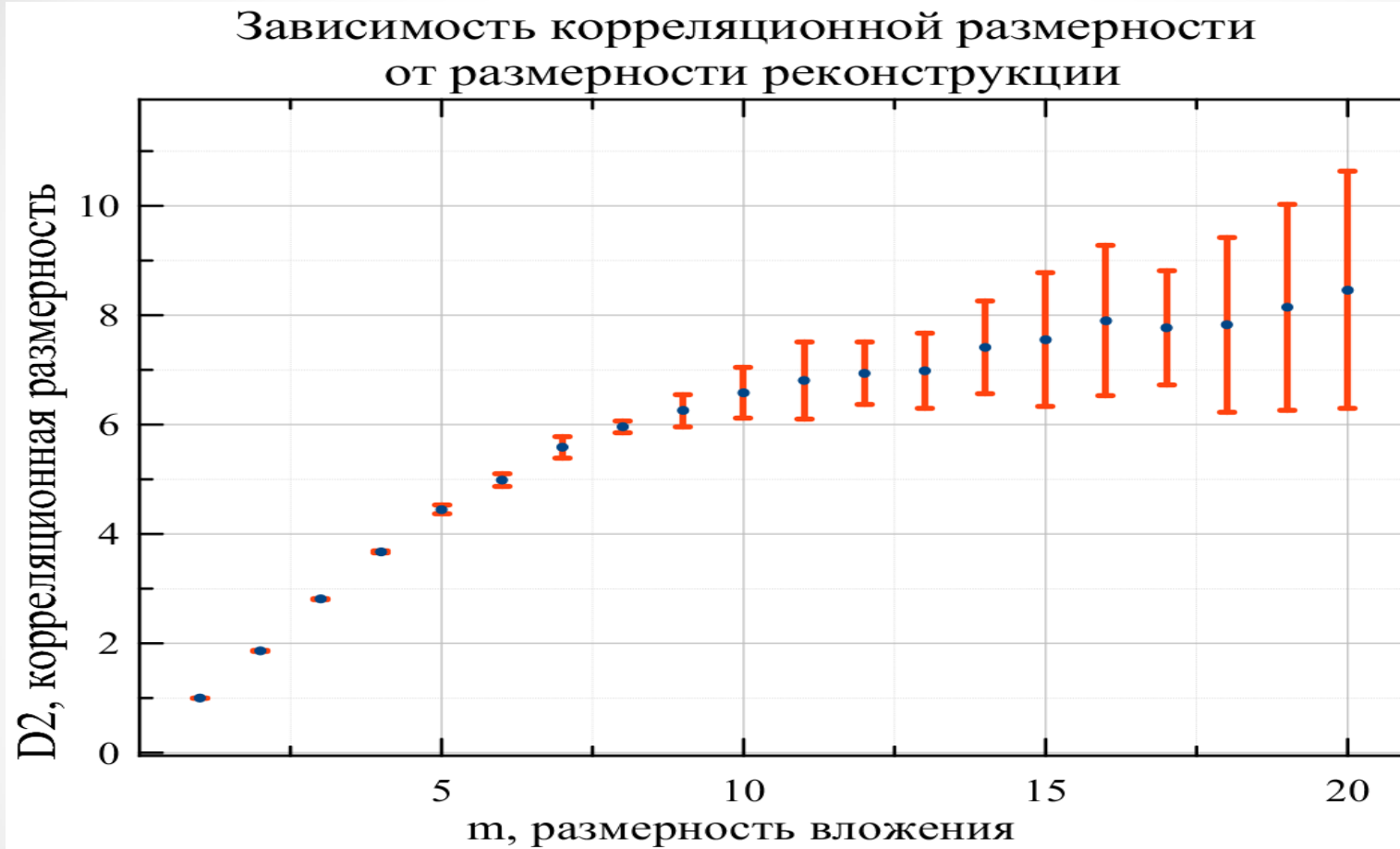
Продemonстрировать эффективность применения методов нелинейной динамики и мультифрактальных представлений для анализа волновых процессов в ионосферном канале связи.

## Основные задачи:

- реконструкция аттрактора системы в фазовом пространстве
- Оценка основных пространственных и динамических фрактальных характеристик исследуемой системы
- Применение мультифрактального анализа и апробация метода оценки параметров мультифрактального спектра сингулярностей для ионосферного канала связи

# Анализ данных

## параметры реконструкции и корреляционная размерность

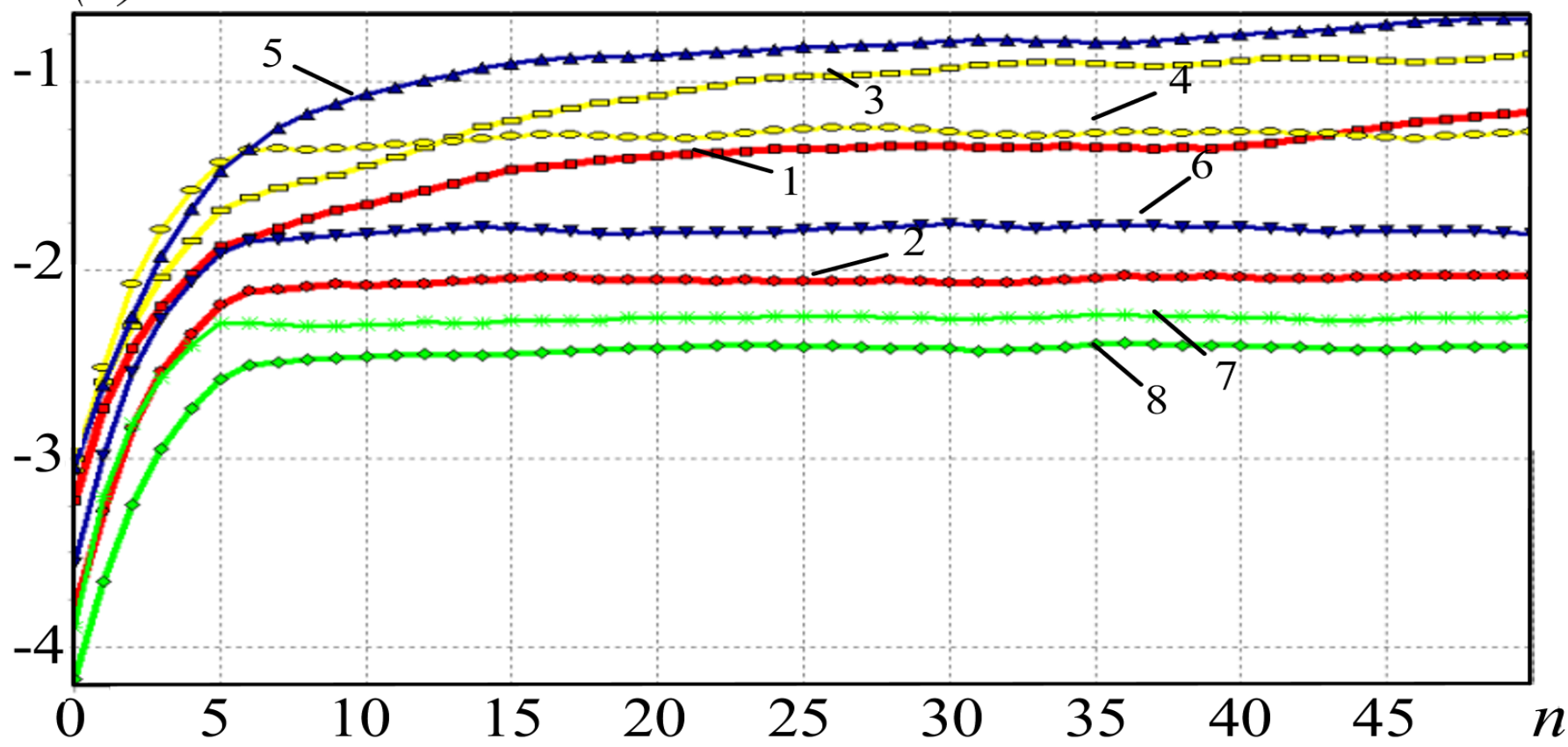


Размерностью вложения  $m$  называется наименьшая целая размерность пространства, содержащего весь аттрактор. Она соответствует количеству независимых переменных, однозначно определяющее установившееся движение динамической системы.

# Старший показатель Ляпунова

Зависимость логарифма скорости разбегания фазовых траекторий от номера итерации для первой (1, 2) и второй (3, 4) характеристической волны, их смеси (5, 6) и шума (7, 8); четные значения соответствуют исходному сигналу, а нечетные – его шумовой составляющей

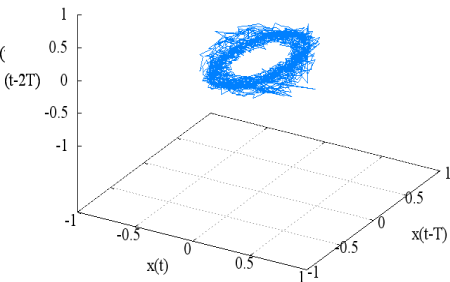
$\ln S(n)$



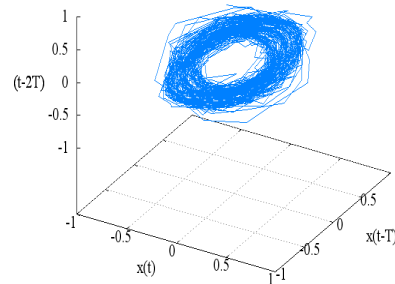
# Реконструкция аттрактора в 3х мерном фазовом пространстве

Исследуемые эквидистантные временные ряды соответствуют регистрации отраженного сигнала от слабо возмущенной ионосферы.

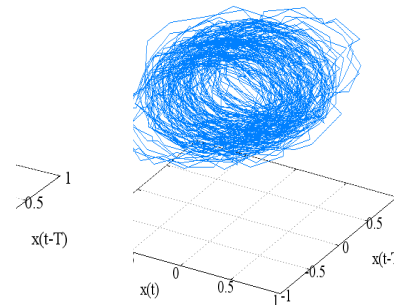
XB 1



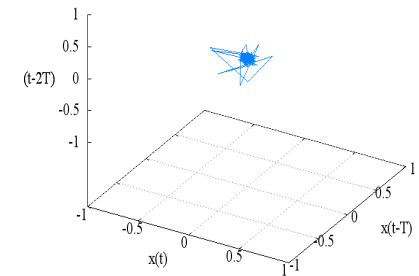
XB 2



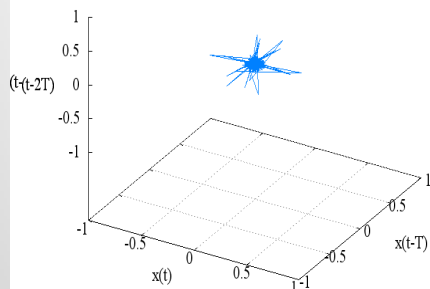
смесь XB



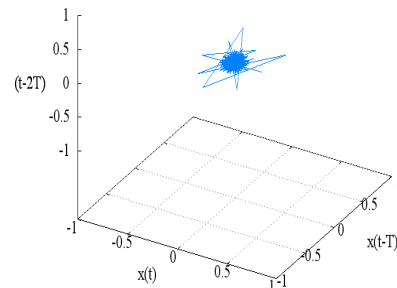
шум канала



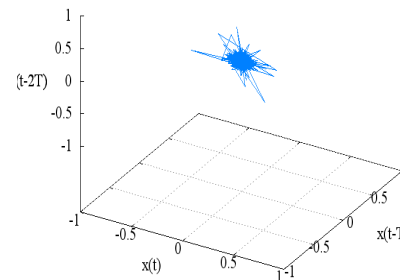
XB 1 RSD



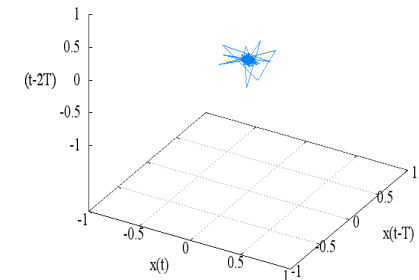
XB 2 RSD



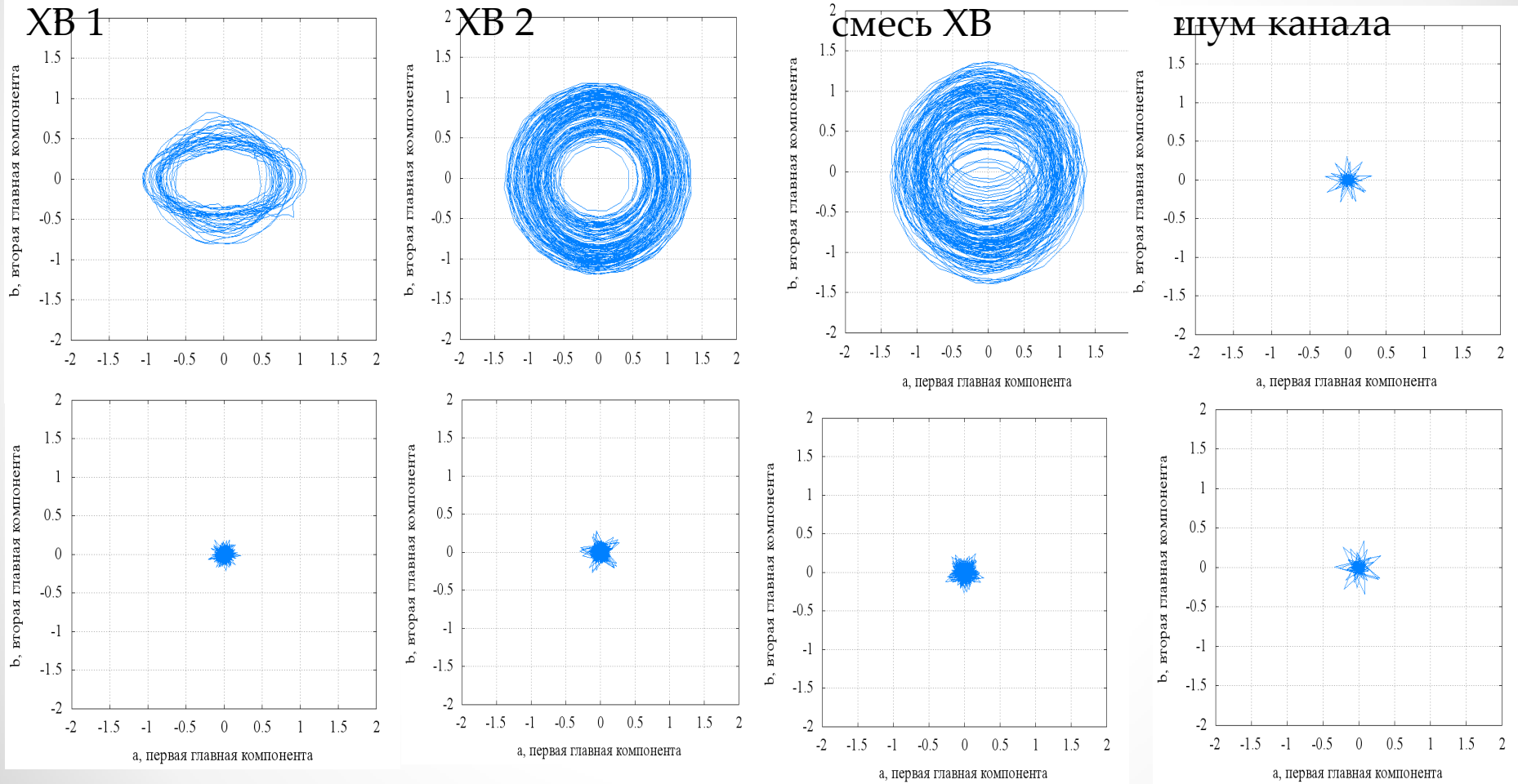
смесь XB RSD



шум канала RSD

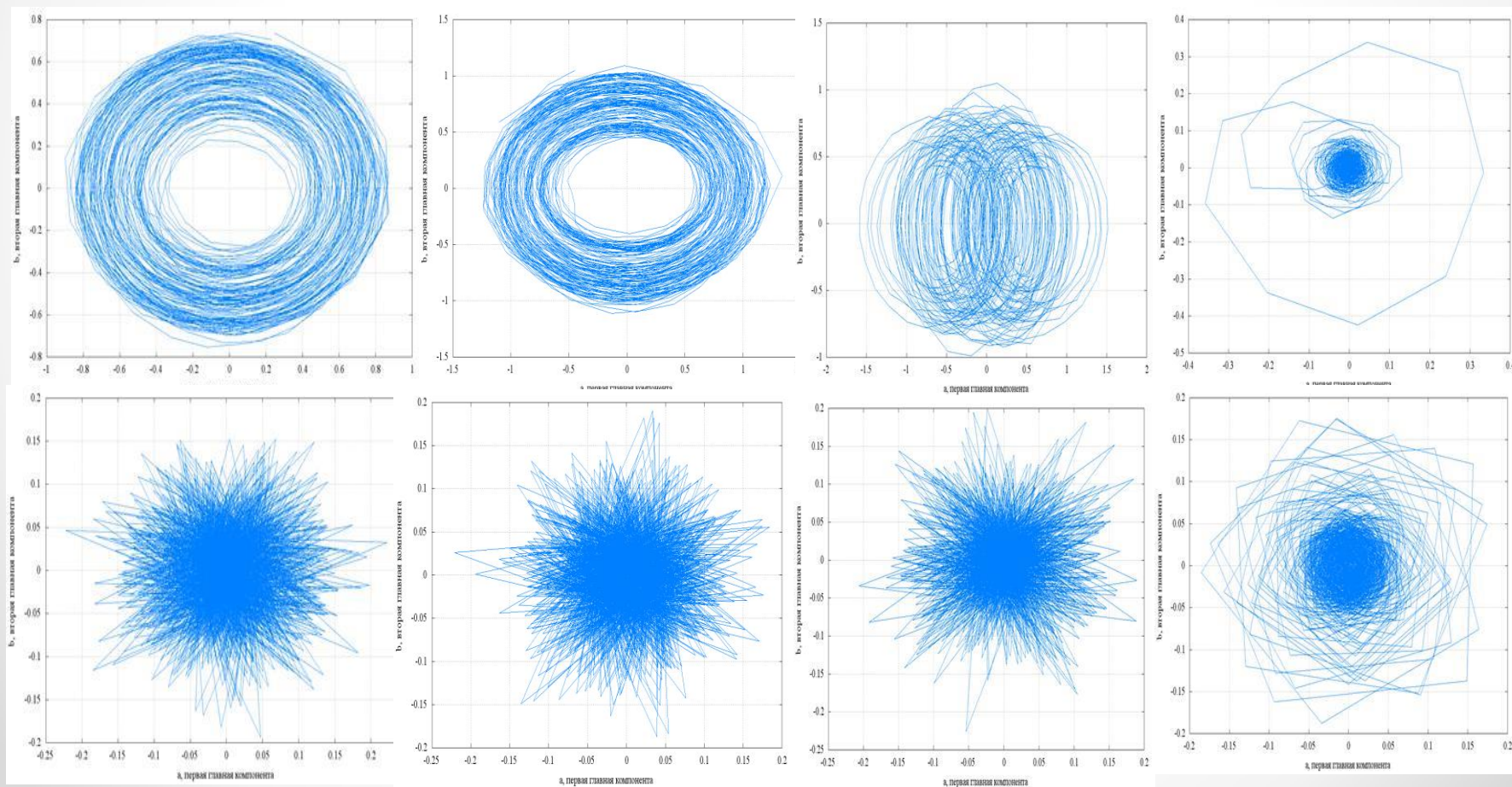


# Проекция реконструкции аттрактора на две первые главные компоненты





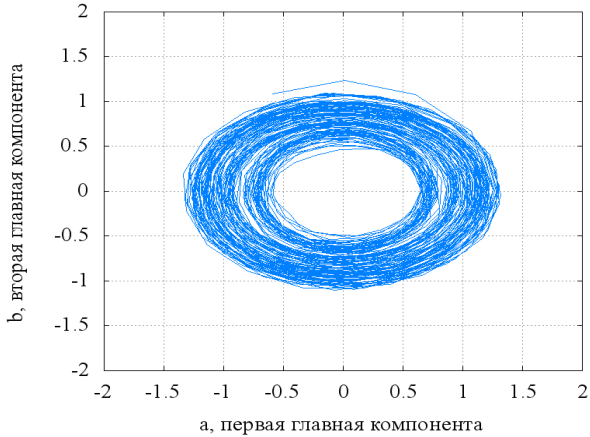
# Проекция реконструкции аттрактора на две первые главные компоненты (без сохранения масштаба)



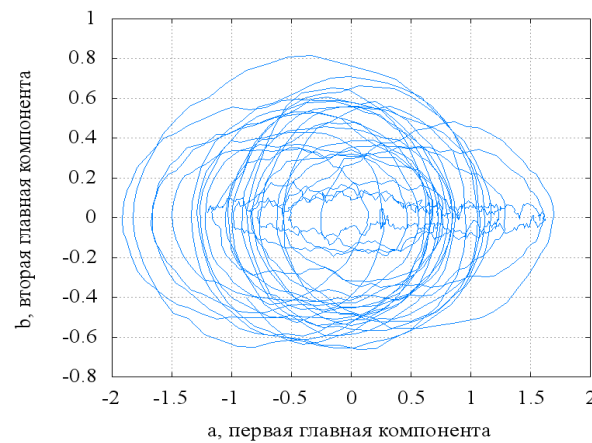


# Проекция реконструкции аттрактора на две первые главные компоненты при различной степени возбуждения ионосферы

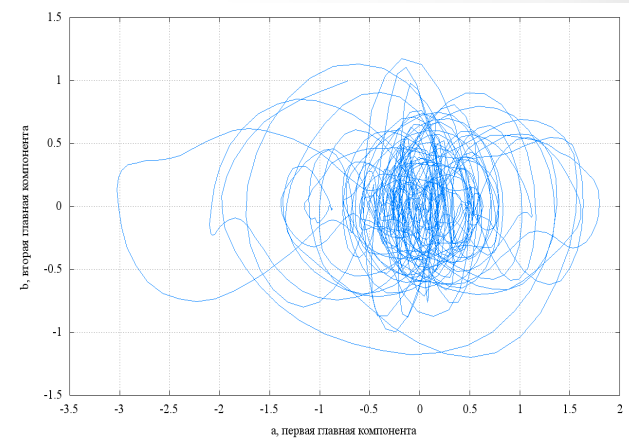
ХВ 1



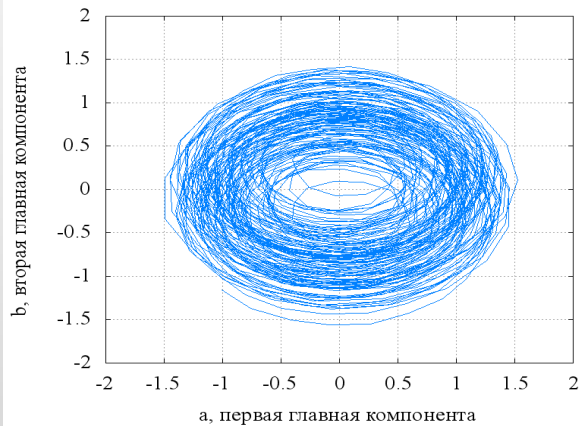
ХВ 1



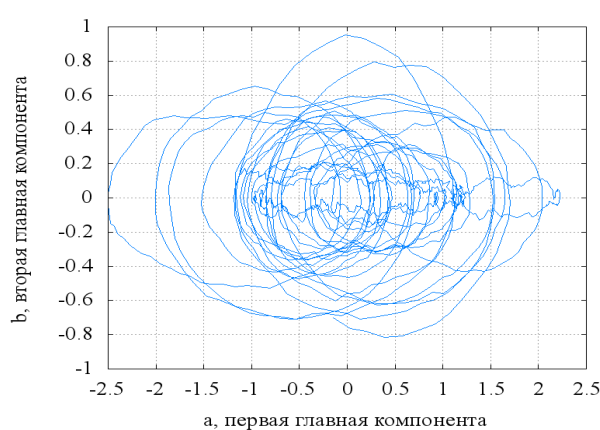
ХВ 1



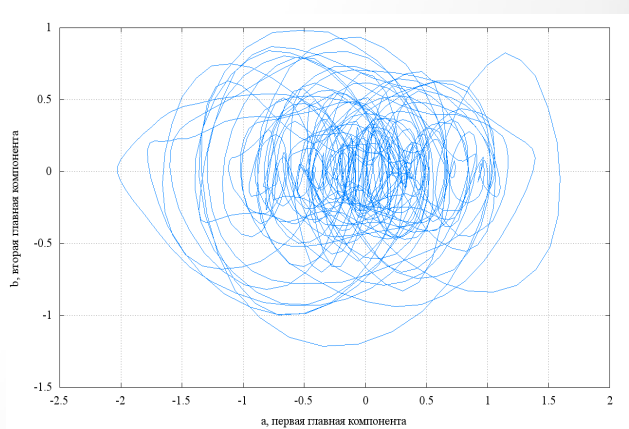
смесь ХВ



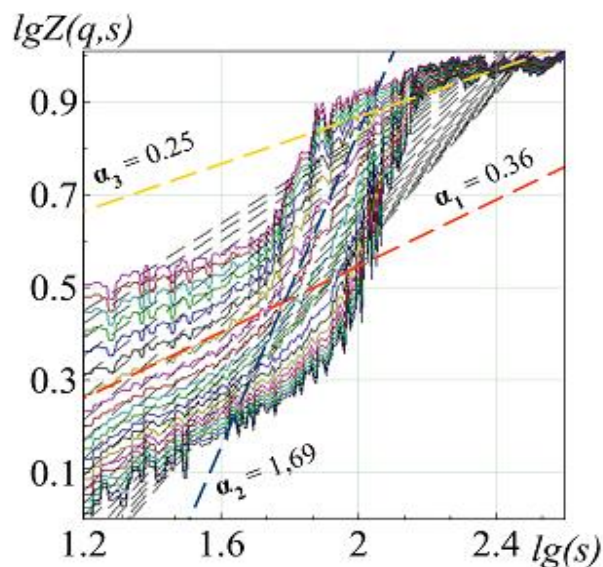
смесь ХВ



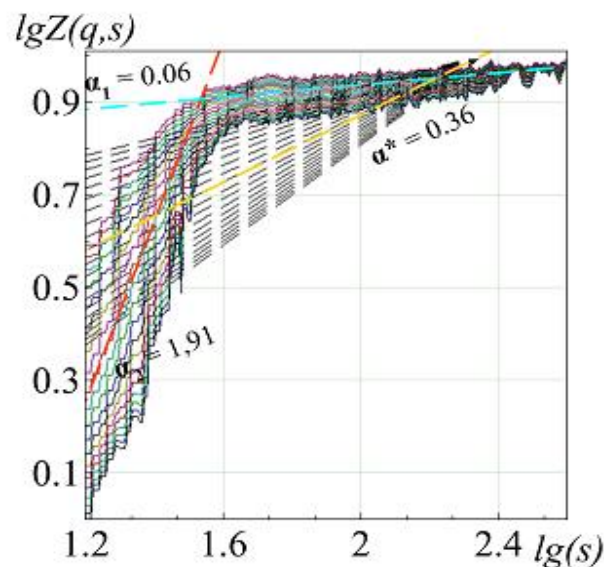
смесь ХВ



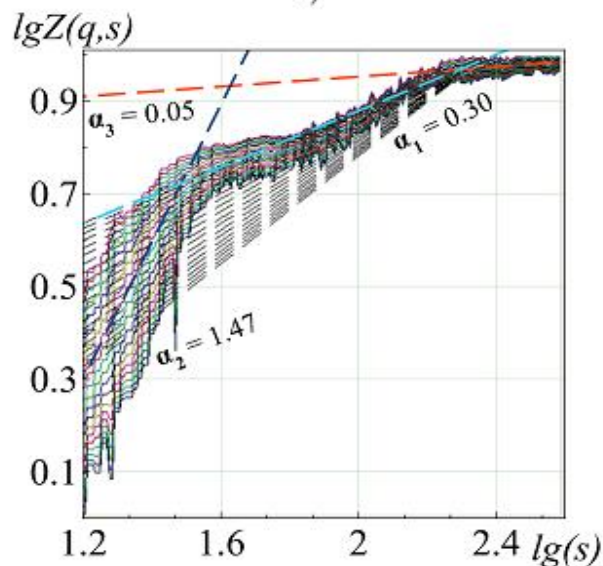
# Оценка обобщенного показателя Херста



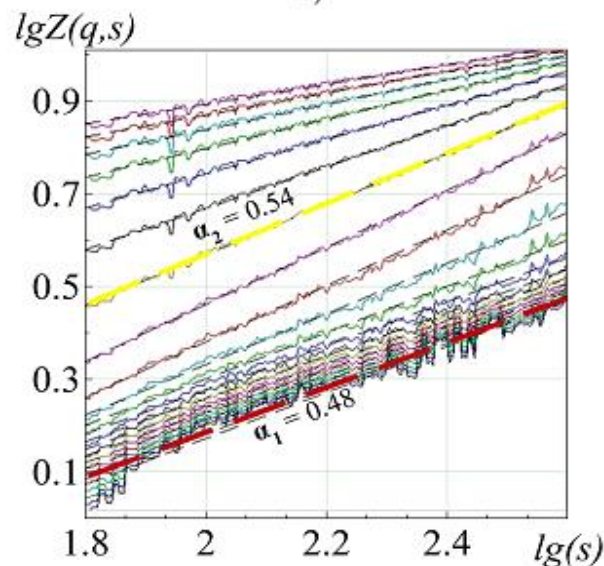
a)



b)



c)

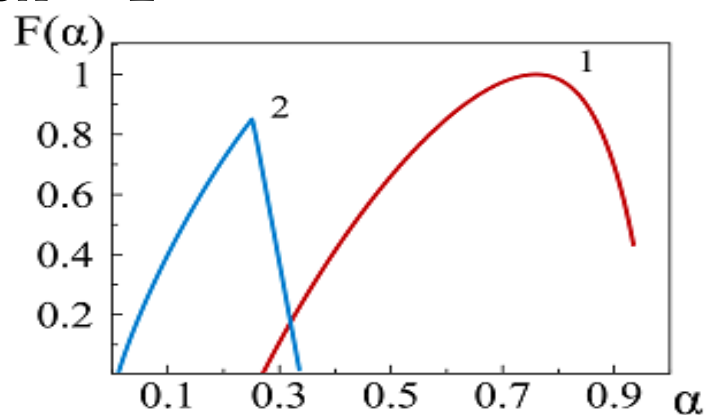


d)

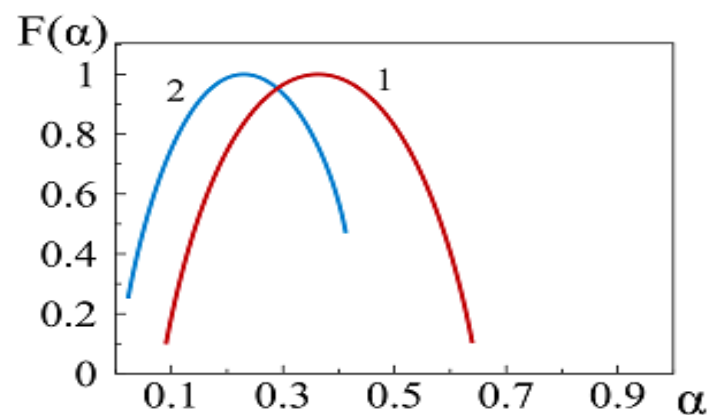
Графики зависимостей  $lgZ(q; s)$  от  $lg(s)$  — логарифмов среднего значения масштабно-зависимых мер вариативности сигнала, после исключения локальных трендов, от логарифма масштаба, для различных значений показателя степени  $q$ , изменяющегося от -10 до +10: первая (a) и вторая (b) характеристические волны, их смесь (c), шум канала (d)

# Мультифрактальные спектры сингулярностей

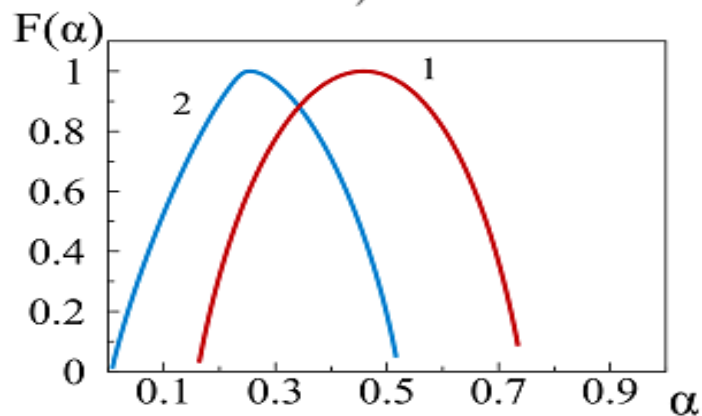
Мультифрактальные спектры сингулярностей первой (а) и второй (b) характеристической волны, их смеси (с) и шума в канале связи (d).  
Графики соответствующие сигнальной компоненте пронумерованы 1, а шумовой — 2



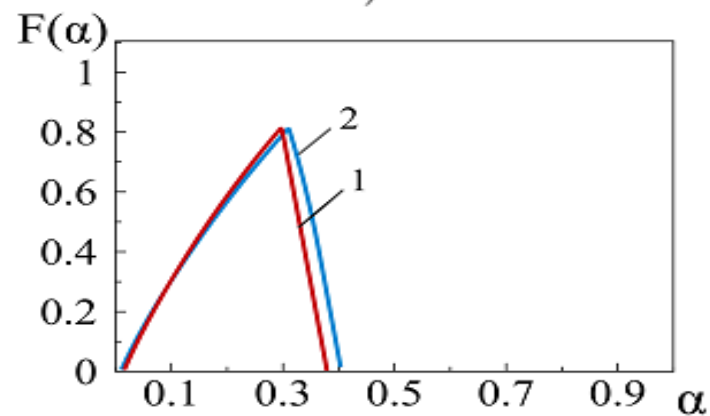
a)



b)



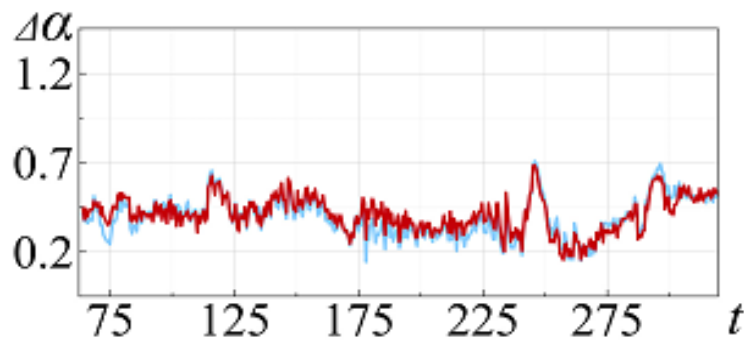
c)



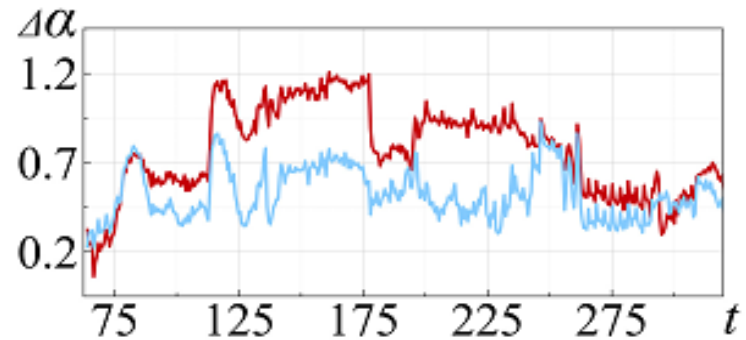
d)

# Переход от описания глобальными переменными к локальным характеристикам спектров сингулярностей $\alpha^*$ и $\Delta\alpha$ .

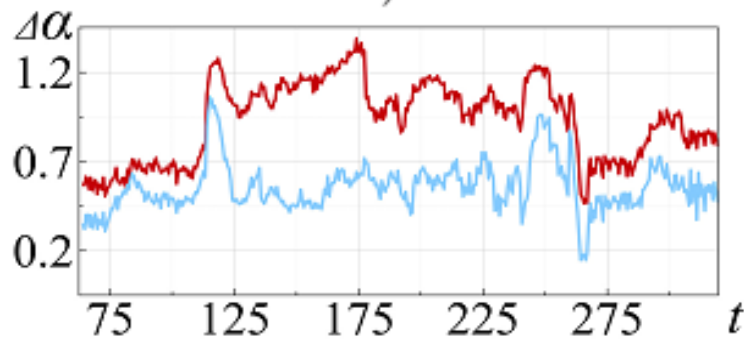
Зависимость ширины мультифрактального спектра сингулярностей от времени для первой (а) и второй (б) характеристических волн, их смеси (с) и шума в канале связи (д), рассчитанные для сигнала (красные), а также для соответствующих шумовых компонент (голубые)



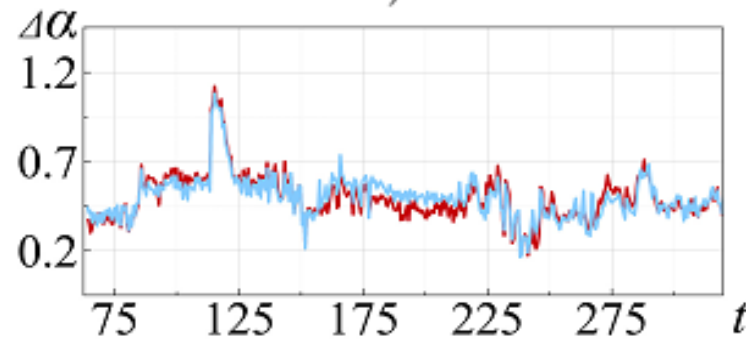
a)



b)



c)



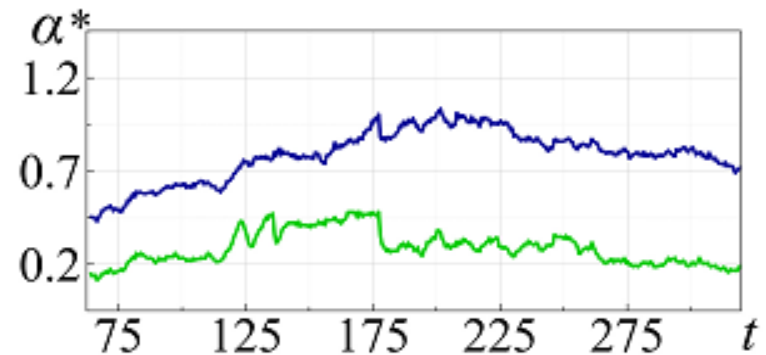
d)

# Переход от описания глобальными переменными к локальным характеристикам спектров сингулярностей $\alpha^*$ и $\Delta\alpha$ .

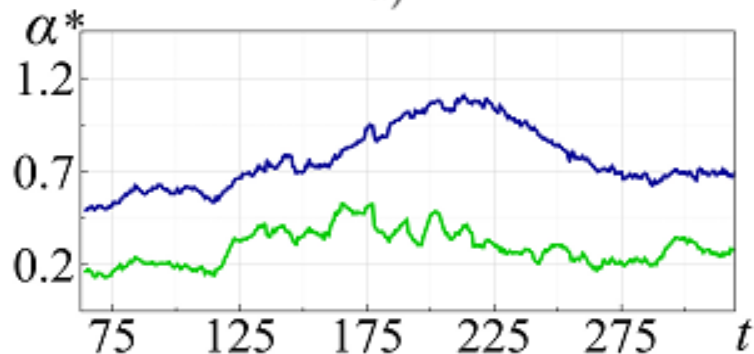
Зависимость значений, реализующих максимум спектра сингулярностей от времени для сигнала (синий) и его шумовой составляющей (зеленый) для первой (а) и второй (б) характеристической волны, их смеси (с) и шума канала (д)



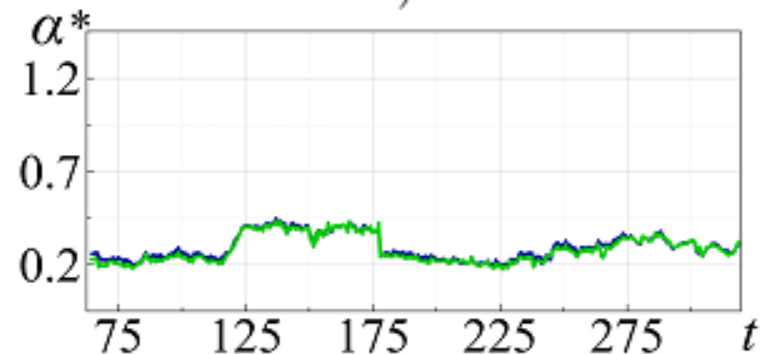
a)



b)



c)



d)



# Выводы

- Результаты работы демонстрируют высокую информативность методов нелинейной динамики и мультифрактальных представлений при применении к анализу сигналов переданных по ионосферному каналу связи.
- Положительная определённость старшего показателя Ляпунова для всех экспериментальных выборок, а также насыщение графика зависимости корреляционной размерности  $D_2$  от размерности вложения, свидетельствуют о том, что реконструированный аттрактор является хаотичным.
- Диапазон значений и положительная определенность максимального показателя Ляпунова как для сигнальной, так и для шумовой компонент позволяют строить долгосрочные (в масштабе длительности используемых экспериментальных выборок) прогнозы эволюции отраженного сигнала, корректно экстраполируя их на значения текущих параметров ионосферы, влияющих на поведение канала связи.
- Полученные в результате анализа, оценки спектров сингулярностей демонстрируют мультифрактальные свойства ИКС. Значения обобщенного показателя Херста указывают на антиперсистентные свойства шумовой компоненты сигнала, а значения ширины спектра сингулярностей определяют степень упорядоченности структуры. Преобладание положительных или отрицательных корреляций свидетельствует о наличии «эффекта памяти».
- Продемонстрирована возможность перехода к описанию эволюции динамики системы с помощью новых локальных параметров. Таким образом, получено описание реальных процессов с помощью безразмерных интегральных характеристик экспериментальных данных, которое не требует стационарности исследуемого процесса и предоставляет возможность моделирования процессов в ионосферном канале связи