

# Исследование признаков раннего паркинсонизма и эссенциального тремора в низкочастотном диапазоне 0.5-4 Гц всплескообразной электрической активности мышц

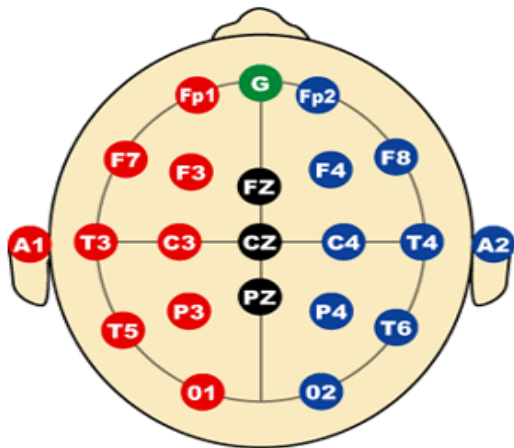
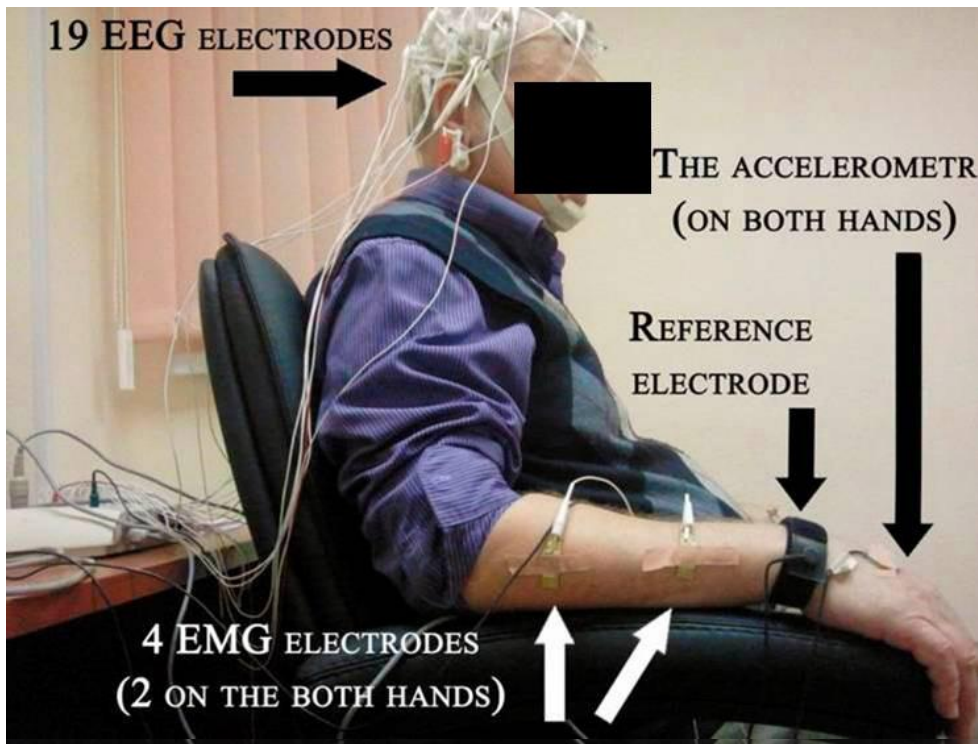
Сушкова О.С.<sup>1</sup>, Морозов А.А.<sup>1</sup>, Габова А.В.<sup>2</sup>,  
Карабанов А.В.<sup>3</sup>, Чигалейчик Л.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

<sup>2</sup>Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН

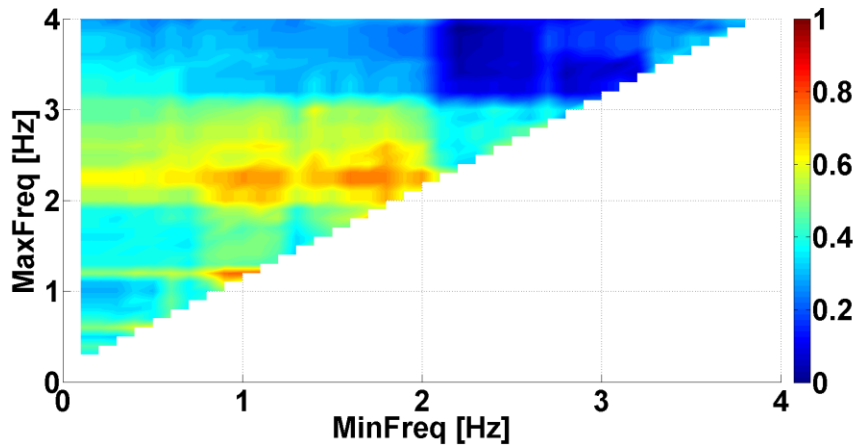
<sup>3</sup>ФГБНУ «Научный центр неврологии»

# Введение

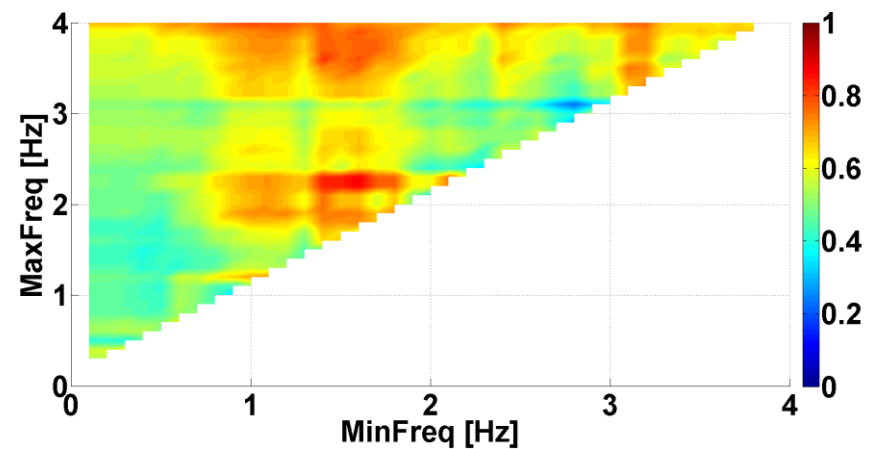


- Общепринятые клинические методы анализа электрической активности коры мозга и мышц основаны на исследовании мощности и частотных характеристик сигналов ЭЭГ, ЭМГ.
- Однако большой интерес представляет исследование и разработка методов количественного анализа других характеристик ЭЭГ и ЭМГ, описывающих частотно-временную динамику электрической активности мозга и мышц.

# Постановка задачи

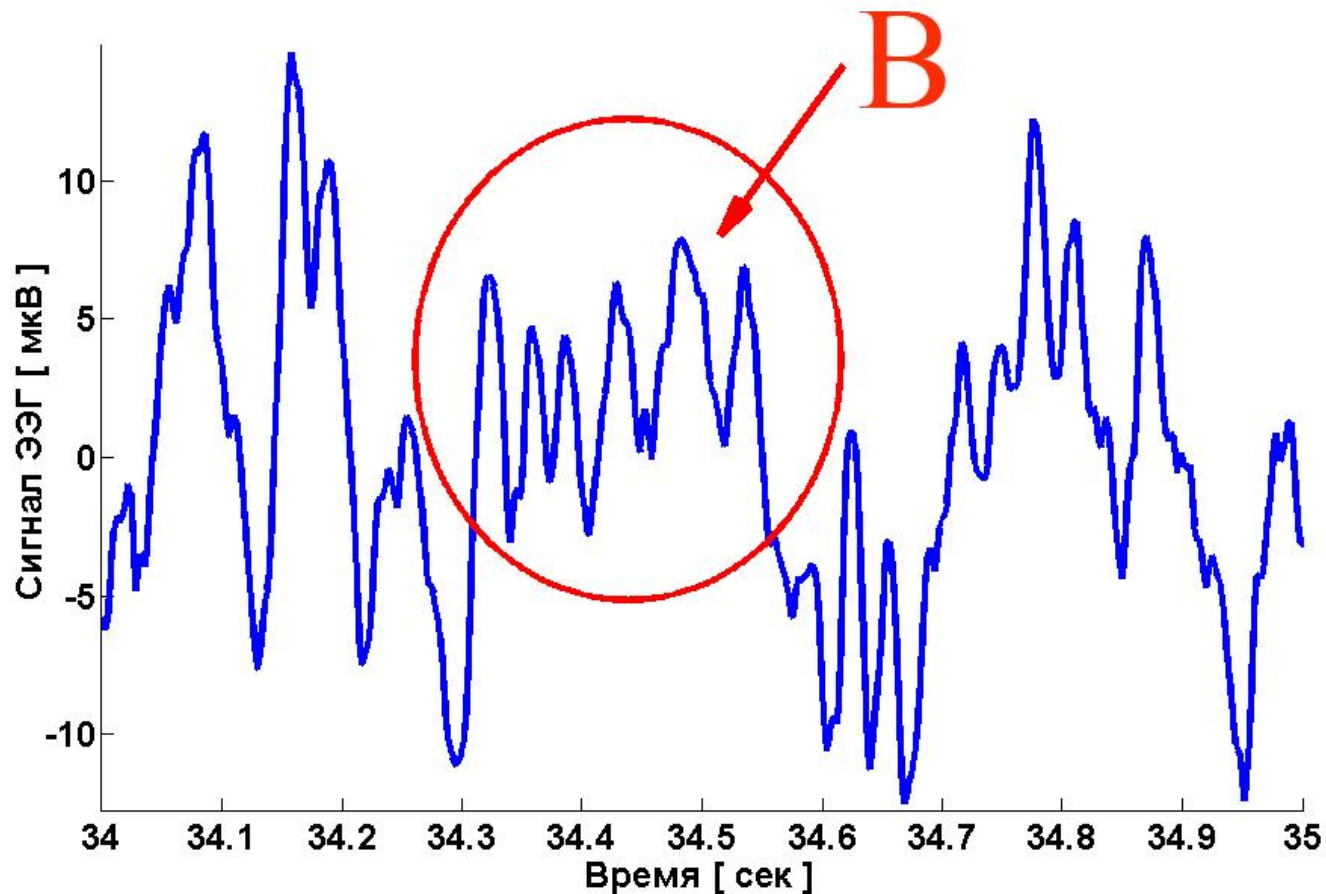


для пациентов с БП (9)  
и контрольных испытуемых (8)



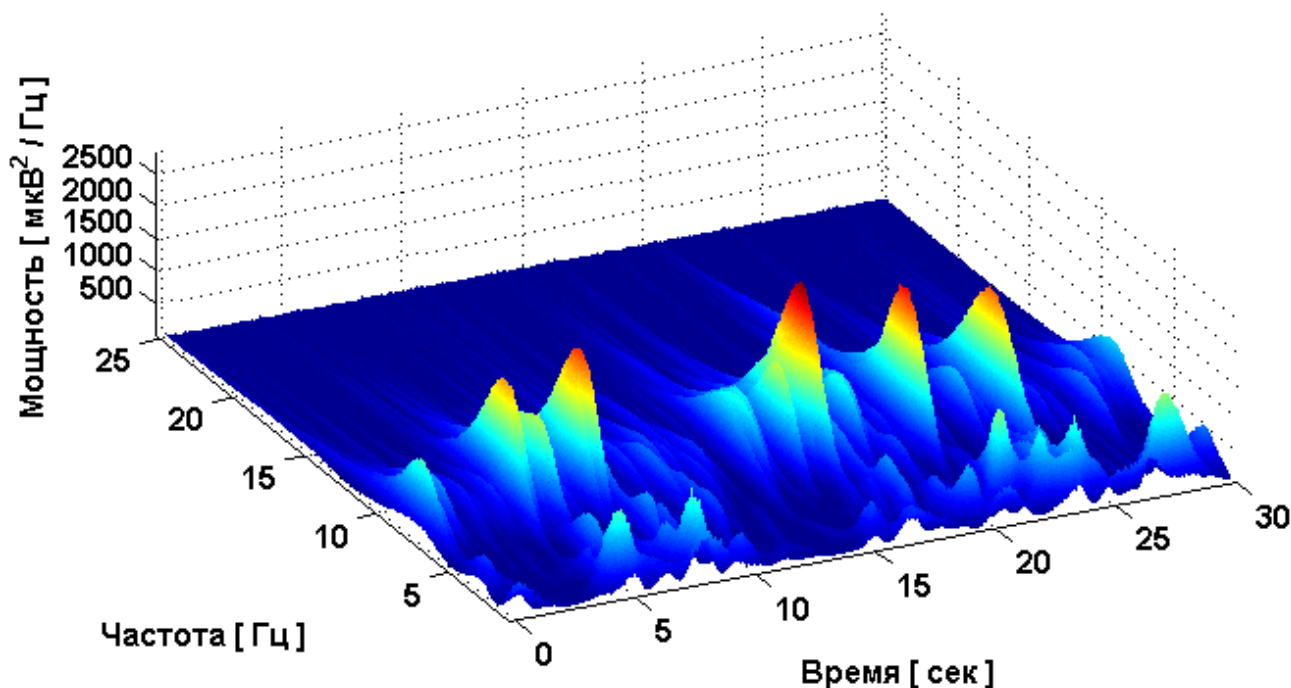
для пациентов с ЭТ (13)  
и контрольных испытуемых (8)

# Что такое всплеск?



В этой работе термин «всплеск» используется для обозначения сигнала, локализованного во времени, частоте и пространстве.

# Пример всплесков на вейвлет-спектрограмме

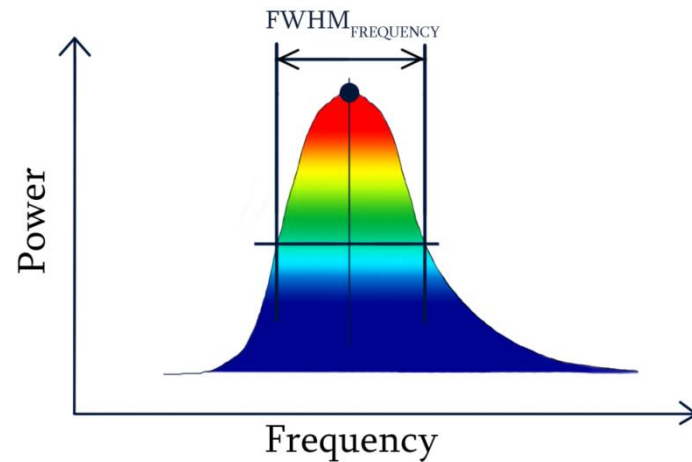
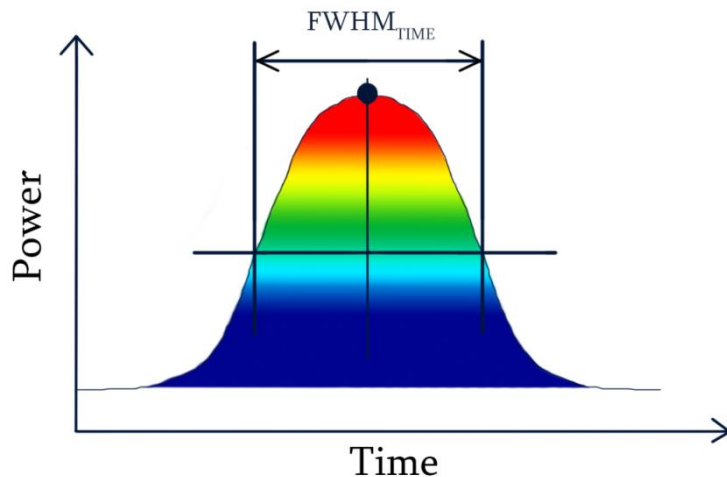


Вейвлет-спектрограмма ЭЭГ пациента с БП на ранней стадии.

- Хорошо видны всплески в альфа-диапазоне (8-12 Гц). Причём альфа-всплески имеют продолжения (хвосты) в соседних частотных диапазонах, в том числе, в диапазоне бета.
- Всплески в диапазоне бета (12-25 Гц) плохо видны, потому что их высота значительно меньше, чем у альфа-всплесков (8-12 Гц).

# Метод анализа всплескообразной электрической активности мозга и мышц

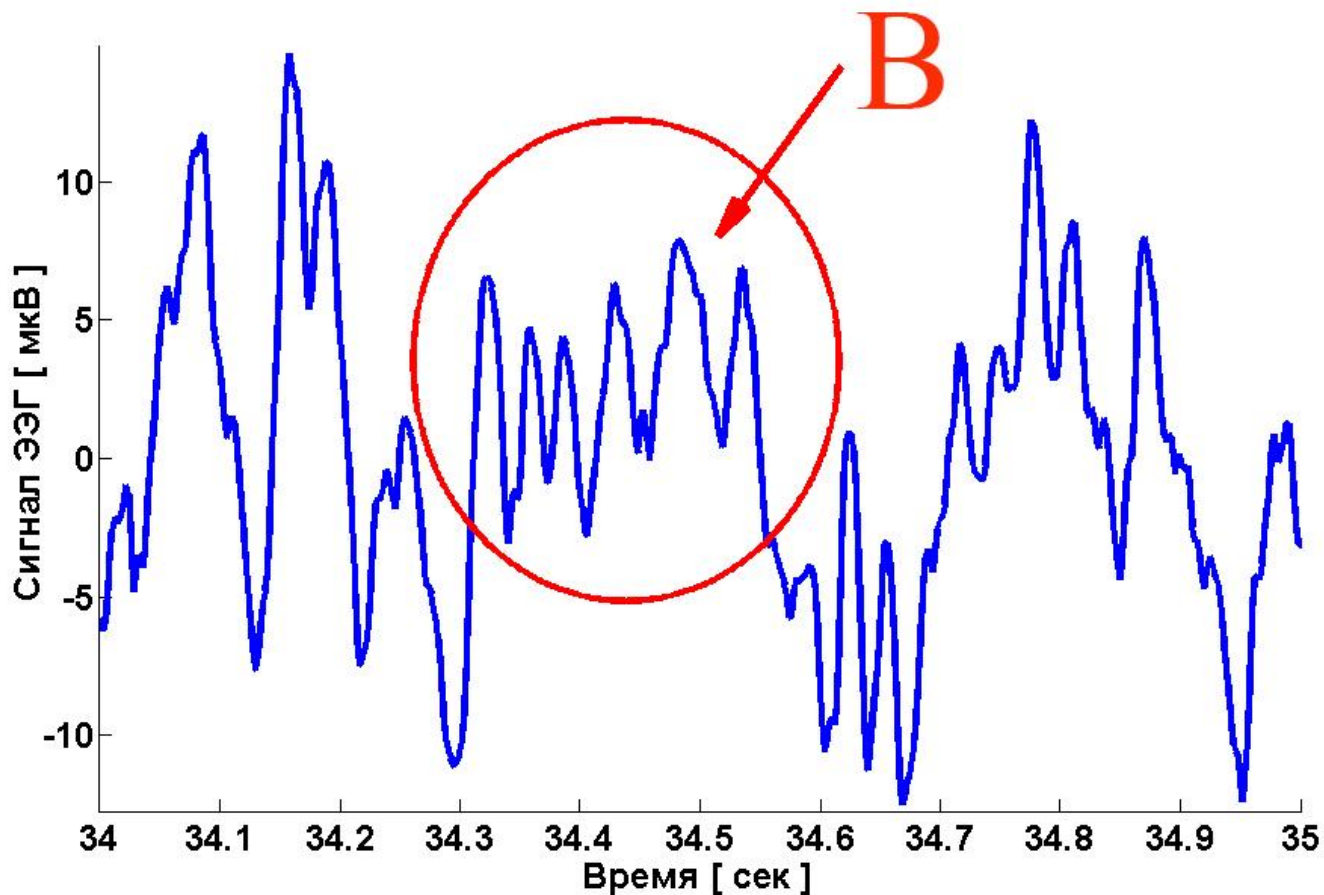
- Поиск на вейвлет-спектрограммах локальных максимумов (всплесков).
- Вычисление различных характеристик, описывающих эти всплески:
  - Вычисление количества всплесков.
  - Вычисление центральной частоты и амплитуды каждого всплеска.
  - Вычисление длительности и ширины полосы частот каждого всплеска.
- Статистическое оценивание этих характеристик.



$$FWHM_{TIME} \geq N_P / f, \quad N_P = 2,$$

Проверка длительности всплеска

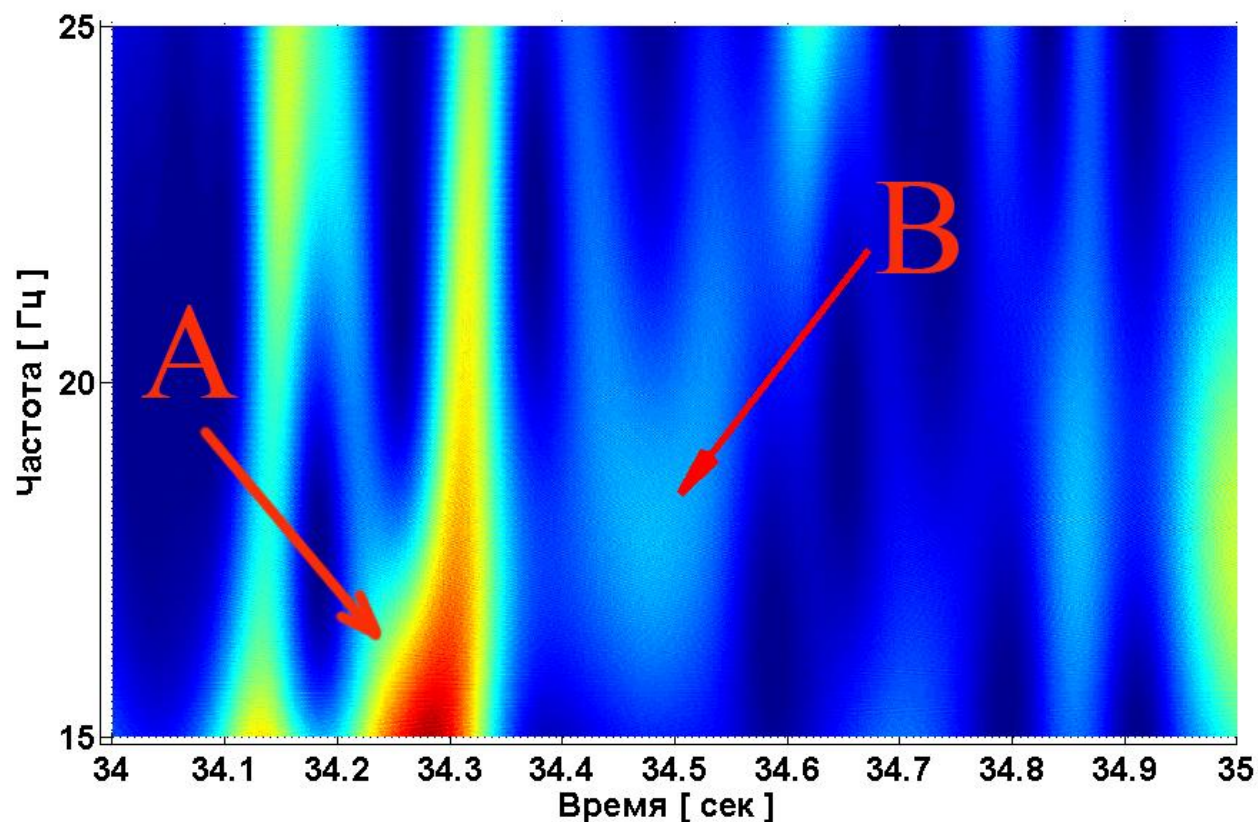
# Пример всплеска на сигнале ЭЭГ



Всплеск на фоновом ЭЭГ-сигнале пациента на ранней стадии болезни Паркинсона.



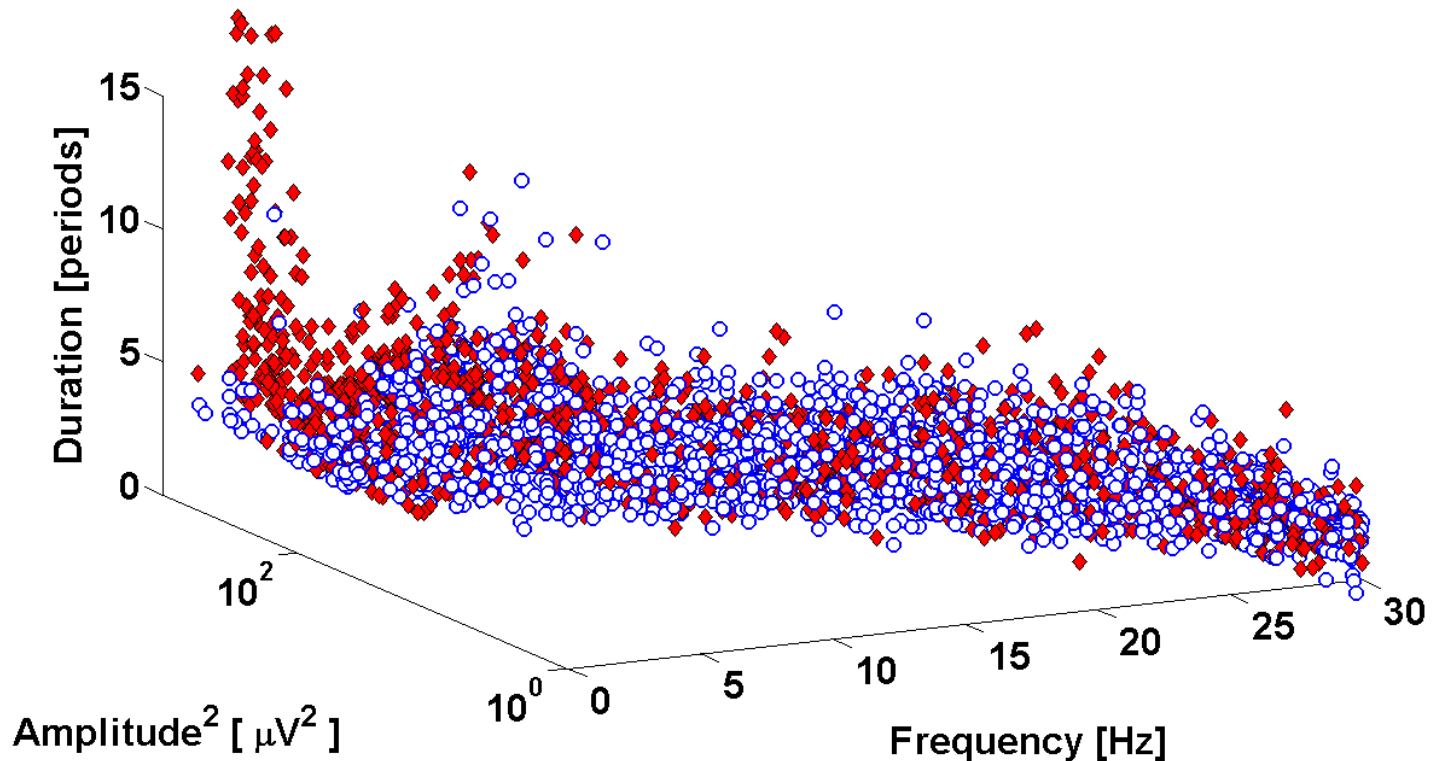
# Пример спектрограммы всплеска



Вейвлет-спектрограмма всплеска *B* в диапазоне бета (12-25 Гц). Рядом расположен длинный хвост другого всплеска *A* (слева от всплеска *B*) в диапазоне альфа. Применяемый подход позволяет предотвратить ошибочное распознавание хвоста всплеска *A* в качестве электрической активности в диапазоне бета.

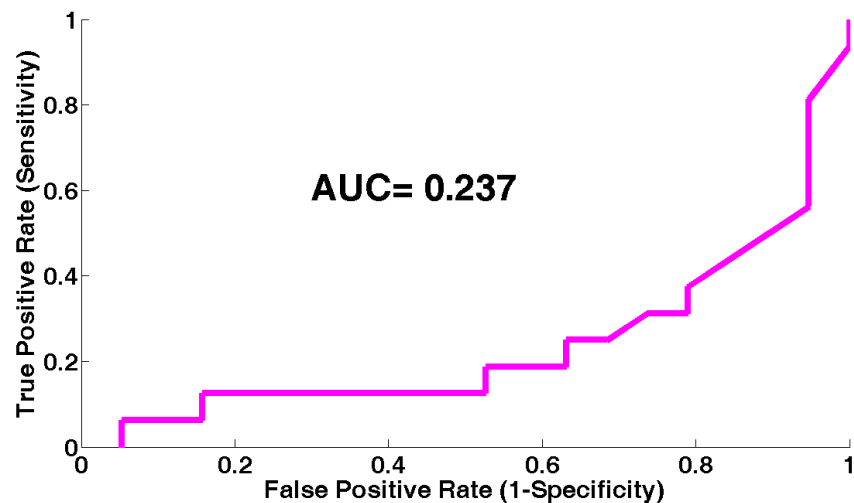
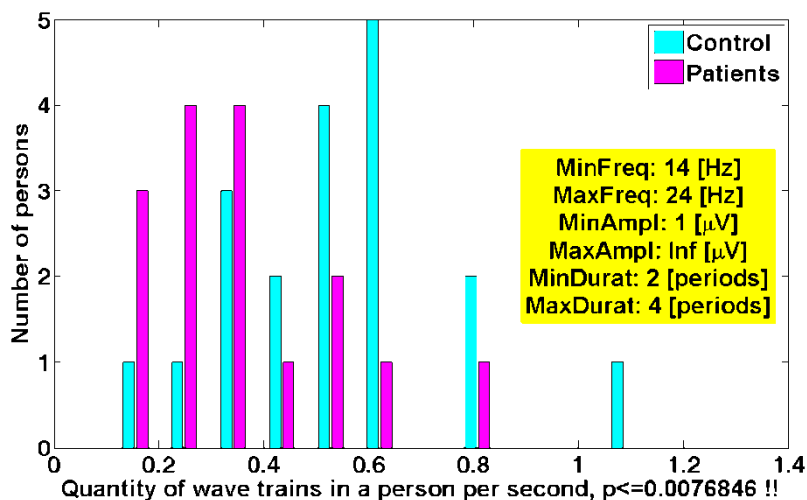


# Визуализация параметров всплесков на ЭЭГ



**Набор всплесков, обнаруженных в группе пациентов болезнью Паркинсона и контрольной группе.** Ось абсцисс - частота всплесков. Ось ординат - квадрат амплитуды всплесков в логарифмической шкале. Ось аппликат - длительность всплесков в периодах. Пациенты обозначены тёмно-красными ромбами, а здоровые добровольцы - светлыми кружками.

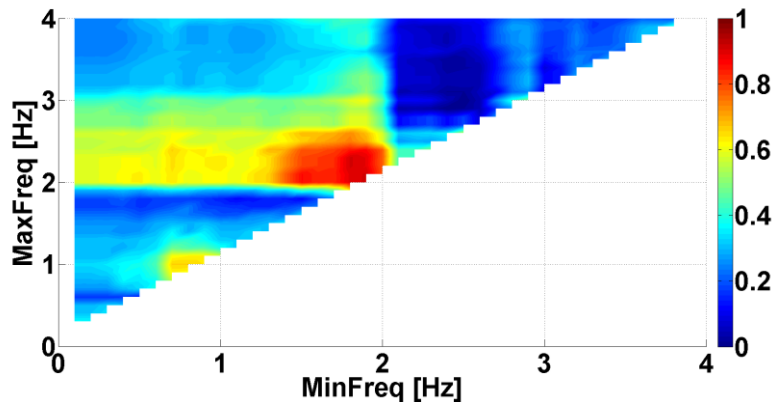
# ROC-кривые и AUC



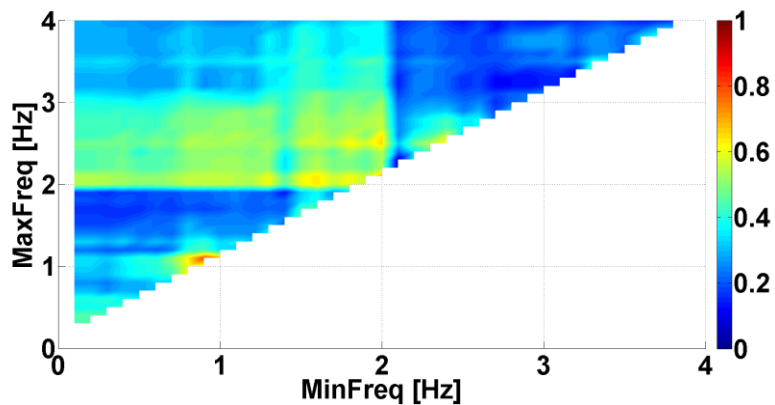
**Гистограмма количества всплесков в секунду у пациентов с БП и контрольной группы.** Всплески рассматриваются в параллелепипеде  $S$ , ограниченном следующими границами: диапазон частот 14–24 Гц, диапазон амплитуд от 1 мкВ<sup>2</sup> / Гц и более, диапазон длительности 2–4 периода. Гистограмма пациента с БП обозначена фиолетовым цветом, и гистограмма здоровых добровольцев обозначена голубым цветом.

Ось абсцисс - уровень ложно положительных результатов. Ось ординат - уровень истинно положительных результатов. Область под ROC-кривой (AUC) показывает, подходит ли область  $S$  для разделения пациентов и контрольной группы.  $AUC < 0,5$  указывает на то, что количество всплесков больше в контрольной группе, чем у пациентов.

# Мышцы-разгибатели



ЭМГ левой («треморной») руки  
пациентов с БП



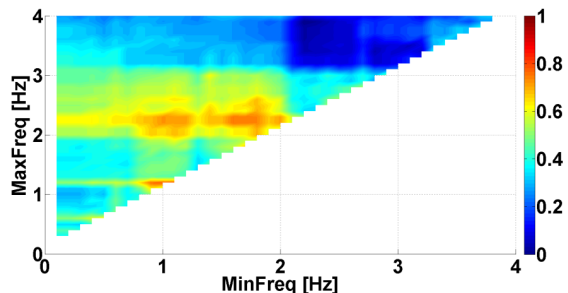
ЭМГ правой («треморной») руки  
пациентов с БП

Проведено исследование малоизученного частотного диапазона 0.5-4 Гц сигналов поверхностной электромиограммы (ЭМГ) мышц у пациентов с болезнью Паркинсона (БП) и эссенциальным тремором (ЭТ). Исследовано количество всплесков у испытуемых.

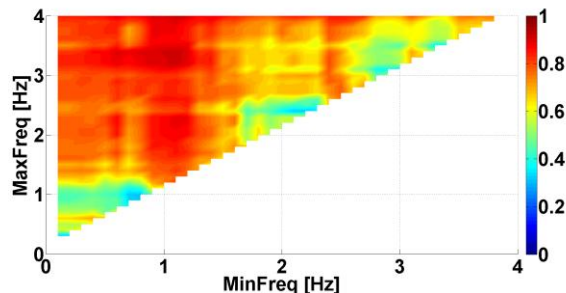
Статистически значимые отличия были обнаружены для мышц-разгибателей в диапазонах частот **0.1-1.8 Гц (синее пятно)**, **1.8-2.3 Гц (красное пятно)**, **2.1-3.9 Гц (синее пятно)** только на «треморных» руках пациентов с БП.

Статистически значимые отличия в рассматриваемых диапазонах частот у пациентов с ЭТ не обнаружены. Это свидетельствует о том, что наблюдаемые закономерности являются специфичными для БП.

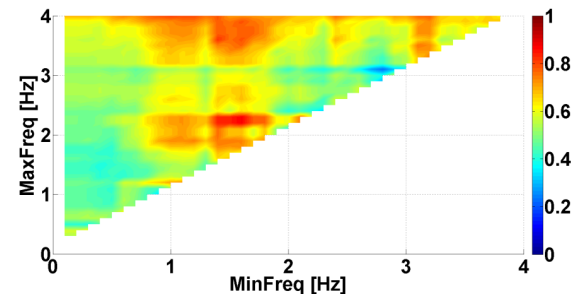
# Мышцы-сгибатели



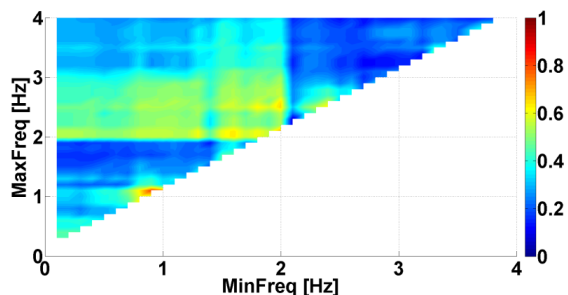
ЭМГ левой («треморной») руки пациентов с БП



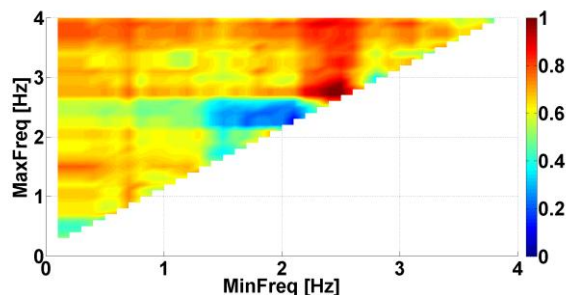
ЭМГ левой («здоровой») руки пациентов с БП



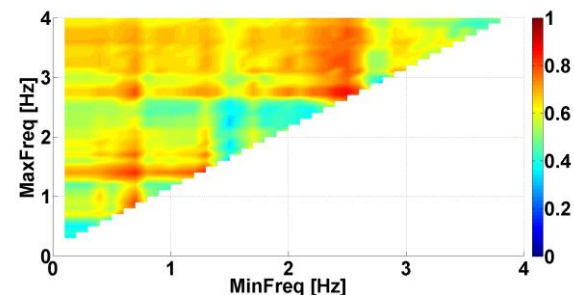
ЭМГ левой руки пациентов с ЭТ



ЭМГ правой («треморной») руки пациентов с БП



ЭМГ правой («здоровой») руки пациентов с БП

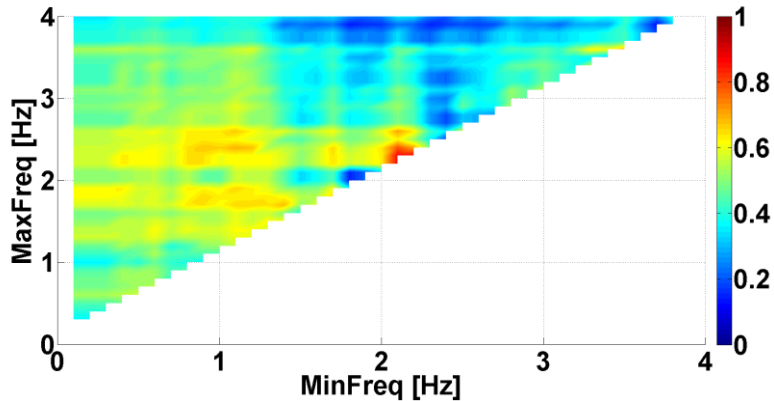


ЭМГ правой руки пациентов с ЭТ

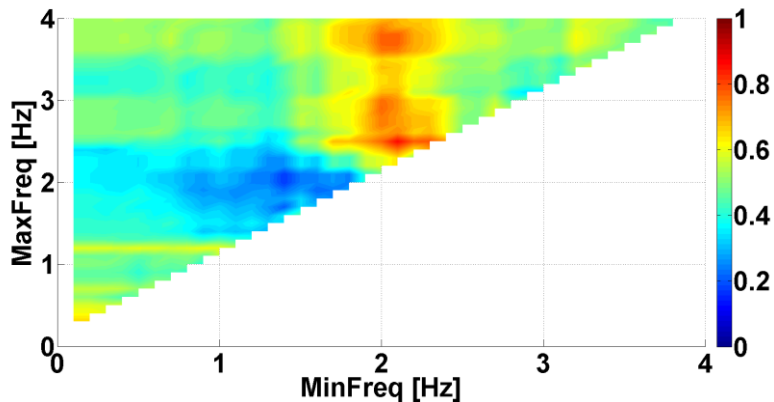
Статистически значимые отличия у БП были обнаружены в диапазонах частот **1.1-3.1 Гц (красное пятно), 2.1-3 Гц (синее пятно), 2.2-3.9 Гц (синее пятно).**

Статистически значимые отличия у ЭТ были найдены в диапазоне частот **1.6-2.3 Гц (красное пятно),** но только на левой руке.

# Мышцы-разгибатели vs мышцы-сгибатели



ЭМГ «здоровых» правых рук пациентов с БП.



ЭМГ «здоровых» левых рук пациентов с БП.

Статистически значимые отличия для «здоровых» рук пациентов с БП были обнаружены в диапазонах частот: **1.8-3.9 Гц (синее пятно), 2.1-2.5 Гц (красное пятно).**

Статистически значимых отличий у ЭТ найдено не было.

Найденные закономерности на «здоровых» руках пациентов с БП представляют значительный интерес для ранней диагностики БП, потому что «здоровые» руки пациентов с БП могут служить моделью процессов, происходящих на доклинических стадиях БП.

# Выводы

1. Разработан **новый метод анализа** всплескообразной электрической активности мышц, основанный на вейвлет-анализе и ROC-анализе.
2. Проведён детальный анализ данных пациентов с болезнью Паркинсона и эссенциальным тремором **в малоизученном диапазоне частот 0.5-4 Гц.**
3. Найдены статистически значимые отличия от контрольной группы испытуемых **как на «треморных» руках, так и на «здоровых» руках пациентов.** Было показано, что анализ пациентов с БП с помощью поверхностной ЭМГ на мышцах-разгибателях и мышцах-сгибателях даёт разные результаты.
4. Были найдены **отличия между мышцами-разгибателями и мышцами-сгибателями на «здоровых» руках** пациентов с БП, у пациентов с ЭТ таких отличий обнаружено не было.
5. Найденные закономерности в ЭМГ, которые ранее не удавалось выявить с помощью стандартных спектральных методов, могут быть **полезны для ранней диагностики болезни Паркинсона.**

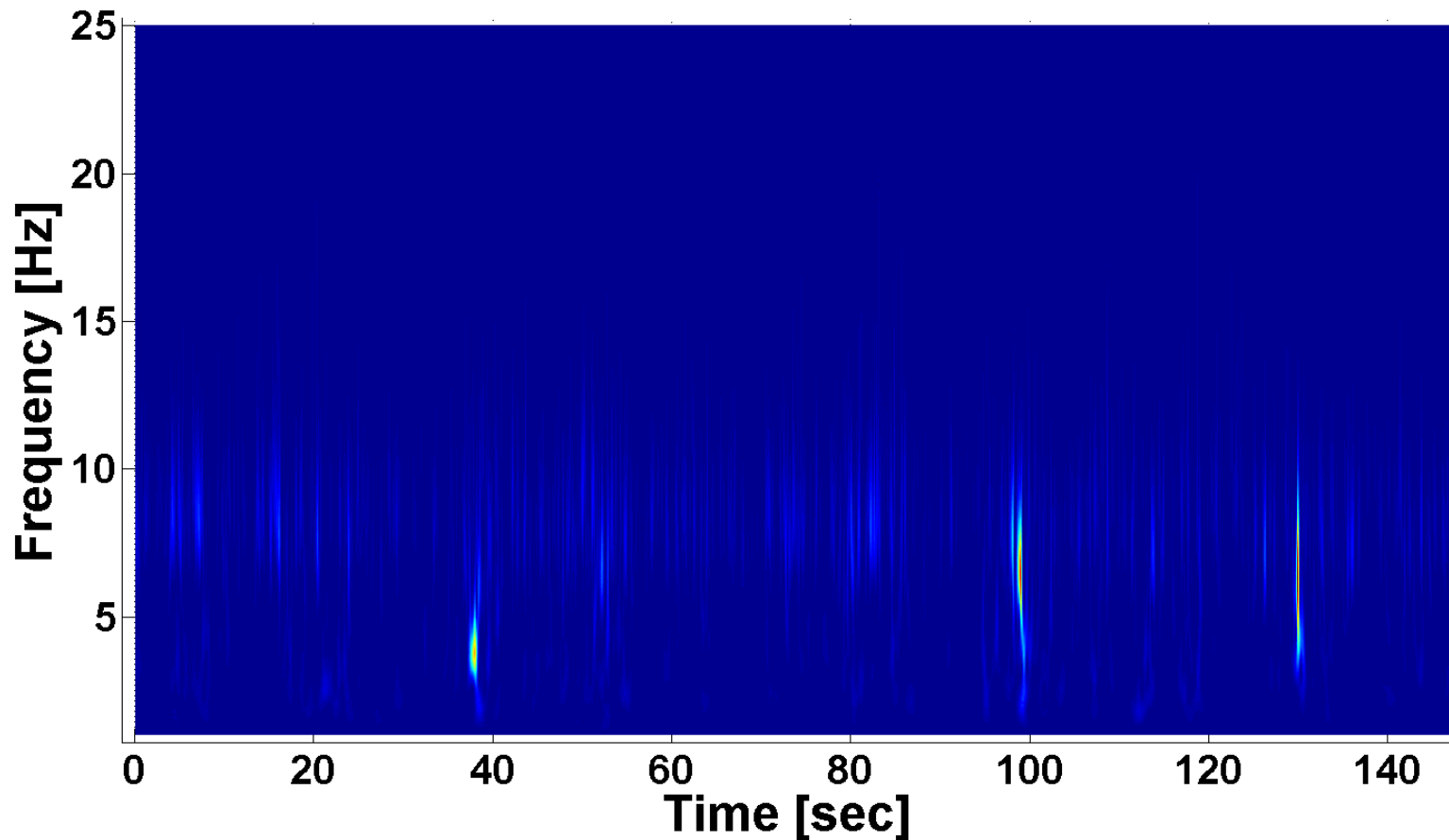


**Спасибо за внимание!**

# Предварительная обработка сигналов

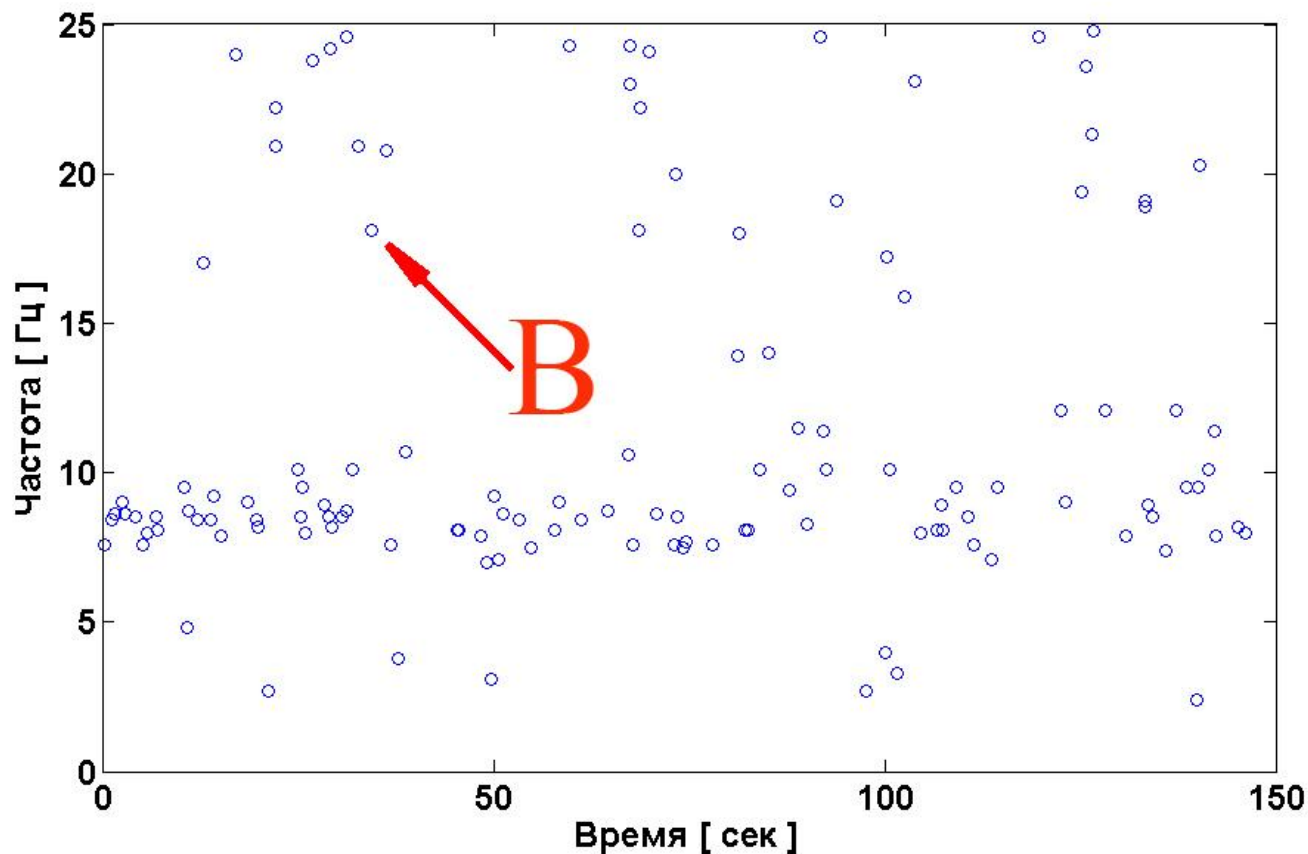
1. Применялось удаление выбросов в сигналах при помощи метода Хьюбера X84.
2. Были использованы режекторные фильтры 50, 100, 150, 200 Гц для удаления сетевой наводки.
3. Сигнал ЭЭГ был отфильтрован фильтром Баттерворта. При этом применялась двухэтапная фильтрация – в прямом, а затем в обратном направлении сигнала, для устранения фазовых искажений сигнала при фильтрации. На каждом этапе применялся фильтр Баттерворта восьмого порядка с полосой пропускания от 2 до 240 Гц.
4. Была осуществлена децимация сигнала, коэффициент децимации 8.

# Вейвлет-спектрограмма



Вейвлет-спектрограмма фоновой ЭЭГ пациента на ранней стадии болезни Паркинсона (вид сверху).

# Всплески на вейвлет-спектрограмме



Всплески на частотно-временной плоскости вейвлет-спектрограммы. Рассмотрим всплеск *B* (отмечен красной стрелкой) в частотном диапазоне бета.