

Изучение электромагнитных резонансных явлений в резонаторе Земля–ионосфера

Работу выполнили:

Сарафанов Ф.Г., Платонова М.В.

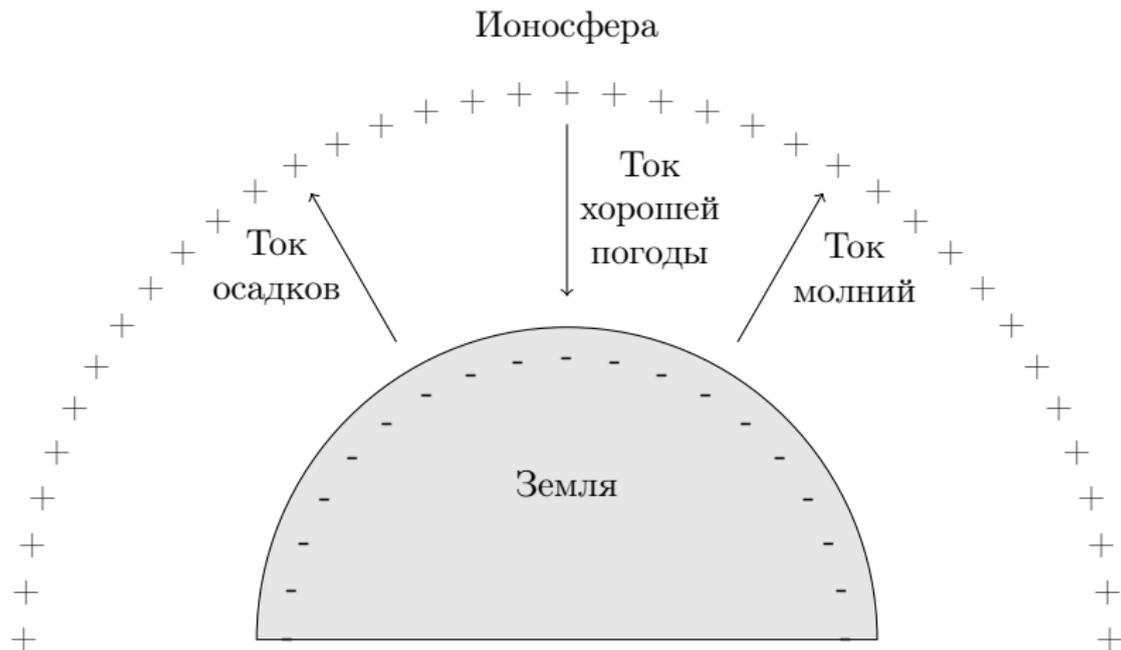
Научные руководители:

Мареев Е.А., Шлюгаев Ю.В.

Нижний Новгород – 2018

- 1** Изучить явление резонанса в резонаторе Земля-ионосфера
- 2** Создать программу обработки данных для определения резонансных частот
- 3** Обработать экспериментальные данные и объяснить характерные особенности спектрограммы
- 4** Определить направление на источники сигнала, выявленные на спектрограмме

Глобальная электрическая цепь



Разность потенциалов между Землей и ионосферой составляет ≈ 300 кВ
Основная зарядка происходит в мировых грозовых центрах: дельта Амазонки (Южно-американский грозовой центр), дельта реки Конго (Африканский грозовой центр).

Возникновение резонанса в сферическом резонаторе Земля-ионосфера

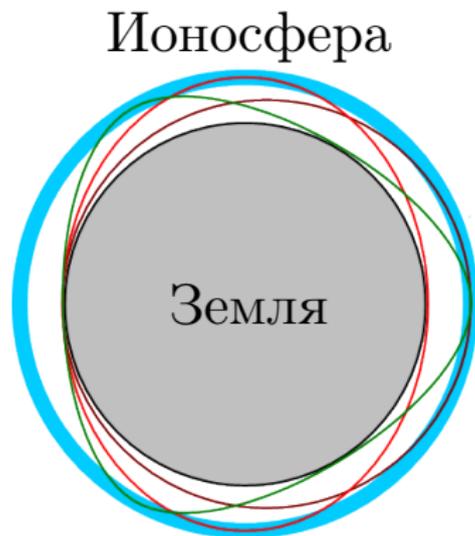
Возникшая в резонаторе ЭМ-волна после огибания земного шара и ряда отражений может войти в резонанс с собой.

Такой резонанс возможен на частотах

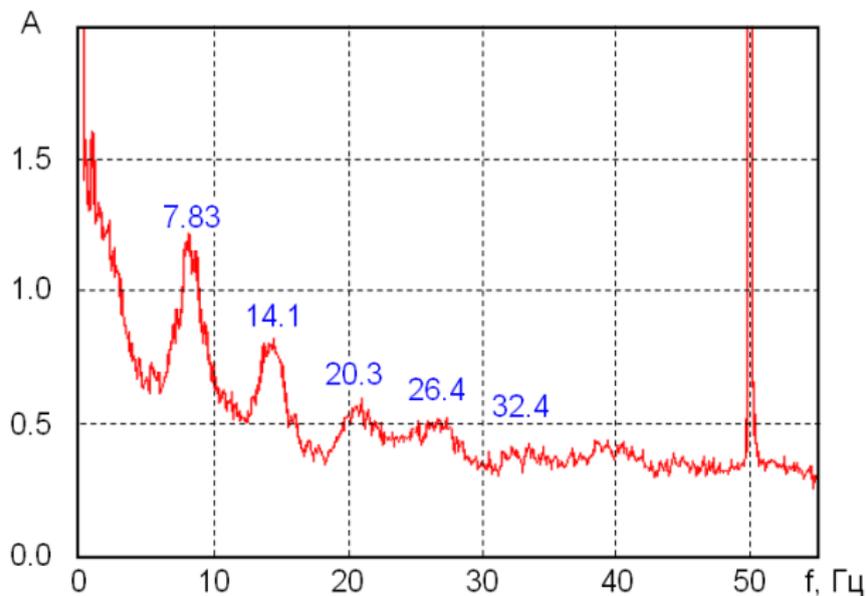
$$f = \frac{cn}{2\pi R},$$

где n – число отражений, c – скорость волны, R – радиус Земли

Это явление **шумановского резонанса**.



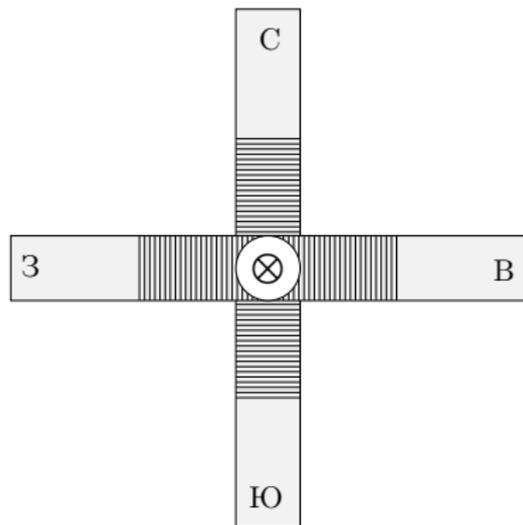
Характерный вид резонансных пиков шумановских частот



Спектрограмма [из интернета] измерений магнитного поля

Аппаратура

Данные, обрабатываемые в данной работе, получены при помощи двух разнесенных с базой $l = 50$ м установок, каждая из которых представляет три взаимно перпендикулярных индукционных датчика IMS-008.



Наличие в месте измерений сильной помехи на частоте сети 50 Гц и ее гармоник до 500 Гц обусловило выбор частоты дискретизации

$$f_d = 2000 \text{ Гц} ,$$

которая заведомо больше частоты Найквиста.

Разрешение АЦП позволяет измерять частоты от 0.1 Гц до 10 кГц.

Точка измерения магнитного поля – 69.2517N, 35.1561E (Териберский маяк, Териберка, Кольский полуостров).

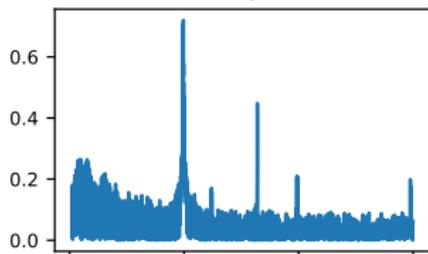
Обработка данных. Дискретное преобразование Фурье

1 $H(t) \Rightarrow H(f)$

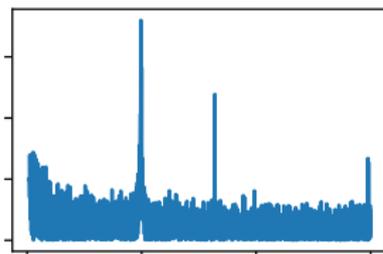
2 Дискретное преобразование Фурье

3 Быстрое преобразование Фурье (1 час сигнала - 40 минут преобразование)

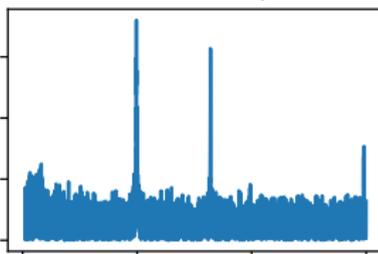
Канал 1, 1 вертикальный



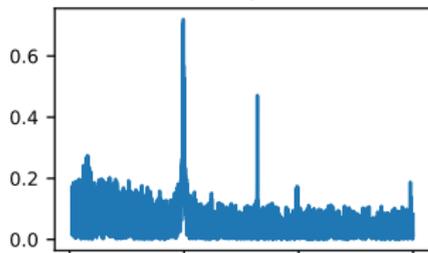
Канал 2, 1 запад-восток



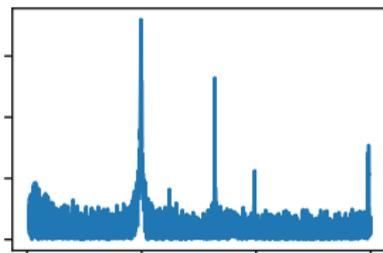
Канал 3, 1 север-юг



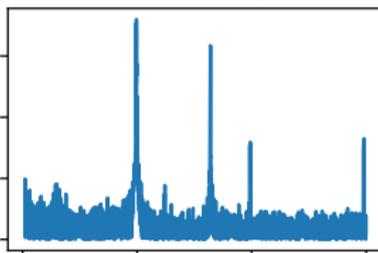
Канал 4, 2 вертикальный



Канал 5, 2 запад-восток

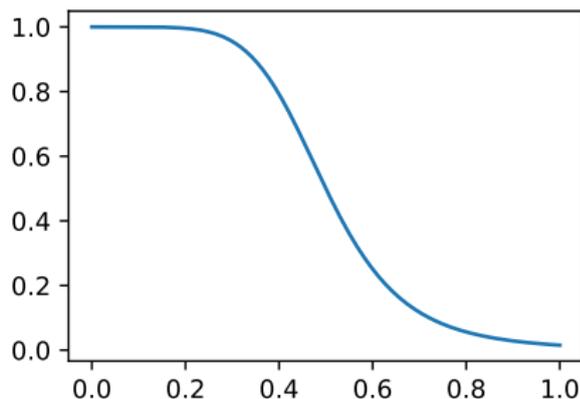
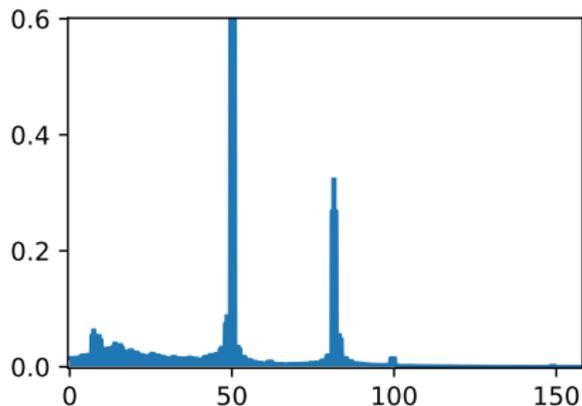


Канал 6, 2 север-юг



Фильтрация данных

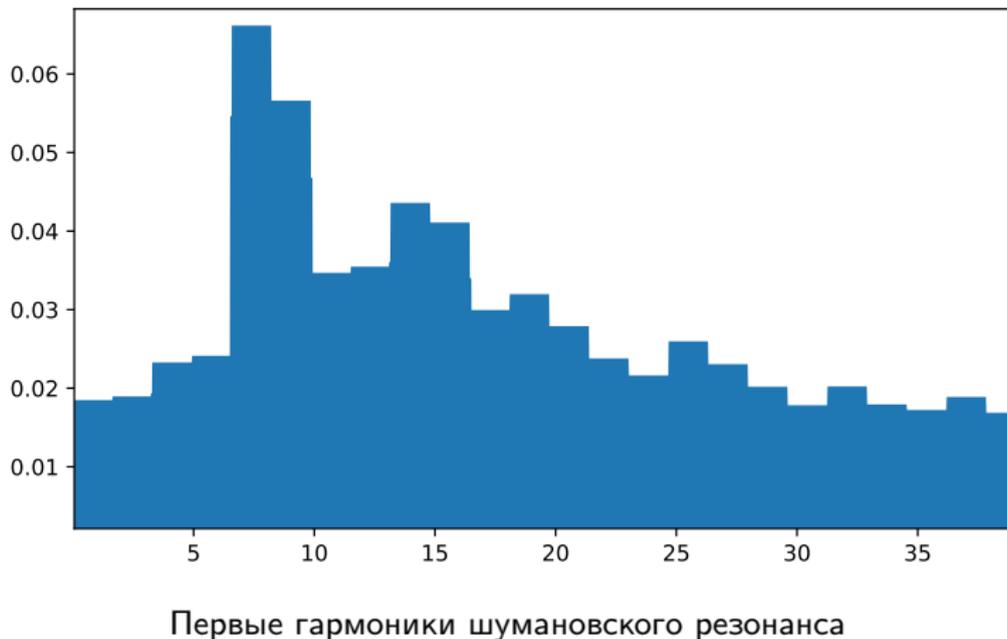
- 1 Децимация данных, фильтрация фильтром Баттерворта 3-го порядка. ФНЧ ($f_c = 150$ Гц), ФВЧ ($f_c = 0.2$ Гц)
- 2 Децимация спектра и усреднение полосами шириной 2 Гц



Отфильтрованные данные и АЧХ фильтра Баттерворта

Резонансные частоты Шумана

- 1 Выделен спектр шумановских резонансных частот – 8, 14, 20, 26, 32 Гц
- 2 Спектр ниже 8 Гц потерян, но в данной работе не используется



Простейший способ определения направления на источник заключался в сравнении амплитуд $H_{ЗВ}$ и $H_{СЮ}$ резонансных пиков:

$$\alpha = \arctan \frac{H_{ЗВ}}{H_{СЮ}}$$

- 1** Направление на генератор 50 Гц, рассчитанное таким способом, $\approx 43^\circ$.
Реальное направление на источник – 45°
- 2** Найдено направление на источник шумановского резонанса $\approx 15^\circ$.
Реальное направление на источник – $\approx 5^\circ$
- 3** Направление на станцию радиосвязи «Зевс» (82Гц) $\approx 54^\circ$. Реальное направление на источник $\approx 60^\circ$

- 1** Исследована природа резонанса Шумана
- 2** Изучено применение методов определения местоположения грозовой активности
- 3** Написана программа для обработки экспериментальных данных, с помощью нее получены спектрограммы магнитного поля
- 4** Проведен анализ спектрограмм, на которых выделялись:
 - 1** Пять гармоник резонансных частот Шумана (8 Гц, 14 Гц, 20 Гц, 26 Гц, 32 Гц)
 - 2** сеть с частотой 50 Гц и ее гармоники
 - 3** сеть станции СДВ-радиосвязи «Зевс»
- 5** Определены направления на шумановский резонанс ($\approx 15^\circ$), генератор ($\approx 43^\circ$), станцию радиосвязи «Зевс» ($\approx 52^\circ$)

Спасибо за внимание!

Презентация подготовлена в издательской
системе LaTeX с использованием пакетов
PGF/TikZ и Beamer