



Физический факультет  
Московского  
государственного университета  
имени М.В.Ломоносова

# «АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ»

Пащенко Ростислав<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория физики землетрясений и неустойчивости горных пород (301)

<sup>2</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, Кафедра физики Земли (Физический факультет)



**Цель работы:** получение спектральных характеристик очагов акустической эмиссии в лабораторных экспериментах.

**Актуальность работы:** сопоставление спектральных характеристик акустической эмиссии со спектральными характеристиками в естественных условиях позволит сделать выводы о степени применимости использования лабораторных данных для решения задач физики очага.



## Задачи:

1. Калибровка акустико-эмиссионной системы
2. Получение очаговых спектров акустической эмиссии
3. Сравнение полученных спектров сигналов акустической эмиссии со спектром смещений в модели Брюна
4. Оценка корнер-частоты
5. Применение нейросетевого подхода для анализа сигналов акустической эмиссии





$$\Omega(f) = \frac{\Omega_0}{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$

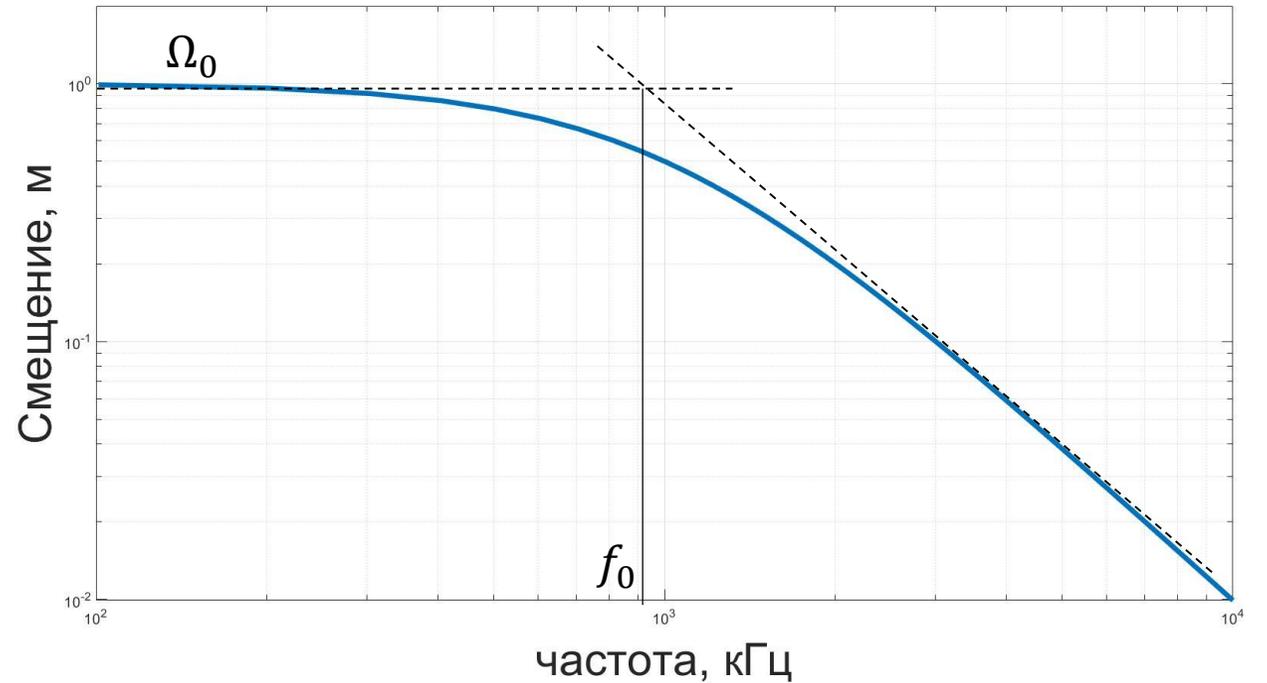
$\Omega_0$  – уровень низкочастотного плато;

$f_0$  – корнер-частота

$$r = \frac{0,37C_s}{f_0}$$

$r$  – размер очага;

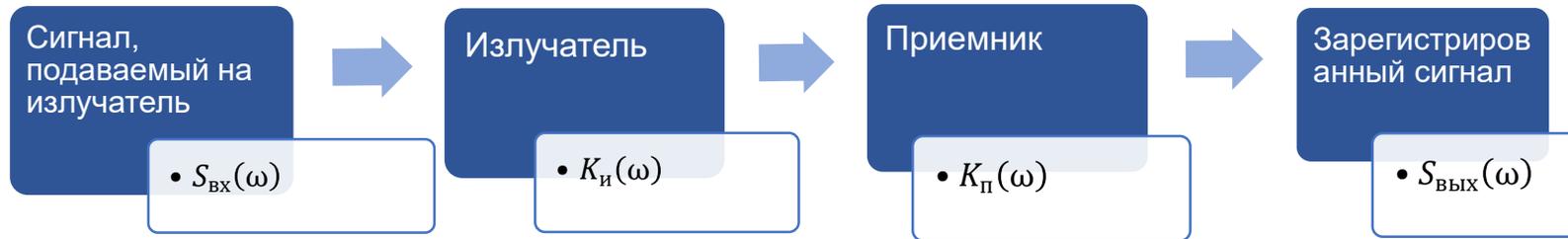
$C_s$  – скорость поперечных волн



Очаговый спектр смещений по модели Брюна

# Калибровка системы

Спектр выходного сигнала  $S_{\text{ВЫХ}}$  связан со спектром входного сигнала  $S_{\text{ВХ}}$  соотношением:  $S_{\text{ВЫХ}} = K(\omega)S_{\text{ВХ}}$ .  
 $K(\omega)$  – АЧХ.

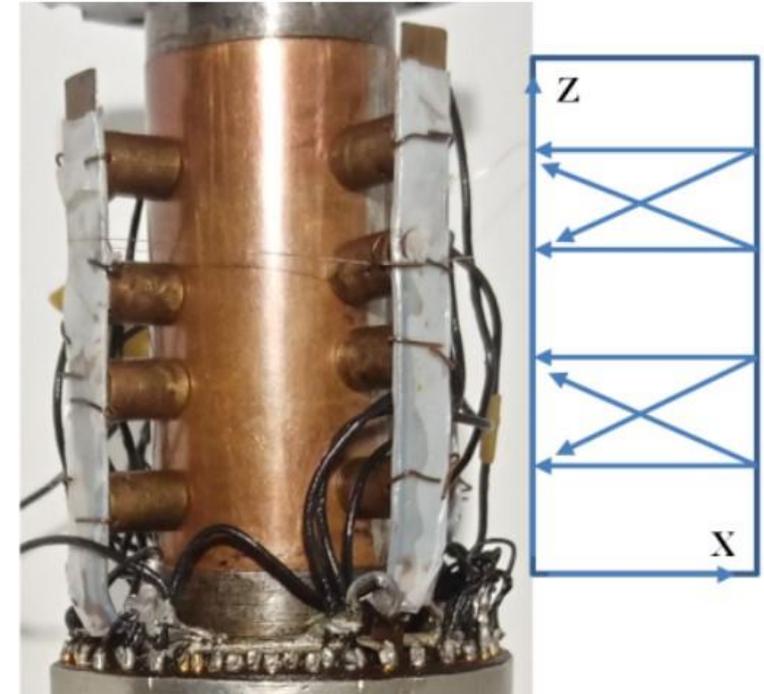


1) В нашем случае  $S_{\text{ВЫХ}} = K_{\text{П}} \cdot K_{\text{И}} \cdot S_{\text{ВХ}}$ .  
 $K_{\text{П}}$  и  $K_{\text{И}}$  – АЧХ приемника и АЧХ излучателя соответственно.

2)  $K_{\text{И}} \cdot K_{\text{П}} = \frac{S_{\text{ВЫХ}}}{S_{\text{ВХ}}}$ .

3) Мы принимаем:  $K_{\text{П}} = K_{\text{И}}$ .

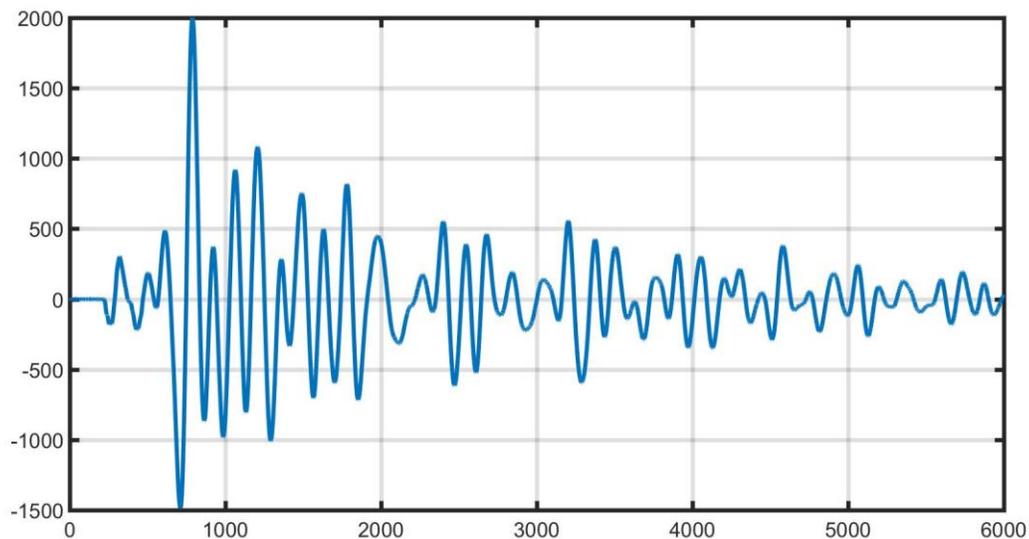
4)  $K_{\text{П}} = \sqrt{\frac{S_{\text{ВЫХ}}}{S_{\text{ВХ}}}}$  – АЧХ приемника (в дальнейшем будем называть эту величину калибровочным спектром).



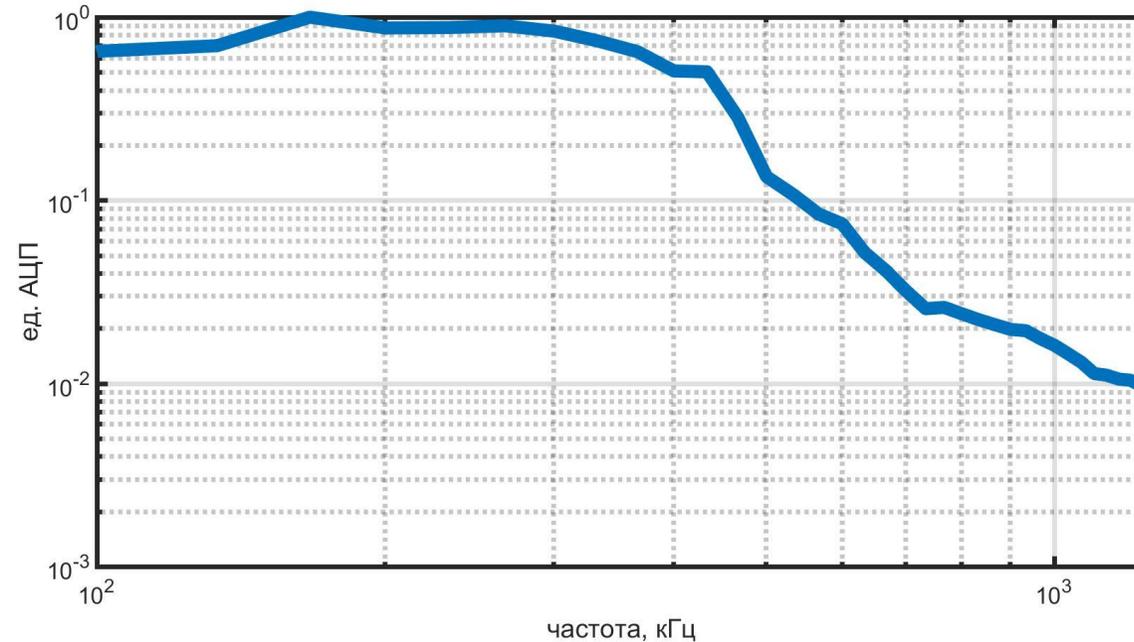
Образец в ячейке для испытания



# Сигнал калибровки и его спектр



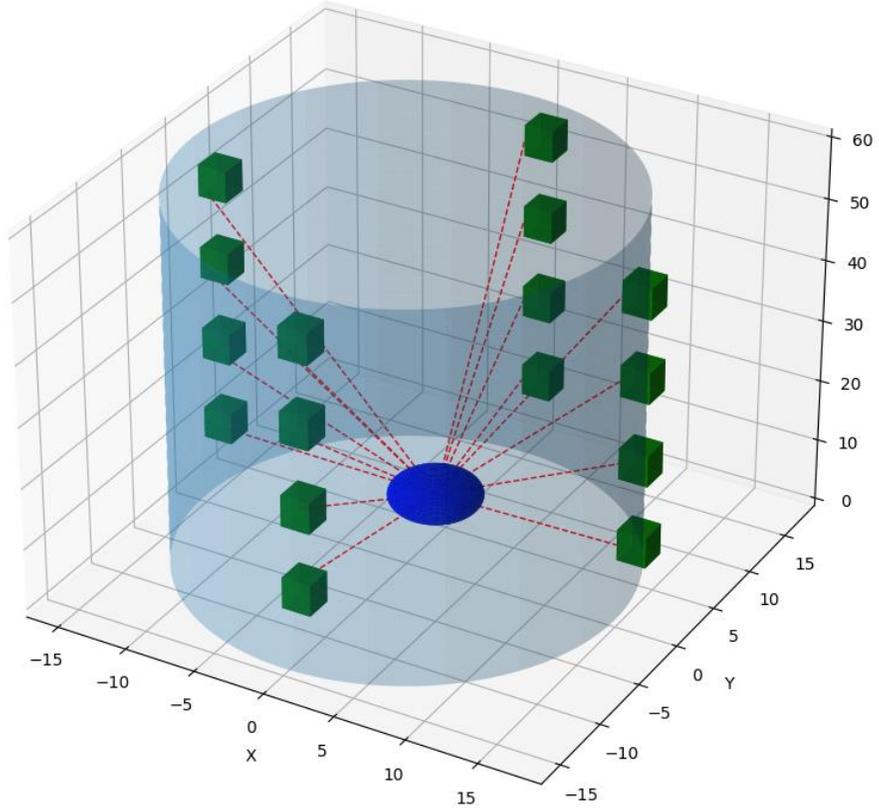
Ультразвуковой сигнал



Калибровочный спектр  $K_{\Pi}$



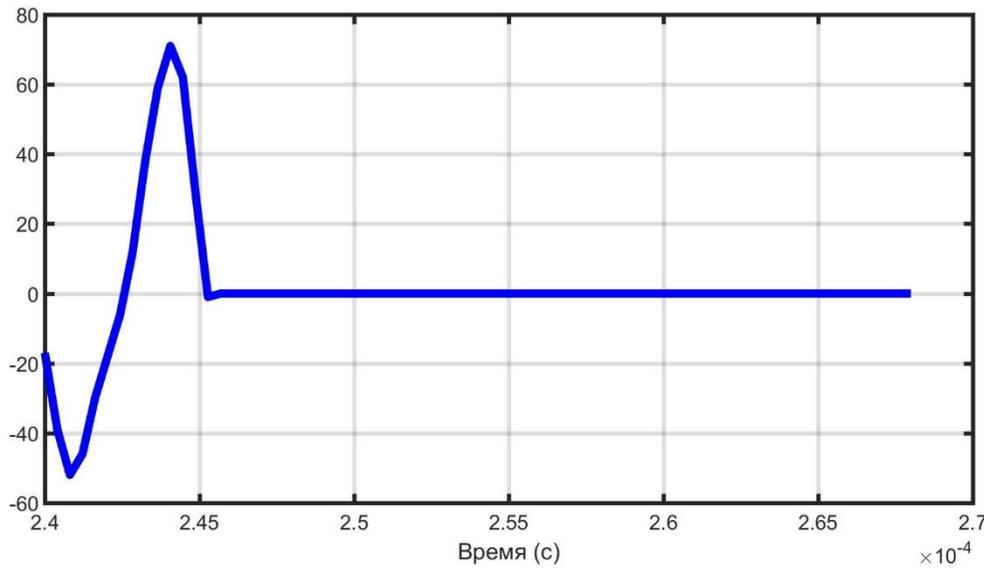
# Получение очаговых спектров



$$S_{\text{аэ}} = K_{\text{П}} \cdot S_{\text{очаг}} \rightarrow S_{\text{очаг}} = \frac{S_{\text{аэ}}}{K_{\text{П}}} = \frac{S_{\text{аэ}}}{\sqrt{\left( S_{\text{зс}} / S_{\text{уз}} \right)}}$$

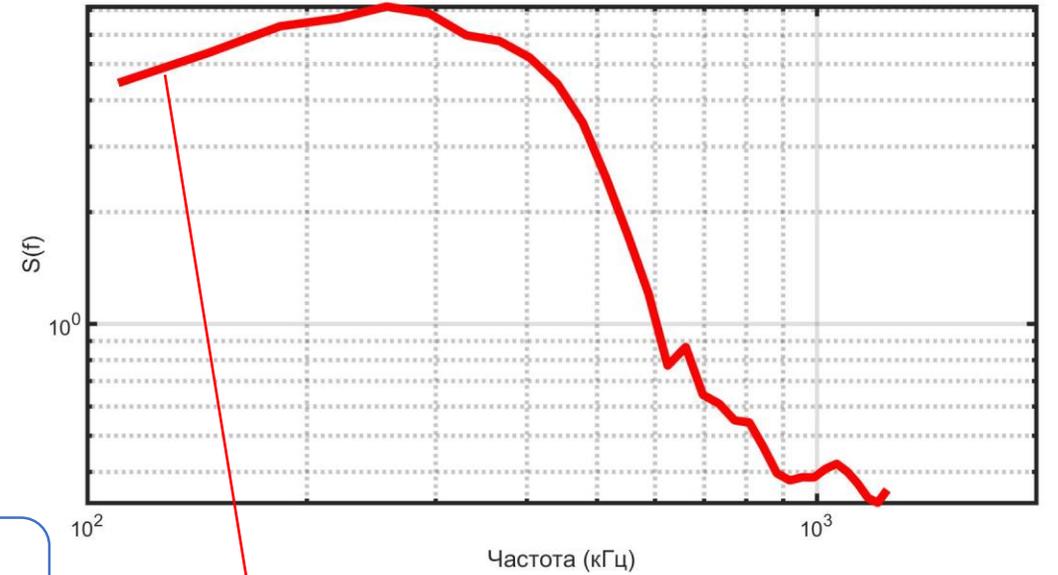
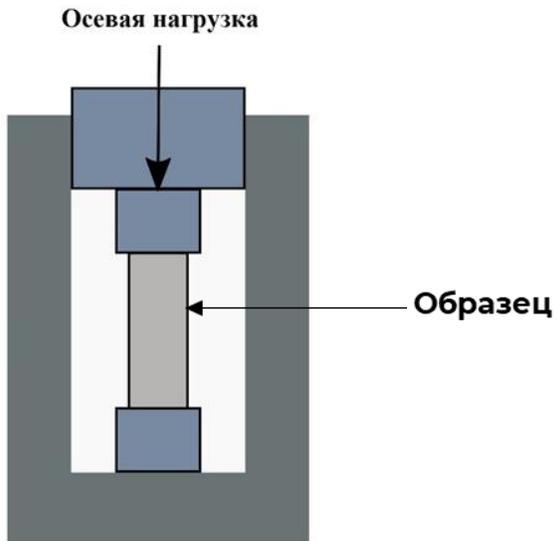
Схематическое изображение образца горной породы с прикрепленными к нему пьезоэлектрическими датчиками (зеленые кубики) и источником АЭ (синяя сфера)



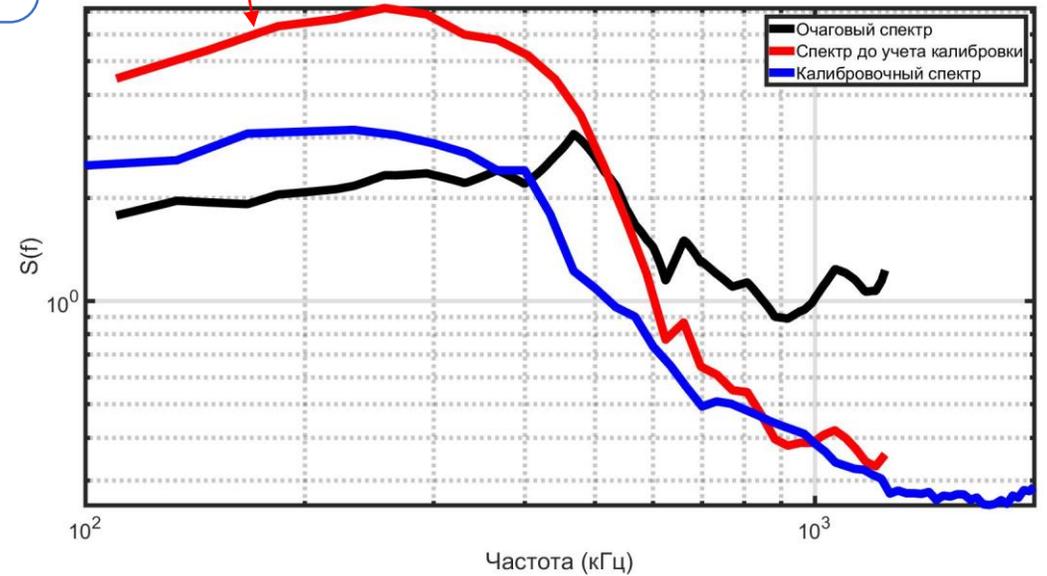


Первое вступление, дополненное нолями

$$S_{\text{очаг}} = \frac{S_{\text{аэ}}}{K_{\text{П}}}$$



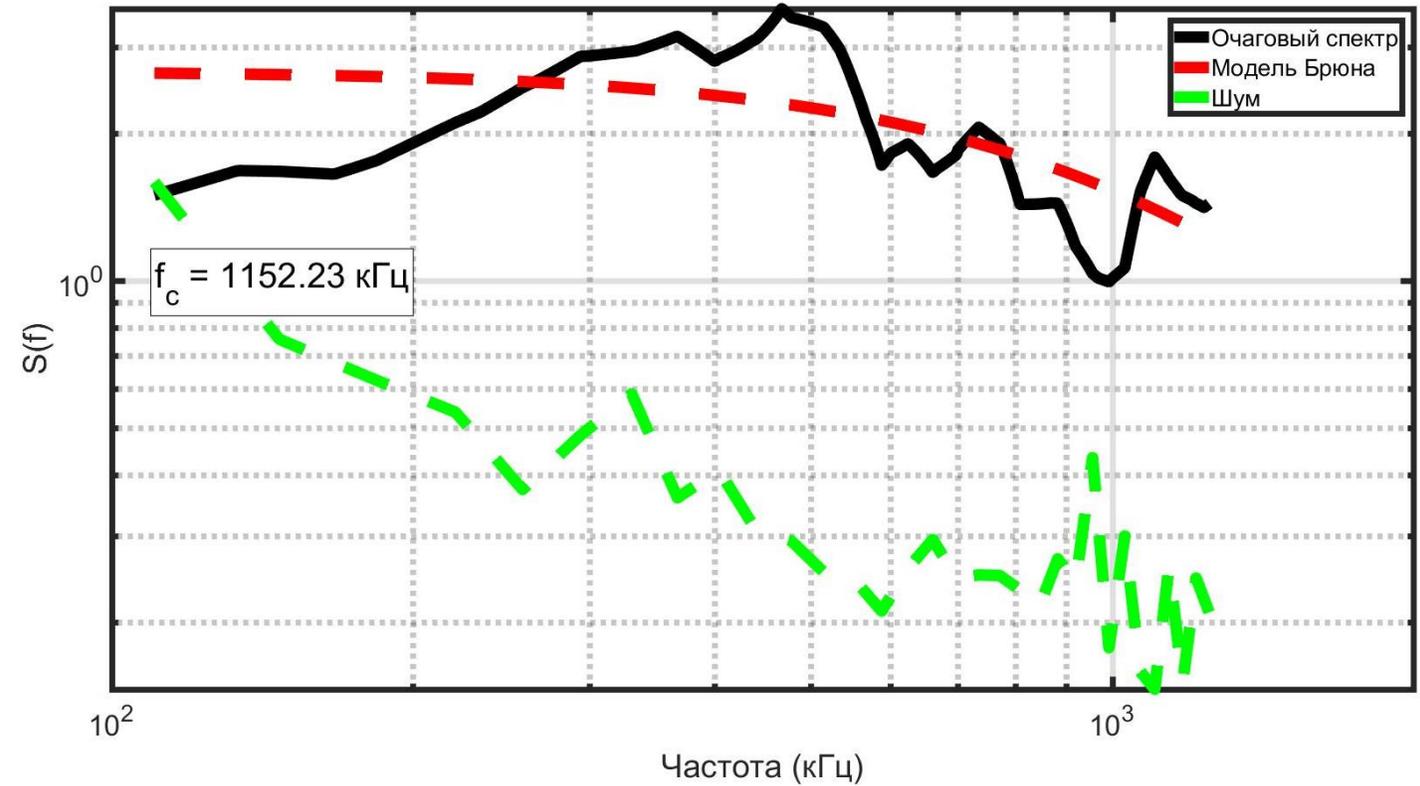
Спектр первого вступления





$$C_s \approx 1500 \text{ М/с}$$

$$r = \frac{0,37C_s}{f_0} \approx 0,5 \text{ мм} - \text{размер трещины}$$

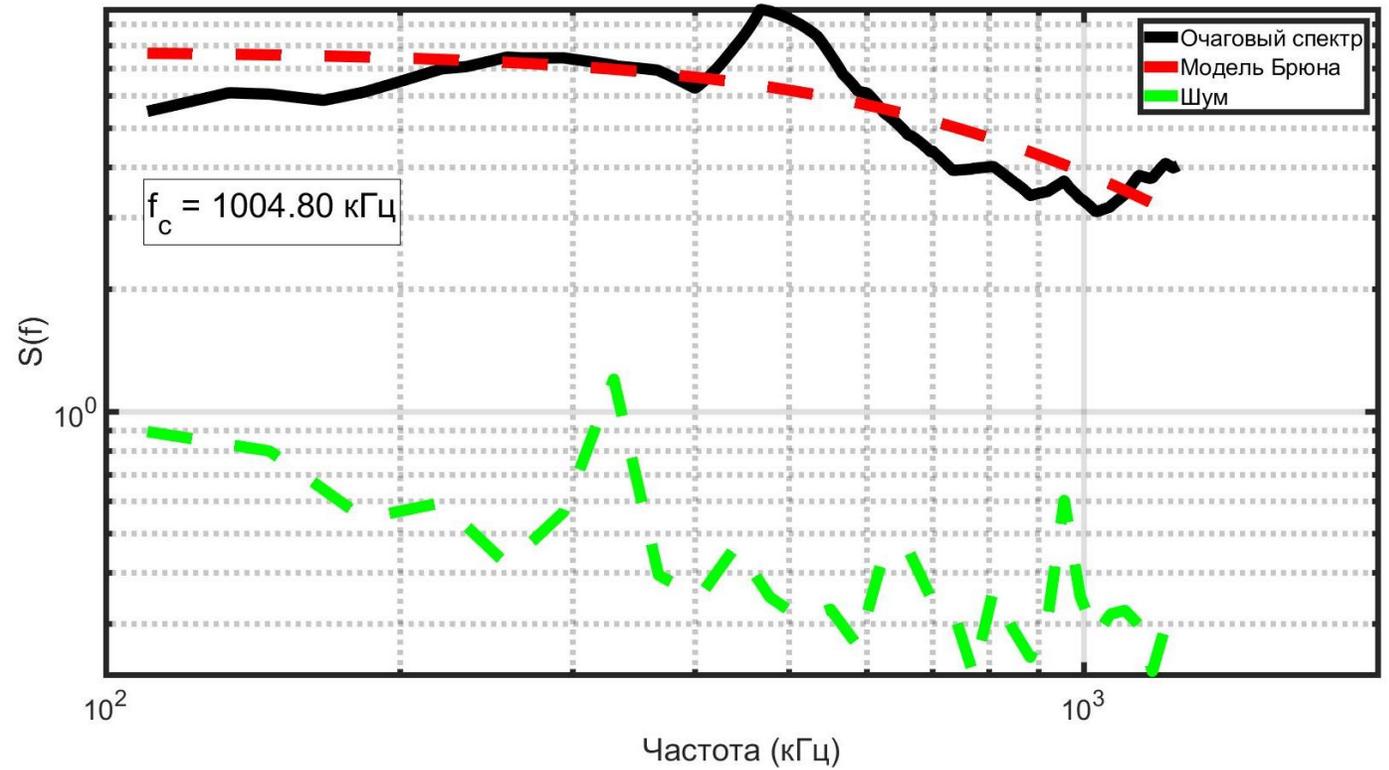


Сравнение очагового спектра в образце песчаника с моделью Брюна



$$C_s \approx 2900 \text{ М/с}$$

$$r = \frac{0,37C_s}{f_0} \approx 1 \text{ мм} - \text{размер трещины}$$



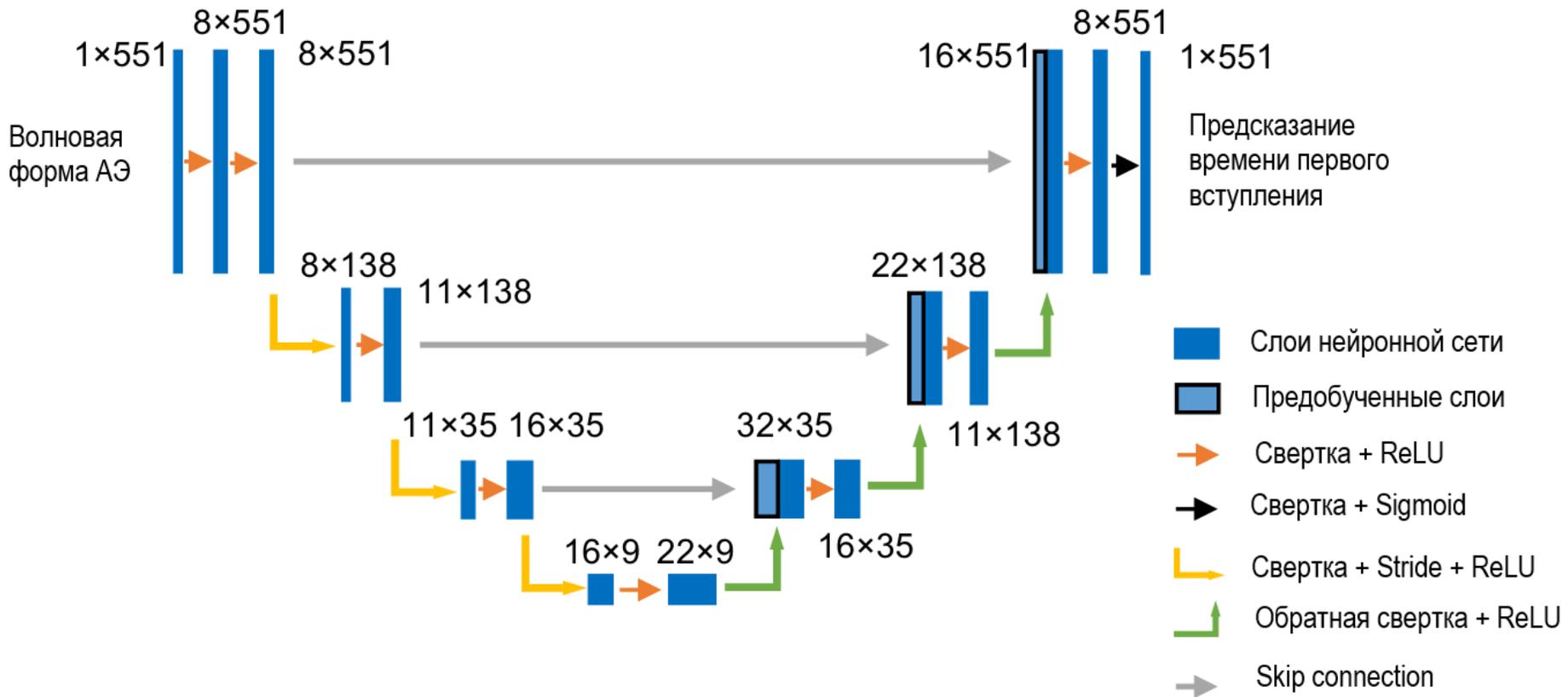
Сравнение очагового спектра в образце гранита с моделью Брюна

# Предварительные результаты

- Для большинства событий мы не видим характерного «излома» спектра в рассматриваемом диапазоне частот
- Для некоторых событий все же удается определить  $f_0$ , составляющую  $\sim 1,1$  МГц для песчаника и  $\sim 1$  МГц для гранита
- Имеющаяся у нас аппаратура не позволяет исследовать параметры очагов АЭ на примере материалов рассмотренных образцов, если размеры трещин меньше, чем 0,5 - 1 мм



# Дальнейшие планы



Архитектура используемой нейронной сети

