

ТЕОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ

ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

КРАТКОВРЕМЕННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ (КВПФ)

д.т.н., доцент Вашкевич Максим Уосиорович



Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Кафедра электронных вычислительных средств

Кратковременное ПФ (КВПФ)

Кратковременное преобразование Фурье (КВПФ) (англ. STFT – short-time Fourier transform) используется для получения **частотно-временного представления сигнала**.

$$X(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)x(n + lL)e^{-j\omega_k n},$$

$x(t)$ – входной сигнал;
 $h(n)$ – оконная функция;
 $\omega_k = \frac{2\pi k}{N}$,

$k = 0, 1, \dots, N - 1$ – частотный индекс,
 L – временной шаг анализа (расстояние между соседними фреймами);
 l – номер фрейма анализа.

Кратковременное ПФ (КВПФ)

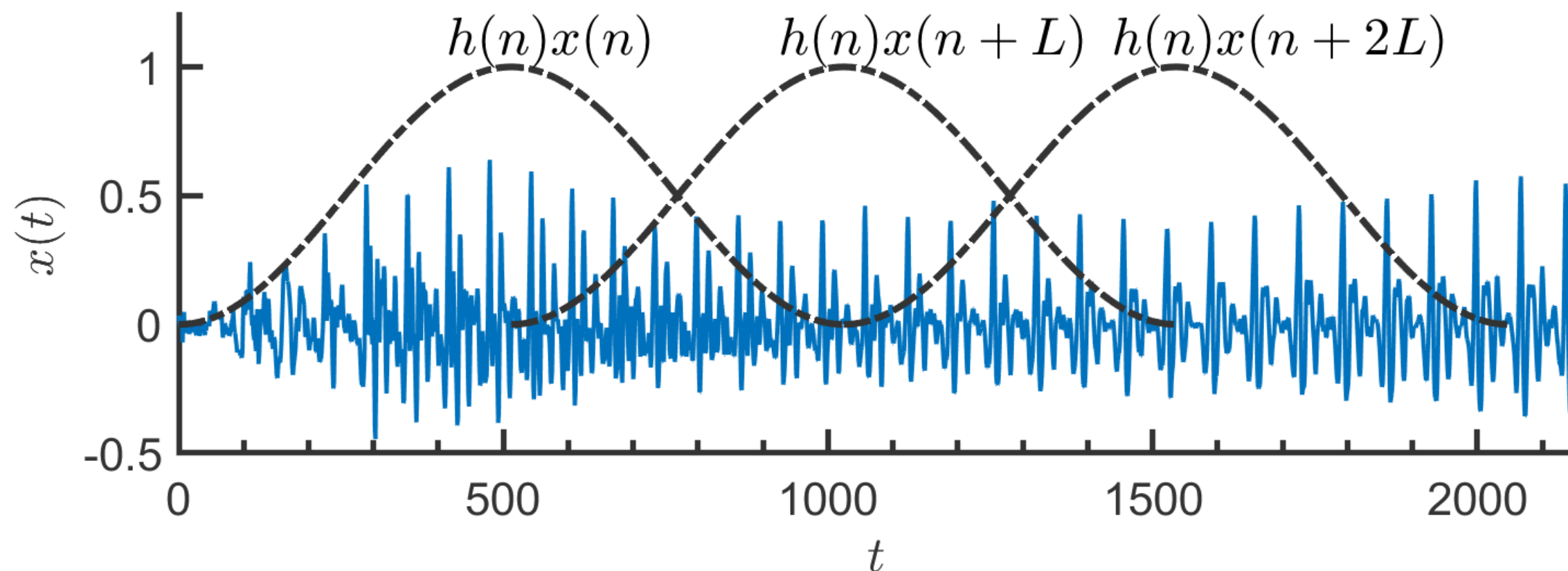
КВПФ – *частотно-временное представление сигнала.*

$$X(k, l) = \underbrace{\sum_{n=0}^{N-1} h(n)x(n + lL)e^{-\frac{j2\pi}{N}kn}}_{\text{DFT}\{h(n)x(n+lL)\}}.$$

Кратковременное ПФ (КВПФ)

КВПФ – частотно-временное представление сигнала.

$$X(k, l) = \underbrace{\sum_{n=0}^{N-1} h(n)x(n + lL)}_{\text{DFT}\{h(n)x(n+lL)\}} e^{-\frac{j2\pi}{N}kn}.$$



Спектрограмма

При помощи КВПФ мы рассчитываем последовательность спектров

$$X(k, l) = \text{DFT}\{h(n)x(n + lL)\}, \quad n = 0, 1, \dots, N - 1.$$

Двумерное представление $|X(k, l)|$ называют **спектрограммой** сигнала.

Спектрограмма

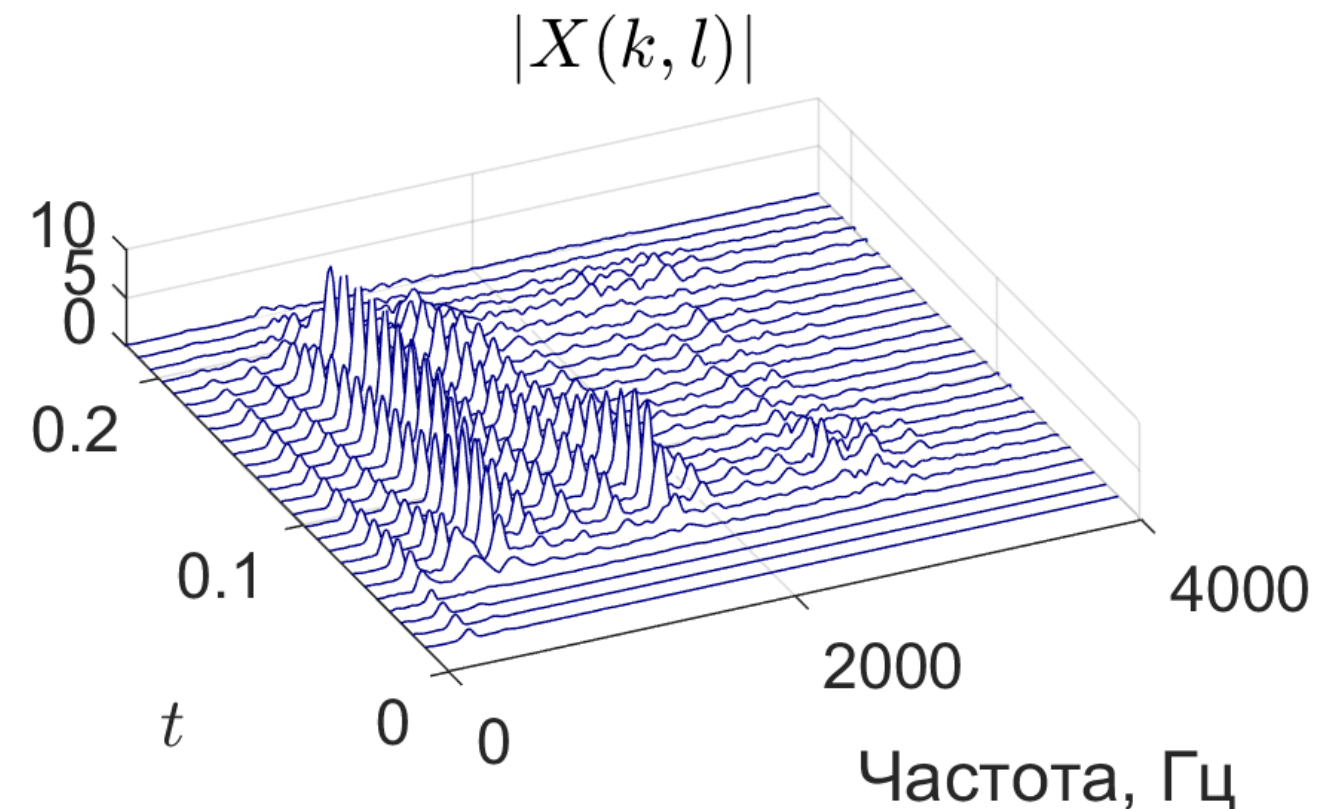
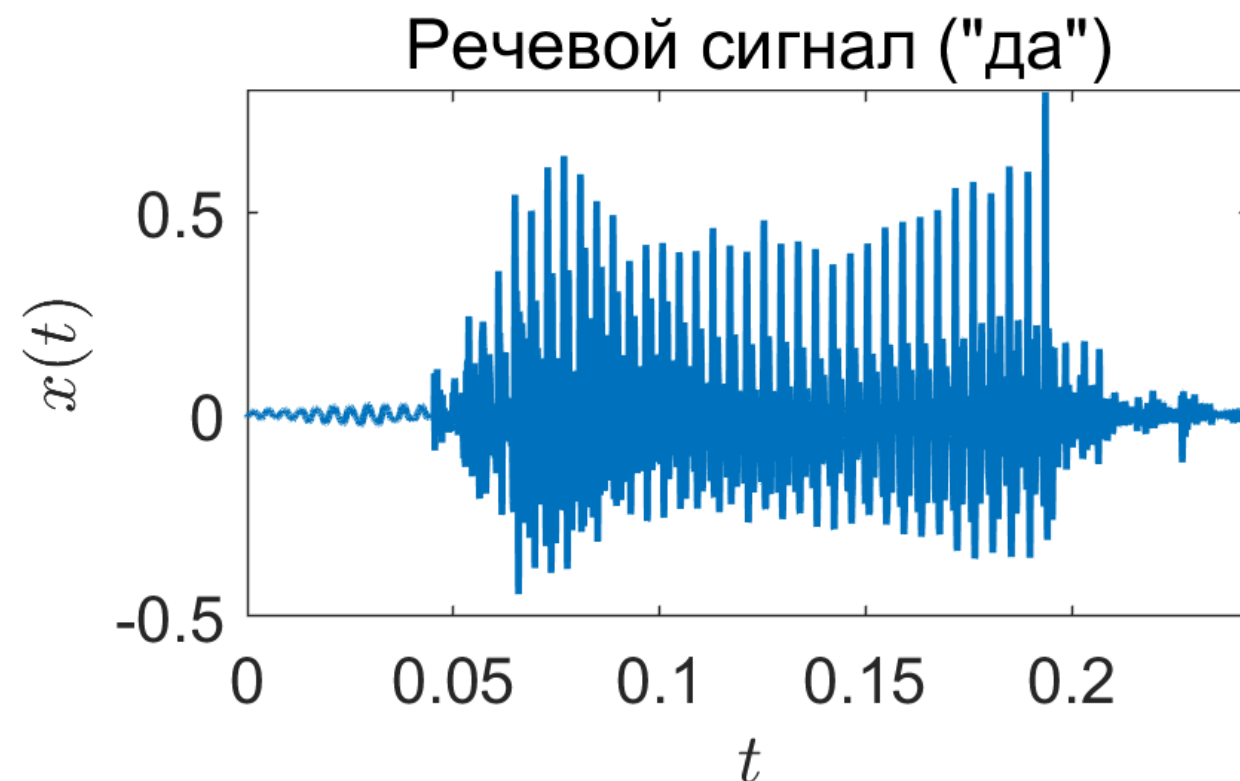
При помощи КВПФ мы рассчитываем последовательность спектров

$$X(k, l) = \text{DFT}\{h(n)x(n + lL)\}, \quad n = 0, 1, \dots, N - 1.$$

Двумерное представление $|X(k, l)|$ называют **спектрограммой** сигнала.

Сигнал во временной области

Спектрограмма сигнала



Спектрограмма

Величины $|X(k, l)|$ как правило имеют большой динамический диапазон и изменяются в пределах от 10^{-5} до 1, поэтому для удобства графического отображения часто переходят к логарифмическим единицам – децибелам:

$$Spec_{dB}(k, l) = 20 \log_{10} |X(k, l)|$$

Спектрограмма

Величины $|X(k, l)|$ как правило имеют большой динамический диапазон и изменяются в пределах от 10^{-5} до 1, поэтому для удобства графического отображения часто переходят к логарифмическим единицам – децибелам:

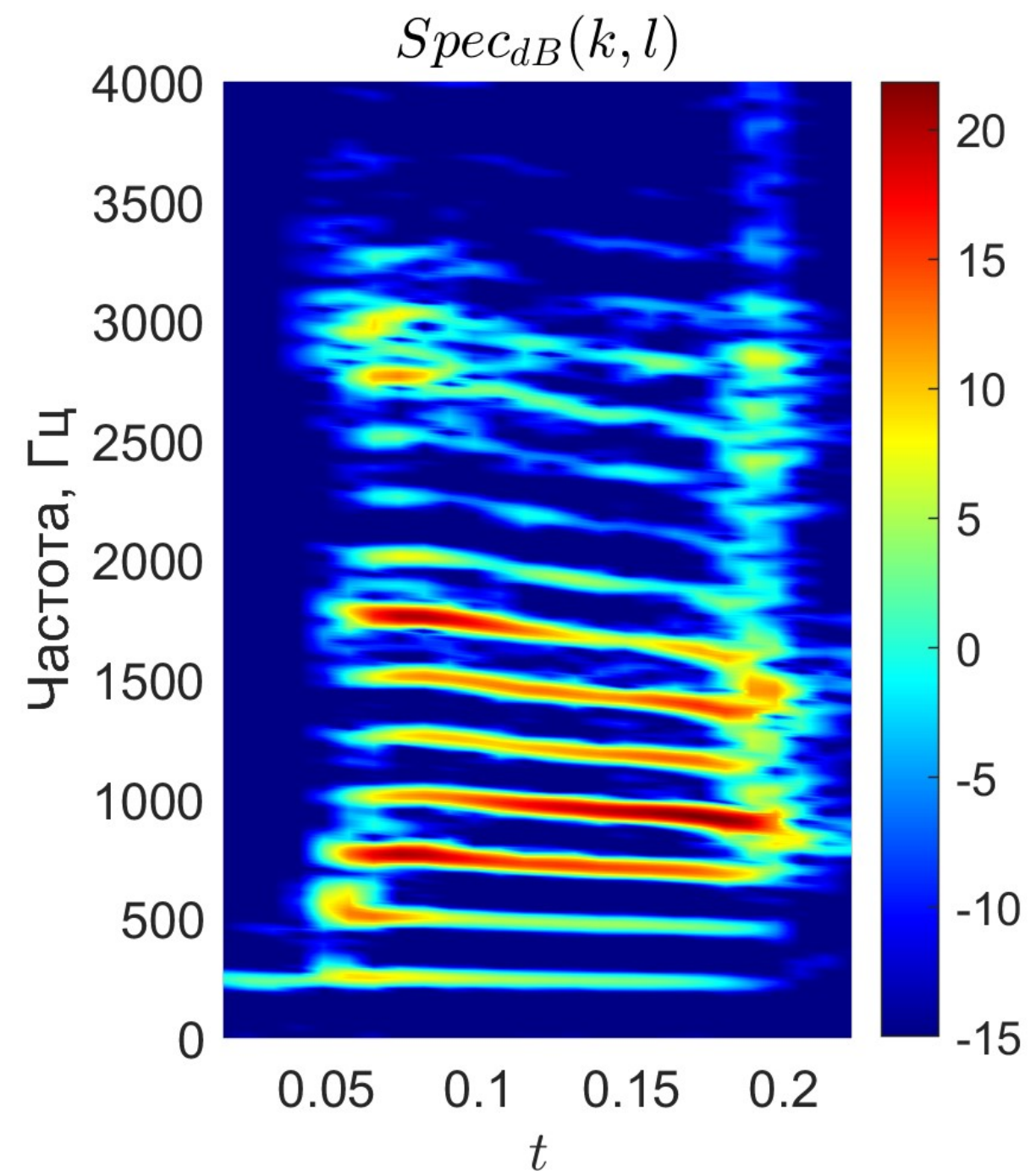
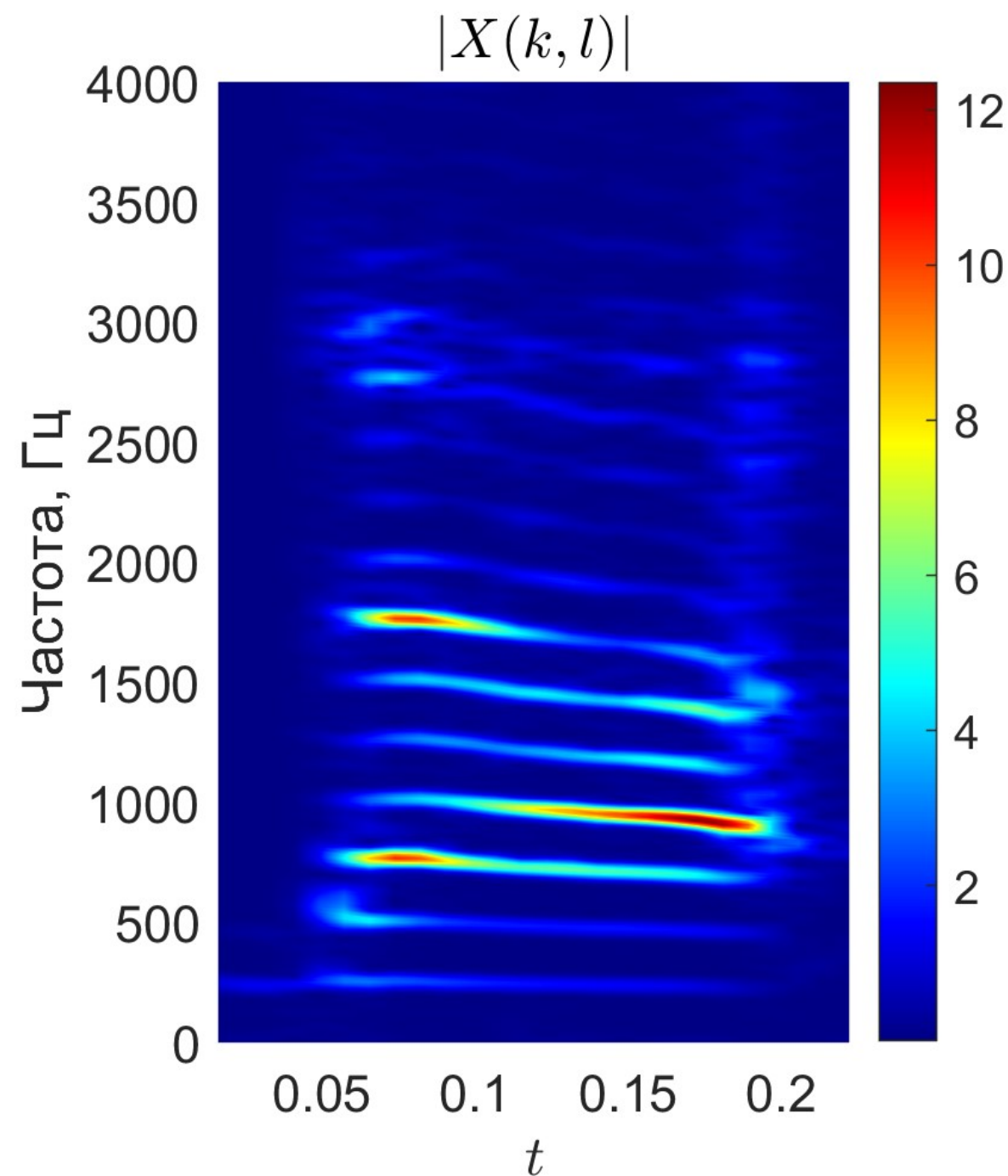
$$Spec_{dB}(k, l) = 20 \log_{10} |X(k, l)|$$

На практике чаще всего спектрограмму отображают в виде *тепловой карты*.

Тепловая карта – способ визуализации функции двух переменных в виде двумерного изображения, при котором значение функции отображается цветом.

Спектрограмма – тепловая карта

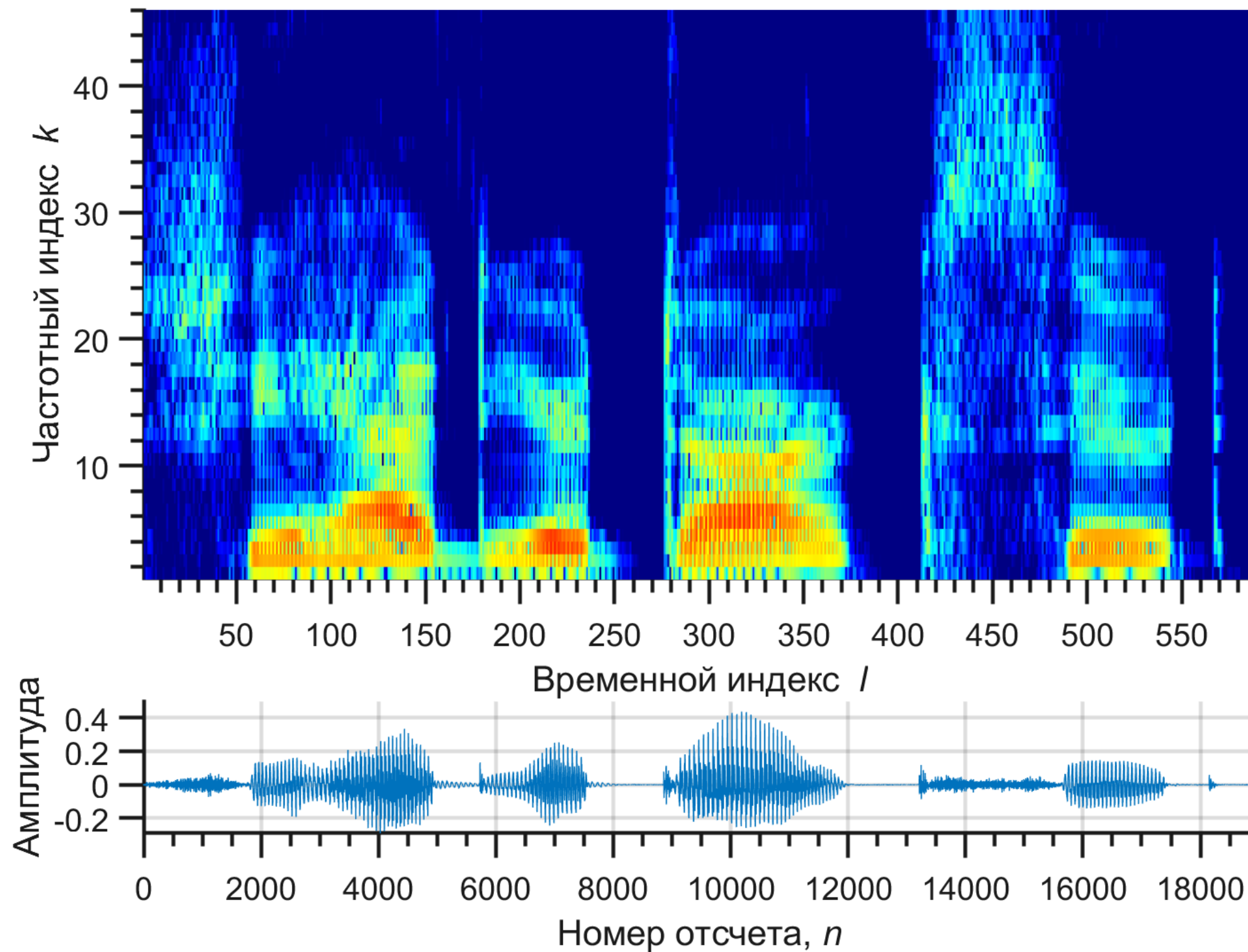
Тепловая карта – способ визуализации функции 2х переменных в виде двумерного изображения (значение функции отображается цветом).



Построение спектрограммы

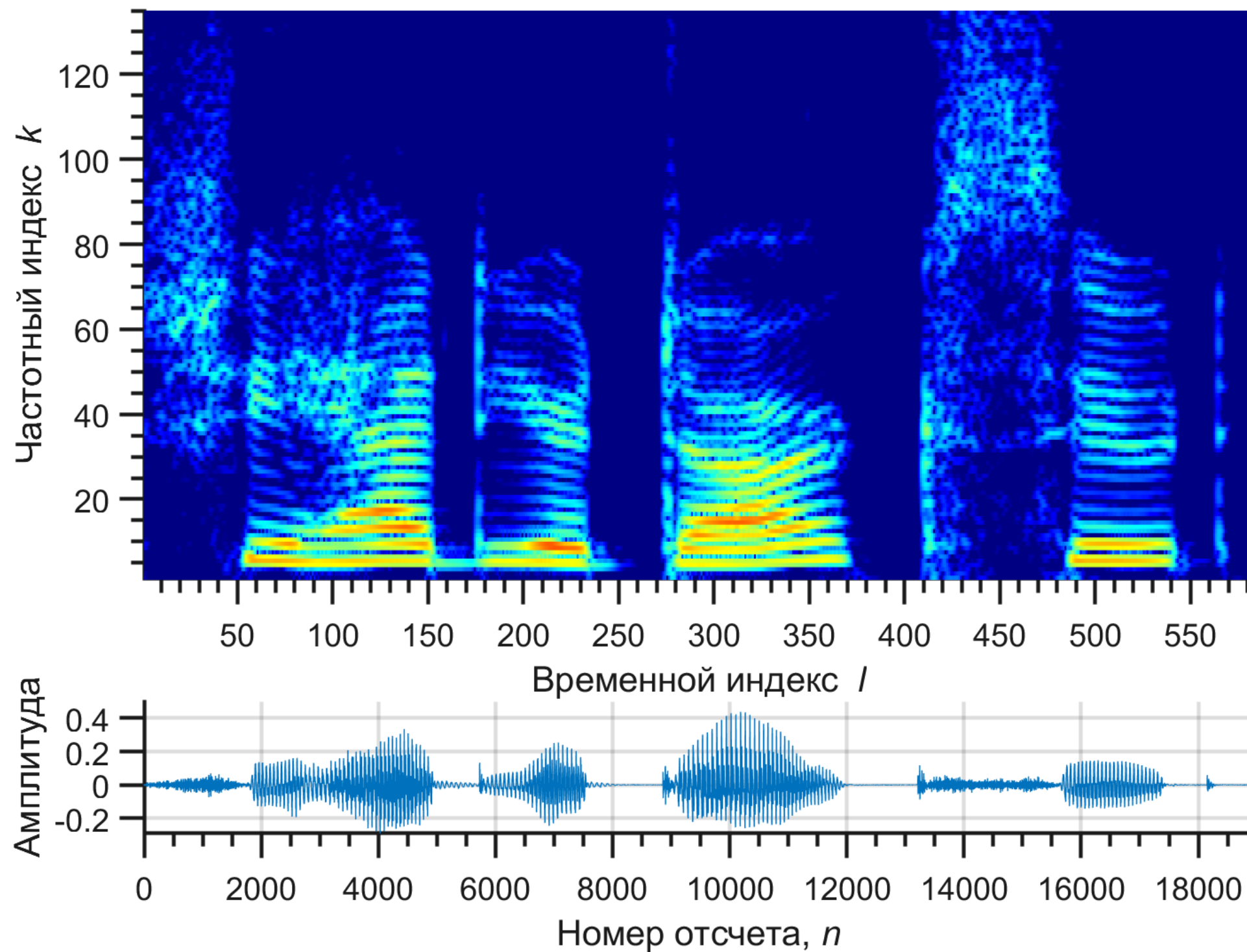
```
[x,fs] = audioread('female_speech.wav');
Ln = length(x);
L=32; % перекрытие между фреймами
N=256; % размер фрейма анализа
N_bins=round(N/2)+1; % число частотных отсчетов
w = hann(N); % оконная функция Ханна
N_frames=floor((Ln-N)/L); % число фреймов
Spec = zeros(N_bins,N_frames);
for l = 1:N_frames
    x_frame = x(1+(l-1)*L:(l-1)*L+N);
    x_frame = x_frame.*w;
    X_kl = fft(x_frame);
    X_kl = X_kl(1:N_bins)/(N/2);
    Spec(:,m) = 20*log10(abs(X_kl));
end
pcolor(Spec); shading flat; colormap(jet);
ylabel('Частотный индекс \it k'); xlabel('Временной индекс \it l');
```

Широкополосная спектрограмма



Речевой сигнал («she had your dark suit»)

Узкополосная спектрограмма



Речевой сигнал («she had your dark suit»)