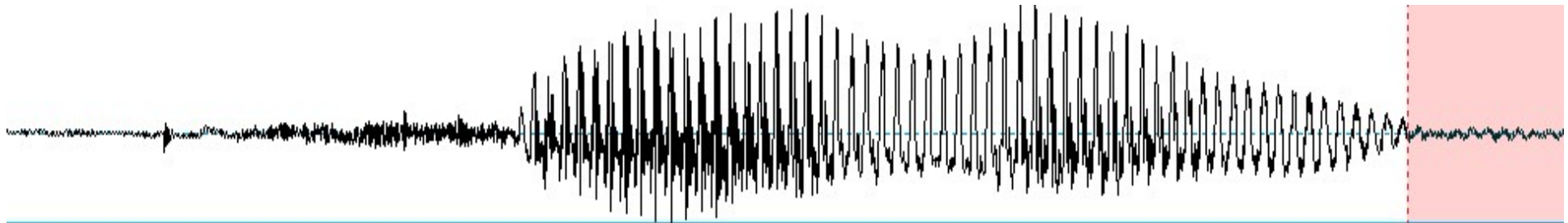
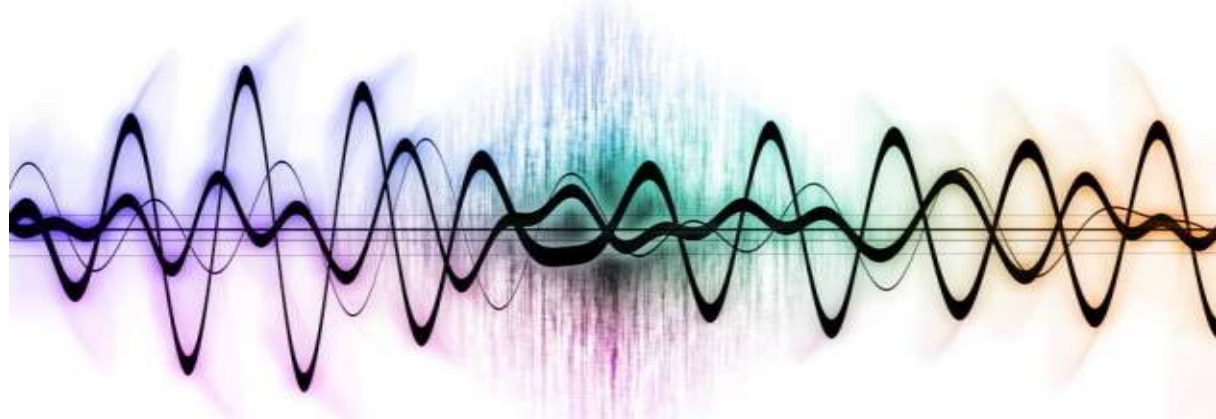


# ВВЕДЕНИЕ В АКУСТИКУ РЕЧИ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО- ФОНЕТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА “PRAAT”



- 1) ФИО
- 2) язык(и), изучением которого(-ых) Вы занимаетесь  
темы Ваших работ
- 3) Занимаетесь ли Вы фонетическими исследованиями?  
Если да, то в какой области?
- 4) Работали ли Вы уже с программой “Praat”?
- 5) Есть ли у Вас полевые аудиозаписи по языку(-ам), которым(-ыми) Вы занимаетесь?
- 6) Что Вы в первую очередь хотите научиться делать в программе “Praat”?

# Акустика



**Аку́стика (от греч. *ἀκούω* ‘слышу’) — наука о звуке, изучающая физическую природу звука и проблемы, связанные с его возникновением, распространением, восприятием и воздействием.**

Акустика является одним из направлений физики, исследующих упругие колебания и волны от самых низких (условно от 0 Гц) до высоких частот.

Термин «акустика» был введен в 1701 г. Жозефом Совёром (фр. Joseph Sauveur, 1653–1716), французским математиком и акустиком, основателем музыкальной акустики, членом Парижской Академии Наук (1696).

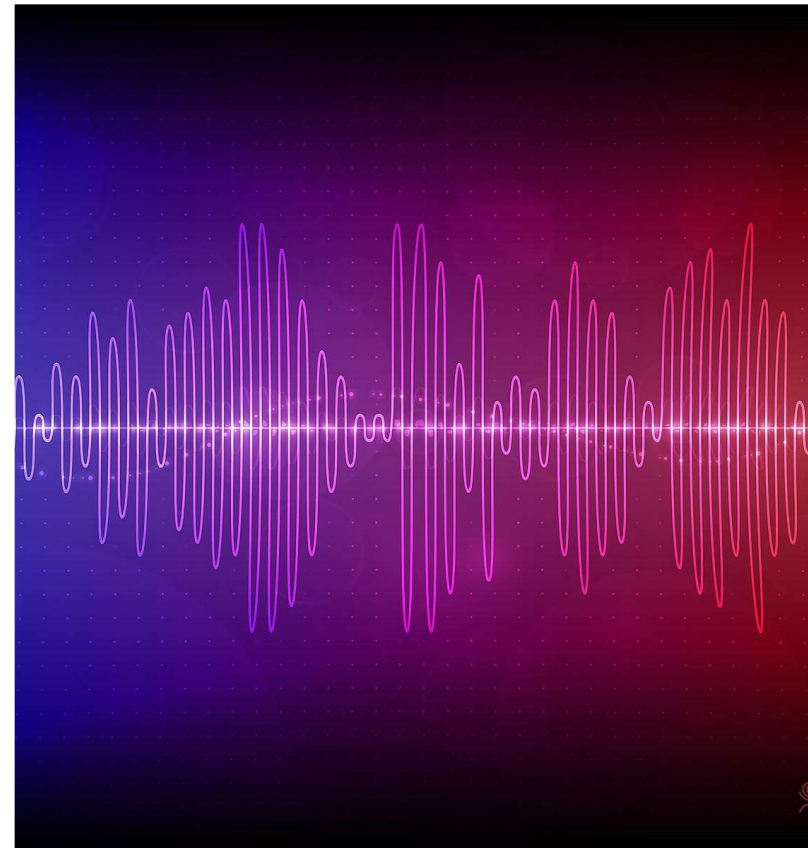


## Некоторые направления современной акустики:

- **общая (физическая акустика)** – теория излучения и распространения звука в различных средах, теория дифракции, интерференции и рассеяния звуковых волн;
- **геометрическая акустика** – законы распространения звука;
- **психоакустика** – основные законы слухового восприятия, определения связи объективных и субъективных параметров звука, определения законов расшифровки «звукового образа»;
- **музыкальная акустика** – проблемы создания, распространения и восприятия звуков, используемых в музыке;
- **биоакустика** – теория восприятия и излучения звука биологическими объектами, изучение слуховой системы различных видов животных и др.;
- **акустика речи**

## Звук

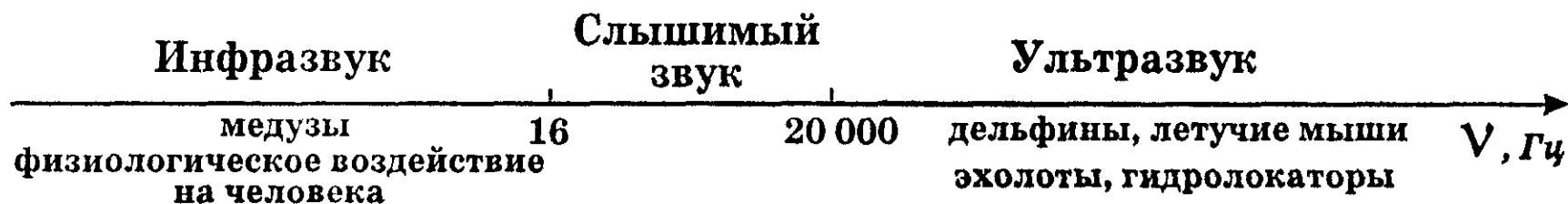
Звук – это физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твёрдой, жидкой или газообразной среде (вызывающих слуховые ощущения).



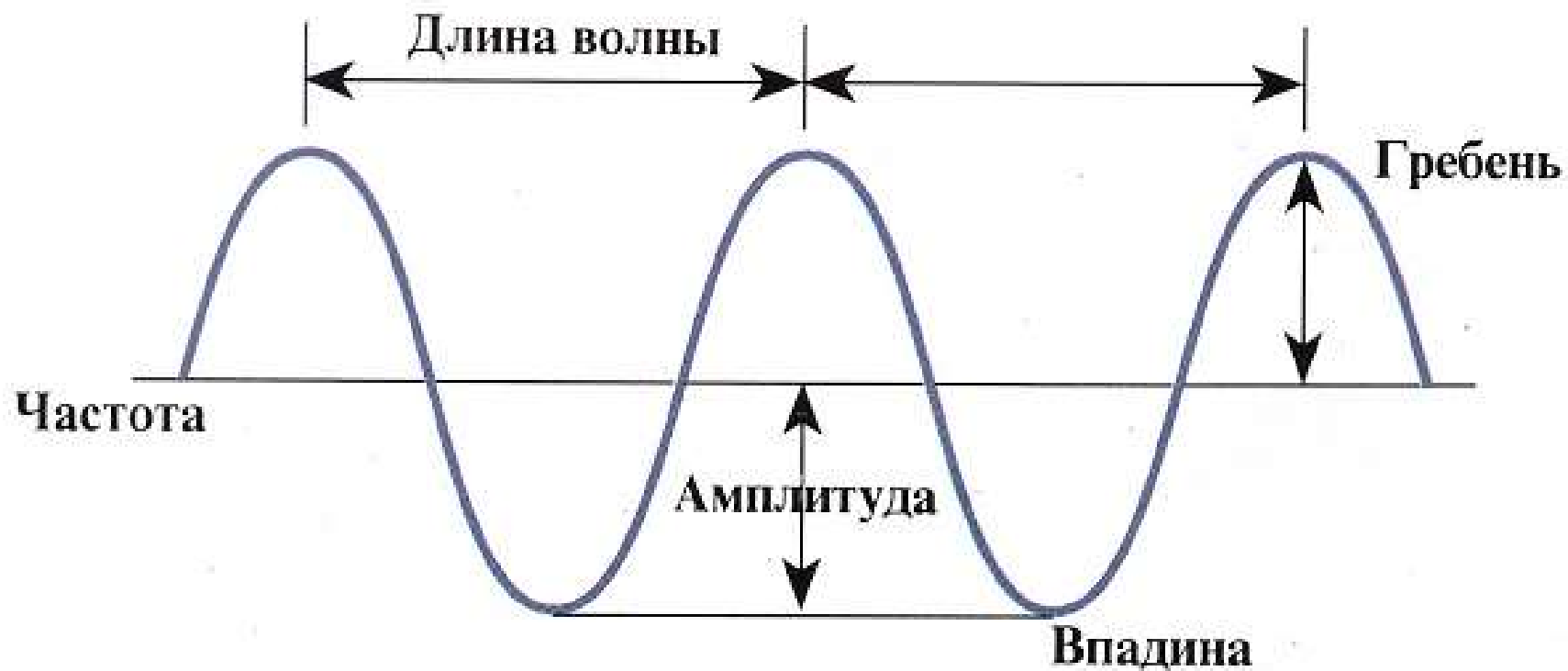
## Звук



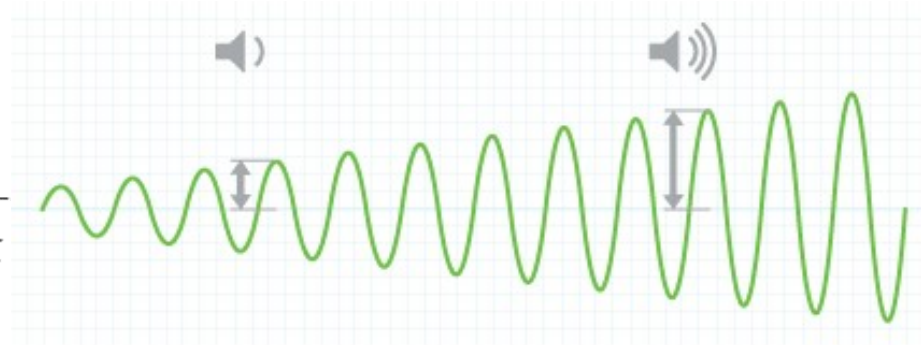
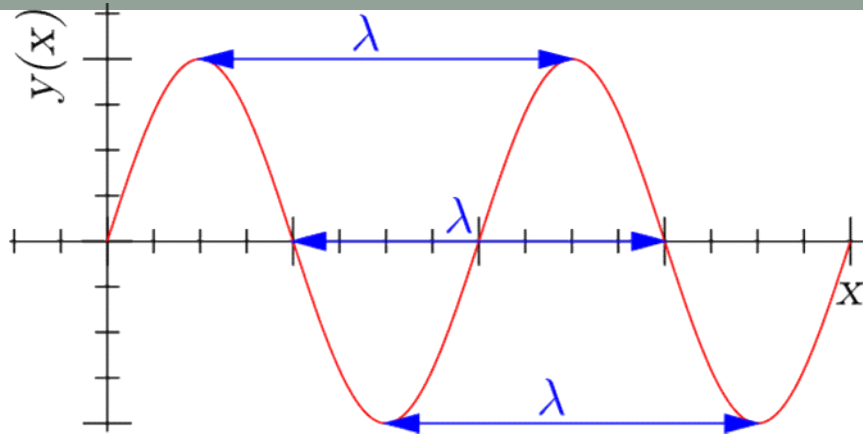
- Обычный человек способен слышать звуковые колебания в диапазоне частот от **16—20 Гц** до **15—20 кГц**.
- Ниже диапазона слышимости человека — **инфразвук**.
- Выше диапазона слышимости человека — **ультразвук и гиперзвук**.



## Звуковая волна







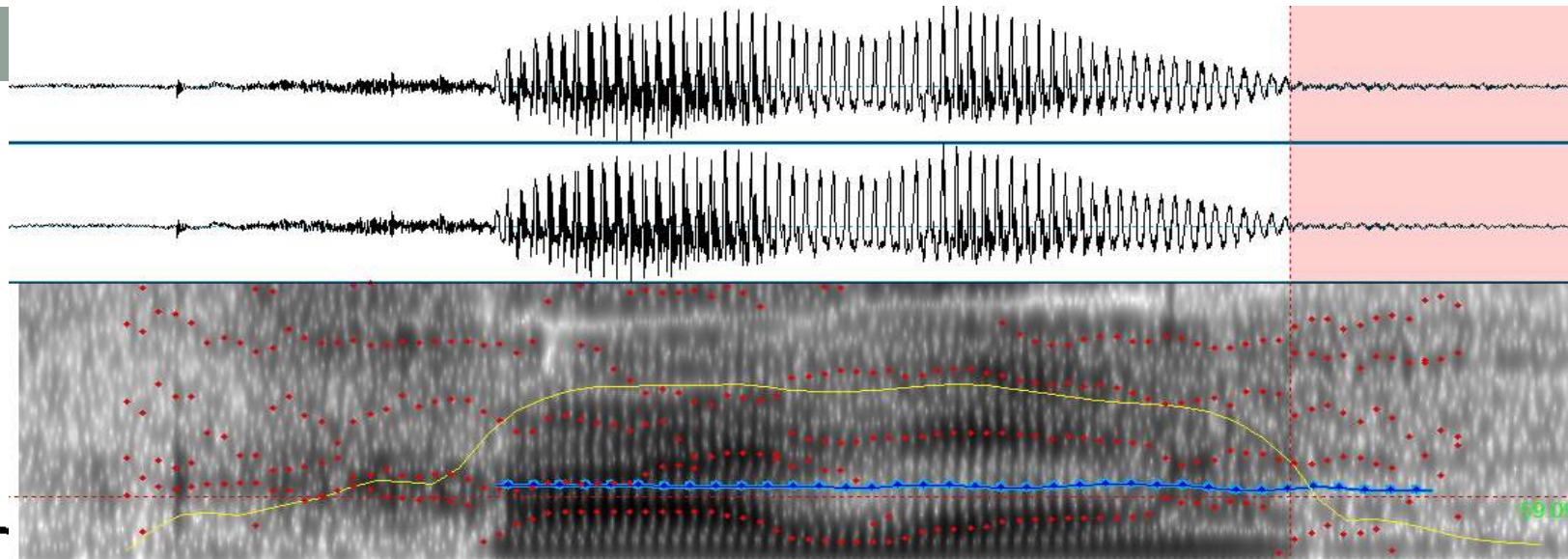
- **Длина волны** – расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками в пространстве, в которых колебания происходят в одинаковой фазе.
- **Амплитуда** – максимальное значение смещения или изменения переменной величины от среднего значения при колебательном или волновом движении.
- **Частота** – физическая величина, характеристика периодического процесса, равная количеству повторений или возникновения событий (процессов) в единицу времени (Гц).

## Речевой звук (звук речи)

- **Речевой звук (звук речи)** – звук, образуемый **произносительным аппаратом** человека с целью **языкового общения** (к произносительному аппарату относятся: глотка, ротовая полость, язык, лёгкие, носовая полость, губы, зубы).

## Разделы общей фонетики как науки о звуковой стороне речевой коммуникации:

- **функциональная фонетика (фонология)** – функции и системная организация звуковых средств языка;
- **артикуляционная фонетика** – анатомо-физиологическая база артикуляции (речевой аппарат) и механизмы речепроизводства;
- **акустическая фонетика** – физические характеристики звуковых средств языка, речевого сигнала (в тесной связи с артикуляцией и восприятием) – оформилась в отдельную дисциплину в 1940-е гг.;
- **перцептивная фонетика** – осуществление слухового анализа и опознание (идентификация) звуковой оболочки речевого высказывания и его фонетических составляющих



# Акустика речи

## Акустическая фаза речевого процесса и задачи акустической фонетики

- **Речевой сигнал** – незначительные колебания воздушного давления, которые возникают в результате аэродинамических и акустических процессов, обусловленных артикуляцией.
- Речевой сигнал распространяется по **воздушной среде** в виде **звуковой волны**, создавая в ней **добавочные изменения давления** относительно среднего атмосферного уровня.
- **Звуковое (акустическое) давление** – добавочное давление, вызванное возникновением и распространением звука.
- Давление, соответствующее речи средней громкости, =  $1/1000000$  (**0,0001%**) от внешнего атмосферного давления.

## Акустическая теория речеобразования

- АТР изучает связь между органической фазой артикуляции и акустическим результатом артикуляционных процессов.
- Задачи АТР:
  - выявить и количественно описать аэродинамические и акустические процессы, которые происходят в речевом тракте при артикуляции;
  - объяснить и интерпретировать физические речевые данные.

## Основы АТР:

XIX в. – работы  
немецкого физика  
**Г. Гельмгольца**  
(1821–1894)

XX в. – работы  
**Гуннара Фанта**  
(1919-2009)

[Фант 1964] и  
**Джеймса Л.  
Фланагана**  
[Фланаган 1968]



# Основные положения акустической теории речеобразования

**движения речевых органов**



(не речевой сигнал, а)

**аэродинамические условия** в речевом тракте,  
необходимые для образования звуковых колебаний

(подобно кларнету или органу):

**- 1) создать поток воздуха;**

**- 2) «раздробить» этот поток,**

**превратить его в колеблющуюся воздушную струю**

(наложить на движущийся поток  
акустическое возмущение, модуляцию)



**дыхательная система –**  
инициатор звуковых колебаний

**голосовые связки и преграды в**  
**надгортанной полости**  
речевого тракта –  
создают акустическое  
возмущение

**голосовые связки и**  
**артикуляторы, участвующие**  
**в образовании шумообразующих**  
**преград, – источники звуки**



## **Изменение акустических характеристик «сырого» звукового материала**



**резонансные (частотно-избирательные, фильтрующие)  
свойства воздуха в речевом тракте:**

**воздушный столб речевого тракта – колебательная система  
с собственными частотами колебаний**

Частотные составляющие в спектре источника:

- 1) усиливаются (близки собственными частотам реч. тр.);
- 2) не изменяются;
- 3) подавляются



**специфический тембр звучания**

# Резонанс

(от лат. *resono* 'откликаюсь') — частотно-избирательный отклик колебательной системы на периодическое внешнее воздействие, который проявляется в резком увеличении амплитуды стационарных колебаний при

совпадении

частоты

внешнего

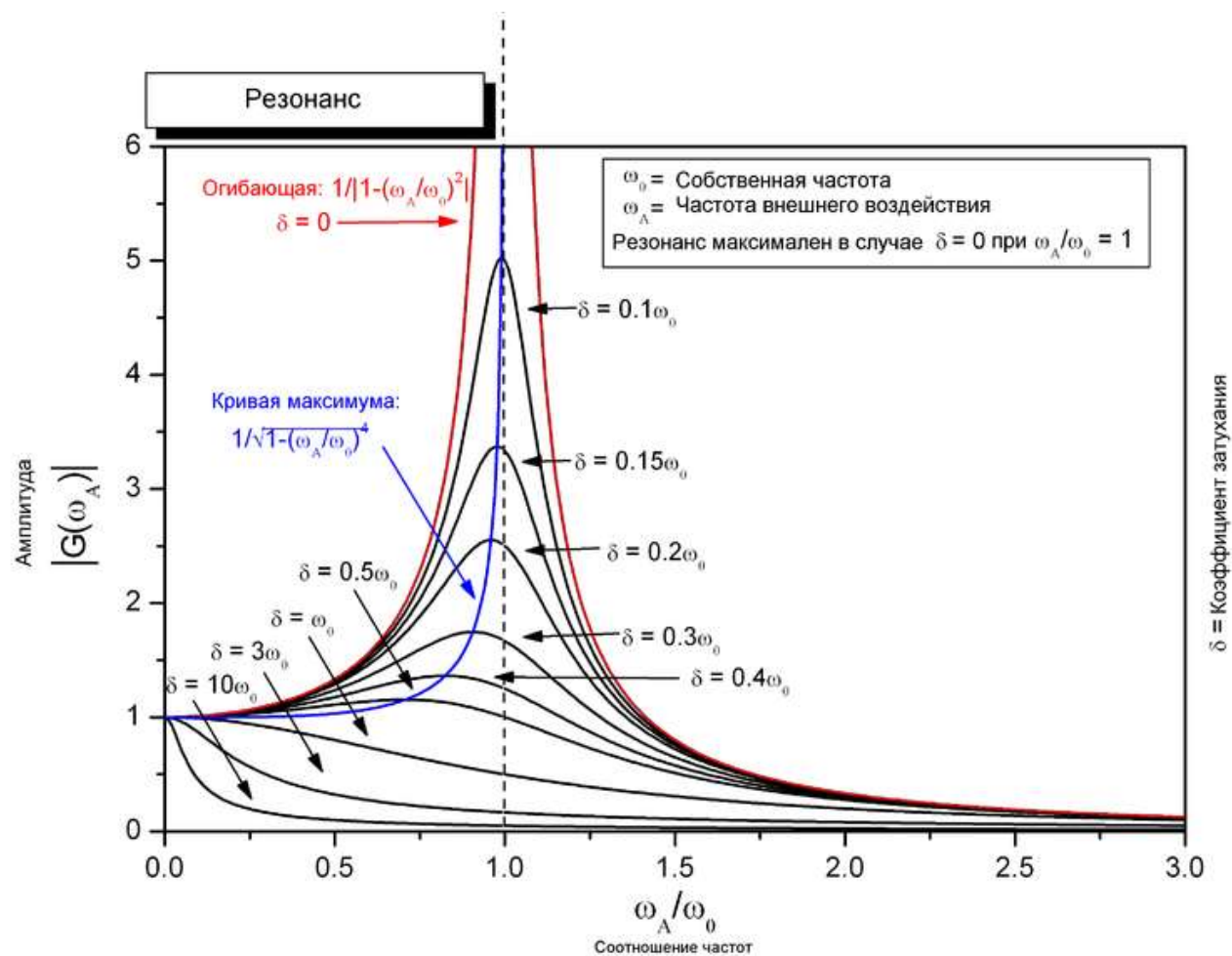
воздействия

с определенными

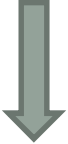

значениями,

характерными для

данной системы.



## Главное положение АТР

- изменение размеров и формы воздушных полостей речевого тракта
- 
- изменение его резонансных свойств
- 
- изменение тембра звучания
- 
- Речевой сигнал возникает в результате воздействия одного или нескольких источников звука на систему резонаторов, образуемых воздушными полостями речевого тракта.

$$P(f) = S(f) \times T(f)$$

давление(частота) = источник(частота) × передача(частота)

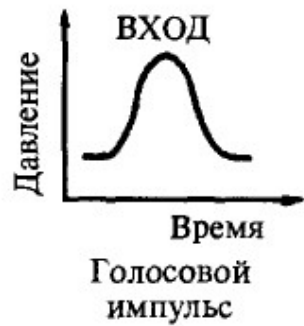
**амплитудно-частотный спектр результирующих звуковых колебаний = амплитудно-частотный спектр колебаний, создаваемых источником звука × передаточная функция резонаторной системы речевого тракта (на той же частоте)**

произнесение как динамический процесс >  
параметр **времени**

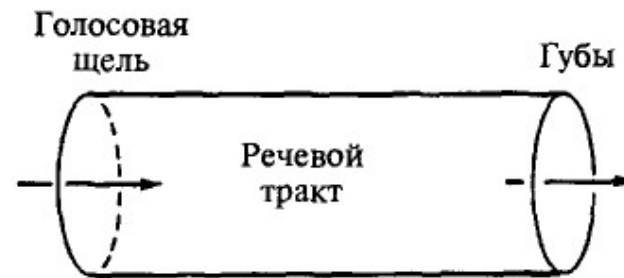
$$P(f, t) = S(f, t) \times T(f, t)$$

# Образование речевого сигнала при производстве гласных

А



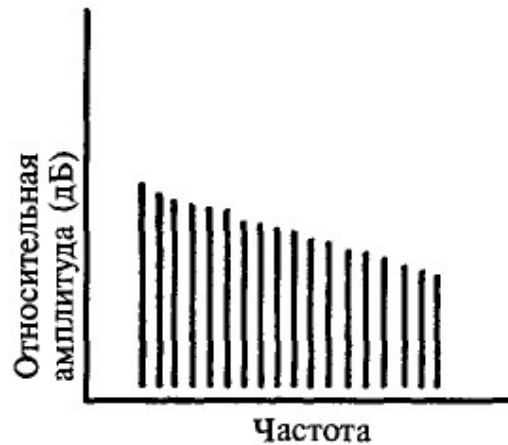
В



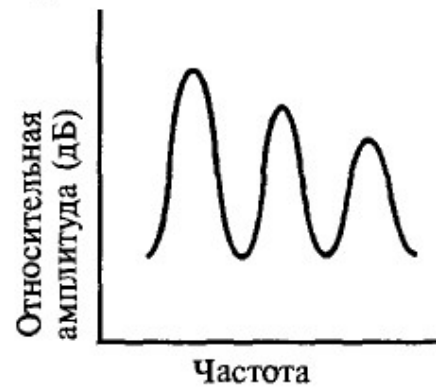
Д



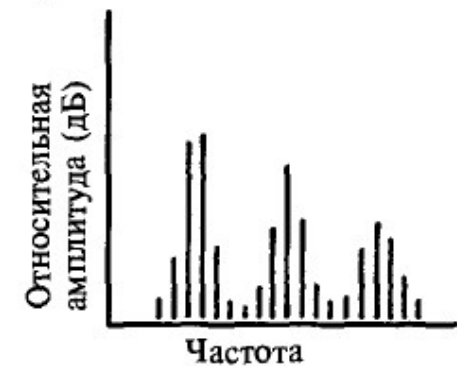
Б



Г



Е



# Образование речевого сигнала при производстве гласных

**АТР – модель «источник – фильтр»  
(англ. source-filter model)**

- **А** – голосовой источник создает периодические толчки воздуха
- **Б** – амплитуды гармоник спектра этих толчков
- **В** – амплитуды гармоник спектра этих толчков проходят через резонаторную систему речевого тракта
- **Г** – и умножаются на значения передаточной функции, которая имеет две выраженные резонансные частоты
- **Д** – в результате – сложный периодический сигнал,
- **Е** – в котором усилены спектральные составляющие, частоты которых наиболее близки к резонансным максимумам передаточной функции речевого тракта

## **Источники звука в речи**

при производстве речевых звуков  
**акустическая модуляция воздушного потока**  
осуществляется тремя способами >

три типа **источников звука:**

- 1) **голосовой**
- 2) **турбулентный**
- 3) **импульсный**



## Голосовой источник звука

**ГОЛОСОВЫЕ СВЯЗКИ** > единственный источник в образовании **гласных и сонорных согласных**

1) **колебания** голосовых связок > поток воздуха превращается в последовательность **воздушных толчков (импульсов)**

2) каждый голосовой импульс > **звуковая волна** в речевом тракте

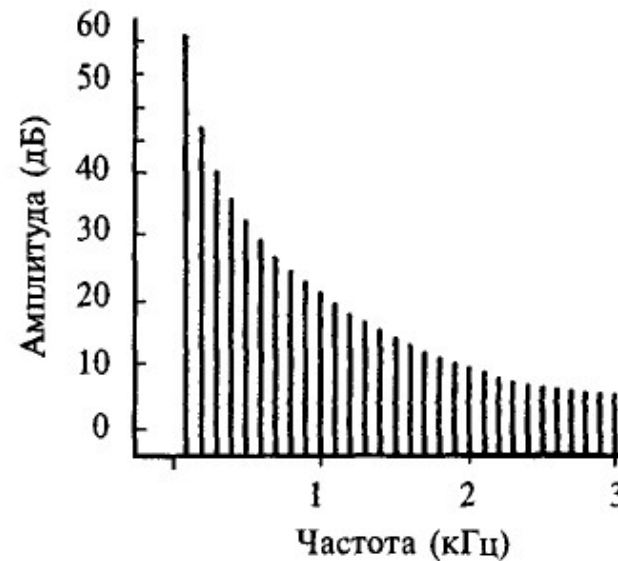
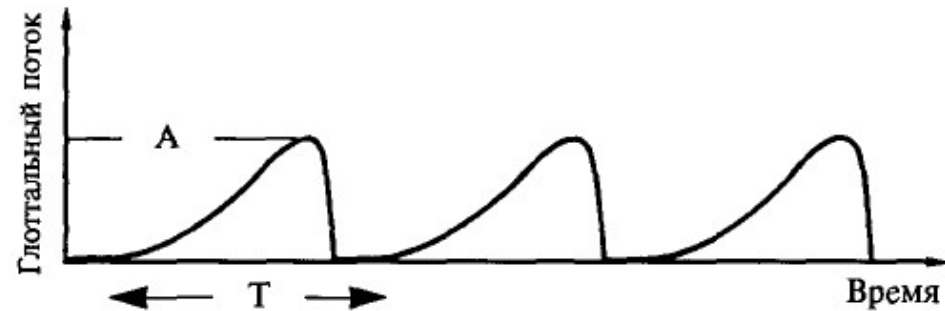
Последовательность воздушных толчков, возникающих в результате колебания голосовых связок, – **глоттальная волна (голос)**.

## Глоттальная волна и ее спектр при нейтральной фонации

период  $T$  – длительность  
колебательного цикла  
ГОЛОСОВЫХ СВЯЗОК

ГОЛОСОВАЯ ЩЕЛЬ  
открывается > закрывается  
> закрыта

ИНТЕНСИВНОСТЬ голоса <  
амплитуда глоттальной  
волны  $A < \max v$   
воздушного потока



## Голос

**сложный периодический звук**

**= сумма простых синусоидальных колебаний (гармоник)**

**1) 1-ая гармоника голосового спектра – основной тон:**

- **частота основного тона** – это частота, обратная периоду глоттальной волны ( $F_0 = 1/T$ )
- **частота основного тона** = частота колебаний голосовых связок

**2) частоты остальных гармоник (обертонов)**

**– в целое число раз > ЧОТ ( $n \times F_0$ , где  $n$  – номер гармоники)**

$F_0 = 100$  Гц > обертоны 200 Гц, 300 Гц, 400 Гц

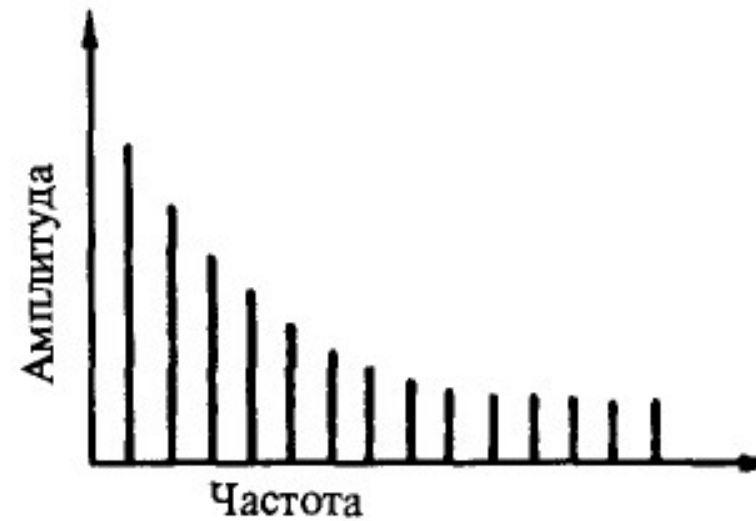
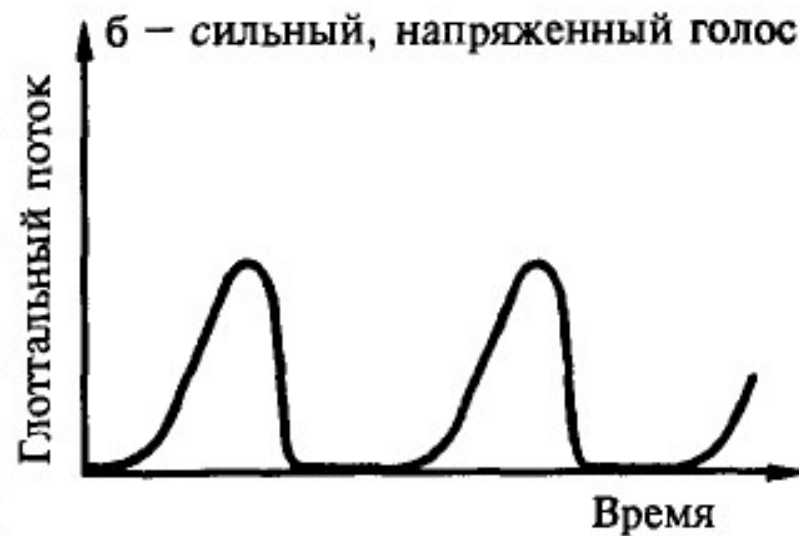
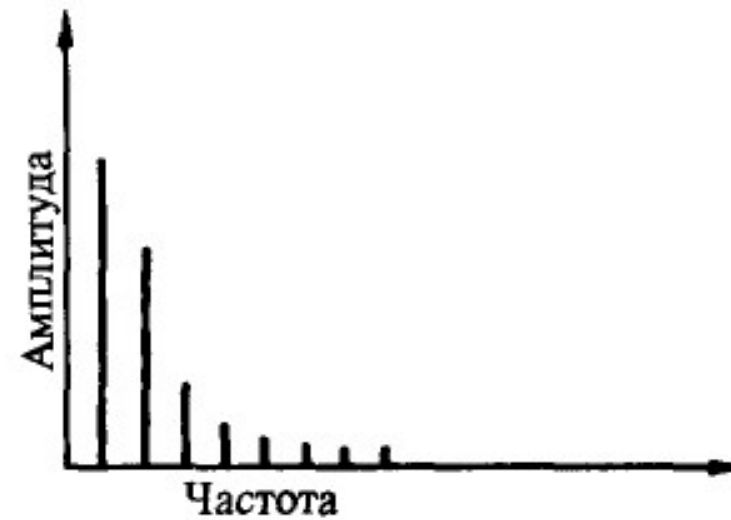
Чем 1) больше относительная длительность закрытой фазы колебательного цикла и чем 2) круче фронты голосового импульса,

- тем 1) богаче спектр голоса,
- 2) сильнее его звучание,
- 3) ярче тембр.

**НЕ строгая периодичность голосовых колебаний:**

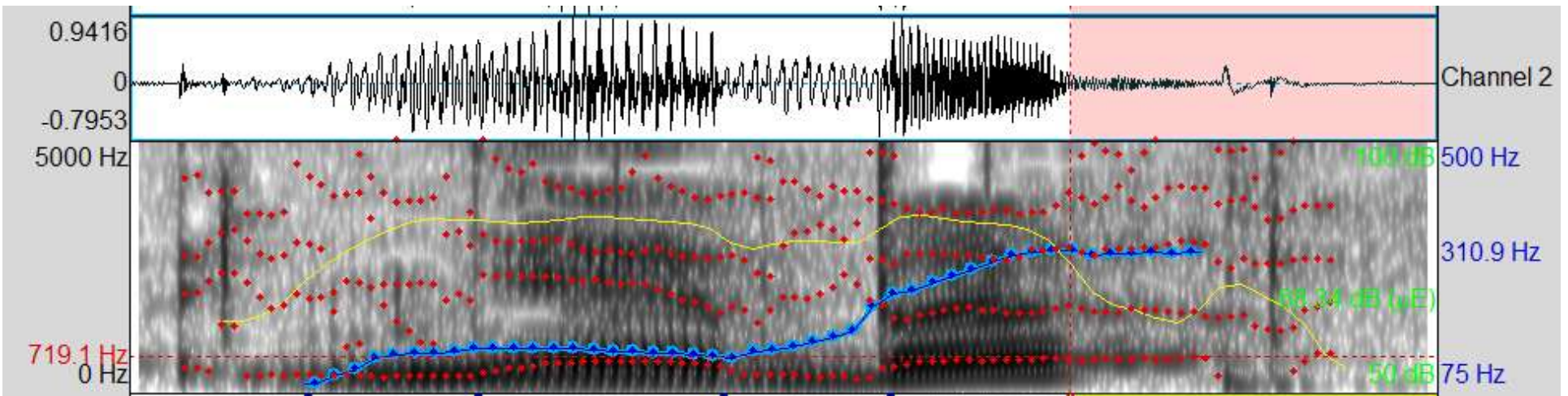
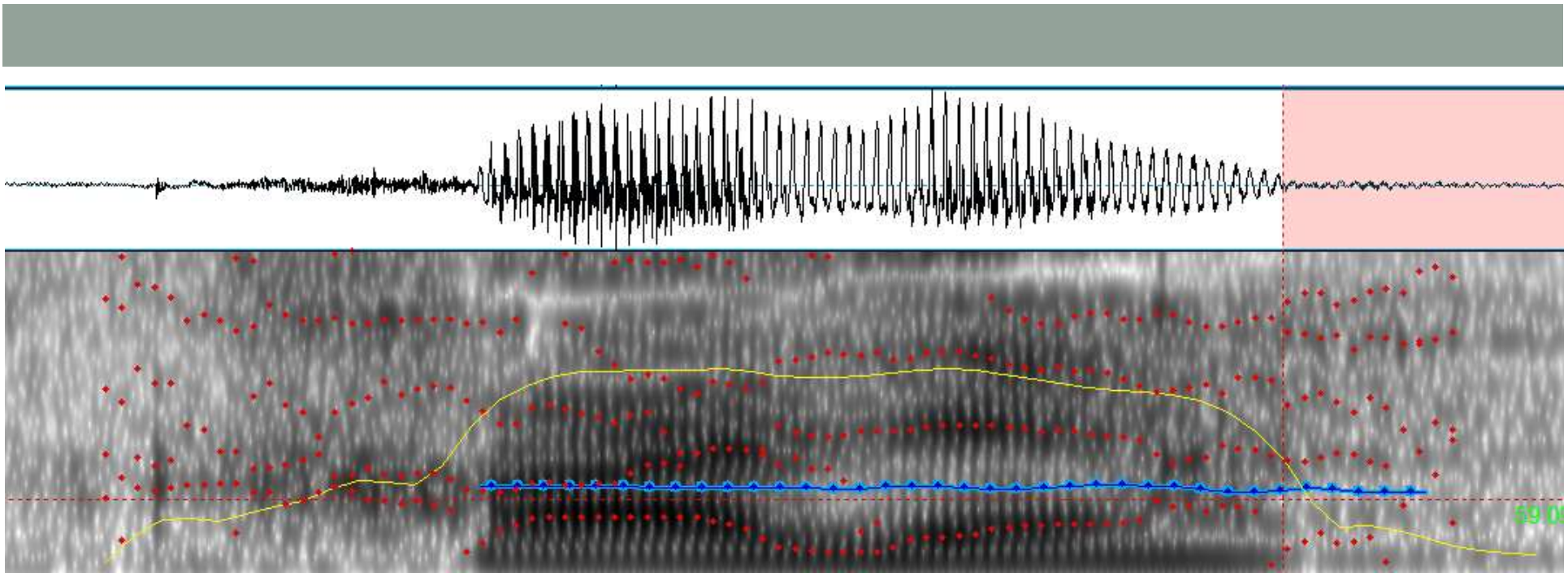
- 1) случайная **вариативность периода** последовательных голосовых импульсов (джиттер-эффект, *jitter* ‘дрожание’)
- 2) случайная **вариативность амплитуды** (шиммер-эффект, *shimmer* ‘мерцание’)
- < ... эмоции, физиологическое состояние, интонация...

## Характеристики голосового источника для голосов разного тембра



## Основная частота $F_0$ глоттальной волны (ЧОТ)

- **определяет высоту голоса**  
чем  $> F_0$ , тем выше голос
  - **изменяется:** интонация, логические ударения и т.д.
    - **диапазон** изменений – около 1,5-2 октав (октава – отношение частот, равное двум)
    - **базовая (нейтральная) основная частота (modal  $F_0$ )**  
 $1/3$  или  $1/4$  голосового диапазона от нижней границы
- < пол и возраст < степень упругости, длина и масса ГОЛОСОВЫХ СВЯЗОК**
- муж.** – ср. 130 Гц (80-200 Гц)  
**жен.** – ср. 260 Гц (150-400 Гц)  
**детск.** – 200-500 Гц



## Турбулентный источник звука

- **турбулентный шум** < в воздушном потоке, проходящем по речевому тракту, появляется **турбулентность, обусловленная вихрями**
- **вихри**:
  - частицы воздуха двигаются по направлению **течения,**
  - но совершают **сложные и беспорядочные перемещения**  
(в т.ч. круговые)



## Условия для возникновения турбулентного потока

- 1) на пути потока **значительное сужение (щель)**
- 2) позади сужения **избыточное давление**, чтобы поток двигался через сужение со **скоростью**, необходимой для образования турбулентности

### фрикативные согласные

- **глухие [с], [ш], [х], [ф]** – артикуляция наиболее благоприятна для формирования турбулентного шума (голос. щель широко открыта, связки не колеблются, подсвязочное давление)
- **звонкие [з], [ж], [в]** – голосовая щель периодически закрывается > меньшее избыточное давление и меньшая скорость потока
- **сонорные ротовые согласные при полном или частичном оглушении**

## Механизм возникновения турбулентности

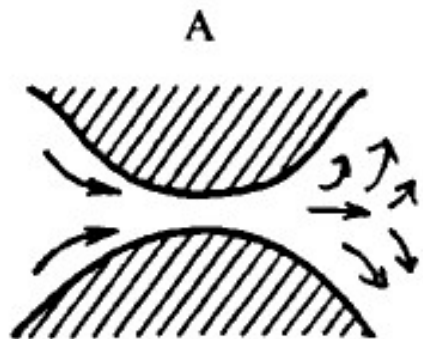
- сжатый воздух проходит через **сужение** и приобретает большую скорость
  - поток превращается в **высокоскоростную струю**
  - на выходе из сужения струя сталкивается с инертной воздушной массой и разбивается на фрагменты, содержащие **вихри**
  - вихри смешиваются с остальной массой воздуха
  - возникают **быстрые и нерегулярные колебания давления**, которые воспринимаются как шум
- **твёрдое препятствие > большая турбулентность**  
**свистящие и шипящие (сIBILЯнтные) [с] и [ш]:** воздушная струя после сужения направлена под прямым углом на верхние или нижние зубы > **самый интенсивный шум**

## Виды турбулентного шума

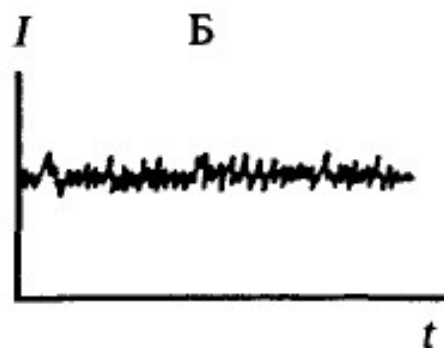
- 1) **фрикативный** (лат. frictio ‘трение’) – выше гортани
- 2) **аспиративный** (лат. aspiratio ‘дыхание’) – в гортанной полости (через открытую и несколько суженную голосовую щель – англ. [h]), небольшая амплитуда шума
- **Амплитуда (и интенсивность) шума** зависит от:
  - < размер сужения
  - < наличие препятствия
  - < пространственная ориентация препятствия
  - < различия в работе голосовых связок (глухие / звонкие фрикативные)

**Спектр турб. шума сплошной:** нет отдельных гармоник; плоская огибающая в частотном интервале **500-3000 Гц.**

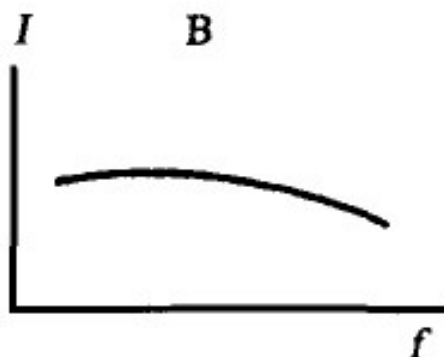
## Турбулентный шумовой источник в речи



A – протекание воздушной струи через сужение в речевом тракте;



B – шумовой сигнал, создаваемый турбулентным источником;



B – широкополосный спектр шумового сигнала. Условные обозначения координатных осей в графиках:  $t$  – время,  $f$  – частота,  $I$  – интенсивность

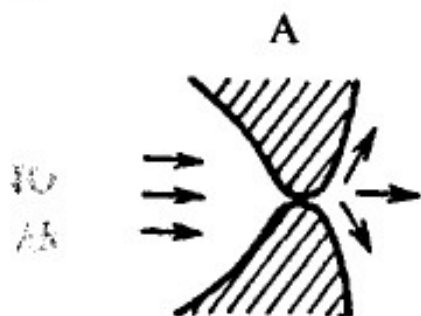
## **Импульсный источник звука**

- **Звуковой импульс (взрыв) – скачкообразное изменение давления воздуха.**
- **значительное избыточное давление в речевом тракте:**
  - **полностью перекрыт выход воздуха на достаточно длительный интервал времени (не менее 30 мсек.)**
  - **интервал полной смычки артикуляторов всегда перед импульсным звуком**
  - **быстрое размыкание смычки > резкое возрастание воздушного потока на выходе > скачкообразное изменение давления воздуха**

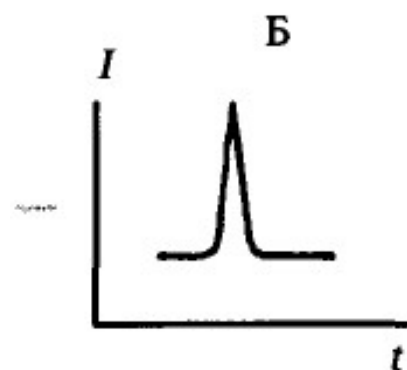
## Амплитуда импульсного звука

- **глухие взрывные [п], [т], [к]** (после них может быть турб. шум фрикативного или аспиративного типа)
- Амплитуда импульсного звука зависит от давления воздуха позади смычки.
- Наиболее интенсивные взрывы согласных, место образования которых ближе к гортани.
- Взрывы глухих интенсивнее взрывов звонких согласных.
- Интенсивность взрыва зависит от силы выдоха (величины подсвязочного давления).
- Импульсный звук: сплошной спектр с плоской огибающей, близкой к спектру белого шума.

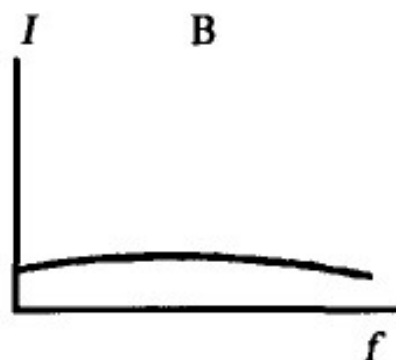
## Импульсный источник в речи



А – образование воздушного толчка при размыкании смычки;



Б – импульсный сигнал, возникающий при быстром раскрытии смычки;



В – спектр импульсного сигнала. Условные обозначения координатных осей в графиках:  $t$  – время,  $f$  – частота,  $I$  – интенсивность



# **Комбинаторика источников звука в речи**

**Частотно-избирательные свойства  
речевого тракта.**

**Конфигурация речевого тракта и  
его передаточная функция.**



Тип источника с учетом комбинаторики	Класс звуков
голосовой	гласные и сонорные согласные
турбулентный	глухие фрикативные согласные
импульсный	глухие взрывные согласные
импульсный + турбулентный (фрикативный и/или аспиративный, последовательно)	глухие взрывные согласные и аффрикаты
голосовой + турбулентный (одновременно)	звонкие фрикативные согласные
голосовой + импульсный (сначала первый, затем одновременно)	звонкие взрывные согласные
голосовой + импульсный + турбулентный (сначала первый, затем последовательность остальных одновременно с первым)	звонкие взрывные согласные и аффрикаты

## Форманта и антиформанта передаточной функции

- **Воздушный столб** в речевом тракте – сложная колебательная система.
- **Передаточная функция** этой колебательной системы – сложная резонансная кривая с амплитудными максимумами на собственных (резонансных) частотах.
- **Форманты** – резонансные максимумы передаточной функции. Они формируют фонетические различия между звуками.

### F1, F2, F3 (частоты формант)

**Ширина форманты** (англ. bandwidth ‘полоса частот’) – определяется диапазоном частот по обе стороны от частоты форманты, которые получают усиление, примерно эквивалентное точному резонансному (**B1, B2, B3**).

## Антирезонансы и антиформанты

- **Антирезонансы** речевого тракта (противоп. резонансам) – резко ослабляют амплитуду составляющих с частотами, близкими собственной частоте антирезонанса > глубокие минимумы (до нулей) в передаточной функции или сильное подавление близких резонансных частот.
- **Антиформанты** – антирезонансы, или нули передаточной функции.

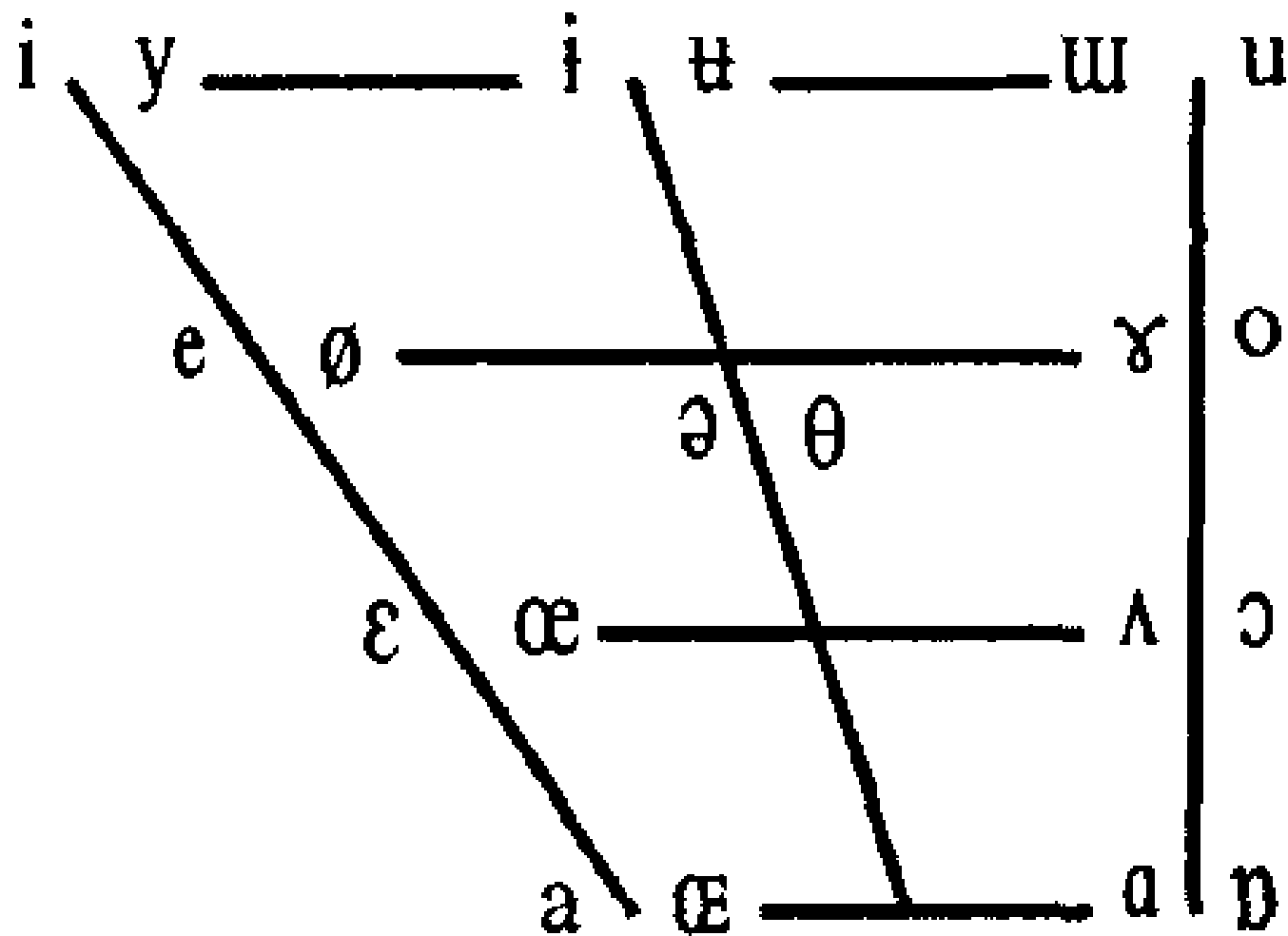
**Z1, Z2, Z3**

в «акустических тупиках» (замкнутых воздуш. полостях) – согласные и назализованные гласные

**Передаточная функция тракта**

$$T(f) = P(f) \times Z(f)$$

## Классификация гласных



## Формантная картина гласных (F-картина гласных)

- **Гармоническое колебание стоячей звуковой волны:**

**узлы** – участки, которые не совершают колебаний (закрытый конец трубки; скорость = 0; изменения давления);

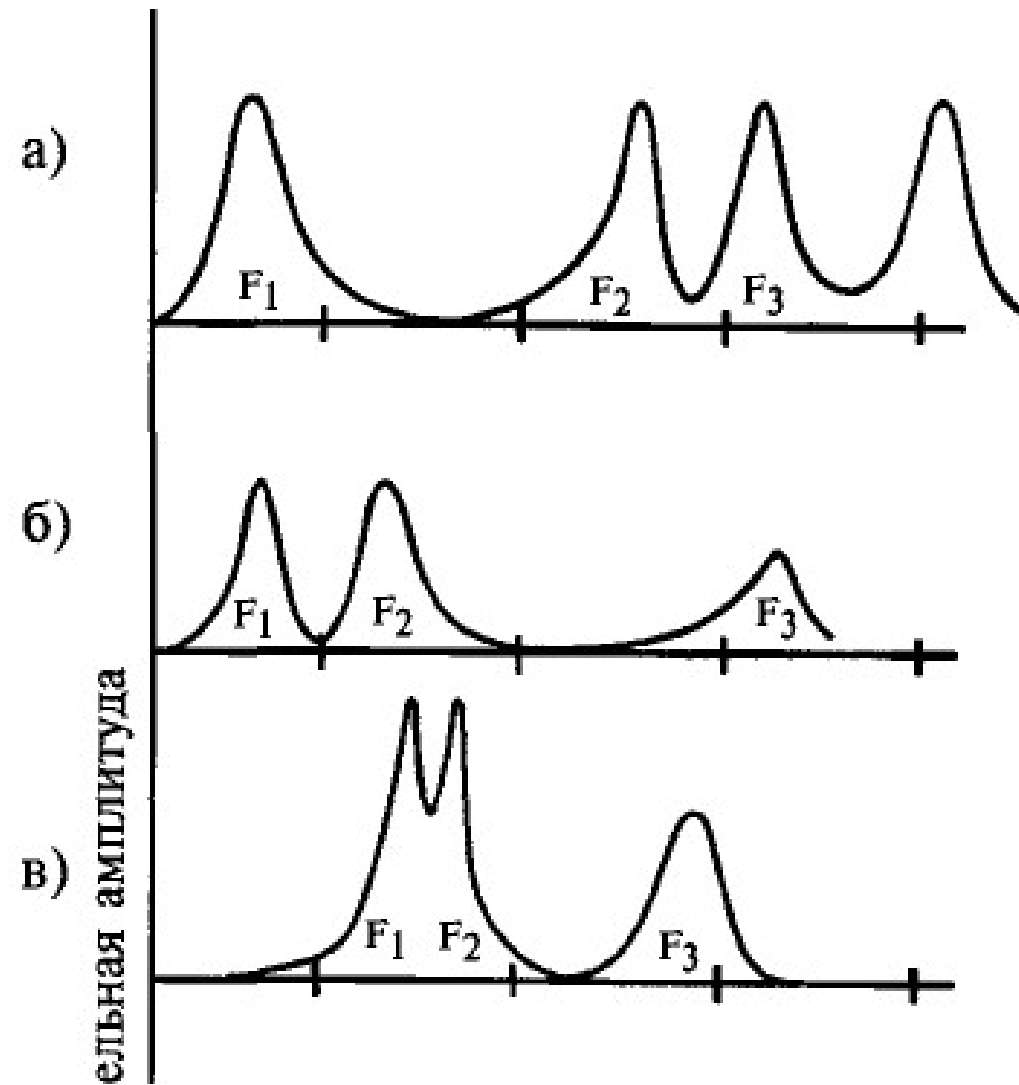
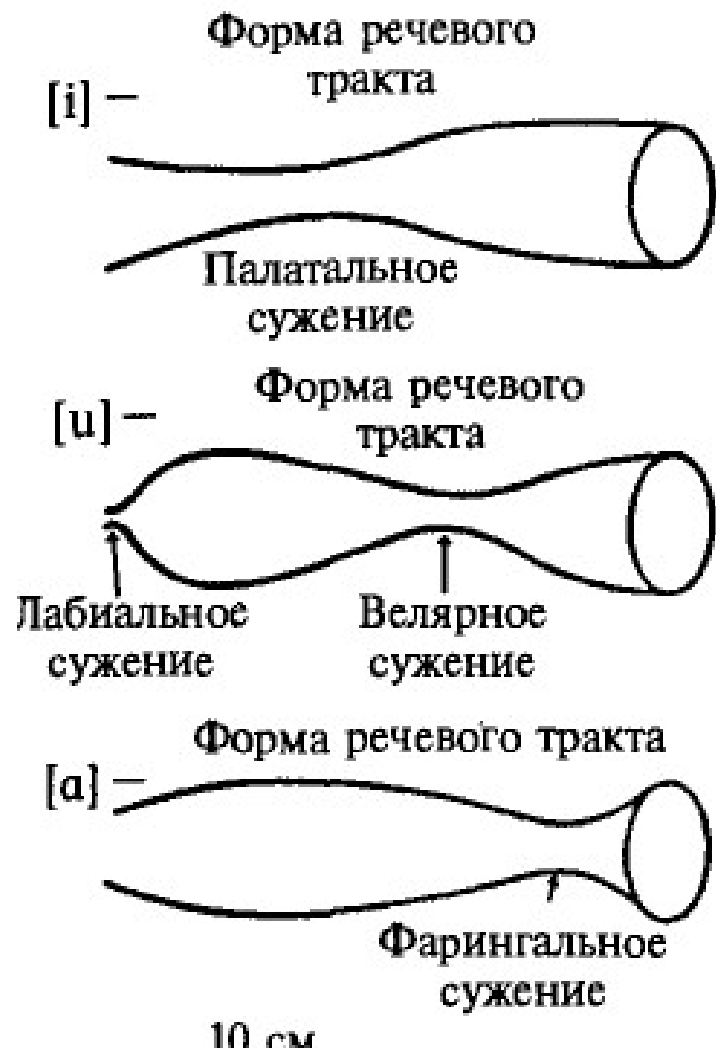
**пучности** – участки с максимальной амплитудой колебаний (открытый конец трубки; скорость потока; давление не изменяется).

У каждой форманты – свое расположение узлов и пучностей.

## Пертурбационная теория образования гласных

- Сужение в области узла колебаний давления  $>$  частота **понижается.**
- Сужение в области пучности колебаний давления  $>$  частота **повышается.**
- Сужение в задней части речевого тракта (расширение в передней)  $>$  увеличение F1 (а-образные гласные).
- Сужение в передней части речевого тракта (расширение в задней)  $>$  понижение F1 (и-образные гласные).


# Влияние формы тракта на его резонансные свойства



## Влияние формы тракта на его резонансные свойства

- 1) **Увеличение общей длины тракта** > понижение частоты всех формант. **Уменьшение общей длины тракта** > повышение частоты всех формант. (*женская и детская речь*)
- 2) **Огубление** > понижение частоты всех формант.
- 3) **Сужение в передней части ротовой полости** ([i], язык вперед и вверх) > резкое увеличение расстояния между F1 и F2 (понижение F1 и повышение F2; F2 и F3 сближаются).
- 4) **Сужение в задней части ротовой полости** ([u], язык назад и вверх + **сужение в области губ**) > сокращение расстояния между F1 и F2 + их понижение; расстояние между F2 и F3 максимально.
- 5) **Сужение в фарингальной части** ([a], язык назад) > резкое сокращение расстояния между F1 и F2 (повышение F1 и понижение F2).



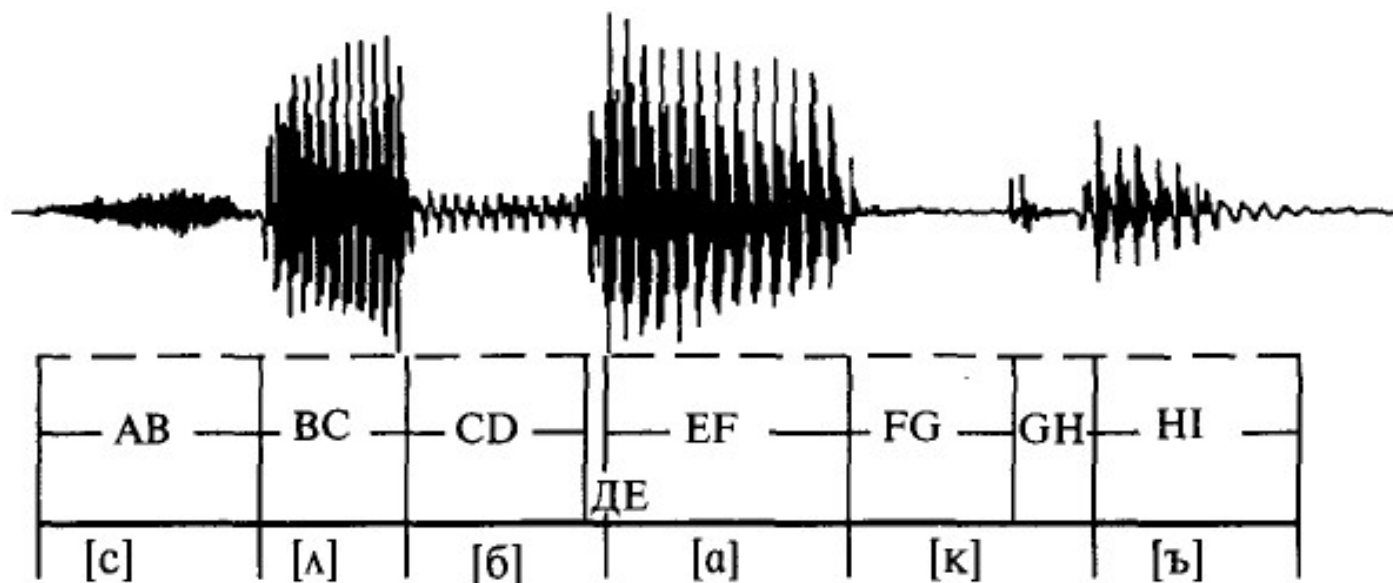
- 
- F1 – признак подъема
  - F2 – признак ряда

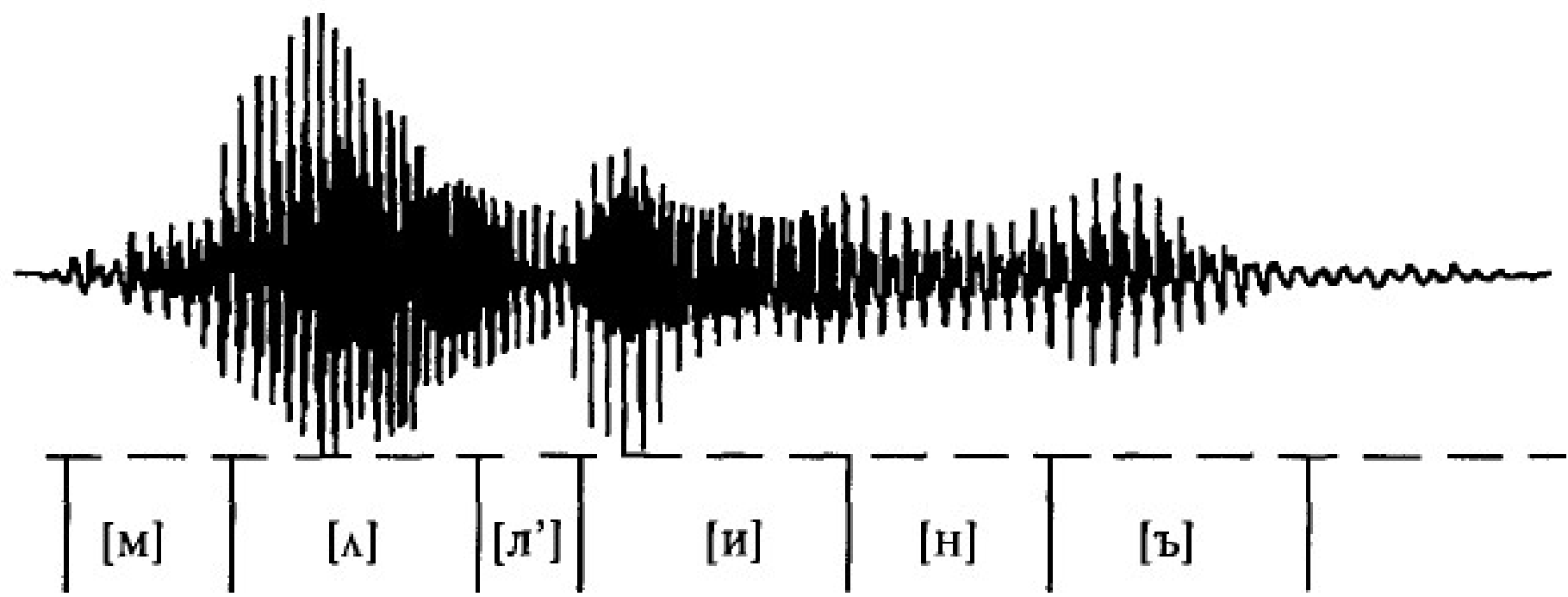
### Average vowel formants

Vowel ( <a href="#">IPA</a> )	Formant F <sub>1</sub> (Hz)	Formant F <sub>2</sub> (Hz)
a	850	1610
e	390	2300
i	240	2400
o	360	640
u	250	595
y	235	2100
ø	370	1900
œ	585	1710
ɑ	750	940
ɒ	700	760
ɔ	500	700
ɛ	610	1900
ɣ	460	1310
ʊ	300	1390
œ	820	1530
ʌ	600	1170

## Методы и средства акустического анализа речи

- **Осциллограмма** (лат. *oscillum* ‘колебание’ + -грамма ‘запись’): изменение амплитуды звукового давления во времени при произнесении речевого отрезка.





- **Спектрограмма** (лат. spectrum ‘видимое’ + -грамма ‘запись’): графическое изображение спектра звуковых колебаний (относительная амплитуда и интенсивность, распределение общей энергии звукового колебания по частотам).

# Акустические характеристики звуков

## различия между звуками

- < **тип источника звука**
- < **характеристики резонаторной системы речевого тракта**
  
- **фонетическая сегментация сигнала**
- **акустические свойства звука**
  - < **собственные артикуляционные признаки**
  - < **фонетический контекст** (соседние звуки, ударение, интонация)

## Фонетическая сегментация речевого сигнала

- **Опора для членения речевого сигнала:**
  - тип источника звука
  - передаточная функция речевого тракта  
(собака + / малина –; смычка и взрыв)

**Самые сложные для сегментации сигналы – последовательности гласных и сочетания гласных с неносовыми сонорными согласными (большая пограничная зона, а не четкая граница) > значительная степень условности при выборе границы.**

## Зависимость акустических характеристик звуков от контекста

- Коартикуляция

— артикуляционное взаимодействие между звуками.

- Артикуляционная редукция

— недостижение речевыми органами целевого состояния, требуемого звуком.



## > акустические следствия:

- 1) не всегда можно выделить **стационарный участок** (соответствующий **артикуляционной выдержке**) – с устойчивыми и мало изменяющимися спектральными характеристиками; **недостижение целевого акустического эффекта** и изменения в слуховом качестве звука
- 2) стационарный участок звука < **артикуляционные признаки соседних звуков**
- 3) переходные артикуляционные состояния > **переходные участки** с быстро меняющейся спектральной картиной

## согласный + гласный и гласный + согласный

- коартикуляция > **формантные переходы** на начальных и конечных участках гласных

**Спектр согласных:** низкочастотная часть формантной картины (F-картины) согласных (F1 и F2) **отсутствует или сильно подавлена.**

Форманты соседних гласных и следы этих формант в спектре согласного > **скрытые формантные локусы согласных.**

- идеализированная F-картина гласных вне контекста
- идеализированный вокальный контекст (*aCa*)

## Акустические характеристики гласных

- голосовой источник  $>$  периодичность звуковой волны и гармоническая структура спектра
- **Частота F1 обратно пропорциональна подъему гласного:** чем выше подъем и больше закрытость гласного, тем меньше F1, и наоборот.
- **Частота F2 прямо пропорциональна продвинутости языка (ряду гласного):** чем более передний гласный, тем больше F2, и наоборот.
  - [a]: F1  $>$ , F2  $<$ .
  - [i]: F1  $<$ , F2  $>$ .
- **Огубление** понижает F1 и F2, особенно F2.

## **Признаки согласных, влияющие на соседние гласные**

- **место образования преграды**
- **дополнительные артикуляции:**
  - палатализация
  - веляризация
- **коартикуляционные эффекты**
  - особенно на динамике F2

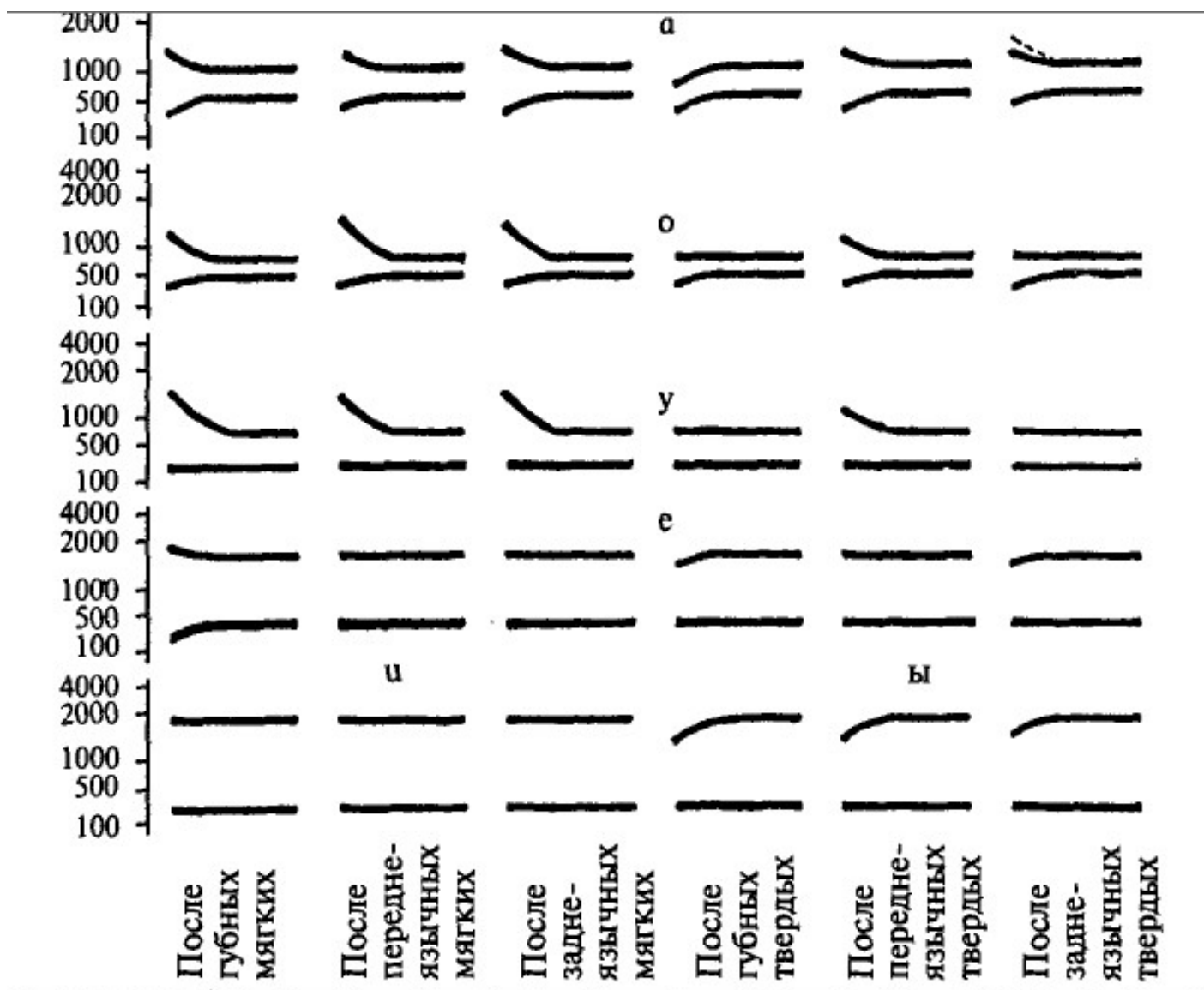
## Различия гласных в собственной (ингерентной) длительности, интенсивности и ЧОТ

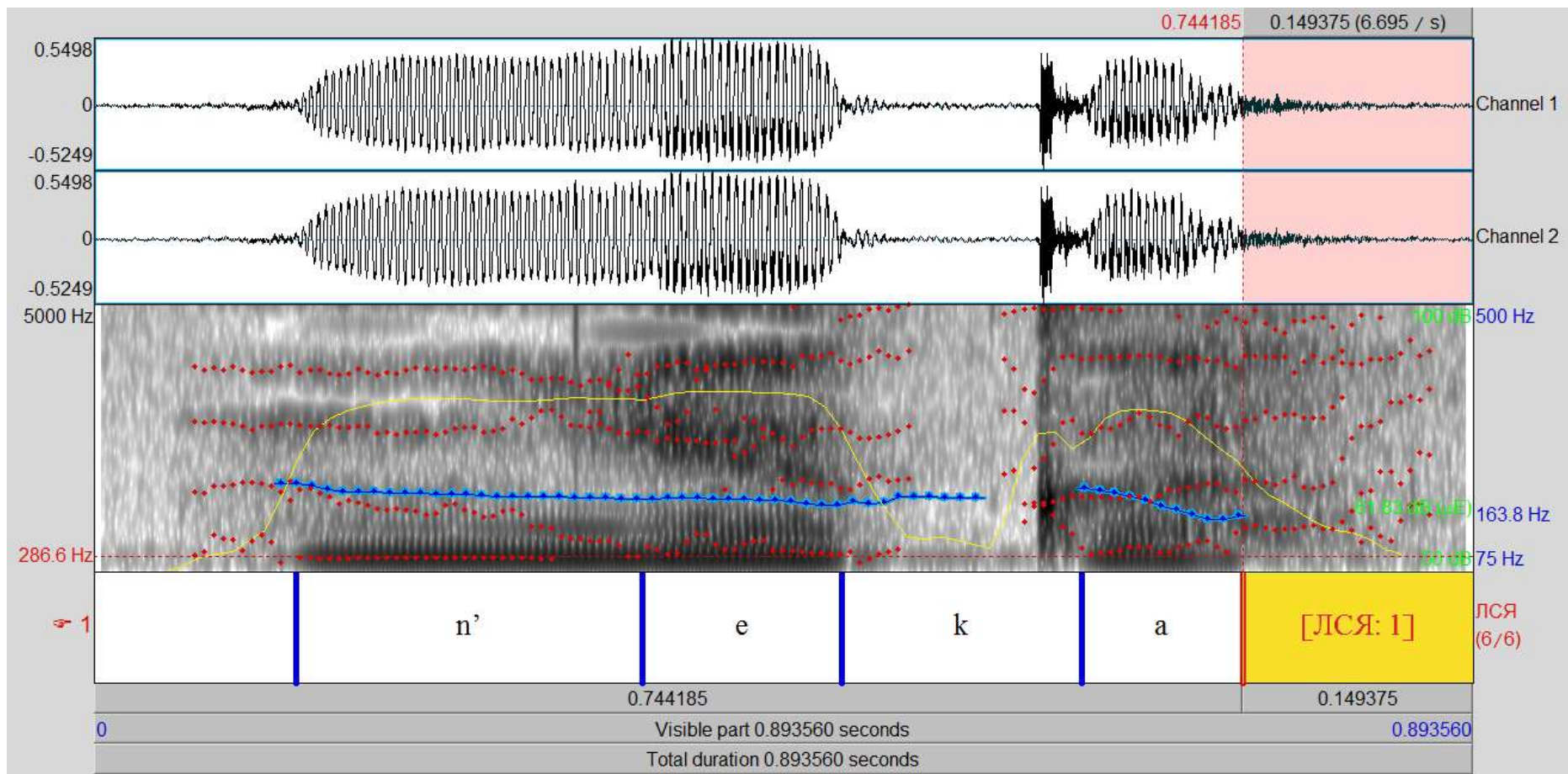
- чем > открытый и низкий по подъему гласный
  - тем > его длительность
  - тем > его интенсивность
  - тем ниже его средняя основная частота

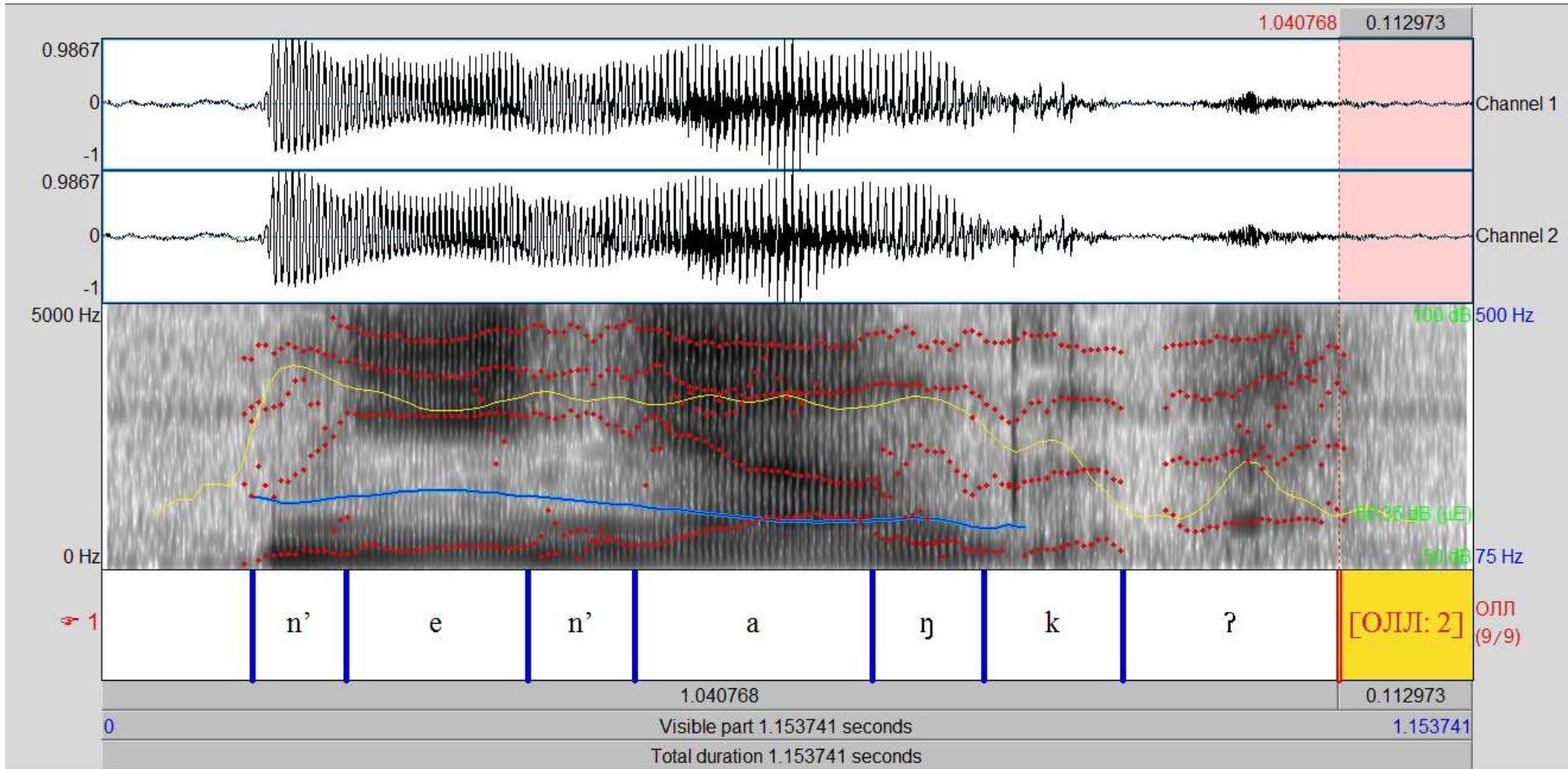
[a]-образные V – **самые длительные и интенсивные**

[i]- и [u]-образные V – **наименее длительные и интенсивные**

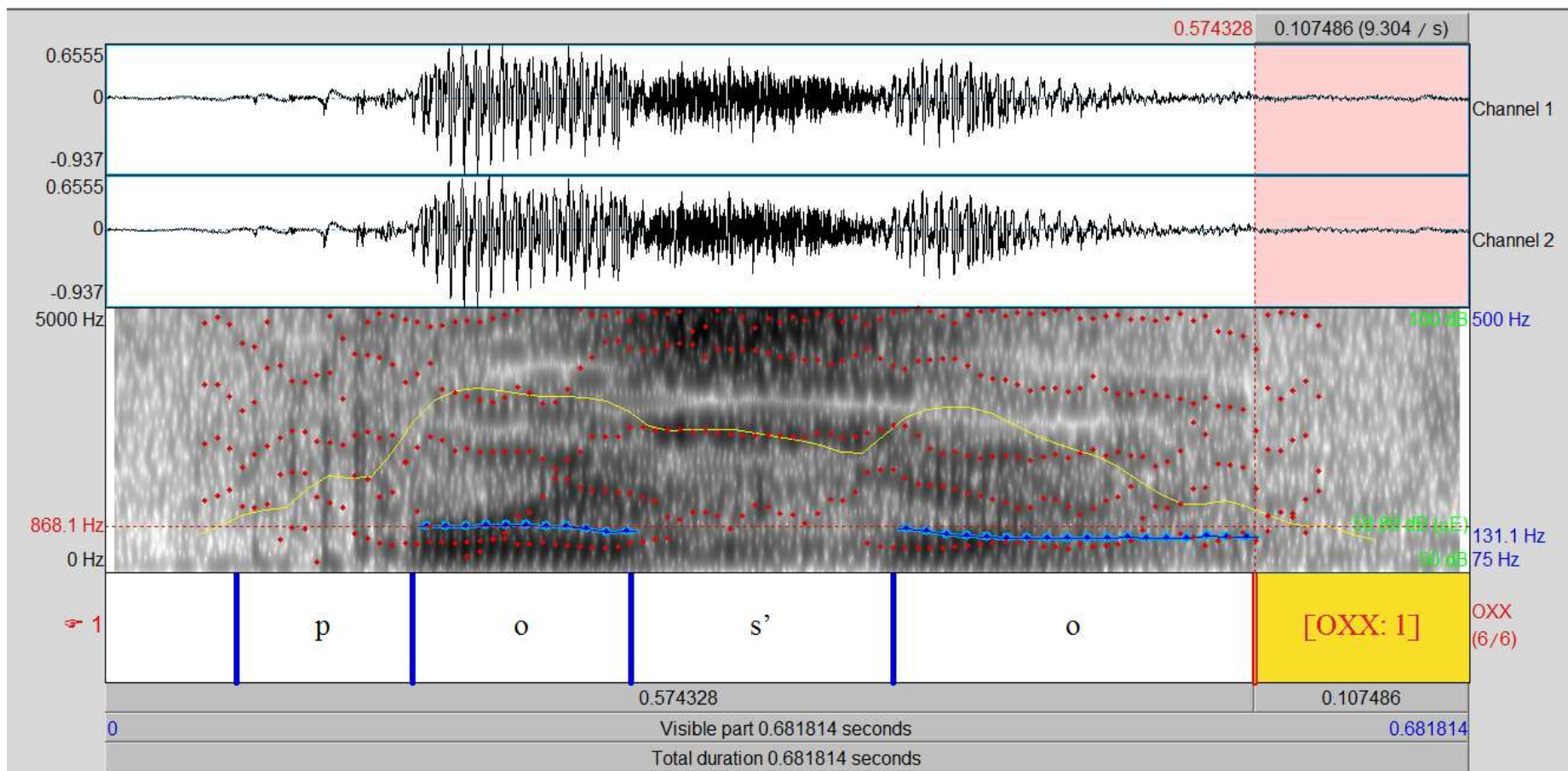
## Изменение F1 и F2 русских гласных после разных согласных

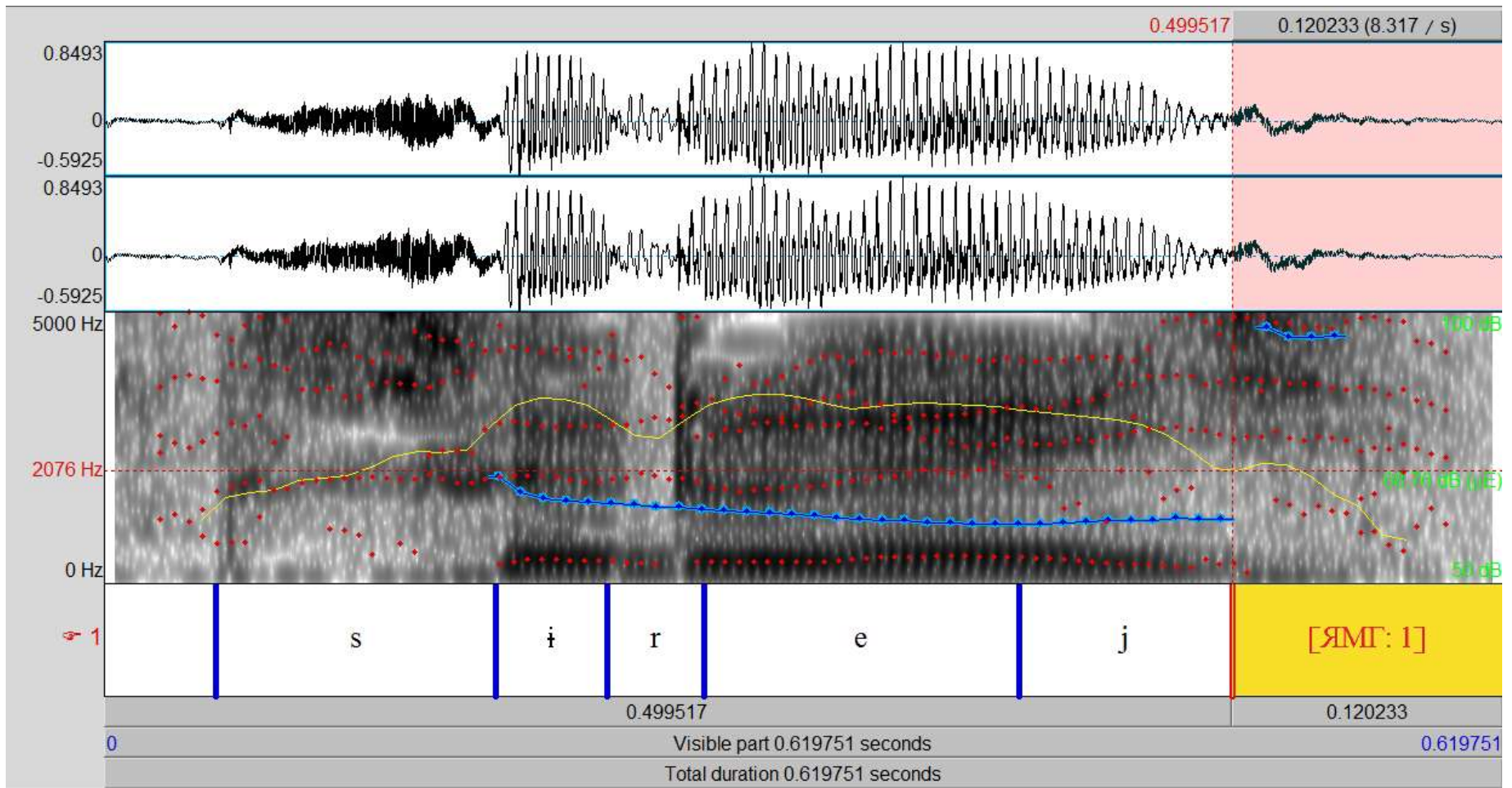












## Акустические характеристики шумных взрывных согласных

- динамически сложная артикуляция:

1) смычка

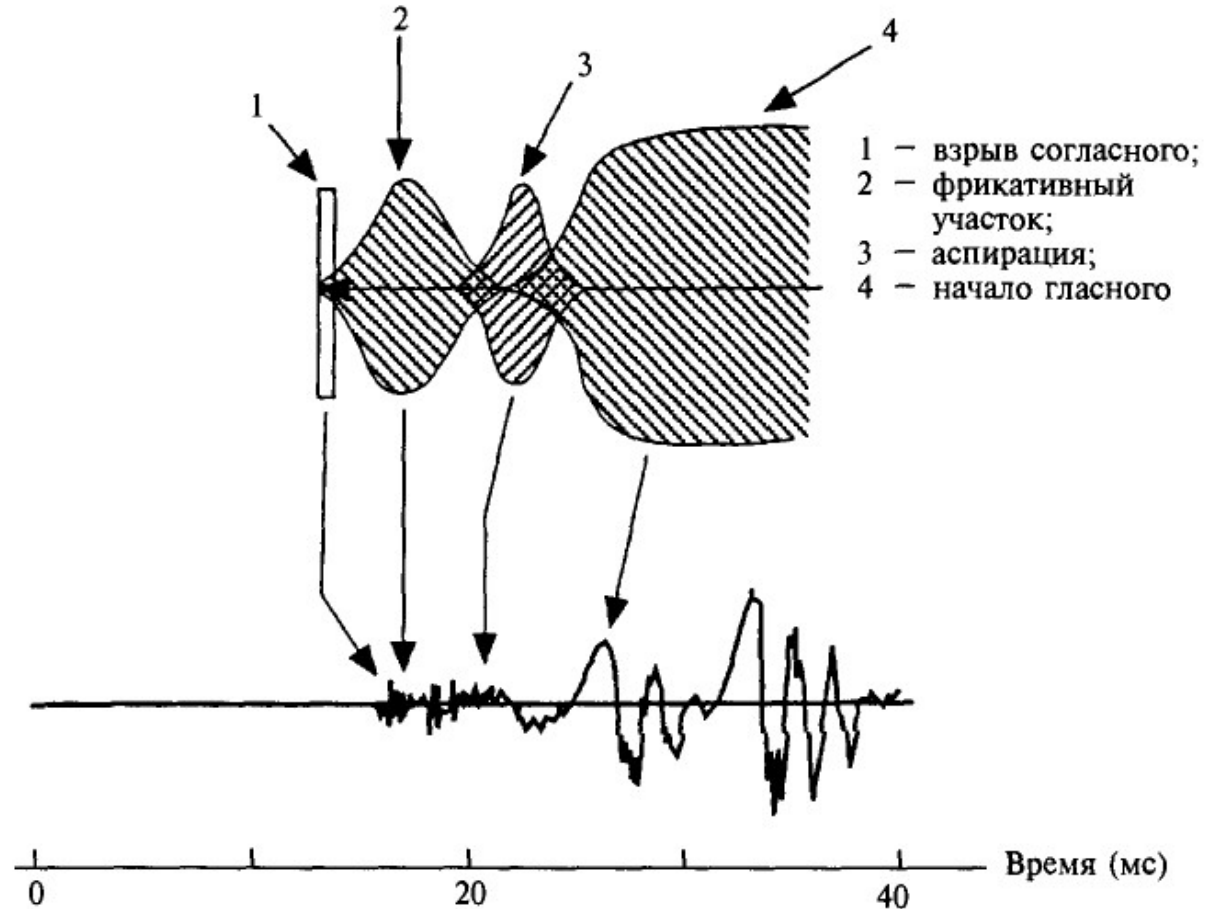
2) шумовой отрезок

### Акустические характеристики интервала смычки

- **стоп-пауза** (не отделяется от молчания в начале фразы)
- **нереализованный шумовой интервал**
- **вокальные периоды на смычке глухого в интервокале (частичное озвончение)**
- **звонкие смычные – голосовая полоса (звонкая пауза) – малая интенсивность**
- **длительность смычки – 30-120 мсек. (0,03-0,12 сек.)**
  - > у глухих

## Акустические характеристики шумового интервала

- малое избыточное давление позади смычки > **отсутствие шумового интервала** (у звонких типа [б])
- **неоднородность: взрыв + шум фрикации**  
(+ аспиративный шум)



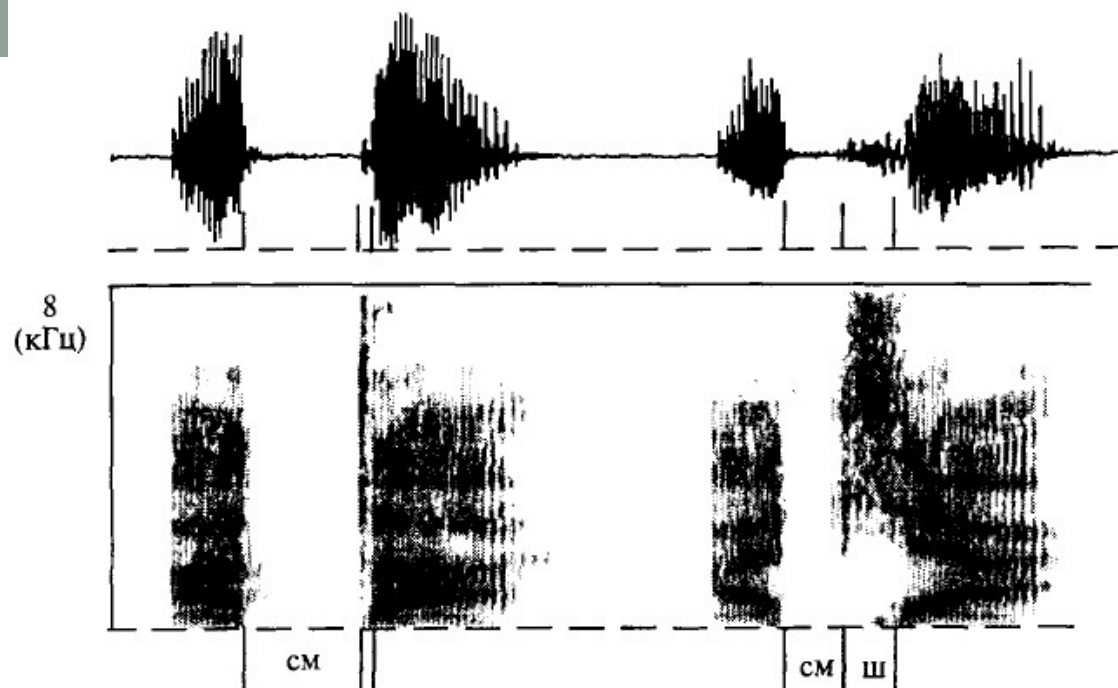
## [т] / аффрицир. [т']

- **взрыв** – узкая вертикальная линия

смычка раскрывается

медленно > **взрывная фаза смазана или отсутствует**

(акустическая картина шума взрывных сближается с аффрикатами)



**аффрицированные** – взрывные согласные, у которых шумовой участок содержит **выраженный и длительный участок фрикативного шума** (палатализованные переднеязычные взрывные)

- **аспирированные** — взрывные согласные, при произнесении которых **аспиративный шум** существенно превышает по длительности шум фрикации

глухие взрывные согласные англ. яз.  
перед ударными гласными

**голосовая щель** в момент размыкания  
**смычки широко раскрыта**

• **Неоднородность шумового интервала взрывных согласных:**

- длительность шума
- интенсивность шума
- спектр шума

1) **простые взрывные:** 40-60 мсек. – шумовая фаза, длительность взрыва – 3-5 мсек.

2) **аффрицированные и аспирированные взрывные:** 100-120 мсек. – шумовая фаза

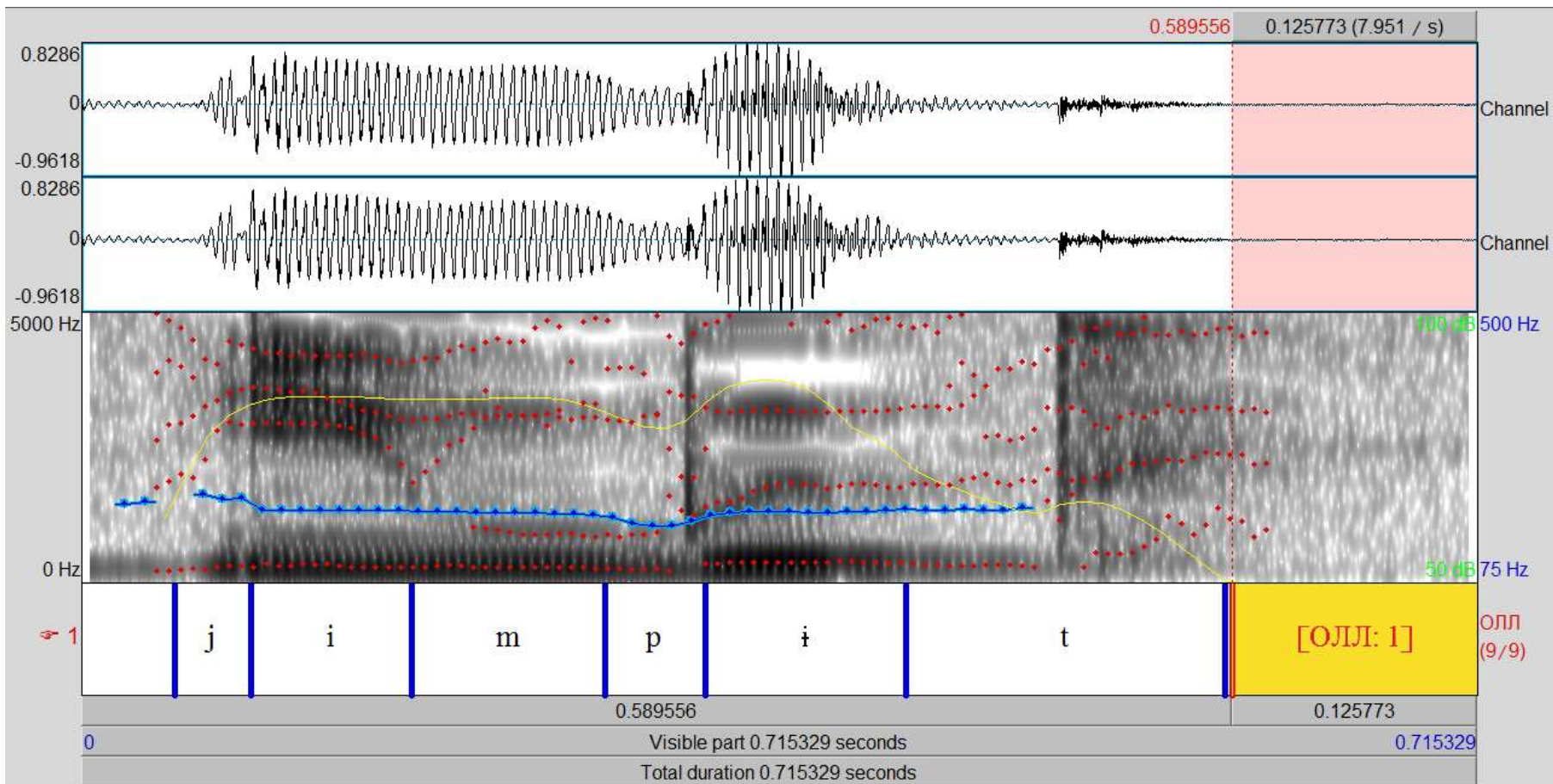
3) **длительность шумовой фазы** < место образования, глухость / звонкость

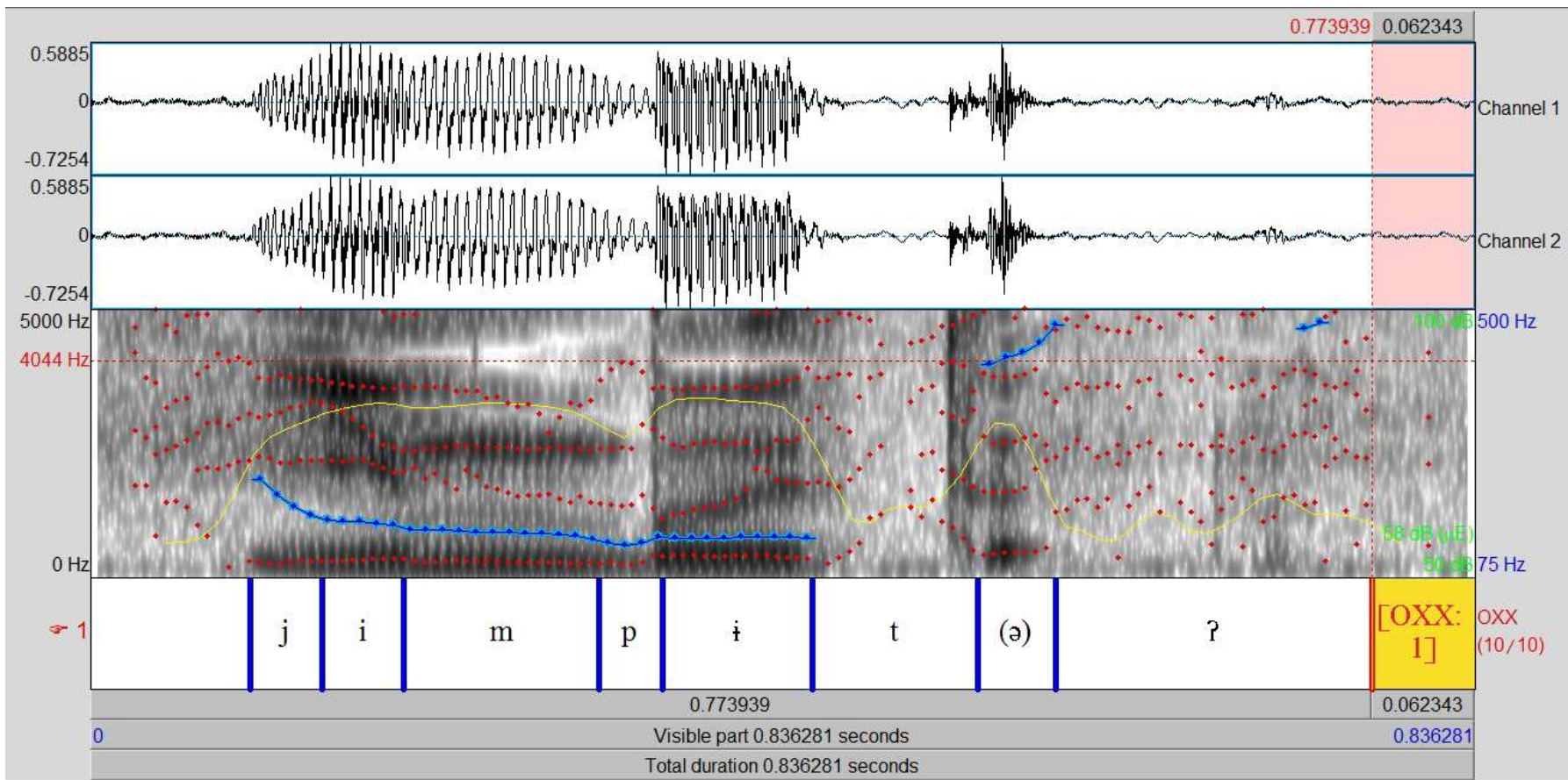
[б] / [k(h)]

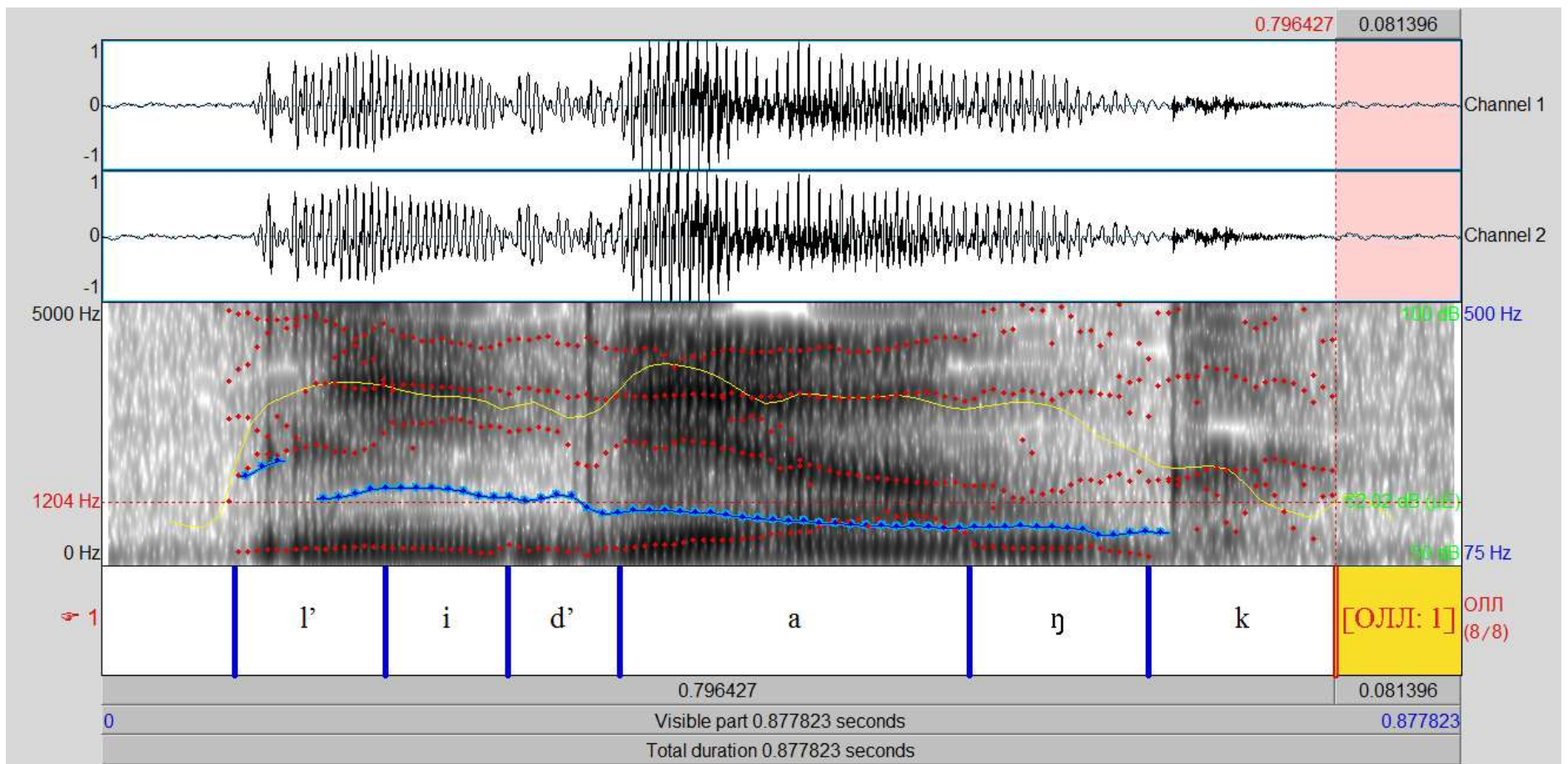
4) **интенсивность взрывной фазы и шумового интервала** < место образования, глухость / звонкость

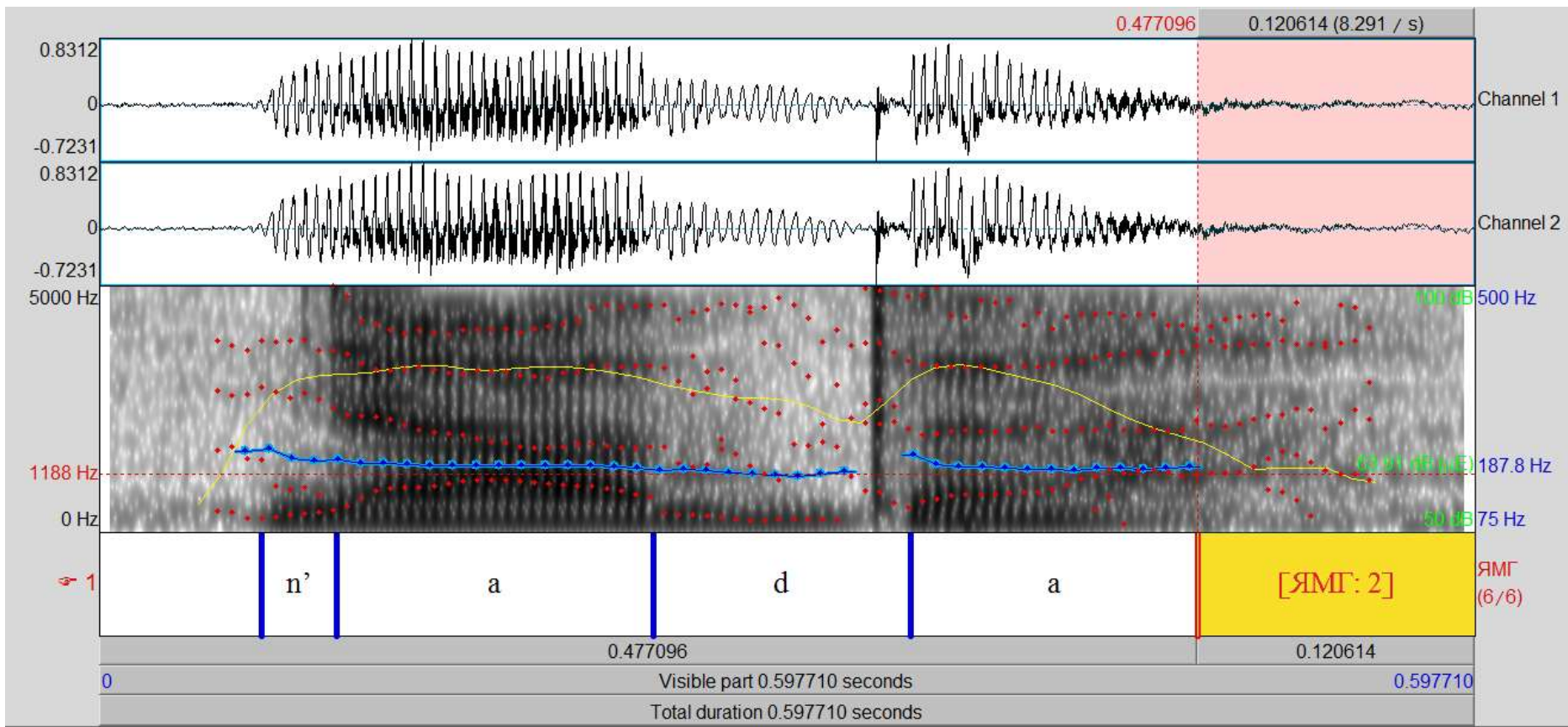
- **Альвеолярные взрывные:** усиление спектра в области высоких частот ( $\sim F4$  и  $F5$  гласных).
- **Велярные взрывные:** усиление спектра взрыва в области средних частот ( $\sim F2$  и  $F3$  гласных).
- спектры взрывов < **огубленность** последующих гласных

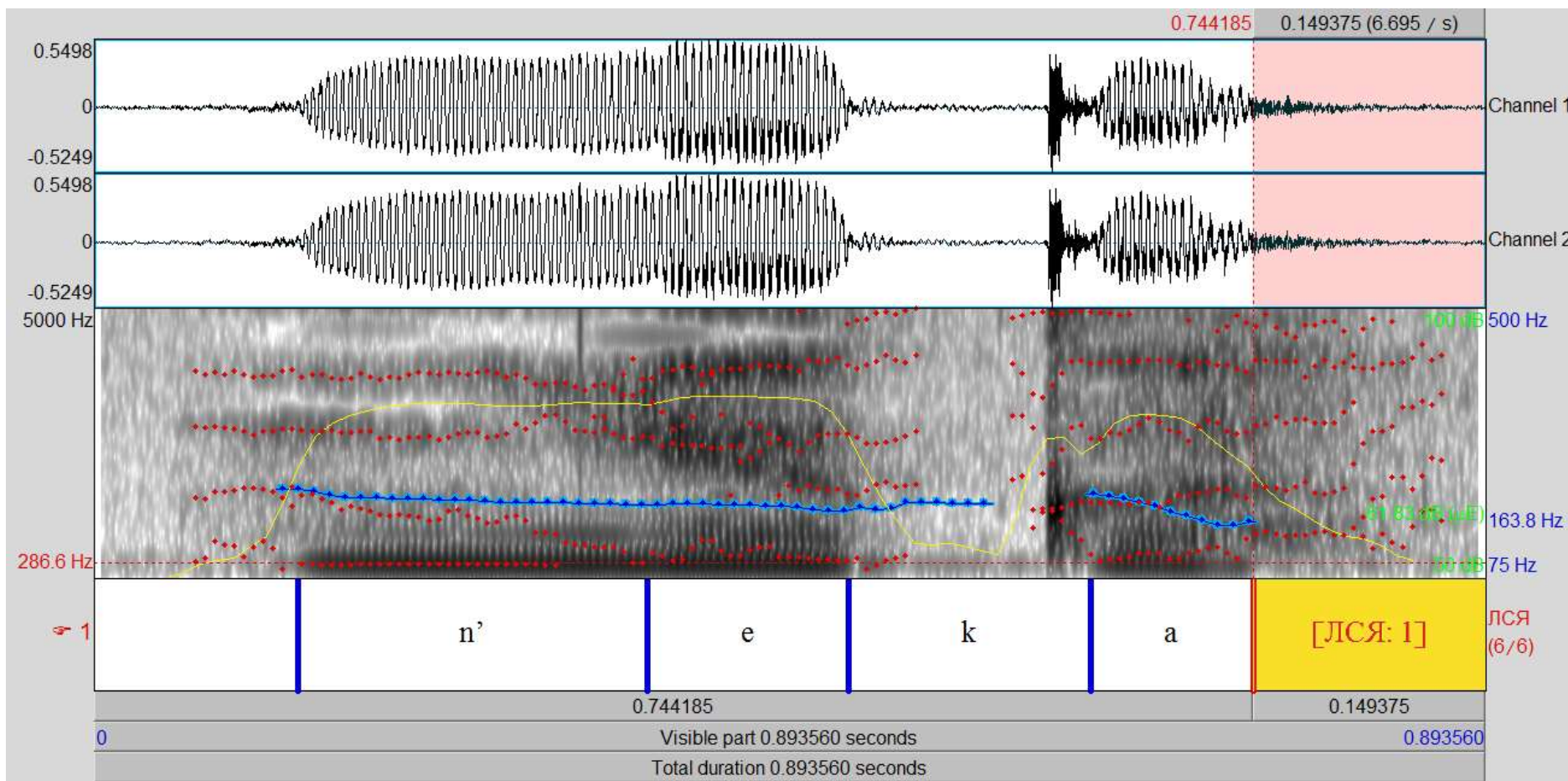


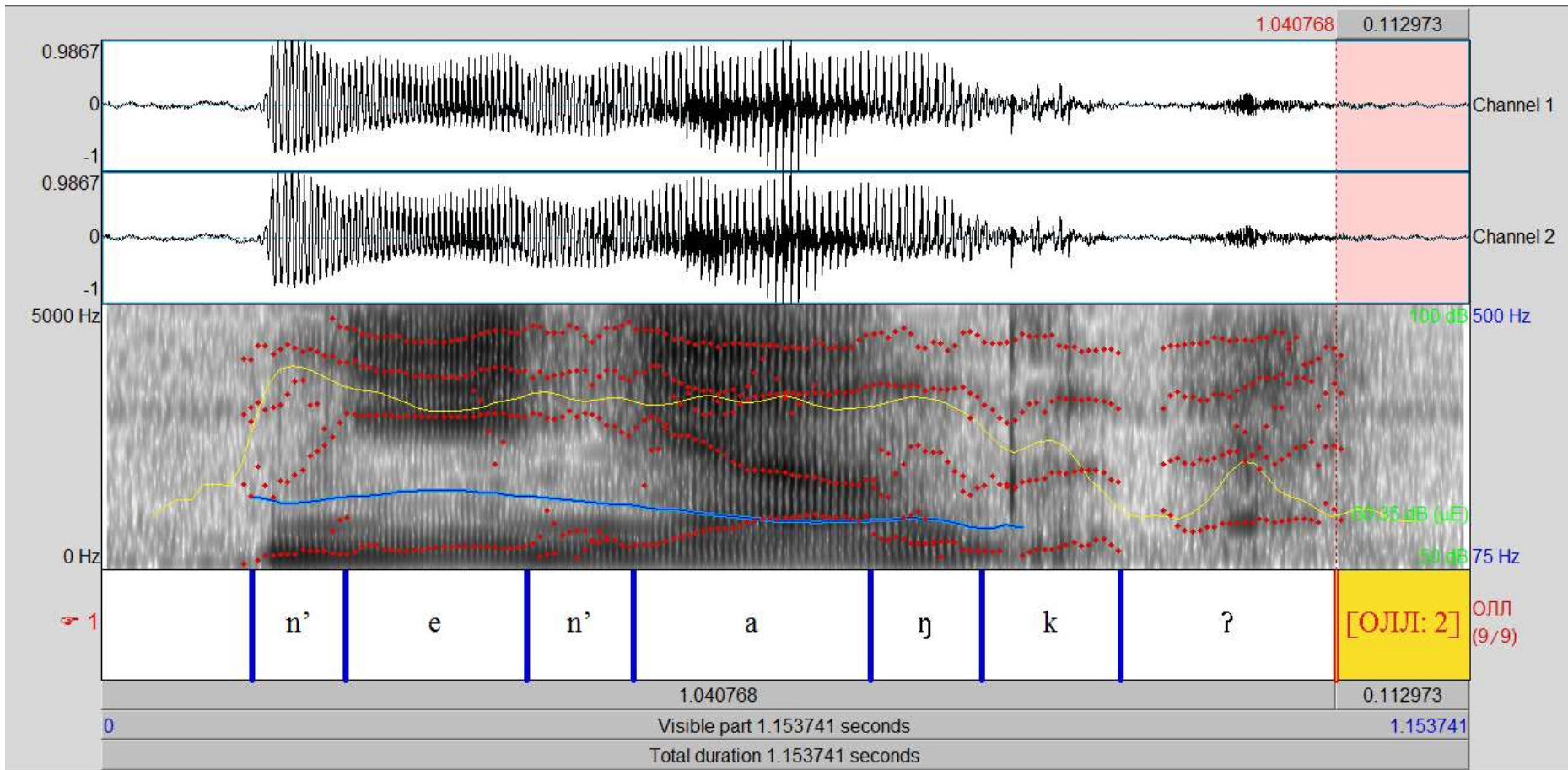


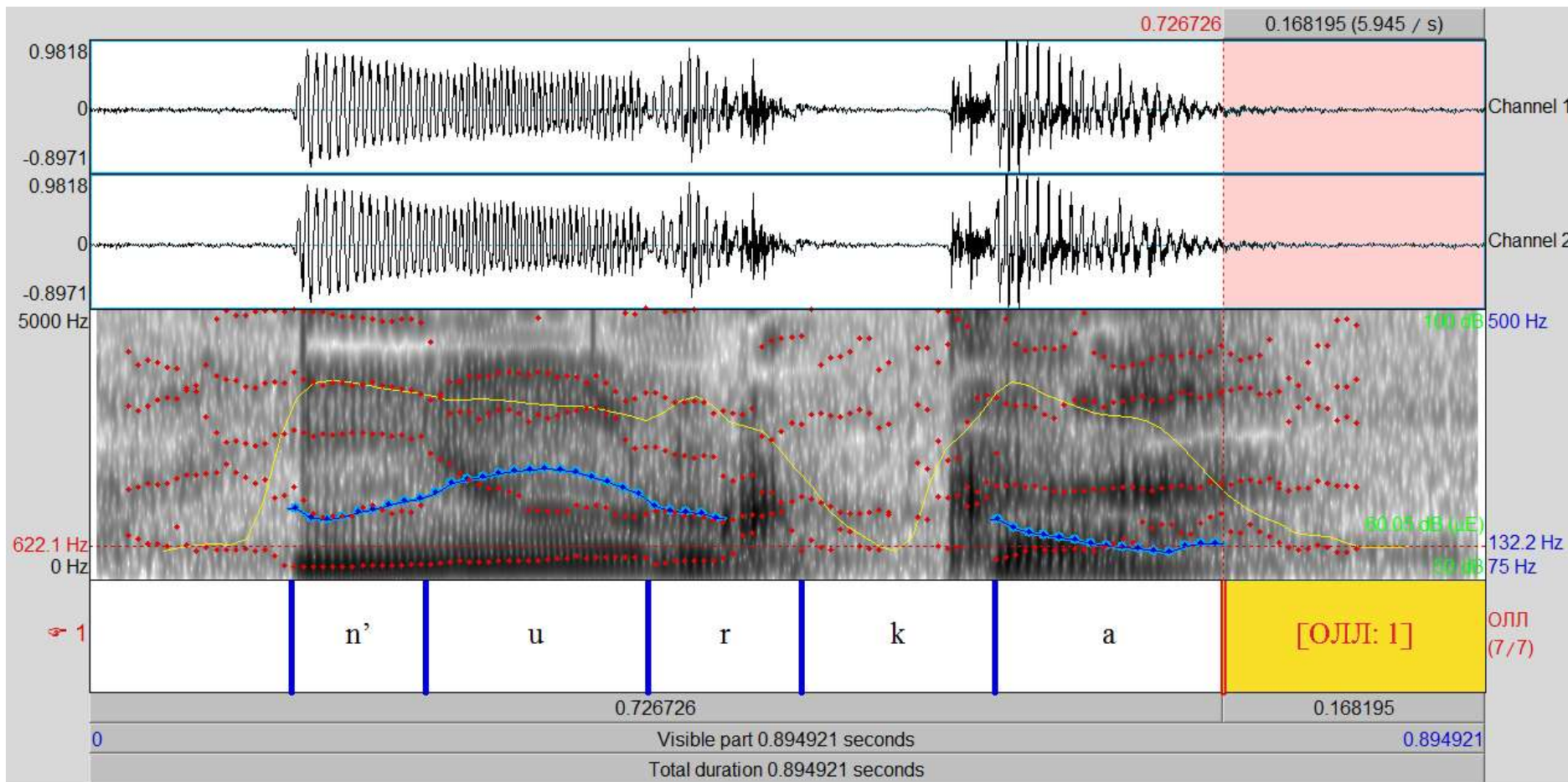


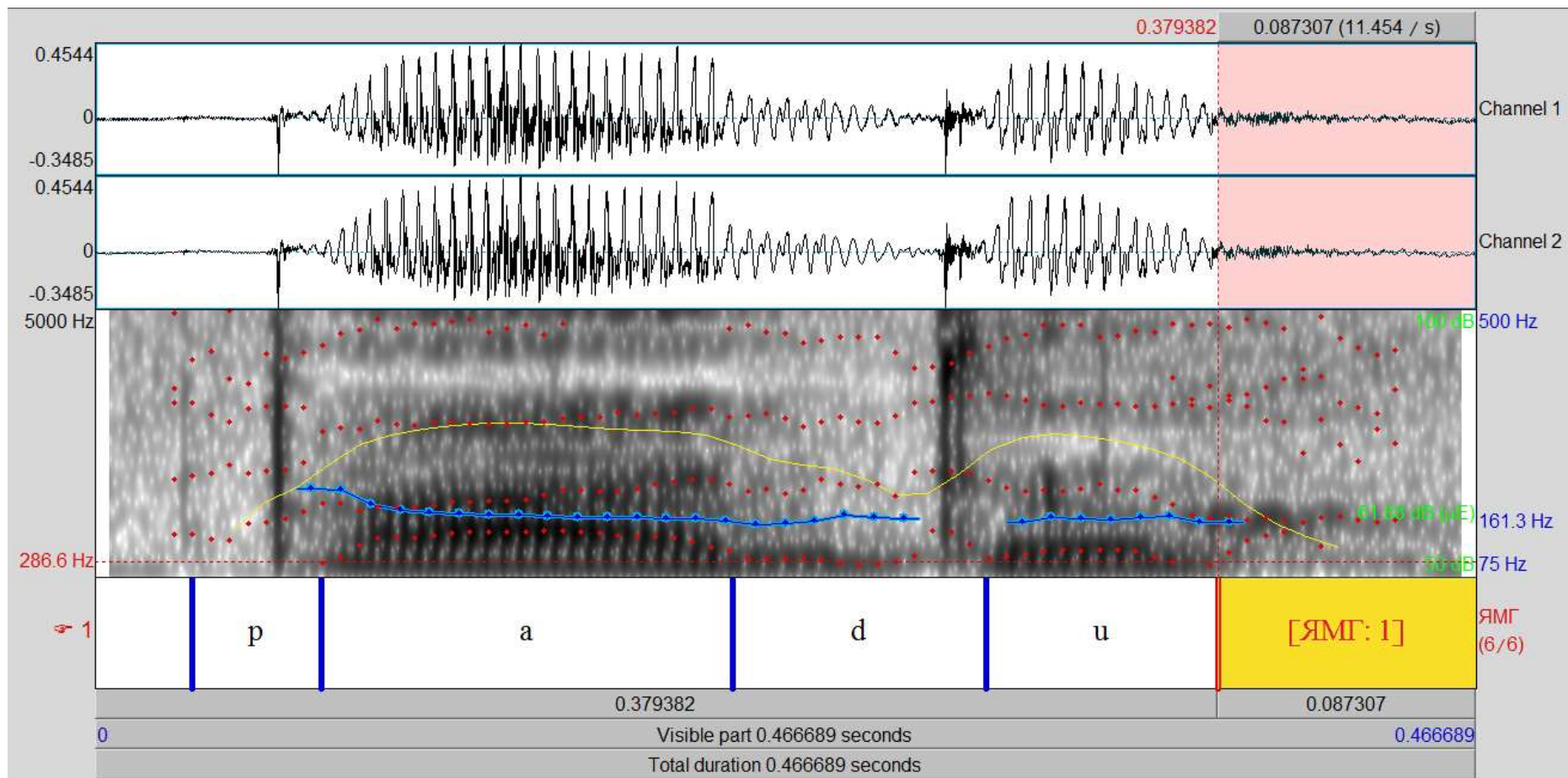




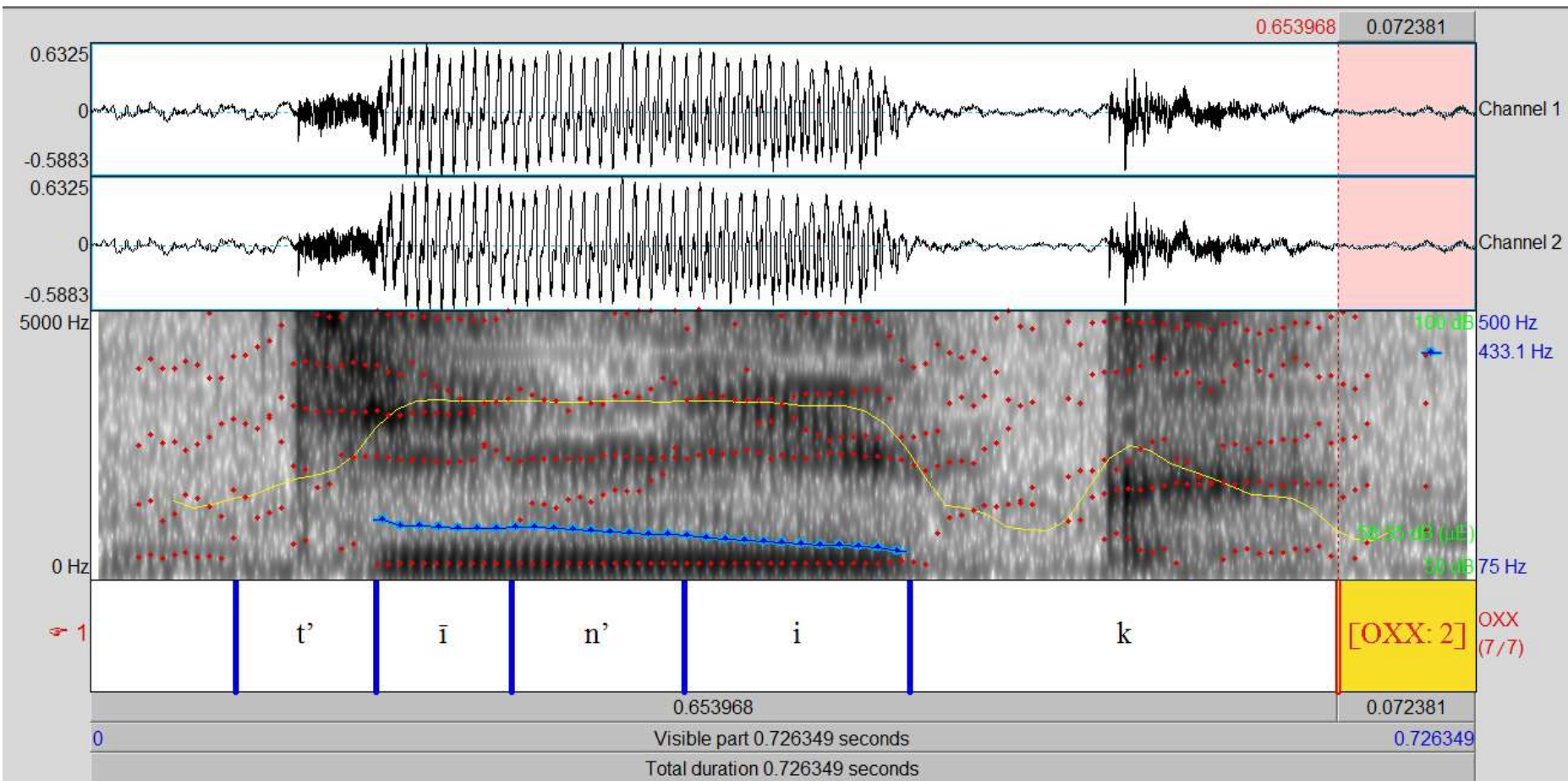






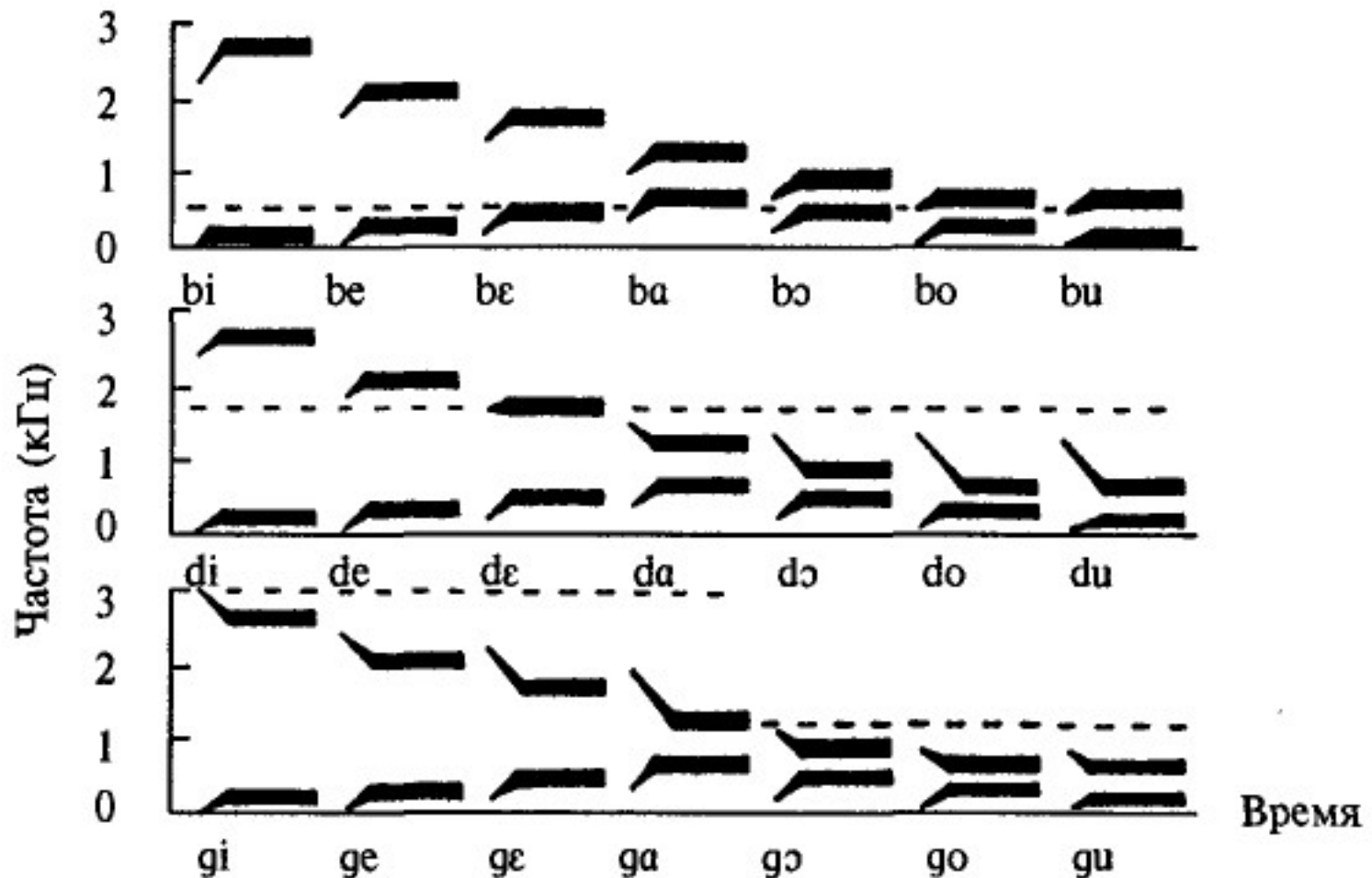




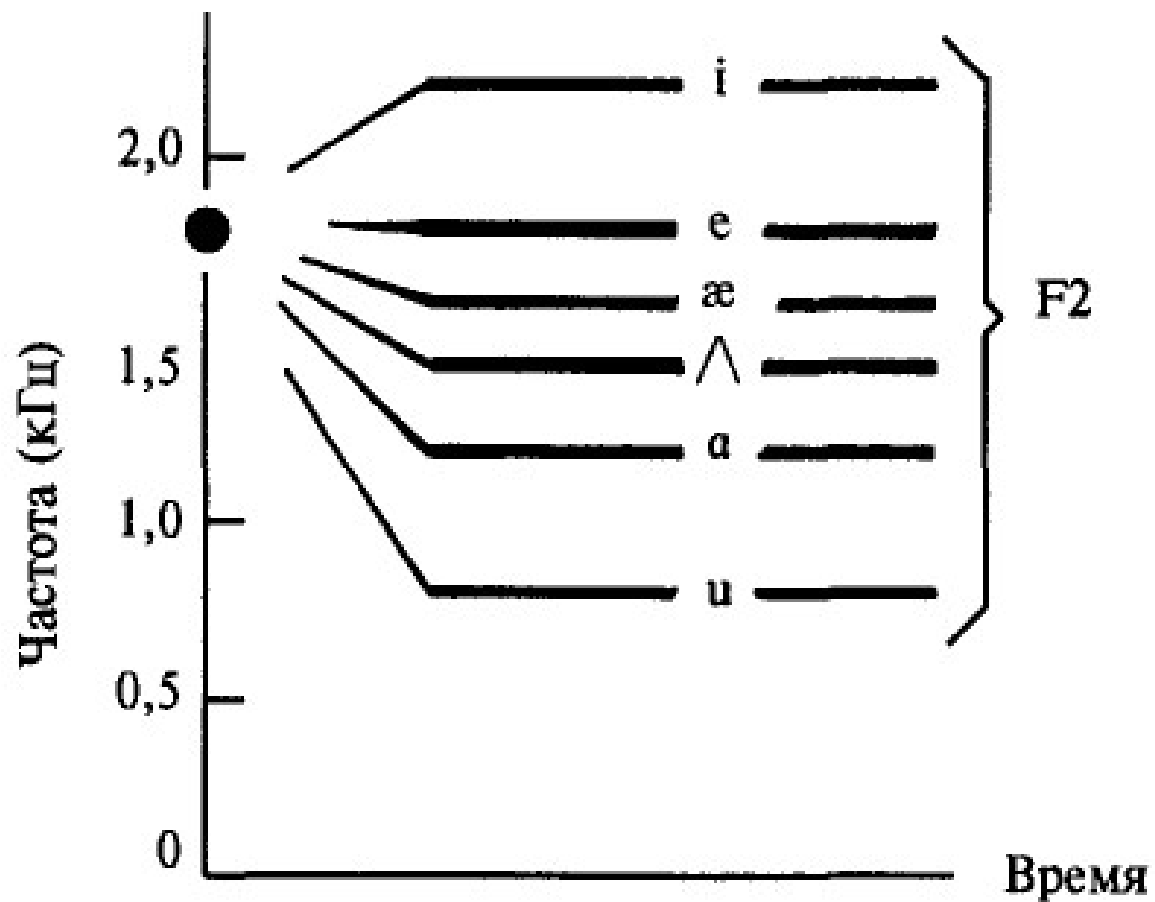


## Локусная F-картина взрывных согласных

- формантные переходы (< перестройка артикуляторов и изменения в речевом тракте) – 40-50 мсек.



## Локус F2 для альвеолярного согласного [d] перед V



[Kewley-Port 1983; Stevens 1999]

Локусы первых трех формант (в Гц) для взрывных согласных английского языка

Место образования согласного	F1	F2	F3
Лабиальные	Около 0	800–1100 перед гласными заднего ряда 1500–1800 перед гласными переднего ряда	2200–2500
Альвеолярные	Около 0	1600–1800	2500–2700
Велярные	Около 0	1000–1300 перед лабиализованными гласными заднего ряда 1500–1700 перед нелабиализованными гласными заднего ряда 2000–2400 перед гласными переднего ряда	2000–2300 перед гласными заднего ряда  2500–3000 перед гласными переднего ряда

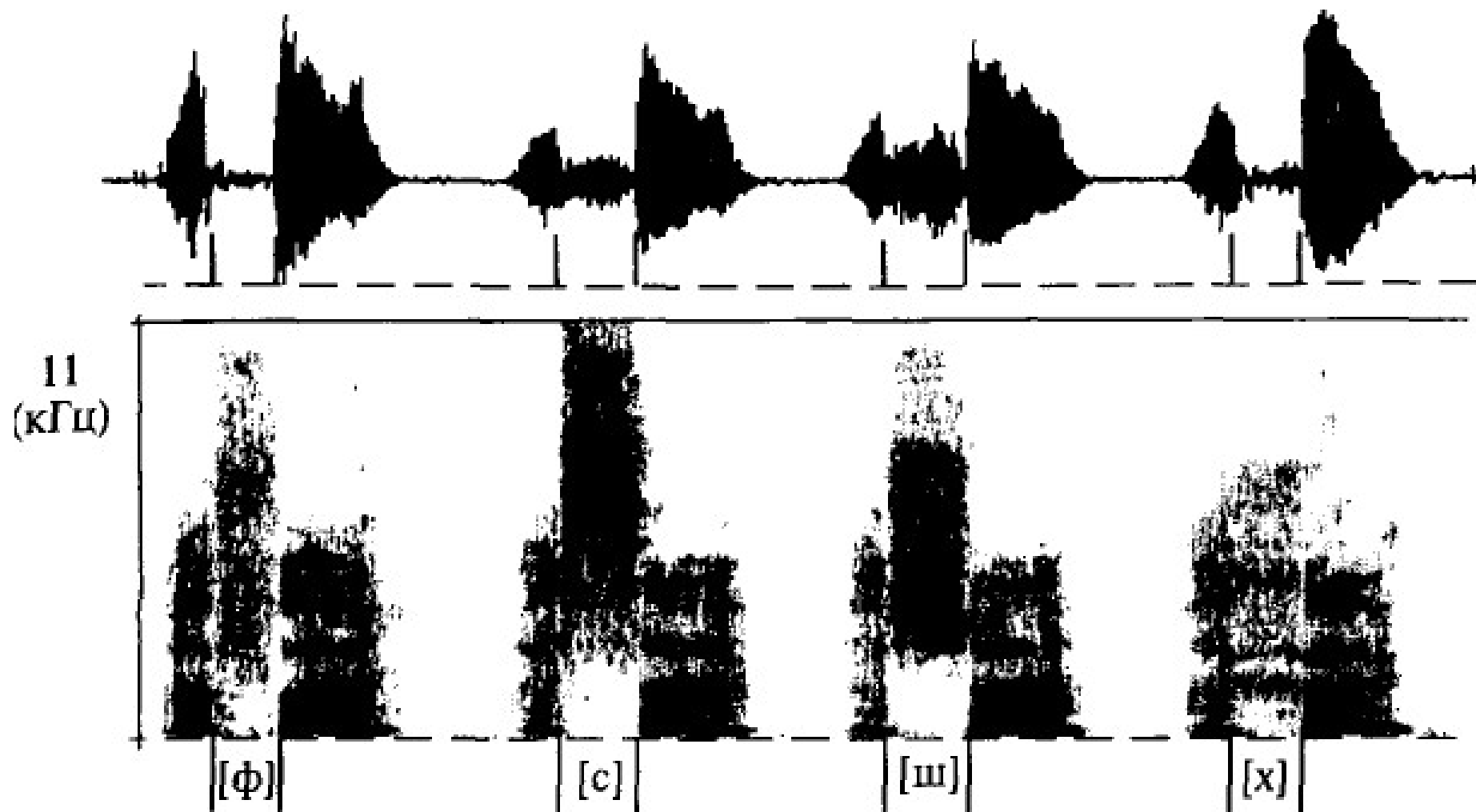
## Локусы согласных

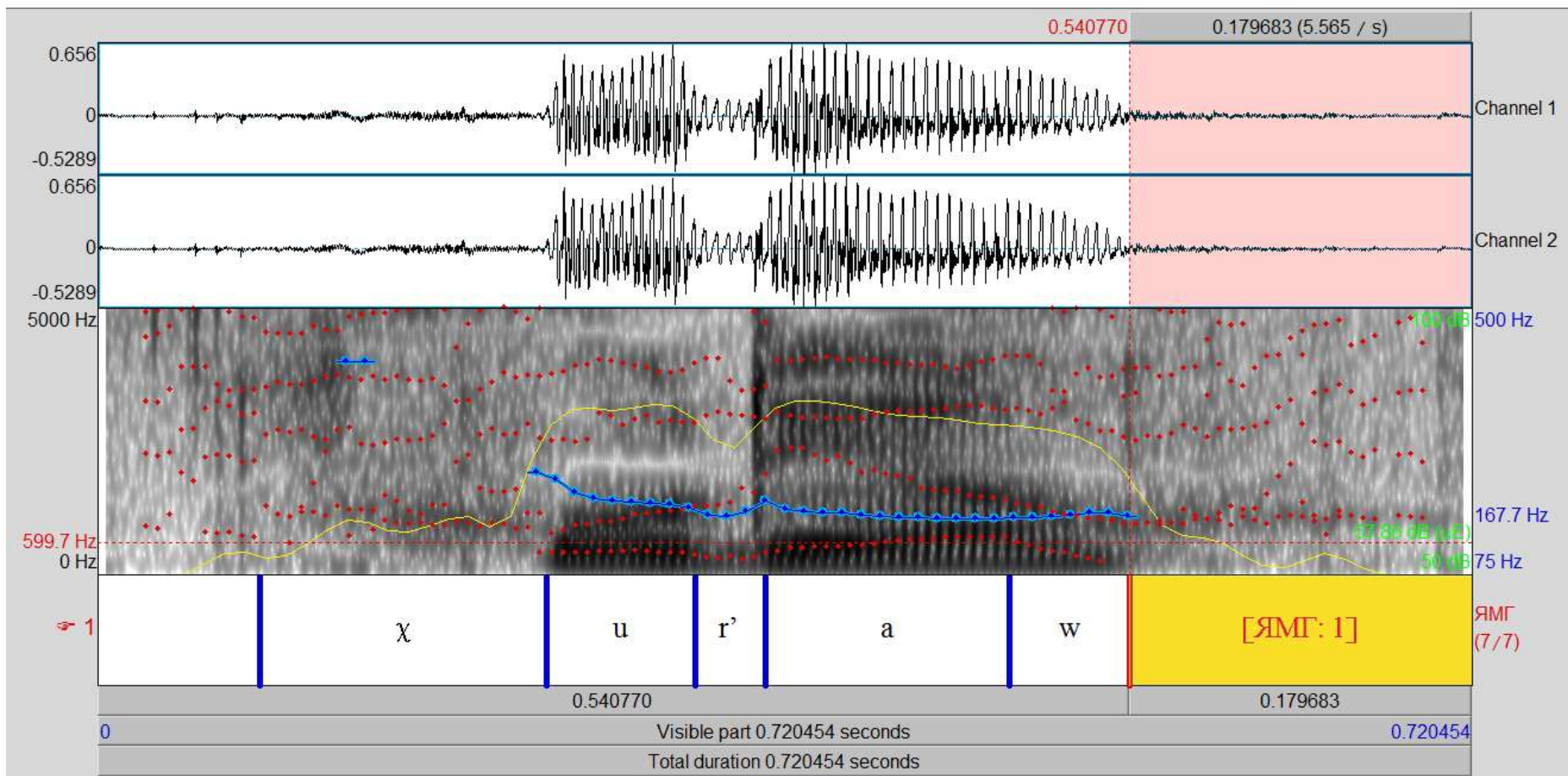
- **локус F1** – отражает смычность согласного (степень сужения речевого тракта; max – у взрывных)
- **локус F2 (локус F3)** – место образования преграды (губные – самый низкий локус F2)
- **велярные согласные** – самая большая область возможных локусов (1000-2500 Гц)

## Акустические характеристики фрикативных согласных

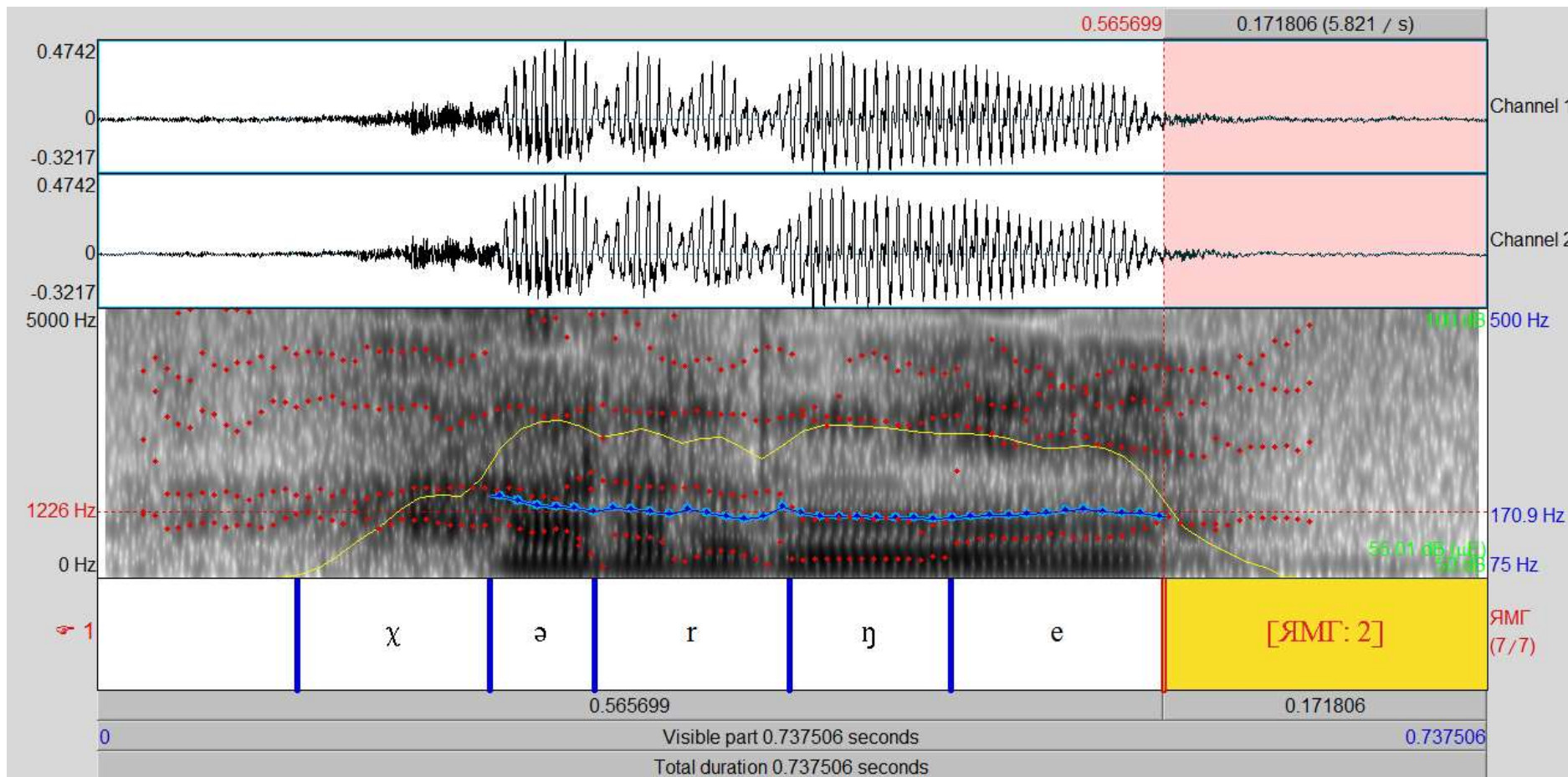
- **однородная артикуляция** > более простые акустические свойства
- турбулентный ист. зв. / турб. + голос. ист. зв.
- **шумовая полоса** – вертикальная штриховка  
нерегулярные свойства шума – глухие  
амплитудная модуляция шума – звонкие
- **большая длительность и интенсивность шума** у глухих  
(**min** – губные звонкие [в], **max** – сибиллянты [с] и [ш])
- **длительность фрикативных** – 50-200 мсек.  
(< фонетический контекст)

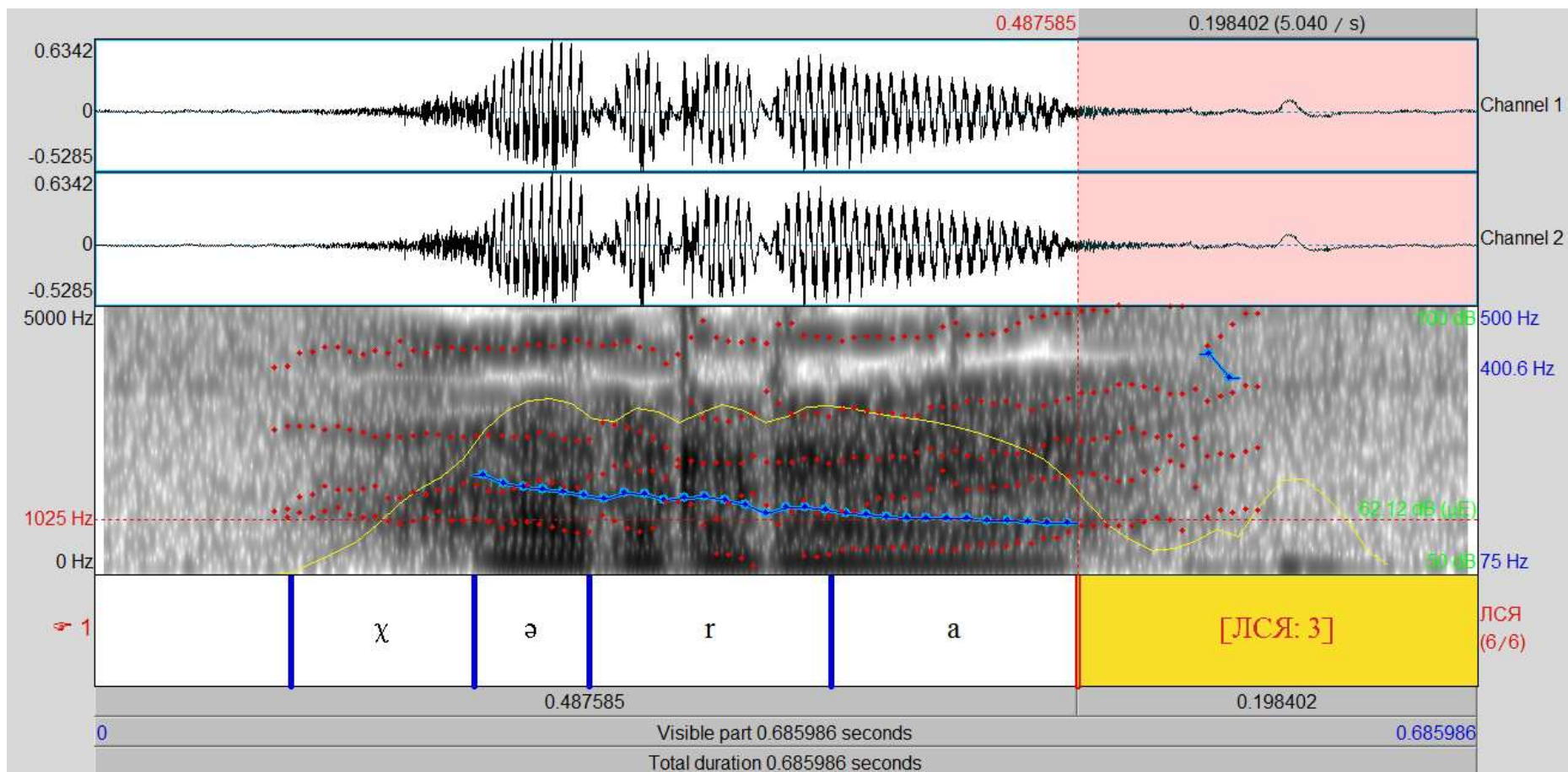
## Глухие фрикативные согласные в интервокальном контексте

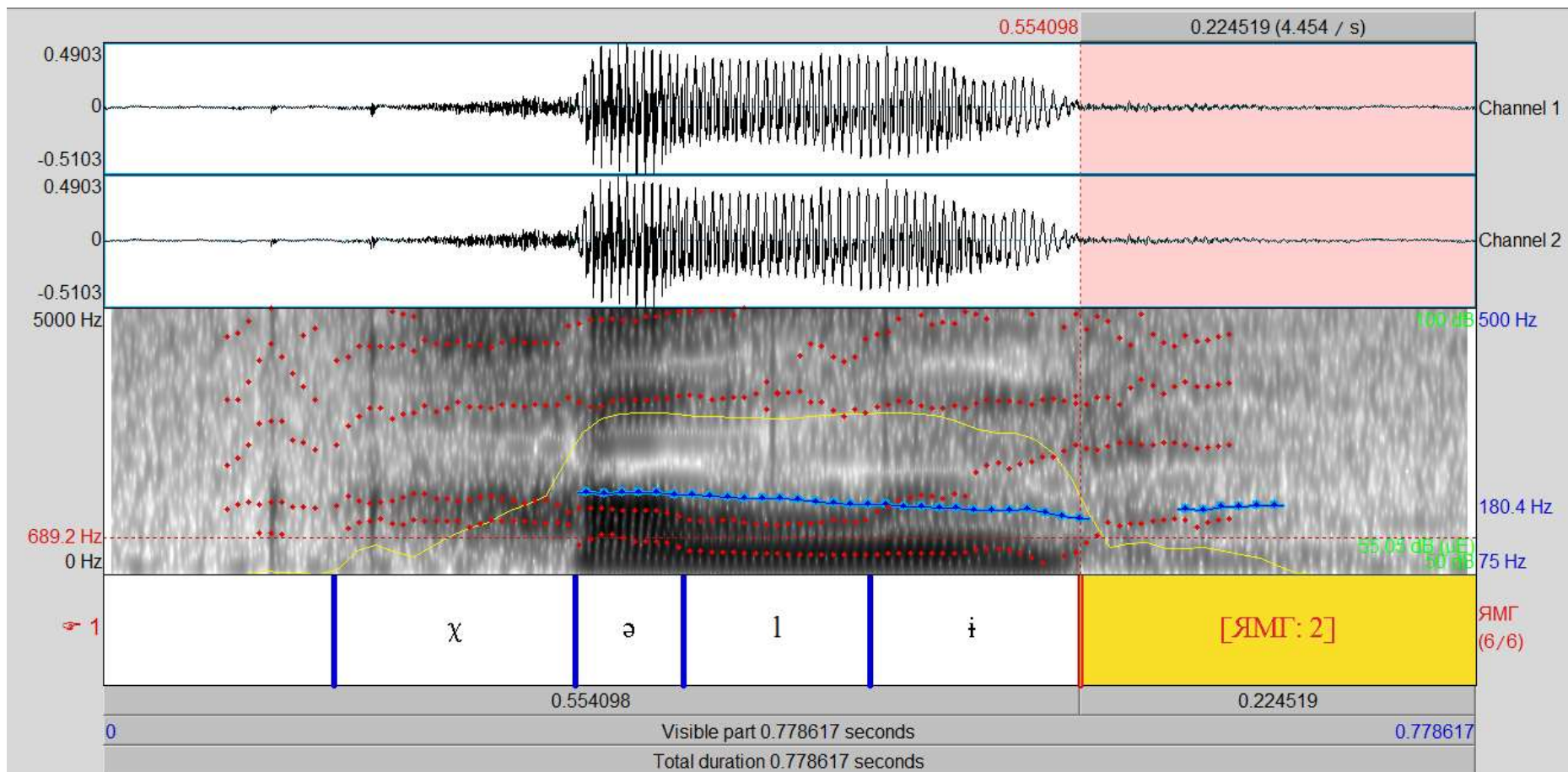


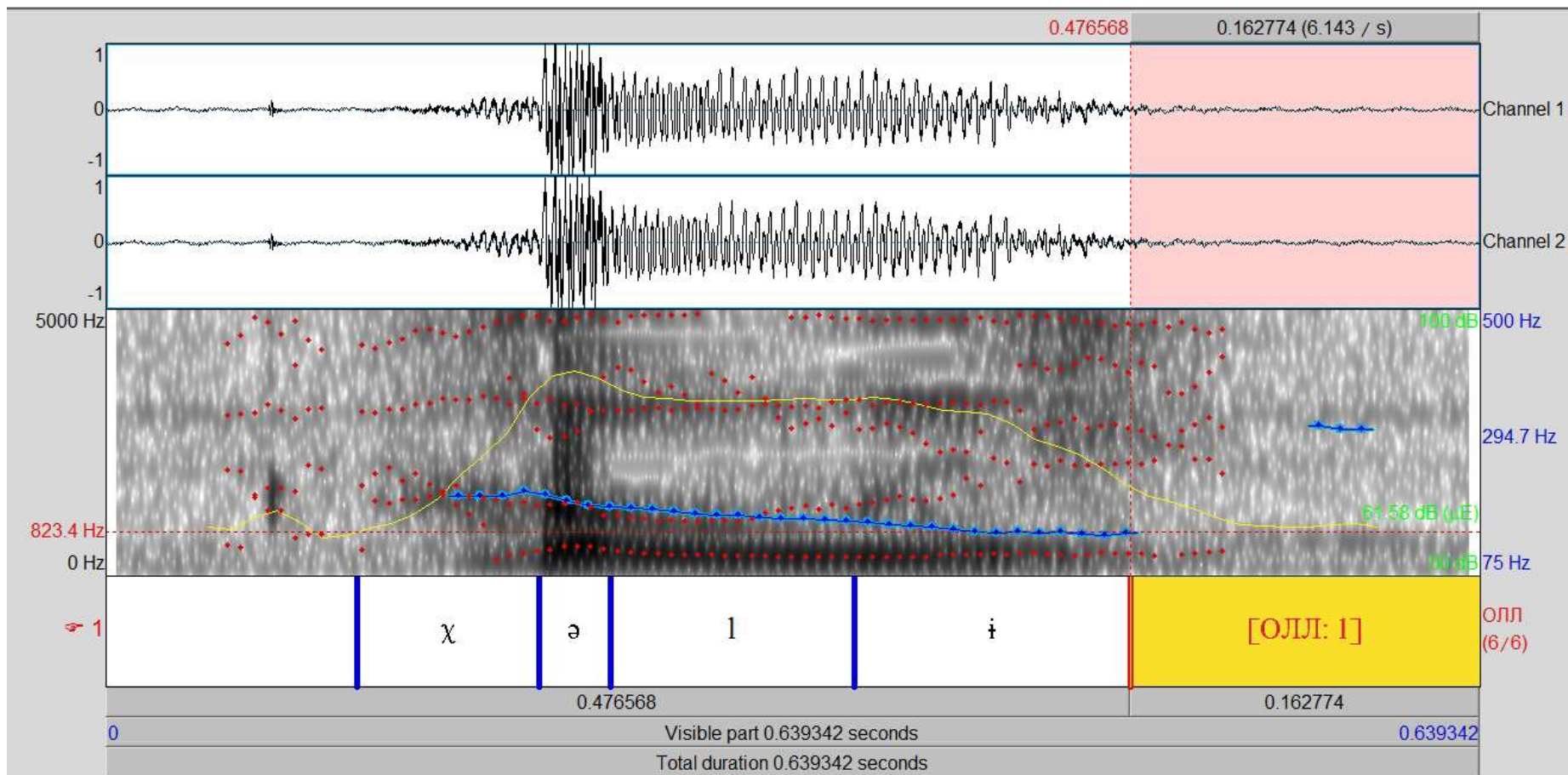


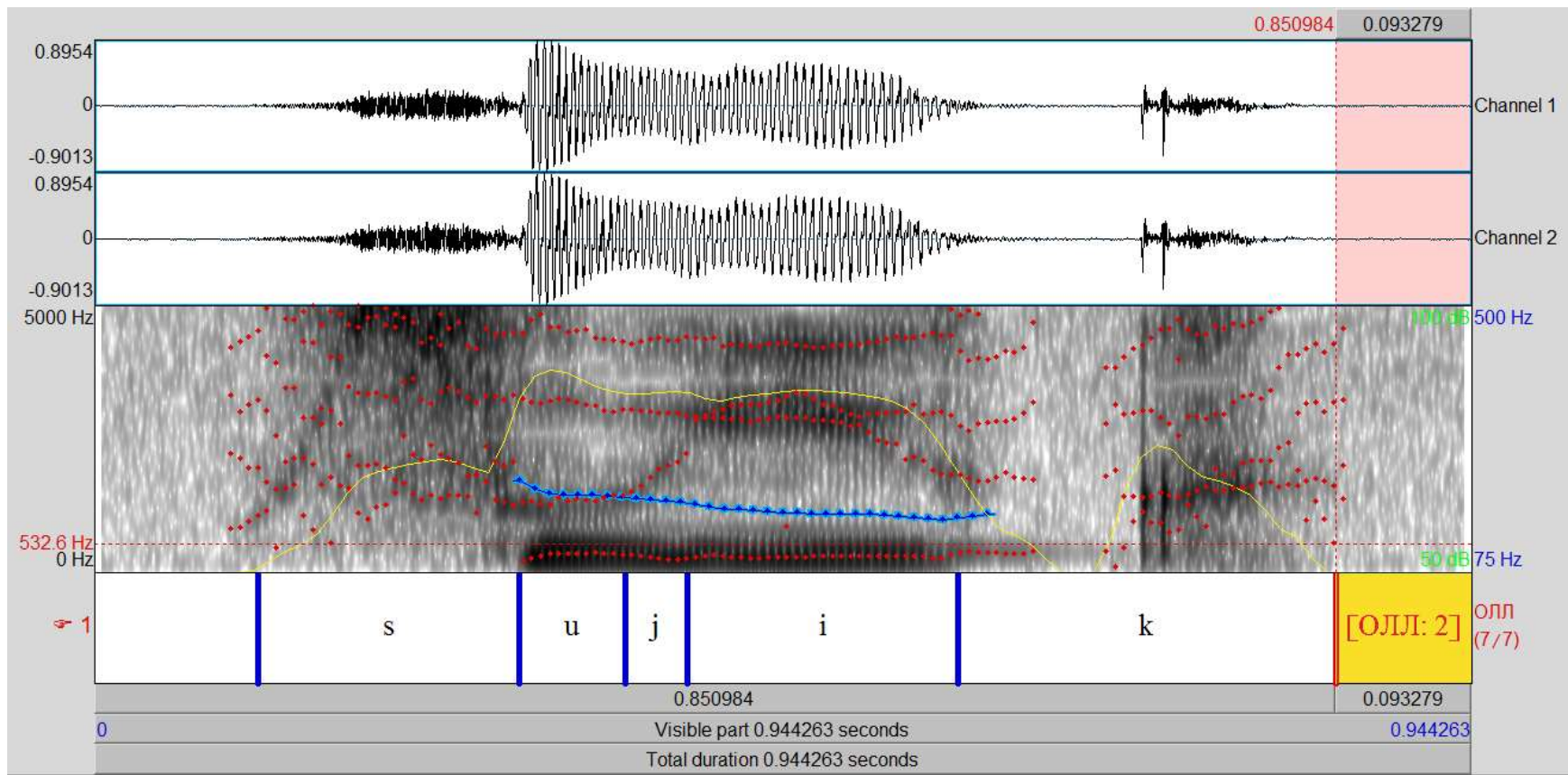


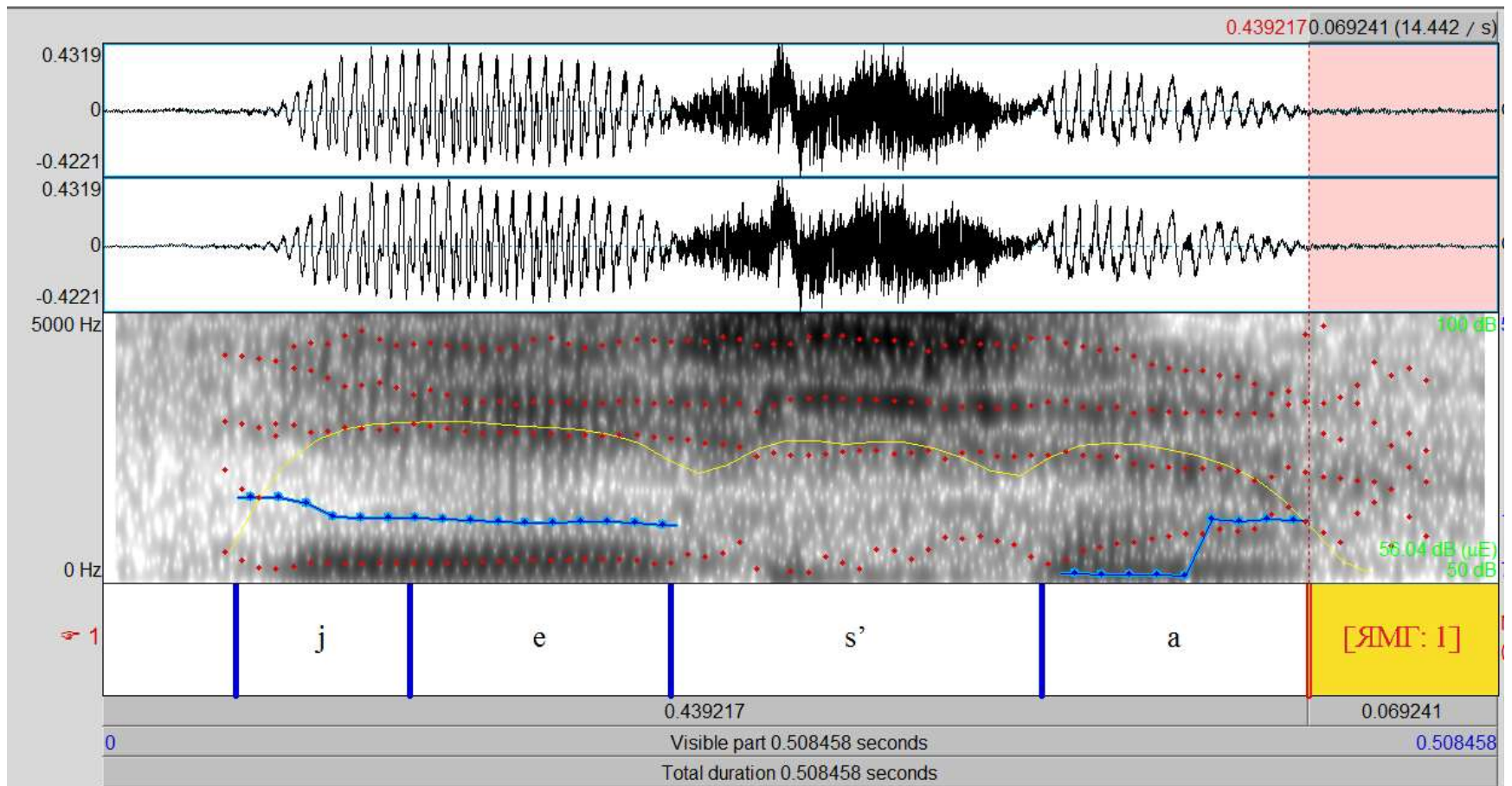












## Акустические характеристики аффрикат

- **промежуточное положение** между взрывными и фрикативными (по акустическим свойствам)
- **интервал смычки**
  - глухие – стоп-пауза
  - звонкие – голосовая полоса
- **турбулентный шум**
- **длительность смычки**  $<$ , чем у взрывных
- **длительность шума**  $>$ , чем у взрывных (но  $<$ , чем у фрикативных)

## Акустические характеристики сонорных согласных

### Акустические характеристики носовых сонорных

- участие **носовой полости** > **дополнительные форманты** в спектре
- самая низкая форманта – **форманта назализации** (200-300 Гц) – интенсивна в спектре
- **усиление низких гармоник** голосового источника
- **подавление ротовых формант**
- по сравнению с гласными – **довольно низкая интенсивность**



## **Акустические характеристики неносовых сонорных согласных**

- **ГОЛОСОВОЙ ИСТОЧНИК**
  - небольшое сужение (воздух проходит **относительно свободно**, без образования шума)
  - **проход в носовую полость закрыт**
- 
- > 1) **периодичность сигнала**
  - 2) **голосовая полоса и вертикальная штриховка**
  - 3) отчетливая **формантная картина**

## Центральные аппроксиманты

- рус. [й], англ. [j], [w], [r]
- **полугласные (semivowels)**
- воздух **свободно** проходит по **центру** ротовой полости
- **артикуляционное сужение** больше, чем у гласных
  - > **понижение F1** (< 300 Гц; min - у огубл. [w])
  - > **потеря энергии звуковых колебаний** голосового источника (F2, F3)
  - > **уменьшение общей интенсивности**
- **локусная F-картина** ~ F-картине гласных, ближайших по артикуляции ([i], [u]...)
- **плавный переход** в форманты соседних гласных (длительный переходный участок: **глайды** < glide ‘скольжение’)

## Боковые (латеральные) сонорные

- рус. [л], англ. [l]
- **преграда** – кончик языка и верхние зубы (альвеолы)
- **проход для воздушного потока** – вдоль боковых сторон языка
- образование суженных проходов в передней части ротовой полости + общее удлинение тракта >
  - > **понижение F1**
  - > **ослабление F2 и F3**
  - > **антирезонанс** (в области 2000-2500 Гц) – **подавляет F3 и ослабляет F2** (видимые max спектра F2 – F4)

**F2 хорошо видна**

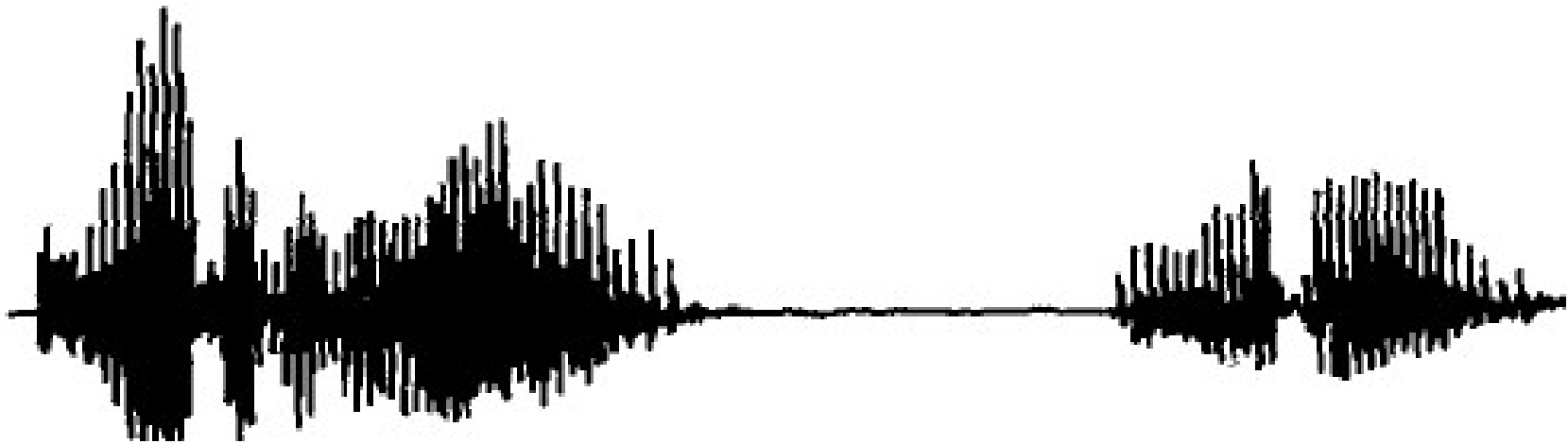
## **F-картина боковых (латеральных) сонорных (средние значения)**

- F1 ~ 300 Гц
- F2 ~ 800-1200 Гц
- F3 ~ 2500-3000 Гц
- меньшая длительность и большая скорость формантных переходов с гласными
  - **уменьшение общей интенсивности сигнала**
  - **ослабление главных ротовых формант на боковом согласном**
  - **размыкание язычной преграды > небольшой взрыв**

## Дрожащие согласные (вибранты)

- **колебания активного артикулятора** в воздушном потоке  
рус. [р]
- **количество колебаний** (ударов) – одноударный, 2-3 удара
- **понижение F1**, уменьшение уровня всех вышележащих формант
- **закрытая фаза** (сужение прохода) ~ смычка звонкого взрывного (очень короткая, нет взрыва после нее)
- **F-картина среднеязычного вибранта:**
  - F1 ~ 500-600 Гц
  - F2 ~ 1300-1600 Гц
  - F3 ~ 1800-2300 Гц
- **плавный формантный переход** с гласными

# Многоударный и одноударный варианты рус. [р] в интервокальной позиции



## Акустические характеристики супрасегментных звуковых средств

- **СЛОГОВЫЕ ТОНЫ** В ТОНАЛЬНЫХ ЯЗЫКАХ
- **словесное ударение**
- **фонетические способы смыслового подчеркивания**  
слов во фразе
- **ритм**
- **тональный** (мелодический) **рисунок фразы**
- **громкость**
- **темп**
- **фонетически выраженные эмоциональная окраска**  
речи

# Акустическая база супрасегментных звуковых средств

- различия между звуками

- < различия в их спектрах

- < типы источников звука

- < конфигурация речевого тракта

- (< собственная длительность, интенсивность и ЧОТ)

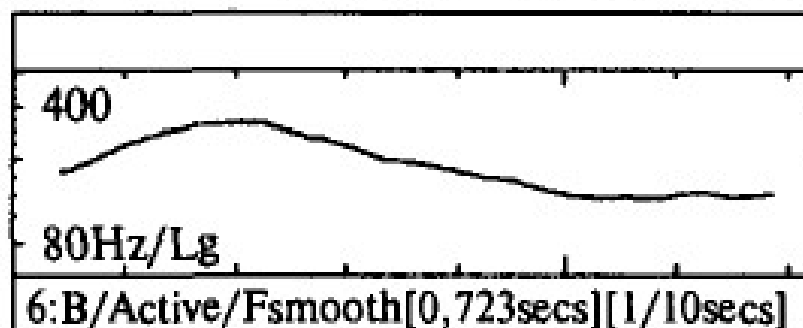
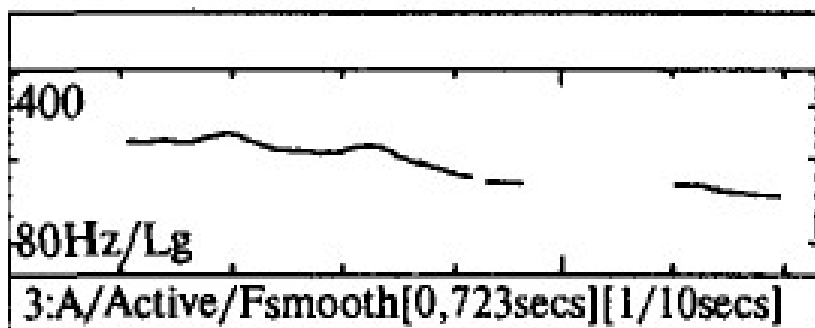
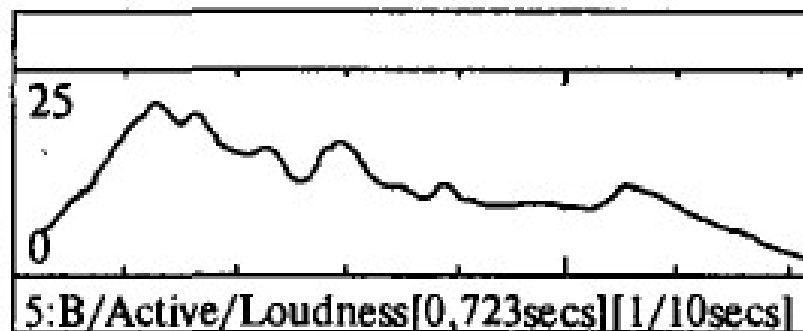
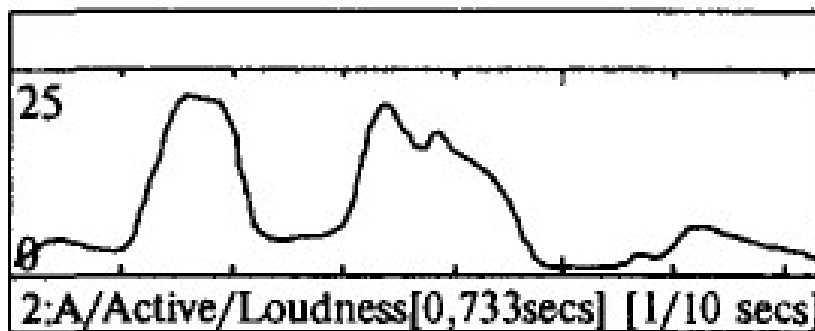
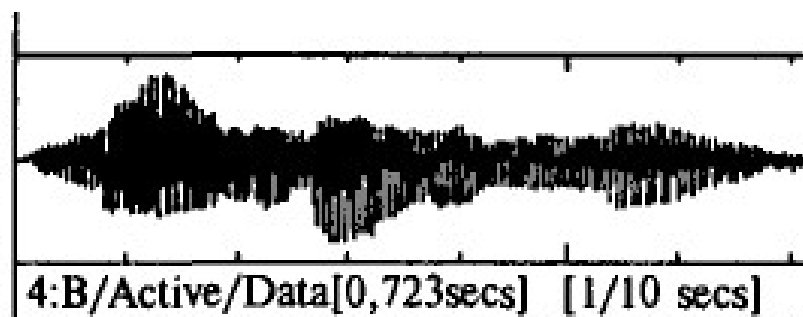
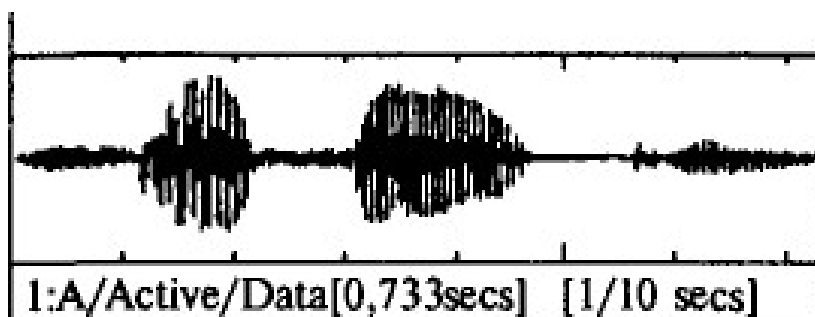
Длительность, интенсивность и ЧОТ как контролируемые параметры – **просодические параметры.**


**Эмоционально окрашенная речь:** типы фонации, специфические артикуляционные установки (речевые позы, тембровые окраски речи).



- **длительность** < ручная сегментация речевого сигнала
- **интенсивность** < мгновенные амплитудные значения и их усреднение (контур или огибающая интенсивности)
- **частота основного тона** < контур ЧОТ, мелодическая кривая, интонограмма (ручная настройка параметров – pitch settings)

## Осциллограммы, контуры интенсивности и основной частоты для слов *собака* и *малина*





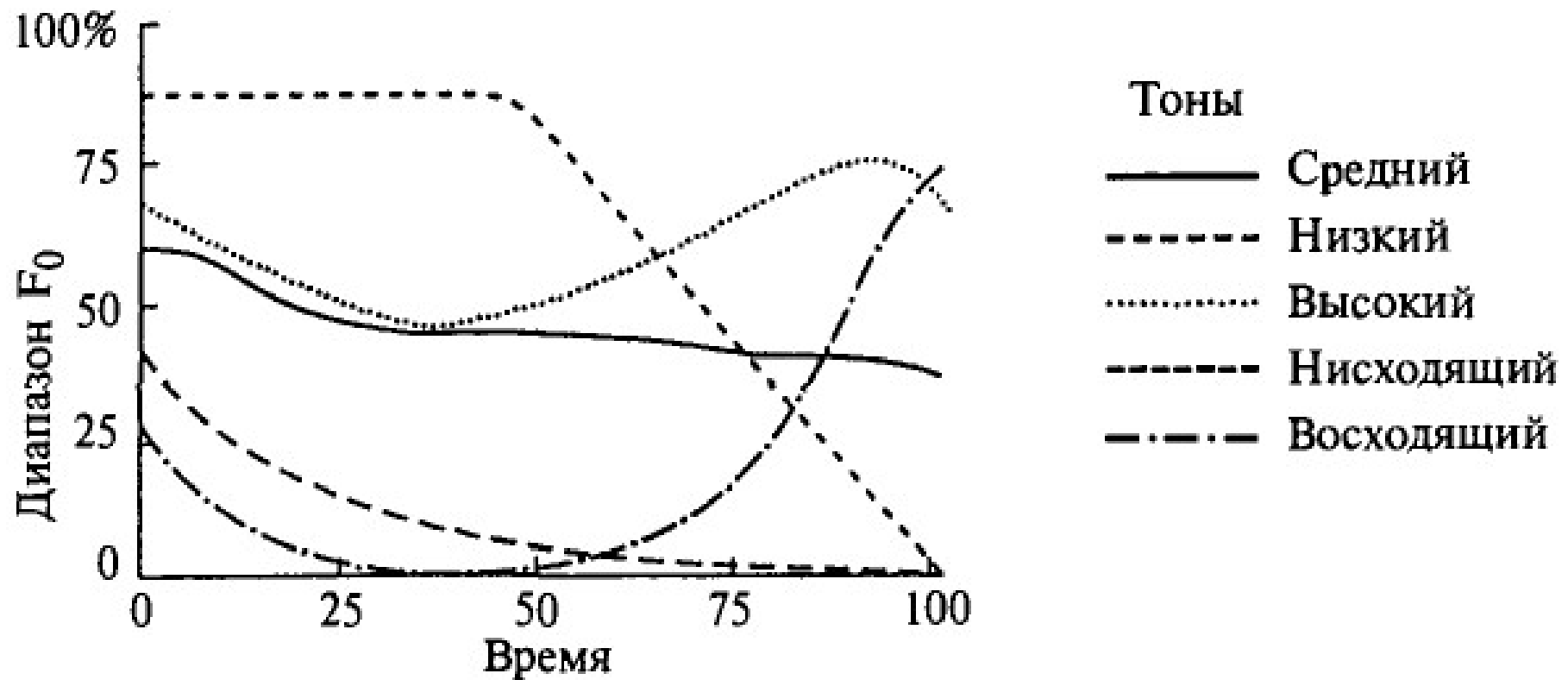
## Акустические корреляты слоговой, словесной и фразовой просодии

- акустическая вариативность
- малая изученность
- влияние множества факторов
- необходимость интерпретации исследователя

## Слоговая просодия (слоговые тоны)

- особый просодический признак слога (признаки) как **обязательная и самостоятельная хар-ка слога** (не обусловлена ни положением в слове, ни звуковым составом)
- **тайские тоны** < область голосового диапазона
  - < размах движения ЧОТ (F0)
  - < направление движения ЧОТ (F0)
  - < сложность движения ЧОТ (F0)

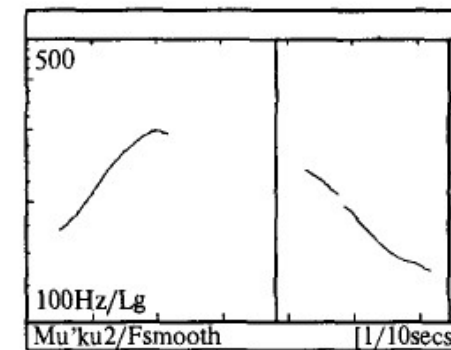
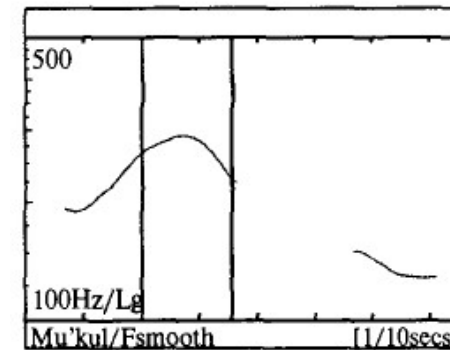
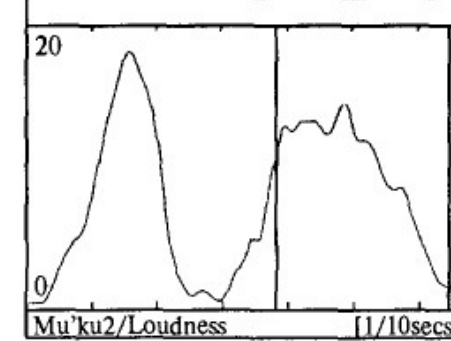
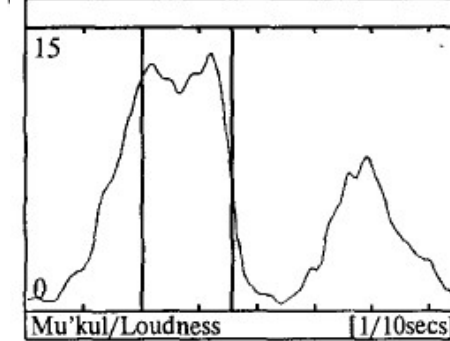
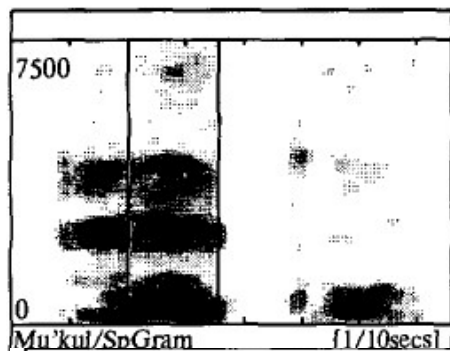
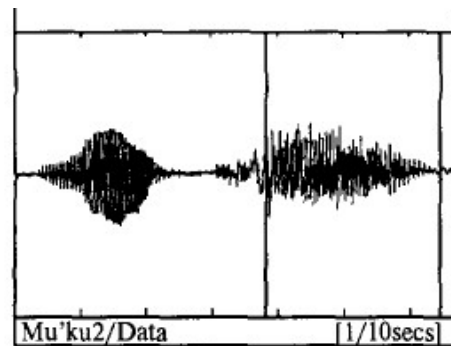
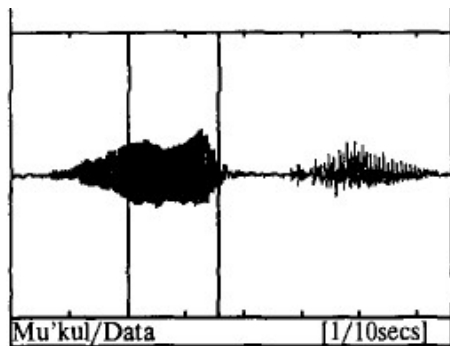
## Изменение ЧОТ в тонах тайского языка



## Словесная просодия

- словесное ударение
- ударный слог по сравнению с безударными
- более тщательно
- с бОльшим мускульным усилием
- достижение артикуляционно-акустических целей звуков
- бОльшая длительность и бОльший стационарный участок гласного
  
- безударные гласные
- количественная и качественная редукция
- меньшая длительность и изменения спектра

# МУКУ - МУКУ





- **ударный слог** – место реализаций фразовых просодий

+ выделение даже без интонационной нагрузки

- **вариативность реализации словесного ударения (комбинаторика акустических коррелятов)**



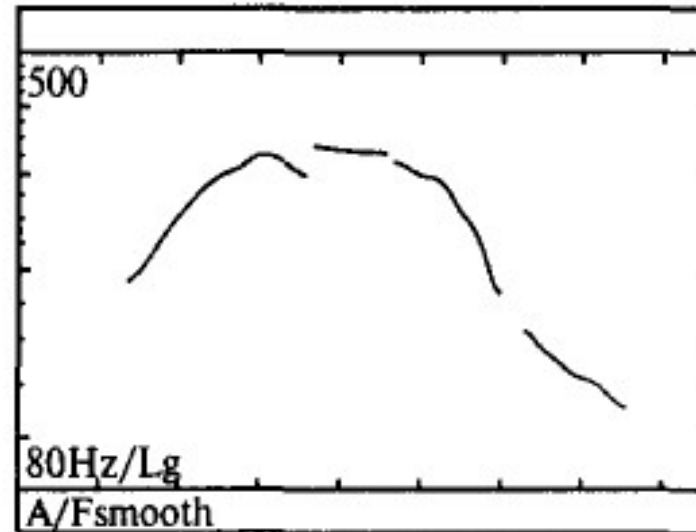
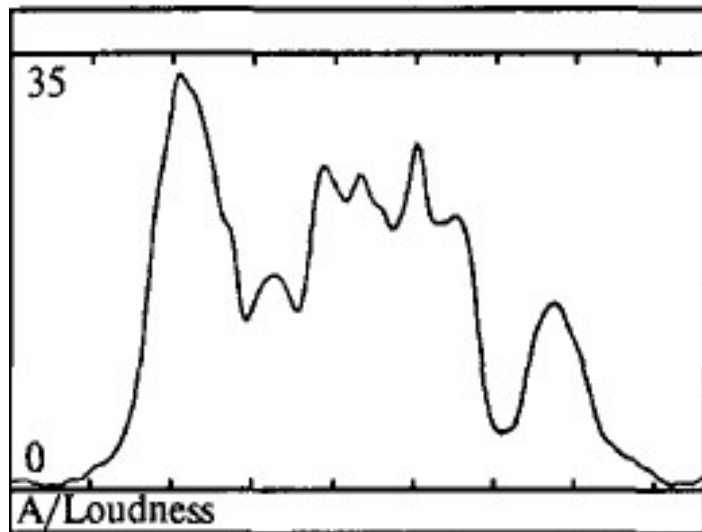
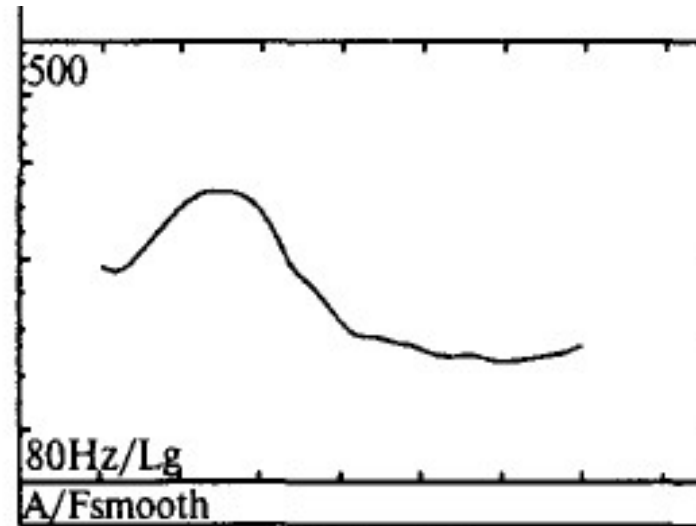
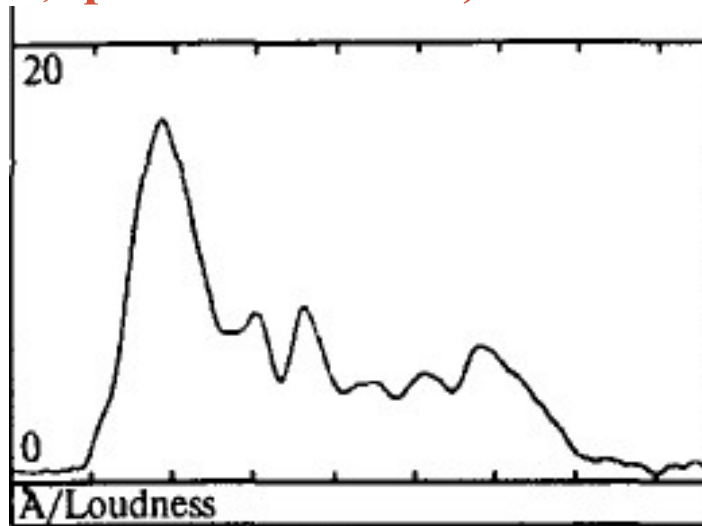
## Фразовая просодия

- ~ **интонация**
- активная «работа» просодических параметров (с разной нагрузкой)
- наиболее «нагруженный» просодический параметр – **частота основного тона (ЧОТ)**
  
- **интегральные просодические свойства**
  - хар-ка протяженного речевого отрезка
  - общий темп, громкость, высотный регистр голоса, ширина диапазона, полный / небрежный тип произнесения (взаимодействие просодических параметров, выход некоторых из них на первый план)
- **локальные просодические свойства** (на ударном слогe)

- **общий темп** ~ **длительность** фразы, слогов, звуков
- **громкость** ~ **интенсивность** (разная степень голосового усилия > изменения в состоянии голосовых связок и в спектре голосовых колебаний > изменения в ЧОТ и спектральной картине)
- **регистр и диапазон** ~ средняя ЧОТ (F0) и величина ее модуляции относительно среднего
- **фразовые тональные акценты**

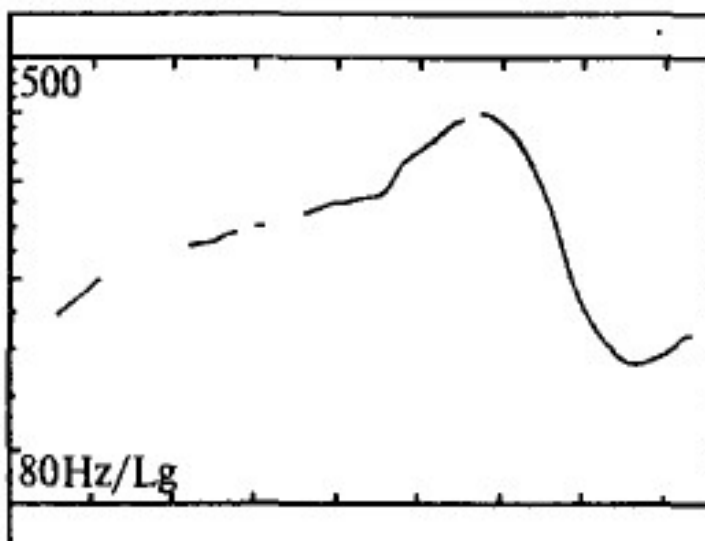
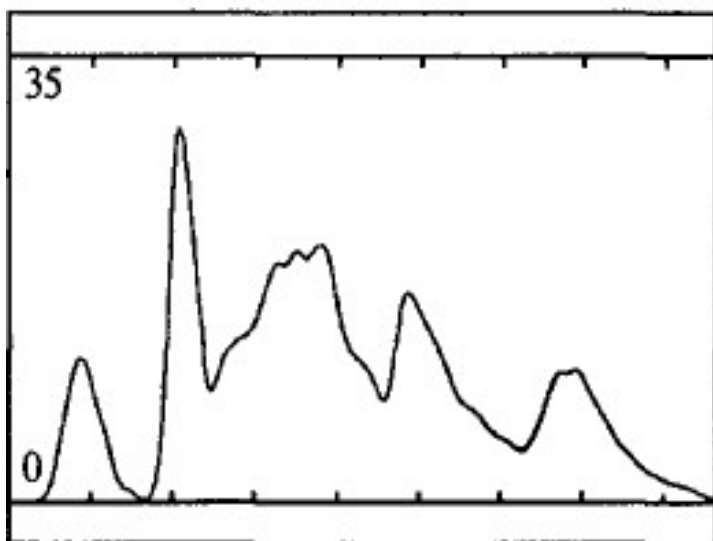
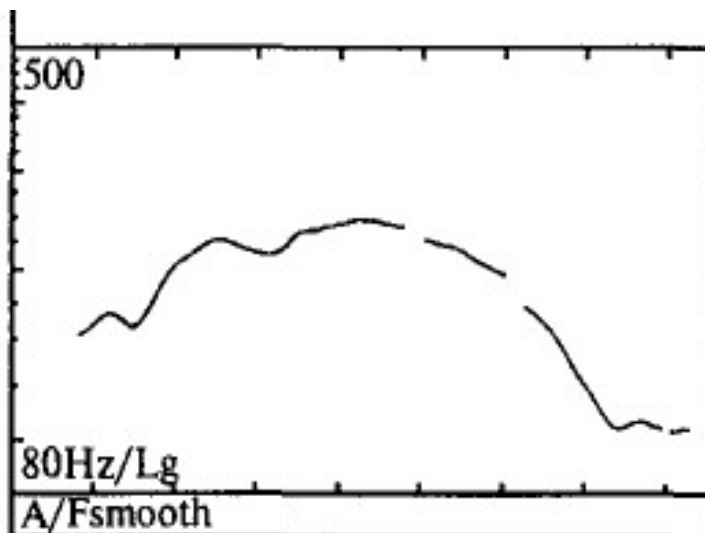
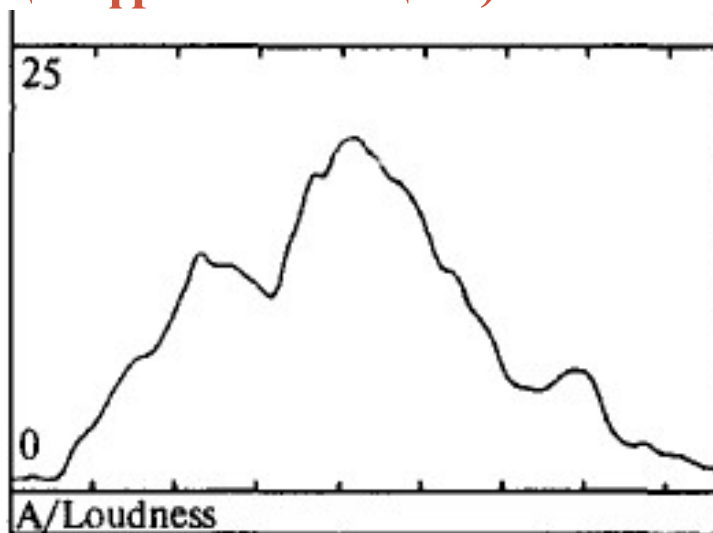
[Как называется эта ягода?] *Малина.* (нейтрал. ответ на вопрос, громкость средняя)

[Как, ты сказала, называется эта ягода?] [Ты что, не слышал?] *Малина.* (повтор сообщения, громкость больше)



[Как, ты сказала, называется эта ягода?] [Тише, я же сказала.] *Малина.* (повтор сообщения, громкость пониженная)

[А это что за ягода?] *Это малина?* (удостоверительный вопрос, восходяще-нисходящий фразовый акцент)



## Литература к разделу «Акустика речи»

- *Кодзасов С. В., Кривнова О. Ф.* Общая фонетика. М., 2001.
- *Фант Г.* Акустическая теория речеобразования. М., 1964.
- *Borden G. J., Harris K. S., Raphael L. J.* Speech science primer. Physiology, Acoustics and Perception of Speech. Baltimore: Williams and Wilkins, 1994.
- *Clark J., Yallop C.* An Introduction to Phonetics and Phonology. Blackwell, 1994.
- *Johnson K.* Acoustic and Auditory Phonetics. Oxford: Blackwells, 1997.
- *Kent R. D., Read Ch.* The acoustic analysis of speech. San Diego, 1992.
- *Ladefoged P.* Elements of Acoustic Phonetics. 2<sup>nd</sup> ed. Chicago: University of Chicago Press, 1996.
- *Ladefoged P.* A course in Phonetics. USA, Heinle & Heinle, 2001.
- *Lieberman Ph., Blumstein Sh. E.* Speech Physiology, Speech Perception and Acoustic Phonetics. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- *Pickett J. M.* The Acoustics of Speech Communication: Fundamentals, Speech Perception Theory and Technology. Allyn and Bacon, 1999.
- *Stevens K.* Acoustic Phonetics. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1999.
- The Cambridge Handbook of Phonology // Ed. *Paul de Lacy.* Cambridge: Cambridge University Press, 2007.



# **Praat**

## **Doing Phonetics by Computer**

- **Paul Boersma**
- **David Weenink**
  
- **University of Amsterdam**
  
- **Versions**
- 1.0 – July 2011
- 1.7 – January 2017



# Praat

## Doing Phonetics by Computer

- Вся актуальная информация о программе Praat на сайте + возможность скачать программу:

**<http://praak.org/>**

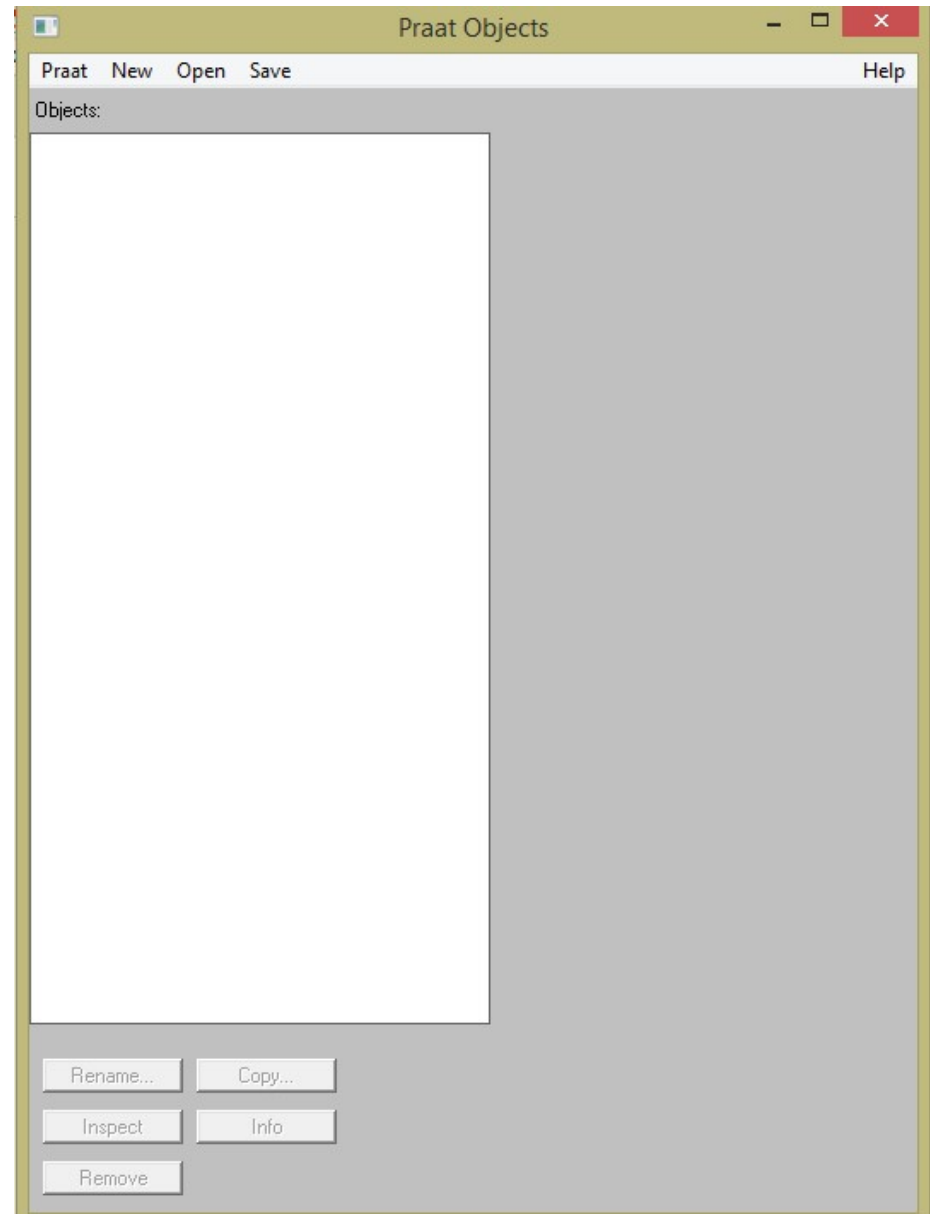
## Литература

- **Paul Boersma & David Weenink.** Praat, a system for doing phonetics by computer, version 3.4. Institute of Phonetic Sciences of the University of Amsterdam, 1996. Report 132. 182 pages.
- **Paul Boersma.** Optimality-Theoretic learning in the Praat program. IFA Proceedings 23: 17-35 (= Rutgers Optimality Archive 380). 1999.
- **Paul Boersma.** Praat, a system for doing phonetics by computer. Glot International 5(9/10): 341-345. 2001.
- **Paul Boersma.** Acoustic analysis. [preprint, 2013/02/02]. In: *Robert Podesva and Devyani Sharma* (eds.): Research methods in linguistics, 375-396. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- **Paul Boersma.** The use of Praat in corpus research. [preprint, 2012/04/16]. In: *Jacques Durand, Ulrike Gut & Gjert Kristoffersen* (eds.): The Oxford handbook of corpus phonology, 342-360. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- **Will Styler.** Using Praat for Linguistic Research. Document Version: 1.7. Last Update: January 2, 2017 // <http://savethevowels.org/praat/>.



## Окна программы Praat

- При открытии два окна:
  - окно **Praat Objects**
    - для открытия
    - для создания
    - для сохранения
- аудиофайлов

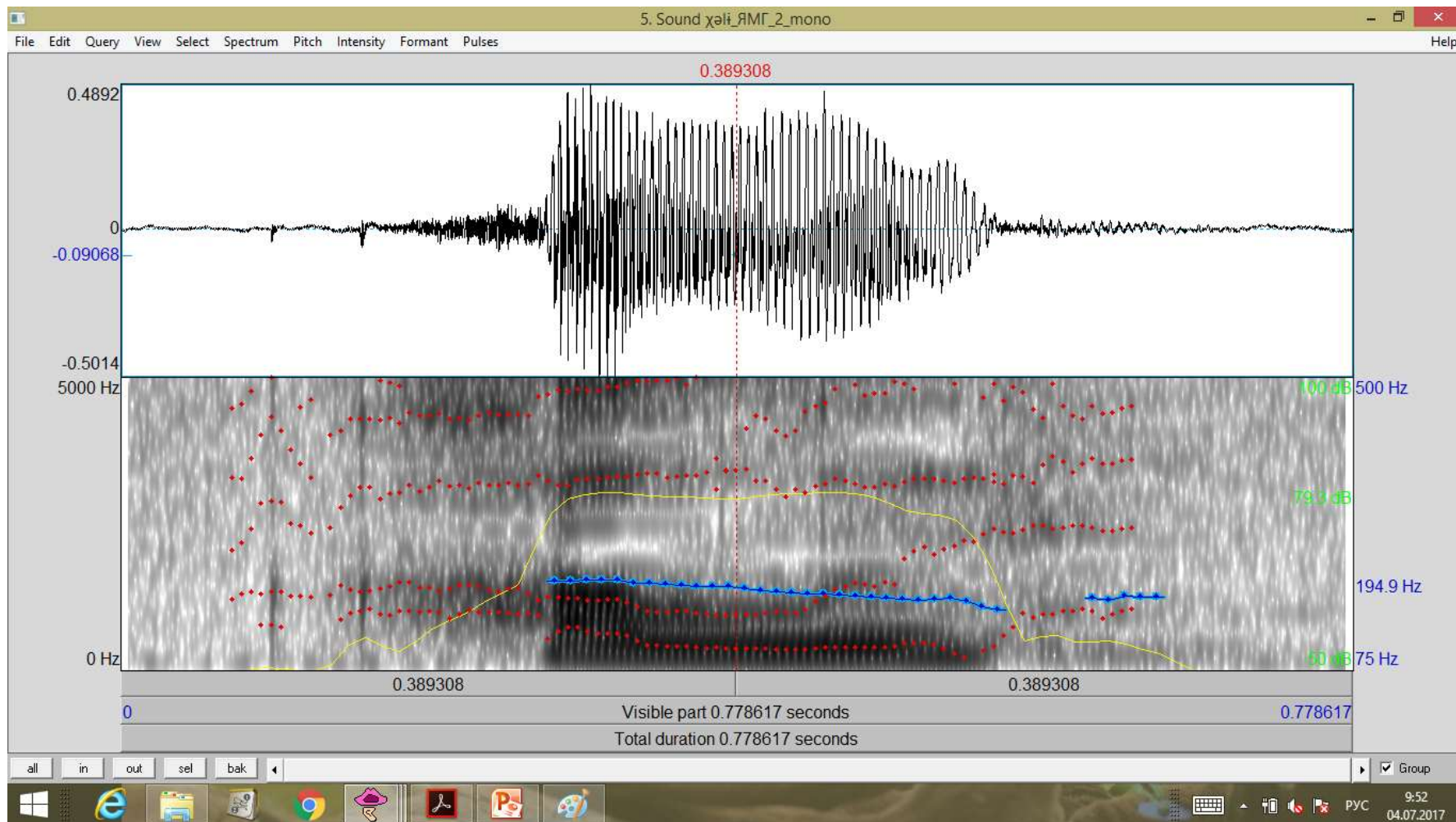


# окно Praat Objects

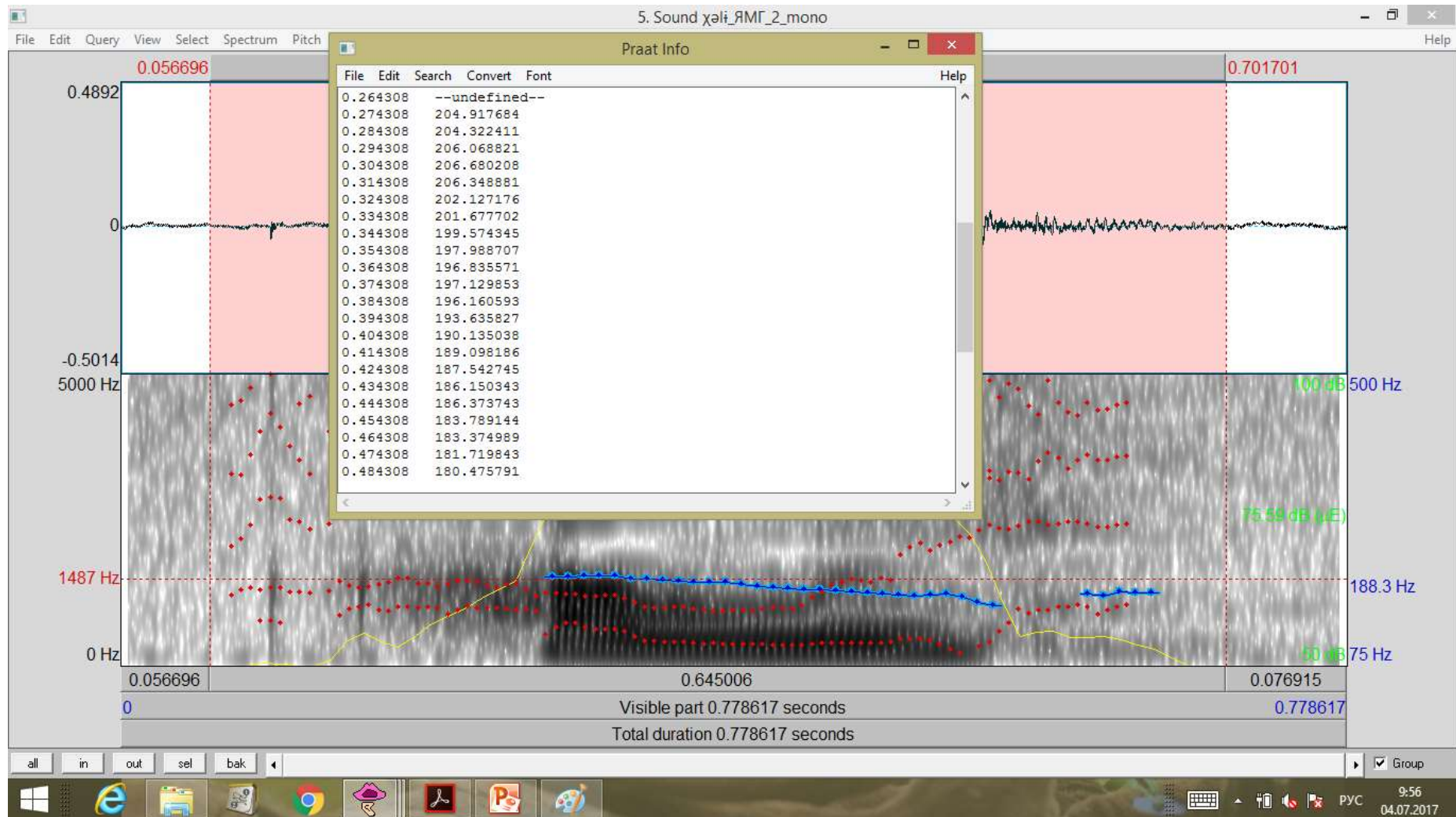
при открытии  
звукового файла



# View & Edit (Просмотр и редактирование) > Editor Window (окно редактирования)

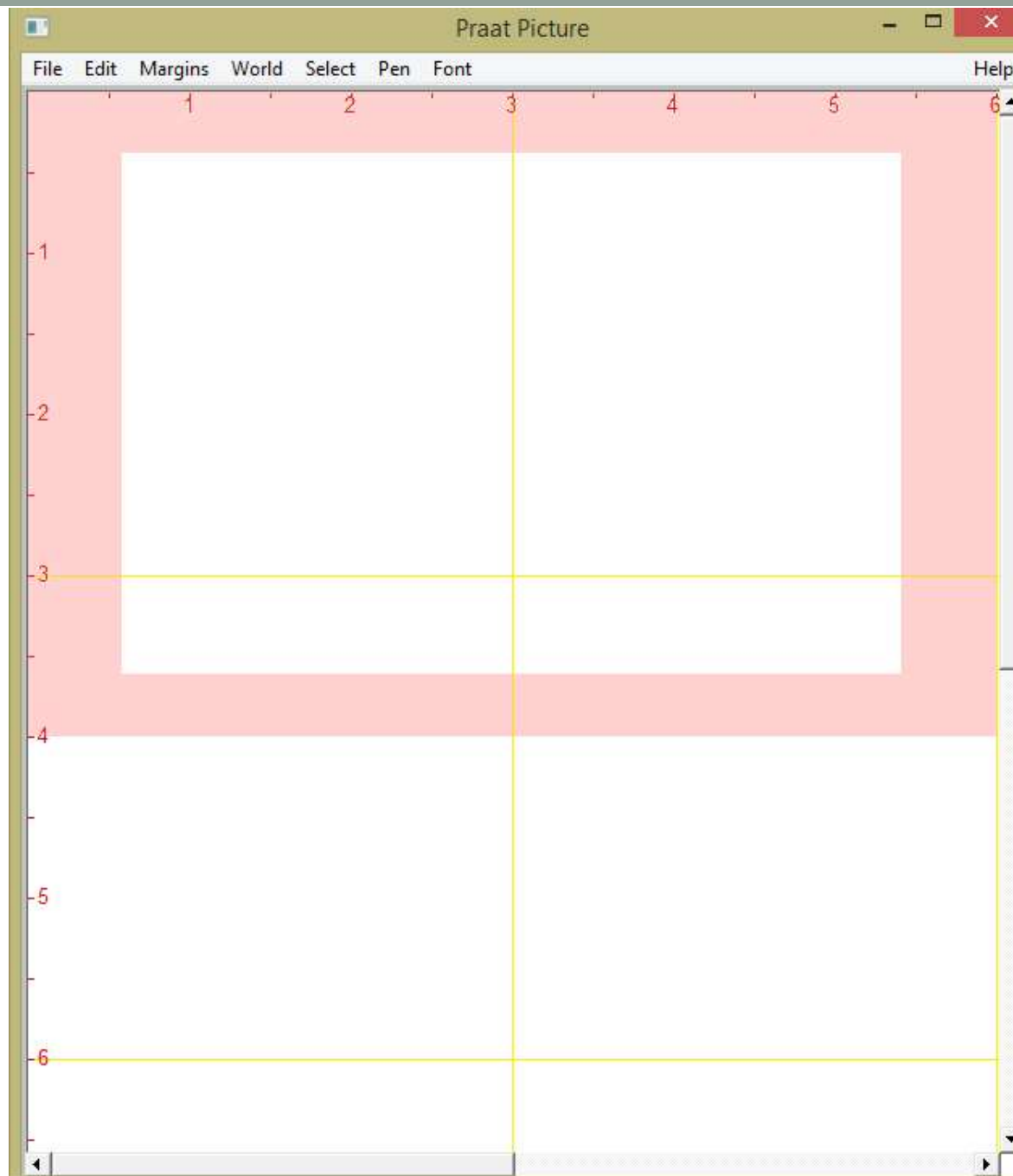


# Окно Info Window: информация, результаты измерений, данные



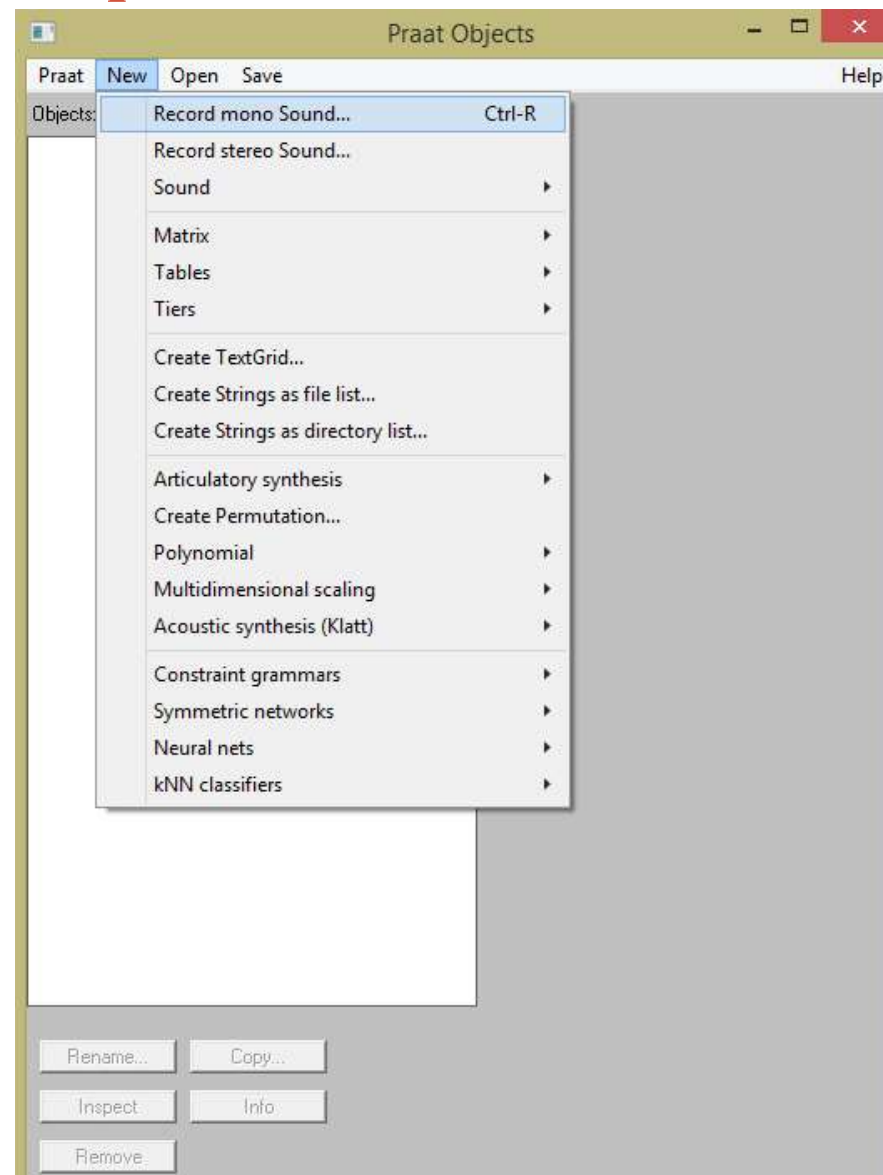
## Второе окно при открытии:

- окно Praat Picture



## Recording Sounds / Запись аудиофайлов

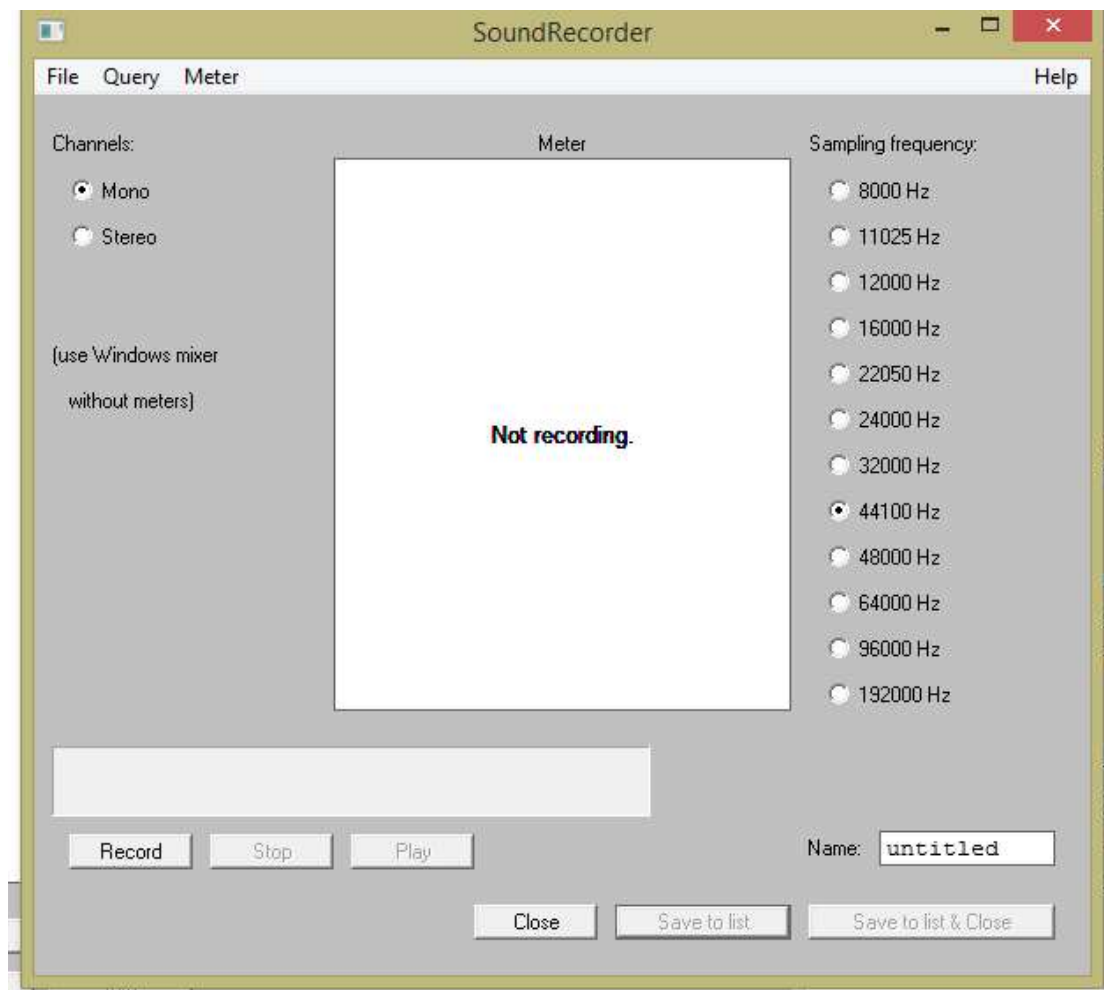
- ВКЛЮЧИТЬ микрофон
- **Objects > New > Record mono Sound**



# Recording Sounds / Запись аудиофайлов

## Окно Sound Recorder (Запись аудиофайлов)

- 44 100 Hz (Гц)
- Record / Запись
- Stop / Стоп
- Name > Save to list  
Назвать > Сохранить



## Запись длинных аудиофайлов

- *Praat* > *Preferences* > *Sound Recording Preferences*
- **Audacity** <http://audacity.sourceforge.net/>



## Opening Files / Открыть аудиофайл

- Подходят форматы:
  - .aiff
  - .wav
  - .flac
- НЕ подходят форматы:
  - .wma, .mp3, .m4a
- *Objects > Open > Read from File...*
- **Ctrl + O**

## Работа с длинными (долгими) аудиофайлами

- *Objects > Open > Open long sound file...*
- **Нарезать длинные аудиофайлы на короткие можно в программе:**

**Audacity** <http://audacity.sourceforge.net/>

## **Saving files / Сохранение аудиофайлов**

*Objects > Save > Save as \_\_\_\_\_ file*

**Иначе при закрытии Praata изменения не сохранятся!**

1) Звуковые файлы сохраняем как *Save as WAV file*.

2) Другие файлы (разметки TextGrids, formant objects, pitch objects...) сохраняем как *Save as text file*.

3) Звук + разметка – можно сохранить как *Save as binary file* (PraatCollection).

# Phonetic Measurement and Analysis in Praat

## Фонетический анализ в программе Praat

### Работа с осциллограммами (waveforms) и спектрограммами (spectrograms)

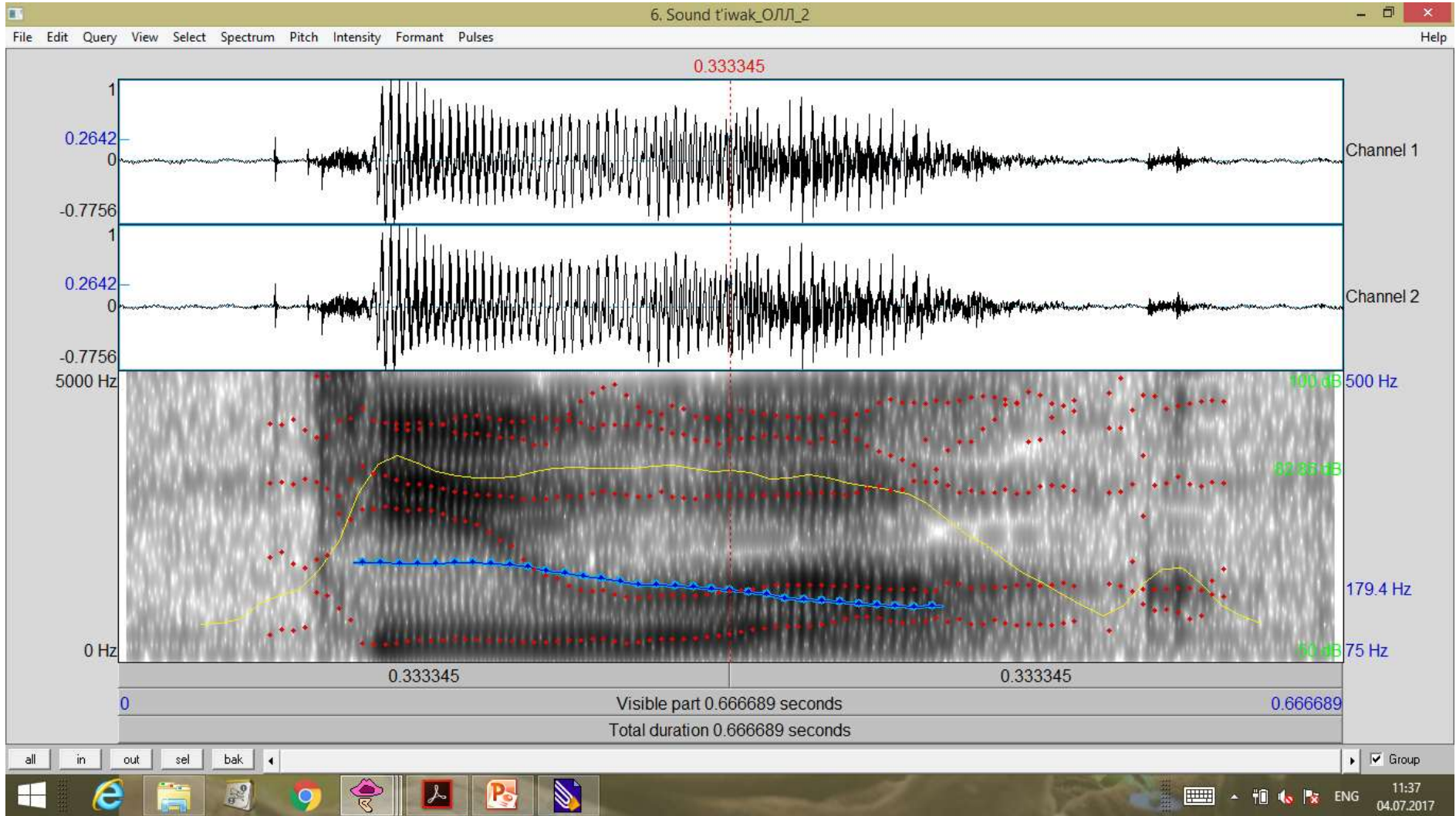
- 1) загрузить аудиофайл в окно Praat Objects
- 2) выделить его (синим)
- 3) *Objects > View & Edit*

**Желтая линия – интенсивность (дБ) / Intensity**

**Голубая линия – частота основного тона, ЧОТ (Гц) / Pitch**

**Красные точки – форманты / Formants**

Чтобы прослушать звук – нажать на серое поле **Total Duration**.



## Приближение и отдаление

- Editor Window > View > Zoom (приближение и отдаление)
- или комбинации клавиш на клавиатуре
- Одни и те же настройки для нескольких одновременно открытых файлов.

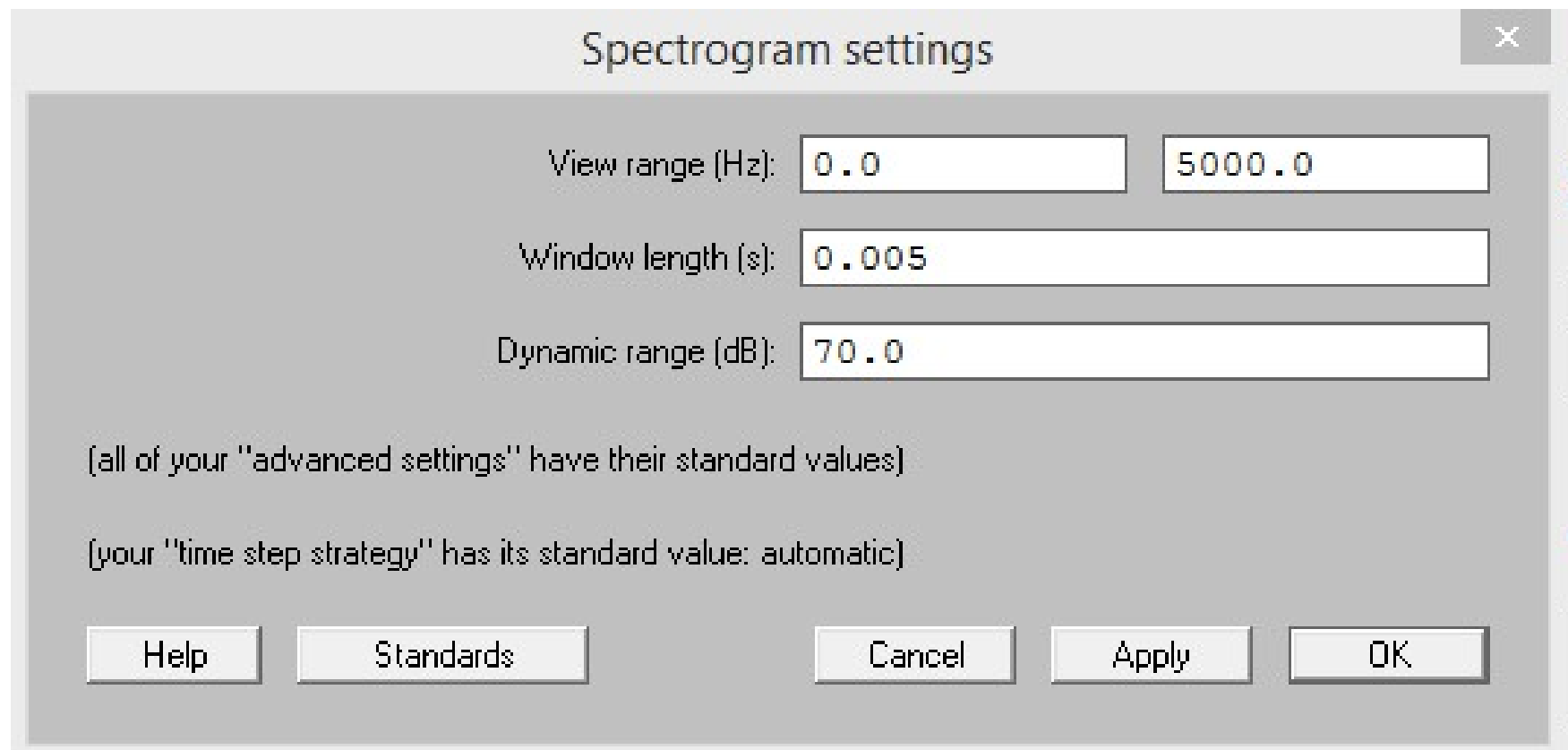
## **Pulling out a smaller section of the file for analysis**

## **Вычленение отдельного звукового отрезка для анализа**

- *Editor > File > Extract Selected Sound (time from 0)*
- Этот звуковой отрезок будет доступен как отдельный файл в окне Praat Objects.

## Spectrogram Settings / Настройки спектрограмм

- **0-5000 Гц (Hz)**
- *Editor > Spectrum > Spectrogram Settings*



The image shows a software dialog box titled "Spectrogram settings". It contains three input fields for configuration:

- View range (Hz):** Two input boxes with values "0.0" and "5000.0".
- Window length (s):** One input box with the value "0.005".
- Dynamic range (dB):** One input box with the value "70.0".

Below the input fields, there are two lines of explanatory text:

- [all of your "advanced settings" have their standard values]
- [your "time step strategy" has its standard value: automatic]

At the bottom of the dialog, there are five buttons: "Help", "Standards", "Cancel", "Apply", and "OK".



## View Range

- Для изучения акустики речи обычно – от 0 до 5000-6000 Гц.
- НО: для детального изучения фрикативных согласных – до 15 000 Гц.
- Для изучения музыкальной акустики – 100-2000 Гц.

## • Dynamic Range

- спектрограммы слишком темные или слишком светлые
- обычно 50 дБ – достаточно для многих целей
- подбор на практике

## Narrowband spectrogram /

## Узкополосные спектрограммы

- гармоники и ЧОТ (F0)
- “small window, bad frequency, good timing”
- 1. *Editor > Spectrum > Spectrogram Settings*
- 2. Установите *Window Length* 0.025 (или на выбор)
- 3. Нажмите ОК

## Broadband spectrogram /

## Широкополосные спектрограммы

- темпоральные характеристики звука и форманты гласных
- “wide window, good frequency, bad timing”
- 1. *Editor > Spectrum > Spectrogram Settings*
- 2. Установите *Window Length* 0.005 (или на выбор)
- 3. Нажмите ОК

## Измерение длительности звуковых отрезков

- выделить нужный звуковой отрезок
- *Editor > Query > Get selection length*
- или посмотреть длительность внизу на сером поле
  
- 0,01... сек. = 10 мсек.
- 0,1... сек. = 100 мсек.
- 0,001 сек. = 1 мсек.
  
- Total duration
- Visible Part

## Измерение F0 / Pitch (частоты основного тона, ЧОТ)

- *Editor > Pitch > Show Pitch*
- отображается как голубая горизонтальная линия
- измеряется в Гц (герцах)
- \*\*на узкополосной спектрограмме (0-400 Гц, изменить в настройках спектрограммы)
- *Editor > Pitch > Get Pitch* (средняя ЧОТ)
- **Max**
- **Min**

## Настройки параметров ЧОТ (Pitch Settings)

- *Editor > Pitch > Pitch Settings...*
- **Pitch Range:** 50-400 Гц для общих целей.
- Для песен и детской речи – выше.
- < базовая (нейтральная) частота основного тона  
конкретного носителя языка
- **Unit:** единица измерения (Гц, мел...).
- **Analysis Method**

## Настройки параметров ЧОТ (Pitch Settings)

- *Editor > Pitch > Advanced Pitch Settings...*
- + скрипты

## Измерение Pulses, Jitter, Shimmer and Harmonics-to-noise ratio

- *Editor > Pulses > Show Pulses*
- Голубые вертикальные линии



# Sound Help > Manual > Search > Symbols

	bilabial	labiodental	dental	alveolar	alv. lateral	postalveolar	retroflex	alveolo-palatal	palatal	labial-palatal	labial-velar	velar	uvular	pharyngeal	epiglottal	glottal
voiceless plosive	p p			t t	tʰ tʰ	ʈ ʈ		c c				k k	q q	ʕ ʕ	ʔ ʔ	
voiced plosive	b b			d d	dʰ dʰ	ɖ ɖ		ɟ ɟ				g g	ŋ ŋ			
nasal	m m	ɱ ɱ		n n		ɳ ɳ		ɲ ɲ				ŋ ŋ	ɴ ɴ			
voiceless fricative	ɸ ɸ	f f	θ θ	s s	ʃ ʃ	ʂ ʂ	ç ç	ç̣ ç̣		ɬ ɬ	x x	χ χ	ħ ħ	ħ ħ	h h	
voiced fricative	β β	v v	ð ð	z z	ʒ ʒ	ʐ ʐ	ʒ̣ ʒ̣	ʒ̣̄ ʒ̣̄				ɣ ɣ	ʁ ʁ	ʕ ʕ	ħ̣ ħ̣	
approximant	ʋ ʋ			ɹ ɹ	ɻ ɻ		ɻ̄ ɻ̄	j j	ɥ ɥ	w w	ɥ̄ ɥ̄					
trill	ʙ ʙ			r r								ʀ ʀ				
tap or flap				ɾ ɾ	ɽ ɽ											
lateral approx.				l l	ɭ ɭ			ɮ ɮ				ʟ ʟ				
implosive	ɓ ɓ			ɗ ɗ				ɟ̣ ɟ̣				ɠ ɠ	ɠ̣ ɠ̣			
	ɔ̥ ɔ̥	ɪ̥ ɪ̥		ɪ̥ ɪ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥	ɰ̥ ɰ̥

	front		central		back	
close	i i	y y	ɨ ɨ	ɠ ɠ	ɯ ɯ	u u
close centralized	ɪ ɪ	ʏ ʏ				ʊ ʊ
close-mid	e e	ø ø	ɘ ɘ	ɵ ɵ	ɤ ɤ	o o
			ə ə			
open-mid	ɛ ɛ	œ œ	ɜ ɜ	ɞ ɞ	ʌ ʌ	ɔ ɔ
open	æ æ	ɶ ɶ	ɚ ɚ		ɑ ɑ	ɒ ɒ