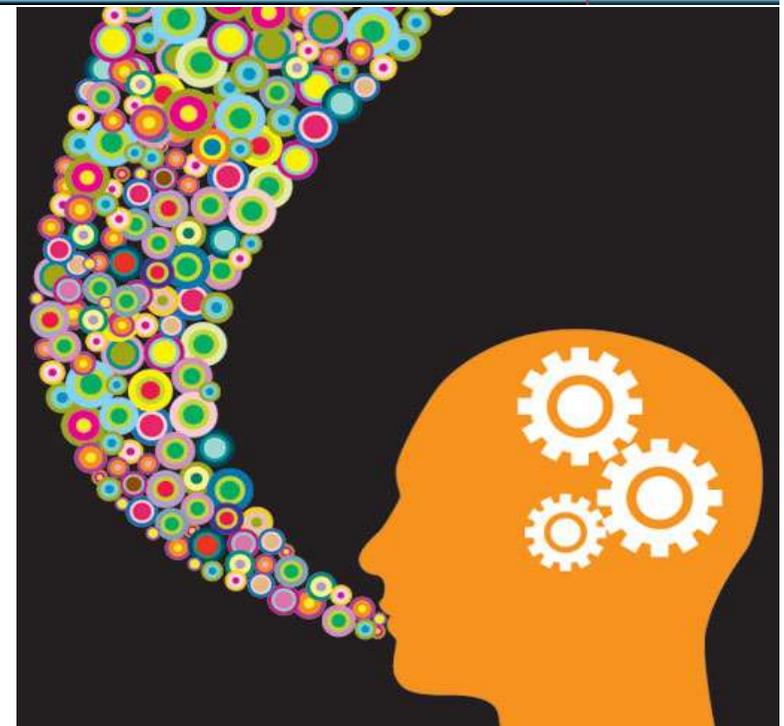
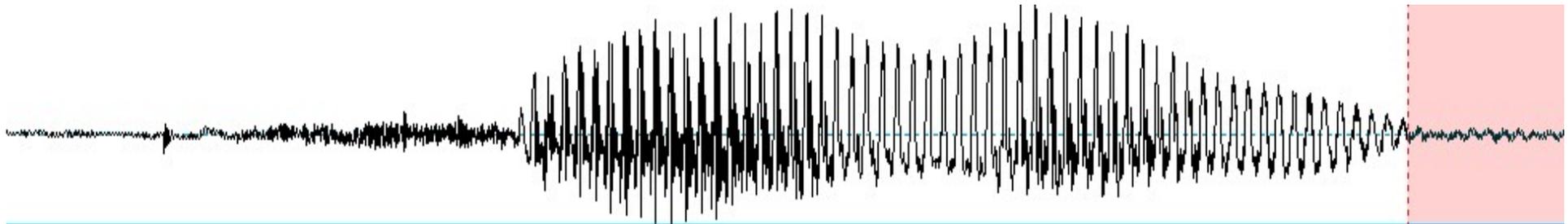
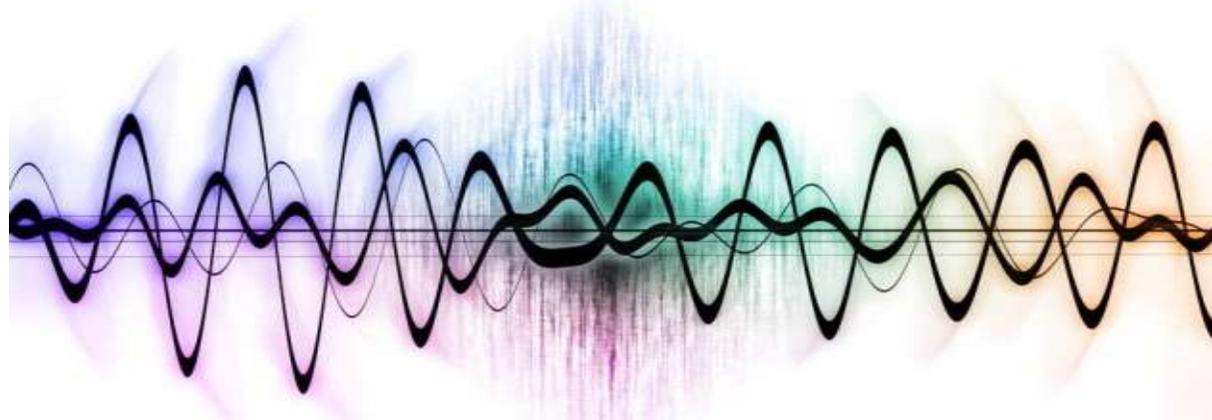


ВВЕДЕНИЕ В АКУСТИКУ РЕЧИ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО- ФОНЕТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА “PRAAT”



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

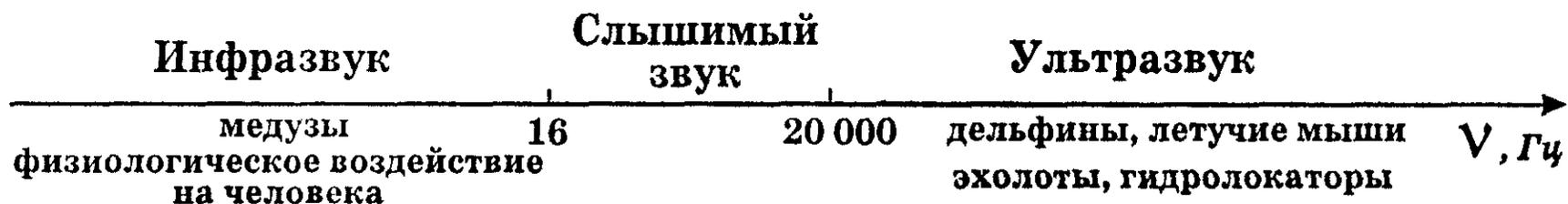
Звук – это физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твёрдой, жидкой или газообразной среде (вызывающих слуховые ощущения).



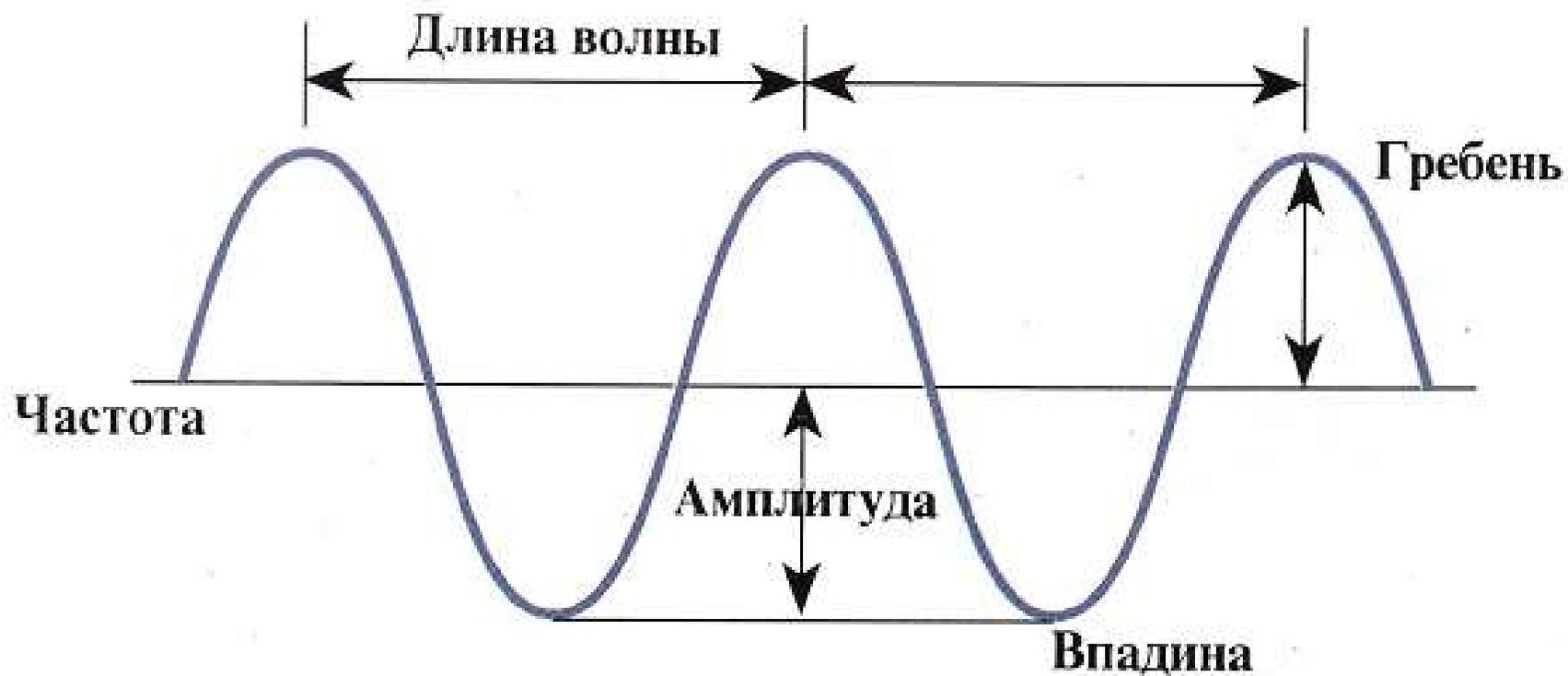
Звук

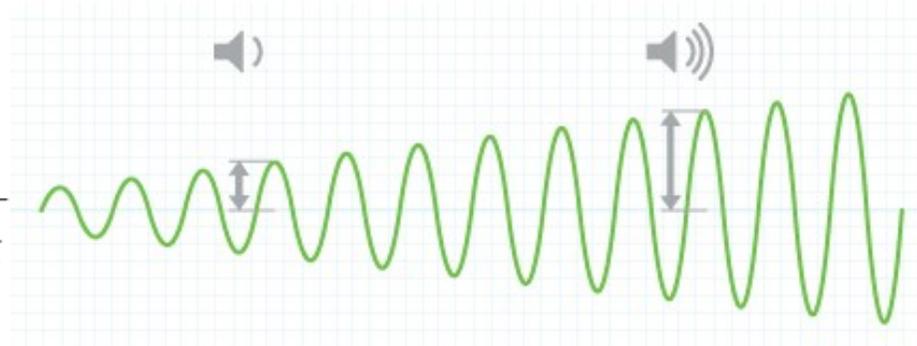
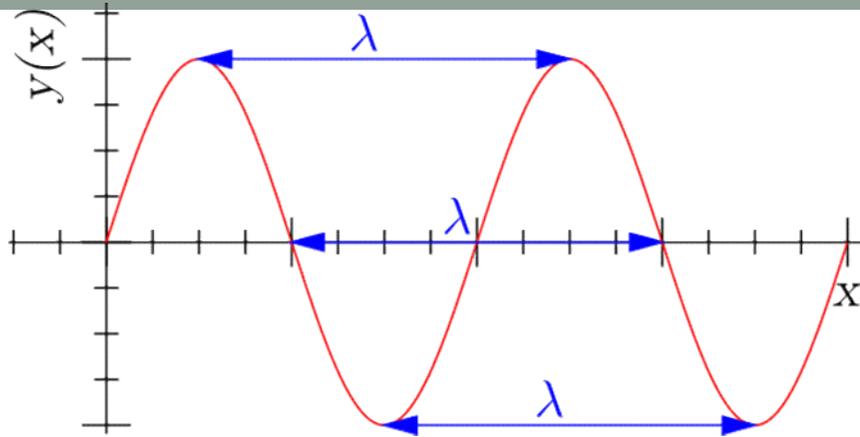


- Обычный человек способен слышать звуковые колебания в диапазоне частот от **16—20 Гц** до **15—20 кГц**.
- Ниже диапазона слышимости человека — **инфразвук**.
- Выше диапазона слышимости человека — **ультразвук и гиперзвук**.



Звуковая волна





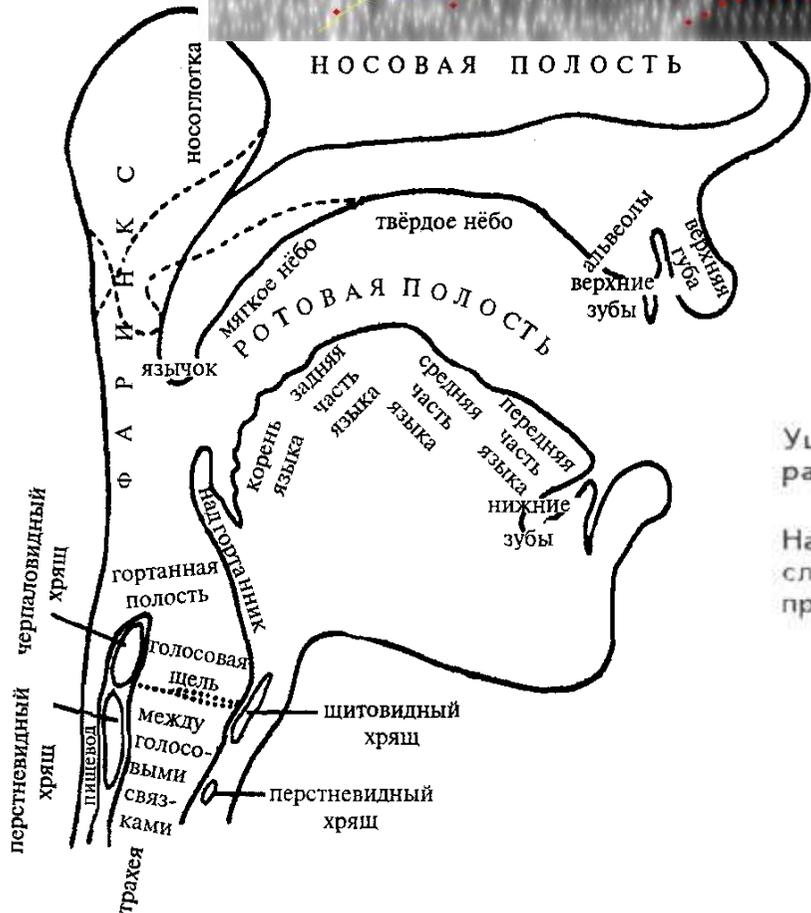
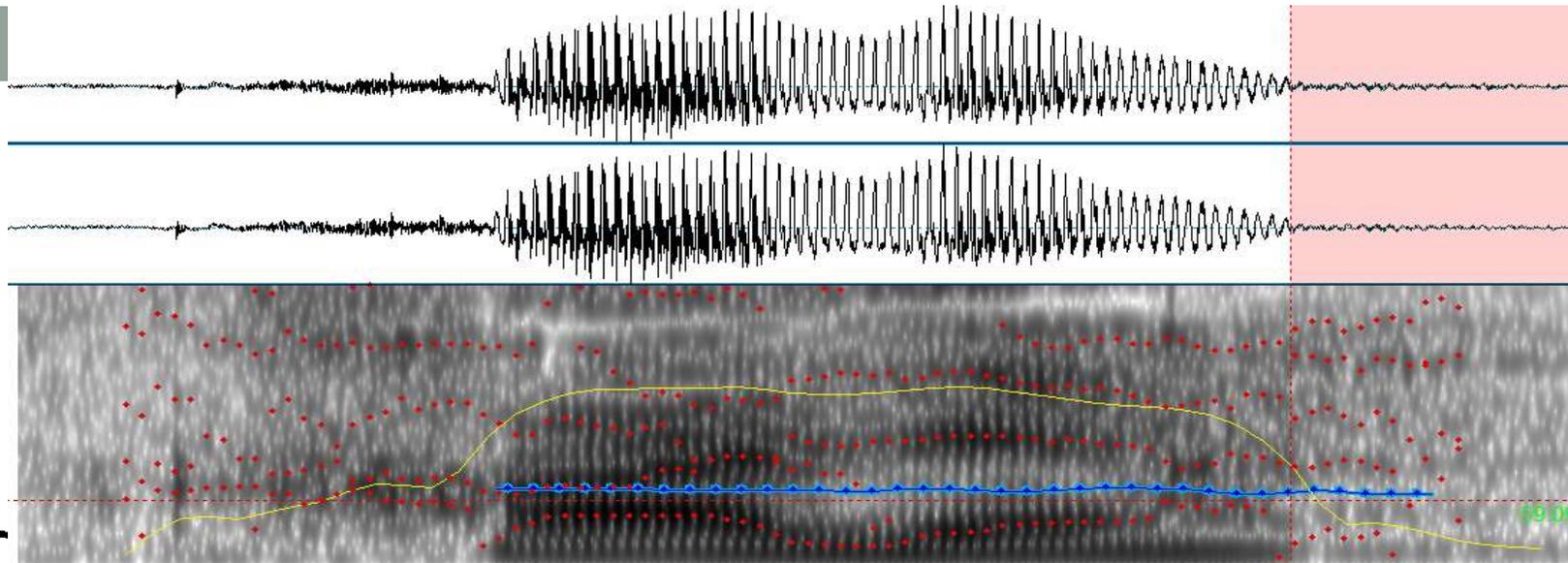
- **Длина волны** – расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками в пространстве, в которых колебания происходят в одинаковой фазе.
- **Амплитуда** – максимальное значение смещения или изменения переменной величины от среднего значения при колебательном или волновом движении.
- **Частота** – 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



Акустическая теория речеобразования

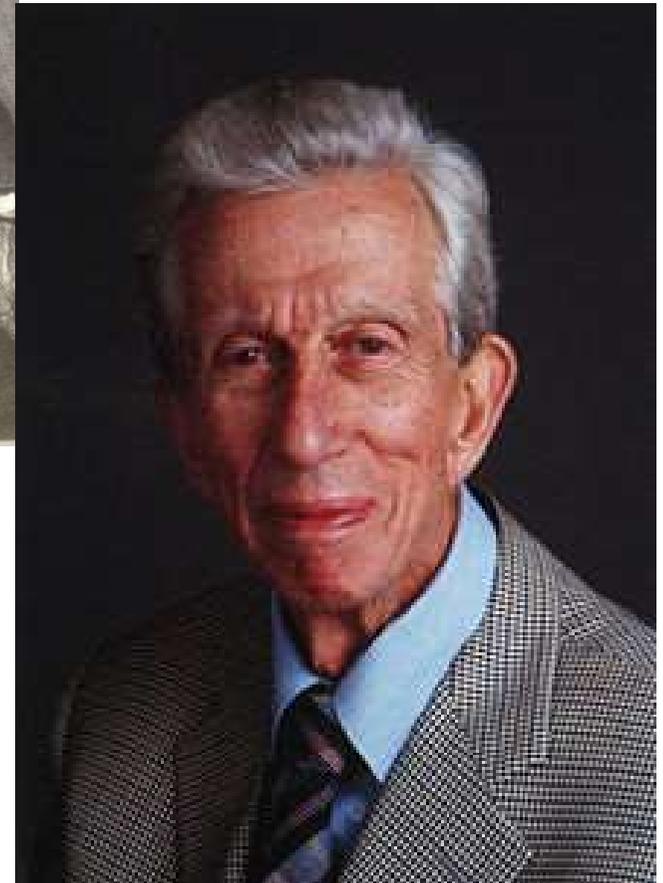
- АТР изучает связь между органической фазой артикуляции и акустическим результатом артикуляционных процессов.
- Задачи АТР:
 - выявить и количественно описать аэродинамические и акустические процессы, которые происходят в речевом тракте при артикуляции;
 - объяснить и интерпретировать физические речевые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

Основы АТР:

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

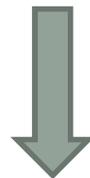
XX в. – работы
Гуннара Фанта
(1919-2009)

[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

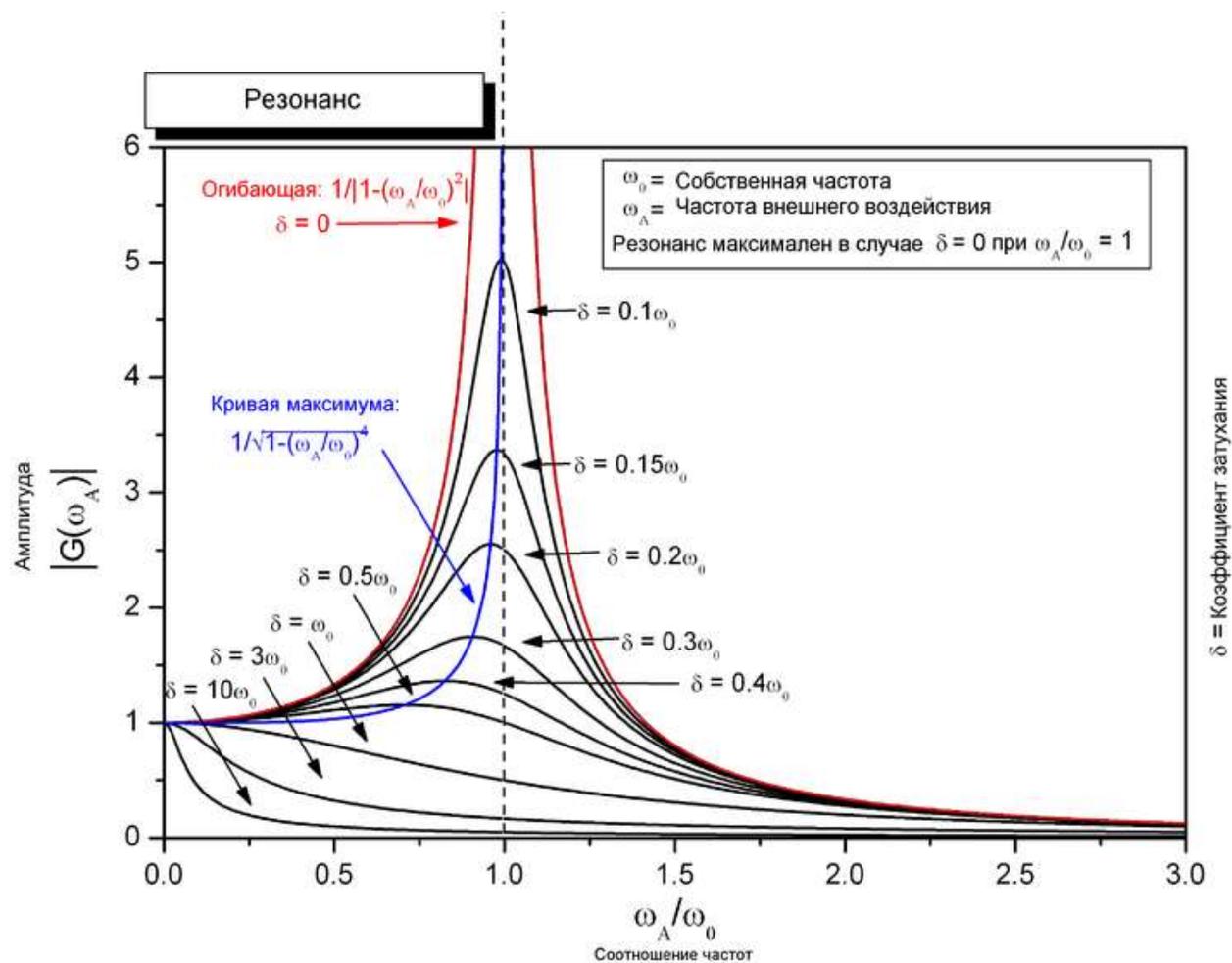
воздействия

с определенными

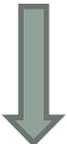
значениями,

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)

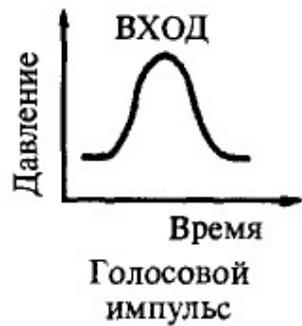
амплитудно-частотный спектр результирующих звуковых колебаний = амплитудно-частотный спектр колебаний, создаваемых источником звука × передаточная функция резонаторной системы речевого тракта (на той же частоте)

произнесение как динамический процесс >
параметр **времени**

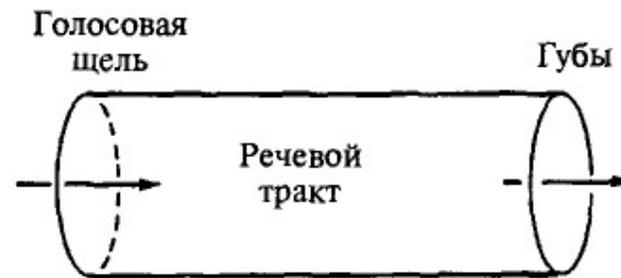
$$P(f, t) = S(f, t) \times T(f, t)$$

Образование речевого сигнала при производстве гласных

А



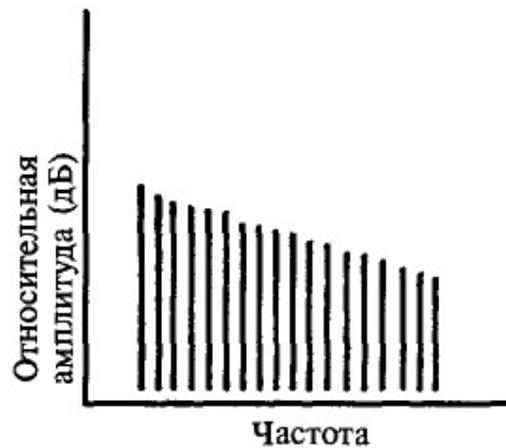
В



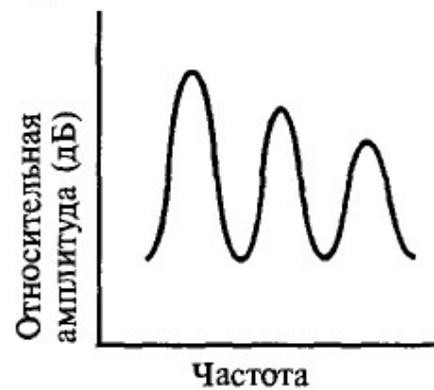
Д



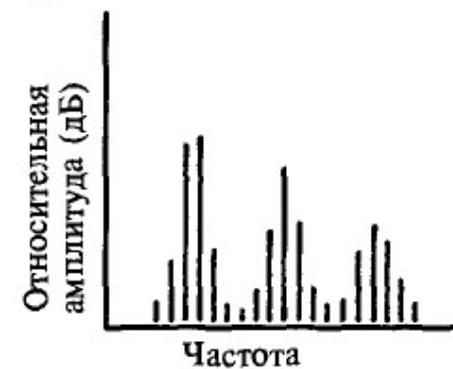
Б



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)**.

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)

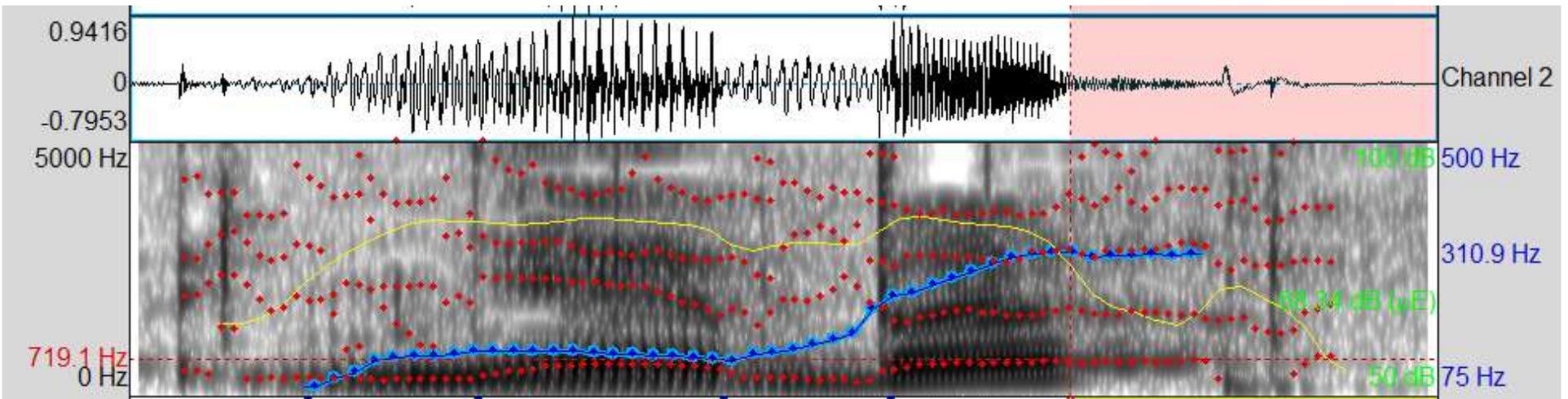
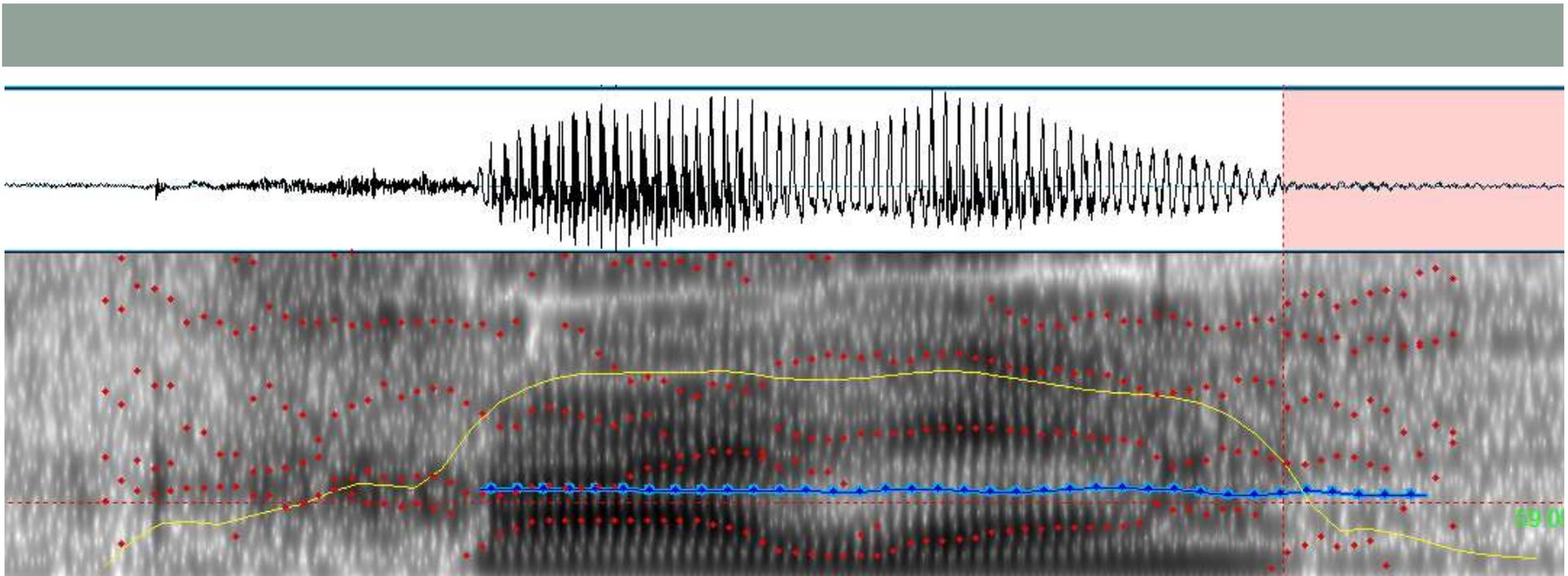
$F_0 = 100$ Гц > обертоны 200 Гц, 300 Гц, 400 Гц

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...

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

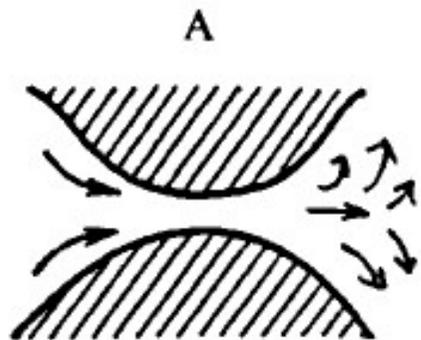
- сжатый воздух проходит через **сужение** и приобретает большую скорость
 - поток превращается в **высокоскоростную струю**
 - на выходе из сужения струя сталкивается с инертной воздушной массой и разбивается на фрагменты, содержащие **вихри**
 - вихри смешиваются с остальной массой воздуха
 - возникают **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

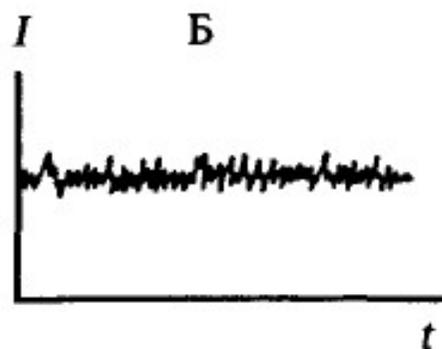
- 1) **фрикативный** (лат. frictio ‘трение’) – выше гортани
- 2) **аспиративный** (лат. aspiratio ‘дыхание’) – в гортанной полости (через открытую и несколько суженную голосовую щель – англ. [h]), небольшая амплитуда шума
- **Амплитуда (и интенсивность) шума** зависит от:
 - < размер сужения
 - < наличие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

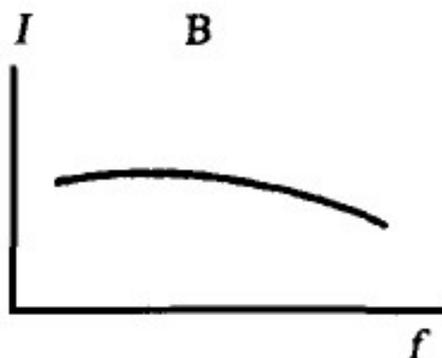
Турбулентный шумовой источник в речи



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

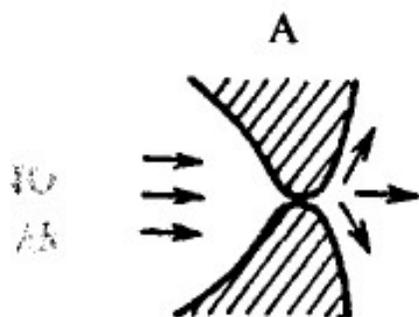
Импульсный источник звука

- **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**

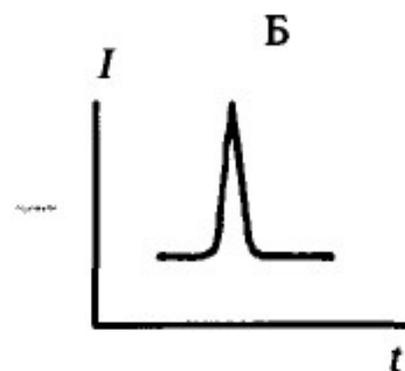
Амплитуда импульсного звука

- **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.

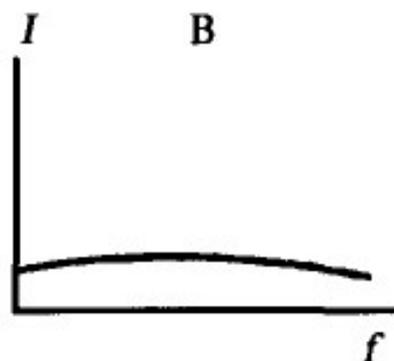
Импульсный источник в речи



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

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)

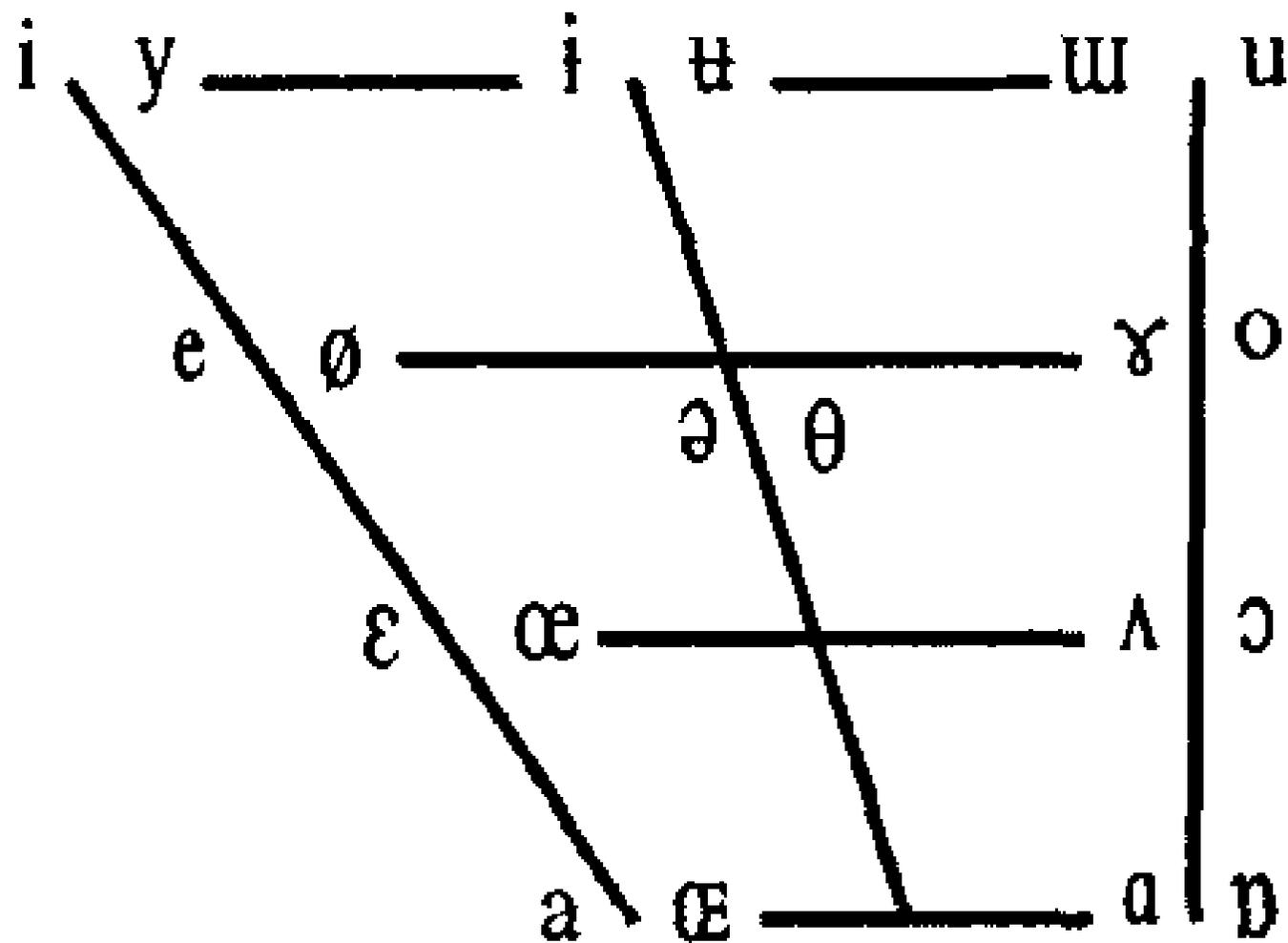
Ширина форманты (англ. bandwidth ‘полоса частот’) – определяется диапазоном частот по обе стороны от частоты форманты, которые получают усиление, примерно эквивалентное точному резонансному (**B1, B2, B3**).

Антирезонансы и антиформанты

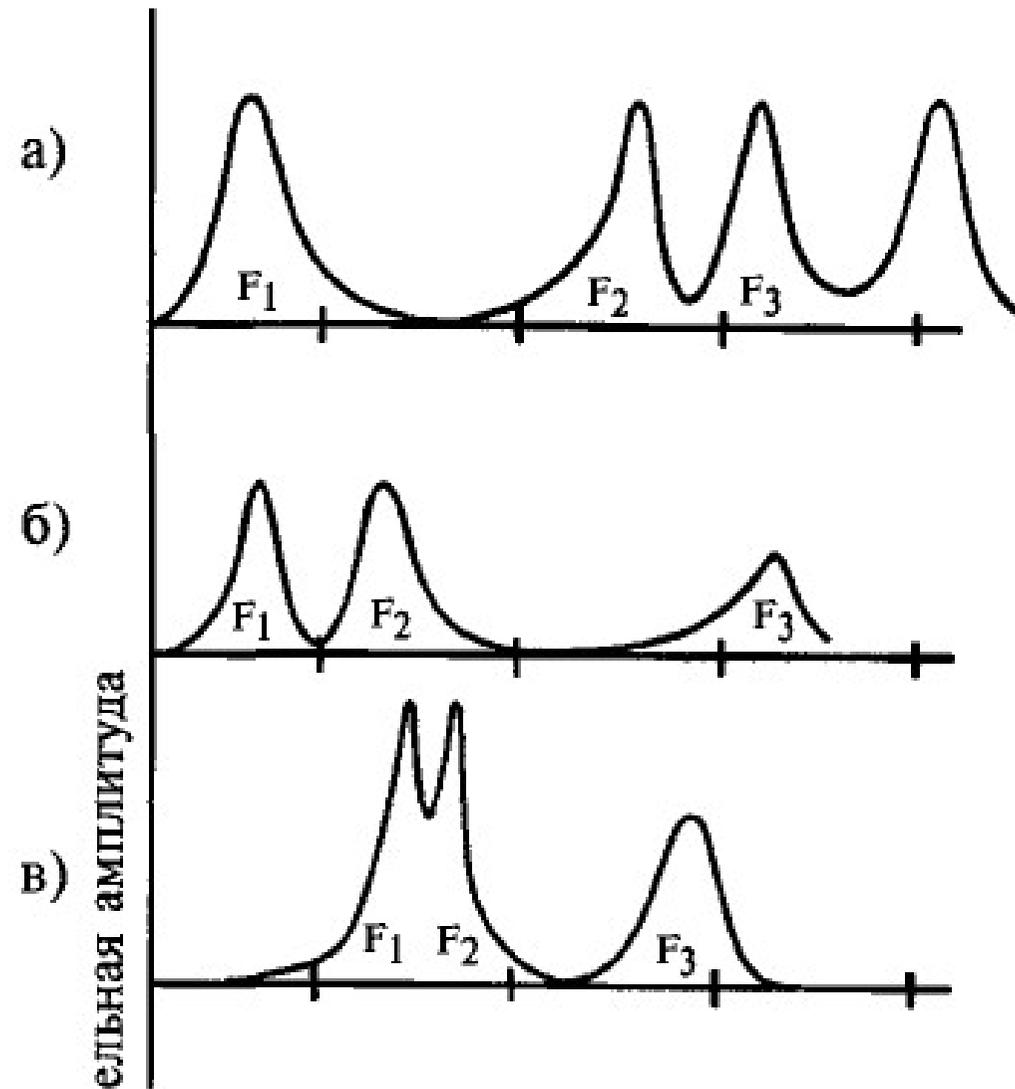
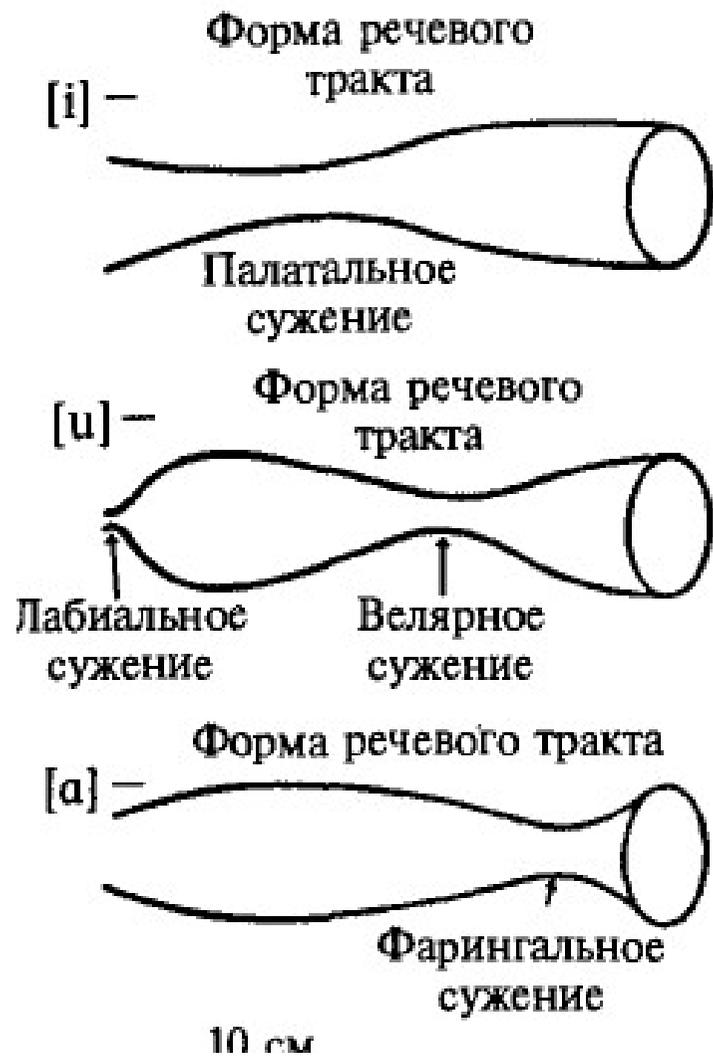
- **Антирезонансы** речевого тракта (противоп. резонансам) – резко ослабляют амплитуду составляющих с частотами, близкими собственной частоте антирезонанса > глубокие минимумы (до нулей) в передаточной функции или сильное подавление близких резонансных частот.
- **Антиформанты** – антирезонансы, или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

Z1, Z2, Z3

Классификация гласных



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).

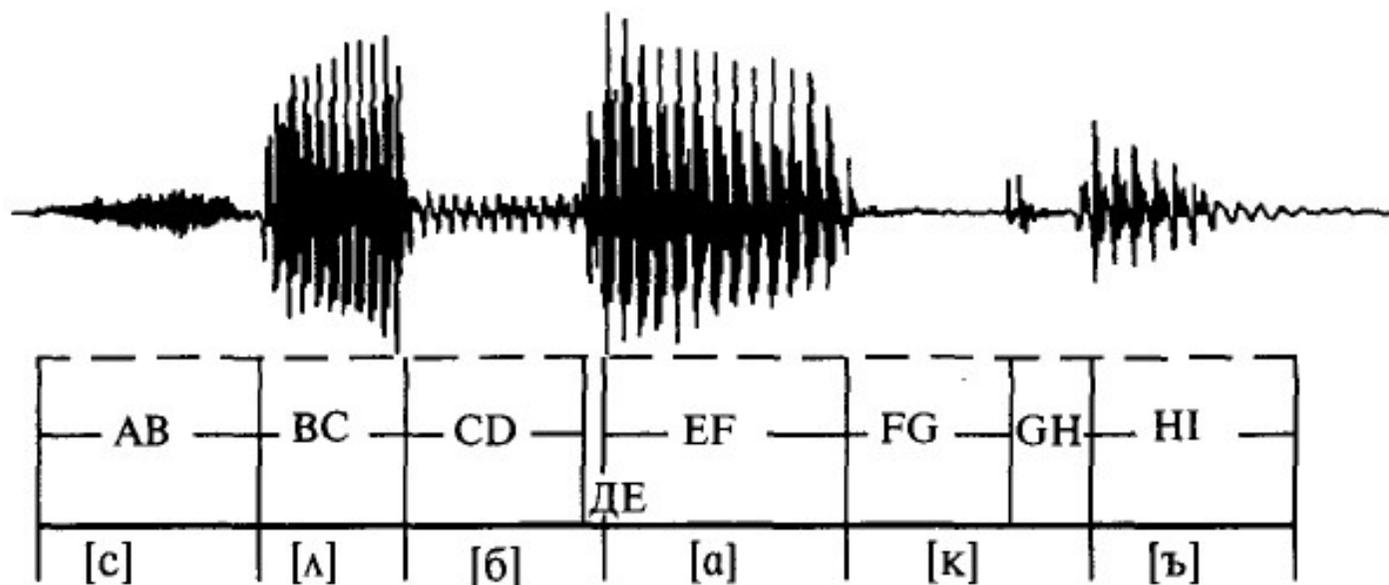
- 
- F1 – признак подъема
 - F2 – признак ряда

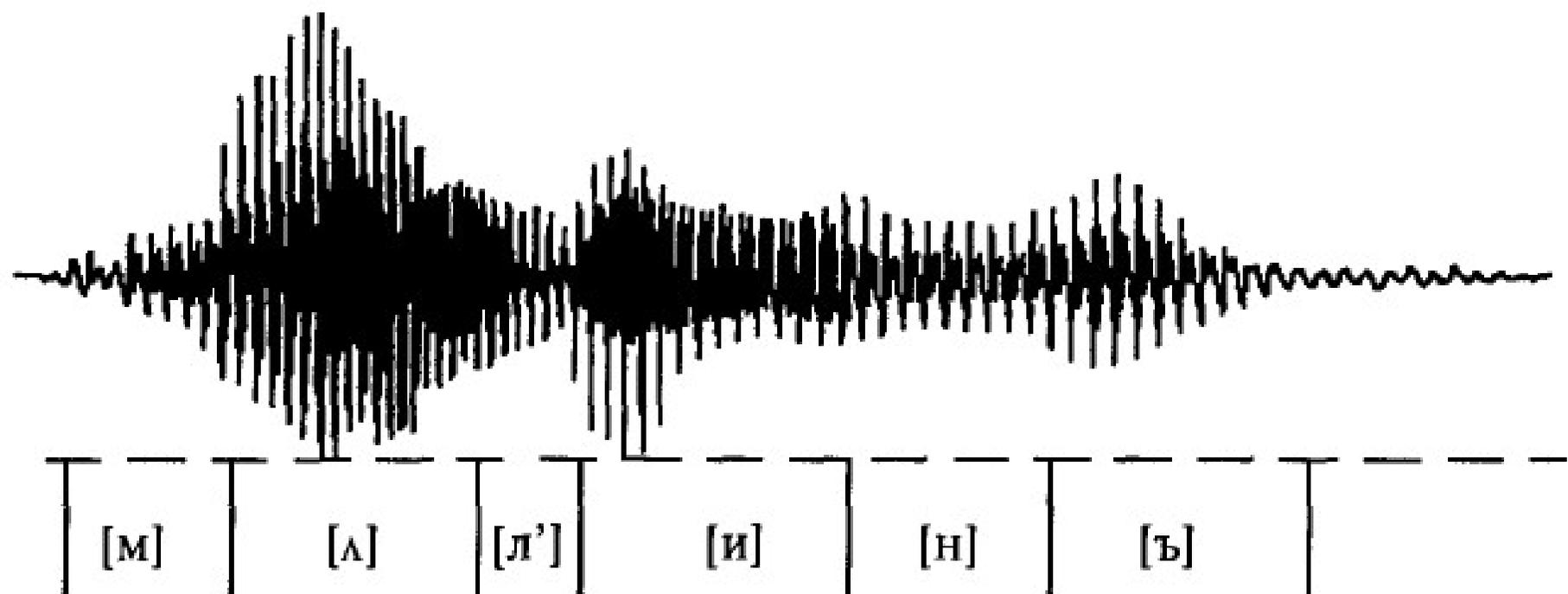
Average vowel formants

Vowel (IPA)	Formant F ₁ (Hz)	Formant F ₂ (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
ɤ	460	1310
ʊ	300	1390
œ	820	1530
ʌ	600	1170

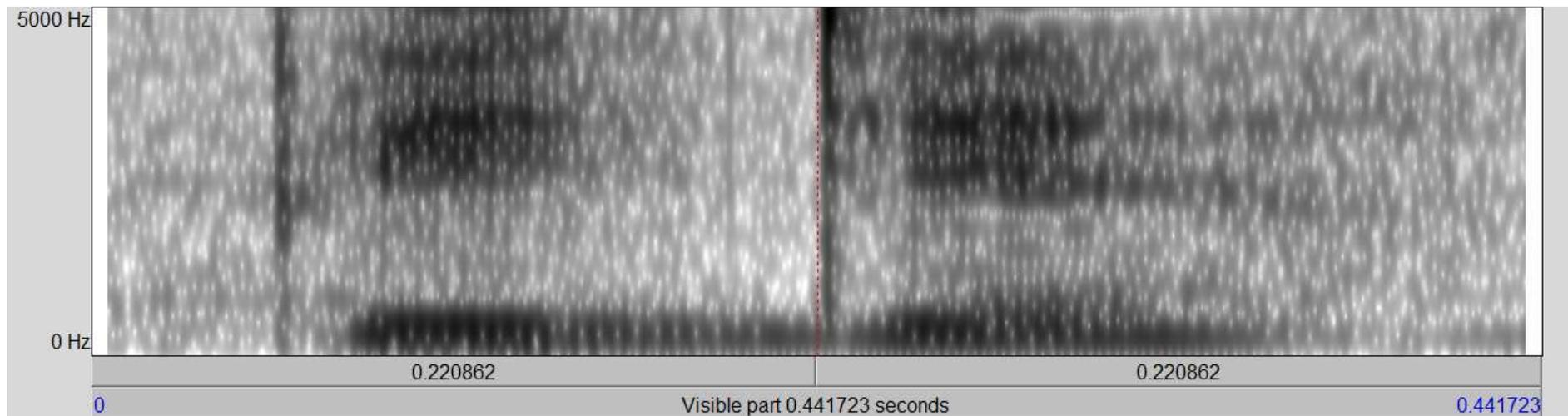
Методы и средства акустического анализа речи

- **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

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.**

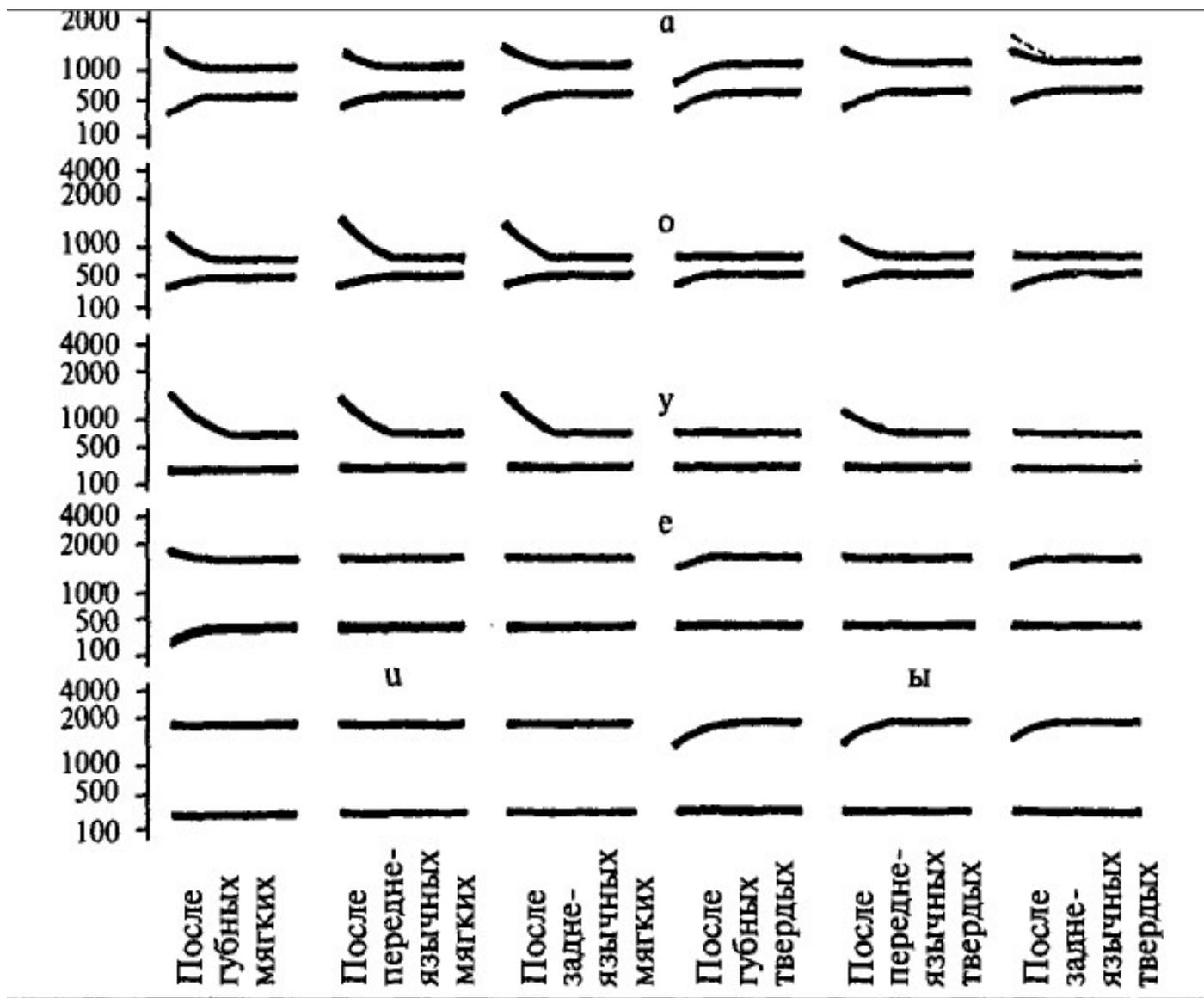
Акустические характеристики гласных

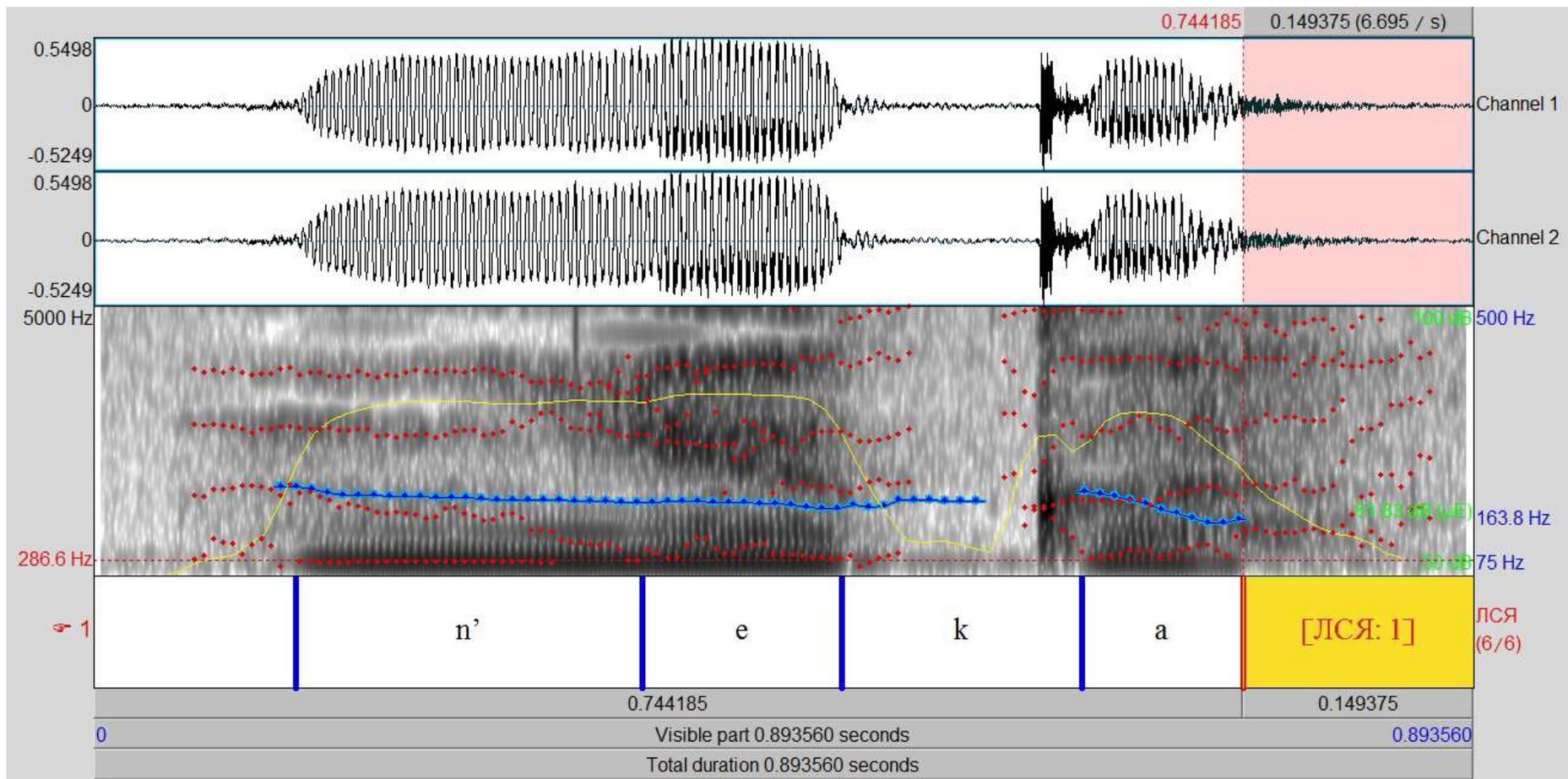
- голосовой источник $>$ периодичность звуковой волны и гармоническая структура спектра
- **Частота F1 обратно пропорциональна подъему гласного:** чем выше подъем и больше закрытость гласного, тем меньше F1, и наоборот.
- **Частота F2 прямо пропорциональна продвинутости языка (ряду гласного):** чем более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

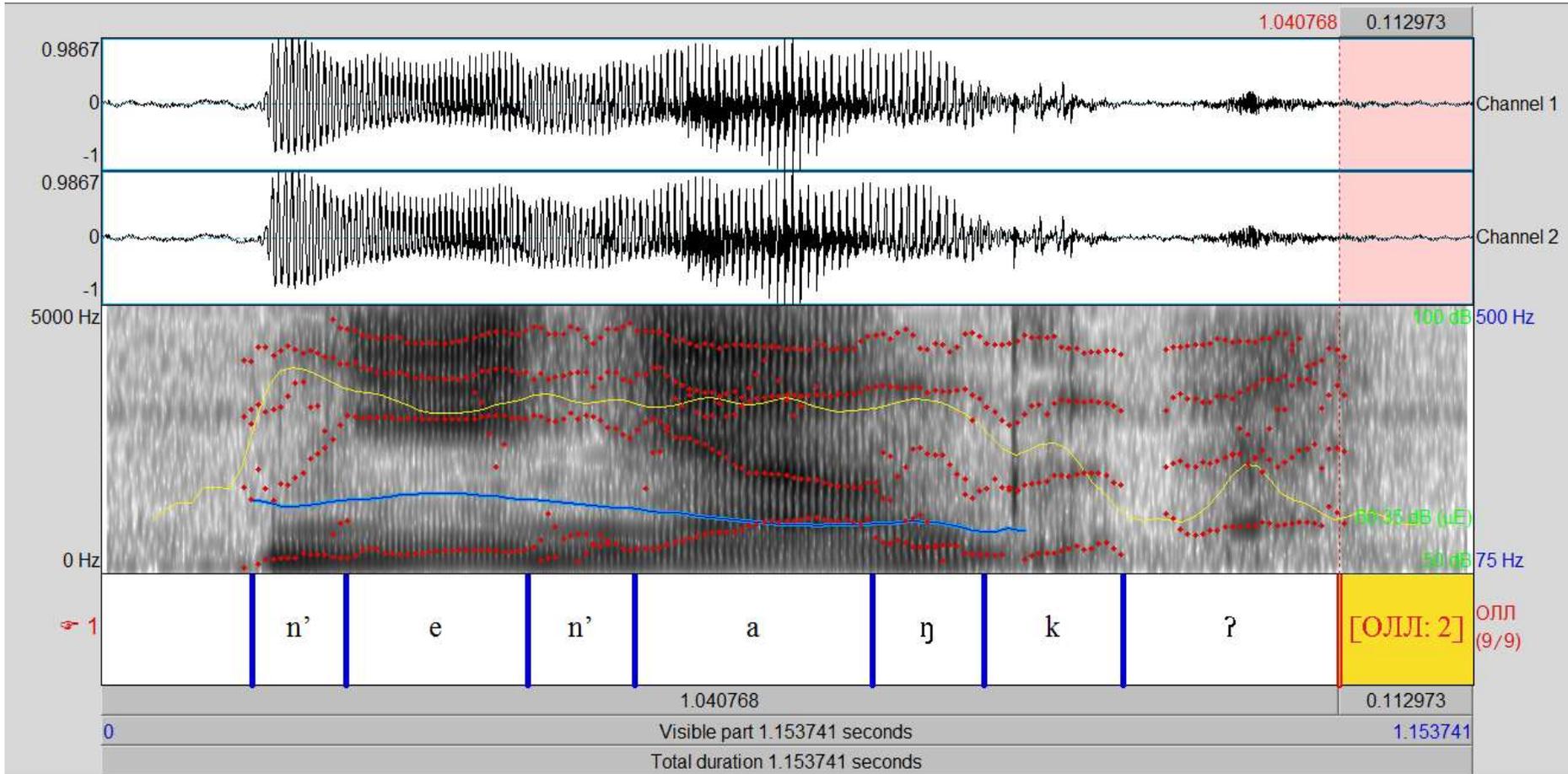
Признаки согласных, влияющие на соседние гласные

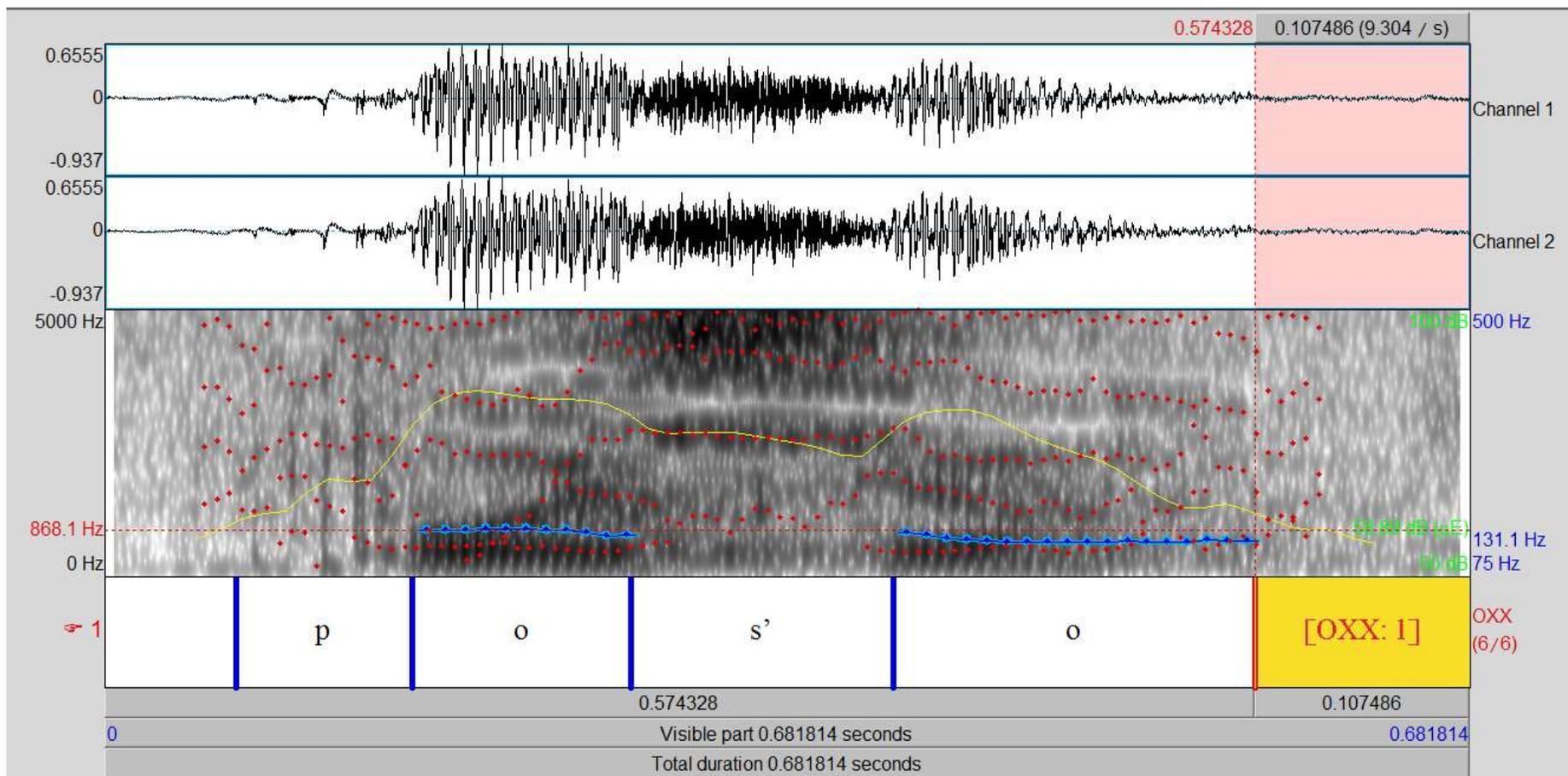
- **дополнительные артикуляции:**
 - палатализация
 - веляризация
- **коартикуляционные эффекты**
 - особенно на динамике F2

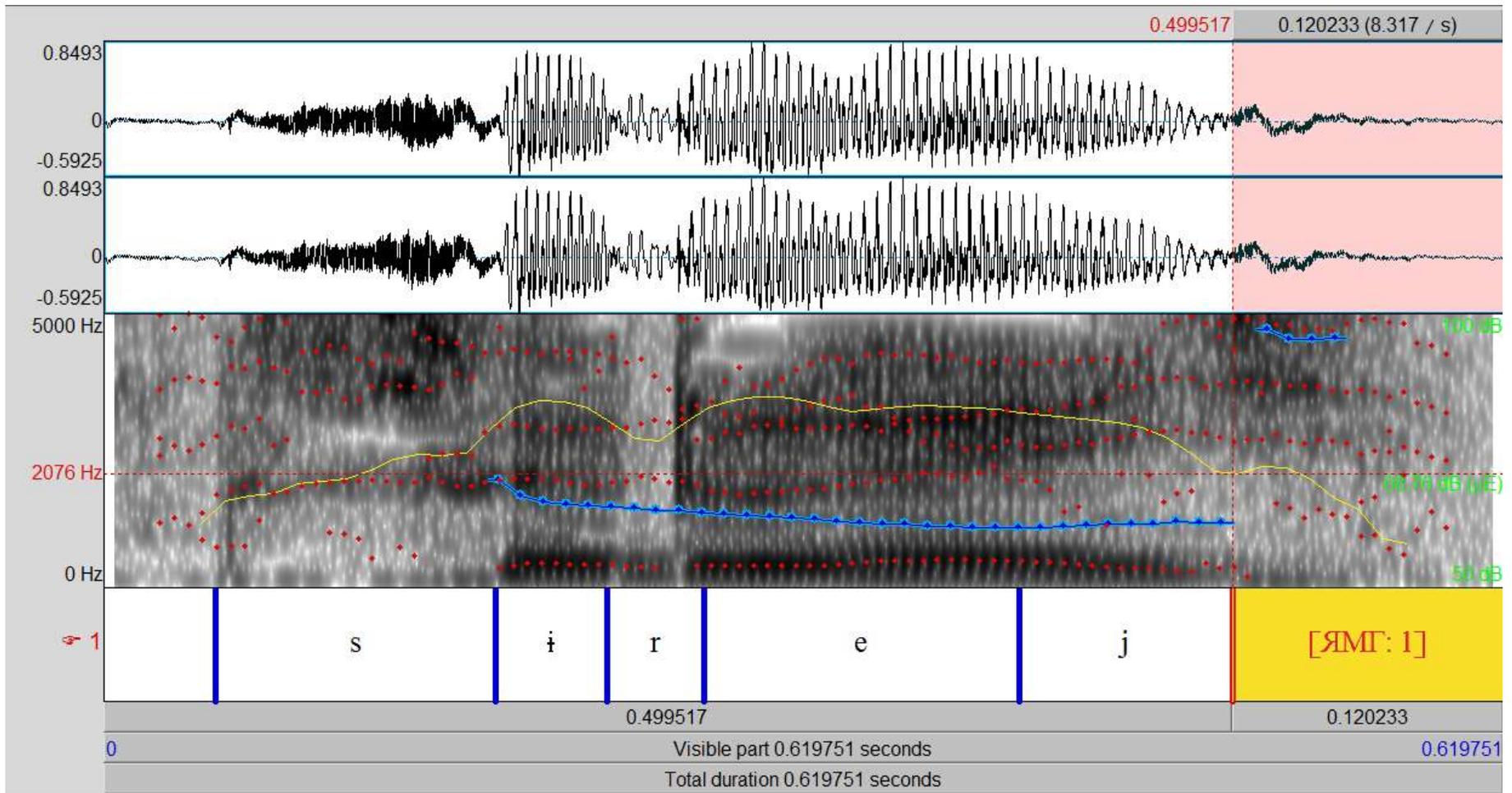
Изменение F1 и F2 русских гласных после разных согласных











Акустические характеристики шумных взрывных согласных

- динамически сложная артикуляция:

1) смычка

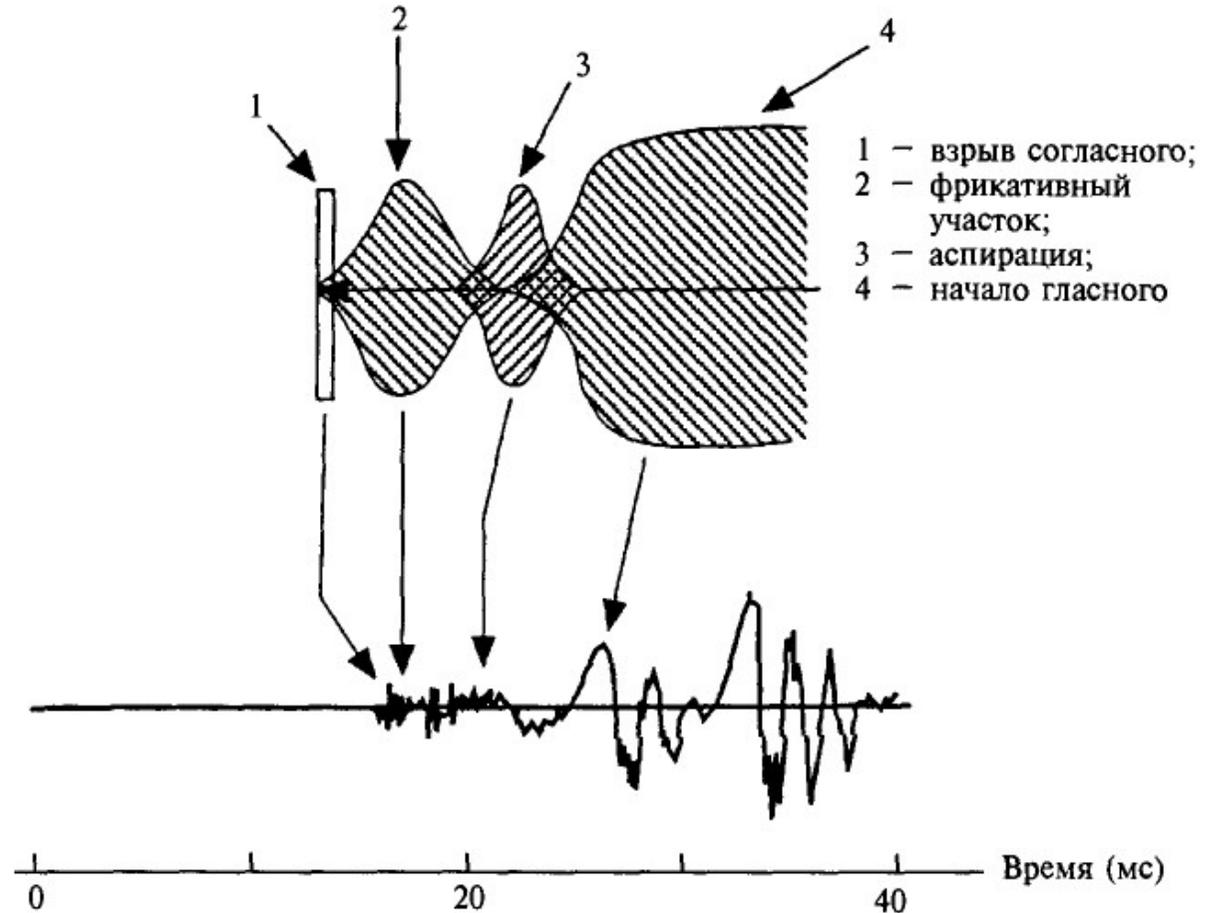
2) шумовой отрезок

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']

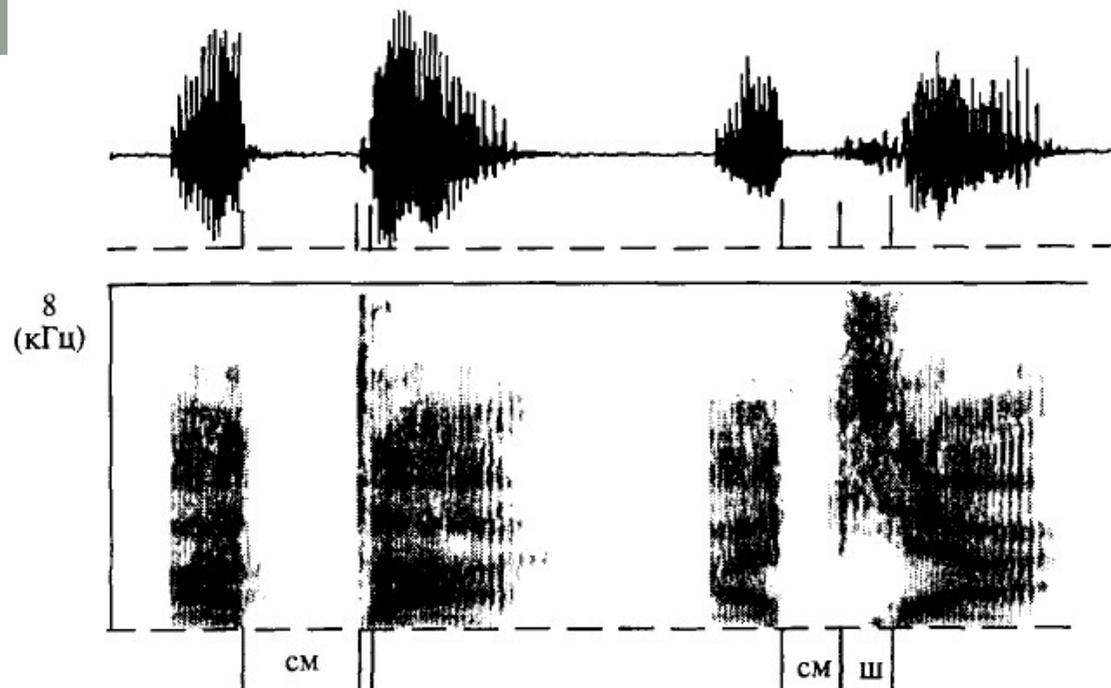
• **взрыв** – узкая
вертикальная линия

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 фриктивного 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

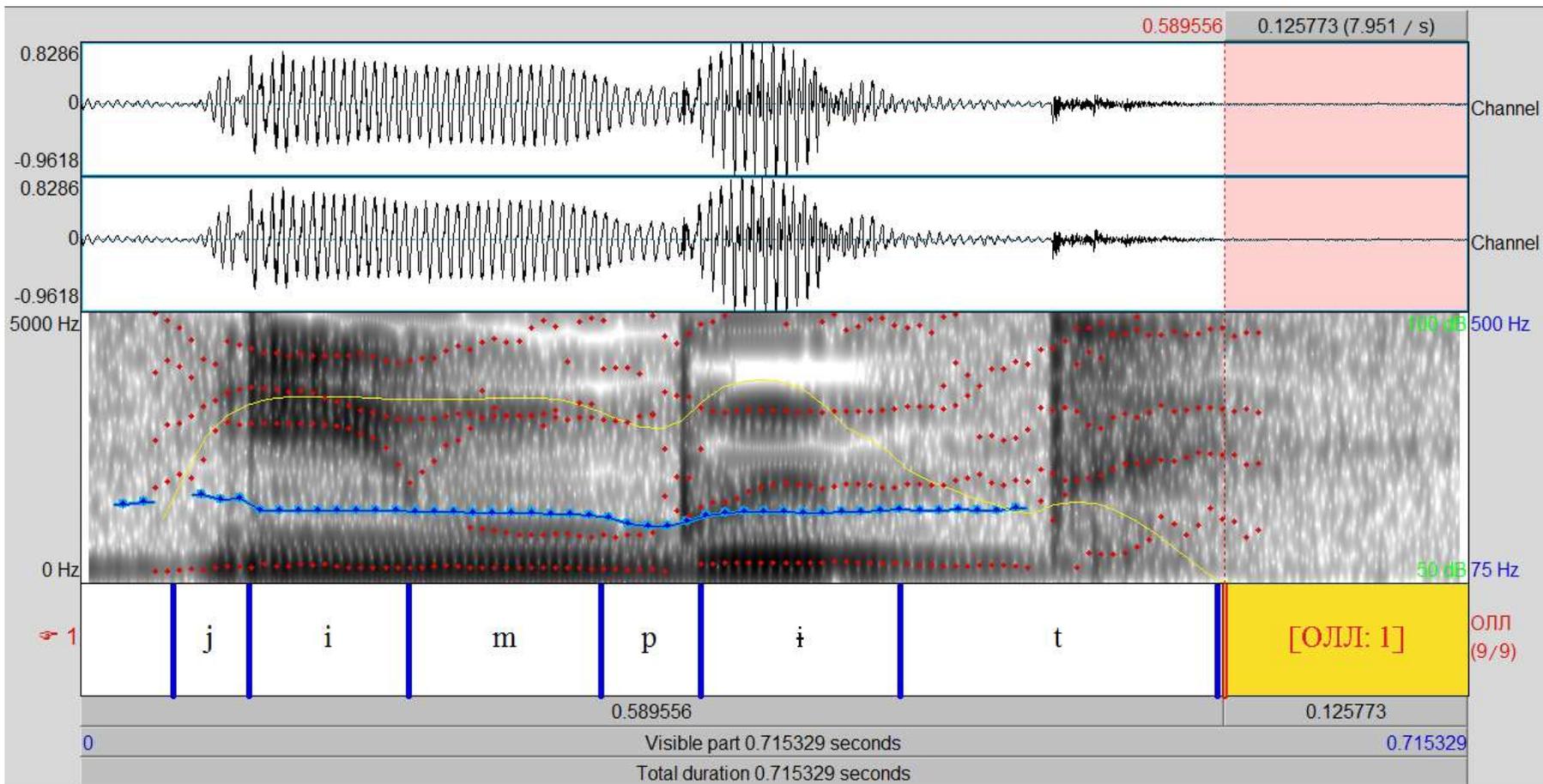
1) **простые взрывные:** 40-60 мсек. – шумовая фаза, длительность взрыва – 3-5 мсек.

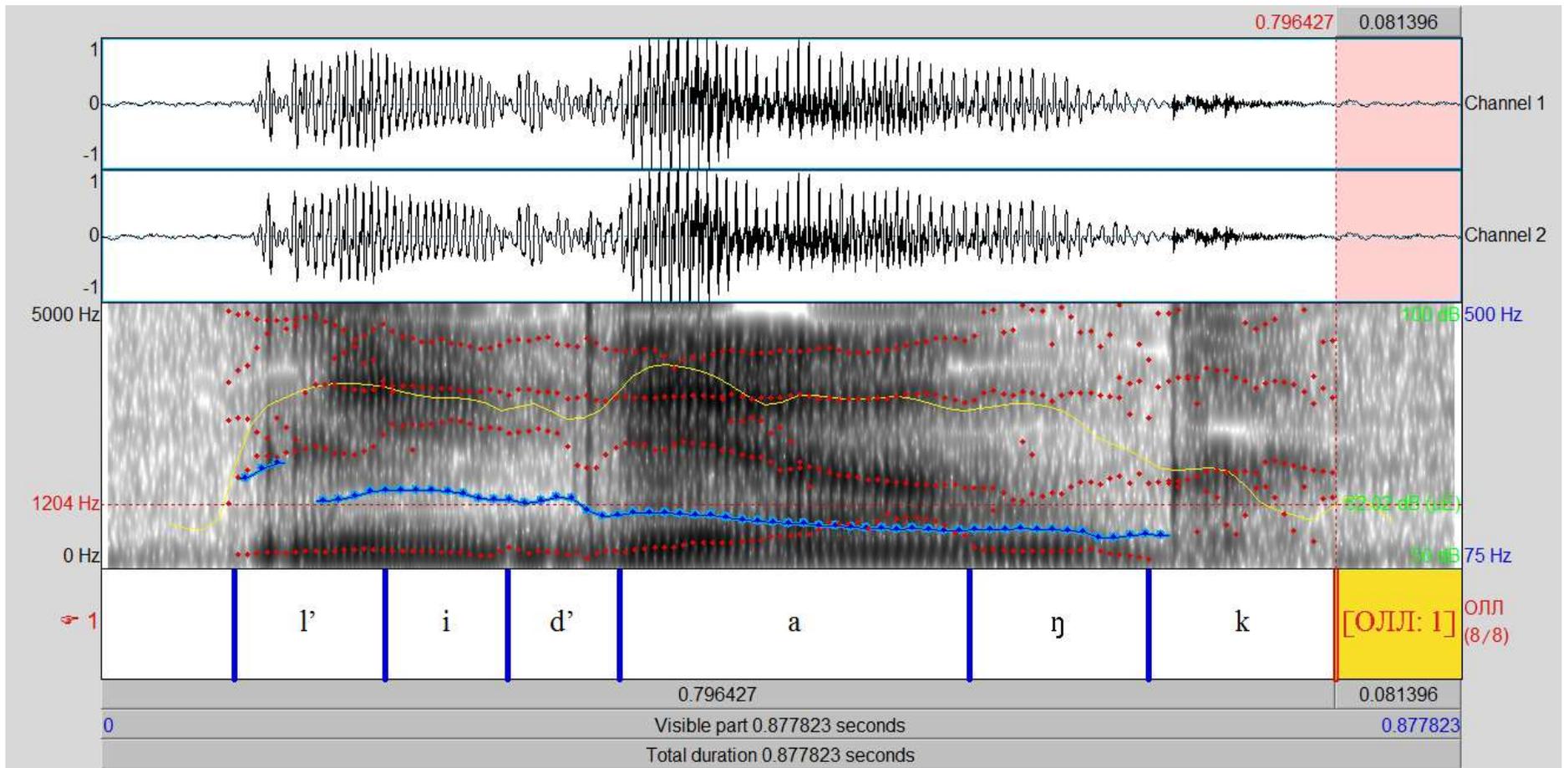
2) **аффрицированные и аспирированные взрывные:** 100-120 мсек. – шумовая фаза

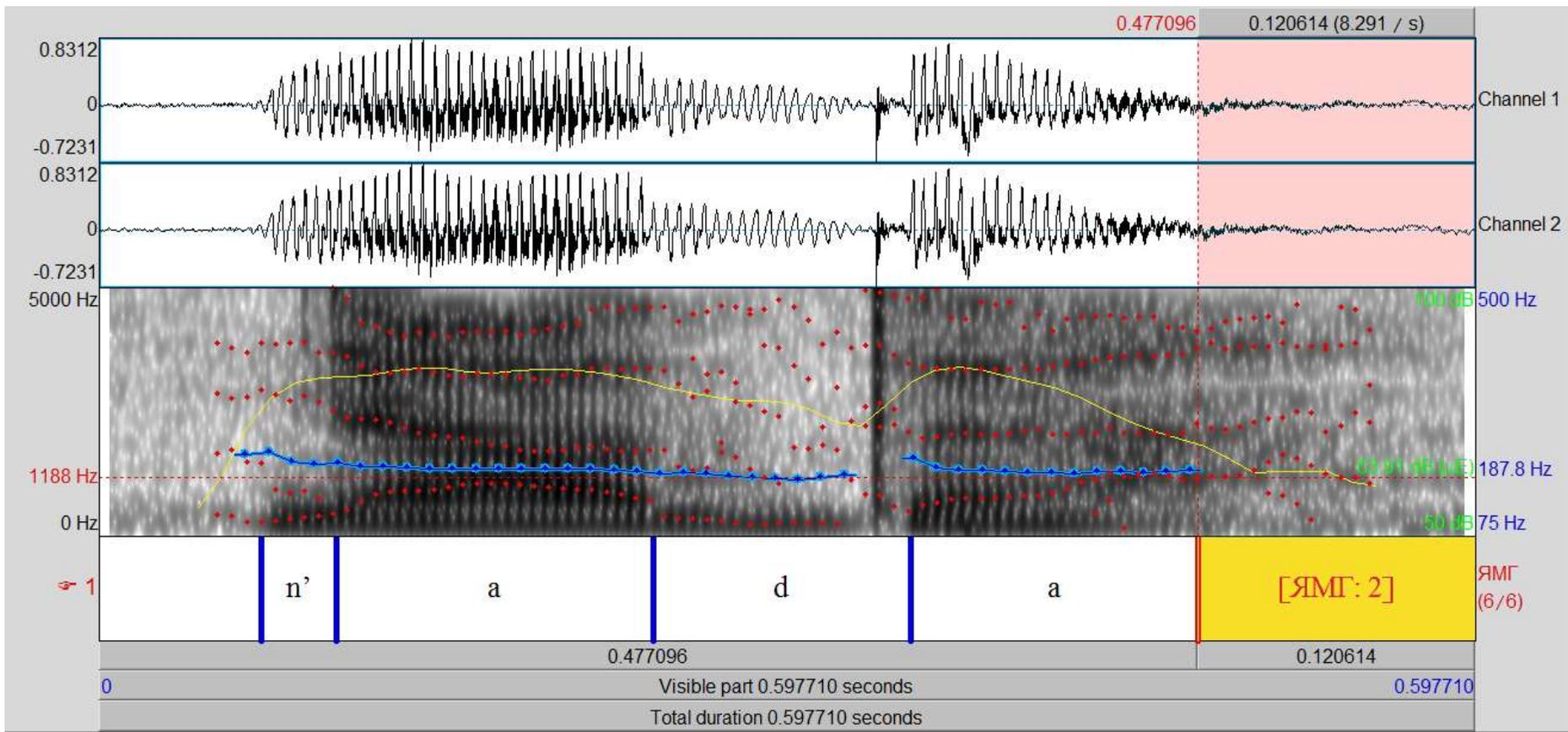
3) **длительность шумовой фазы** < место образования, глухость / звонкость

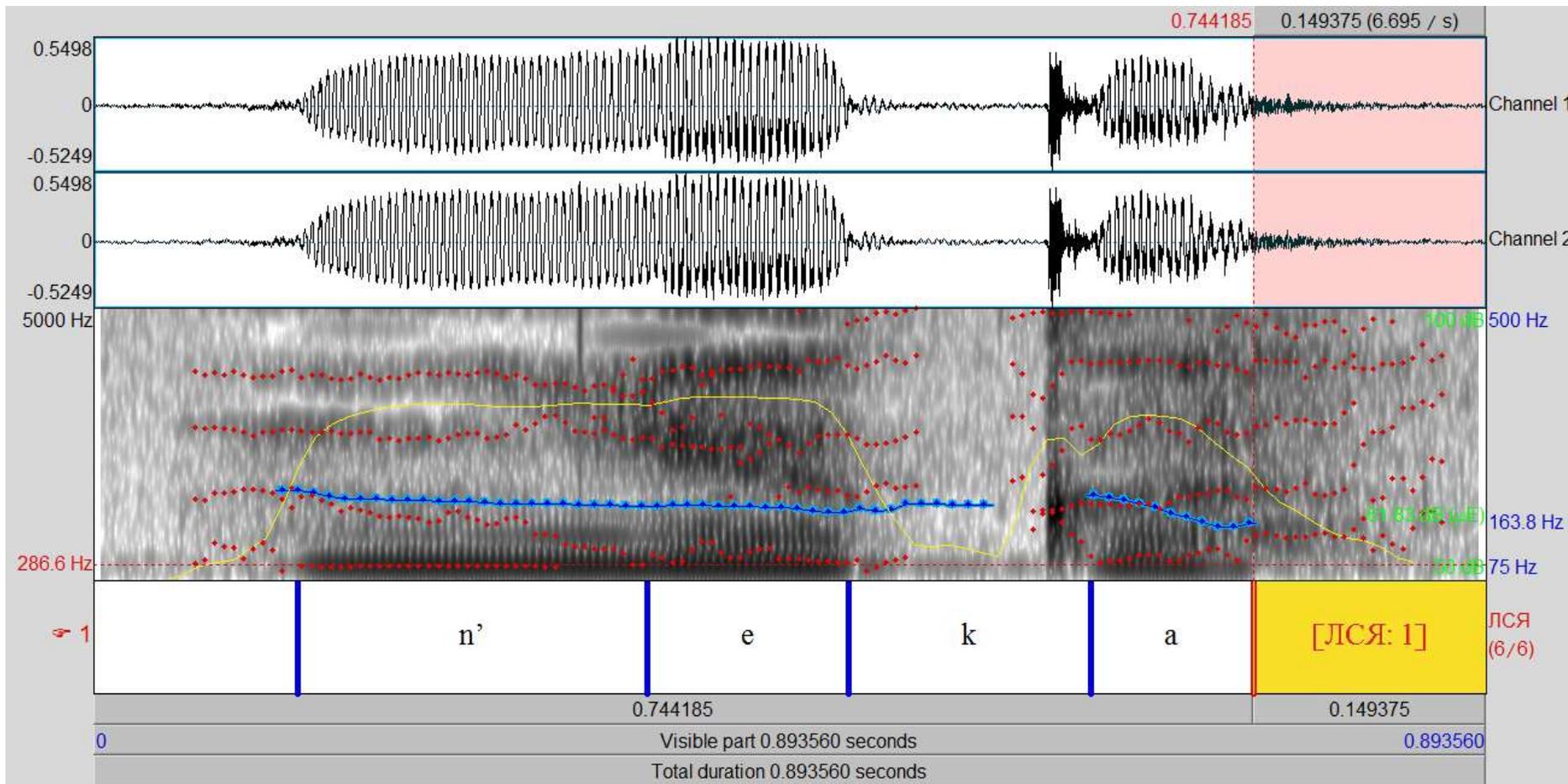
[б] / [k(h)]

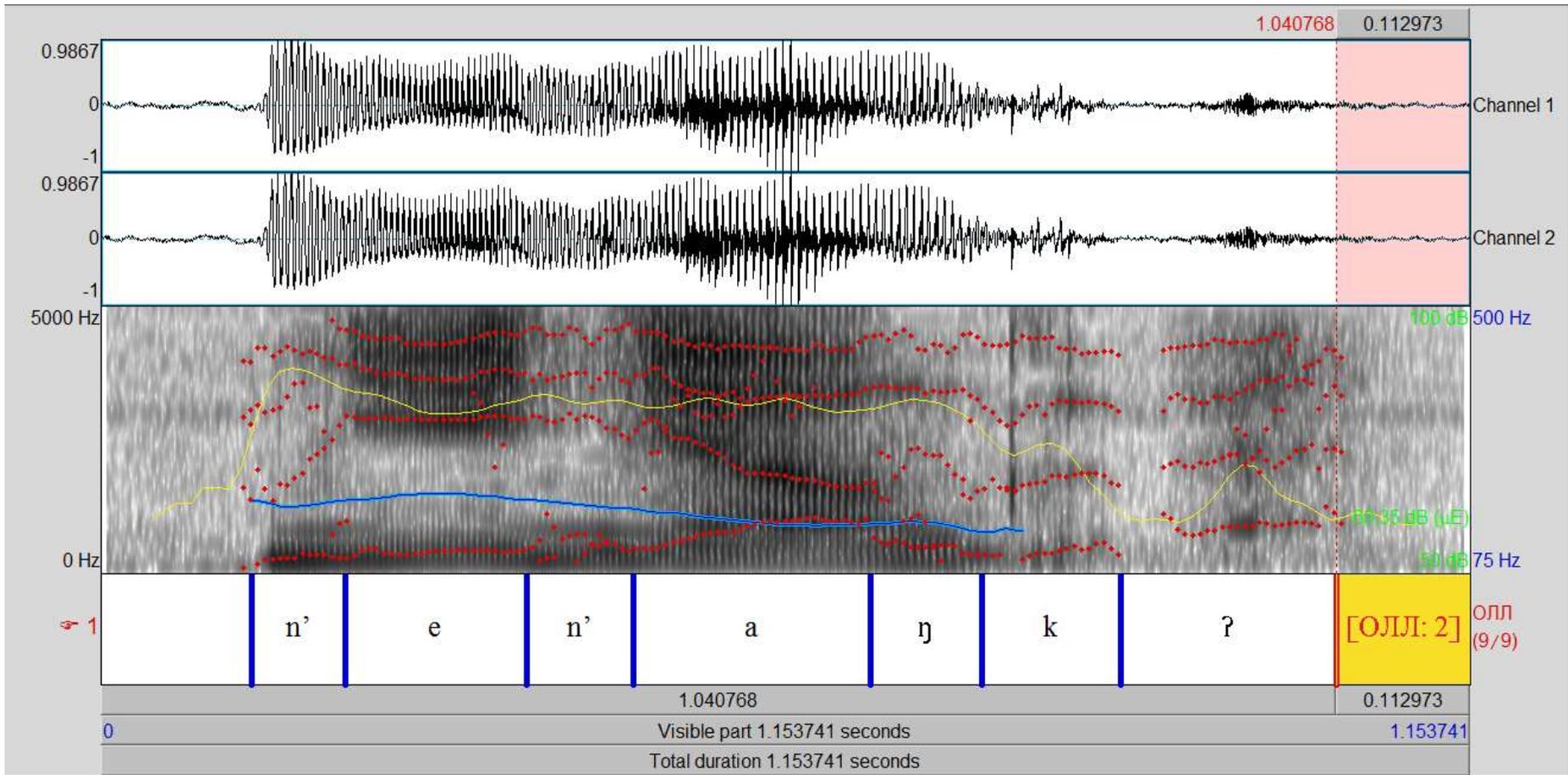
4) **интенсивность взрывной фазы и шумового интервала** < место образования, глухость / звонкость

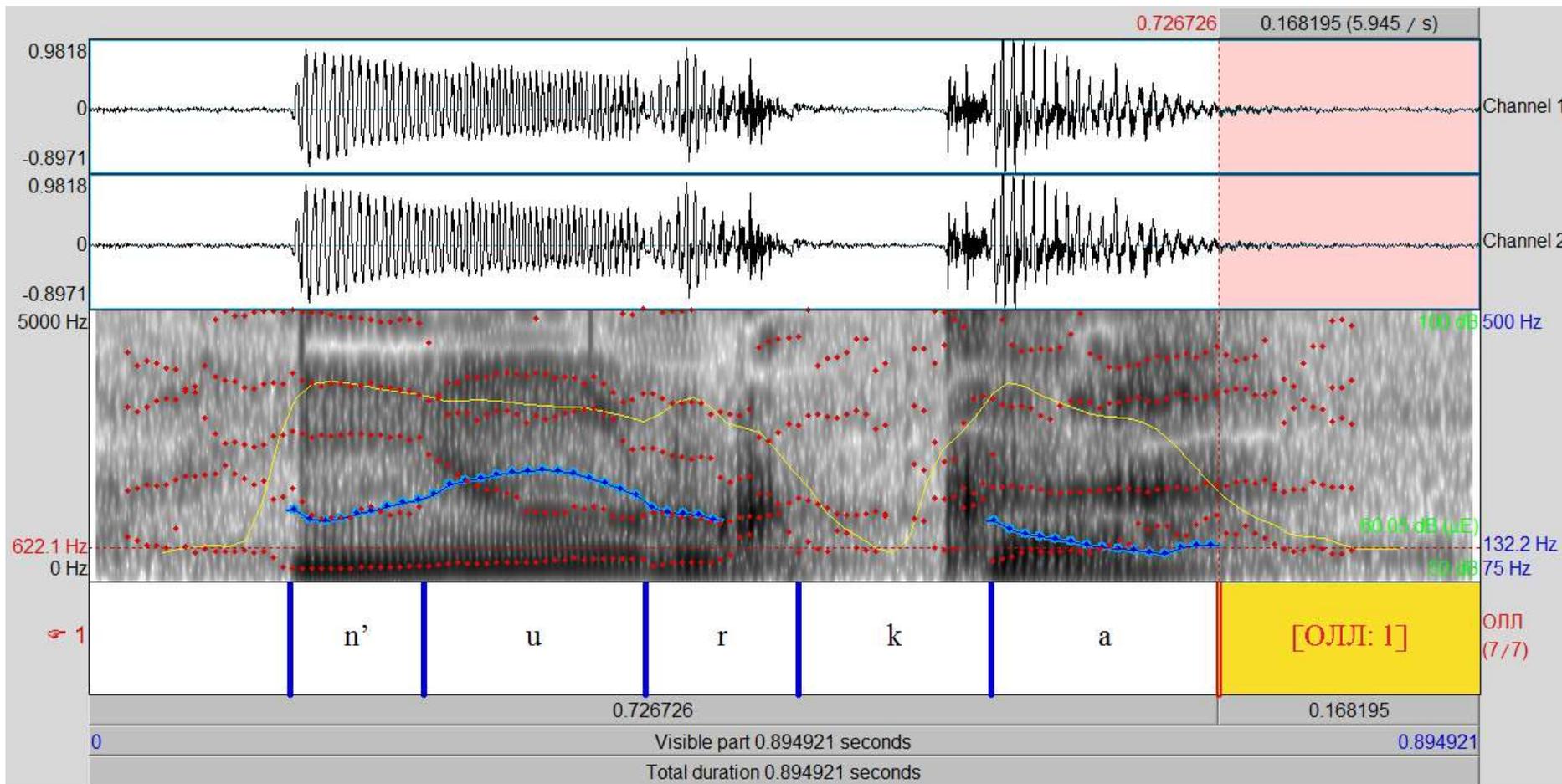


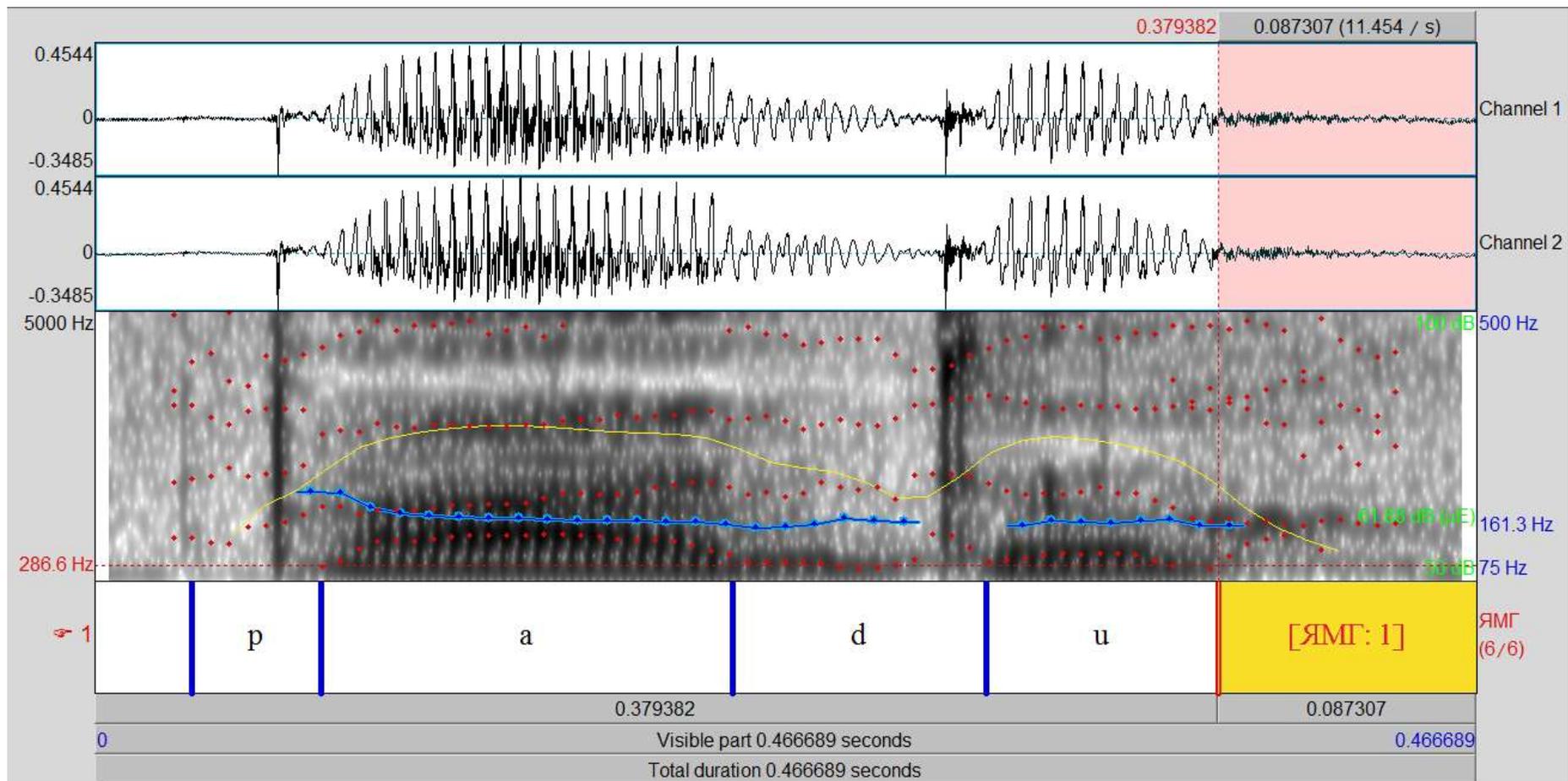


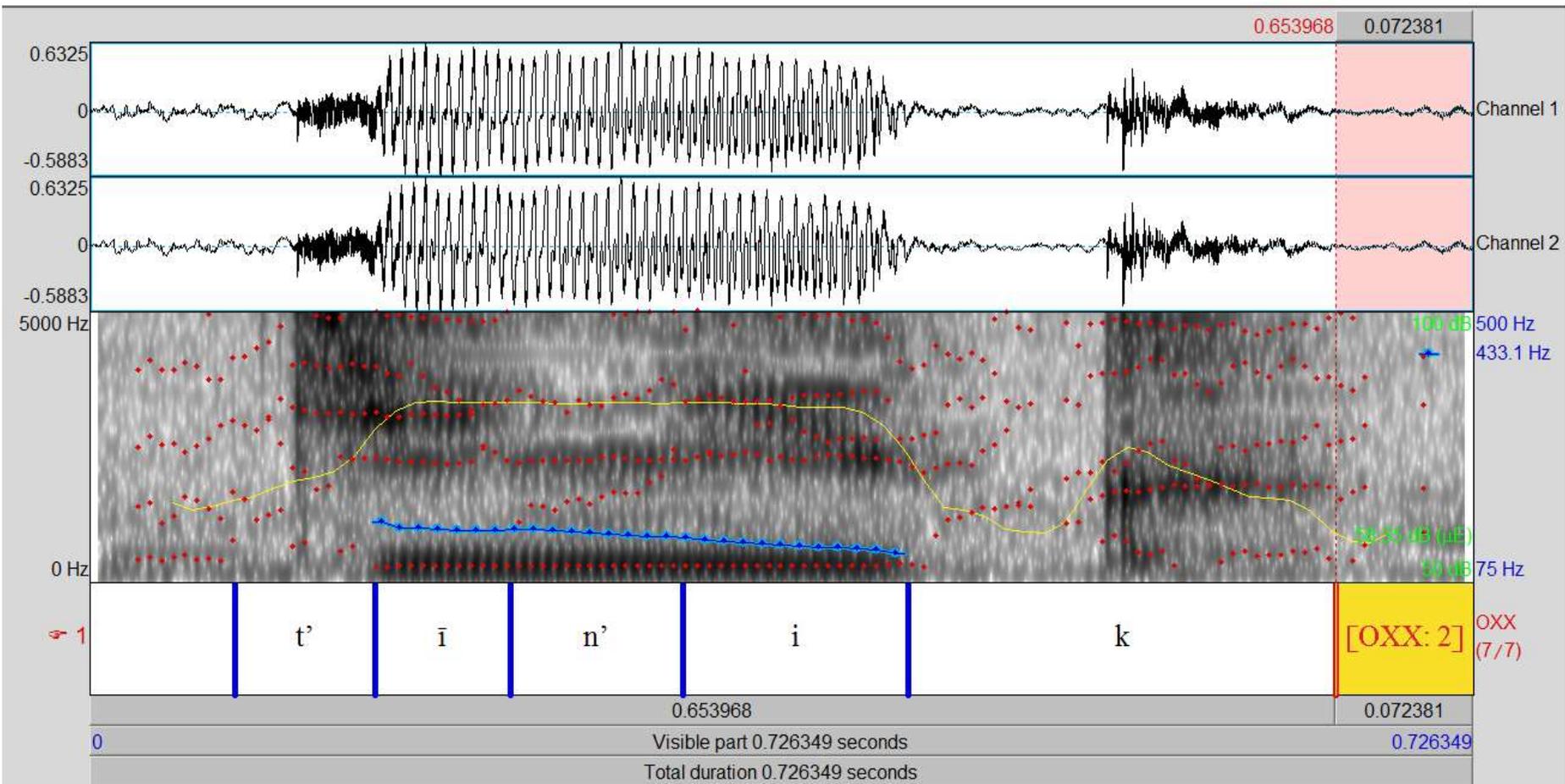


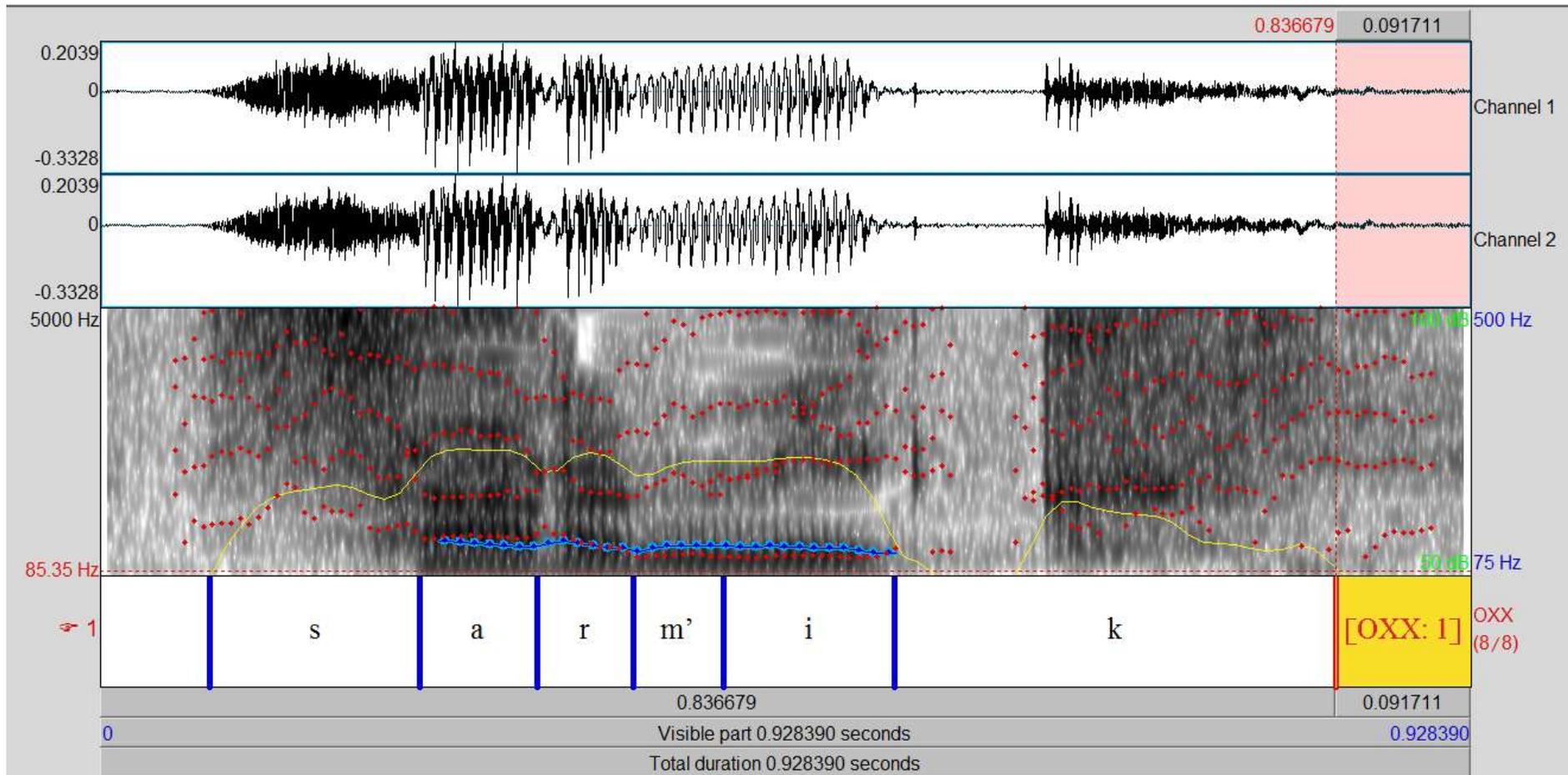


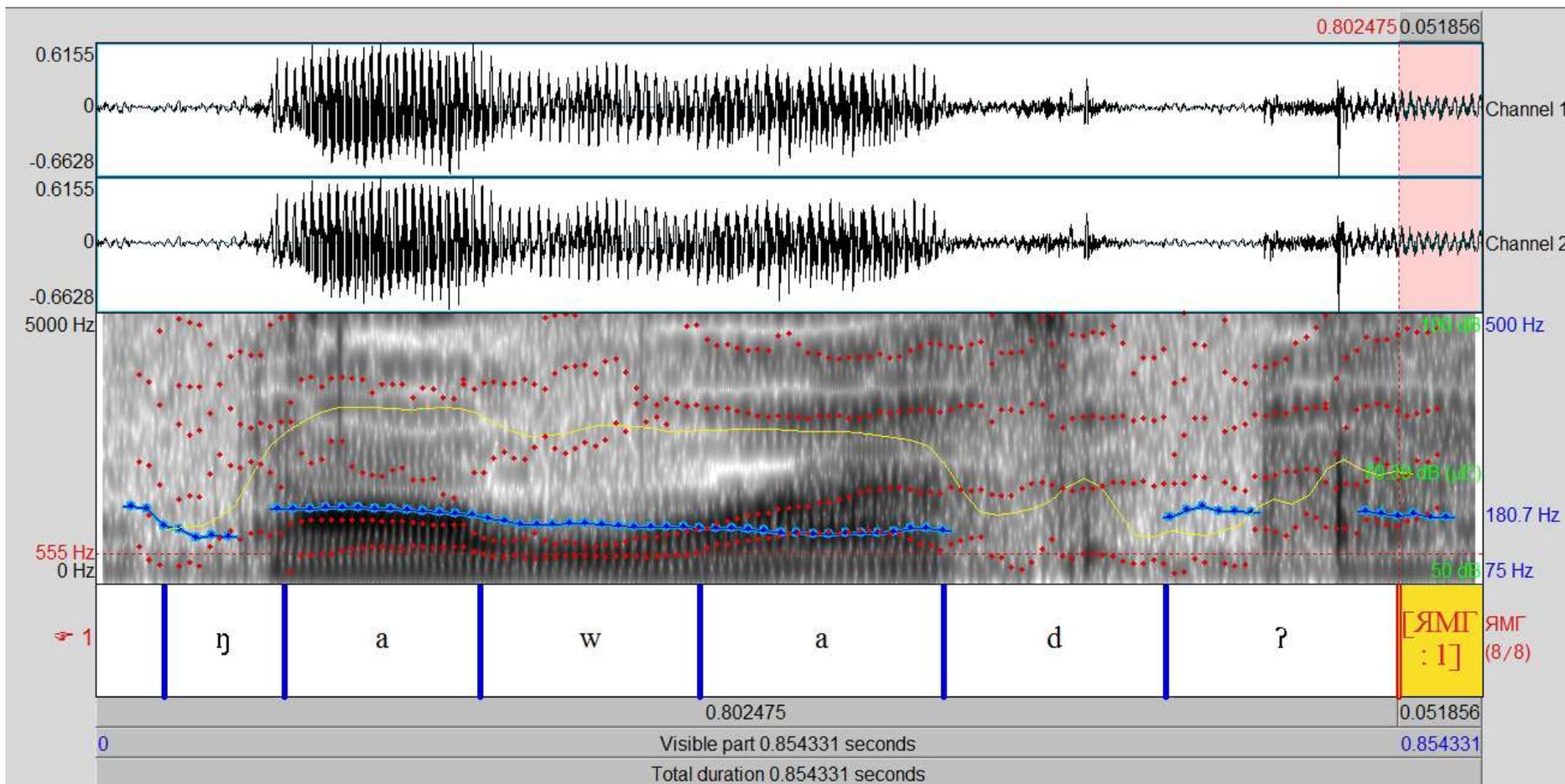






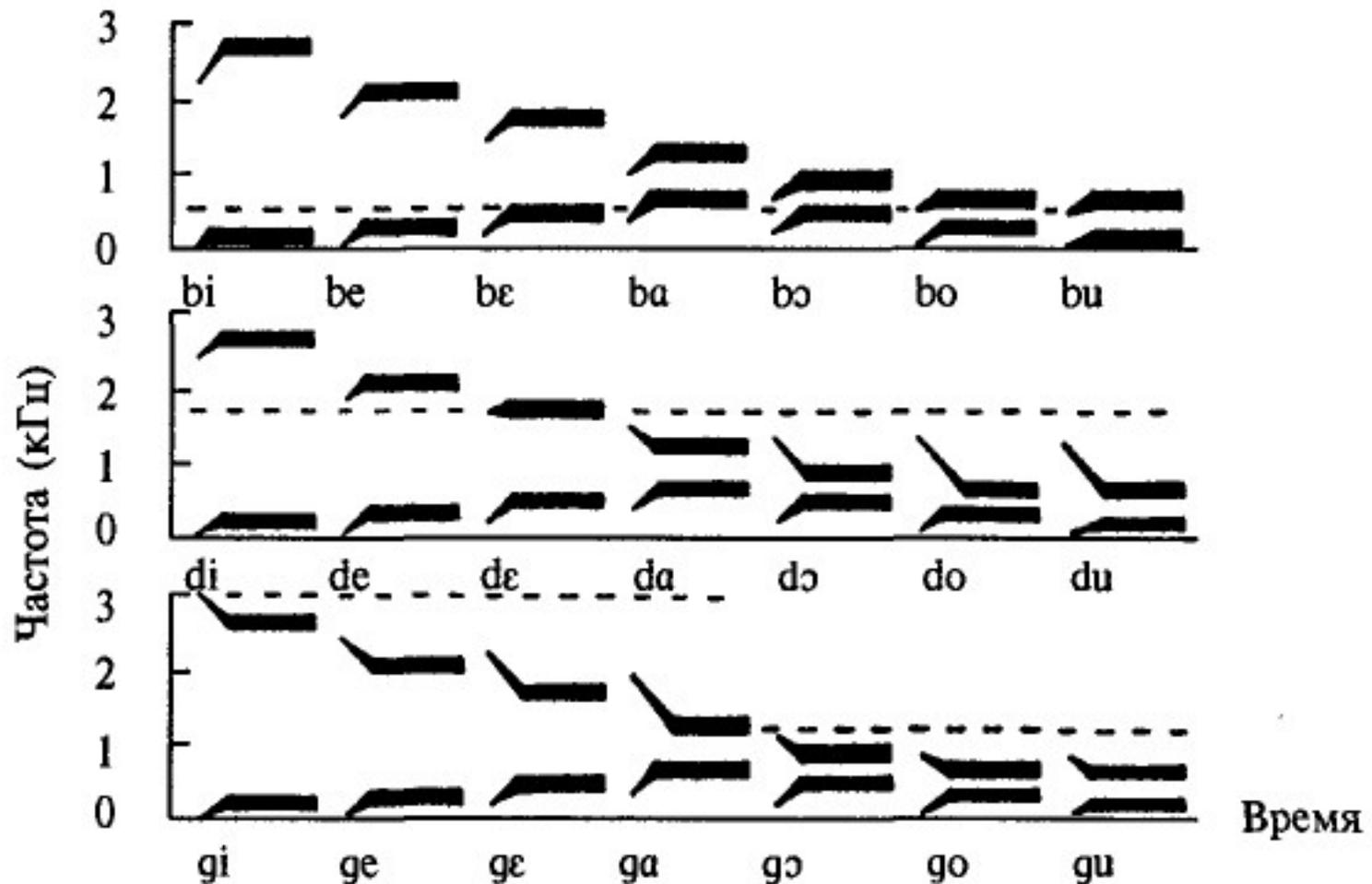




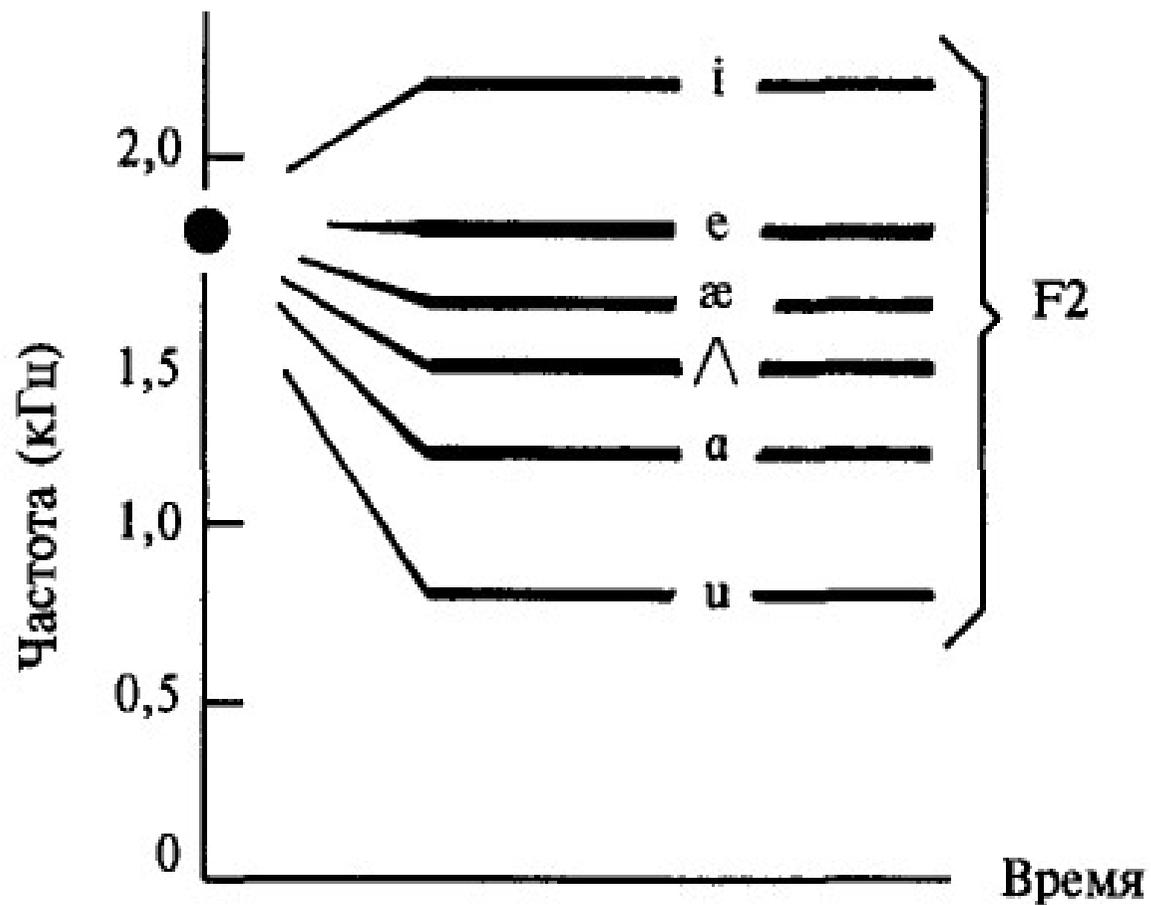


Локусная F-картина взрывных согласных

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



Локус F2 для альвеолярного согласного [d] перед V



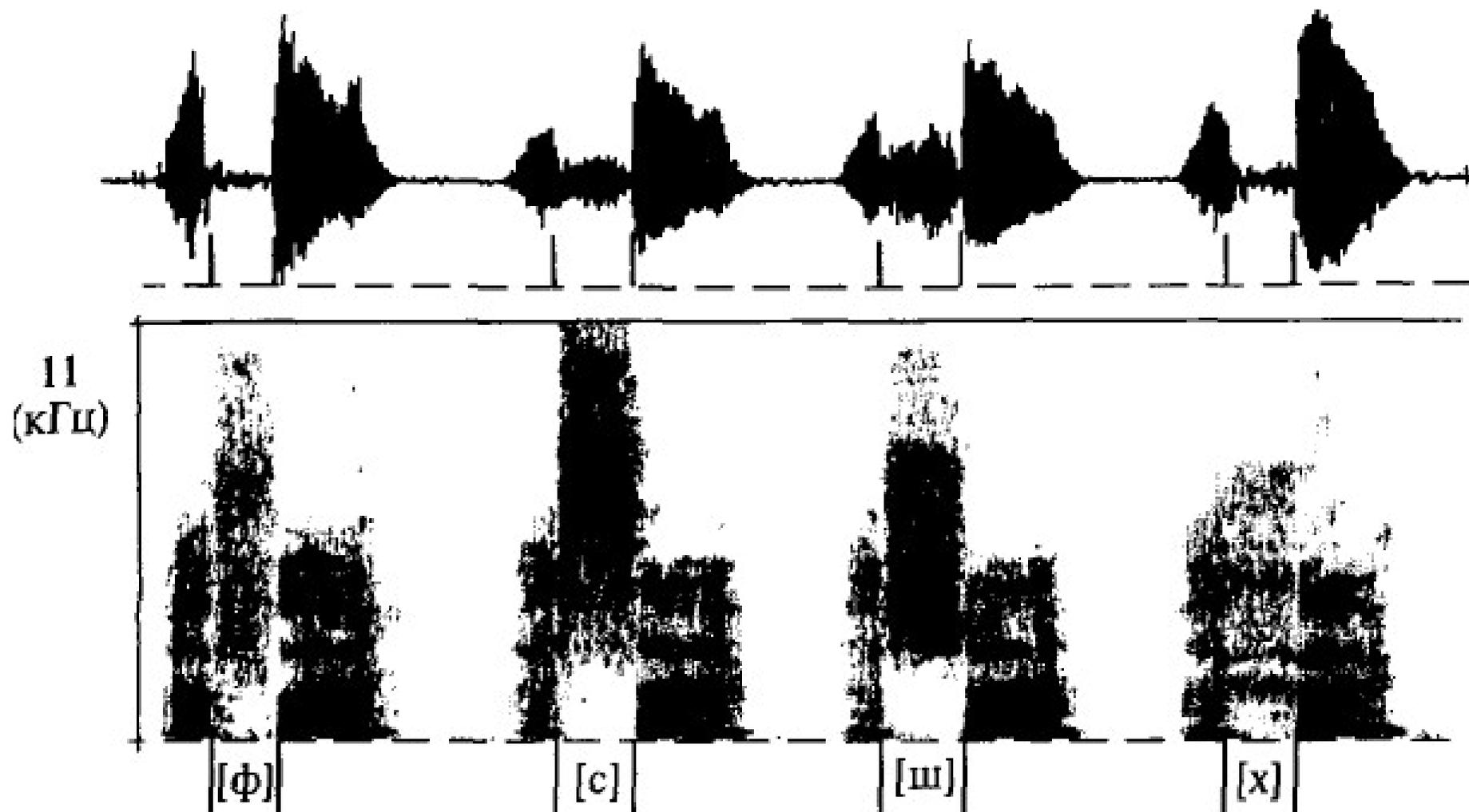
Локусы согласных

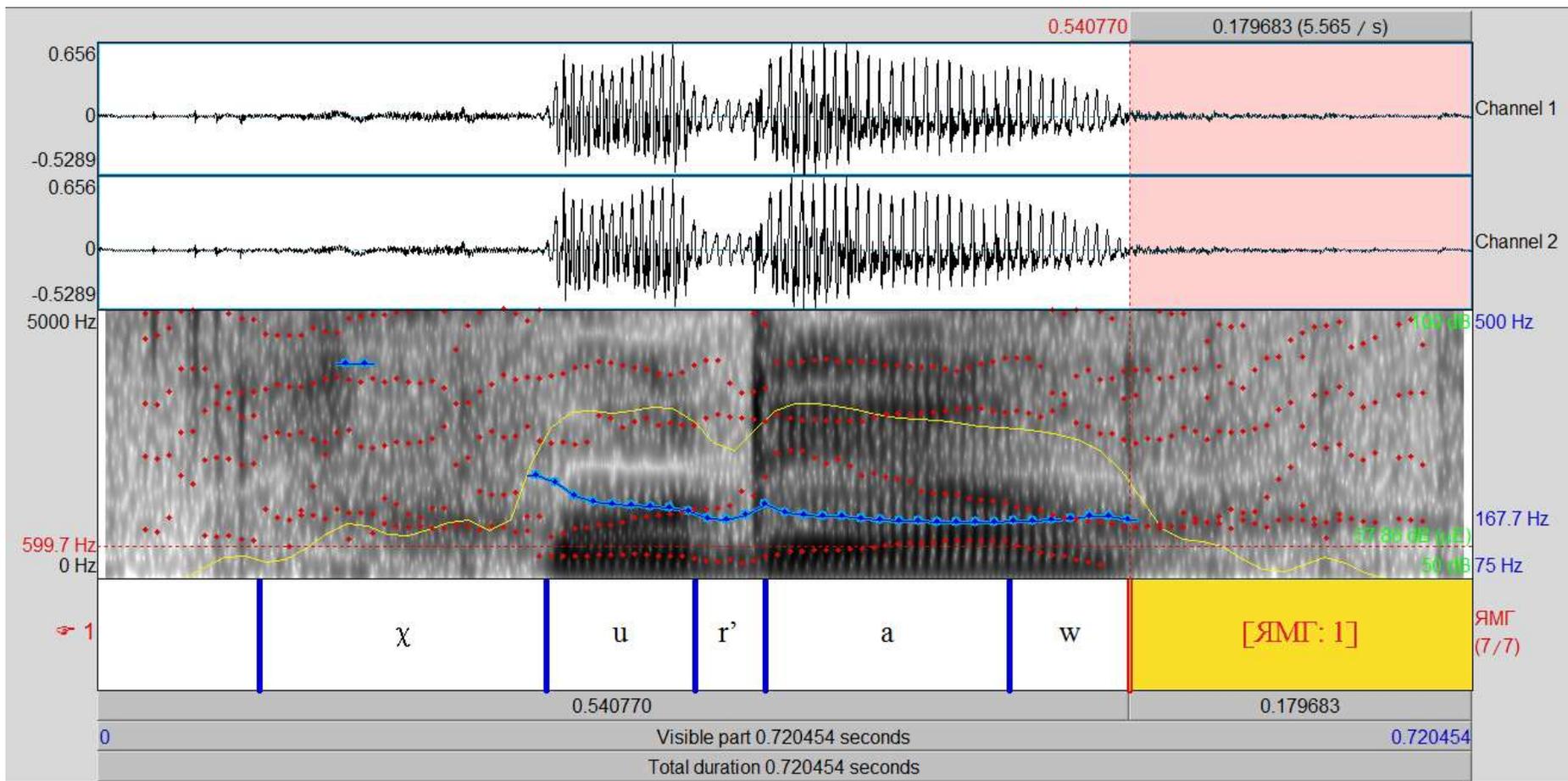
- **локус F1** – отражает смычность согласного (степень сужения речевого тракта; max – у взрывных)
- **локус F2 (локус F3)** – место образования преграды (губные – самый низкий локус F2)
- **велярные согласные** – самая большая область возможных локусов (1000-2500 Гц)

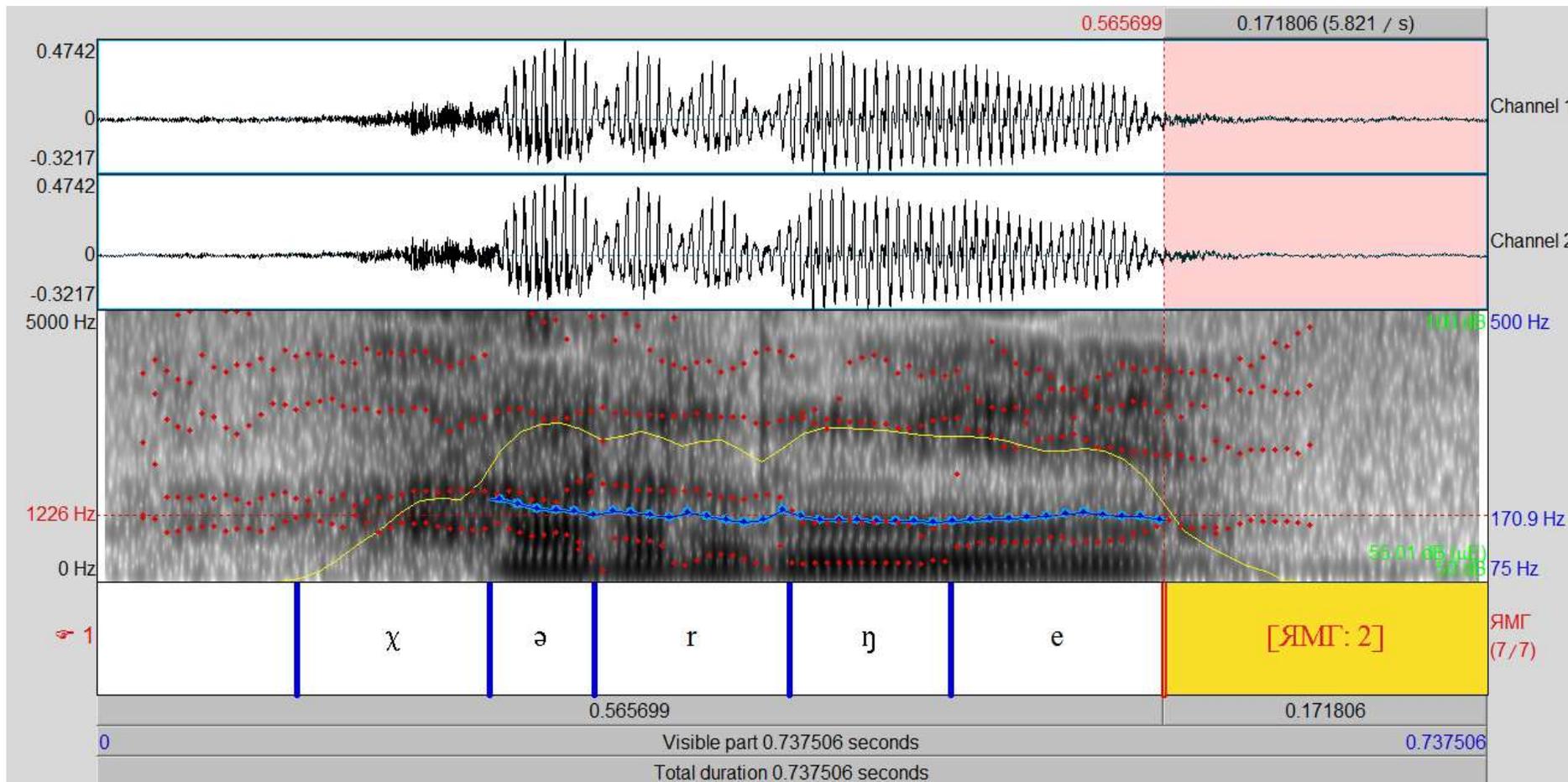
Акустические характеристики фрикативных согласных

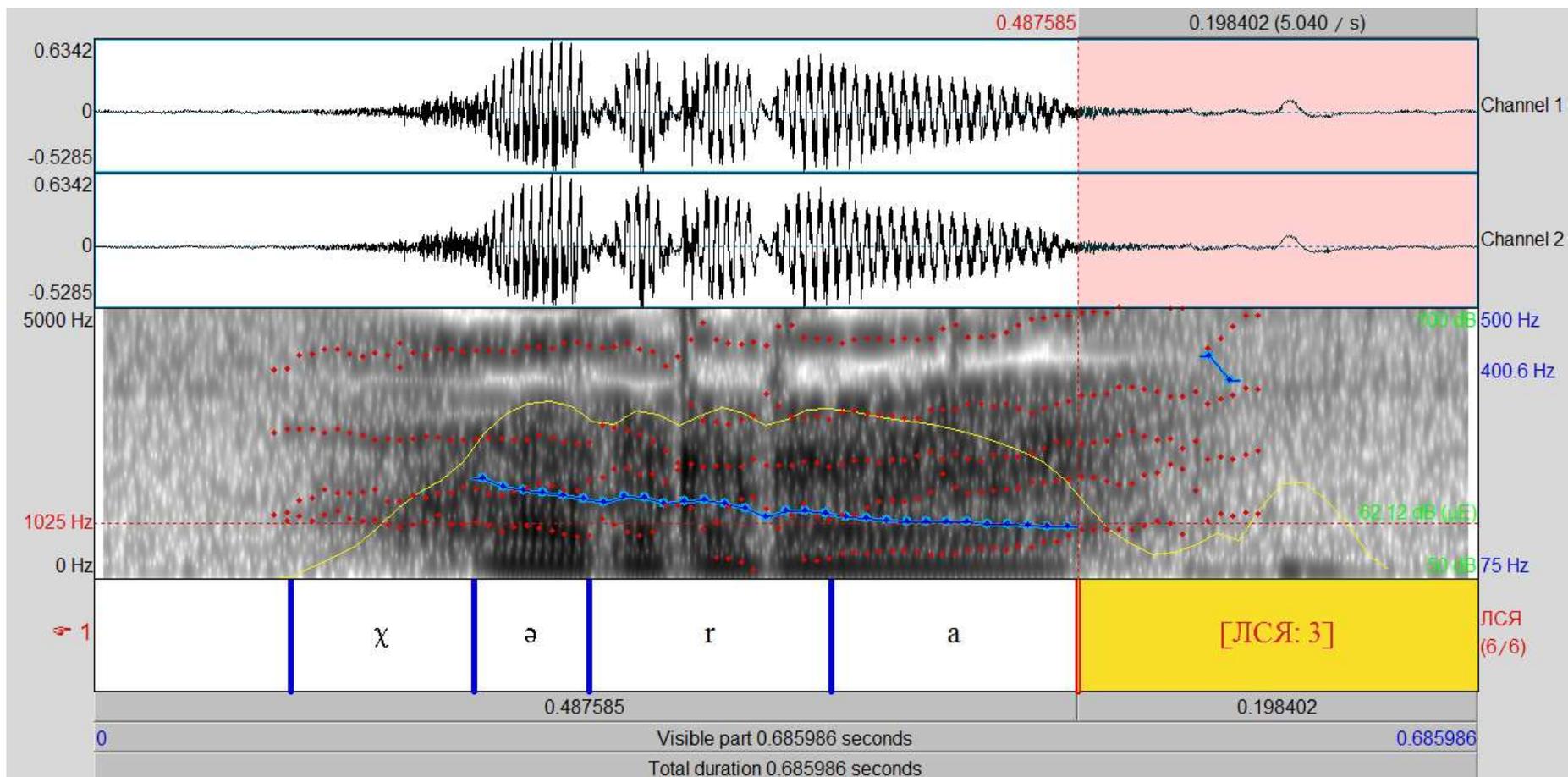
- **однородная артикуляция** > более простые акустические свойства
- турбулентный ист. зв. / турб. + голос. ист. зв.
- **шумовая полоса** – вертикальная штриховка
нерегулярные свойства шума – глухие
амплитудная модуляция шума – звонкие
- **большая длительность и интенсивность шума** у глухих
(**min**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

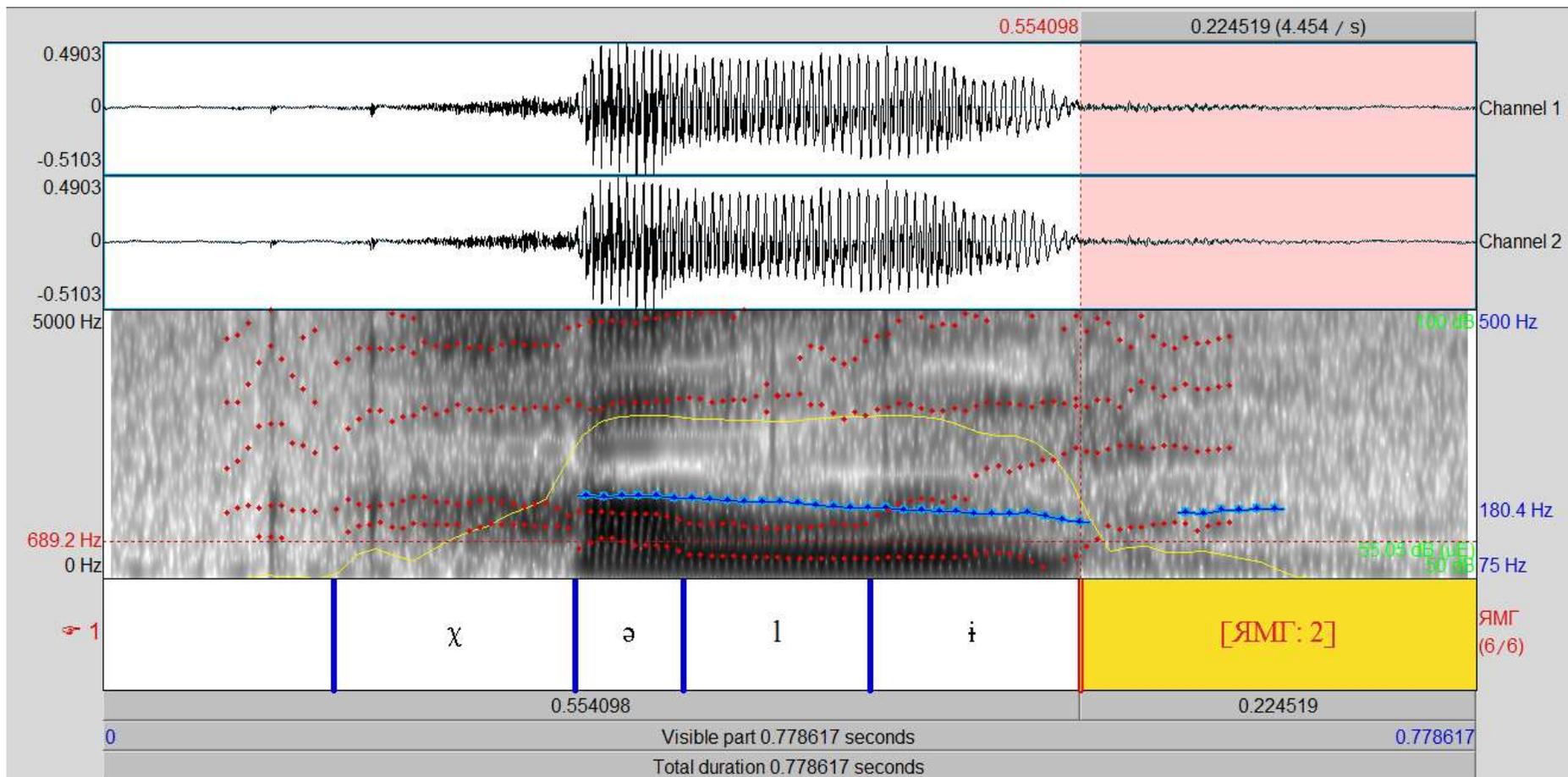
Глухие фрикативные согласные в интервокальном контексте

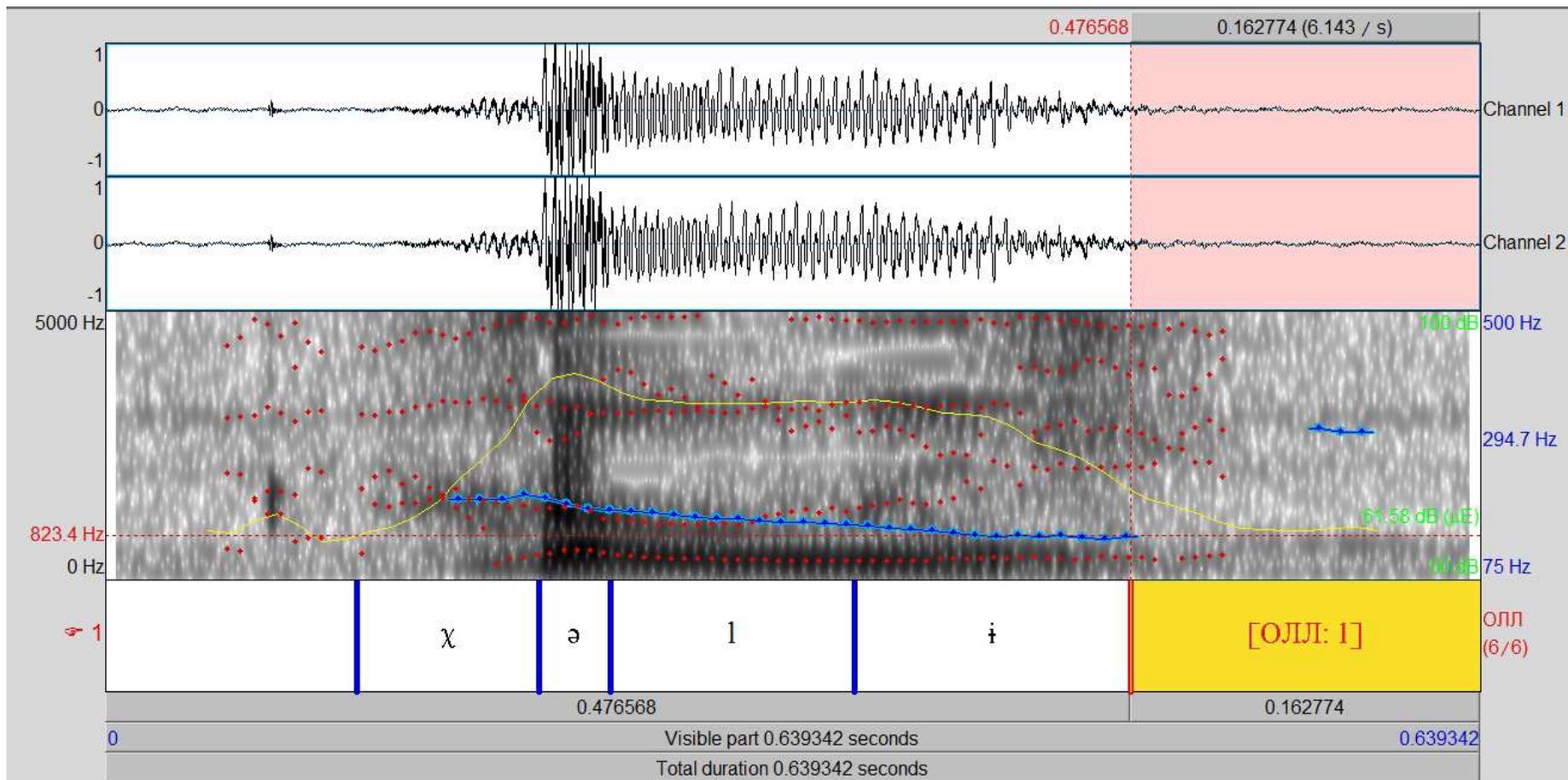


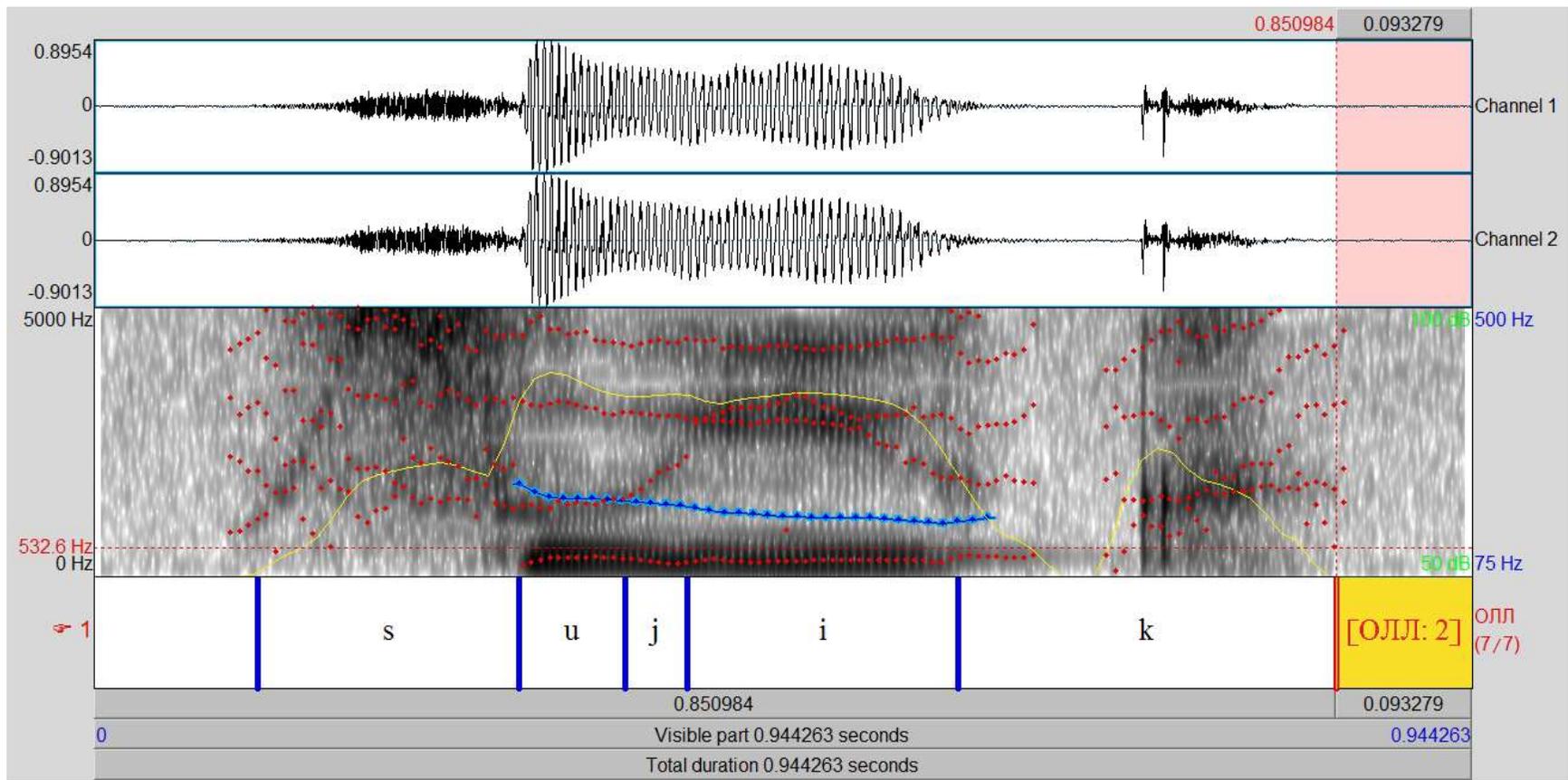


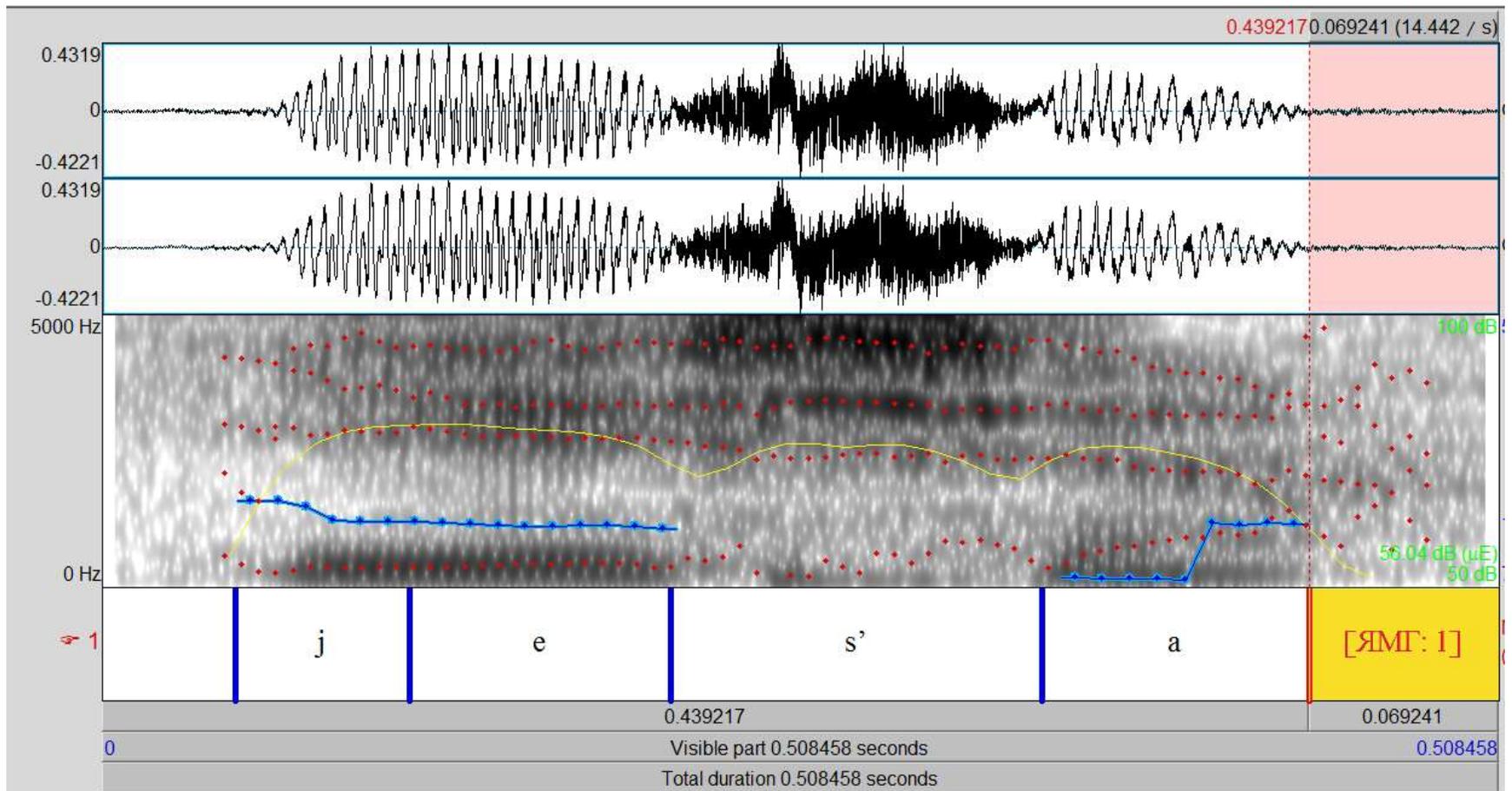


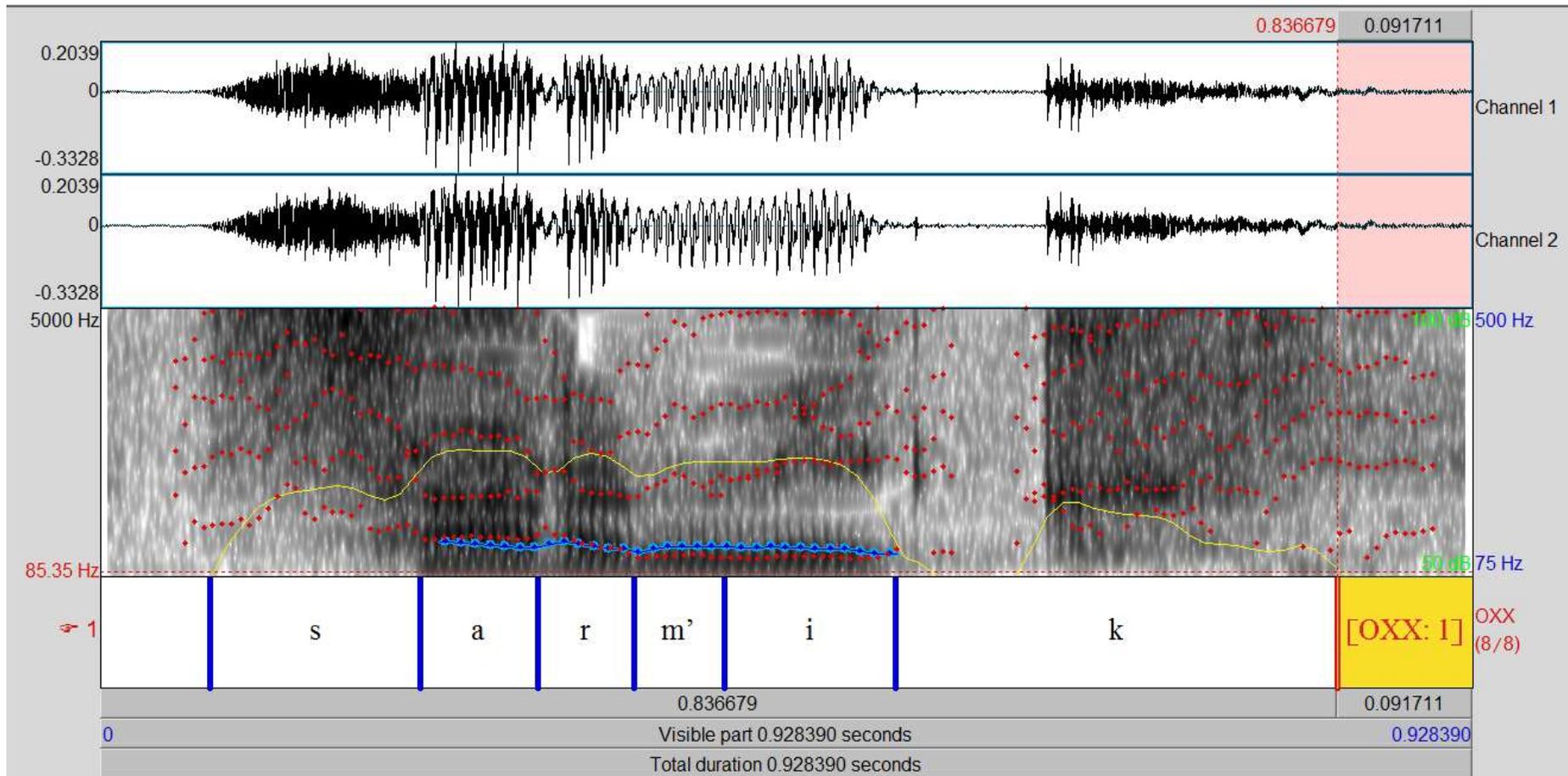






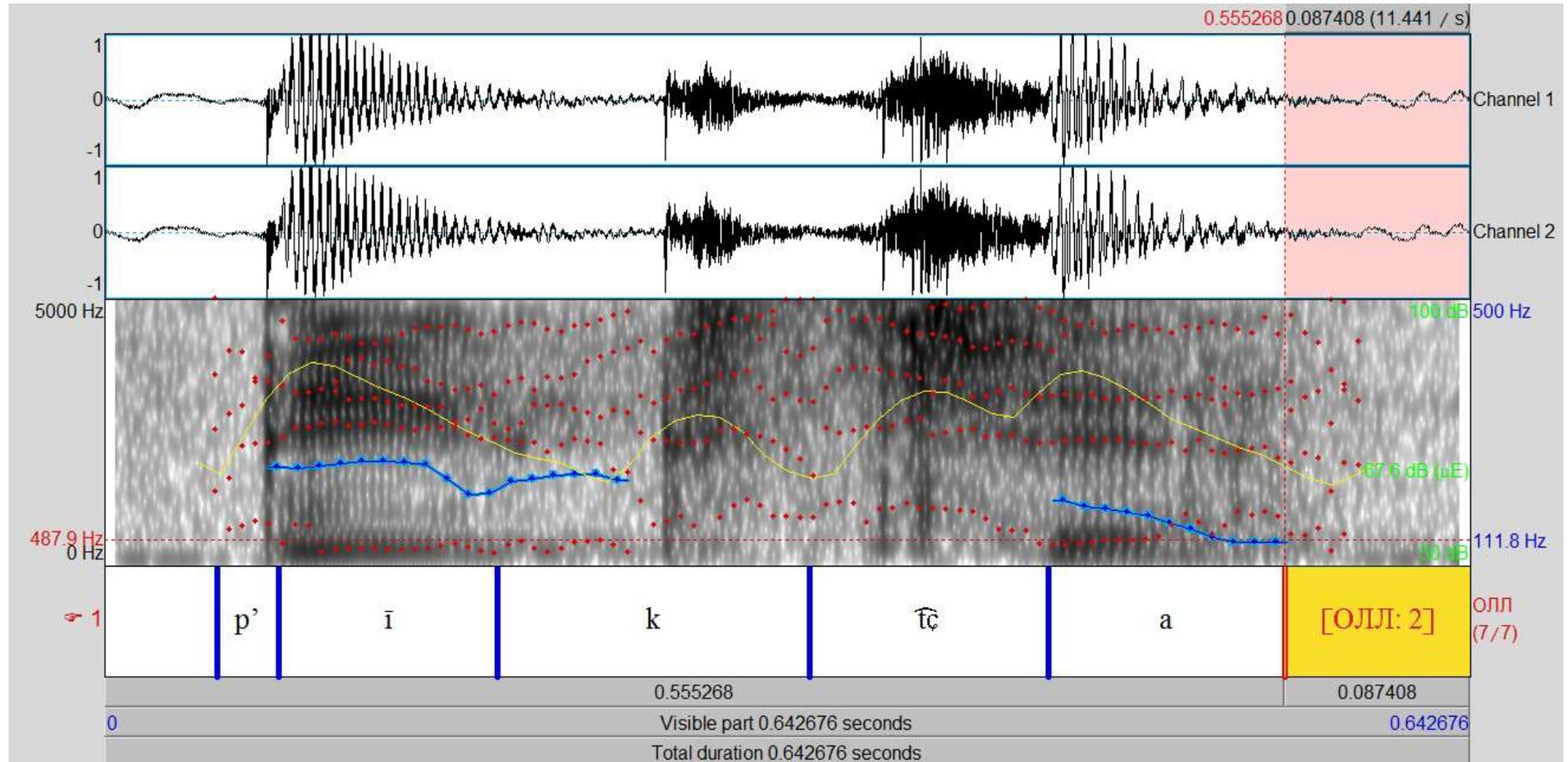


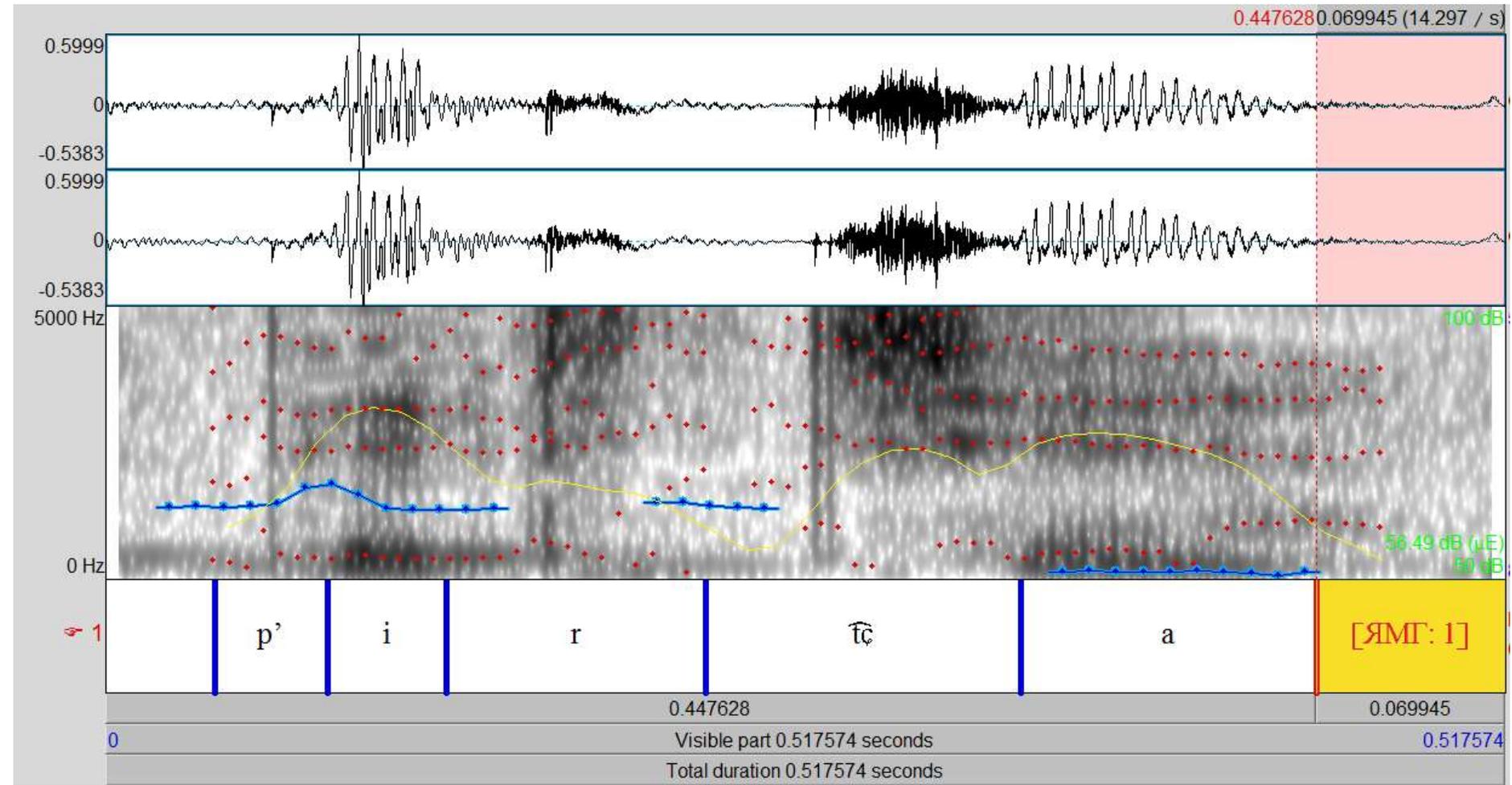


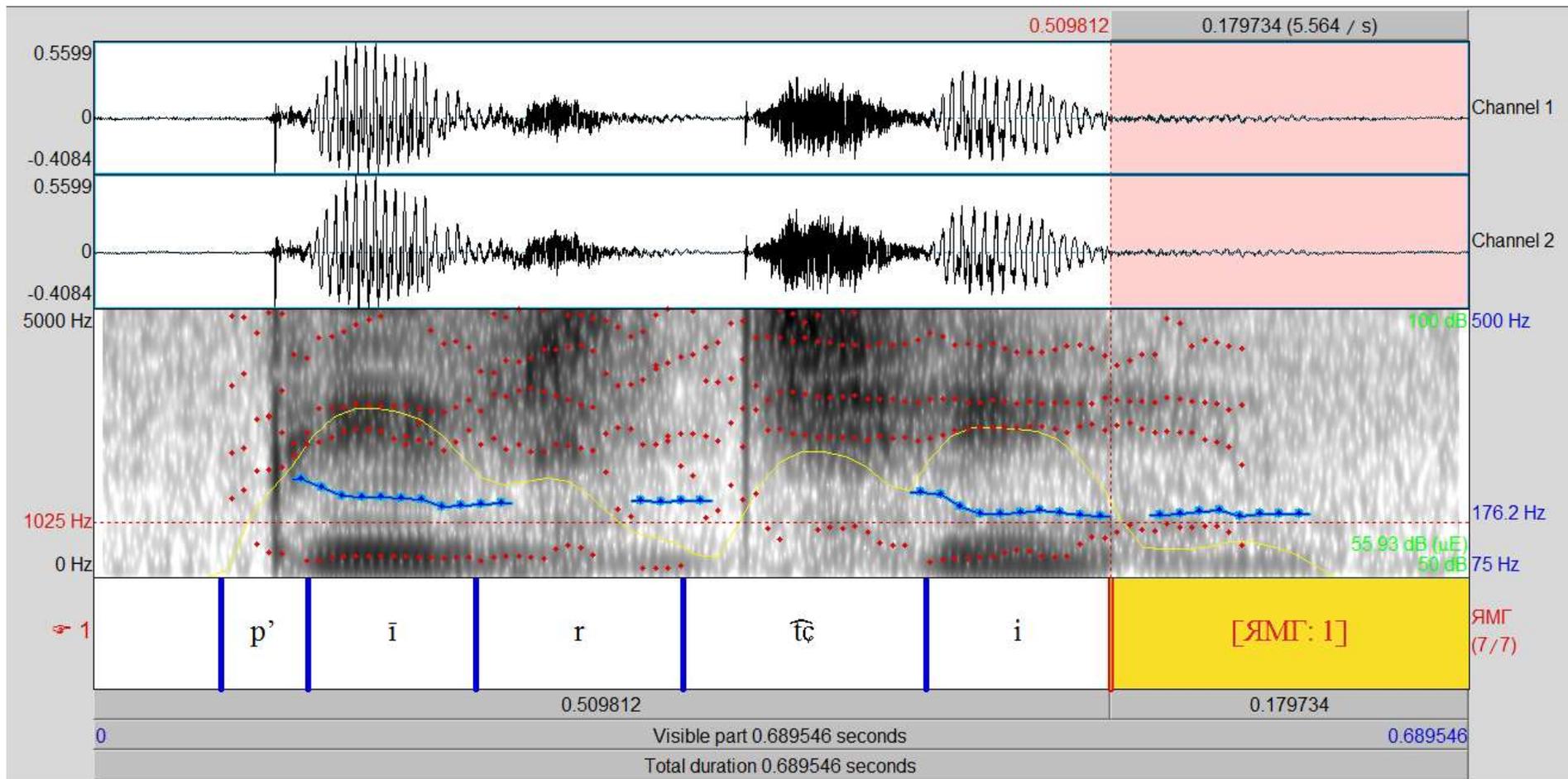


Акустические характеристики аффрикат

- **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)



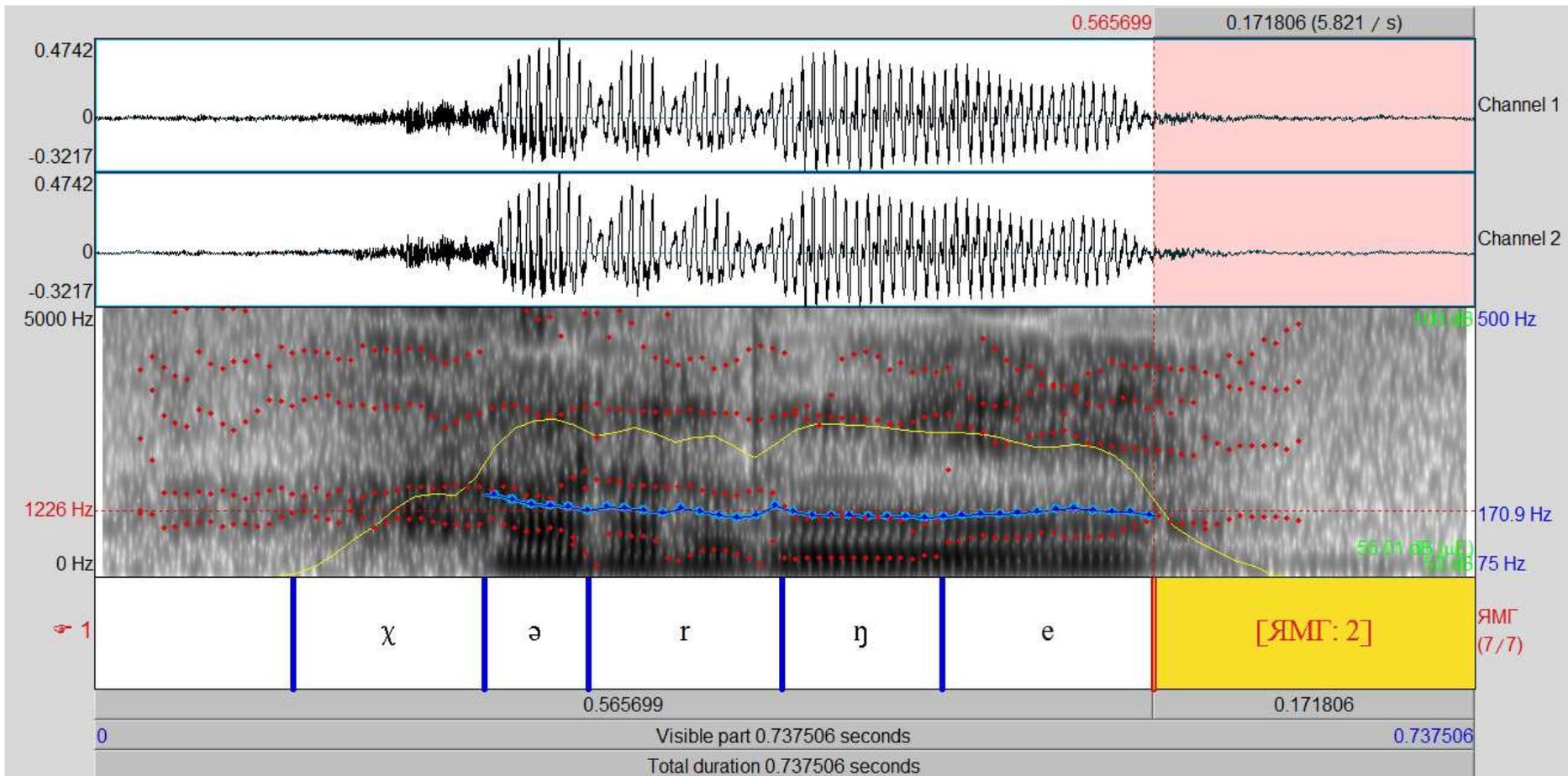


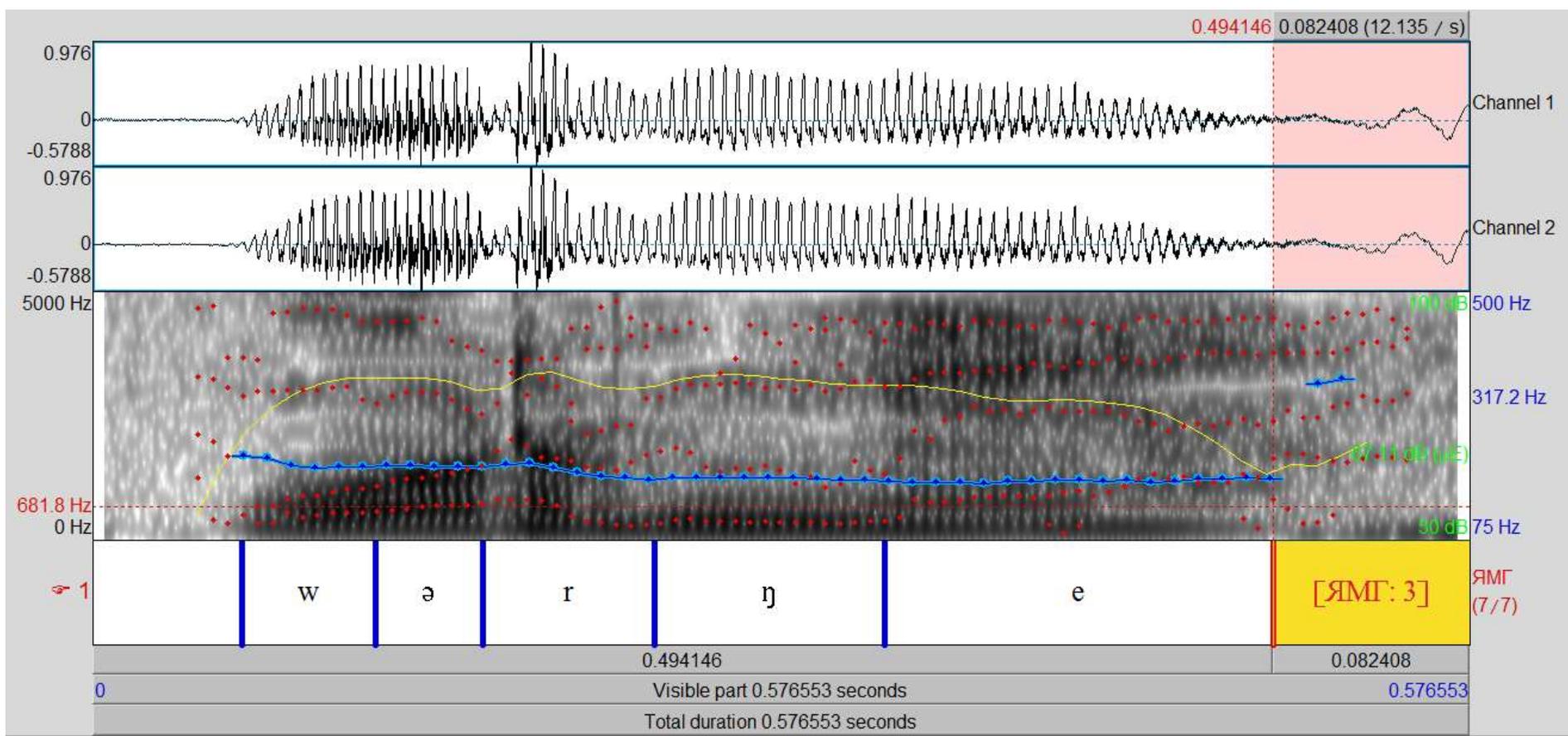


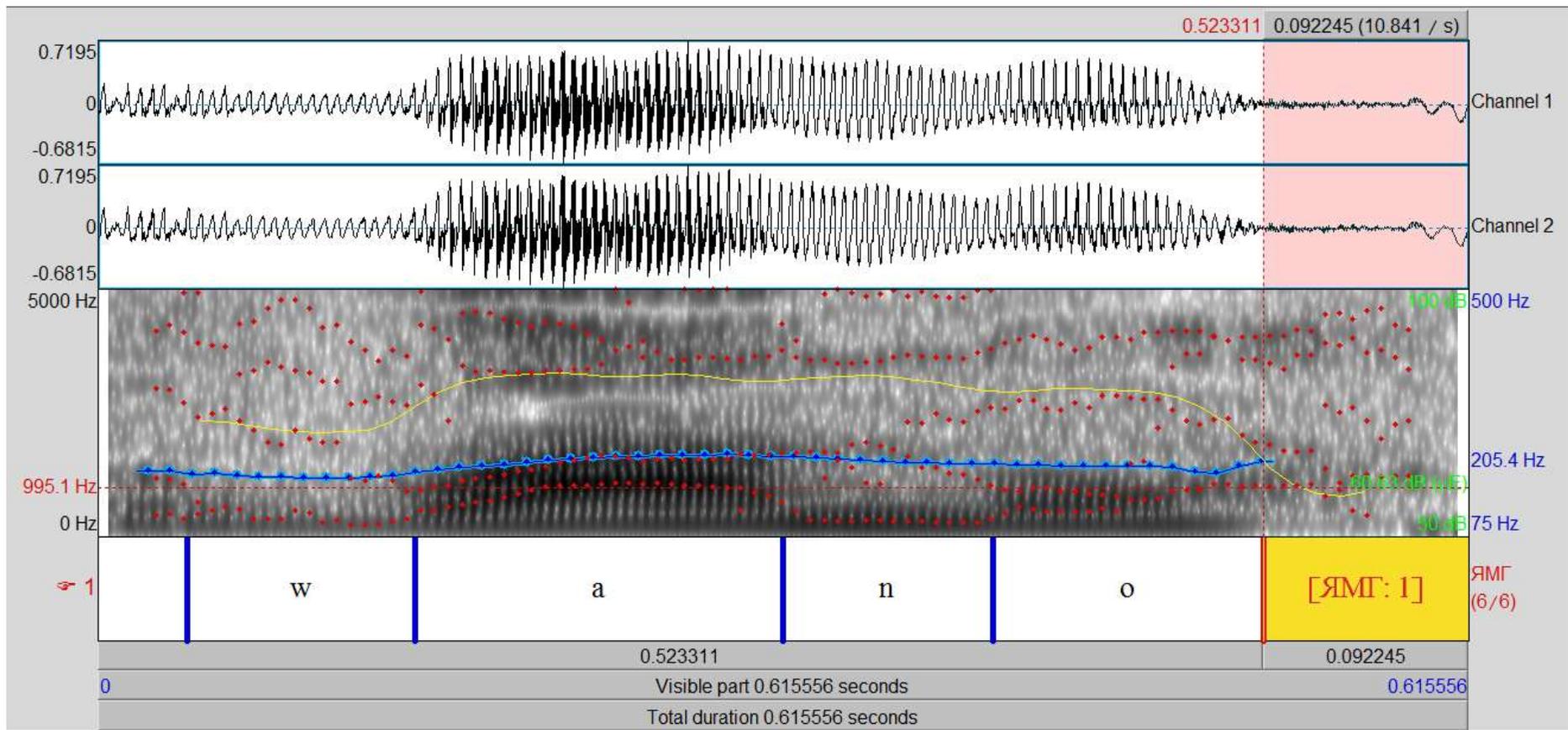
Акустические характеристики сонорных согласных

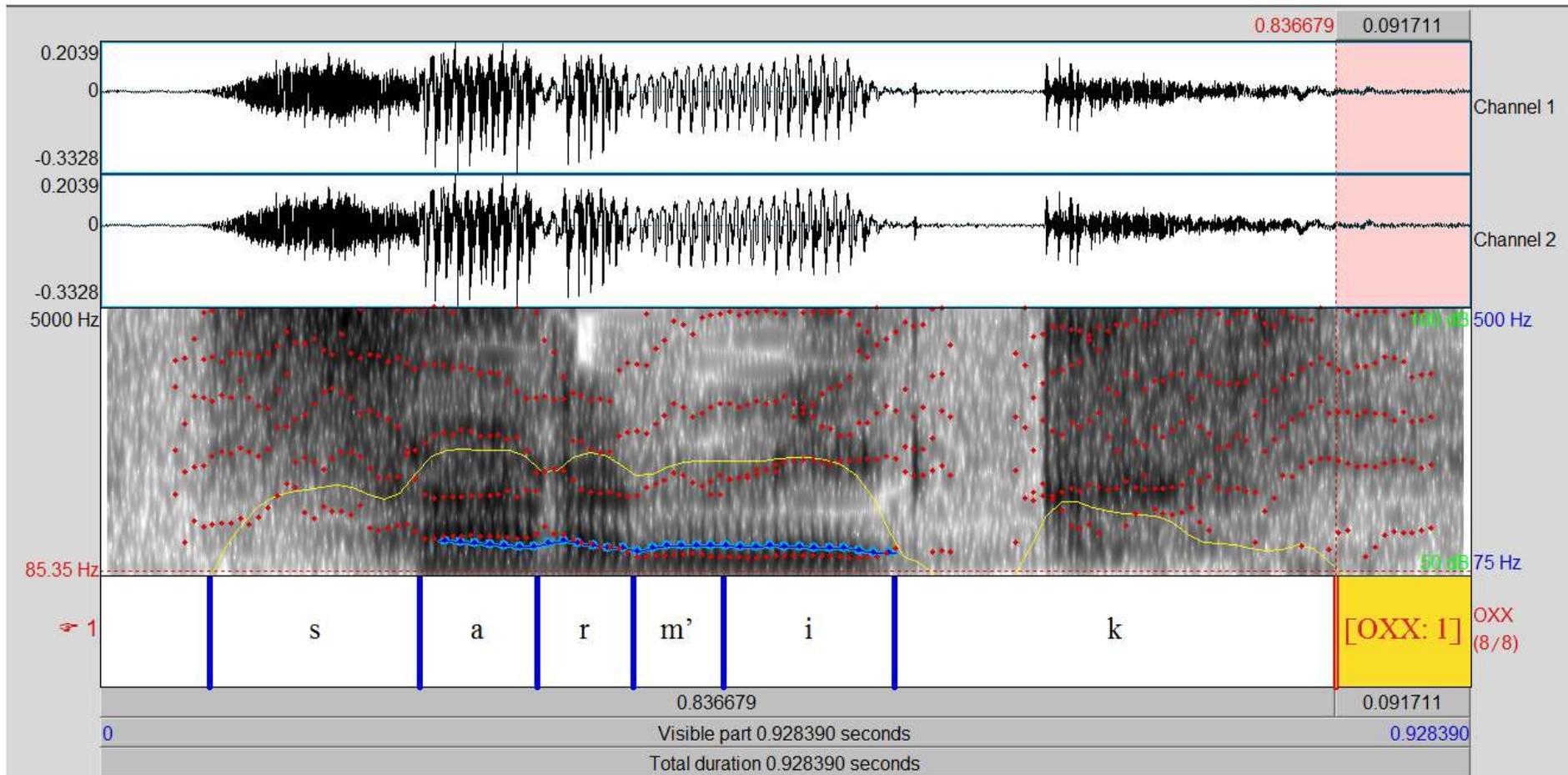
Акустические характеристики носовых сонорных

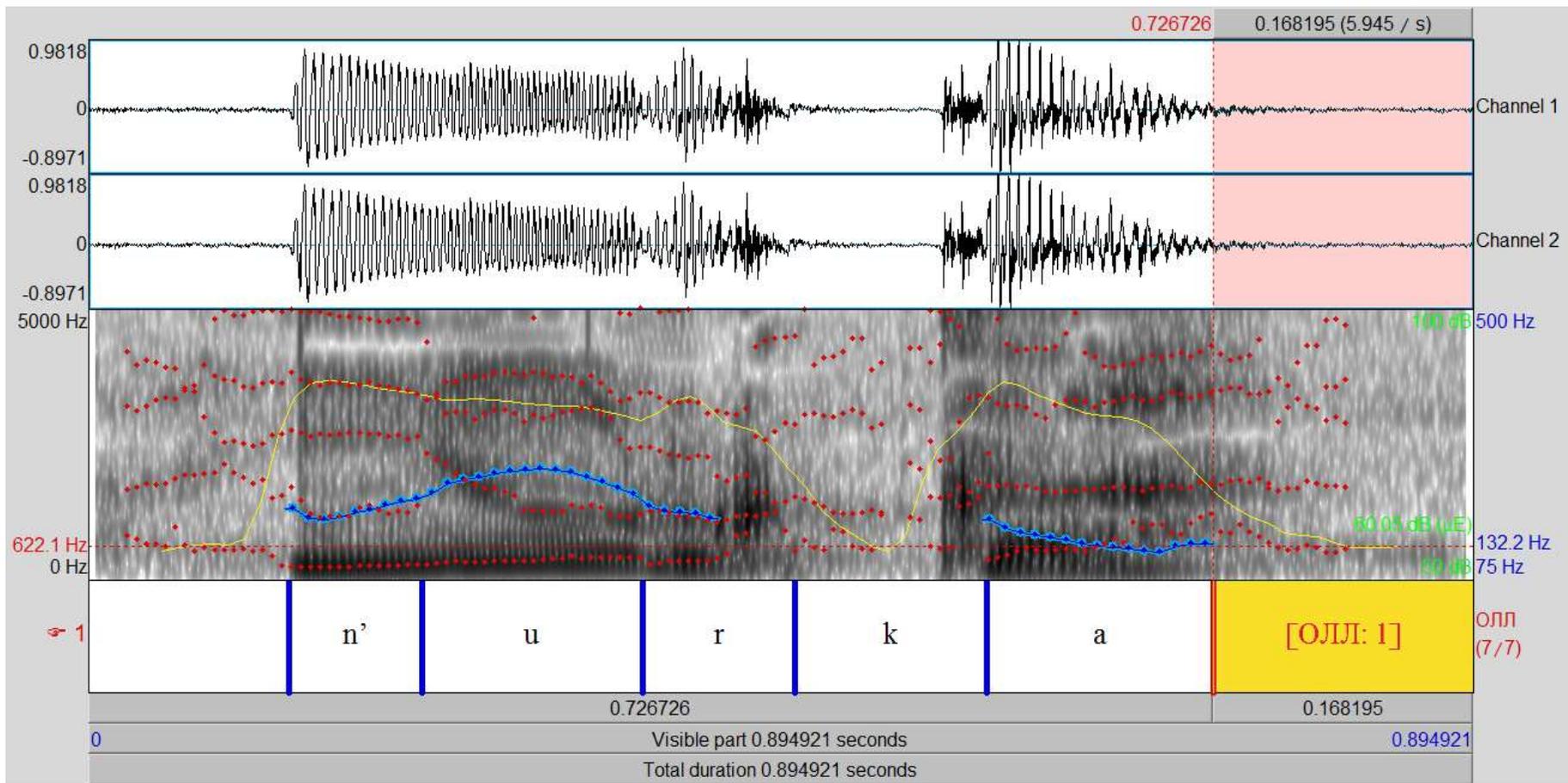
- участие **носовой полости** > **дополнительные форманты** в спектре
- самая низкая форманта – **форманта назализации** (200-300 Гц) – интенсивна в спектре
- **усиление низких гармоник** голосового источника
- **подавление ротовых формант**
- по сравнению с гласными – **довольно низкая интенсивность**

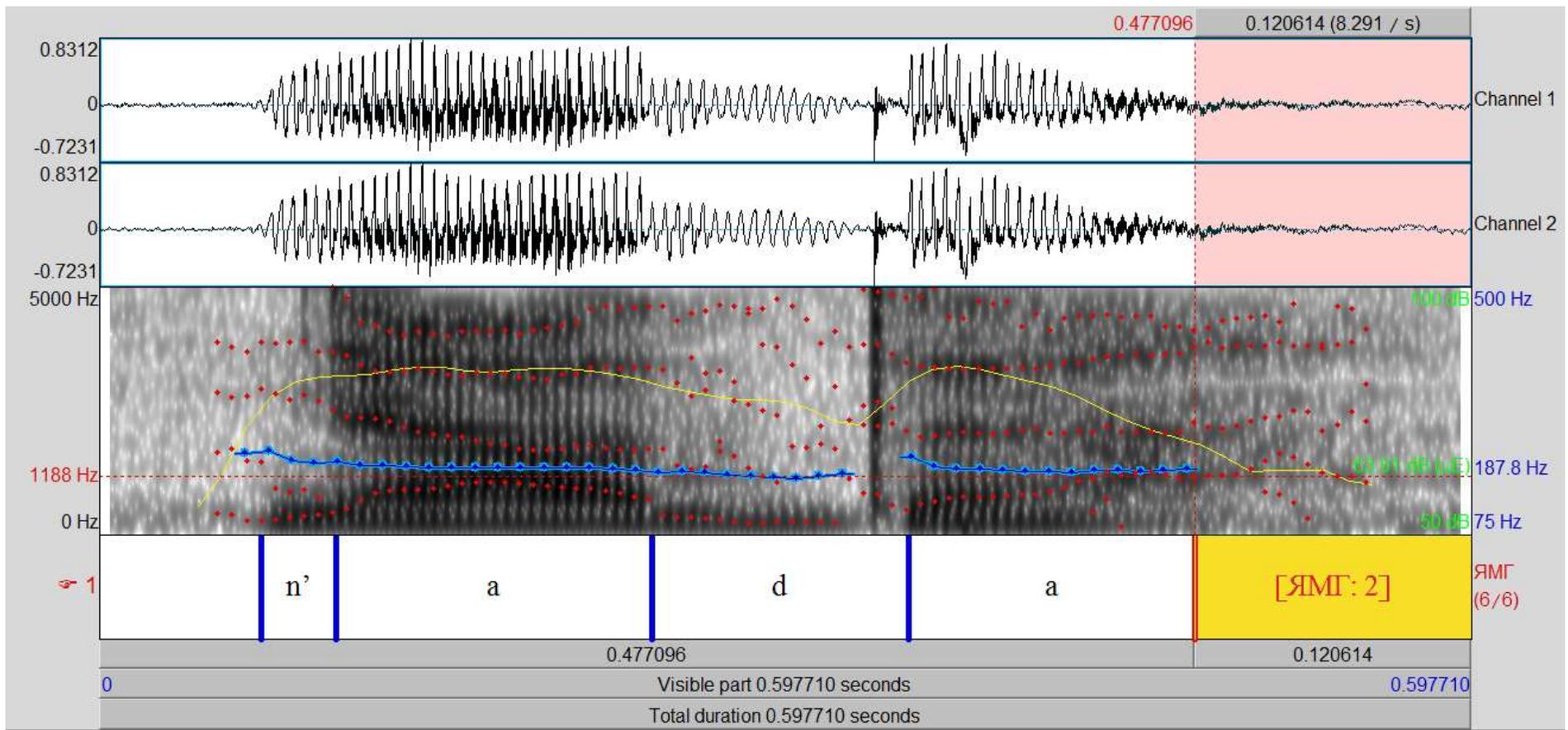


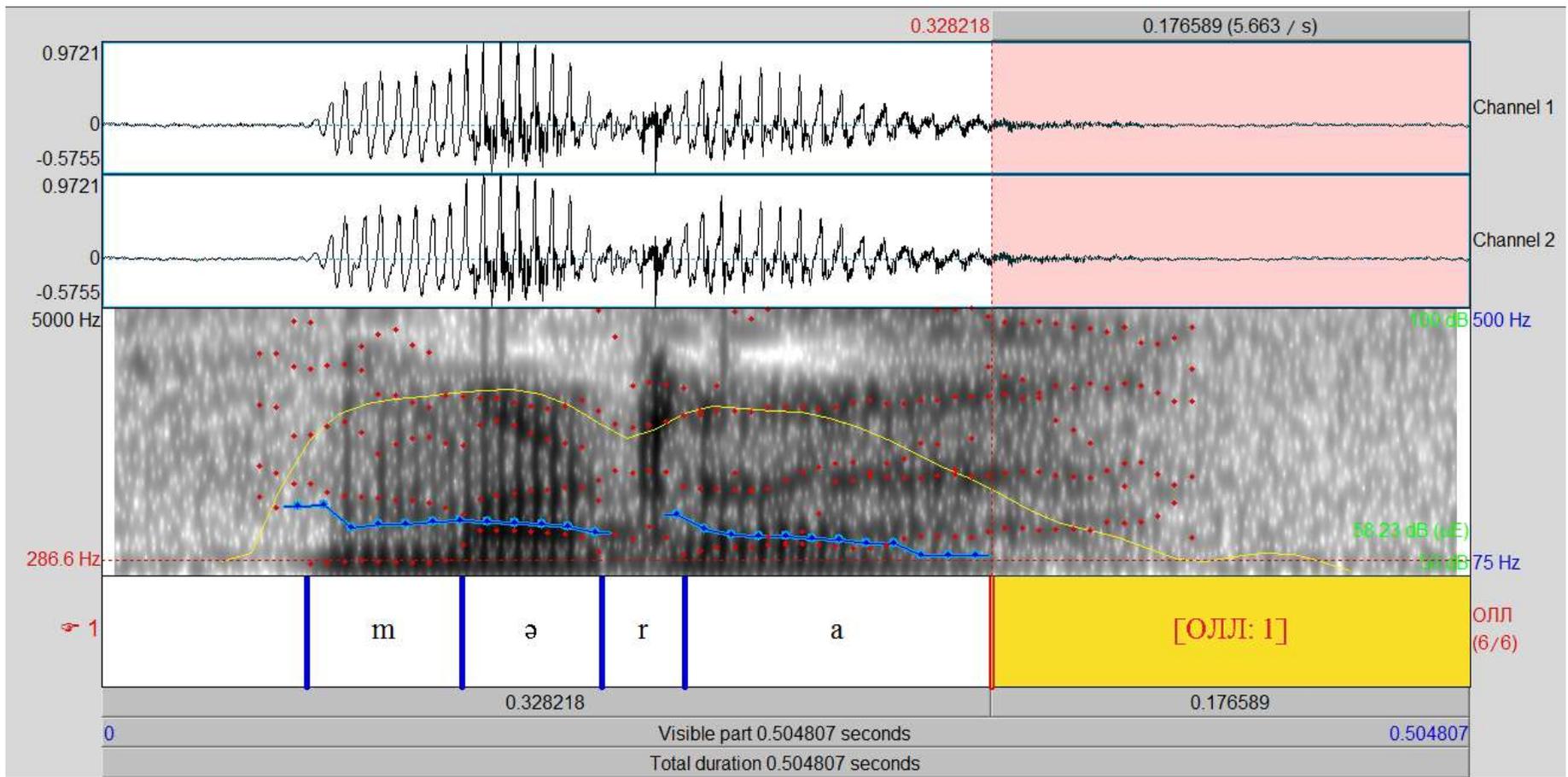










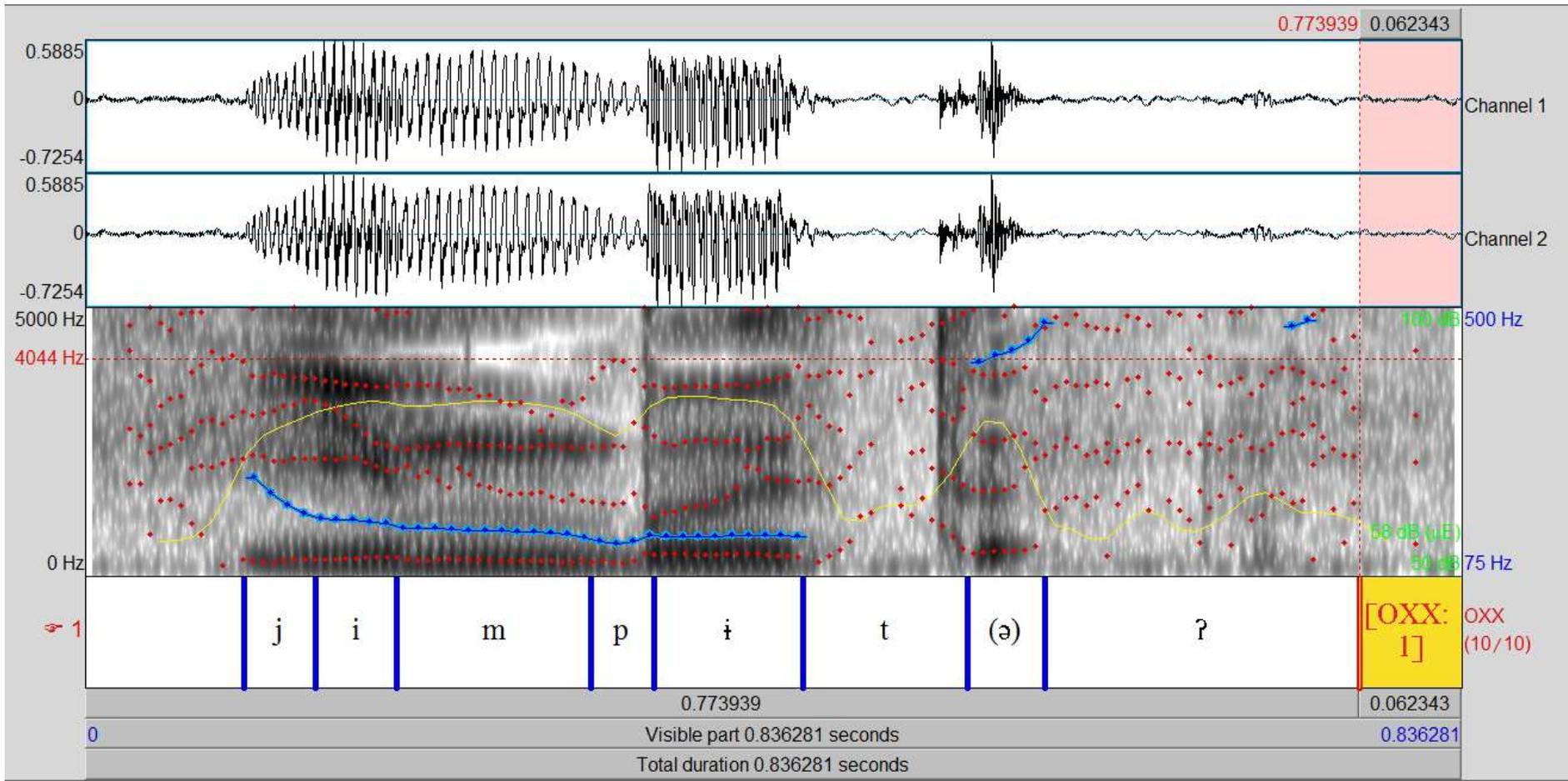


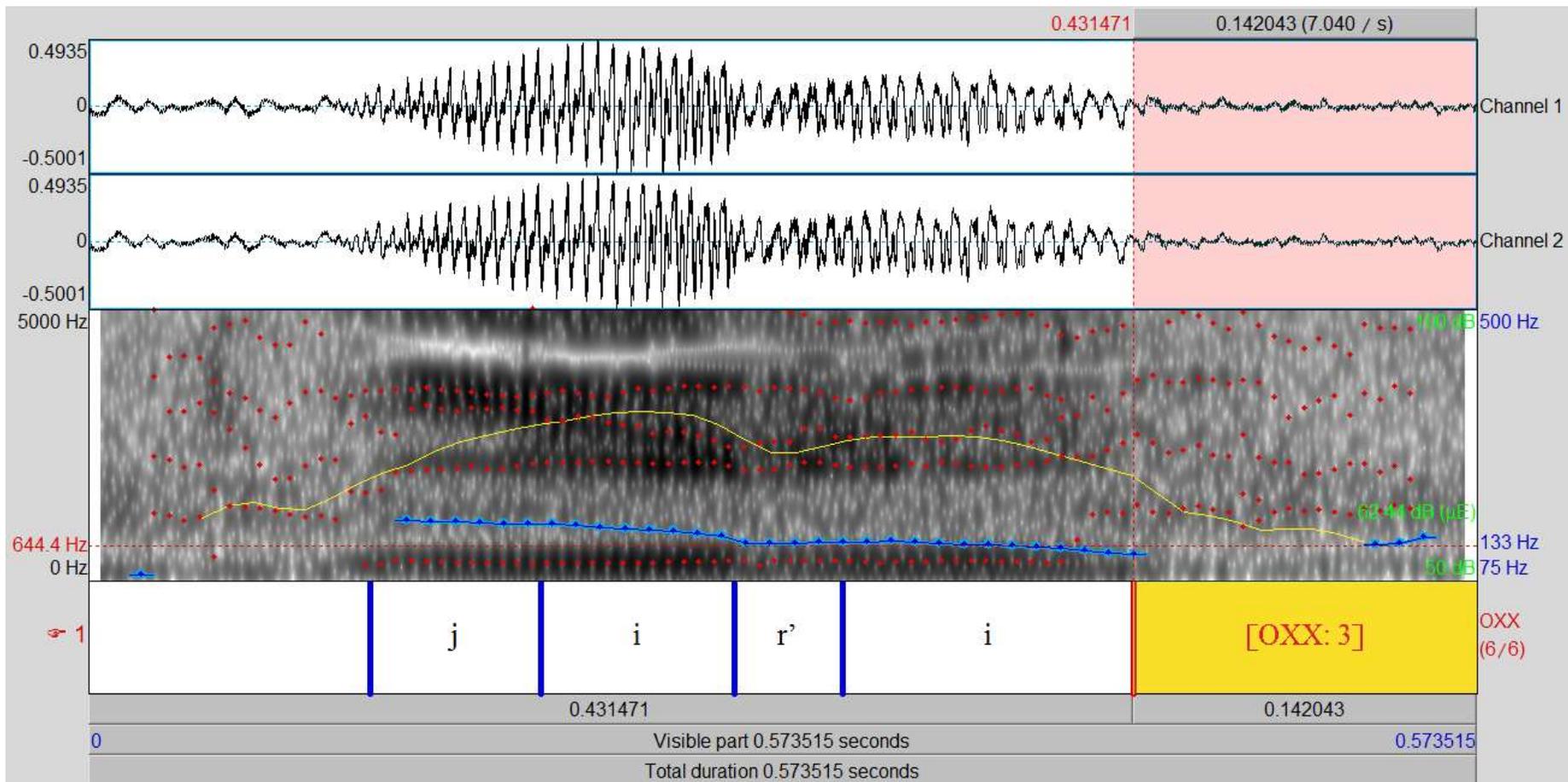
Акустические характеристики неносовых сонорных согласных

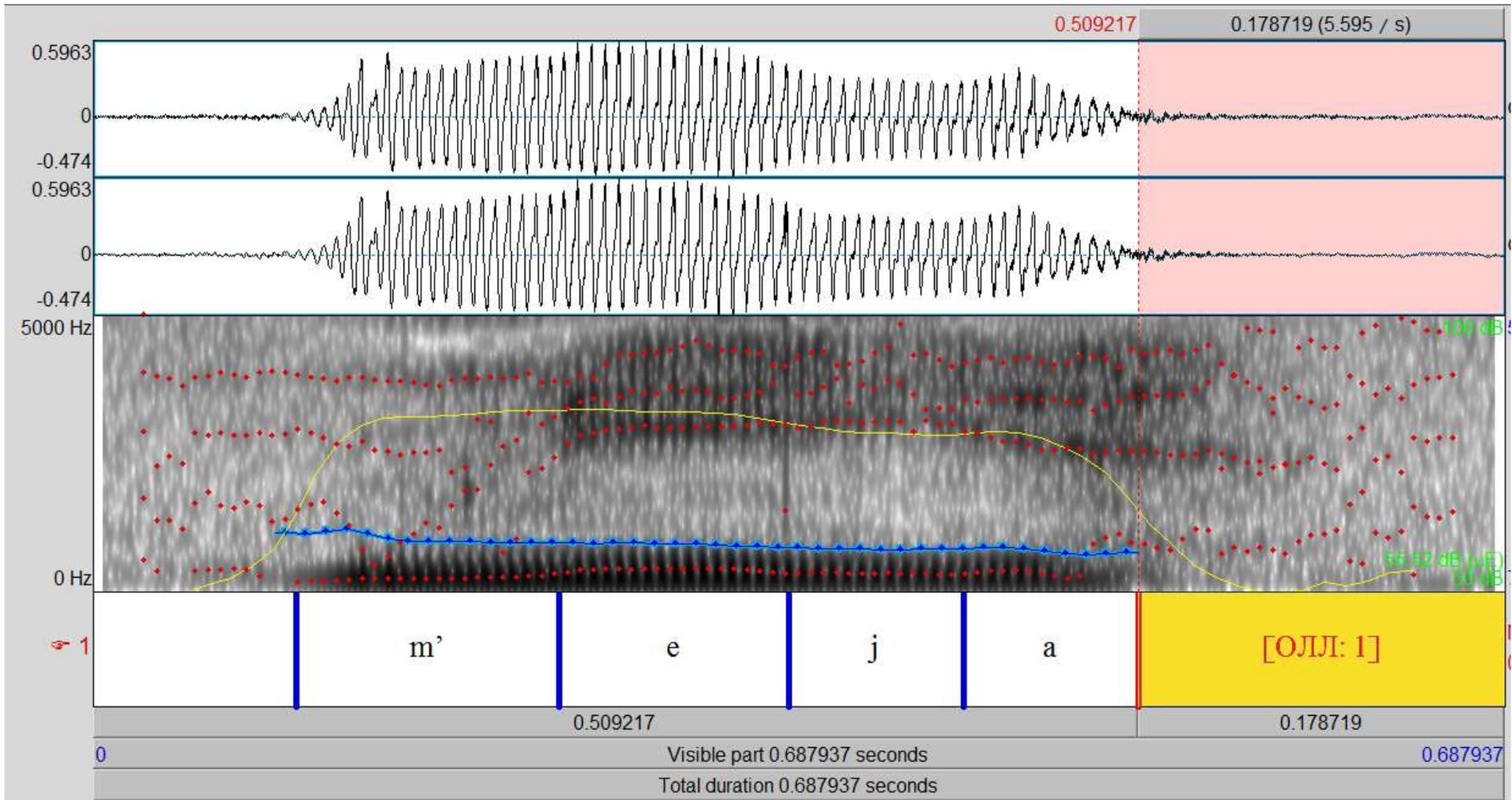
- **ГОЛОСОВОЙ ИСТОЧНИК**
 - небольшое сужение (воздух проходит **относительно свободно**, без образования шума)
 - **проход в носовую полость закрыт**
-
- > 1) **периодичность сигнала**
 - 2) **голосовая полоса и вертикальная штриховка**
 - 3) отчетливая **формантная картина**

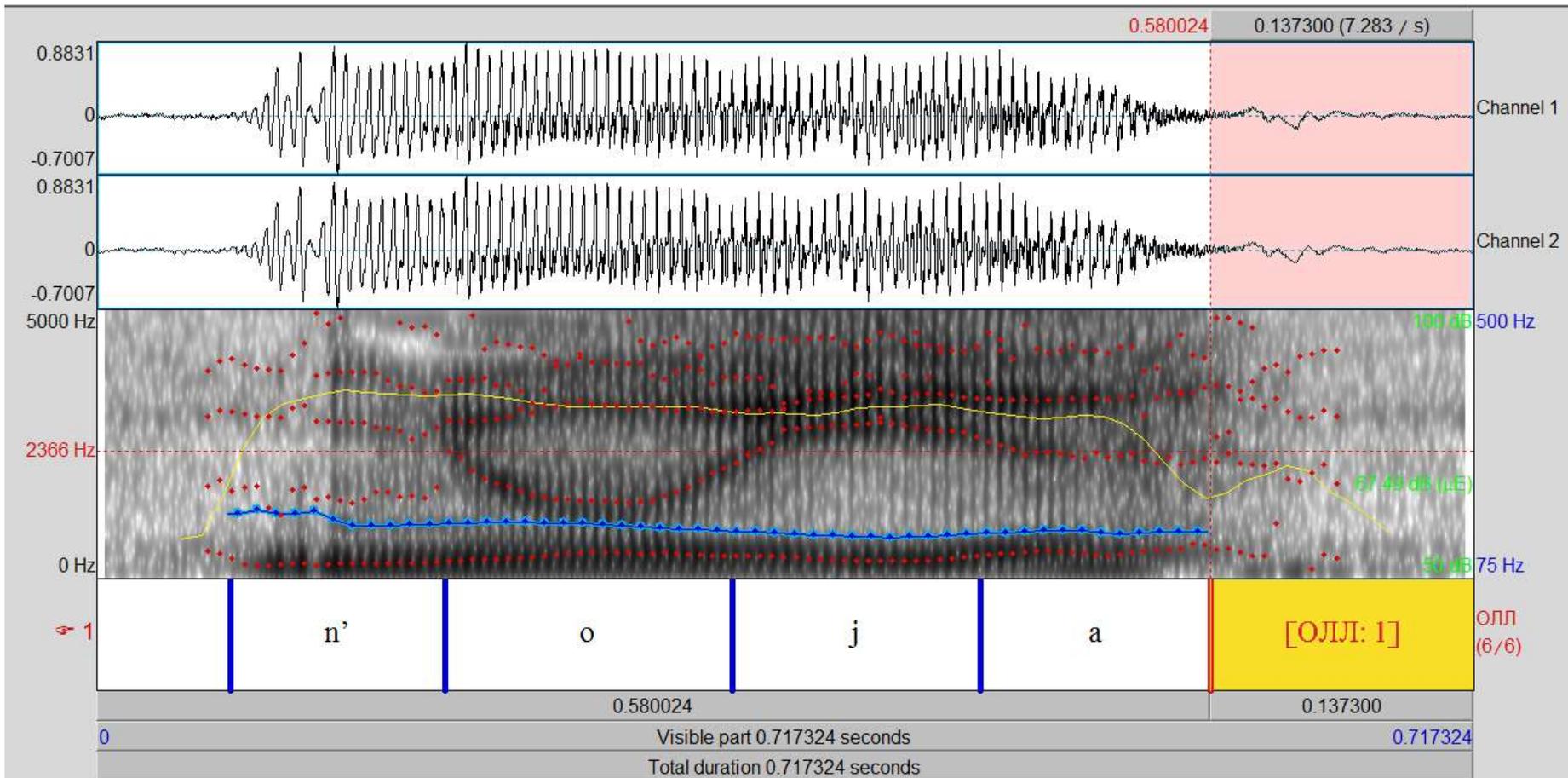
Центральные аппроксиманты

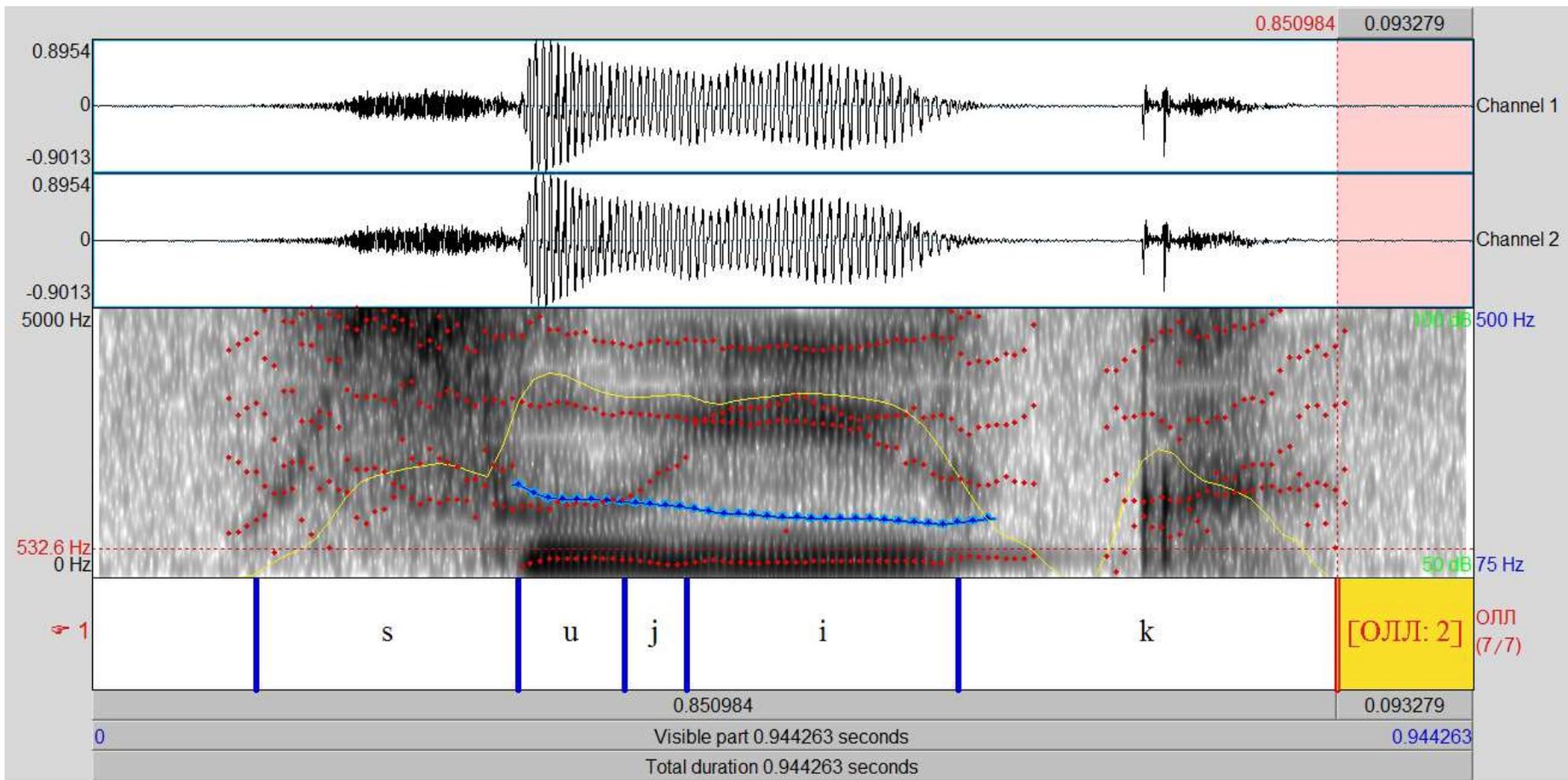
- рус. [й], англ. [j], [w]
- **полугласные (semivowels)**
- воздух **свободно** проходит по **центру** ротовой полости
- **артикуляционное сужение** больше, чем у гласных
 - > **понижение F1** (< 300 Гц; min - у огубл. [w])
 - > **потеря энергии звуковых колебаний** голосового источника (F2, F3)
 - > **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’)











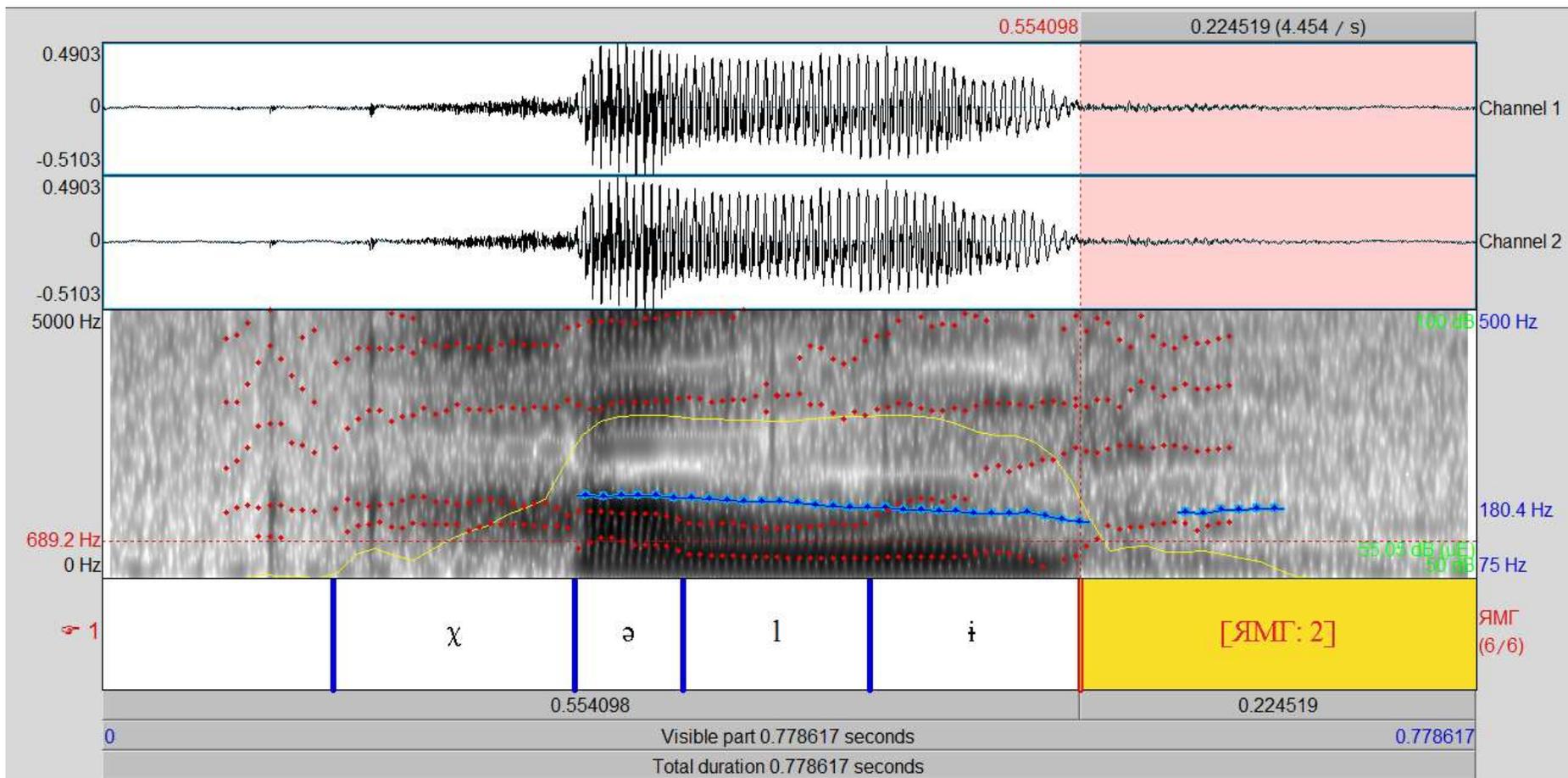
Боковые (латеральные) сонорные

- 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)

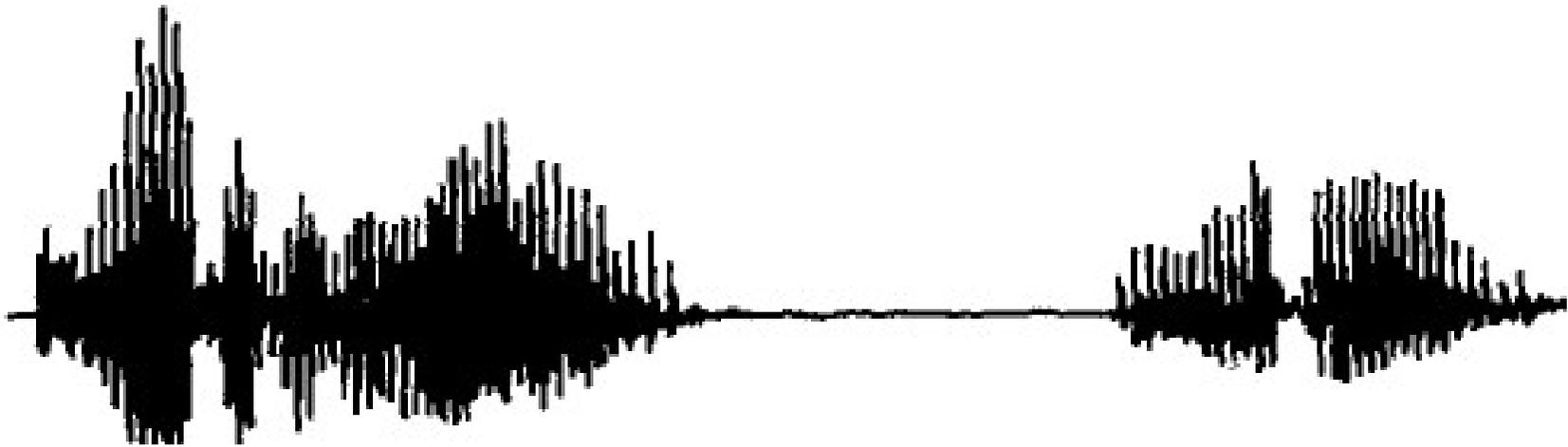
- F1 ~ 300 Гц
- F2 ~ 800-1200 Гц
- F3 ~ 2500-3000 Гц
- меньшая длительность и большая скорость формантных переходов с гласными
 - **уменьшение общей интенсивности сигнала**
 - **ослабление главных ротовых формант на боковом согласном**
 - **размыкание язычной преграды > небольшой взрыв**

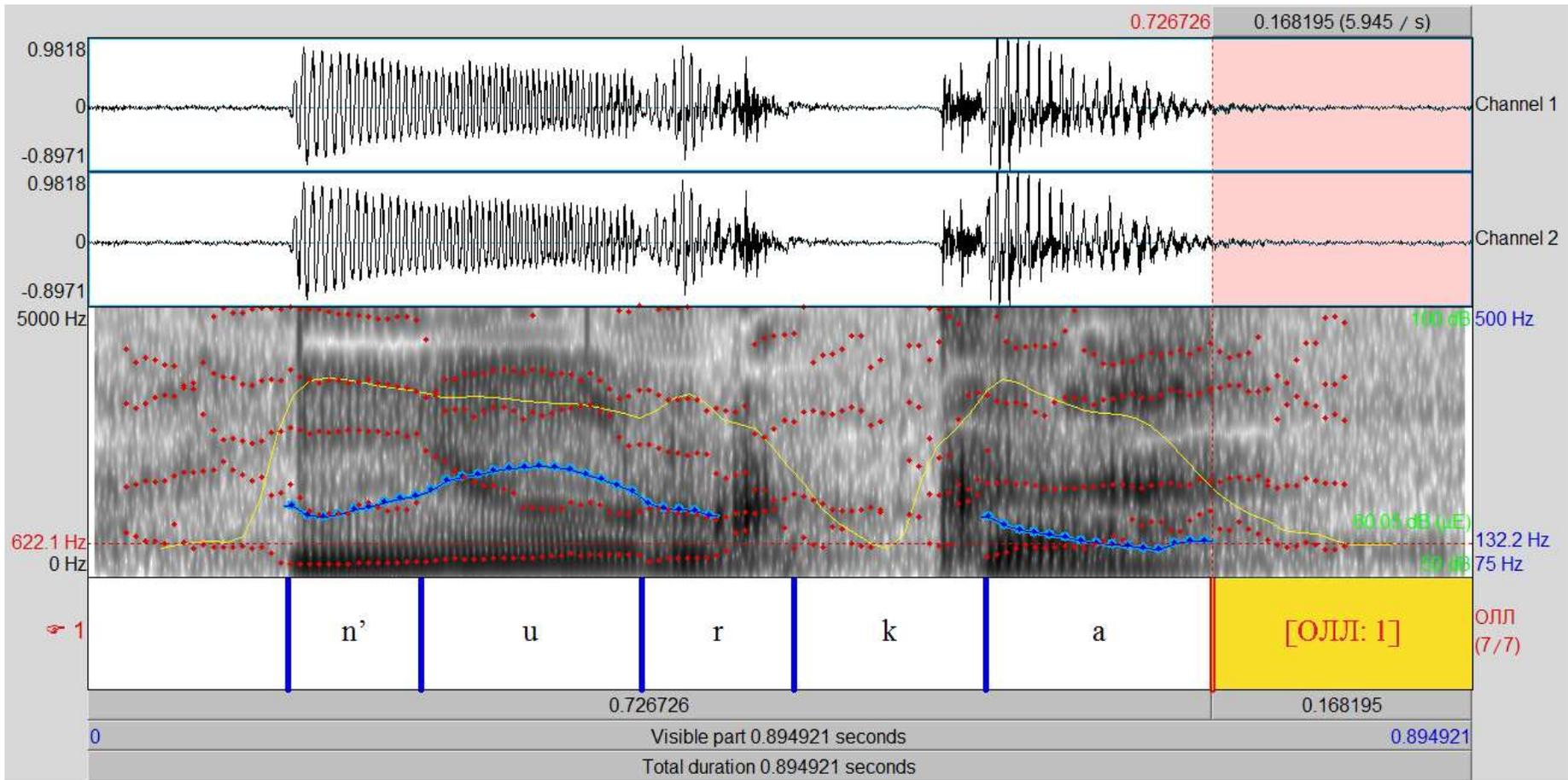


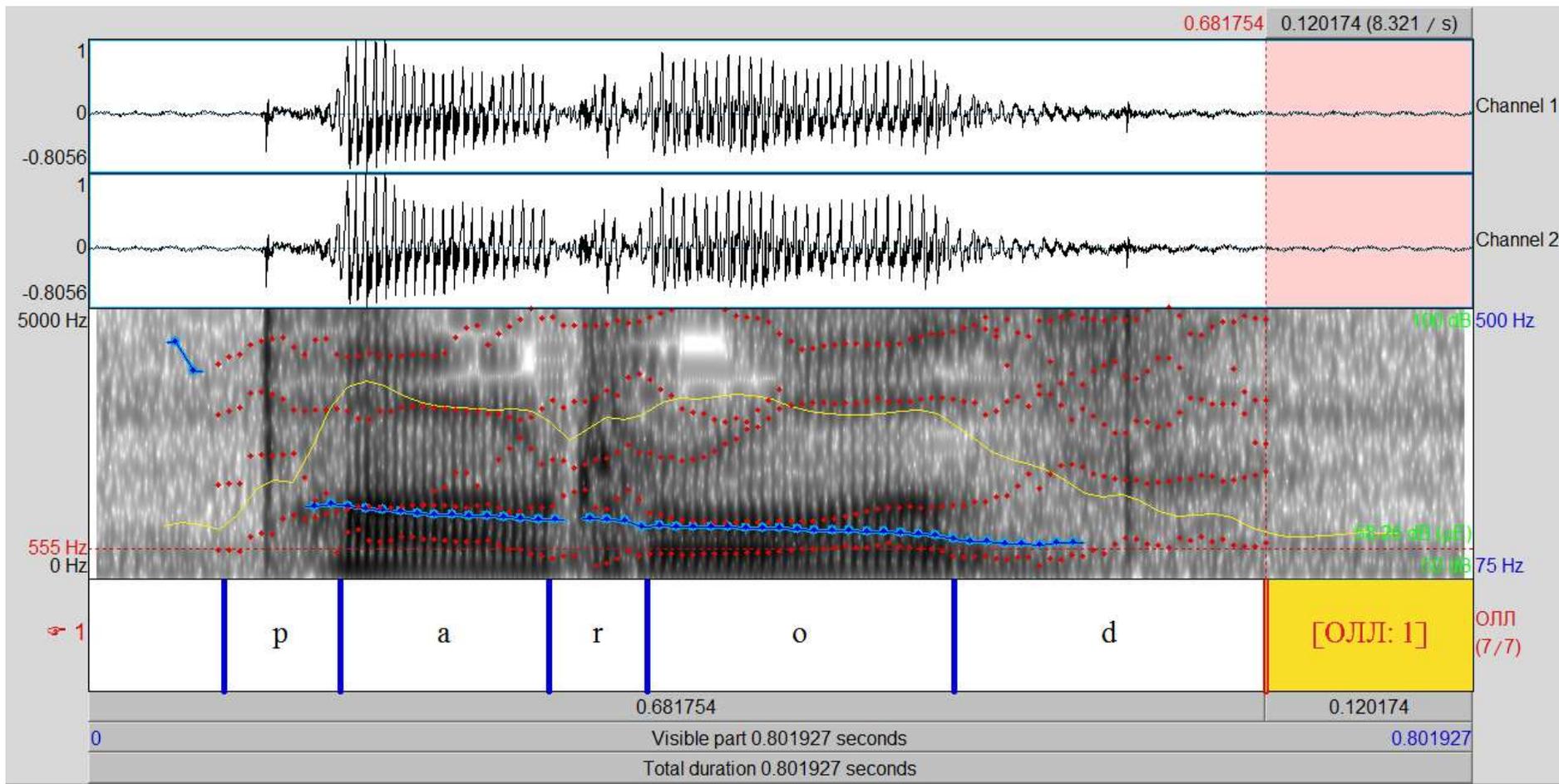
Дрожащие согласные (вибранты)

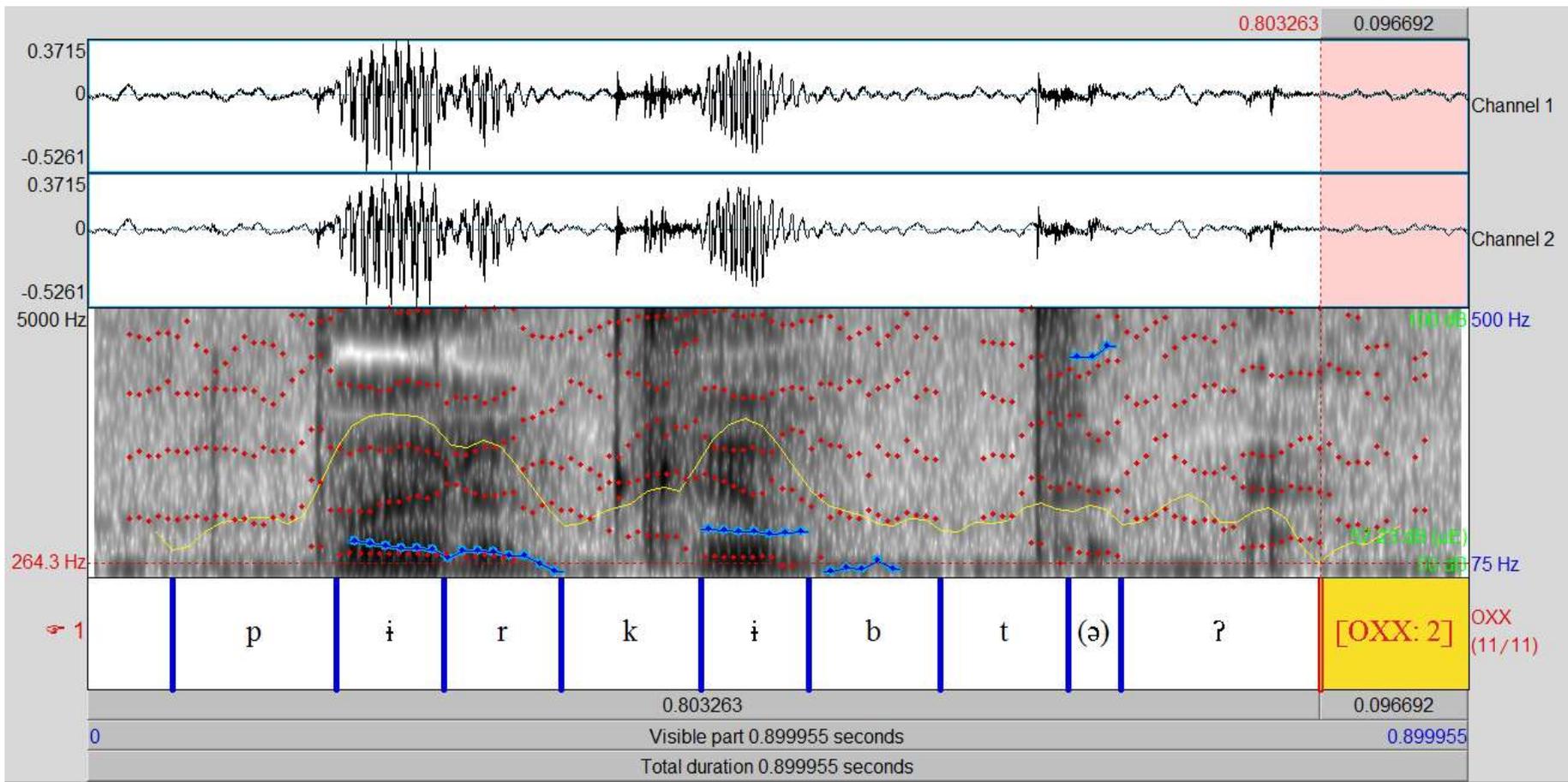
- **колебания активного артикулятора** в воздушном потоке
рус. [р]
- **количество колебаний** (ударов) – одноударный, 2-3 удара
- **понижение F1**, уменьшение уровня всех вышележащих формант
- **закрытая фаза** (сужение прохода) ~ смычка звонкого взрывного (очень короткая, нет взрыва после нее)
- **F-картина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

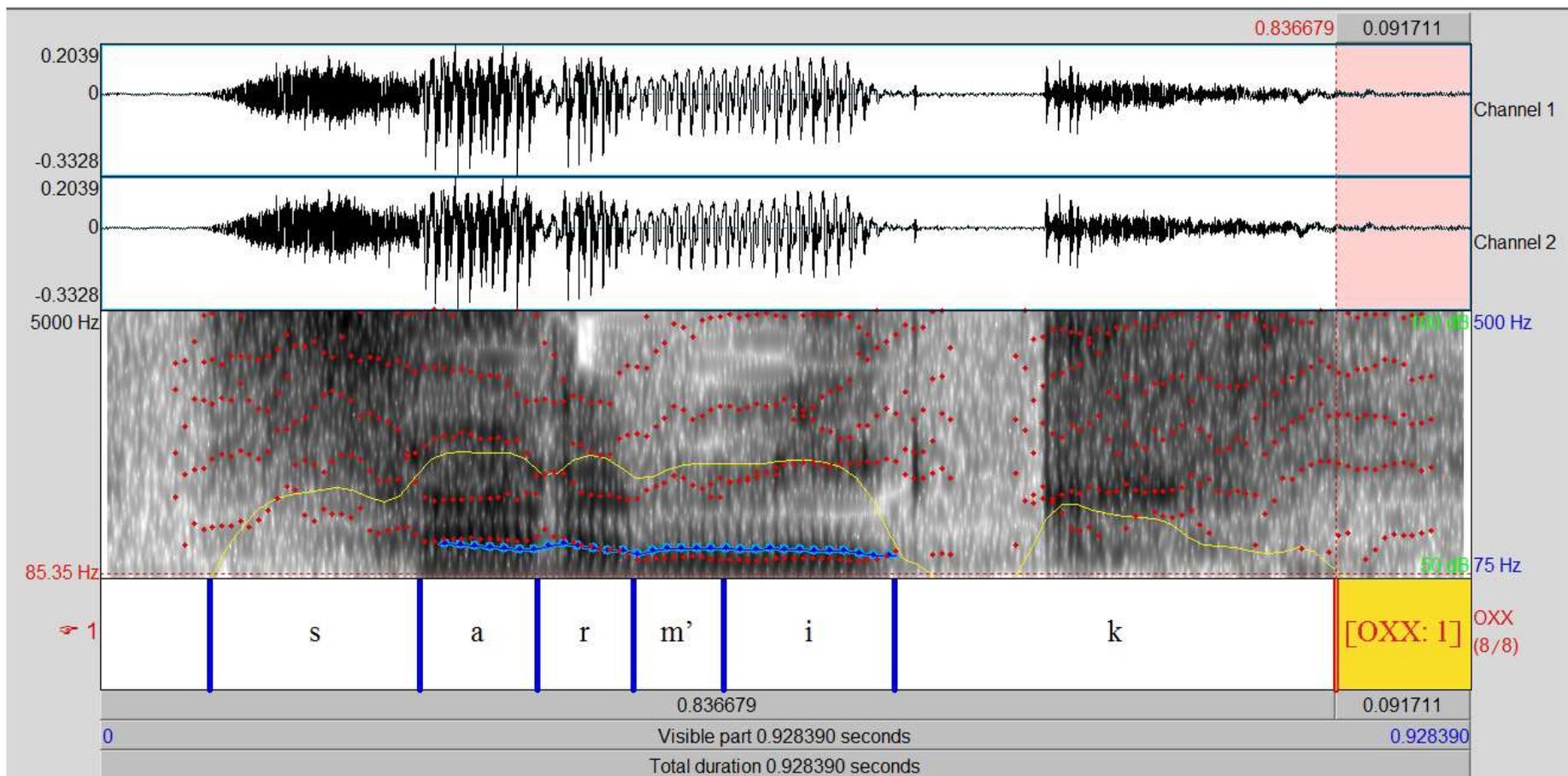
Многоударный и одноударный варианты рус. [р] в интервокальной позиции

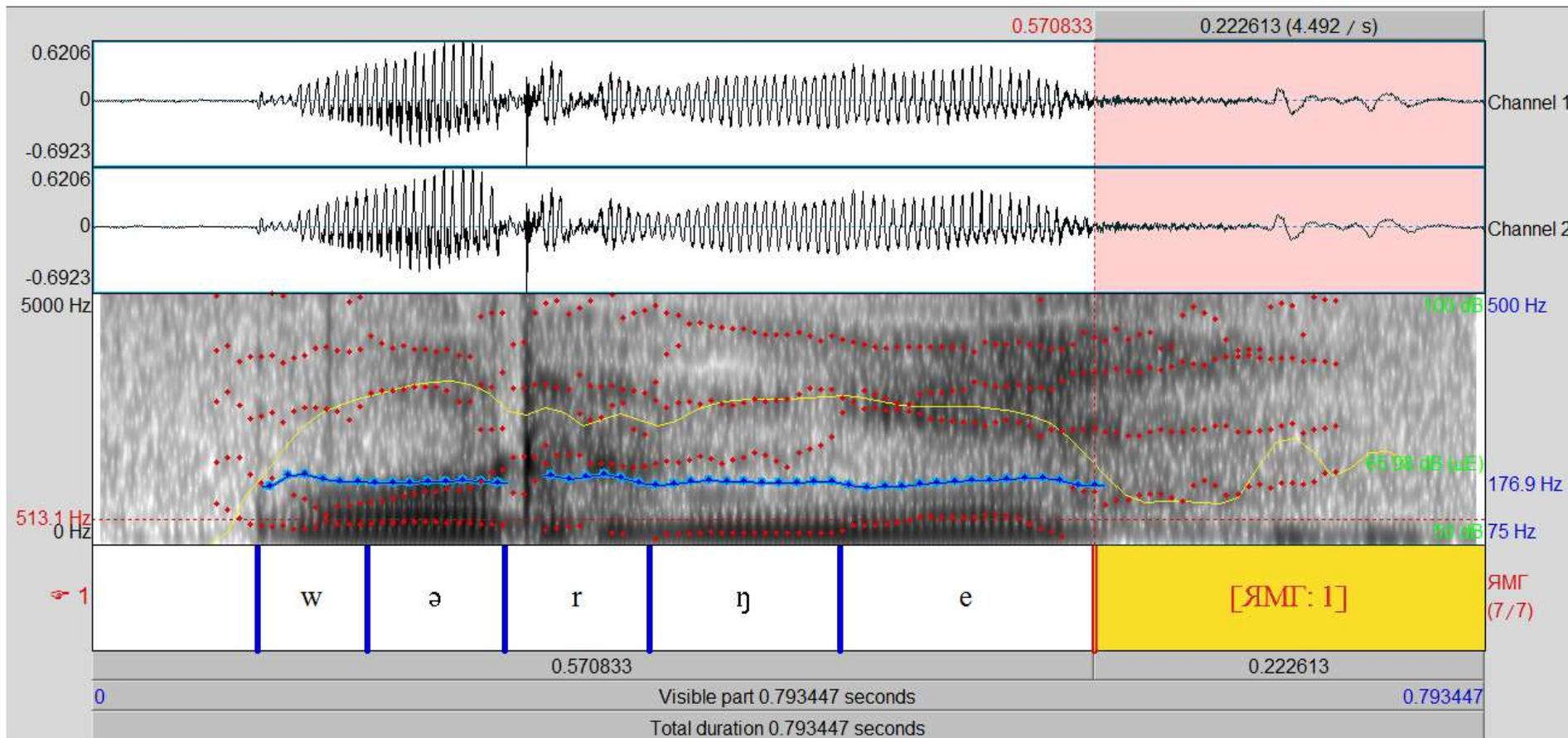


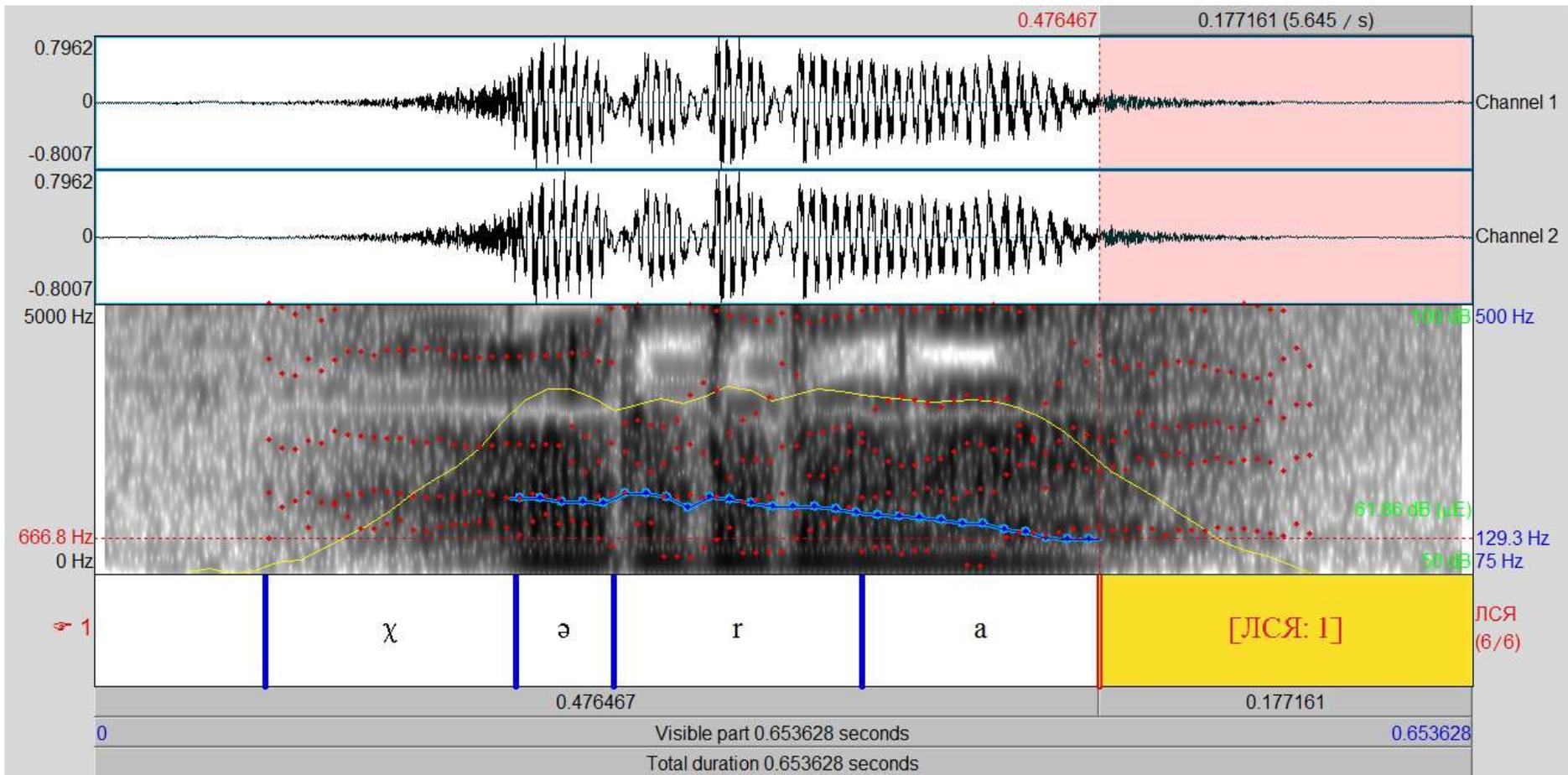


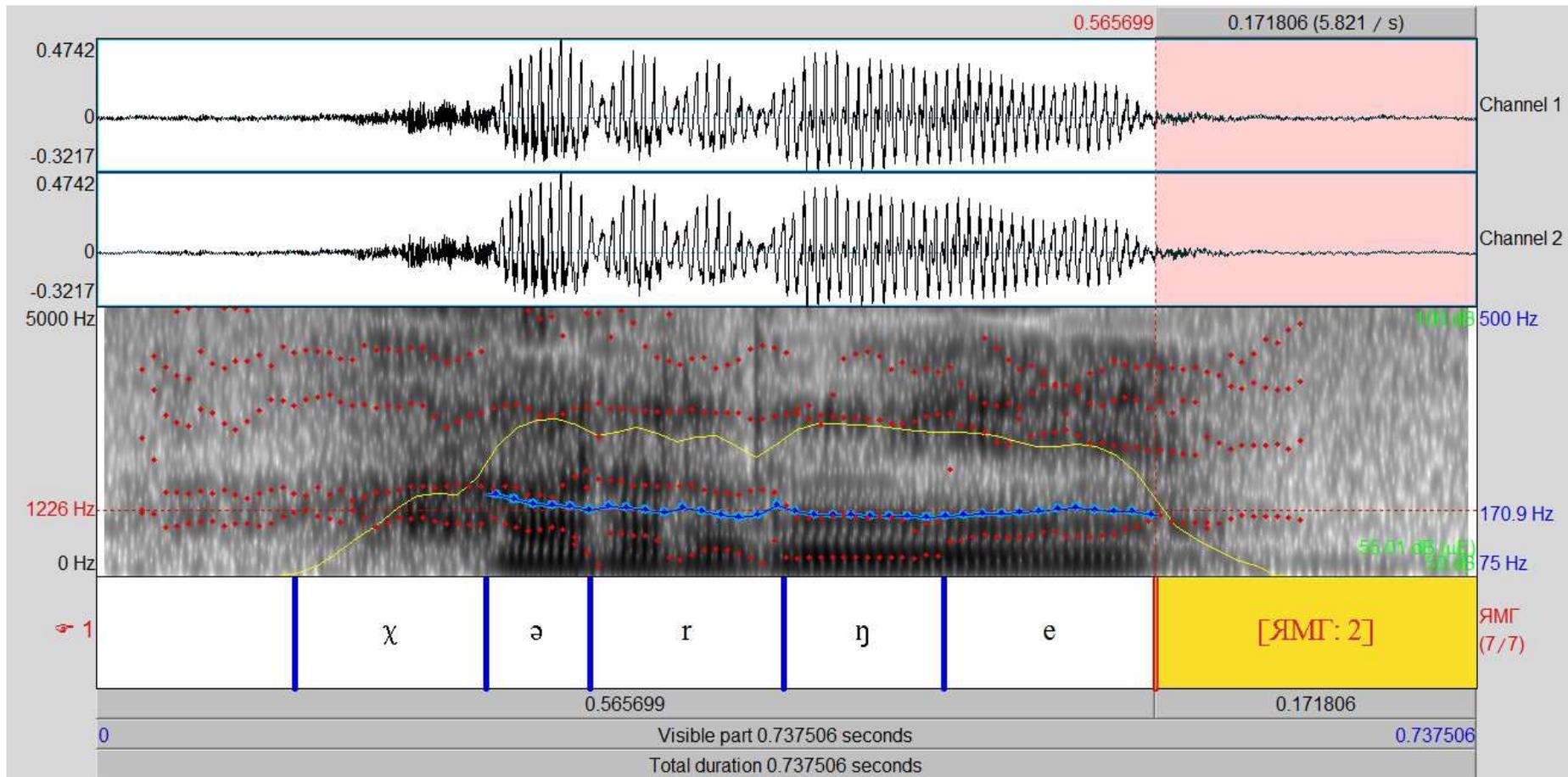












Литература к разделу «Акустика речи»

- *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. 2nd 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, Institute of Phonetic Sciences**

- **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/>.

запись аудиофайла (Record)

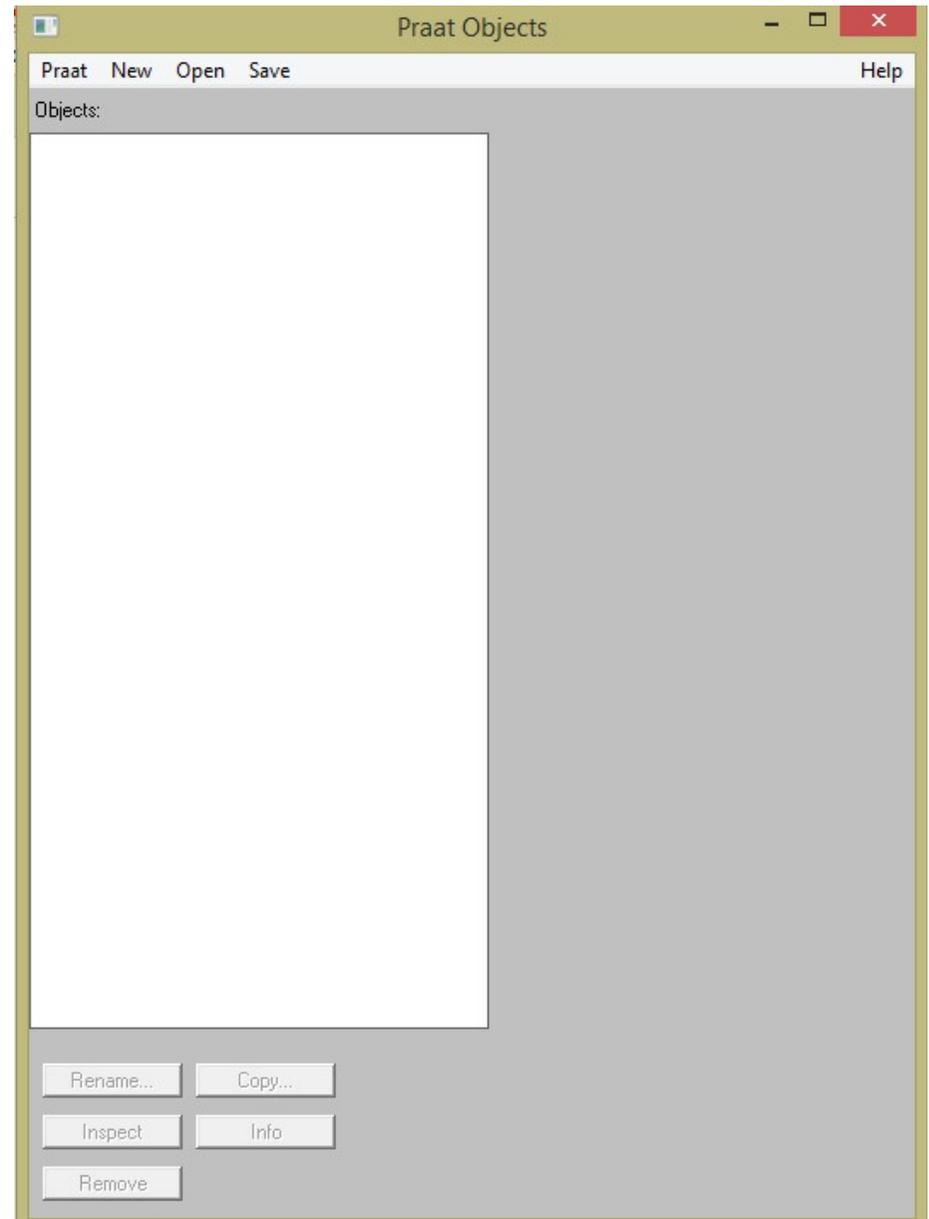
- анализ аудиофайлов

- **осциллограммы (Waveforms)**
- **спектрограммы (Spectrograms) разных типов**
 - измерение **длительности сегментов (Duration)**
 - определение **времени начала озвончения** смычных (Voice Onset Time, VOT)
 - изучение и измерение **частоты основного тона (Pitch, F0)**
 - изучение **голосовых импульсов (Pulses)**, эффектов «джиттер» и «шиммер» (Jitter, Shimmer), **коэффициента «гармонический звук – шум» (Harmonics-to-noise ratio)**
 - изучение и измерение **формант (Formants)**
 - измерение **интенсивности (Intensity)**
 - работа со **спектральным срезом (Spectral slice)**
 - измерение **амплитуды и частоты периодических колебаний (Harmonic Amplitude, Frequency)**
 - изучение **фонации** (скрипучий и придыхательный голос; Creakiness and Breathiness using Spectral Tilt)
 - изучение **назализации (Nasality)**...

- **создание** аудиофайлов с заданными характеристиками
- **обрезка, копирование, соединение и вставка** звуковых фрагментов
- изменение **частоты дискретизации** (Sampling Rates and Resampling)
- применение **фильтров** к аудиофайлам
- **изменение параметров частоты основного тона, длительности, интенсивности** (для **перцептивных экспериментов**)
- построение **графиков, создание иллюстраций** для статей (Plots) – Praat Picture Window
- **разметка и аннотирование звуковых сегментов (Annotate, TextGrids)**
- написание и применение **скриптов** для автоматизации анализа

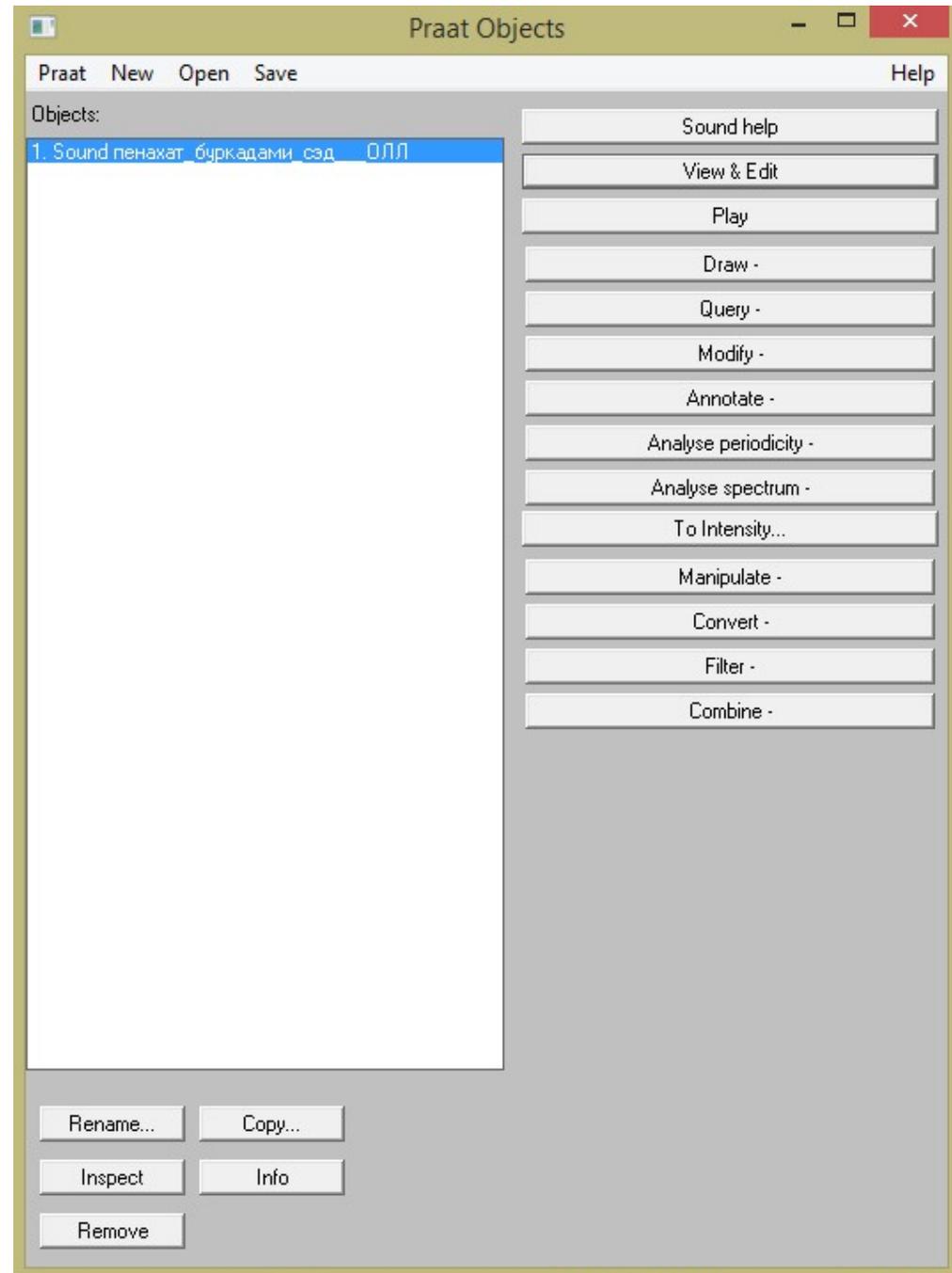
Окна программы Praat

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

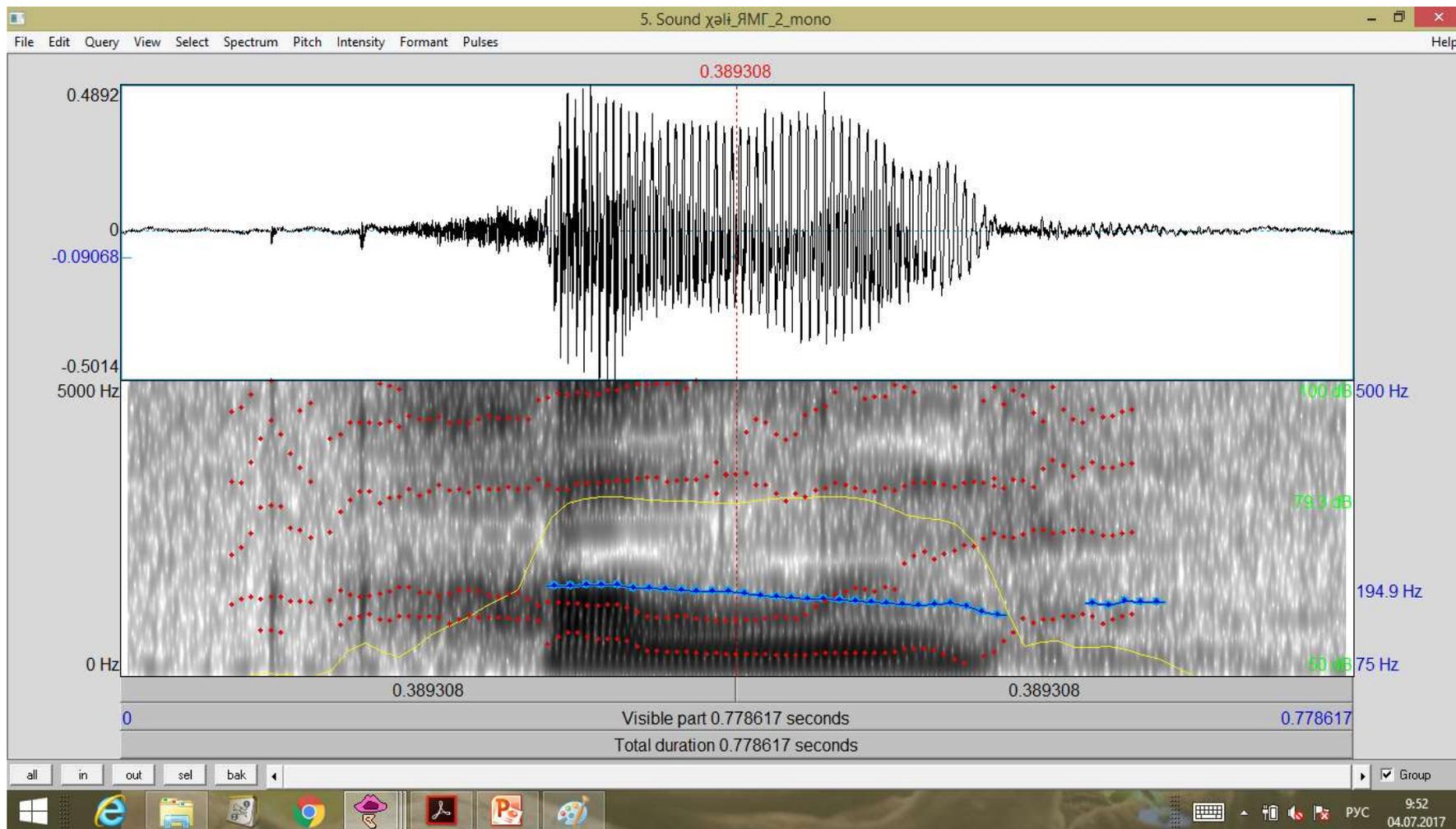


окно Praat Objects

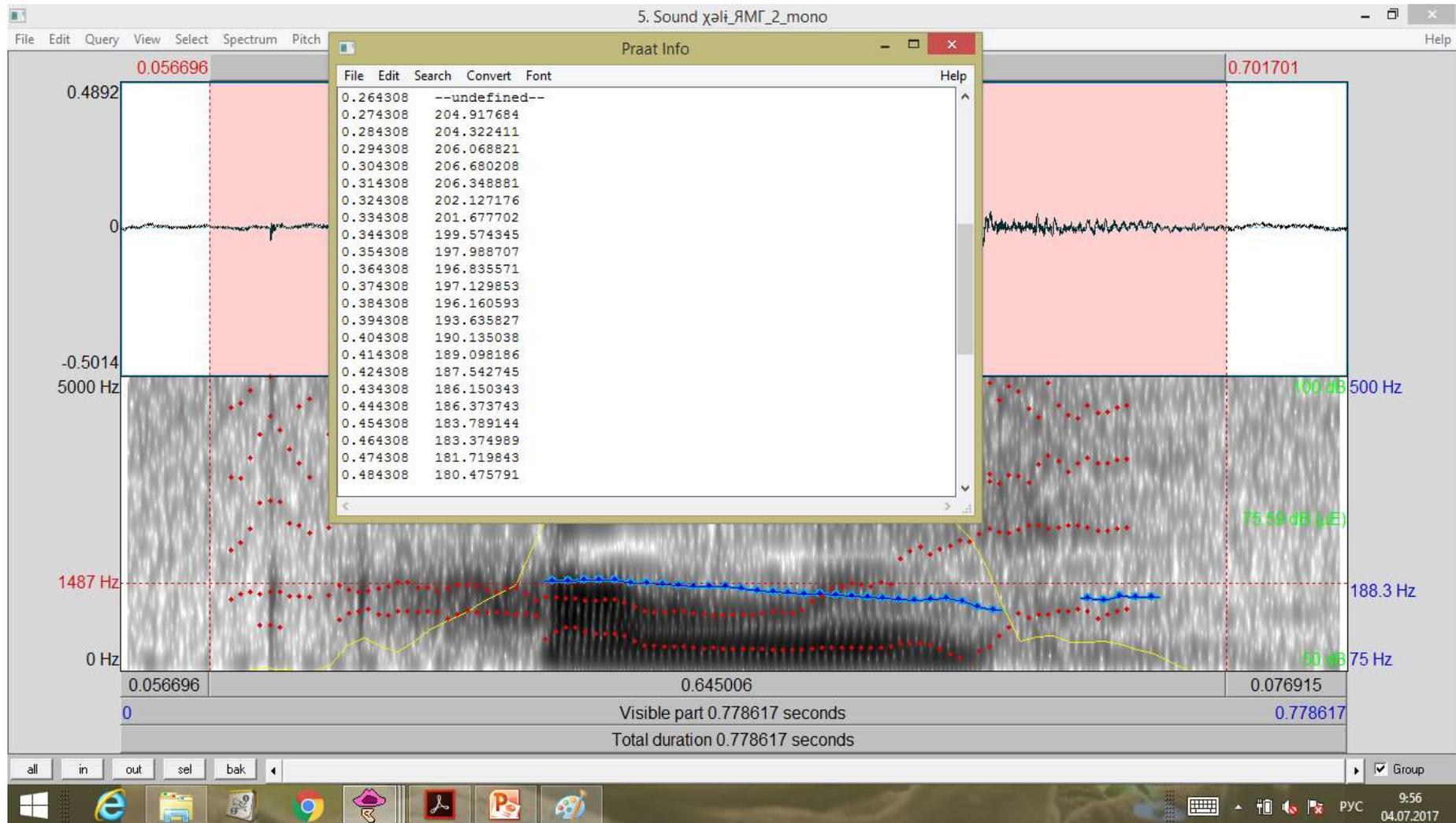
при открытии
звукового файла



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

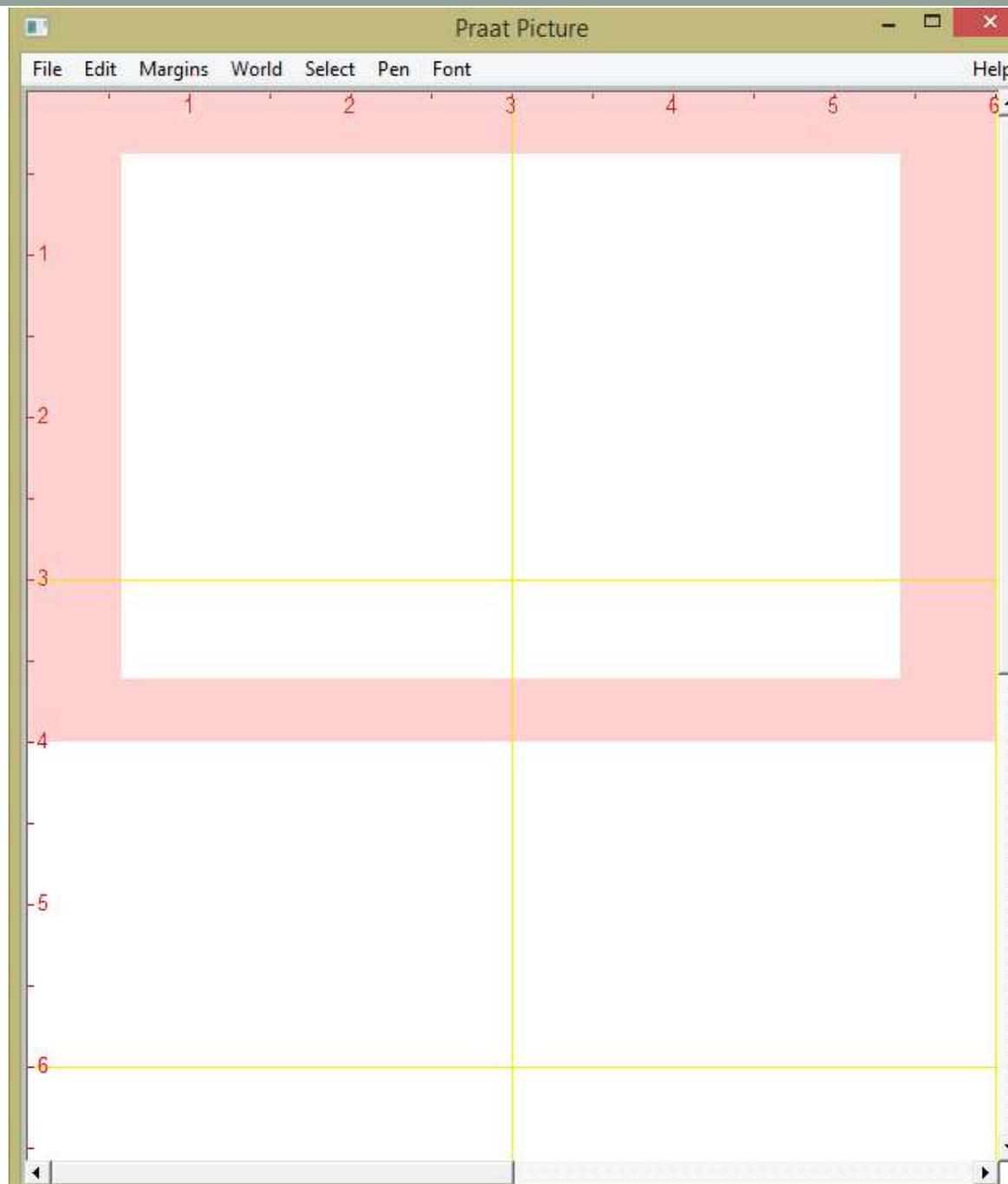


Окно Info Window: информация, результаты измерений, данные



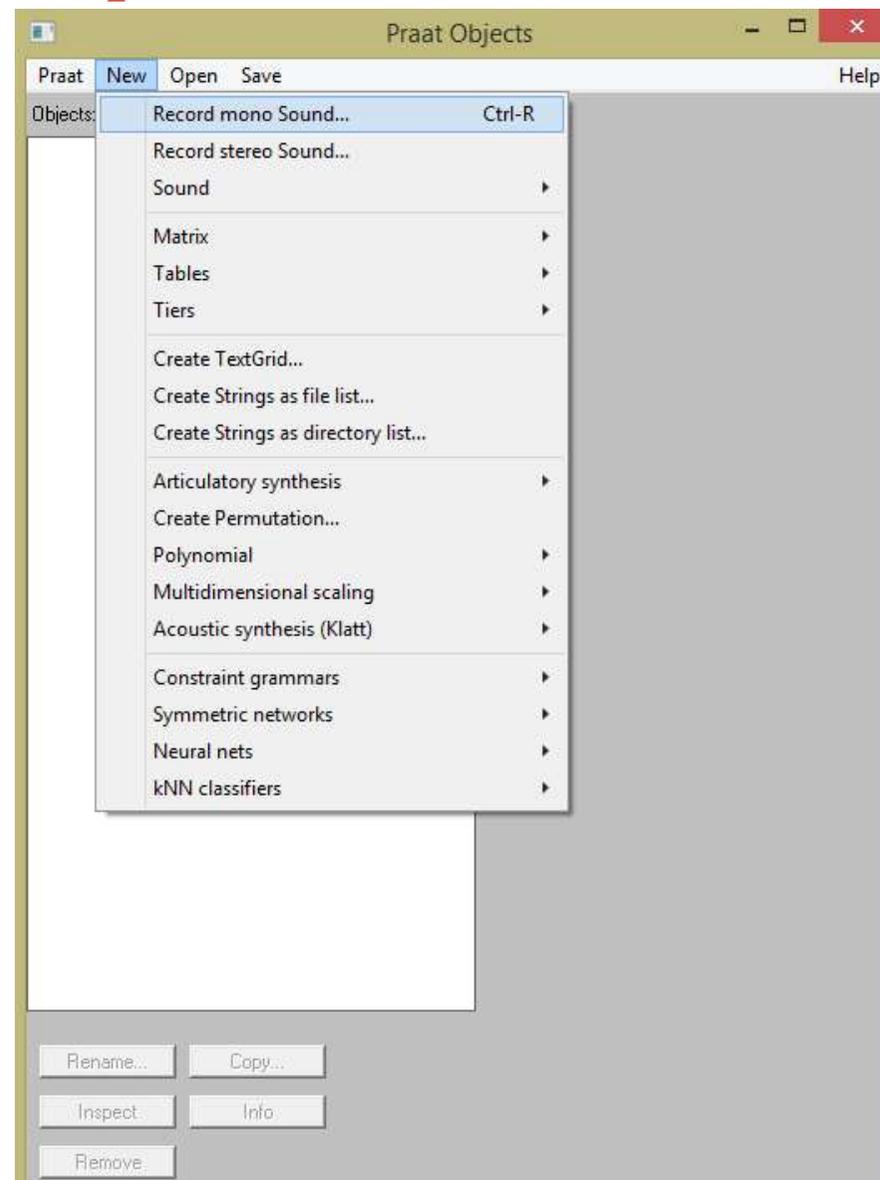
Второе окно при открытии:

- окно Praat Picture



Recording Sounds / Запись аудиофайлов

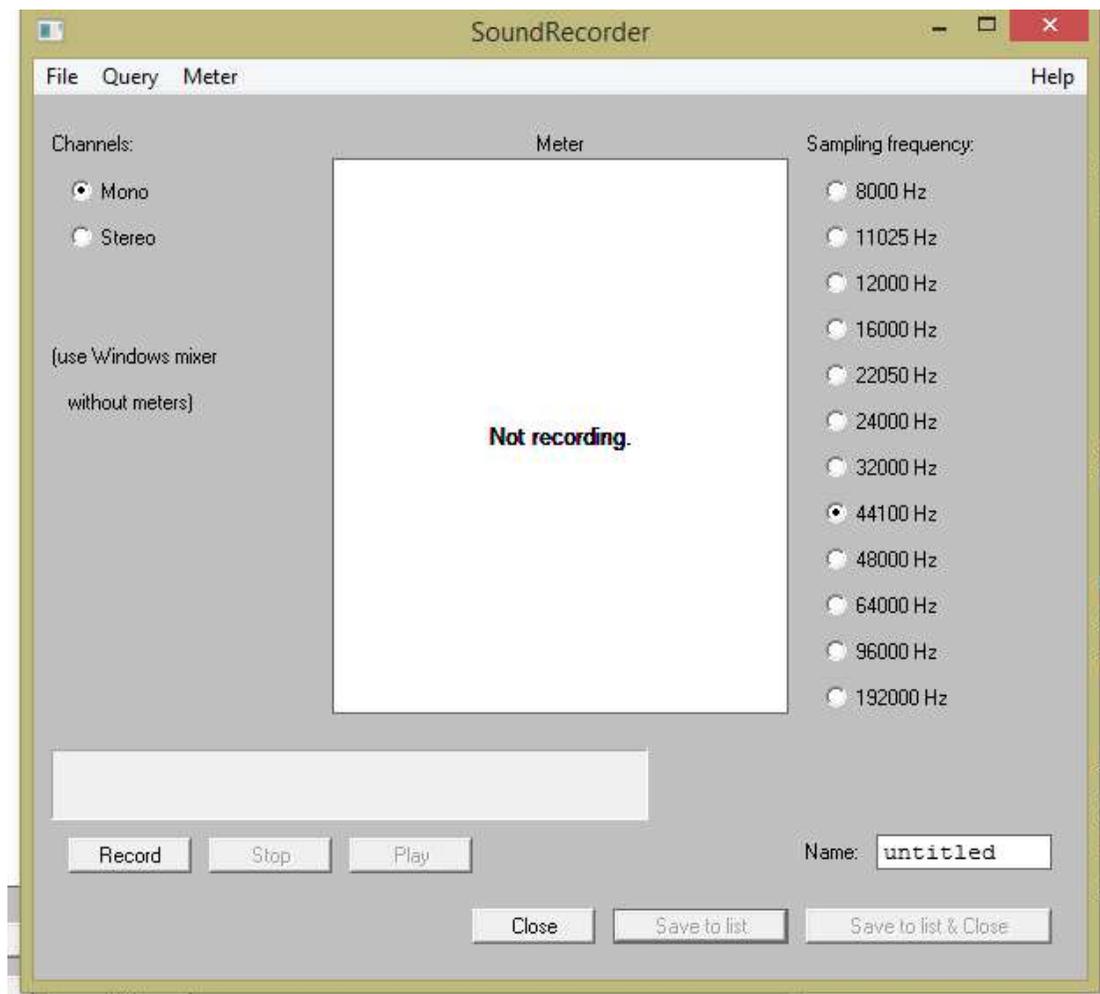
- ВКЛЮЧИТЬ микрофон
- **Objects > New > Record mono Sound**



Recording Sounds / Запись аудиофайлов

Окно Sound Recorder (Запись аудиофайлов)

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



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.

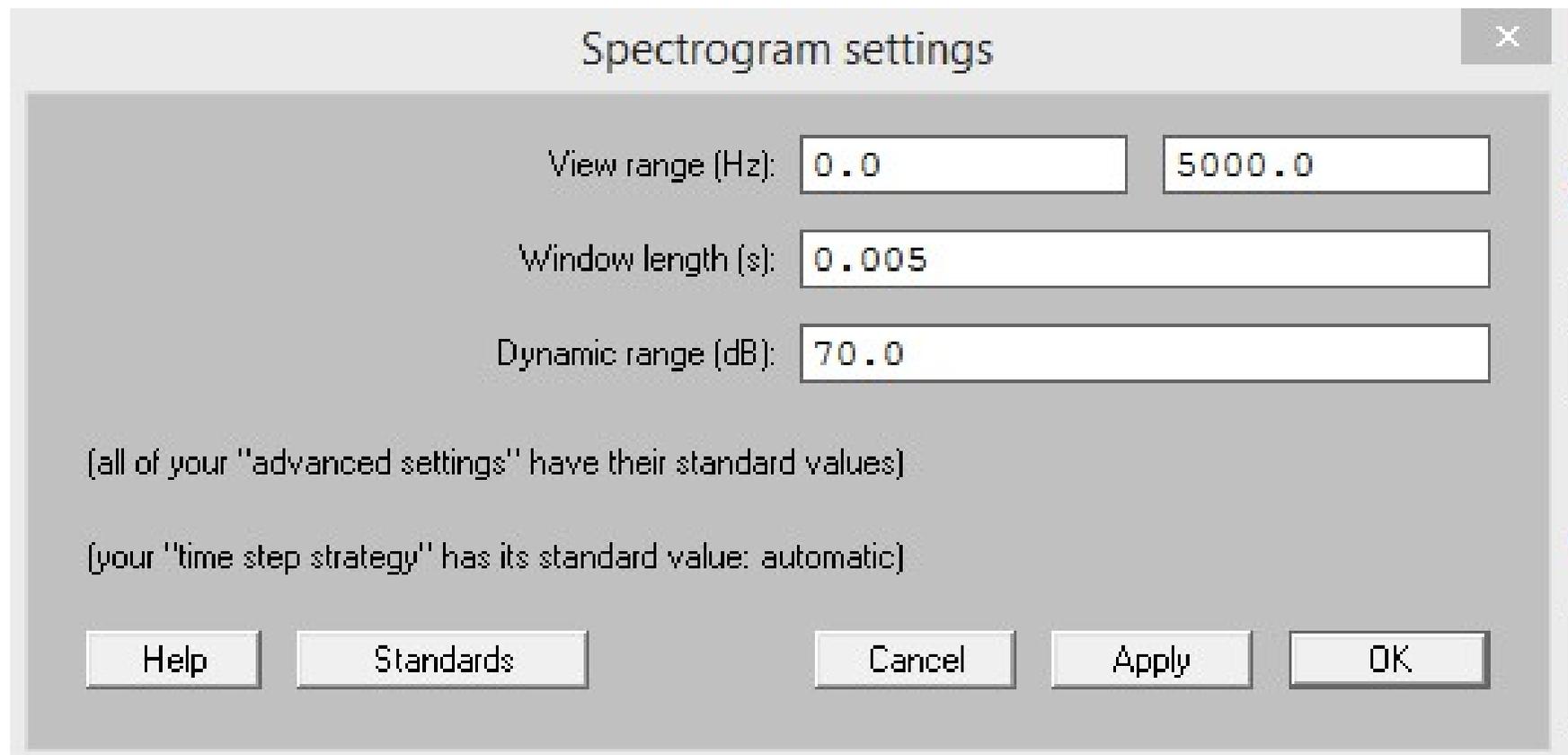
Pulling out a smaller section of the file for analysis

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)

- *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**

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	ç̟ ç̟		ɬ ɬ	x x	χ χ	ħ ħ	ħ ħ	ħ ħ	
voiced fricative	β β	v v	ð ð	z z	ʒ ʒ	ʐ ʐ	ʒ̟ ʒ̟	ʒ̟ ʒ̟				ɣ ɣ	ʁ ʁ	ʕ ʕ	ʕ ʕ	ħ̣ ħ̣
approximant	ʋ ʋ			ɹ ɹ	ɻ ɻ			ɻ ɻ	j j	ɥ ɥ	w w	ɥ ɥ				
trill	ʙ ʙ			r r												ʀ ʀ
tap or flap				ɾ ɾ	ɽ ɽ			ɽ ɽ								
lateral approx.				l l	ɭ ɭ			ɭ ɭ								
implosive	ɓ ɓ			ɗ ɗ				ɗ ɗ								
	ɔ	ɪ		ɪ	ɰ	ɰ	ɰ	ɰ	ɰ	ɰ	ɰ	ɰ	ɰ	ɰ	ɰ	ɰ

	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	æ æ	ɜ ɜ	ɞ ɞ	ʌ ʌ	ɔ ɔ
	æ æ		ɚ ɚ			
open	a a	ɶ ɶ			ɑ ɑ	ɒ ɒ