

УДК 621.392 : 681.5.015.87

**Никола Або Исса**, кандидат физико-математических наук, Дамасский университет, Сирийская Арабская Республика  
**Мамун Али**, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, Сирийская Арабская Республика

**В. Б. Гитлин**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА АРАБСКИХ ГЛАСНЫХ, ПРОИЗНЕСЕННЫХ СОВМЕСТНО С ЭМФАТИЧЕСКИМИ СОГЛАСНЫМИ

*Исследованы средние спектры гласных арабского языка, произнесенных совместно с четырьмя эмфатическими арабскими согласными, и проведено сравнение со средними спектрами подобных фонетических произнесений русского языка. Найдены отличия этих спектров. Показано, что эти отличия определены различиями в способе произнесения подобных звуков дикторами-арабами и русской-зычными дикторами.*

**Ключевые слова:** средний спектр, арабские гласные, русские гласные, эмфатические согласные.

**А**рабский язык относится к семитской ветви афразийской семьи языков [1]. Число говорящих на арабском языке и его вариантах составляет около 240 миллионов. Арабский язык является одним из шести официальных и рабочих языков Генеральной ассамблеи и других органов Организации Объединенных Наций (ООН). Официальный язык всех арабских стран. Кроме того, является одним из официальных языков Израиля, Чада, Эритреи, Джибути, Сомали и Коморских Островов. Современный разговорный арабский распадается на 5 групп диалектов, фактически являющихся отдельными языками с лингвистической точки зрения: магрибская группа диалектов, египетско-суданский арабский язык, сиро-месопотамский арабский язык, аравийская группа диалектов, среднеазиатская группа диалектов [1].

**Фонетика арабского языка.** В фонетическом отношении литературный арабский язык характеризуется широко развитой системой согласных фонем, в особенности гортанных, эмфатических и межзубных. Существенное влияние на арабов оказала индийская система классификации звуков, основанная на учете места артикуляции и других артикуляторных признаков [2]. Особенности фонетики арабского языка отражаются во временных и спектральных параметрах акустического сигнала арабской речи, которые, можно предположить, будут отличны от ряда параметров европейских языков, в том числе русского языка. Представляет интерес изучение этих особенностей, учет которых необходим при разработке систем автоматического анализа и синтеза речи.

Арабский алфавит состоит из 28 согласных звуков [3]. Гласных букв в арабском алфавите нет. Имеется три долгих гласных звука: /a/, /i/, /y/ и три соответствующих кратких гласных, которые называются огласовками. На письме огласовки обозначаются специальными штрихами, которые проставляют над или под согласной, долгие гласные – специальными буквами совместно с огласовками.

Русский звук /a/ [4] произносится при минимальном поднятии языка к нёбу. Арабский звук /a/ носит

легкий /э/-образный оттенок. В некоторых словах он очень близок к русскому /э/. Гласный звук /y/ произносится как русское /y/. В некоторых случаях этот звук принимает оттенок русского /o/. Арабский звук /i/ произносится как русский звук /и/. При эмфатических согласных этот звук близок к русскому /ы/. Произношение гласной в арабском языке зависит от того, какая согласная стоит перед ней, а не наоборот, как в русском языке, где произношение согласной зависит от гласной [5]. Арабские звонкие согласные звуки не оглушаются в конце и в середине слова перед глухими согласными.

В некоторых семитских языках эмфатические согласные [6] произносятся как фарингалы (глоточные), велярные (заднеязычные) или согласные, контрастируя с простыми звонкими и глухими согласными, распространенными в европейских языках. Фонетическая реализация эмфатических согласных в арабском языке варьируется от диалекта к диалекту, однако в большинстве случаев используются фарингальные согласные. Соседние с ними гласные также несколько меняют свою артикуляцию: /a/ звучит как глубокое огубленное /a/, /i/ приобретает призвук русского /ы/, а /u/ звучит почти как /o/. Эмфаза может распространяться на все слово.

**Описание эксперимента.** Исследовались четыре изолированных арабских согласных звука, которых нет в русском языке. Звуки произносились совместно с гласными /a/, /y/, /i/. В экспериментах участвовали пять дикторов-сирийцев, для которых арабский язык является родным. Один из пяти сирийцев в течение пяти лет учился в России и довольно хорошо говорит на русском языке. Одновременно были сделаны записи четырех русскоговорящих дикторов, произносящих слоги с близкими к арабским по фонетическому содержанию звуками. Один из голосов был женским. Исследовались спектры следующих согласных.

Буква (ض) (д#ад) и звук /д##/ представляют собой эмфатический шумный зазубный звонкий твердый звук [3]. Буква (ص) (с#ад) и звук /с##/ обозначают эмфатический твердый согласный звук [3]. Буква (ط)

(т#a) и звук /т#/ обозначают эмфатический согласный, имеющий некоторое сходство русским /т/ [3]. Буква (ق) (к'аф) и звук (к') обозначают твердый глухой согласный. Произносятся с конца корня языка из самой глубокой части гортани [3].

Буквы (ض) (д#ад), (ص) (с#ад) и (ط) (т#a) произносятся каждая так, что образуются сразу два фокуса артикуляции [7]. Один там же, где образуются русские звуки /д/, /с/, /т/, другой – в гортанной части речевого аппарата между задним нёбом и корнем языка. Это самые трудные звуки для произнесения на европейских языках. Арабы, видя, что никто кроме них не может их правильно произносить, называют себя людьми д#ада.

Дикторами-арабами было сделано по две записи звуков (ض) (д#ад), (ص) (с#ад), (ط) (т#a) и (ق) (к'аф) в составе слога совместно с гласной /а/ и по одной записи звуков (ض) (д#), (ص) (с#), (ط) (т#) с гласными /у/ и /и/. Запись выполнялась с помощью комплекса программ “Adobe Audition 1,5” с частотой опроса 10 кГц при квантовании на 16 разрядов в формате WAV. Пример осциллограммы произнесения /д#ад/ диктором Anas показан на рис. 1. Аналогичные записи для четырех дикторов, говорящих на русском языке, были сделаны для произнесений слогов /дад/, /до/, /ди/.

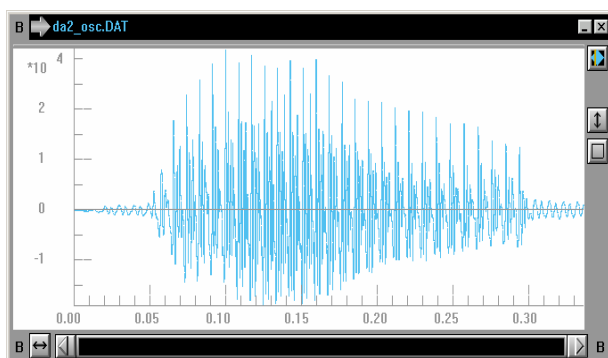


Рис. 1. Осциллограмма произнесения /д#ад/ диктором Anas

Обработка записей выполнялась в системе редактирования, анализа и шумочистки речевых сигналов SIS 6.x, входящей в состав системы «ИКАР II лаб», разработанной в Центре речевых технологий Санкт-Петербурга [9]. Были найдены средние спектры всех

произнесений всех дикторов и средние спектры одного фонемного состава всех дикторов. Оценка среднего спектра сигнала выполнялась путем накопления спектров, вычисленных на отдельных участках сигнала. Сигнал умножался на окно, размер которого соответствует установленному размеру кадра. Для отрезка сигнала, ограниченного окном, определялся спектр. Затем окно сдвигалось на заданную величину и вновь вычислялся спектр. Полученные спектры накапливались, и по накопленному спектру находились усредненный спектр. В вычислениях использовались окно Хэмминга, длина кадра анализа 256 отсчетов и сдвиг кадра также на 256 отсчетов.

Средний спектр произнесения /д#ад/ диктором Anas (по оси абсцисс – частота, по оси ординат – амплитуда в дБ) и спектрограмма (по оси абсцисс – время в секундах, по оси ординат – частота в Гц) показаны на рис. 2.

**Обсуждение.** На рис. 3–11 показаны средние спектры произнесений русскоговорящих дикторов (слева) и дикторов-арабов (справа) для произнесений, сделанных в ходе эксперимента. Можно отметить существенную особенность средних спектров арабских дикторов для произнесений /д#ад/, /с#ад/, /к#аф/, /д#о/, /с#о/, /т'о/, заключающуюся в довольно плавном понижении спектра в области частот 1200...2600 Гц. Это понижение в спектрах русскоговорящих дикторов в подобных произнесениях отсутствует. Его можно объяснить антирезонансами глотки, существенное влияние которых на спектр произносимого звука указано в работе [9].

Произнесения, в состав которых входит гласная /и/, имеют довольно похожие спектры для русских и арабских дикторов. Отличие спектров этих произнесений менее заметно по отношению к произнесениям с другими гласными. Такое поведение спектра вполне объяснимо исходя из высказанного предположения. Гласная /и/ относится к заднеязычным. При произнесении /и/ задняя спинка языка смещается вверх и назад, уменьшая влияние антирезонанса глотки. Но и в этих примерах можно отметить явление, на которое указано в работе [9]. Сужение предглоточной области приводит к повышению протяженной области спектра в диапазоне частот 2200...3000 Гц с резким понижением спектра после нее.

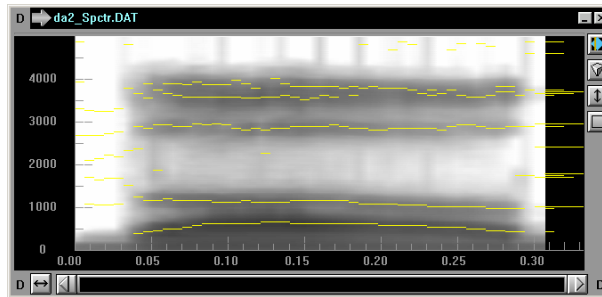
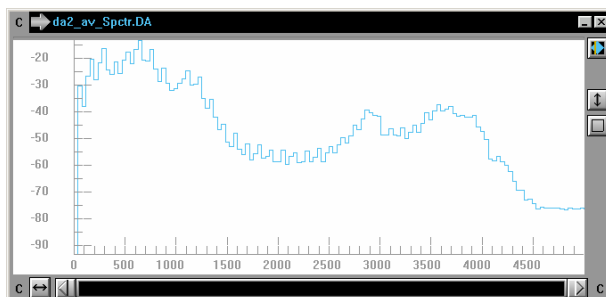


Рис. 2. Средний спектр и спектрограмма произнесения /д#ад/ диктором Anas

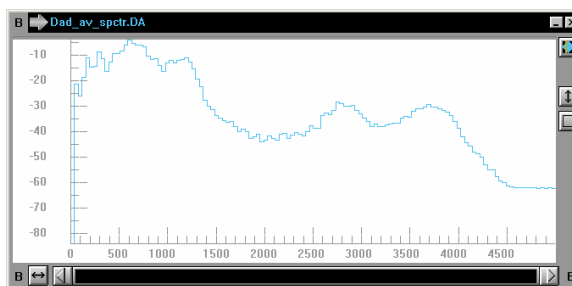
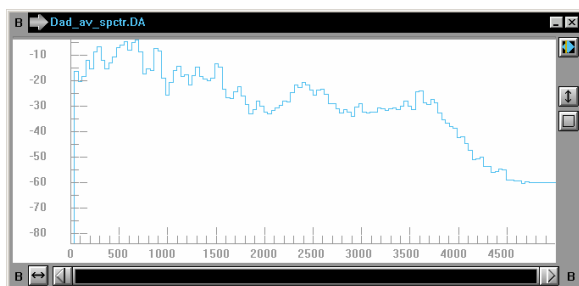


Рис. 3. Средние спектры произнесений /дад/ и /д#ад/

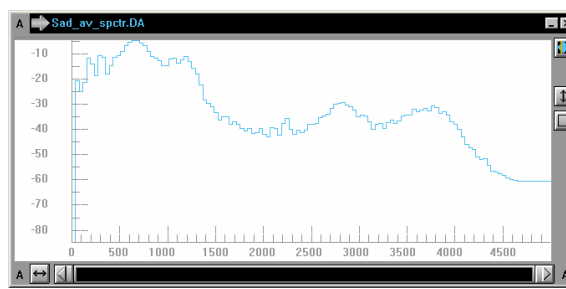
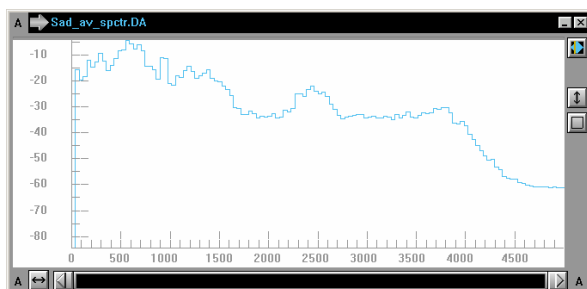


Рис. 4. Средние спектры произнесений /сад/ и /с#ад/

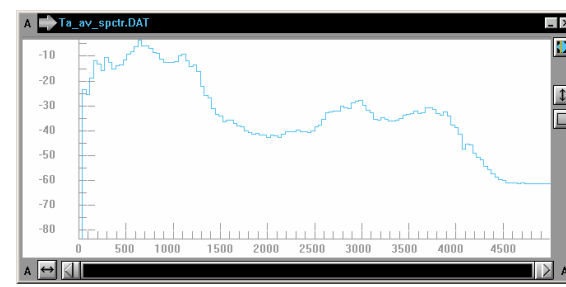
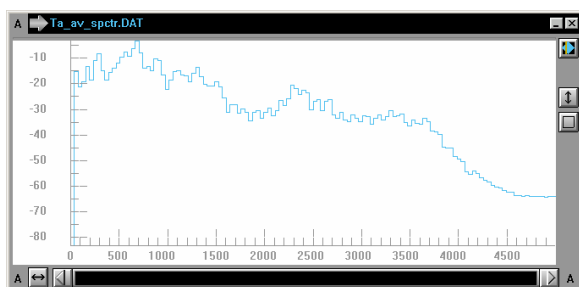


Рис. 5. Средние спектры произнесений /та/ и /т#а/

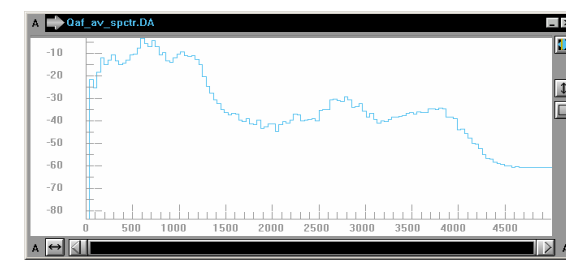
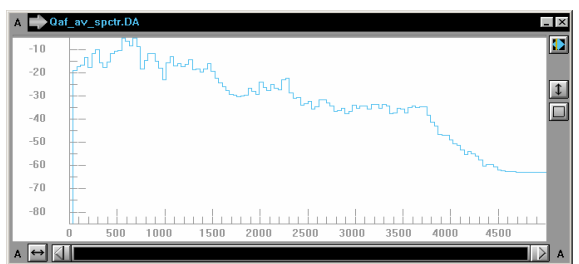


Рис. 6. Средние спектры произнесений /каф/ и /к'аf/

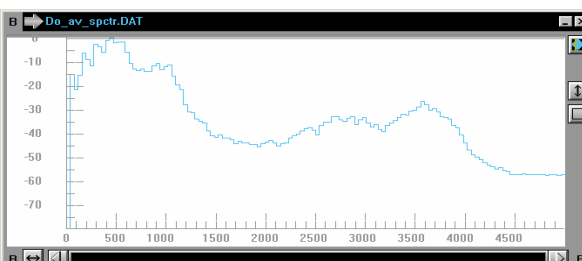
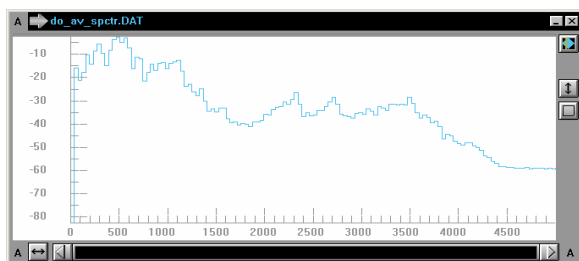


Рис. 7. Средние спектры произнесений /до/ и /д#о/

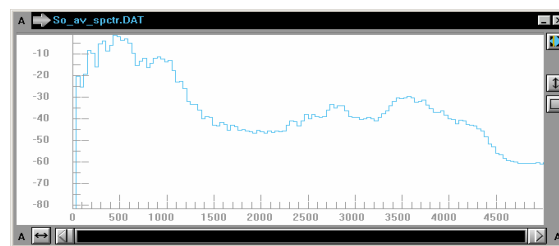
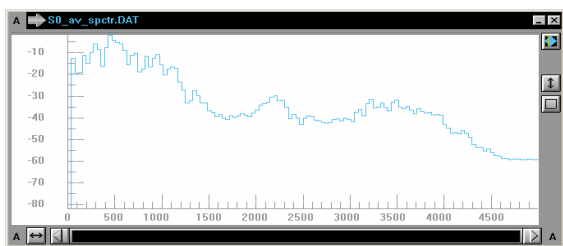


Рис. 8. Средние спектры произнесений /со/ и /с#о/

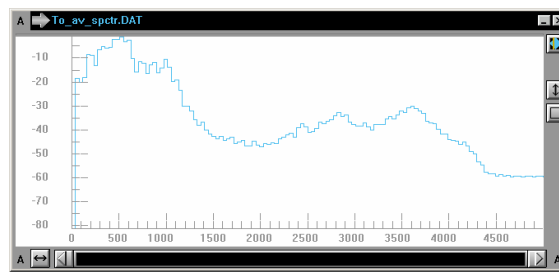
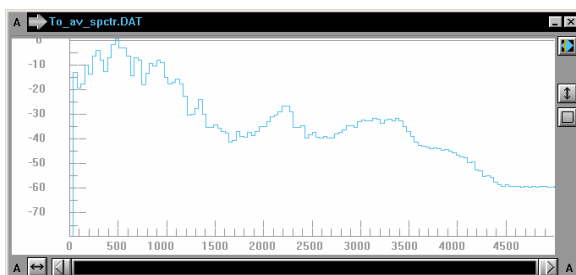


Рис. 9. Средние спектры произнесений /то/ и /т#о/

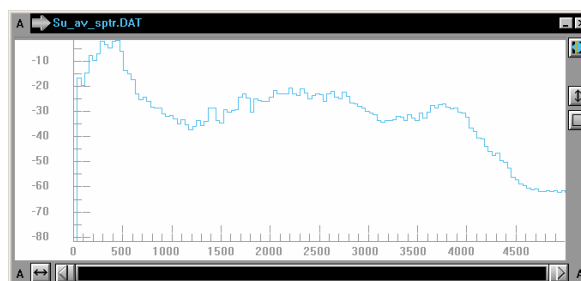
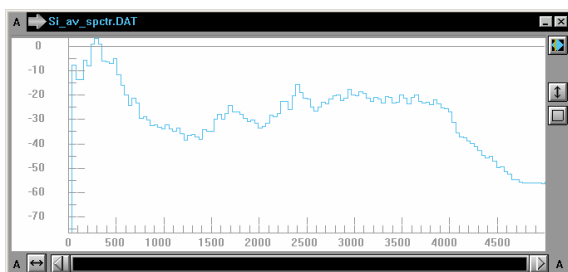


Рис. 10. Средние спектры произнесений /си/ и /с#и/

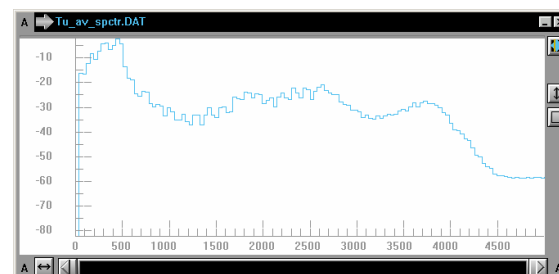
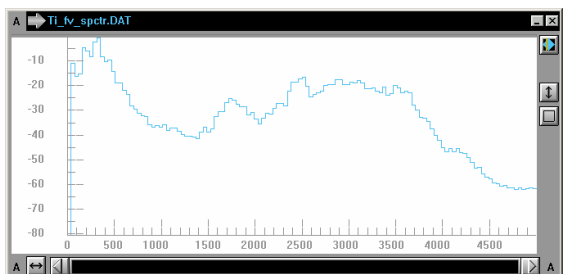


Рис. 11. Средние спектры произнесений /ти/ и /т#и/

Отметим, что указанное выше различие средних спектров не было столь же заметно выражено для некоторых дикторов. Например, спектры диктора MOU, имевшего большую практику устной речи на русском языке, занимали скорее промежуточное положение между спектрами русских и арабских дикторов.

Комплексное использование указанных спектральных различий может быть использовано при построении систем автоматической обработки речи, в частности при построении систем распознавания диктора по голосу, что требует дальнейших исследований в этом направлении. Целесообразно провести подобные исследования для других языков, в том числе для диалектов арабского языка и для языков народов России.

#### Библиографические ссылки

1. Арабский язык. – URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/%C0%F0%E0%E1%F1%EA%E8%E9\\_%FF%E7%FB%EA](http://ru.wikipedia.org/wiki/%C0%F0%E0%E1%F1%EA%E8%E9_%FF%E7%FB%EA)
2. Сусов И. П. История языкознания. – М. : Восток – Запад, 2006. – 295 с.
3. Арабский язык. Правила чтения Корана (Таджвит). – URL: [http://dum-spb.ru/pravila\\_chteniya\\_korana\\_tadzhvid](http://dum-spb.ru/pravila_chteniya_korana_tadzhvid)
4. Arabic.ru. Где и как его учат. Арабский язык онлайн. Урок 1. Часть 2: гласные. – URL: <http://www.arabic.ru/lessons/1/2.html>
5. Изучение арабского языка. – URL: <http://arabyaz.livejournal.com/1143.html>
6. Эмфатические согласные. – URL: <http://ru.wikihtddia.org/w/index.php?>
7. Школа арабского языка. Урок 9. Эмфатические звуки. Библейские истории. – URL: <http://nnvashkevich.narod.ru/kng/CIMCEM/CeM09.htm>

8. Система редактирования, анализа и шумоочистки речевых сигналов SIS 6.x : Руководство пользователя. – СПб. : Центр речевых технологий.

9. Морозов В. П., Макаров И. С. Компьютерное моделирование резонансных процессов образования высокой певческой форманты // Речевые технологии. – 2010. – № 4. – С. 68–84.

---

*Nikola Abo Issa*, PhD (Physics and Mathematics), Associate-Professor, Damascus University, Syrian Arab Republic  
*Mamoun Ali*, PhD student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, GSM “Syriatel”, Syrian Arab Republic  
*V. B. Gitlin*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### **Spectral Features of Arabic Vowels Pronouncing with Emphasis Consonants**

*Average spectrums of Arabic and Russian vowel are studied. Arabic vowels are spiked after four emphatic consonants. Russian vowels are articulated after the same consonants without emphasis. Differences between Arabic and Russian vowel spectrums are found. Reasons of the differences are given.*

**Кew words:** average spectrum, Arabic vowels, Russian vowels, emphatic consonants.