Language in Africa 2(4), 2021, 45–79. doi: 10.37892/2686-8946-2021-2-4-45-79

АКУСТИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ПРИЗНАКА ПРОДВИНУТОСТИ/ОТОДВИНУТОСТИ КОРНЯ ЯЗЫКА (±ATR) У ГЛАСНЫХ В ЯЗЫКЕ ИГБО

М.А. Иванова
Институт языкознания РАН
pimjquee@gmail.com

Аннотация: Гармония гласных по признаку продвинутости корня языка, или ±ATR, является характерной чертой языков макросуданского пояса Африки. Язык игбо (бенуэ-конголезская семья), на материале которого проводились первые инструментальные исследования артикуляции ±ATR, имеет несимметричную по ряду систему гласных /i, ɪ, e, a, ɔ, o, ʊ, u/, так что корневая гармония по этому признаку в нём существует в пределах трёх пар и одного не имеющего пары гласного /e/. Настоящая работа описывает акустическую реализацию ±ATR в языке игбо. Принимая гипотезу о том, что значение первой форманты гласного в комбинации с распределением энергии по частотам спектра образует единый перцептивный ключ, позволяющий различать противопоставленные по ±ATR гласные, мы наряду с описанием формантного пространства исследуем три спектральных параметра, которые показали себя акустическими коррелятами ±ATR в других макросуданских языках. Результаты инструментального анализа указывают на величину первой форманты, ширину её полосы и нормализованный центр тяжести гласного как на акустические корреляты ±ATR в языке игбо. Кроме того, по всем релевантным для контраста по ±ATR параметрам независимые произнесения /ɔ/ в наших данных разбиваются на две группы с разным значением этого признака.

Ключевые слова: язык игбо, акустическая фонетика, система гласных, признак продвинутости корня языка

ACOUSTIC CORRELATES OF THE ADVANCED VS. RETRACTED TONGUE ROOT VOWEL FEATURE IN IGBO

Margarita Ivanova
Institute of Linguistics RAS
pimjquee@gmail.com

Abstract: Vowel harmony based on the advanced tongue root (±ATR) feature is a well-known attribute of the languages of the Macro-Sudan belt. Igbo (< Benue-Congo), one of these languages, on basis of which first instrumental studies of ±ATR articulation were conducted, has an asymmetric vowel system /i, ɪ, e, a, ɔ, o, ʊ, u/, so that root ±ATR harmony exists within three pairs and a single vowel /e/. This paper describes an acoustic realization of ±ATR in Igbo. According to the hypothesis that the value of the first formant in combination with the distribution of energy over the spectrum combine into a single perceptual cue that allows to distinguish vowels opposed by ±ATR we investigate (along with the description of the formant space) three spectral parameters that were shown to be acoustic correlates of ±ATR in other Macro-Sudan languages. The results of the instrumental analysis indicate that acoustic correlates of ±ATR harmony in Igbo are the value of the first formant, its bandwidth and normalized center of gravity. In addition, all parameters relevant for the ±ATR contrast in our data divided /ɔ/ utterances in different roots into two groups with contrasting values of the feature.

Key words: Igbo, acoustic phonetics, vowel system, advanced tongue root feature

1. Введение

Язык игбо принадлежит к игбоидной ветви бенуэ-конголезской семьи, на нём говорят около 6 миллионов человек в южной части Нигерии. Как и во многих языках макросуданского пояса Африки, в игбо представлена гармония гласных по признаку продвинутости/отодвинутости корня языка, или ±ATR. Систему гласных в таком случае составляют два набора фонем, которые попарно различаются только значением ±ATR. Однако для многих диалектов игбо характерно отсутствие контраста по ±ATR среди передних гласных среднего подъёма, и, соответственно, несимметричная система типа /i, ɪ, e, a, ɔ, o, ʊ, u/ (Emenanjọ 1976: 28; Williamson 1966: 67).

В настоящем исследовании мы хотим выяснить, какие акустические характеристики соответствуют признаку гласных языка игбо, который контролирует их гармонию. В первой части статьи мы кратко рассмотрим основные черты фонологии признака ±ATR в игбо и сведения об акустических коррелятах этого признака в других языках. Во второй части статьи содержатся данные и методология исследования акустических коррелятов ±ATR в игбо, в третьей – результаты исследования и их обсуждение, в четвертой – заключение.

1.1. Гармония по признаку ±ATR в игбо

В большинстве диалектов игбо (в том числе в литературном варианте и в диалекте ибуса, на материале которого проводилось настоящее исследование) 8 гласных фонем, противопоставленных по подъёму, ряду и ±ATR (Рисунок 1).

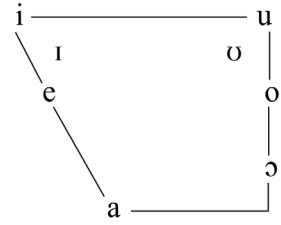

Рисунок 1. Система гласных игбо (по Ikekeonwu 1999).

Примечательно, что в игбо имеется только один передний гласный среднего подъёма. Несимметричное по ряду противопоставление по ±ATR нетипично для макросуданского пояса, и, в частности, для Западной Африки, где языки с ±ATR имеют либо девятичленные системы типа /i, ɪ, e, ɛ, a, ɔ, o, ʊ, u/, либо семичленные, где недостаёт фонем /ɪ, ʊ/ либо /ɛ, ɔ/. Поскольку для большинства нигеро-конголезских праязыков реконструируют десятичленную систему с гармонией по ±ATR (Denning 1989: 98; Casali 1995: 111), можно полагать, что контраст по ±ATR был частично утрачен в игбо. В некоторых идиомах игбо сохранились следы девятичленной системы (Williamson 1975, цит. по Lindau 1975a: 49; Blench & Williamson 2016: 33). В корнях гласный /ɛ/, по-видимому, слился с /e/ во всех идиомах игбо, а в начальной позиции его заменил /a/ (Blench & Williamson 2016: 37). Утрату различия по ±ATR в последнем случае можно объяснить с точки зрения акустики: противопоставленные по ±ATR гласные сблизились в следствии компенсаторного процесса придания /e/ большей открытости (т.е. нарушения симметрии его передаточной функции), чтобы предотвратить его слияние с /ɪ/ (Lindau 1975a: 48–50).

В системе гармонии во всех описанных диалектах гласные попарно противопоставлены друг другу и образуют две равные группы: /i, o, u, e/ vs. /ɪ, ʊ, ɔ, a/. Действительно, в глагольных формах, где служебные морфемы принимают согласное с корнем значение ±ATR, /a/ и /e/ как триггеры гармонии требуют, соответственно, значений -ATR и +ATR (1a–b), а как цель гармонии /a/ чередуется с /e/ (1c–d).

(1) a.	*ò*	*chè-rè*[1]	b.	*ɔ̀*	*zà-rà*
	3SG	думать-IND		3SG	подметать-IND
	‘Он думал.’			‘Он подметал.’	

[1] Материал языка игбо приведен в работе в принятой в африканистике ориентированной на Международный фонетический алфавит транскрипции. Однако тоны маркированы согласно орфографии, принятой в словаре (Williamson & Blench 2013), послужившем основным источником: высокий тон не отмечается, низкий отмечается грависом, средний – макроном.

c. *e-bù-rù* *m̀* d. *a-zʊ̀-rʊ̀* *m̀*
INFP-нести-IND 1SG INFP-учиться-IND 1SG
‘Я нёс.’ ‘Я учился.’ (Emenanjọ 1976: 17–20)

Существительные в игбо морфологически цельные, так что в них реализуется только внутрикорневая гармония, запрещающая сочетаться внутри корня гласным, которые имеют разные значения ±ATR. Корневую гармонию в существительных иллюстрирует пример (2).

(2) *ìpo* ‘рыба’ – *ìbà* ‘малярия’
odʒō ‘дерево’ – *ɔ̀dʒɔ̀* ‘погремушка’
ùbu – ‘плечо’ – *ʊbɔ̀sì* ‘день’
ebē ‘жук’ – *àfè* ‘одежда’
(Blench 2013: 5, 68, 125, 131, 249, 280, 343, 351)

Как и во многих макросуданских языках, в основах существительных /a/, в отличие от остальных гласных, может соседствовать с любым значением ±ATR, как показано в (3).

(3) *afɔ* ‘живот’ – *anyikē* ‘топор’
ìsha ‘креветка’ – *ìjàdʒi* ‘крашеная ткань’
anʊ ‘козёл’ – *edʒùnà* ‘улитка’
(Blench 2013: 5, 31, 36, 73, 130, 133)

Таким образом, гармония по ±ATR в игбо существует в пределах трёх пар и одного не имеющего строгой -ATR-ной пары гласного /e/. В настоящей работе, говоря о гласных, противопоставленных по ±ATR, мы имеем в виду пары /i/ vs. /ɪ/, /o/ vs. /ɔ/, /u/ vs. /ʊ/, а также пары типа гласный -ATR верхнего подъёма vs. +ATR среднего подъёма в том случае, если эти гласные имеют сходные значения резонансных частот.

1.2. Фонетика ±ATR

1.2.1. Артикуляция ±ATR

Фонетическая природа ±ATR долго была полностью не ясна. В ранних описаниях ±ATR связывали с различиями в подъёме,

напряжённости артикуляции (по аналогии с германскими языками) или качестве голоса (Виноградов 1972). Первое инструментальное исследование артикуляции ±ATR (Ladefoged 1964) показало (при сходстве характеристик, которые соотносят с признаками подъёма и ряда) яркие различия в объёме глоточной полости у гласных, противопоставленных по ±ATR. Термин “advanced tongue root”, введенный в (Stewart 1967), исходно подразумевал отведение корню языка ведущей артикуляционной роли. Предполагалось, что продвижение корня языка вперёд расширяет полость глотки (артикуляция +ATR), а отодвигание назад (артикуляция -ATR) сужает, изменяя качество гласного.

Дальнейшие исследования (Edmondson & Esling 2006a, 2006b; Moisik 2013) показали, что движение корня языка не является ни единственным, ни ключевым механизмом, но встраивается в систему артикуляторов эпиларинкса (пространства между ротовой полостью и гортанью), которые работают на создание контраста по ±ATR. На Рисунке 2 показана анатомия этой системы, называемой глоточным артикулятором. Так, для произнесения гласных -ATR сжимаются мышцы глотки, черпалонадгортанные складки сжимаются и подтягиваются вверх, корень языка с надгортанником отодвигаются назад, поднимается гортань. Для гласных +ATR характерны антагонистические движения, а также изометрическое напряжение глотки, не вызывающее сжатия её стенок (подробнее об этом см. Tiede 1997). Все эти механизмы в первом приближении также работают на изменение объёма глотки, и в разных языках могут быть задействованы в неравной степени. Отсутствие или слабая выраженность одних движений компенсируется другими.

В языках с голосовыми регистрами (в том числе имеющих противопоставление по ±ATR) эти же механизмы ответственны за фонационные различия (Edmondson & Esling 2006a, 2006b). Примечательно, что ранние описания гармонии по ±ATR часто указывают на одну или обе группы в гармонии как на маркированные в отношении качества голоса: звучание гласных +ATR описывали

как придыхательное или гулкое, а гласные набора -ATR называли скрипучими или сдавленными (Ward 1937, цит. по Fulop et al. 1998: 84; Weimers 1946, цит. по Jacobson 1980: 193; Berry 1955, цит. по Starwalt 2008: 31). Дж. Кингстон (Kingston et al. 1997) предположил, что придыхательное звучание +ATR может возникать из-за движения черпалонадгортанных складок, растяжение и раскрытие которых должно несколько расслабить и шире распахнуть голосовые связки. Сдавленное звучание -ATR объяснимо напряжением голосовых связок и увеличенным вязким сопротивлением в гортанной трубке при сжатии глоточных артикуляторов (Park 2002: 215; Edmondson & Esling 2008). Таким образом, контраст по ±ATR приобретает характер супраглоттальной фонации.

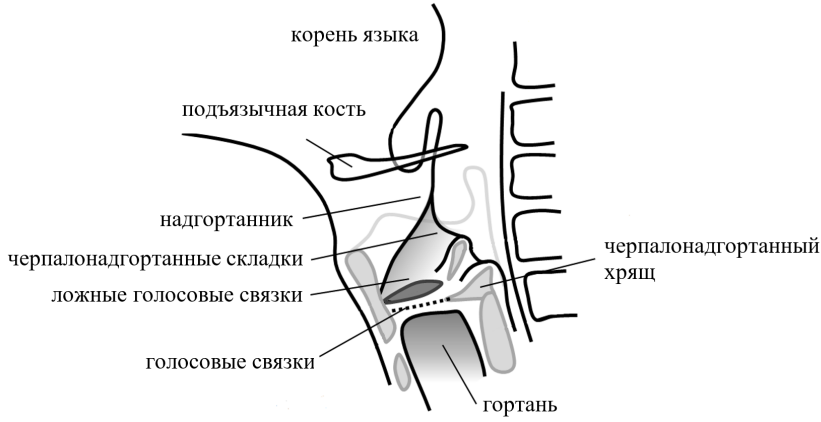

Рисунок 2. Схема глоточного артикулятора (по Moisik 2013: 1)

Подробное описание артикуляции ±ATR в нескольких диалектах игбо можно найти в работах (Сурканова 1974; 1978) и (Lindau 1975b). Исследовательницы приходят к сходным выводам об активном изменении объёма глотки при производстве гласных обоих наборов. При этом противопоставленные по ±ATR гласные верхнего подъёма (/i/ vs. /ɪ/, /u/ vs. /ʊ/) имеют сходные значения подъёма и ряда, а пара задних гласных среднего подъёма (/o/ vs. /ɔ/),

которые показали самую большую разницу в положении корня языка, у некоторых носителей показала и различия в подъёме.

1.2.2. Акустика ±ATR

С точки зрения акустики, наиболее надежным коррелятом ±ATR, по-видимому, является частота первой форманты (F1). Значение любой форманты повышается при сужении в области её наибольшей амплитуды, для F1 это пространство от голосовых связок до мягкого нёба, где и происходит сужение/расширение в зависимости от значения ±ATR. Более высокие значения F1 у гласных -ATR в сравнении с их парами +ATR – основной акустический коррелят гармонии гласных по этому признаку, давно установленный инструментальными методами (на материале акан, игбо, иджо в Lindau 1975b; на материале долуо, шиллук в Jacobson 1978).

Влияние артикуляции ±ATR на F2 не столь очевидно. Нижний отдел глотки, объём которого зависит от движений гортанных артикуляторов, захватывает её пучность, что должно повысить значение F2 для гласных -ATR. Но активное движение корня языка назад увеличивает полость твёрдого нёба, что должно вызывать понижение частоты F2 для гласных этого набора (Edmondson & Esling 2006: 181–182). Кроме того, поднятие гортани – один из артикуляционных жестов -ATR – повышает частоту всех формант (Кодзасов & Кривнова 2001: 125).

Однако ни один, ни другой шаблон языки с ±ATR в общем не демонстрируют. Одна из тенденций – различное направление изменений величины F2 у передних и задних гласных, так что гласные набора -ATR оказываются сдвинуты к центру формантного пространства. М. Халле и К. Стивенс (Halle & Stevens 1969) связывают это с изменением длины речевого тракта для задних гласных в связи с их огубленностью. Изменение длины речевого тракта порождает сдвиг узлов и пучностей формант, так что участок артикуляции ±ATR для задних гласных входит в область пучности, а для передних – попадает в область максимума амплитуды (Макеева 2022: 14).

Известные нам исследования формантного пространства игбо (Lindau 1975b; Ladefoged & Maddieson 1996, см. Рисунок 3) также показывают более низкое и центральное расположение гласных -ATR (в обоих работах представлена формантная картина вида F1 к F2-F1). Работа М. Линдау содержит статистические расчёты, которые указывают, что, несмотря на наглядную закономерность, гласные двух наборов нельзя различить по значению F2 (Lindau 1975b: 74).

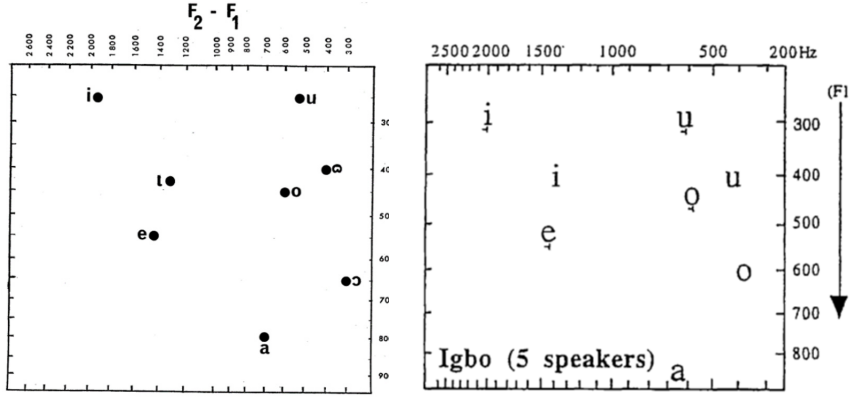

Рисунок 3. Соотношение F1 и F2-F1 для гласных игбо[2] по данным:
а) одного носителя диалекта умучу (Lindau 1975b: 55);
б) пяти носителей (диалект не указан)
(Ladefoged & Maddieson 1996: 305).

Поиск акустических коррелятов фонационной составляющей контраста по ±ATR (или её следов) осложнён тем, что сравнимые гласные имеют разные значения резонансных частот, поэтому применение традиционных акустических метрик крайне ограничено. Метрики, показавшие значимые результаты в разграничении глас-

[2] В работе (Ladefoged & Maddieson 1996) принадлежность гласного к набору +ATR помечена подстрочным знаком.

ных двух наборов, можно объединить в две группы: меры периодичности колебаний и меры спектрального наклона. Последние отражают «пологость» спектра гласного – характер распределения энергии по пространству его частот. Дж. Кингстон (Kingston et al. 1997) предположил, что более низкое значение F1 у гласных +ATR и спектральные свойства, характерные для придыхательной фонации (или комбинация более высокого значения F1 со спектральными свойствами скрипучего голоса для -ATR) образуют общий перцептивный ключ спектральной «пологости» гласного.

В литературе по ±ATR описаны три акустические метрики, отражающие распределение энергии по пространству частот.

1) Нормализованная разность амплитуд гармоник, наиболее близких к первым двум формантам (A1*-A2*). Мера показывает наклон спектра в диапазоне первых двух формант, где сконцентрирована большая часть энергии, так что слушатели могут различать совсем небольшие изменения интенсивности звука (Kakusho et al. 1971, цит. по Fulop et al. 1998: 84). Исследования акустических коррелятов ±ATR показали значимость параметра A1*-A2* в том числе для языков, где перцептивных различий в качестве голоса исследователи не обнаружили (Guion et al. 2004; Olejarczuk et al. 2019); это может объясняться ростом вязкого сопротивления в глотке при сжатии глоточных артикуляторов, что вызывает затухание амплитуды F1 у гласных -ATR. Однако, благодаря сложному механизму нормализации (подробнее см. §2.2.2), это высоко синтетическая метрика, которая может показывать неожиданные результаты (Fulop et al. 1997; Warren 2013).

2) Нормализованный центр тяжести гласного (CoG-F1). Центр тяжести – это частота, которая делит спектр на две половины, так что количество энергии на более высоких частотах равно количеству энергии на более низких. Нормализованная метрика, где учтено значение F1, была предложена в (Starwalt 2008) как более прямой коррелят различий «придыхательного» и «скрипучего» спектра, поскольку отражает то, как интенсивность гармоник по всему спектру соотносится с самым выраженным амплитудным пиком.

3) Нормализованная ширина полосы первой форманты ΔB1. Ширина полосы форманты определяется диапазоном частот на 3 дБ ниже по обе стороны от резонансного максимума, это «пологость» самого яркого спектрального пика. Значение B1 зависимо от значения F1 в языках без ±ATR и может быть предсказано по формуле из (Fant 1972); особенность гласных набора -ATR иметь обратную предсказанной Г. Фантом зависимость B1 от F1 (Hess 1992; Przezdziecki 2005; Starwalt 2008) позволяет сравнивать отклонения величины B1 от предсказанного для соответствующей резонансной частоты значения. Артикуляторной причиной этой закономерности может быть растущее вязкое сопротивление при сжимании глоточных артикуляторов, поскольку последнее вносит существенный вклад в «сглаживание» пика F1 (Stevens 1999: 258; Edmondson & Esling 2008).

Эти три потенциальных акустических коррелята мы отобрали для изучения на материале игбо наряду с описанием формантного пространства гласных.

2. Методология исследования

2.1. Данные

Данные для настоящего исследования были собраны в ходе сессии с носителем диалекта деревни Ибуса нигерийского штата Дельта осенью 2020 года. Ниже, принимая во внимание, что по данным одного информанта нельзя судить о том, что присуще конкретному варианту игбо, а что всему языку, под игбо мы имеем в виду идиолект информанта и его диалект.

Диалект ибуса (как он назван в Manfredi 1991; Oweleke 2020) близок идиомам восточного побережья реки Нигер, в первую очередь, хорошо изученному диалекту онича, но расположен к западу от неё. Для сбора данных была подготовлена лексическая анкета на основании словарных материалов (Echeruo 1995; Williamson & Blench 2013), состоящая из нарицательных существительных

с простым лексическим значением. Информант произносил существительные – трижды изолированно и трижды внутри фразы *Nkè à bù X* ‘Это X’. Аудиозаписи были сделаны при помощи профессионального цифрового диктофона Marantz PMD-660, снабженного внешним микрофоном AKG 1000, в формате .wav (частота дискретизации 48 kHz, модуляция 16 бит).

На каждый из 8 гласных предполагалось собрать по 10 независимых произнесений (то есть произнесений в разных лексических единицах) с левым контекстом. Но поскольку главный источник данных для анкеты (Williamson & Blench 2013) описывает диалект онича, информанту были знакомы не все слова, предложенные для элицитации. Для некоторых значений информант предлагал свои эквиваленты, которые, разумеется, отличались от подобранных заранее примеров с точки зрения фонологии. В итоговом корпусе данных примеров на разные гласные неодинаковое количество (см. Таблицу 1), но данные соответствуют критериям выборки для дисперсионного анализа, который мы используем для проверки статистической значимости. Итоговый список слов для анализа приведён в Приложении.

Таблица 1

Распределение данных по гласным

Гласный	Независимые произнесения	Всего произнесений
/i/	10	60
/ɪ/	9	54
/e/	10	60
/o/	10	60
/ɔ/	7	42
/a/	9	54
/u/	10	60
/ʊ/	10	60
Итого	75	450

2.2. Инструментальный анализ акустических параметров

Основной метод настоящего исследования – инструментальный анализ оцифрованного акустического сигнала в программе анализа речи Praat при помощи скриптов. Для проведения анализа слова и фразы, содержащие все произнесения определённого гласного, собрали в единый файл. Гласные были размечены вручную в программе анализа речи Praat (Boersma & Weenink 2017), глядя на спектрограмму. Границы гласного отмечались согласно принятым стандартам – от появления полосы первой форманты до существенного затухания второй форманты.

Принимая гипотезу о том, что величина первой форманты в комбинации со свойствами спектра, характерными для определённой фонации, образует единый перцептивный ключ, позволяющий различать противопоставленные по ±ATR гласные (см. §1.2.2), для изучения акустической реализации этого признака в языке игбо мы выбрали 4 параметра, которые показали себя акустическими коррелятами ±ATR в других макросуданских языках. Резюме этих метрик представлено в Таблице 2.

Таблица 2

Акустические корреляты ±ATR в макросуданских языках

	Мера	Обозначение	Ожидаемые значения	
качество гласного	Значение первой форманты	F1	+ATR < -ATR	объединяются в перцептивный ключ пологости гласного
качество голоса	Разность амплитуд гармоник первой и второй формант	A1*-A2*	+ATR > -ATR	
	Разность центра тяжести и первой форманты	CoG-F1	+ATR < -ATR	
	Ширина полосы первой форманты	ΔB1	+ATR < -ATR	

2.2.1. Измерение параметров

Измерение формант гласных проходило в два этапа: (1) оптимизация диапазона частот по алгоритму, предложенному в (Escudero et al. 2009); (2) повторное измерение формант в оптимальных диапазонах методом burg на центральном отрезке в 40% от общей длительности.

Все спектральные параметры также были измерены в программе Praat при помощи скриптов. Наблюдаемые значения A1, A2 были измерены на центральном отрезке гласного после преобразования дискретного спектра в непрерывный. Значения B1 были измерены на (дискретном) формантном контуре – огибающей линейного предсказания (LPC), которая моделирует формантные пики согласно алгоритму непосредственно из временной формы сигнала, а значения CoG – на дискретном спектре. Измерения последних двух параметров были проведены в начале, в середине и в конце центрального отрезка.

2.2.2. Нормализация

Для проведения статистического анализа значения формантных частот были нормализованы по второй формуле Т. Нири – NEARY2 (Nearey 1978: 138):

(4) F*N[V]r = G N[V]r - GN[.],
где F*N[V]r – нормализованное значение N-й форманты в r-ном произнесении гласного V,
G N[V]r – натуральный логарифм от значения FN в Гц,
[.] – среднее значение.

Нормализация разности амплитуд A1-A2 по алгоритму из (Fulop et al. 1998) и нормализация ширины полосы B1, предложенная в (Starwalt 2008), состояли в том, чтобы вычесть из наблюдаемой величины её смоделированное значение.

Формулы (5), (6), (7) для нормализации A1-A2 в сумме создают модель спектра гласного, где все значения, кроме формант,

фиксированы. (5) описывает вклад первых трех формант в спектр гласного, (6) – вклад более высоких формант, (7) – спектр голосового источника в трубке с сужением губ на её конце.

$$(5)\ dB(f) = 20log_{10}\frac{F^2 + (b/2)^2}{\sqrt{(f-F)^2 + (b/2)^2} * \sqrt{(f+F)^2 + (b/2)^2}},$$

где $dB(f)$ – слагаемое искомой амплитуды,

f – частота гармоники в Гц (например, f (A1)),

F – частота одной из первых трёх формант в Гц,

b – ширина полосы одной из формант в Гц (фикс. значение: B1=30 B2=80 B3=150).

$$(6)\ dB(f) = 0.72(f/492)2 + 0.0033(f/492)^4$$

$$(7)\ dB(f) = g\left(-20log_{10}\left(2\frac{f/100}{1 + (f/100)^2}\right)\right)$$

Так, чтобы смоделировать A1, нужно трижды рассчитать вклад основных резонаторов в спектр гласного по формуле (8), где значению F будет соответствовать частота F1/2/3, а f всегда будет равна частоте гармоники, ближайшей к первой форманте, а затем сложить результаты с результатами (6) и (7) формул. Вычитая из наблюдаемого значения смоделированное таким образом, мы нивелируем различия в результатах, продиктованные разностью формантных частот.

Формула (8) (Fant 1972: 47) моделирует ширину полосы для указанной частоты F1, учитывая потери колебаний воздушного потока в речевом тракте, вызванные колебанием его стенок. Вычитая из наблюдаемого значения B1 смоделированное по формуле (8), мы получаем нормализованную в отношении формантных различий метрику ΔB1.

$$(8)\ B1 = 15(500/F1)^2 + 20(F1/500)^{1/2} + 5(F1/500)^2$$

Для метрики CoG-F1 важно отношение результатов к нулю, поэтому для неё статистический анализ мы, вслед за (Anderson 2007) и (Starwalt 2008), проводим над ненормализованными данными.

2.2.3. Статистические расчёты

Статистические расчёты производились в программе IBM SPSS 26. Дисперсионный анализ, где зависимой переменной является значение форманты, а фиксированными факторами – качество гласного и значение ±ATR, позволил определить влияние фактора гласного на различие между подгруппами значений форманты и статистическую значимость различий в значении форманты между группами +ATR и -ATR. Дополнительный тест Шеффе на однородность между выборками позволил определить статистическую значимость различий по F1 и F2 между парами гласных, противопоставленных по ±ATR, а также между гласными верхнего подъёма набора -ATR и гласными среднего подъёма со значением +ATR.

Статистическая значимость результатов нормализованных параметров A1*-A2*, CoG-F1 и ΔB1 была проверена по двухстороннему t-критерию Стьюдента о равенстве средних значений для всех противопоставленных по ±ATR гласных (/i, o, u/ vs. /ɪ, ɔ, ʊ/) и внутри каждой пары.

Порог значимости нулевой гипотезы о равенстве дисперсий, средних и однородности выборок – минимальная вероятность p H_0, при которой различия не значимы статистически, считается равным 0,05.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Формантное пространство

Основная цель исследования формантного пространства в настоящей работе – проверка значимости F1 как акустического корре-

лята ±ATR. Кроме того, мы проверяем взаимное расположение гласных верхнего подъёма -ATR и среднего подъёма +ATR, которые, в случае их пересечения на F-картине, могут служить материалом для выявления спектральных акустических коррелятов.

Формантная картина гласных представлена на Рисунке 4. Визуализация проделана с помощью пакета ggplot2 (Wickham 2006) в R (R Core Team 2019). Литера для каждого гласного находится в точке его среднего значения по двум параметрам, а эллипс описывает тренд нормального распределения значений в границах двух стандартных отклонений от центра. Значения разных гласных частично перекрываются (в особенности /ʊ, o/ и /o, ɔ/), однако дисперсионный анализ показал значимое разбиение частот F1 и F2 на группы по фактору гласного (см. Таблицу 3).

Частота F1 оказалась значимо выше у гласных набора -ATR как в общем, так и внутри каждой пары. Выборки значений F1 для заднего верхнего гласного -ATR (/ʊ/) и среднего заднего +ATR (/o/) составили однородную группу. Значения /ɪ/ и /e/, напротив, не перекрываются на формантном пространстве. Параметр F2 не показал значимого разбиения на группы как в общем по значе-

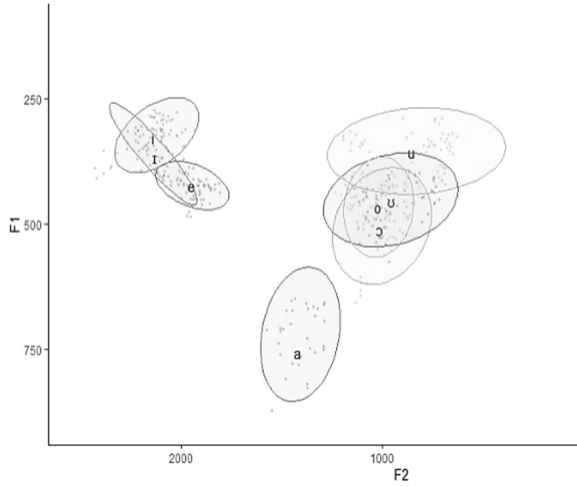

Рисунок 4. F-картина гласных игбо

нию ±ATR, так и внутри пар. Можно говорить о тенденции смещения гласных -ATR к центру формантного пространства, но в наших данных она статистически не значима. Таким образом, значение F1 является акустическим коррелятом ±ATR в игбо, а гласные /ʊ, o/ составляют однородную группу по F1, поэтому их можно считать парой по ±ATR при сравнении спектральных метрик.

Таблица 3

Результаты измерений резонансных частот

F1		F2	
Фактор	p	Фактор	p
Гласный	<0,001*	Гласный	<0,001*
ATR	<0,001*	ATR	0,11
/i/ vs. /ɪ/	<0,001*	/i/ vs. /ɪ/	0,85
/u/ vs. /ʊ/	<0,001*	/u/ vs. /ʊ/	0,13
/o/ vs. /ɔ/	0,03*	/o/ vs. /ɔ/	0,94
/ɪ/ vs. /e/	<0,001*	/ɪ/ vs. /e/	0,10
/ʊ/ vs. /o/	0,32	/ʊ/ vs. /o/	0,005*
[$ɔ_1$] vs. [$ɔ_2$]	<0,001*		
/o/ vs. [$ɔ_1$]	0,07		
/o/ vs. [$ɔ_2$]	<0,001*		

Следует отметить, что полученные для пары /o/ vs. /ɔ/ результаты не согласуются с исследованиями артикуляции в разных диалектах игбо, где предельная выраженность антагонистических движений именно для этой пары предполагает наибольшую разность значений F1 между этими гласными. Последнее подтверждается типологическими сведениями о различиях в F1 между парами гласных (работа Starwalt 2008 на материале 11 языков, резюме исследований 13 языков в Becker-Kristal 2010: 194–196). Это кажется достаточным основанием, чтобы проверить статистическую однородность данных среди произнесений этого гласного.

Для этой цели мы с помощью плагина DBSCAN для SPSS провели кластерный анализ на основе плотности распределения

по F1 среди всех гласных. Метод DBSCAN (Ester et al. 1996) не требует указания на число кластеров априори, а также нечувствителен к порядку точек в данных. Пользователем задаются два параметра: минимальный размер кластера (здесь 6 по количеству повторов каждого независимого произнесения) и расстояние достижимости (здесь среднее расстояние между соседними нормализованными значениями F1 по всем гласным).

Кластерный анализ по описанным параметрам показал однородность выборок всех гласных кроме /ɔ/ (см. Рисунок 5). Произнесения последнего разбиваются на два кластера, назовём их [$ɔ_1$] и [$ɔ_2$]. Каждый из кластеров включает все повторения какого-либо независимого произнесения /ɔ/ и группы не показывают явных свидетельств контекстной вариативности: кластер [$ɔ_1$] включает все произнесения /ɔ/ в словах *mbɔ* ‘ноготь’, *ʊnɔ̀* ‘дом’, *ʊbɔ̀sɨ̀* ‘день’, *ɔdɔ* (mmili) ‘пруд’, *ʊzɔ* ‘дорога’, *agbɔgbɔ* ‘девушка’; кластер [$ɔ_2$] включает все произнесения /ɔ/ в слове *ndɔnɨ̀* ‘морщина’.

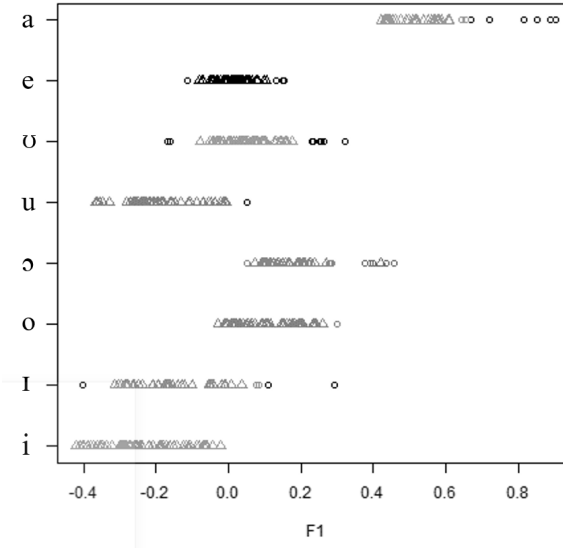

Рисунок 5. Диаграмма распределения F1 по гласным с выделением кластеров

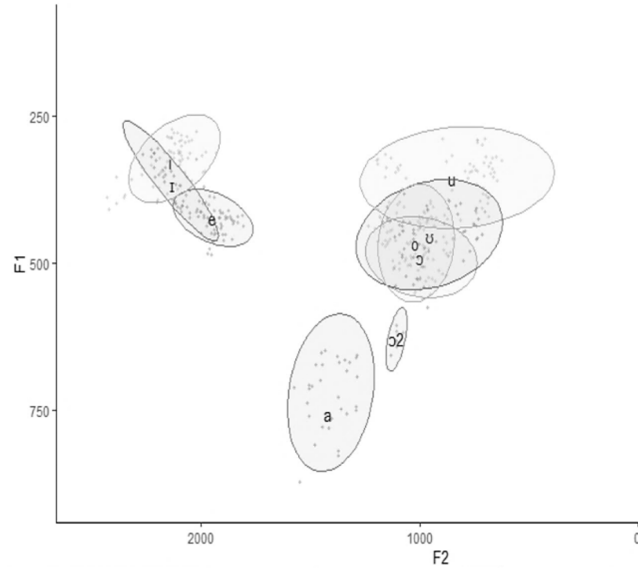

Рисунок 6. F-картина с разделением /ɔ/ на кластеры

Получив такие результаты, мы провели новую серию статистических расчётов. Во-первых, мы удостоверились в значимости различий между кластерами согласно t-критерию Стьюдента для независимых выборок – H0 о равенстве дисперсий для [ɔ$_1$] и [ɔ$_2$] ожидаемо оказалась <0,001. Во-вторых, мы провели дисперсионный анализ по F1, где произнесения /ɔ/ разбиты согласно делению на кластеры. Значения [ɔ$_1$] стремятся к /o/, а значения [ɔ$_2$] показывают ожидаемые для заднего среднего гласного -ATR результаты (см. Таблицу 3). На Рисунке 6 представлена модификация формантного пространства с разбиением /ɔ/ на эти группы.

3.2. Спектральные параметры

Принимая гипотезу о том, что величина F1 в комбинации со свойствами спектра, характерными для определённой фонации, образует единый перцептивный ключ, позволяющий различать противо-

поставленные по ±ATR гласные, в этом разделе мы сравниваем результаты спектральных параметров A1*-A2*, CoG-F1 и ΔB1.

Рассмотрим результаты каждого из параметров. Ожидается, что благодаря затуханию F1 у гласных -ATR, и/или большей открытости голосовой щели у гласных +ATR последняя группа покажет большее значение A1*-A2*. Однако проверка статистической значимости по t-критерию Стьюдента не показала значимого различия средних между группами +ATR и -ATR (см. Таблицу 4). Среди пар гласных, противопоставленных по ±ATR, величина A1*-A2* значимо выше у гласного +ATR только для задних гласных верхнего подъёма, гласные /ʊ/ vs. /o/ также составляют однородную группу.

На Рисунке 7 показаны диаграммы рассеяния значений спектральных параметров. На графике разности амплитуд все гласные показывают большой разброс значений, которые, по большей части, находятся в одном диапазоне. Так, «усы» гласного /o/ покрывают все значения параметра для разных гласных, не считая выбросов. Таким образом, A1*-A2* не является явным акустическим коррелятом ±ATR в игбо.

Мера CoG-F1 в отношении противопоставленных по ±ATR гласных предполагает большее и при этом положительное значение для -ATR против отрицательного для +ATR. На диаграмме рассеяния CoG-F1 в наших данных (см. Рисунок 7) значения передних гласных верхнего подъёма показывают большой разброс

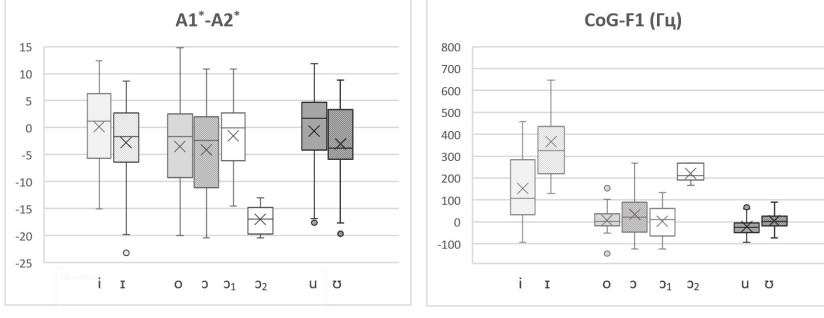

Рисунок 7. Диаграммы рассеяния значений A1*-A2*, CoG-F1

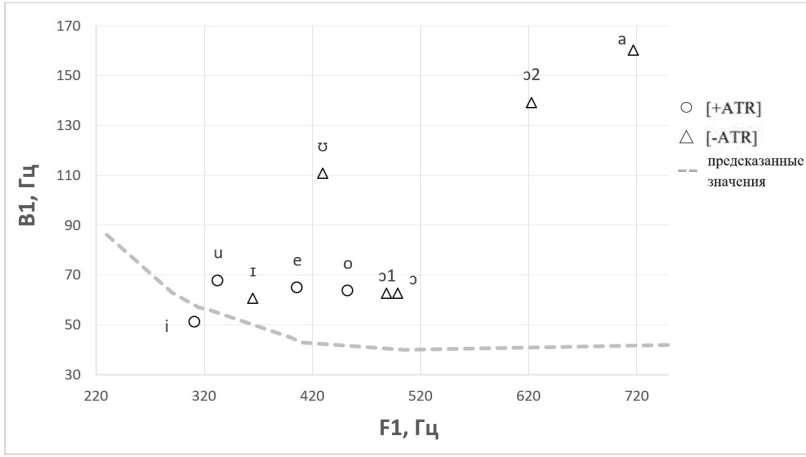

Рисунок 8. График зависимости наблюдаемых значений B1 от F1 по отношению к прогнозируемым по формуле Г. Фанта

и находятся выше остальных, поскольку эти гласные имеют самые низкие частоты F1 и самые высокие частоты F2. Значения задних гласных, напротив, имеют небольшой диапазон и сконцентрированы около нуля, что также продиктовано их резонансными частотами. Линия нулевого значения на графике приходится на верхнюю границу квартиля /u/ и на медиану /ʊ/, что свидетельствует о разности их дисперсий. Медианы /o/, /ɔ/ и [ɔ1] также близки к нулю, а в данных для гласного /i/ нижний хвост распределения спускается на отрицательные значения. Если мысленно соединить медианы /i/ и /u/, на полученной линии вместе будут лежать обе задние гласные среднего подъёма и кластер [$ɔ_1$], а на линии от /i/ к /u/ окажется только кластер [$ɔ_2$]. Качественный анализ позволяет заключить, что параметр CoG-F1 закономерно различает гласные двух наборов, а поведение /ɔ/ продиктовано его внутренней неоднородностью.

Статистические расчёты показали значимо большую величину CoG-F1 для гласных -ATR между группами и в парах верхнего подъёма (см. Таблицу 4). Задние гласные среднего подъёма ожи-

даемо составили однородную группу; помимо этой пары CoG-F1 не позволяет отличить только перекрывающиеся по F1 гласные с разным значением ±ATR. Можно заключить, что мера CoG-F1 может считаться акустическим коррелятом ±ATR в игбо.

Ожидается, что мера ΔB1 – разность наблюдаемого и предсказанного по формуле Г. Фанта (8) значений, – благодаря усилению вязкого сопротивления у гласных -ATR, будет иметь значительную величину, а у гласных -ATR – близкую к нулю.

На Рисунке 8 показан график зависимости наблюдаемых значений B1 от F1 для гласных игбо, а также кривая прогнозируемых значений B1, согласно их частотам, по формуле Г. Фанта. Такое представление данных, заимствованное нами из (Hess 1992), наглядно показывает существующие соотношения: среди гласных набора +ATR /i/ имеет среднее значение ниже предсказанного, другие же повторяют пунктирную кривую; эту линию продолжает гласный /ɔ/ и кластер [$ɔ_1$]. Остальные гласные набора -ATR, а также кластер [$ɔ_2$], значительно превышают предсказанные величины, причём с увеличением F1 несоответствие наблюдаемых значений предсказанным растёт: можно говорить, что гласные -ATR показывают обратную прогнозам Г. Фанта зависимость B1 от F1.

Согласно расчётам, мера ΔB1 показала наиболее жёсткую корреляцию с различиями по ±ATR в настоящем исследовании: как между группами гласных, так и в парах различия по этому параметру статистически значимы (см. Таблицу 4). Для задних гласных среднего подъёма оно находится на границе статистической значимости, несмотря на то что медианы /o/ и /ɔ/ равны.

В ходе анализа данных мы проверили статистическую значимость различий между кластерами /ɔ/, выделенными по значению F1, а также между /o/ и каждым из них. Данные т-критерия Стьюдента для получившихся пар представлены во второй части Таблицы 4. Различия средних между кластерами /ɔ/ оказались значимы по всем трём параметрам, такие же результаты показало сравнение /o/ с [$ɔ_2$]. В паре /o/ vs. [$ɔ_1$] вероятность нулевой гипотезы превышает допустимую также по всем параметрам.

Таблица 4

Результаты измерения параметров пологости спектра

A1*-A2*		CoG-F1		ΔB1	
Группы	p	Группы	p	Группы	p
±ATR	0,063	±ATR	0,006*	±ATR	<0,001*
/i/ vs. /ɪ/	0,101	/i/ vs. /ɪ/	0,003*	/i/ vs. /ɪ/	<0,001*
/u/ vs. /ʊ/	0,048*	/u/ vs. /ʊ/	<0,001*	/u/ vs. /ʊ/	<0,001*
/o/ vs. /ɔ/	0,747	/o/ vs. /ɔ/	0,371	/o/ vs. /ɔ/	0,05
/ʊ/ vs. /o/	0,787	/ʊ/ vs. /o/	0,732	/ʊ/ vs. /o/	<0,001*
[ɔ$_1$] vs. [ɔ$_2$]	<0,001*	[ɔ$_1$] vs. [ɔ$_2$]	<0,001*	[ɔ$_1$] vs. [ɔ$_2$]	<0,001*
/o/ vs. [ɔ$_1$]	0,292	/o/ vs. [ɔ$_1$]	0,725	/o/ vs. [ɔ$_1$]	0,119
/o/ vs. [ɔ$_2$]	<0,001*	/o/ vs. [ɔ$_2$]	<0,001*	/o/ vs. [ɔ$_2$]	<0,001*

Однако следует заметить, что характерные для -ATR значения в независимых произнесениях кластера [ɔ$_1$] по крайней мере возможны. В Таблице 5, в сравнении с медианными значениями [ɔ$_1$] и [ɔ$_2$] приведены два таких случая.

Таблица 5

Значения акустических коррелятов ±ATR в некоторых независимых произнесениях кластера [ɔ$_1$]

	медиана F1	медиана CoG-F1	медиана ΔB1
[ɔ$_2$]	612,3	220,7	103,7
ʊzɔ̀	479,8	105,5	63,5
ʊbɔ̀sɪ	522,8	-47,4	103,5
[ɔ$_1$]	489,8	10,9	8,7

Так, значение первой форманты гласного /ɔ/ в слове *ʊzɔ̀* ниже медианного в группе [ɔ$_1$], которая перекрывает частоты гласного +ATR, а спектральные метрики последовательно указывают на характер распределения частот, связанный со сжатием глоточных артикуляторов. Тем не менее, отражение неоднородности /ɔ/ по значению F1 на спектральных метриках в наших данных показано статистически.

4. Заключение

Акустические эффекты противопоставления по ±ATR в игбо, выявленные нами с помощью инструментального анализа и статистических расчётов, в целом согласуются с выводами исследований других макросуданских языков.

Инструментальный анализ показал, что частота F1 значимо ниже у гласных набора +ATR как в общем, так и внутри каждой пары, что объясняется изменением объёма глоточной полости при артикуляции ±ATR. При этом независимые произнесения /ɔ/ разбиваются по фактору F1 на два кластера без явных свидетельств контекстной вариативности. Значения [$ɔ_1$] стремятся к /o/, а значения [$ɔ_2$] показывают ожидаемые для заднего среднего гласного -ATR результаты. Это можно истолковать как продолжение процесса утраты контраста по ±ATR в игбо, принимая во внимание, что существующая система гласных, видимо, является результатом его частичной утраты.

Принимая гипотезу о том, что значение F1 в комбинации с распределением энергии по частотам спектра образует единый перцептивный ключ его «пологости», позволяющий различать противопоставленные по ±ATR гласные, мы также изучили три спектральных параметра, а именно нормализованную разность амплитуд гармоник, ближайших к первым двум формантом, соотношение центра тяжести гласного с первой формантой и нормализованную ширину её полосы.

Предполагаемая артикуляторная основа разницы значений по всем трём метрикам схожа: увеличение вязкого сопротивления и напряжение голосовых связок при сжатии глоточных артикуляторов у гласных -ATR, изотоническое напряжение мышц глотки и расслабление голосовых связок у гласных +ATR. Однако метрики показали неодинаковые результаты: $A1^*$-$A2^*$, по-видимому, не может различить противопоставленные по ±ATR гласные в игбо, CoG-F1 позволяет разделить гласные в парах по ±ATR, но не для /ʊ/ vs. /o/, значения F1 для которых составляют однородную группу.

Мера ΔB1 показала самую явную корреляцию с различием по ±ATR, со значимым различием для всех изученных пар гласных. Кроме того, данные игбо подтвердили известный для других макросуданских языков феномен обратной прогнозам Г. Фанта зависимости B1 от F1 у гласных набора -ATR.

Неоднородность /ɔ/ по значению F1 явным образом отражается на спектральных метриках: распределение значений [$ɔ_1$] в общем повторяет данные его пары +ATR, а [$ɔ_2$] показывает отличное от них, ожидаемое для -ATR распределение величин. Таким образом, акустическими коррелятами контраста по ±ATR в языке игбо являются частота первой форманты, соотношение с ней центра тяжести гласного и нормализованная ширина полосы первой форманты. Произнесения /ɔ/ в наших данных разбиваются на два кластера с разным значением этого признака, что может быть свидетельством процесса утраты контраста по ±ATR и требует дальнейшего исследования.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта по гранту РНФ № 17-78-20071, выполняющемуся в Институте языкознания РАН.

Автор выражает свою благодарность консультанту – носителю диалекта ибуса языка игбо Августину Авеле, а также Н.В. Макеевой за предоставленные скрипты для программы Praat, за помощь и консультации.

Сокращения

SG – сингулярис INFP – флективный префикс IND – индикатив

Приложение. Список анализируемых слов

/i/	*eʃi*	‘корова’	/ɪ/	*ɔdʒɪ*	‘древесина’
	edʒĭnè	‘улитка’		*ndɔnɪ̀*	‘морщина’
	imi	‘нос’		*ntɪ̀*	‘ухо’
	edi	‘леопард’		*ʊbɔ̀sɪ̀*	‘день’
	osisi	‘дерево’		*ɔkɪka*	‘татуировка’
	okĭlĭ	‘гвинейская кукуруза’		*nkɪta*	‘собака’
	aŋike	‘топор’		*aŋɪŋa*	‘лошадь’
	oliɣilĭ	‘сом’		*ngɪga*	‘корзина’
	èbĭlĭ	‘шторм’		*ɔjɪm*	‘друг’
	elili	‘верёвка’		*ndɔnɪ̀*	‘морщина’
/o/	*edo*	‘жёлтая краска’	/ɔ/	*ndɔnɪ̀*	‘морщина’
	mk͡pogo	‘обрыв’		*mbɔ*	‘ноготь’
	nwoke	‘мужчина’		*ʊnɔ̀*	‘дом’
	elo	‘гриб’		*ʊbɔ̀sɪ̀*	‘день’
	ego	‘деньги’		*ɔdɔ (mmili)*	‘пруд’
	ofufo (chi)	‘рассвет’		*ʊzɔ*	‘дорога’
	ug͡bogolò	‘тыква’		*ag͡bɔgbɔ*	‘девушка’
	iwolo	‘кожа’			
	okpokolo	‘череп’			
	(nmili) nzuzò	‘дождь’			
/u/	*iju*	‘лицо’	/ʊ/	*anʊ*	‘младенец’
	ewu	‘козёл’		*nmadù*	‘человек’
	ogʷu	‘колючка’		*azʊ*	‘рыба’
	esu	‘многоножка’		*azù*	‘спина’
	uk͡wu	‘нога’		*okʊkɔ*	‘курица’
	eg͡bù	‘цветущее дерево’		*ʊsʊ*	‘летучая мышь’
	eg͡bug͡bu	‘знак на лице’		*ngʷele aŋʷʊ*	‘крокодил’
	izù	‘неделя’		*ɔnʊ mmili*	‘слюна’
	ebunù	‘баран’		*dʒi ɔfʊʊ*	‘новый ямс’
	okute	‘камень’		*akamʊ*	‘кукуруза’

/e/	*nne*	‘мать’	/a/	*aŋŋa*	‘лошадь’
	ile	‘язык’		*ɪba*	‘ветка’
	oke	‘крыса’		*ɪʃa*	‘креветка’
	edʒĭnè	‘улитка’		*afɪfa*	‘африканский баклажан’
	ojele (imi)	‘ноздря’		*osikapa*	‘рис’
	odege	‘банан’		*ɪgb͡a*	‘барабан’
	ebe	‘сосед’		*adaka*	‘бабуин’
	afele	‘тарелка’		*ɔbala*	‘кровь’
	eze	‘зуб’			
	okute	‘камень’			

Литература

Виноградов, В.А. 1972. Типология сингармонических тенденций в языках Африки и Евразии. В кн. Охотина, Н.В. & Успенский, Б.А. (ред.), *Проблемы африканского языкознания*, 125–163. М.: Наука.

Кодзасов, С.В. & Кривнова, О.Ф. 2001. *Общая фонетика.* М.: РГГУ.

Макеева, Н.В. 2022. Фонетические и фонологические свойства признака продвинутости корня языка, или ATR (Advanced Tongue Root), в языках Африки. *Вопросы языкознания*. (Принято к печати.)

Сурканова, И.М. 1974. Сопоставительный анализ некоторых основных характеристик вокализма языка ибо и русского языка. М.: МГУ. (Дисс. … кандидата филологических наук.)

Сурканова, И.М. 1978. О некоторых артикуляторно-акустических характеристиках вокализма языка ибо. В кн. Охотина, Н.В. (ред.), *Проблемы фонетики, морфологии и синтаксиса африканских языков*, 166–204. М.: Издательство Московского университета.

Anderson, Colleen G. 2007. F1 and center of gravity interplay in the maintenance of phonological height within a statistical model of a communal grammar: the case of Foodo [ATR] acoustics. In Jin, Wenhua & Fauzi, Sarah May & Riepe, Jill (eds.), *UTA Working Papers in Linguistics*. Vol. 2, 2–29. Arlington: University of Texas.

Becker-Kristal, Roy 2010. *Acoustic typology of vowel inventories and dispersion theory: Insights from a large cross-linguistic corpus*. Los Angeles: University of California. (Ph.D. dissertation.)

Blench, Roger M. & Williamson, Kay. 2016. A reconstruction of the phonology of Proto-Igboid. (Draft circulated for comment.) https://llacan.cnrs.fr/nigercongo2/discussions/Proto-Igboid_phonology.pdf (accessed 2021-12-16)

Boersma, Paul & Weenink, David. 2017. Praat: Doing phonetics by computer. Version 6.0.33. (Computer program.) https://www.fon.hum.uva.nl/praat/ (accessed 2021-12-16)

Casali, Roderic F. 1995. On the reduction of vowel systems in Volta-Congo. *African Languages and Cultures* 8. 109–121.

Denning, Keith. 1989. The diachronic development of phonological voice quality, with special reference to Dinka and the other Nilotic languages. Stanford: Stanford University. (Ph.D. dissertation.)

Echeruo, Michael J. C. 1995. *A comprehensive dictionary of the Igbo language*. New Haven, US: Yale University Press.

Edmondson, Jerold A. & Esling, John H. 2006a. The valves of the throat and their functioning in tone, vocal register and stress: laryngoscopic case studies. *Phonology* 23. 157–191.

Edmondson, Jerold A. & Esling, John H. 2006b. The laryngeal basis for the freature [-ATR]. Paper for delivery at the Annual Conference on African Linguistics, University of Oregon, Euguene. April 9, 2006.

Edmondson, Jerold A. 2008. Correspondences between articulation and acoustics for the feature [ATR]: the case of two Tibeto-Burman languages and two African languages. (Unpublished manuscript.)

Emenanjọ, E. Nọlue. 1976. *Elements of modern Igbo grammar*. Ibadan: Oxford University Press.

Escudero, Paola & Boersma, Paul & Rauber, Andréia Schurt & Bion, Ricardo A.H. 2009. A cross-dialect acoustic description of vowels: Brazilian and European Portuguese. *The Journal of the Acoustical Society of America* 126. 1379–1393.

Ester, Martin & Kriegel, Hans-Peter & Sander, Jörg & Xu, Xiaowei. 1996. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *Proceedings of the Second international conference on knowledge discovery and data mining* (KDD'96), 226–231. Palo Alto, California: AAAI Press.

Fant, Gunnar. 1972. Vocal tract wall effects, losses, and resonance bandwidths. *Speech Transmission Laboratory. Quarterly Progress and Status Reports* 13(2–3). 28–52.

Fulop, Sean A. & Kari Ethelbert E. & Ladefoged, Peter. 1998. An acoustic study of the tongue root contrasts in Degema vowels. *Phonetica* 55. 80–98.

Guion, Susan G. & Post, Mark W. & Payne, Doris L. 2004. Phonetic correlates of tongue root vowel contrasts in Maa. *Journal of Phonetics* 32. 517–542.

Halle, Moris & Stevens, Kenneth N. 1969. On the feature "Advanced Tongue Root". *MIT Research Laboratory of Electronics Quarterly Progress Report* 94. 209–215.

Hess, Susan. 1992. Assimilatory effects in a vowel harmony system: An acoustic analysis of advanced tongue root in Akan. *Journal of Phonetics* 20. 475–492.

Ikekeonwu Clara. 1999. Igbo. In *Handbook of the International Phonetic Association*, 108–110. Cambridge: Cambridge University Press.

Jacobson, Leon C. (1980). Voice-quality harmony in Western Nilotic languages. In Vago, Robert M. (ed.), *Issues in vowel harmony*, 183–200. Amsterdam: John Benjamins. (Studies in Language Companion Series 6.)

Kingston, John, & Macmillan, Neil A. & Dickey, Laura Walsh & Thorburn, Rachel & Bartels, Christine. 1997. Integrality in the perception of tongue root position and voice quality in vowels. *Journal of the Acoustical Society of America* 101(3). 1696–1709.

Ladefoged, Peter. 1964. *A phonetic study of West African languages: An auditory-instrumental survey.* Cambridge: Cambridge University Press. (West African Language Monographs 1.)

Ladefoged, Peter & Maddieson, Ian. 1996 *The sounds of the World's languages.* Oxford: Blackwell.

Lindau, Mona. 1975a. A phonetic explanation to reduced vowel harmony systems. *Working Papers of phonetics laboratory, Department of general linguistics, Lund University* 11. 43–54.

Lindau, Mona. 1975b. [Features] for vowels. *Working Papers in Phonetics, University of California, Los Angeles* 30. 1–55.

Manfredi, Victor. 1991. *Agbo and Ehugbo: Igbo linguistic consciousness: Its origins and limits*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University. (Ph.D. dissertation.)

Moisik, Scott Reid. 2013. *The epilarynx in speech*. Victoria: Victoria University. (Ph.D. dissertation.)

Nearey, Terrance Michael. 1978. *Phonetic feature systems for vowels*. Bloomington: Indiana University Linguistics Club.

Olejarczuk, Paul & Otero, Manuel A. & Baese-Berk, Melissa M. 2019. Acoustic correlates of anticipatory and progressive [ATR] harmony processes in Ethiopian Komo. *Journal of Phonetics* 74. 18–41.

Oweleke, Esther Nwakaego. 2020. Igbo dialects and the citation-form: The possibility of a Standard Igbo dictionary. *AFRREV LALIGENS, An International Journal of Language Literature and Gender Studies* 9(1). 95–107.

Park, Hansang. 2002. Time course of first formant bandwidth. *Proceedings of the Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society* 28(1). 213–224.

Przezdziecki, Marek A. 2005. *Vowel harmony and coarticulation in three dialects of Yoruba: Phonetics determining phonology.* Ithaca: Cornell University. (Ph.D. dissertation.)

R Core Team. 2019. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Starwalt, Coleen Grace Anderson. 2008. *The acoustic correlates of ±ATR harmony in seven- and ninevowel African languages: A phonetic inquiry into phonological structure*. Arlington: University of Texas. (Ph.D. dissertation.)

Stewart, John M. 1967. Tongue root position in Akan vowel harmony. *Phonetica* 16. 185–204.

Stevens, Kenneth N. 1998. *Acoustic phonetics*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Warren, Ron. 2014. *An acoustic analysis of the feature Advanced Tongue Root in Karajá*. Fresno: California State University. (M.A. thesis.)

Wickham, Hadley. 2016. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. New York: Springer.

Williamson, Kay. 1966. The status of /e/ in Onitsha Igbo. *Journal of West African Languages* 3(2). 67–69.

Williamson, Kay & Blench, Roger. 2013. *Dictionary of Ọ̀nìchà Igbo*. Ms. (2nd edn. of the Igbo dictionary by Kay Williamson. Ethiope Press, 1972.) http://www.rogerblench.info/Language/Niger-Congo/VN/Igboid/Igbo%20Dictionary.pdf (accessed 2021-12-16)

References

Anderson, Colleen G. 2007. F1 and center of gravity interplay in the maintenance of phonological height within a statistical model of a communal grammar: the case of Foodo [ATR] acoustics. In Jin, Wenhua & Fauzi, Sarah May & Riepe, Jill (eds.), *UTA Working Papers in Linguistics*. Vol. 2, 2–29. Arlington: University of Texas.

Becker-Kristal, Roy 2010. *Acoustic typology of vowel inventories and dispersion theory: Insights from a large cross-linguistic corpus*. Los Angeles: University of California. (Ph.D. dissertation.)

Blench, Roger M. & Williamson, Kay. 2016. A reconstruction of the phonology of Proto-Igboid. (Draft circulated for comment.) https://llacan.cnrs.fr/nigercongo2/discussions/Proto-Igboid_phonology.pdf (accessed 2021-12-16)

Boersma, Paul & Weenink, David. 2017. Praat: Doing phonetics by computer. Version 6.0.33. (Computer program.) https://www.fon.hum.uva.nl/praat/ (accessed 2021-12-16)

Casali, Roderic F. 1995. On the reduction of vowel systems in Volta-Congo. *African Languages and Cultures* 8. 109–121.

Denning, Keith. 1989. The diachronic development of phonological voice quality, with special reference to Dinka and the other Nilotic languages. Stanford: Stanford University. (Ph.D. dissertation.)

Echeruo, Michael J. C. 1995. *A comprehensive dictionary of the Igbo language*. New Haven, US: Yale University Press.

Edmondson, Jerold A. & Esling, John H. 2006a. The valves of the throat and their functioning in tone, vocal register and stress: laryngoscopic case studies. *Phonology* 23. 157–191.

Edmondson, Jerold A. & Esling, John H. 2006b. The laryngeal basis for the freature [-ATR]. Paper for delivery at the Annual Conference on African Linguistics, University of Oregon, Euguene. April 9, 2006.

Edmondson, Jerold A. 2008. Correspondences between articulation and acoustics for the feature [ATR]: the case of two Tibeto-Burman languages and two African languages. (Unpublished manuscript.)

Emenanjọ, E. Nọlue. 1976. *Elements of modern Igbo grammar*. Ibadan: Oxford University Press.

Escudero, Paola & Boersma, Paul & Rauber, Andréia Schurt & Bion, Ricardo A.H. 2009. A cross-dialect acoustic description of vowels:

Brazilian and European Portuguese. *The Journal of the Acoustical Society of America* 126. 1379–1393.

Ester, Martin & Kriegel, Hans-Peter & Sander, Jörg & Xu, Xiaowei. 1996. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *Proceedings of the Second international conference on knowledge discovery and data mining* (KDD'96), 226–231. Palo Alto, California: AAAI Press.

Fant, Gunnar. 1972. Vocal tract wall effects, losses, and resonance bandwidths. *Speech Transmission Laboratory. Quarterly Progress and Status Reports* 13(2–3). 28–52.

Fulop, Sean A. & Kari Ethelbert E. & Ladefoged, Peter. 1998. An acoustic study of the tongue root contrasts in Degema vowels. *Phonetica* 55. 80–98.

Guion, Susan G. & Post, Mark W. & Payne, Doris L. 2004. Phonetic correlates of tongue root vowel contrasts in Maa. *Journal of Phonetics* 32. 517–542.

Halle, Moris & Stevens, Kenneth N. 1969. On the feature "Advanced Tongue Root". *MIT Research Laboratory of Electronics Quarterly Progress Report* 94. 209–215.

Hess, Susan. 1992. Assimilatory effects in a vowel harmony system: An acoustic analysis of advanced tongue root in Akan. *Journal of Phonetics* 20. 475–492.

Ikekeonwu Clara. 1999. Igbo. In *Handbook of the International Phonetic Association*, 108–110. Cambridge: Cambridge University Press.

Jacobson, Leon C. (1980). Voice-quality harmony in Western Nilotic languages. In Vago, Robert M. (ed.), *Issues in vowel harmony*, 183–200. Amsterdam: John Benjamins. (Studies in Language Companion Series 6.)

Kingston, John, & Macmillan, Neil A. & Dickey, Laura Walsh & Thorburn, Rachel & Bartels, Christine. 1997. Integrality in the perception of tongue root position and voice quality in vowels. *Journal of the Acoustical Society of America* 101(3). 1696–1709.

Kodzasov, Sandro V. & Krivnova, Olga F. 2011. *Obščaja fonetika* [General phonetics]. Moscow: RGGU.

Ladefoged, Peter & Maddieson, Ian. 1996 *The sounds of the World's languages*. Oxford: Blackwell.

Ladefoged, Peter. 1964. *A phonetic study of West African languages: An auditory-instrumental survey.* Cambridge: Cambridge University Press. (West African Language Monographs 1.)

Lindau, Mona. 1975a. A phonetic explanation to reduced vowel harmony systems. *Working Papers of phonetics laboratory, Department of general linguistics, Lund University* 11. 43–54.

Lindau, Mona. 1975b. [Features] for vowels. *Working Papers in Phonetics, University of California, Los Angeles* 30. 1–55.

Makeeva, Nadezhda V. Fonetičeskie i fonologičeskie svojstva priznaka prodvinutosti kornja jazyka, ili ATR (Advanced Tongue Root), v jazykax Afriki [Phonetic and phonological features of the ±ATR (Advanced Tongue Root) feature in the languages of Africa]. *Voprosy Jazykoznanija*. (Accepted.)

Manfredi, Victor. 1991. *Agbo and Ehugbo: Igbo linguistic consciousness: Its origins and limits*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University. (Ph.D. dissertation.)

Moisik, Scott Reid. 2013. *The epilarynx in speech*. Victoria: Victoria University. (Ph.D. dissertation.)

Nearey, Terrance Michael. 1978. *Phonetic feature systems for vowels*. Bloomington: Indiana University Linguistics Club.

Olejarczuk, Paul & Otero, Manuel A. & Baese-Berk, Melissa M. 2019. Acoustic correlates of anticipatory and progressive [ATR] harmony processes in Ethiopian Komo. *Journal of Phonetics* 74. 18–41.

Oweleke, Esther Nwakaego. 2020. Igbo dialects and the citation-form: The possibility of a Standard Igbo dictionary. *AFRREV LALIGENS, An International Journal of Language Literature and Gender Studies* 9(1). 95–107.

Park, Hansang. 2002. Time course of first formant bandwidth. *Proceedings of the Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society* 28(1). 213–224.

Przezdziecki, Marek A. 2005. *Vowel harmony and coarticulation in three dialects of Yoruba: Phonetics determining phonology.* Ithaca: Cornell University. (Ph.D. dissertation.)

R Core Team. 2019. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Starwalt, Coleen Grace Anderson. 2008. *The acoustic correlates of ±ATR harmony in seven- and ninevowel African languages: A phonetic inquiry into phonological structure*. Arlington: University of Texas. (Ph.D. dissertation.)

Stevens, Kenneth N. 1998. *Acoustic phonetics*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Stewart, John M. 1967. Tongue root position in Akan vowel harmony. *Phonetica* 16. 185–204.

Surkanova, Inessa M. 1974. Sopostavitel'nyj analiz nekotoryx osnovnyx xarakteristik vokalizma jazyka ibo i russkogo jazyka [A comparative analysis of some principal features of vowel systems of Ibo and of Russian]. Moscow: Moscow State University. (Ph.D. dissertation.)

Surkanova, Inessa M. 1978. O nekotoryx artikuljatorno-akustičeskix xarakteristikax vokalizma jazyka ibo [Some articulatory and acoustic features of the vowel system of Ibo]. In: Oxotina, Natal'ja V. (ed.), *Problemy fonetiki, morfologii i sintaksisa afrikanskix jazykov*, 166–204. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta.

Vinogradov, Viktor A. 1972. Tipologija singarmoničeskix tendencij v jazykax Afriki i Evrasii [A typology of vowel harmony tendencies in the languages of Africa and Eurasia]. In: Oxotina, Natal'ja V. & Uspenskij, Boris A. (eds.), *Problemy afrikanskogo jazykoznanija*, 125–163. Moscow: Nauka.

Warren, Ron. 2014. *An acoustic analysis of the feature Advanced Tongue Root in Karajá*. Fresno: California State University. (M.A. thesis.)

Wickham, Hadley. 2016. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. New York: Springer.

Williamson, Kay. 1966. The status of /e/ in Onitsha Igbo. *Journal of West African Languages* 3(2). 67–69.

Williamson, Kay & Blench, Roger. 2013. *Dictionary of Ọ̀nìchà Igbo*. Ms. (2nd edn. of the Igbo dictionary by Kay Williamson. Ethiope Press, 1972.) http://www.rogerblench.info/Language/Niger-Congo/VN/Igboid/Igbo%20Dictionary.pdf (accessed 2021-12-16)

Received 11.11.2021. Received in revised form 15.12.2021. Accepted 15.12.2021